

การศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดินในงานก่อสร้างทางหลวงสายตาก-ลำปาง
THE STUDY ON RELATION OF PROPERTIES OF SOIL IN THE
CONSTRUCTION OF HIGHWAY TAK-LAMPANG ROUTE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เรีใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY ON RELATION OF PROPERTIES OF SOIL IN THE
CONSTRUCTION OF HIGHWAY TAK-LAMPANG ROUTE

MR. TEERASAK JANGWIBOON CODE 38014211

MR. PONGTHEP SANGTHUBTHIM CODE 38014313

MR. WITIT SAETANG CODE 38014465



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

1998

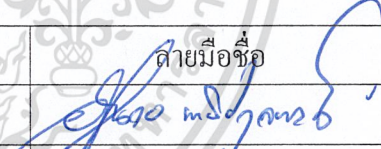
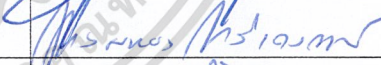
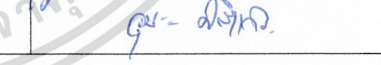
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

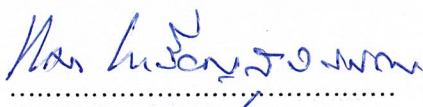
.....

หัวข้อโครงการพิเศษ (ไทย) การศึกษาคุณสมบัติของดินในงานก่อสร้างทางหลวงสายตาก-ลำปาง
(อังกฤษ) The study on relation of properties of soil in the construction
of highway TAK-LAMPANG route

นักศึกษา 1. นายธีรศักดิ์ จางวิบูลย์ รหัสประจำตัว 38014211
2. นายพงษ์เทพ แสงทับทิม รหัสประจำตัว 38014313
3. นายวิฑิต แซ่ตั้ง รหัสประจำตัว 38014465
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อำนวยการ พานิชกุลพงศ์

| คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ | ลายมือชื่อ |
|---------------------------------|--|
| 1. อ.อำนวยการ พานิชกุลพงศ์ |  |
| 2. อ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร |  |
| 3. อ.อุปะ สิริแก้ว |  |

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ. ดร. แดง เจริญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี มิได้เกิดจากผู้เขียนเพียงลำพัง จึงใคร่ขอกราบ
ขอบพระคุณบุคคลผู้มีส่วนในรายงานฉบับนี้ที่ทำให้โครงการพิเศษบรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์
ซึ่งมีรายนามดังนี้

บุพการีที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์

อาจารย์อำนวยการ พานิชกุลพงศ์ อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว อาจารย์แหลมทอง เหล่าคง
ถาวร อาจารย์ที่ปรึกษา และคอยให้คำแนะนำในการทำโครงการพิเศษ

คุณอาชลอ ภูมรินทร์ และ พี่ๆ ที่กรมทางหลวงสาย ตาก - ลำปาง ตอน 5 ที่คอย
ให้คำแนะนำ อำนวยความสะดวกในทุกๆ เรื่องทั้งในเรื่อง อาหาร ที่พักอาศัย การเก็บตัวอย่างข้อมูล
และเอกสารที่เกี่ยวข้องในการทำโครงการพิเศษ

พี่สมบัติ ระเบียบ ผู้ช่วย soil ตาก - ลำปาง ตอน 2 ที่ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำ
โครงการพิเศษ

พี่ทรงชัย พวงสุวรรณ ผู้ช่วย soil ตาก - ลำปาง ตอน 3 ที่ให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องใน
การทำโครงการพิเศษ

พี่นภาพร เจ้าหน้าที่ห้องสมุดภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้ความสะดวกใน
เรื่องตำรา เอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทำโครงการพิเศษ

ห้องสมุดภาควิชาวิศวกรรมโยธา ซึ่งเป็นสถานที่ที่ใช้ในการทำงาน และกิจกรรม
อื่นๆ ที่มีผลทำให้โครงการนี้สำเร็จลงได้

เพื่อนๆ ที่ช่วยเฝ้าตามเวลาที่อาจารย์มาที่ภาควิชา

จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณที่มีส่วนช่วยให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี
และกราบขออภัยบุคคลผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้แต่ยังคงระลึกถึงตลอดไป

นายธีรศักดิ์ จางวิบูลย์

นายพงษ์เทพ แสงทับทิม

นายวิฑิต แซ่ตั้ง

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดินในงานก่อสร้างทางหลวงสายตาก-ลำปาง
THE STUDY ON RELATION OF PROPERTIES OF SOIL IN THE
CONSTRUCTION OF HIGHWAY TAK-LAMPANG ROUTE

| | | | | |
|-------------|--------------|------------|--------------|----------|
| โดยนักศึกษา | นายธีรศักดิ์ | จางวิบูลย์ | รหัสประจำตัว | 38014211 |
| | นายพงษ์เทพ | แสงทับทิม | รหัสประจำตัว | 38014313 |
| | นายวิทิต | แซ่ตั้ง | รหัสประจำตัว | 38014465 |

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อำนวยการ พานิชกุลพงศ์

บทคัดย่อ

เนื่องจากในงานก่อสร้างถนนข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติของดินมีปริมาณมาก อีกทั้งการทดสอบหาค่า %CBR ยังเป็นการทดสอบที่ใช้เวลานาน ค่าใช้จ่ายสูง และมีช่วงระยะห่างมากในการทดสอบดิน 1 ตัวอย่าง ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติของดินมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density (γ_d), Optimum Moisture Content (O.M.C.), Plastic Index (P.I.), %Gravel, %Sand และ %Clay เทียบกับ %CBR ซึ่งโครงการพิเศษนี้จะทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของดินเพื่อนำมาพยากรณ์ค่า %CBR ทำให้ช่วยลดขั้นตอนการทดสอบหาค่า % CBR และนำมาพยากรณ์ค่า %CBR ในช่วงที่ไม่ได้ทดสอบจริง จึงทำให้งานก่อสร้างมีประสิทธิภาพ และประหยัดค่าใช้จ่ายมากขึ้นด้วย

ABSTRACT

Because in the road constructions use many test data and also CBR test spends much time and money , It is good to have soil data analysed in statistic by using program SPSS to find relations of Dry Density (γ_d), Plastic Index(PI), Optimum Moisture Content(OMC), %Gravel, %Sand and %Clay compare with CBR .

In this special project we analyze relations of soil data to predict CBR . By this method we use lesser time and process and also can predict untested CBR that make road construction more efficient and economical .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | |
|--|-----------|
| กิตติกรรมประกาศ | (i) |
| บทคัดย่อ | (ii) |
| สารบัญ | (iii) |
| สารบัญตาราง | (v) |
| สารบัญรูป | (vii) |
| สารบัญสัญลักษณ์ | (ix) |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ | 1 |
| 1.3 แนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ | 1 |
| 1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ | 2 |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์ | 6 |
| 2.1 การทดสอบการบดอัด | 6 |
| 2.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength และ Density | 7 |
| 2.1.2 ผลจากการใช้ดินตัวอย่างทดสอบการบดอัดซ้ำหลายครั้ง | 8 |
| 2.1.3 ผลจากการทดสอบการบดอัด | 9 |
| 2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อค่า CBR กับค่า CBR โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย และ Program SPSS | 12 |
| 2.2.1 พื้นฐานการวิเคราะห์ถดถอย | 12 |
| 2.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ | 14 |
| 2.3 การจำแนกดินประเภทของดินโดยระบบ Unified | 15 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา | 23 |
| 3.1 อุปกรณ์การทดสอบและสถานที่ดำเนินการศึกษา | 23 |
| 3.1.1 อุปกรณ์การทดสอบ | 23 |
| 3.1.2 สถานที่ดำเนินการศึกษา | 23 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา | 23 |
| 3.2.1 การเตรียมการ | 23 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| 3.2.2 | การเก็บตัวอย่าง | 23 |
| 3.2.3 | การทดสอบและคำนวณ | 23 |
| 3.2.3.1 | การทดสอบ Sieve Analysis | 23 |
| 3.2.3.2 | การทดสอบ Atterberg 's Limit | 28 |
| 3.2.3.3 | การทดสอบ Compaction Test | 37 |
| 3.2.3.4 | California Bearing Ratio | 47 |
| บทที่ 4 | ปัจจัยและคุณสมบัติต่างๆที่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง | 58 |
| 4.1 | คุณสมบัติของดินและหินที่ใช้ในส่วนทางและรองพื้นทาง | 58 |
| 4.2 | ผลของ Plasticity (P.I.) ต่อความแข็งแรงของพื้นทาง | 59 |
| 4.3 | ความซึมผ่านได้ | 60 |
| บทที่ 5 | ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ | 62 |
| 5.1 | ความนำ | 62 |
| 5.2 | Base Course กลุ่ม GP-GM | 62 |
| 5.3 | Subbase | 64 |
| 5.3.1 | วัสดุกลุ่ม GC | 64 |
| 5.3.2 | วัสดุกลุ่ม SM-SC | 65 |
| 5.4 | Selected Material กลุ่ม SM-SC | 67 |
| 5.5 | Subgrade กลุ่ม SC | 69 |
| 5.6 | การเปรียบเทียบความแตกต่างด้านราคาการทดสอบคุณสมบัติดิน | 71 |
| บทที่ 6 | สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ | 72 |
| 6.1 | สรุปผลการศึกษา | 72 |
| 6.2 | ข้อเสนอแนะ | 73 |
| บรรณานุกรม | | 74 |
| ภาคผนวก | | |
| ภาคผนวก ก. | แสดงข้อมูลของความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดิน | 75 |
| ภาคผนวก ข. | แสดงตารางการวิเคราะห์การถดถอย | 85 |
| ภาคผนวก ค. | แสดงกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลคุณสมบัติดิน | 99 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| | | |
|-------------------|---|----|
| ตารางที่ 2.1 | สัญลักษณ์ที่ใช้ในการจำแนกดินโดยระบบ Unified | 15 |
| ตารางที่ 2.2 | รายละเอียดการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ Unified | 20 |
| ตารางที่ 3.1 | แสดงค่าแรงมาตรฐานที่ Penetration ต่างๆ | 53 |
| ตารางที่ 4.1 | สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในดินประเภทต่างๆ | 61 |
| ตารางที่ 5.1 | แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Base Course กลุ่ม GP-GM | 76 |
| ตารางที่ 5.2(ก) | แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC | 78 |
| ตารางที่ 5.2(ข) | แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Subbase กลุ่ม GC | 80 |
| ตารางที่ 5.3 | แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Selected Material กลุ่ม SM-SC | 81 |
| ตารางที่ 5.4 | แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Subgrade กลุ่ม SC | 83 |
| ตารางที่ 5.5 | แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แต่ละคู่ของตัวแปรอิสระชั้น Base Course | 85 |
| ตารางที่ 5.6(ก) | แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่จากตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Base Course | 85 |
| ตารางที่ 5.6(ข) | แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Base Course | 86 |
| ตารางที่ 5.7 | แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR(การทดลอง) และ CBR(การคำนวณ)จากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Base Course | 87 |
| ตารางที่ 5.8(ก) | แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แต่ละคู่ของตัวแปรอิสระ ชั้น Subbase กลุ่ม GC | 88 |
| ตารางที่ 5.9.1(ก) | แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่จากตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Subbase กลุ่ม GC | 88 |
| ตารางที่ 5.9.2(ก) | แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Subbase กลุ่ม GC | 89 |
| ตารางที่ 5.10(ก) | แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR(การทดลอง) และ CBR(การคำนวณ)จากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Subbase กลุ่ม GC | 90 |
| ตารางที่ 5.8(ข) | แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แต่ละคู่ของตัวแปรอิสระ ชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC | 90 |
| ตารางที่ 5.9.1(ข) | แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่จากตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC | 91 |
| ตารางที่ 5.9.2(ข) | แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC | 91 |
| ตารางที่ 5.10(ข) | แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR(การทดลอง) และ CBR(การคำนวณ)จากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC | 92 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

| | | |
|------------------|---|----|
| ตารางที่ 5.11 | แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แต่ละคู่ของตัวแปรอิสระชั้น Selected Material | 93 |
| ตารางที่ 5.12(ก) | แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่จากตัวแปรอิสระเดิม ที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Selected Material | 93 |
| ตารางที่ 5.12(ข) | แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Selected Material | 94 |
| ตารางที่ 5.13 | แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR (การทดลอง) และ CBR (การคำนวณ)จากการ วิเคราะห์ถดถอยชั้น Selected Material | 95 |
| ตารางที่ 5.14 | แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แต่ละคู่ของตัวแปรอิสระชั้น Subgrade | 95 |
| ตารางที่ 5.15(ก) | แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่จากตัวแปรอิสระเดิม ที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Subgrade | 96 |
| ตารางที่ 5.15(ข) | แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Subgrade | 96 |
| ตารางที่ 5.16 | แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR (การทดลอง) และ CBR (การคำนวณ)จากการ วิเคราะห์ถดถอยชั้น Subgrade | 97 |
| ตารางที่ 5.17 | แสดงการเปรียบเทียบราคาการทดสอบคุณสมบัติดินระยะทาง 30 กม. | 71 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| | | |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 1.1 | แสดงที่ตั้งของโครงการก่อสร้างทางหลวงสายตาก – ลำปาง | 3 |
| รูปที่ 1.2 | แสดงเส้นทางของทางหลวงสายตาก – ลำปาง | 4 |
| รูปที่ 1.3 | แสดงหน้าตัดของทางหลวงสายตาก – ลำปาง | 5 |
| รูปที่ 2.1 | ผลการบดอัดดินประเภท CL ,ML ,SM โดยวิธีมาตรฐาน AASHTO | 6 |
| รูปที่ 2.2 | การเพิ่มพลังงานการบดอัดมีอ้อมีผลให้ γ_d สูงขึ้นและ w ลดน้อยลง | 7 |
| รูปที่ 2.3 | ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR และ γ_d ของดินเหนียว | 8 |
| รูปที่ 2.4 | เปรียบเทียบผลการใช้ดินตัวอย่างซ้ำในการบดอัดในห้องปฏิบัติการกับการเปลี่ยนดินตัวอย่างใหม่ทุกครั้งที่ยบอัด | 9 |
| รูปที่ 2.5 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินที่ได้รับการบดอัด | 10 |
| รูปที่ 2.6 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง γ_d และ w จากการบดอัดดิน 7 ตัวอย่าง โดยวิธีของ Standard AASHTO (T99) | 11 |
| รูปที่ 2.7 | ความสัมพันธ์เชิงบวก | 13 |
| รูปที่ 2.8 | ความสัมพันธ์เชิงลบ | 13 |
| รูปที่ 2.9 | ความสัมพันธ์ = 0 | 13 |
| รูปที่ 2.10 | ความสัมพันธ์เส้นโค้ง | 13 |
| รูปที่ 2.11 | แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ Unified | 17 |
| รูปที่ 2.12 | แผนภูมิความเหนียวสำหรับการจำแนกประเภทของดินพวกเม็ดละเอียดโดยระบบ Unified | 22 |
| รูปที่ 3.1 | ตะแกรงขนาดต่างๆ | 27 |
| รูปที่ 3.2 | เครื่องมือเคาะหาค่า Liquid Limit | 35 |
| รูปที่ 3.3 | การเคลื่อนตัวของมวลดินบริเวณรอยบาก | 36 |
| รูปที่ 3.4 | การทดสอบหาค่า Plastic Limit | 36 |
| รูปที่ 3.5 | เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการบดอัด | 46 |
| รูปที่ 3.6 | การกดตัวอย่าง CBR | 56 |
| รูปที่ 3.7 | การเตรียมตัวอย่าง CBR เพื่อแช่น้ำ | 56 |
| รูปที่ 3.8 | เครื่องมือทดสอบ CBR | 57 |
| รูปที่ 4.1 | ความสัมพันธ์ระหว่าง γ_d , CBR และขนาดของหิน | 58 |
| รูปที่ 4.2 | เปรียบเทียบ CBR กับ γ_d ของวัสดุที่มีมวลละเอียด | 59 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| | | |
|---------------|--|-----|
| รูปที่ 4.3 | ผลของ P.I. ต่อ CBR | 60 |
| รูปที่ 4.4 | สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของกรวดและทรายขนาดต่างๆ | 61 |
| รูปที่ 5.1 | แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , OMC , γ_d และค่า %CBR ชั้น Base Course | 98 |
| รูปที่ 5.2 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR(การทดลอง) และค่า %CBR (การคำนวณ) ชั้น Base Course | 100 |
| รูปที่ 5.3(a) | แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , OMC , γ_d , PI และค่า %CBR ชั้น Subbase กลุ่ม GC | 101 |
| รูปที่ 5.4(a) | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR(การทดลอง) และค่า %CBR (การคำนวณ) ชั้น Subbase กลุ่ม GC | 103 |
| รูปที่ 5.3(b) | แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , OMC , γ_d , PI และค่า %CBR ชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC | 104 |
| รูปที่ 5.4(b) | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR(การทดลอง) และค่า %CBR (การคำนวณ) ชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC | 106 |
| รูปที่ 5.5 | แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , OMC , γ_d , PI และค่า %CBR ชั้น Selected Material | 107 |
| รูปที่ 5.6 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR(การทดลอง) และค่า %CBR (การคำนวณ) ชั้น Selected Material | 109 |
| รูปที่ 5.7 | แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , OMC , γ_d , PI และค่า %CBR ชั้น Subgrade | 110 |
| รูปที่ 5.8 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR(การทดลอง) และค่า %CBR (การคำนวณ) ชั้น Subgrade | 112 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญสัญลักษณ์

| | | |
|--------------|---|--|
| O.M.C. | = | ปริมาณความชื้นสูงสุด |
| P.I. | = | ดัชนีความเหนียวหนืด |
| γ_d | = | ความแน่นแห้ง |
| C.B.R. | = | อัตราส่วนหน่วยแรงที่ทดสอบต่อหน่วยแรงมาตรฐาน |
| L.L. | = | พิกัดความเหลว |
| P.L. | = | พิกัดความเหนียวหนืด |
| C.B.R.(cal.) | = | อัตราส่วนหน่วยแรงที่ทดสอบต่อหน่วยแรงมาตรฐานที่คำนวณสมการ |
| GSC | = | เปอร์เซ็นต์กรวดคลุมเปอร์เซ็นต์ทรายคลุมเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว |
| OMCMDRY | = | ปริมาณความชื้นสูงสุดลบความแน่นแห้ง |
| GCPS | = | เปอร์เซ็นต์กรวดคลุมเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวหารเปอร์เซ็นต์ทราย |
| OMCPPI | = | ปริมาณความชื้นสูงสุดหารดัชนีความเหนียวหนืด |
| DRY | = | ความแน่นแห้ง (Dry Density) |
| CUB | = | สมการยกกำลังสาม |
| QUA | = | สมการยกกำลังสอง |
| C | = | เปอร์เซ็นต์ดินเหนียว |
| G | = | เปอร์เซ็นต์กรวด |
| S | = | เปอร์เซ็นต์ทราย |
| OMCDRY | = | ปริมาณความชื้นสูงสุดคูณความแน่นแห้ง |
| SC | = | เปอร์เซ็นต์ทรายคลุมเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว |
| LIN | = | สมการเส้นตรง |
| GMC | = | เปอร์เซ็นต์กรวดลบเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว |
| GPLSMC | = | เปอร์เซ็นต์กรวดบวกเปอร์เซ็นต์ทรายเป็นเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว |
| DRYPIPOM | = | ความแน่นแห้งคูณดัชนีความเหนียวหนืดหารปริมาณความชื้นสูงสุด |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการก่อสร้าง และปรับปรุงถนนสายต่างๆมากมาย เช่น ถนนภายในจังหวัด ถนนระหว่างจังหวัด เป็นต้น ถนนเหล่านี้ต้องรองรับการจราจรที่ต่างกัน โดยเฉพาะทางหลวงซึ่งจะต้องรองรับการจราจรเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในการก่อสร้างทางหลวงนั้นจะต้องก่อสร้างให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง หรือเป็นไปตาม Spec. ที่ได้ออกแบบไว้ โดยจะมีกรมทางหลวงเป็นหน่วยงานที่คอยควบคุมการก่อสร้างทาง ซึ่งในการก่อสร้างทางแต่ละเส้นทางนั้นจะต้องมีการทดสอบคุณสมบัติของดินที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง รวมถึงการทดสอบหาค่า %CBR ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญที่จะใช้บ่งชี้ถึงความแข็งแรงของถนน แต่เนื่องจากการทดสอบหาค่า %CBR เป็นการทดสอบที่ต้องใช้เวลานาน และเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงเกิดสมมุติฐานที่ว่า จะเป็นไปได้หรือไม่ที่เราจะทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของดินอื่นๆ ได้แก่ Dry Density (γ_d), Optimum Moisture Content (O.M.C.), Plastic Index (PI.), %Coarse grain (Gravel & Sand) และ %Fine grain (Clay) แล้วนำไปวิเคราะห์ทางสถิติการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย (Simple Linear Regression Analysis) โดยใช้โปรแกรม SPSS เพื่อนำไปพยากรณ์ค่า %CBR ซึ่งถ้าเป็นไปได้จะช่วยให้การควบคุมคุณภาพ และการทดสอบเป็นไปด้วยความสะดวก รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย และลดขั้นตอนการทดสอบ %CBR อีกทั้งยังสามารถนำผลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงประกอบการก่อสร้างทางในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- 1) พยากรณ์ค่า %CBR จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า % CBR กับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบท่อค่า %CBR ได้แก่ γ_d , O.M.C., PI., %Gravel, %Sand และ %Clay
- 2) ศึกษาถึงความแตกต่างในด้านราคาของการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการก่อสร้างทางหลวง

1.3 แนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

ค่า %CBR จะแปรผันกับค่า ปริมาณของวัสดุเม็ดหยาบ และเม็ดละเอียด P.I. γ_d และ O.M.C. เมื่อตัวแปรเหล่านี้มีค่าเปลี่ยนไปก็ควรจะส่งผลกระทบต่อค่า %CBR อีกทั้งข้อมูลของการทดสอบยังมีปริมาณมาก ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ แล้วสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR กับตัวแปรต่างๆที่มีผลกระทบ เพื่อพยากรณ์ค่า % CBR ต่อไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1) ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าคุณสมบัติของตัวอย่างดิน ได้แก่ ค่า γ_d , PI. , O.M.C. , %Gravel , %Sand และ %Clay ในชั้น Base , Subbase , Selected Material , Subgrade จากโครงการก่อสร้างทางหลวงสายตาก - กำปาง และจำแนกกลุ่มดินด้วยระบบ Unified
- 2) ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR กับปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบ ได้แก่ ค่า γ_d , PI. , O.M.C. , %Gravel , %Sand และ %Clay โดยใช้โปรแกรม SPSS

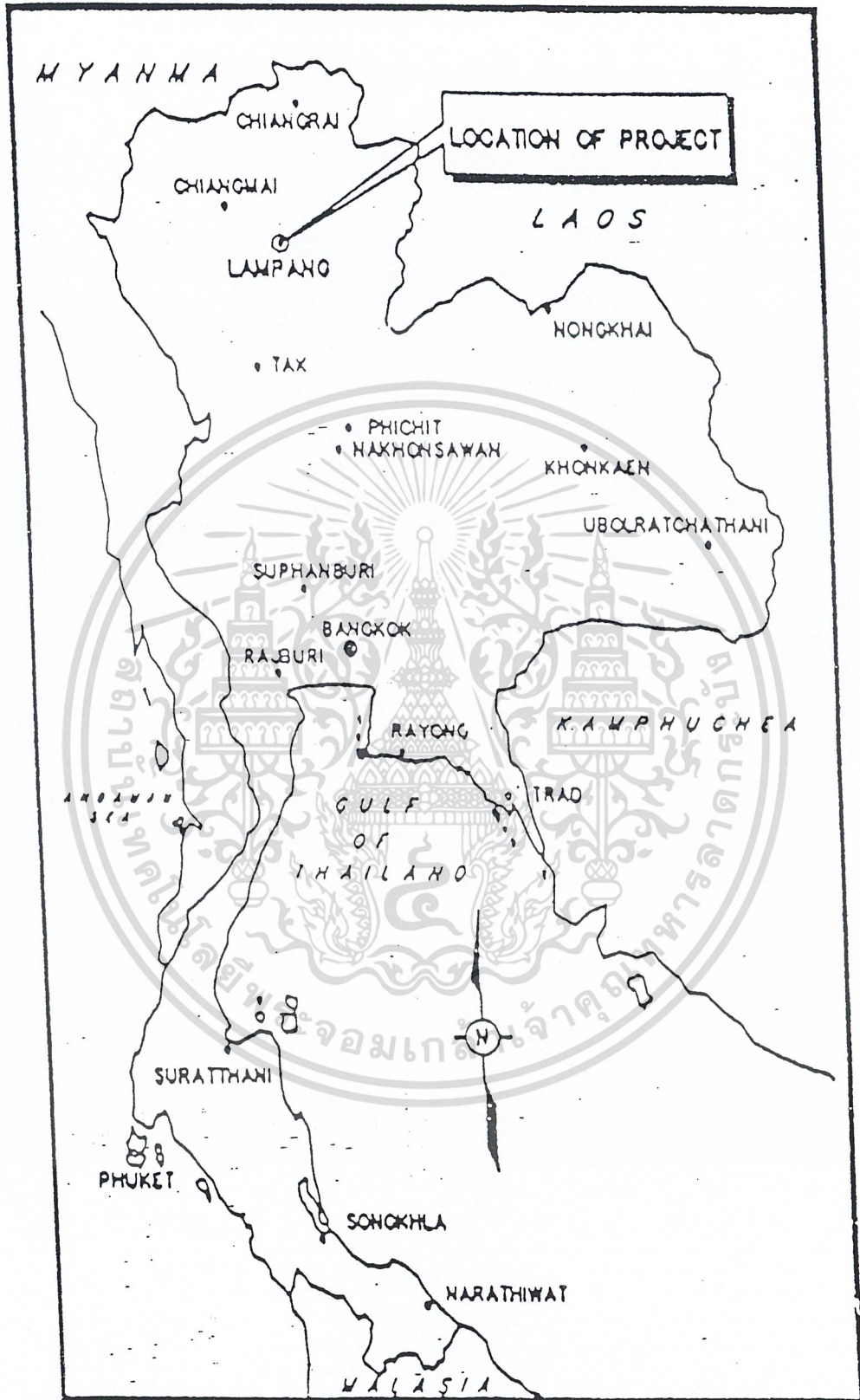
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR กับปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบ และสามารถพยากรณ์ค่า %CBR จากสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวได้
- 2) นำผลจากการศึกษามาใช้เป็นแนวทางประกอบในการทดสอบคุณสมบัติดินในงานก่อสร้างถนน ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย



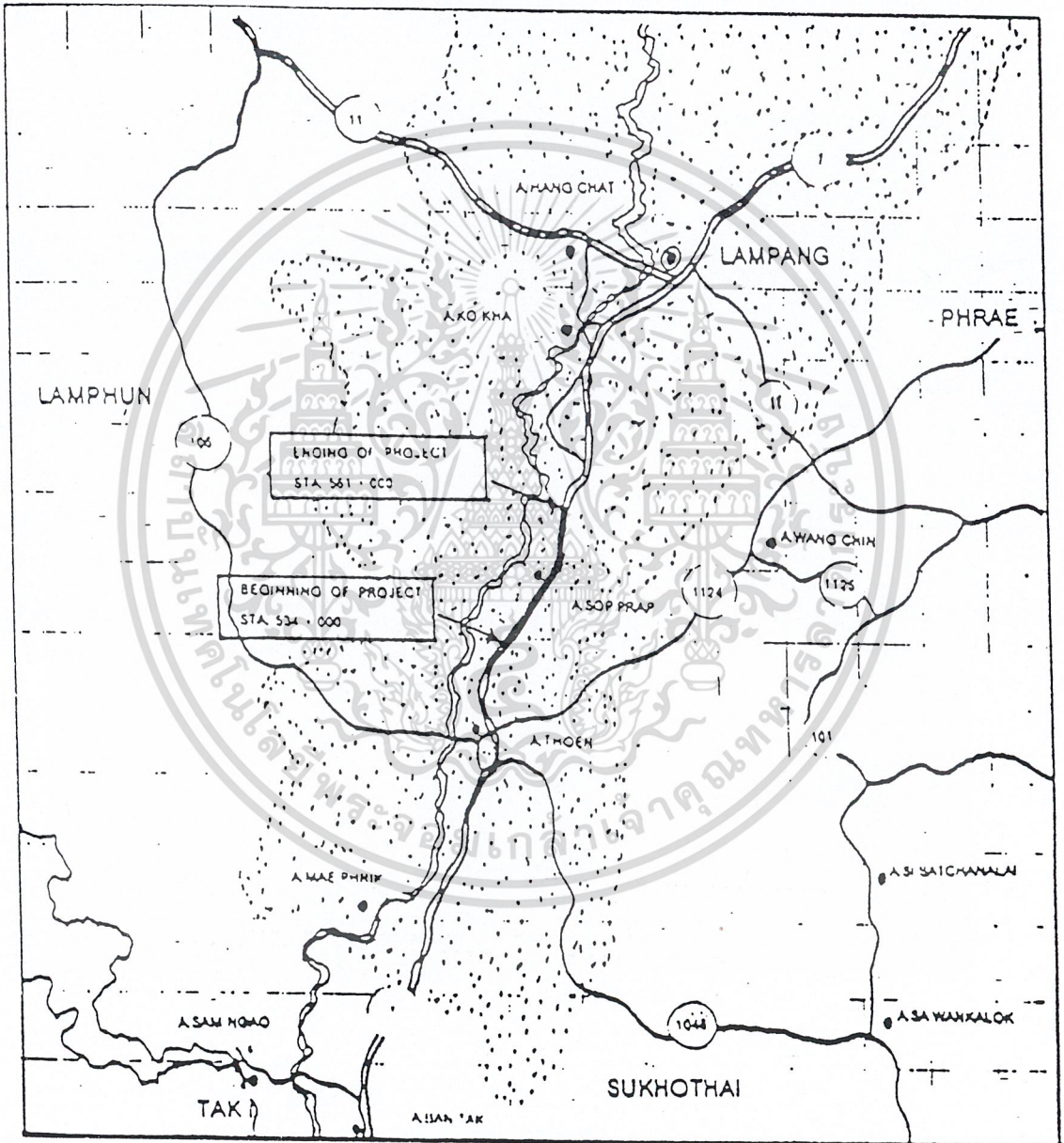
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KEY PLAN



รูปที่ 1.1 แสดงที่ตั้งของโครงการก่อสร้างทางหลวงสายตาก-ลำปาง STA.534+000-STA.561+000
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (รายงานความก้าวหน้าโครงการก่อสร้างทางหลวงสายตาก-ลำปาง STA.534+000 – STA.561+000 , 1998)
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROUTE NO. 1
 KAMPHAENG PHET – TAK – LAMPANG
 TAK – LAMPANG
 STA. 543+000 – STA. 561+000



รูปที่ 1.2 แสดงเส้นทางของทางหลวงสายตาก – ลำปาง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมทางหลวงชนบท เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (รายงานความก้าวหน้าโครงการก่อสร้างทางหลวงสายตาก-ลำปาง STA.543+000 – STA.561+000 , 1998)

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

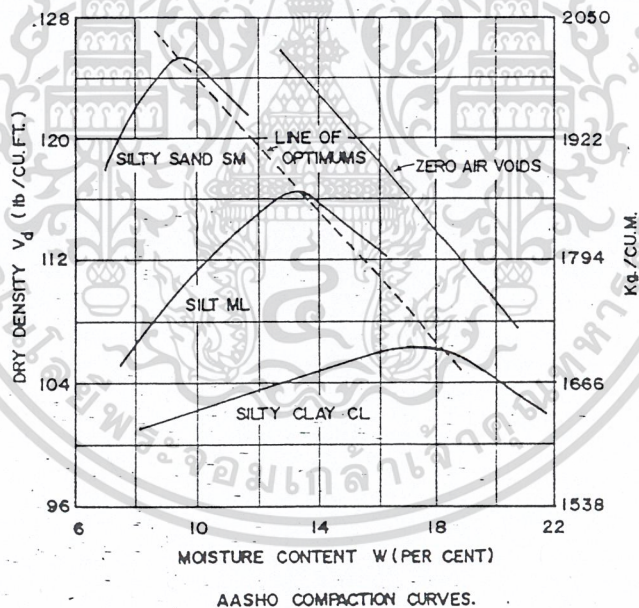
2.1 การทดสอบการบดอัด (Compaction Test)

เป็นการทดสอบที่สำคัญยิ่งสำหรับงานก่อสร้างถนนหรือสนามบิน การบดอัดเป็นการเพิ่มความแน่นของดินและเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้ง (γ_d) กับปริมาณความชื้น (w) ของ Silt, Silty Sand, Silty Clay โดยวิธี Standard AASHTO Compaction Test ค่าความแน่นที่ปราศจากความชื้น (w) ได้จาก

$$\gamma_d = \gamma_w / 1+w \quad \dots (2.1)$$

เมื่อ γ_w = Mass Unit Weight กก./ลบ.ม.

w = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน

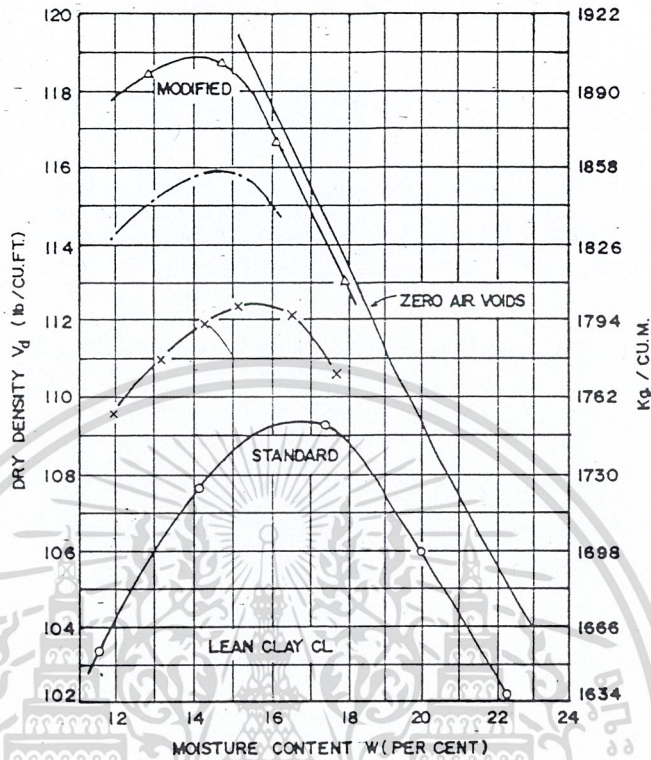


รูปที่ 2.1 ผลการบดอัดดินประเภท CL, ML, SM โดยวิธีมาตรฐาน AASHTO

(ผศ.จิรพัฒน์ โชติกไกร 1986)

การเพิ่มน้ำหนักหรือเพิ่มพลังงานการบดอัดให้สูงขึ้นมีผลทำให้ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เหมาะสม หรือ OMC ลดต่ำลง ขณะเดียวกันความแน่นแห้ง (γ_d) จะเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.2 วัสดุประเภทมวลหยาบ (Granular Soil) จะมี γ_d สูง และ w ต่ำกว่าวัสดุประเภทมวลละเอียด เช่น ดินเหนียว เส้น

กราฟผลการบดอัดของดินทรายจะชันกว่าของดินเหนียวมาก จากรูปที่ 2.1 ซึ่งมีผลถึงการควบคุมความชื้นของดินทรายในช่วง OMC ในการบดอัดในสนามยากกว่าของดินเหนียว



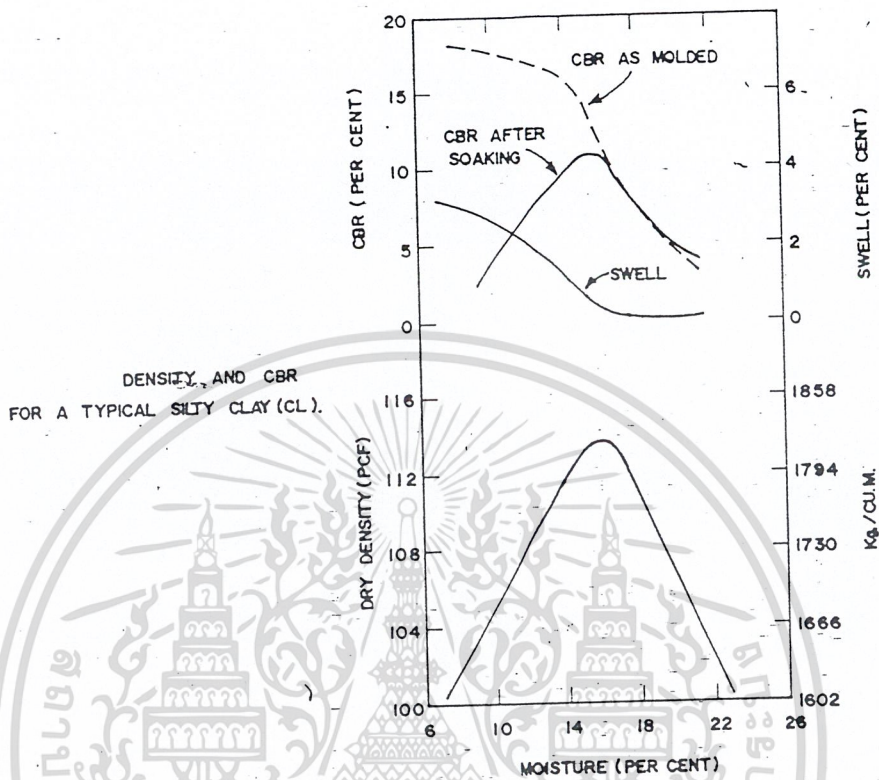
EFFECT OF COMPACTIVE EFFORT ON OPTIMUM MOISTURE CONTENT AND MAXIMUM DENSITY.

รูปที่ 2.2 การเพิ่มพลังงานการบดอัดมีผลให้ γ_d สูงขึ้น และ w ลดน้อยลง (ผศ.จิรพัฒน์ โชติกไกร 1986)

2.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength และ Density

รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับ γ_d ของดินเหนียว จะเห็นว่า กำลังการรับน้ำหนักของดินขึ้นกับค่าความแน่นและความชื้นของดินที่บดอัด ค่า CBR ขณะเมื่อบดอัดเสร็จใหม่ๆ มีค่าสูงกว่าค่า Soaked CBR หลังจากแช่น้ำ 4 วัน ลักษณะเส้นกราฟคล้ายกับเส้นกราฟของ γ_d กับ w โดยมีจุดสูงสุดตรงกัน ในระหว่างแช่ดินตัวอย่างในน้ำดินจะดูดซึมน้ำจนอิ่มตัวและเกิดการบวมตัว (swell) มากบ้างน้อยบ้างตามคุณสมบัติของดินแต่ละชนิด ดินบางชนิดถ้าบดอัดที่ w ต่ำ (Dry Side) จะมีอัตราการบวมตัวสูง ขณะเดียวกันความสามารถในการรับน้ำหนักก็ลดลงมากเช่นกัน อัตราการบวมตัวจะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นใกล้เคียงกับ OMC ดังนั้นในบริเวณดินที่มีอัตราการบวมตัวสูง ควรพยายามควบคุมการบดอัดให้ w ใกล้เคียงกับ OMC มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

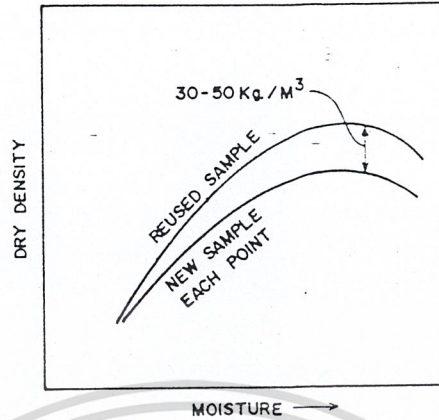


รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง CBR และ γ_d ของดินเหนียว (ผศ.จิรพัฒน์ โชติกไกร 1986)

2.1.2 ผลจากการใช้ดินตัวอย่างทดสอบการบดอัดซ้ำหลายครั้ง

ตามวิธีทดสอบในห้องปฏิบัติการจะใช้ดินตัวอย่างเดิม แล้วบดอัดซ้ำจนได้เส้นกราฟของ γ_d และ จุด OMC ซึ่งมีผลให้ค่า γ_d ในห้องปฏิบัติการสูงกว่าค่า γ_d ที่บดอัดในสนาม 30-50 กก./ลบม. เพราะขนาดของเม็ดดิน และ หินที่บดอัดซ้ำแตกย่อยลงไป ดูรูปที่ 2.4 โดยเฉพาะดินประเภทมวลหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



EFFECT OF REUSING
SAMPLE IN LABORATORY TEST.

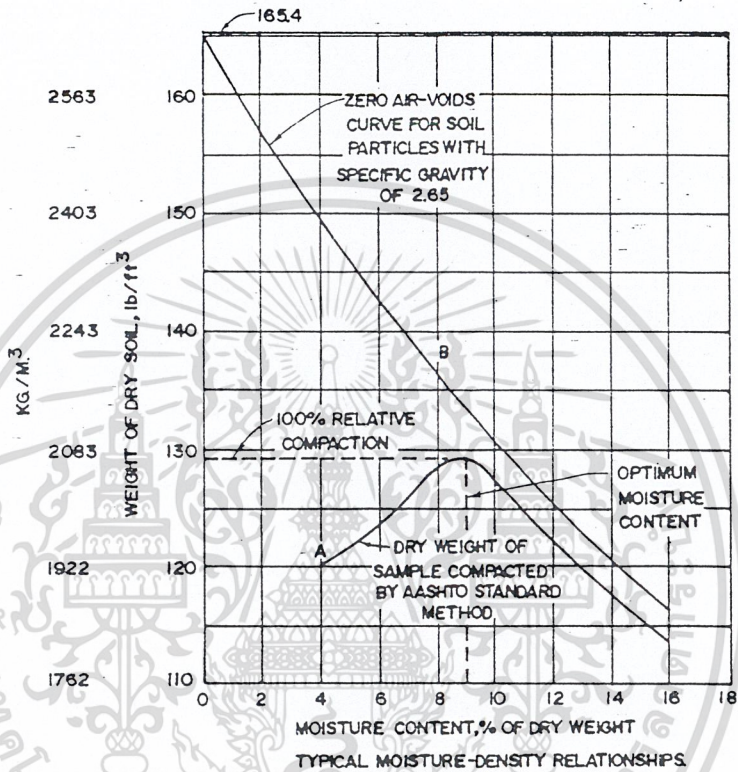
รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบผลการใช้ดินตัวอย่างซ้ำในการบดอัดในห้องปฏิบัติการกับการเปลี่ยนดินอย่างใหม่ทุกครั้งที่ยัดอัด (ผศ.จิรพัฒน์ โชติกไกร 1986)

2.1.3 ผลจากการทดสอบการบดอัด (Compaction Test)

การบดอัดดินเป็นกระบวนการที่ใช้น้ำหนักจากเครื่องกลกดหรือต้นกระแทก ทำให้เม็ดดินเบียดชิดกันเพื่อเพิ่มความแน่น เพิ่มความสามารถในการรับแรงเฉือน และน้ำหนักบดทับได้สูงขึ้น ขณะเดียวกันก็ลดการทรุดตัว ลดการซึมผ่านของน้ำในดิน กระบวนการบดอัดนี้ใช้น้ำเป็นตัวหล่อลื่น ถ้าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินมีพอเหมาะก็สามารถบดอัดดินได้ความแน่นสูงสุด รูปที่ 2.5 แต่ถ้าดินมีความชื้นมากเกินไปน้ำจะไปหุ้มเคลือบรอบๆเม็ดดินทำให้อนุของดินแยกห่างจากกัน หรือถ้ามีน้อยเกินไปการหล่อลื่นไม่ดีพอที่จะช่วยให้การบดอัดเม็ดดินเบียดตัวได้ชิดเท่าที่ควร ดินแต่ละแหล่งจะมีความแน่นไม่เท่ากันถึงแม้จะใช้พลังงานในการบดอัดเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากดินมีส่วนประกอบไม่เหมือนกัน คุณสมบัติโดยทั่วไปของดินในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความแน่นมีดังนี้

1. ความถ่วงจำเพาะของดินโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 2.5 – 2.8
2. คุณสมบัติในการกระจายของเม็ดดิน ถ้าดินมีลักษณะกลม และมีขนาดเท่ากันหมด เมื่อบดอัดแน่นแล้วจะมีอัตราส่วนระหว่าง Solid กับ Void ประมาณ 74 % และ 26 % ตามลำดับ แต่ถ้ามวลดินมีขนาดคละจากเล็กไปหาใหญ่ลดหลั่นกันไป การบดอัดจะช่วยเพิ่มให้มวลดินเบียดชิดกันแน่นและมีช่องว่างน้อยที่สุด

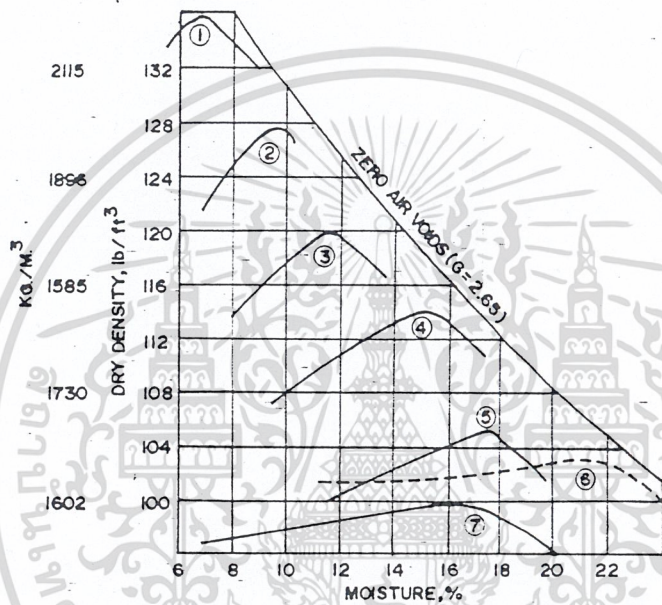
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำข้อความนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินที่ได้ รับ การบดอัด (ผศ.จิรพัฒน์ โชติคไกร 1986)

ดังที่กล่าวแล้วดินต่างชนิดกันแม้จะบดอัดด้วยพลังงานเท่ากัน แต่จะได้ค่า γ_d และ OMC ต่าง กัน รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างดังกล่าวจากการบดอัดดิน 7 ตัวอย่างโดยวิธี Standard AASHTO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



| NUMBER | DESCRIPTION | SOIL TEXTURE AND PLASTICITY DATA | | | | |
|--------|--------------------------|----------------------------------|---------|---------|----|----|
| | | SAND(%) | SILT(%) | CLAY(%) | LL | PI |
| 1 | WELL-GRADED LOAMY SAND | 88 | 10 | 2 | 16 | NP |
| 2 | WELL-GRADED SANDY LOAM | 72 | 15 | 13 | 16 | 0 |
| 3 | MEDIUM-GRADED SANDY LOAM | 73 | 9 | 18 | 22 | 4 |
| 4 | LEAN SANDY-SILTY CLAY | 32 | 33 | 35 | 28 | 9 |
| 5 | LOESSIAL SILT | 5 | 85 | 10 | 26 | 2 |
| 6 | HEAVY CLAY | 6 | 22 | 72 | 67 | 40 |
| 7 | VERY POORLY GRADED SAND | 94 | 6 | 6 | NP | NP |

MOISTURE-DENSITY RELATIONSHIPS FOR SEVEN SOILS, EACH COMPACTED BY THE AASHTO STANDARD METHOD. (AFTER A.W. JOHNSON.)

รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง γ_d และ w จากการบดอัดดิน 7 ตัวอย่าง

โดยวิธีของ Standard AASHTO (T99)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่รับผิดชอบต่อผลเสียหายและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ผศ.จิรพัฒน์ โชติกไกร 1986)

2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อค่า %CBR กับค่า %CBRโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย และPROGRAM SPSS

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาวิจัยที่ใช้ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ โดยข้อมูลที่ได้อาจเป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ที่เก็บรวบรวมมาจากโครงการก่อสร้างทางหลวงสายตาก-ลำปาง ข้อมูลที่รวบรวมมาอาจจะไม่เป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูลทั้งหมด แต่จะถือว่าโครงการพิเศษนี้เป็นกรณีศึกษาเท่านั้น

2.2.1 พื้นฐานของการวิเคราะห์ถดถอย

การวิเคราะห์ถดถอยเป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัว และตัวแปรอิสระอีก 1 ตัว หรือหลายตัว ถ้ามีตัวแปรอิสระเพียง 1 ตัว ถือว่าเป็นการวิเคราะห์ถดถอยแบบง่าย (Simple regression analysis) แต่ถ้ามีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว เรียกว่า การวิเคราะห์ถดถอยพหุ (Multiple regression analysis) เนื่องจากในปัจจุบันผู้ที่ทำการวิจัยมักนิยมใช้ตัวแปรอิสระหลายตัว การวิเคราะห์ถดถอยที่มีตัวแปรตาม 1 ตัว และตัวแปรอิสระเพียง 1 ตัว จึงถือได้ว่าเป็นกรณีพิเศษของวิธีนี้

ในการนำเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยมาใช้ จะต้องมีการกำหนดว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรตามและตัวแปรตัวใดเป็นตัวแปรอิสระ / หรือตัวแปรควบคุม

หมายเหตุ ตัวแปรอิสระ หมายถึง ตัวแปรที่มีการผันแปรเป็นอิสระ ไม่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรอื่นเหมือนอย่างตัวแปรตาม
ตัวแปรตาม หมายถึง ตัวแปรที่การผันแปรขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น (ตัวแปรอิสระ)

คุณสมบัติที่สำคัญของการวิเคราะห์ คือ การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในรูปแบบสมการในลักษณะดังต่อไปนี้

$$Y = a + bX \quad \dots(2.2)$$

$$Y = C_0 + b_1K + b_2L + b_3M \quad \dots(2.3)$$

สมการ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Y และตัวแปรอิสระ X ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลจริงจะได้ค่าของ a และ b ส่วนสมการ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Y และตัวแปรอิสระ K, L และ M เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลจริงเราก็จะได้ค่าของ C_0 , b_1 , b_2 และ b_3

ค่าของ a สมการ 2.2 และ C_0 ในสมการ 2.3 คือค่าคงที่ (Constant) ซึ่งมีชื่อเรียกว่า จุดตัด (Intercept) หรือค่าจุดเริ่มต้น (Origin) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ b ในสมการ 2.2 และ b_1 , b_2 และ b_3 ในสมการ 2.3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ซึ่งมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ค่าความลาดชัน (Slope) ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระต่างๆ กับตัวแปรตาม

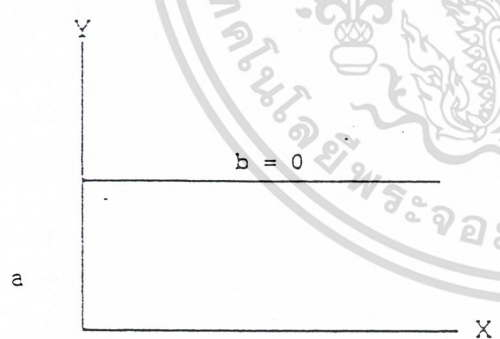
ค่าสัมประสิทธิ์อาจจะเป็นลบหรือเป็นบวกได้ การคิดลบหรือคิดบวกไม่ได้บอกความมากน้อยของความสัมพันธ์แต่บอกทิศทางของความสัมพันธ์ ถ้าเป็นบวก หมายความว่า การผันแปรของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระว่าไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าค่าของตัวแปรอิสระเพิ่มขึ้น ค่าของตัวแปรตามจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าเป็นลบ หมายความว่า เมื่อค่าของตัวแปรอิสระสูงขึ้น ค่าของตัวแปรตามจะลดลง รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวก ส่วนรูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงลบ



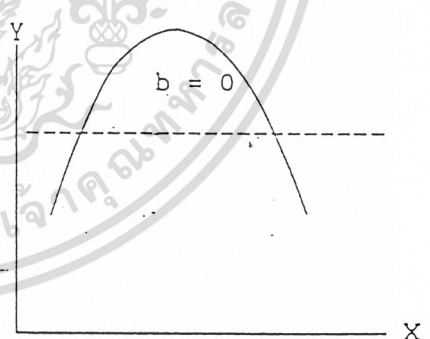
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์เชิงบวก



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์เชิงลบ



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ = 0



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์เส้นโค้ง

(รศ.ดำรงค์ ทิพย์โยธา 1997)

รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นค่าตัวแปรอิสระ X ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y ไม่ว่า X จะมีการเพิ่มขึ้นเท่าใด Y ก็ยังมีค่าเท่าเดิม ส่วนรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่า X มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับ Y แต่ถ้าผู้วิจัยนำเทคนิคการวิเคราะห์หามาใช้จะพบว่า X ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y เพราะค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าเป็น 0 ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์มากน้อยระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ไม่อาจรู้ได้จากการตีความ หรือคิดลบบของสัมประสิทธิ์ แต่รู้ได้จากค่าที่เป็นตัวเลขซึ่งส่วนมากจะเป็นจุดศนียมยิ่งค่าสัมประสิทธิ์มีค่ามากเท่าใด (โดยไม่คำนึงเครื่องหมายบวกหรือลบ) ก็แสดงว่า ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมากเท่านั้น

สมการ 2.2 และสมการ 2.3 เป็นลักษณะประจำของการวิเคราะห์การถดถอยที่จะบ่งชี้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ในทางปฏิบัติเพื่อให้สมการสื่อความหมายแทนที่จะใช้ตัวอักษร Y และ X ผู้วิจัยอาจใช้/ควรใช้อักษรย่อของตัวแปรที่สามารถสื่อความหมายสะดวกแก่การจดจำ ดังสมการ 2.4

$$\text{Beh} = b_0 + b_1\text{Age} + b_2\text{Ed} + b_3\text{Inc} \quad \dots(2.4)$$

ซึ่ง Beh คือ พฤติกรรม ย่อมาจาก Behavior

Age คือ อายุ

Ed คือ การศึกษา ย่อมาจาก Education

Inc คือ รายได้ ย่อมาจาก Income

ไม่ว่าจะเขียนในรูปแบบสมการ 2.2 , 2.3 และ 2.4 สมการในลักษณะดังกล่าวนี้ เรียกว่าแบบจำลองการวิเคราะห์ (Model of analysis) หรือเรียกเต็มว่า การวิเคราะห์ถดถอย (Model of regression analysis)

2.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ

ในการวิเคราะห์ถดถอยพหุซึ่งเมื่อมีตัวแปรอิสระหลายตัว ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีต่อตัวแปรตาม และอิทธิพลของตัวแปรอิสระทั้งหมดที่มีต่อตัวแปรตาม การจะศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีต่อตัวแปรตามได้ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวจะต้องไม่สัมพันธ์กัน ถ้าสัมพันธ์กันจะแยกอิทธิพลของตัวแปรหนึ่งออกจากอีกตัวแปรหนึ่งไม่ได้

ความไม่สัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรอิสระจึงเป็นเงื่อนไขหรือข้อจำกัดหนึ่งของการวิเคราะห์ถดถอยพหุ ถ้าเกิดปัญหาว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันสูงก็ไม่อาจจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ดังกล่าว ปัญหาดังกล่าวนี้ตรงกับภาษาอังกฤษว่า Multicollinearity problem เมื่อเผชิญกับปัญหาดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยมีทางเลือก 2 แนวทาง คือ

- ตัดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งที่สัมพันธ์กันมากออกไป
- สร้างตัวแปรใหม่จากสองตัวแปรอิสระ แล้วใช้ตัวแปรตัวใหม่นั้นแทน 2 ตัวแปรเดิม

1) การตัดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งที่สัมพันธ์กันมากออกไป

เป็นวิธีการที่ไม่นิยมใช้ เพราะมีผลกระทบอย่างมากมายต่อกิจกรรมต่างๆที่ได้ทำมาแล้วขั้นต้น และยังมีผู้โต้แย้งได้ว่าทำไมผู้วิจัยถึงไม่นำเอาตัวแปรตัวนั้นเข้ามาพิจารณา ทั้งๆที่เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญยิ่งต่อประเด็นที่ผู้วิจัยได้พบจากทฤษฎี หรืองานวิจัยในอดีต สิ่งที่พึงปฏิบัติ คือ การศึกษาตามเนื้อหาสาระที่สำคัญไว้และหาเทคนิคที่เหมาะสมมาใช้ต่อไป

2) การสร้างตัวแปรใหม่จาก 2 ตัวแปรเดิมที่มีความสัมพันธ์กัน

เป็นทางออกที่เหมาะสมเพราะผู้วิจัยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงชื่อผลงานหรือกิจกรรมต่างๆ ที่ได้ทำมาในขั้นต้นๆ ซึ่งทำได้ง่ายโดยการรวมตัวแปรที่ไม่มีการปรับขนาดของตัวแปร (มีจำนวนตัวแปรเท่ากัน) โดยถ้าตัวแปรที่รวมกันมีขนาดเท่ากัน (จำนวนตัวเลขมีหลักเท่ากัน เช่น หลัก 10 หลัก 100 หรือ หลัก 1000) การเอามารวมกันอาจจะใช้วิธีการบวกหรือคูณกันก็ได้ แต่ถ้าตัวแปรที่จะมารวมกันมีขนาดไม่เท่ากัน เช่น รายได้ซึ่งอาจเป็นตัวเลข 6 หลัก และการศึกษาเป็นตัวเลข 2 หลัก หากนำมาบวกกันตัวแปรรายได้จะกลืนตัวแปรการศึกษาทำให้ไม่เห็นผลของตัวแปรการศึกษาจึงต้องใช้วิธีอื่นวิธีที่สามารถจะนำมาใช้ได้คือการนำตัวแปรมาคูณกัน เช่น ผู้มีรายได้ 10,000 บาท การศึกษา 6 ปี จะมีตัวแปรใหม่เป็น ตัวแปรรายได้การศึกษาเท่ากับ 60,000 เมื่อเปรียบเทียบกับผู้มีรายได้ 20,000 บาท การศึกษา 2 ปี จะมีค่าตัวแปรรายได้การศึกษา 40,000 เป็นต้น

2.3 การจำแนกประเภทของดินโดยระบบของ Unified

การจำแนกประเภทของดินโดยวิธีการนี้ เป็นที่นิยมแพร่หลายมากกว่าวิธีการอื่น เหมาะกับงานวิศวกรรมโดยทั่วไป โดยแบ่งดินออกเป็นกลุ่มๆ ใช้อักษรภาษาอังกฤษเป็นสัญลักษณ์แทนชื่อกลุ่มดิน แต่ละกลุ่มจะมีอักษรอย่างน้อย 2 ตัว ตัวแรกจะเป็นกลุ่มหลัก และตัวที่สองจะเป็นกลุ่มย่อยลงไป ซึ่งตัวอักษรแต่ละตัวจะมีความหมายในตัวเอง ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการจำแนกประเภทของดิน โดยระบบ Unified

(มณฑลเศียร กังสลิเทียม 1995)

| สัญลักษณ์ | ลักษณะดิน | ย่อมาจาก |
|-----------|--------------------|-------------------|
| G | พวกกรวด | Gravel |
| S | พวกทราย | Sand |
| M | พวกตะกอนทราย | Mo = Silt |
| C | พวกดินเหนียว | Clay |
| O | พวกสารอินทรีย์ | Organic |
| Pt | มีสารอินทรีย์สูง | Peat |
| W | มีขนาดละเอียด | Well grade |
| P | มีขนาดละเอียดไม่ดี | Poorly grade |
| L | L.L. น้อยกว่า 50% | Low Liquid Limit |
| H | L.L. มากกว่า 50% | High Liquid Limit |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในท้องถิ่นเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการจำแนกประเภทของดินโดยระบบของ Unified นี้จะจัดแบ่งตามลักษณะของเม็ดดิน ตามลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน และตามคุณสมบัติความเหนียวของเม็ดดิน หรือค่า Atterberg 's Limit (L.L. , P.I.) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และตารางที่ 2.2

ดินพวกเม็ดละเอียดสามารถจำแนกประเภทได้เลย จากค่า L.L. และ P.I. โดยอาศัยแผนภูมิ ความเหนียวในรูปที่ 2.12

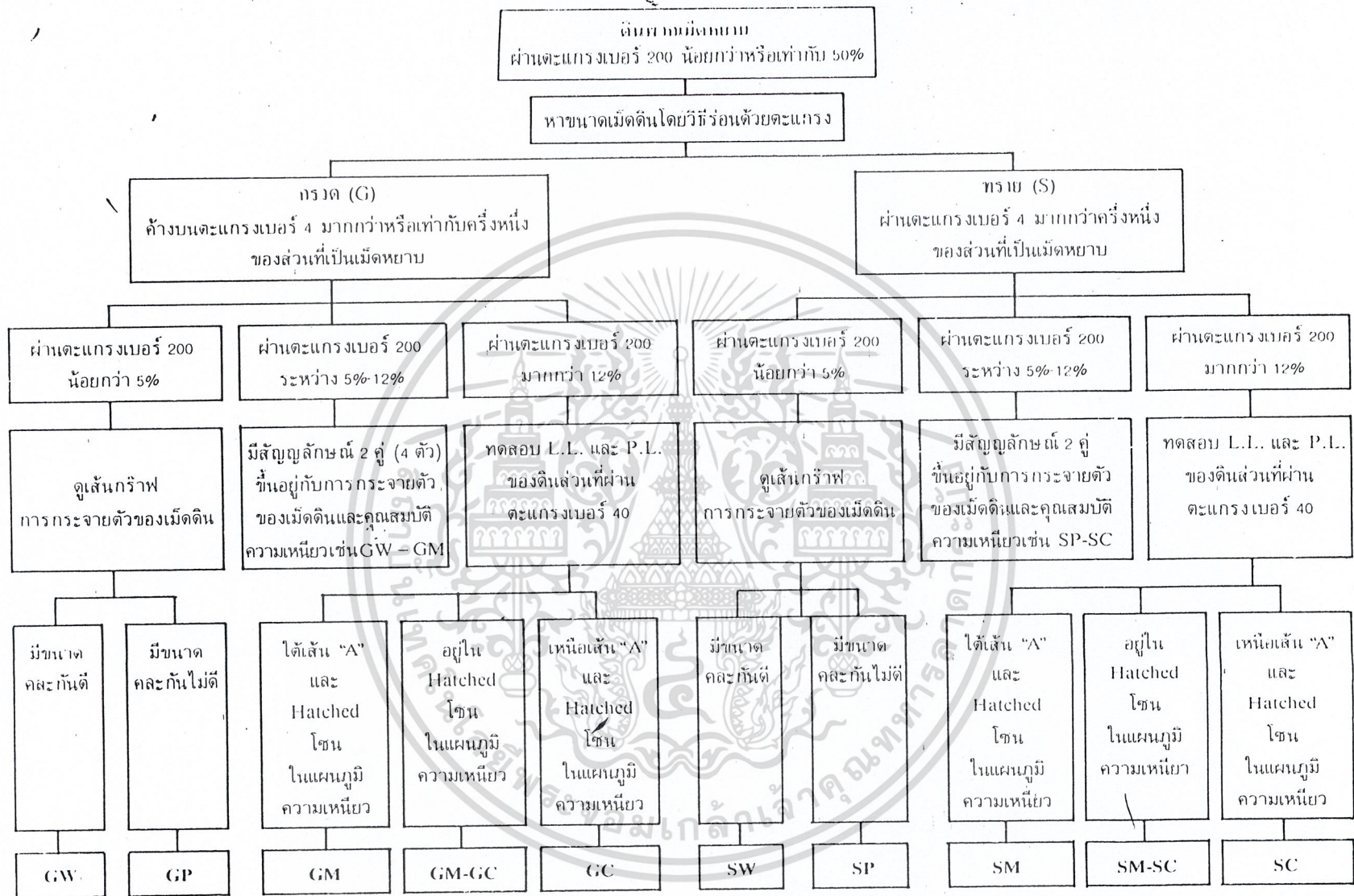


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



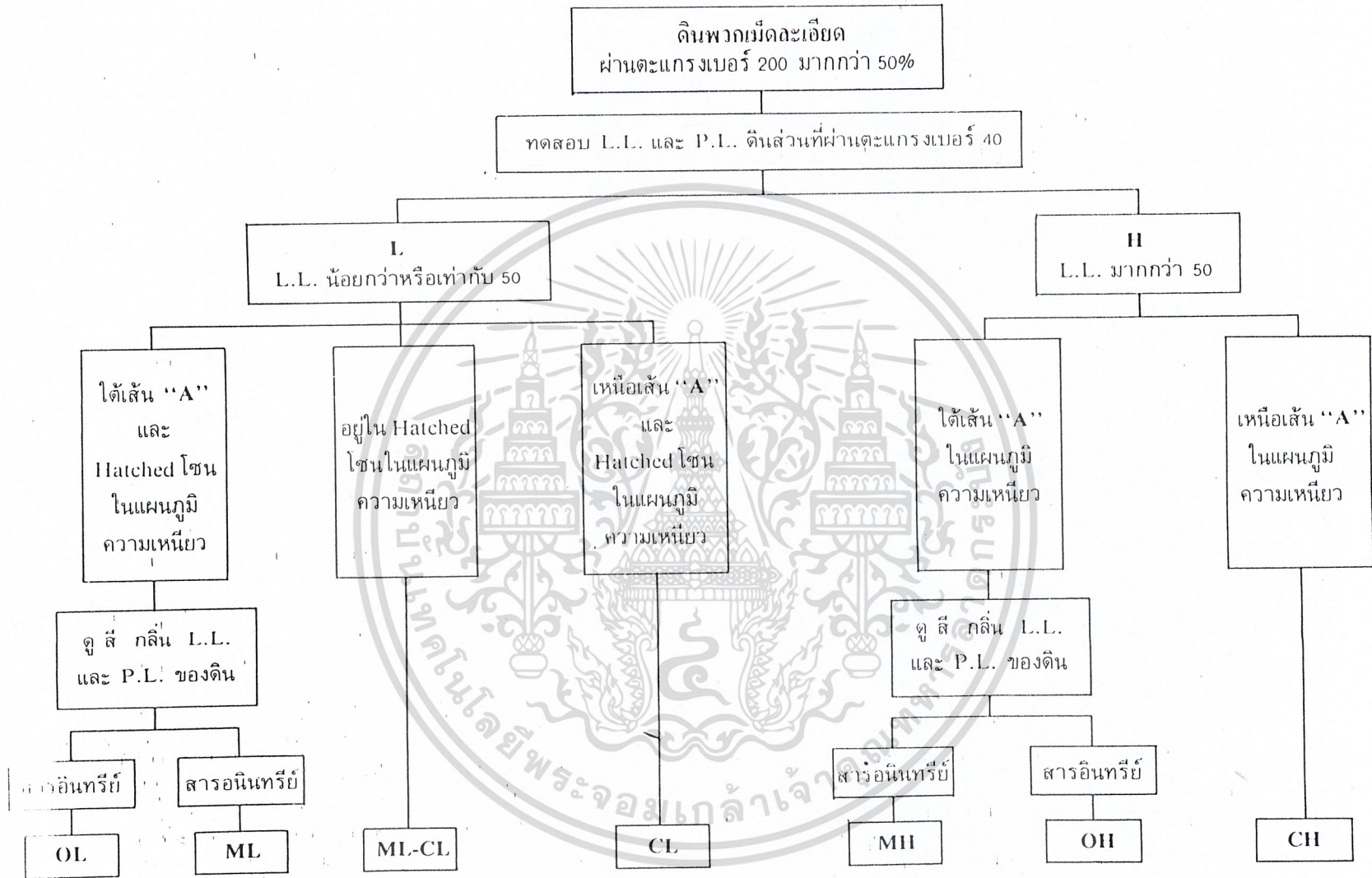
รูปที่ 2.11 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ Unified

(มณฑิยร กังศศิเทียม 1995)



รูปที่ 2.11 (ก) แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทของดินเม็ดหยาบ

(มณฑิธร กังคิเทียม 1995)



รูปที่ 2.11 (ข) แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทของดินเม็ดละเอียด

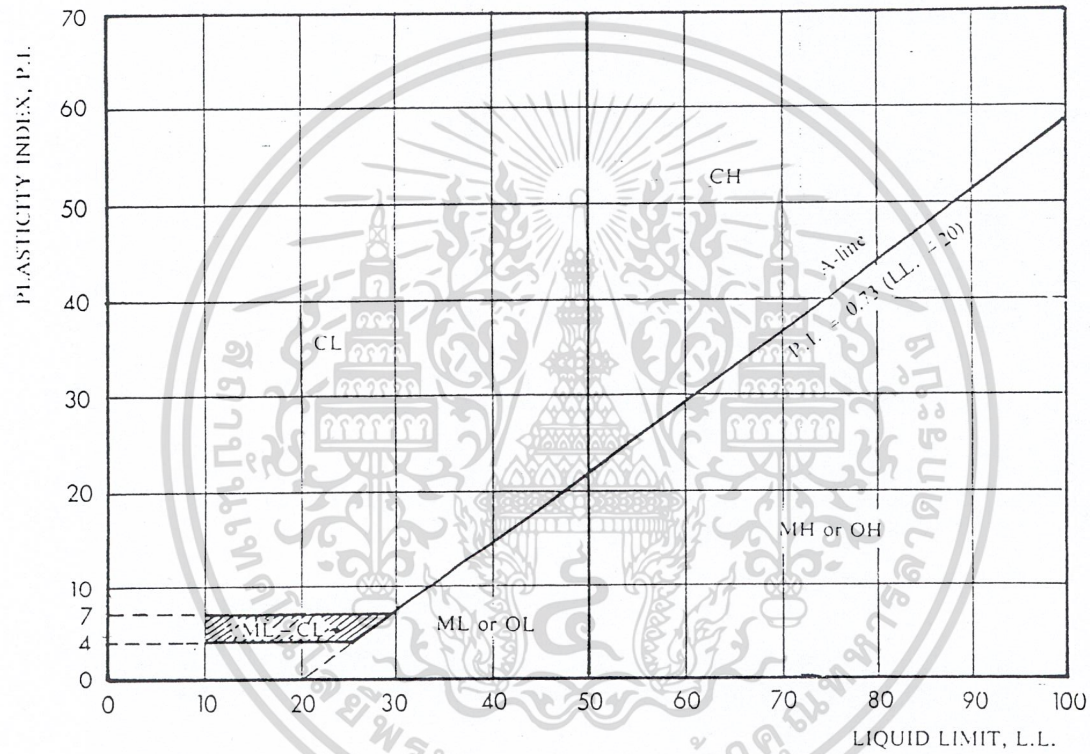
(มณฑลเชียร กังสคติเทียม 1995)

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ Unified (มณฑิร กังคติเทียม 1995)

| การจำแนกประเภททั่วไป | | สัญลักษณ์กลุ่ม | ชื่อกลุ่มดิน | เกณฑ์การจำแนกประเภท | | | |
|--|---|---|--|--|---|--|---|
| 05 กบหน้าอุทกเลขที่ 002 ร้อยเอ็ดเขต ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ | ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเภทที่ 4 (ห้วยน้ำเค็ม) (ยกเว้นดินเหนียว) | GW | กรวดมีขนาดคล้อยกันดี กรวดผสมทราย มีเม็ดละเอียดเกินครึ่งหรือไม่มีเลย | $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ | มากกว่า 4 | | |
| | | GP | กรวดมีขนาดคล้อยกันไม่ดี กรวดผสมทราย มีเม็ดละเอียดเกินครึ่งหรือไม่มีเลย | | อยู่ระหว่าง 1-3 | | |
| | | GM | กรวดมีตะกอนทรายปน กรวด-ทราย-ตะกอนทรายผสมกัน | | ไม่เข้าเกณฑ์ประเภท GW | Atterberg limits อยู่ใต้ เส้น "A" หรือ P.I. น้อยกว่า 4 | Atterberg limits อยู่ใน Hatched zone |
| | | | GC | | | กรวดมีดินเหนียวปน กรวด-ทราย-ดินเหนียวผสมกัน | Atterberg limits อยู่เหนือ เส้น "A" และ P.I. มากกว่า 7 |
| | | ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเภทที่ 5 (ห้วยน้ำเค็ม) (ยกเว้นดินเหนียว) | SW | | ทรายมีขนาดคล้อยกันดี ทรายเป็นกรวด มีเม็ดละเอียดเกินครึ่งหรือไม่มีเลย | $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ | มากกว่า 6 |
| | | | SP | | ทรายมีขนาดคล้อยกันไม่ดี ทรายเป็นกรวด มีเม็ดละเอียดเกินครึ่งหรือไม่มีเลย | | อยู่ระหว่าง 1-3 |
| | SM | | ทรายมีตะกอนทรายปน ทราย-ตะกอนทรายผสมกัน | ไม่เข้าเกณฑ์ประเภท SW | Atterberg limits อยู่ใต้ เส้น "A" หรือ P.I. น้อยกว่า 4 | | Atterberg limits อยู่ใน Hatched zone |
| | | | SC | | ทรายมีดินเหนียวปน ทราย-ดินเหนียวผสมกัน | | Atterberg limits อยู่เหนือ เส้น "A" และ P.I. มากกว่า 7 |

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

| การจำแนกประเภททั่วไป | | สัญลักษณ์กลุ่ม | ชื่อกลุ่มดิน | เกณฑ์การจำแนกประเภท |
|--|---|--------------------------------------|--|-----------------------------------|
| ๕ 05 ประเภท 002 ฐานประเภทที่ ๕ หมายเหตุ ๕ ๐๕ ประเภท ๐๐๒ ฐานประเภทที่ ๕ | ประเภทที่ ๕ ประเภทที่ ๕ ๐๕ ประเภทที่ ๕ | ML | ตะกอนทรายอนินทรีย์และ ทรายละเอียดมาก ดินฝุ่น ทรายละเอียดบนตะกอนทราย หรือดินเหนียวมีความเหนียวเล็กน้อย | <p>แผนภูมิครรหมีค่าความเหนียว</p> |
| | | CL | ดินเหนียวอนินทรีย์มีความเหนียวค่าถึงปานกลาง ดินเหนียวบนทราย ดินเหนียวบนทราย ดินเหนียวบนตะกอนทราย ดินเหนียวล้วน | |
| | | OL | ตะกอนทรายอินทรีย์และดินเหนียว บนตะกอนทรายอินทรีย์ มีความ เหนียวค่า | |
| | ประเภทที่ ๕ ประเภทที่ ๕ ๐๕ ประเภทที่ ๕ | MH | ตะกอนทรายอนินทรีย์ ทรายละเอียด หรือ ตะกอนทราย บนเม็ดหรือดินเบา ตะกอนทรายที่ยึดหยุ่น | |
| | | CH | ดินเหนียวอนินทรีย์มีความเหนียวสูง ดินเหนียวมีความหนักสูง | |
| | | OH | ดินเหนียวอินทรีย์ มีความเหนียว ปานกลางถึงสูง ตะกอนทรายอินทรีย์ | |
| ดินพวกสารอินทรีย์สูง | PT | ฟิค โคลนสีเทา และดินอินทรีย์สูงอื่นๆ | แยกให้รคย สี กลิ่น การสัมผัสและลักษณะ เนื้อ | |



รูปที่ 2.12 แผนภูมิความเหนียว

สำหรับการจำแนกประเภทของดินพวกเม็ดละเอียดโดยระบบ Unified

(มณฑลเทศาภิบาล กังคสีเทศาภิบาล 1995)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 อุปกรณ์การทดสอบ และ สถานที่ดำเนินการศึกษา

3.1.1 อุปกรณ์การทดสอบ

- 1). ชุดตะแกรงร่อนหาขนาดเม็ดดิน
- 2). ชุดเครื่องมือทดสอบ Atterberg s Limit
- 3). ชุดเครื่องมือทดสอบการบดอัด
- 4). ชุดเครื่องมือทดสอบ CBR (California Bearing Ratio)
- 5). ชุดเครื่องมือทดสอบความแน่นในสนาม
- 6). Program Excel ในการคำนวณและเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ
- 7). Program SPSS คำนวณค่าความสัมพันธ์ และสมการความสัมพันธ์

3.1.2 สถานที่ดำเนินการศึกษา

สำนักงานโครงการก่อสร้างทางหลวงสาย ตาก-ลำปาง ตอน 5

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

3.2.1 การเตรียมการ

- 1). ทำการ Calibrate ชุดเครื่องมือทดสอบต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ
- 2). วางแผนการเก็บตัวอย่าง และ จำนวนตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์
- 3). ทำการรวบรวมข้อมูล และ ขอข้อมูลเพิ่มเติมจากกรมทางหลวง เพื่อนำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า % CBR กับปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบ

3.2.2 การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างดินจากสถานที่ก่อสร้าง โดยจะเก็บตัวอย่างดินจำนวน 30 กิโลกรัม ทุกๆ ระยะทาง 500 เมตร ซึ่งในการเก็บตัวอย่างดินนั้นจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากกองวัสดุหน้างาน แล้วนำกลับมาตากให้แห้งเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง (1 วัน)

3.2.3 การทดสอบและการคำนวณ

3.2.3.1 การทดสอบ Sieve Analysis

การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

(เทียบเท่า AASHTO T 27-70)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1). ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ สำหรับหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กมีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่างๆกับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง วิธีการทดลองนี้ปรับปรุงจาก AASHTO T 27-70

2). วิธีทำ

2.1) การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างอาจจะเป็นดิน หินคลุก หรือ Soil Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง นำตัวอย่างมาลวกให้เข้ากันและแยกด้วยวิธี Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างยังมีความชื้น เพื่อลดการแยกตัว

2.2) การทดลอง

2.2.1) การทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุสำหรับวัสดุเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.)

- 1) ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อน แยกจากกันให้หมด แล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}$ ซ. ซึ่งหามวลตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง เหน้าหรือน้ำยาละลายในภาชนะจนท่วมดินตัวอย่าง แช่ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่ประมาณ 10 นาที ขณะแช่ระวังอย่าให้น้ำระลอกออกจากภาชนะ ถ้าไม่ใช้เครื่องแช่ควรแช่น้ำไว้ในภาชนะสำหรับล้างตัวอย่างด้วยมือ นานประมาณ 3-4 ชั่วโมง เทตัวอย่างลงบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) ถ้าหากมีตัวอย่างขนาดใหญ่ป็นอยู่มาก ควรใช้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 (0.075 มม.) ซ้อนไว้บน เพื่อลดปริมาณตัวอย่างบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) ใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) อีกต่อไปเทตัวอย่างลงในภาชนะ แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}$ ซ.

- 2) นำตัวอย่างไปแช่ในตะแกรงขนาดต่างๆตามต้องการ การแช่นี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง รวมทั้งมีแรงกระแทกขณะแช่ด้วย แช่นานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาทีไม่เกิน 1 % ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาแช่นานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อแช่เสร็จแล้ว ถ้ามีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องไม่มีก้อนตัวอย่างซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่า ตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มม.) ต้องมีตัวอย่างค้ำตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัมต่อ 1,000 ตร.มม. หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) นำตัวอย่างที่ค้ำแต่ละขนาดไปชั่ง

2.2.2) การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุสำหรับวัสดุที่มีขนาดทั้งใหญ่และเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.) อาจทำได้ 2 วิธี

วิธีที่ 1

- 1) ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับก้อนใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่ และส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนหลุดออกจากกันให้หมด โดยใช้ก้อนยางทุบ แล้วนำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มม.) เพื่อแยกส่วนที่ค้ำและผ่านตะแกรง ถ้าตัวอย่างมีมากให้แบ่งทำหลายๆครั้ง
- 2) นำส่วนที่ค้ำตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มม.) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่างๆตามต้องการ
- 3) นำส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มม.) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดหรือแยกตัวอย่างเพียงบางส่วนดำเนินการทดลองตามข้อ 2.2.1

วิธีที่ 2

นำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากข้อ 2.1 ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่าง เพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างไปดำเนินการทดลองตามข้อ 2.2.1 ถ้ามีขนาดก้อนใหญ่มากควรจัดตะแกรงที่จะล้างให้มีขนาดต่างๆลดหลั่นกัน

3) การคำนวณ

3.1) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1) หามวลที่ค้าง (Mass Retained) บนตะแกรงแต่ละขนาด โดยซึ่งหามวลของตัวอย่างที่ ค้างบนแต่ละตะแกรง มวลที่หายไป (เมื่อเอามวลของตัวอย่างที่ค้างในทุกตะแกรง รวมกันแล้ว หักออกจากมวลของตัวอย่างอบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง) คือ มวล ของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) รวมกับน้ำหนักที่ค้างบน Pan

3.1.2) หามวลที่ผ่าน (Mass Passing) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของช่อง มวลที่ค้าง (Mass Retained) ขึ้นไป เอามวลของช่อง Mass Retained บน Pan เป็น ช่อง Mass Passing ของตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.) รวมมวลของ Mass Retained กับมวลช่อง Mass Passing ของตะแกรงถัดขึ้นไป ดำเนินการแบบที่กล่าว มาแล้วนั้นไปเรื่อยๆจนถึงมวล Mass Passing ในบรรทัดบนสุดจะเท่ากับมวลของตัว อย่างแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง

3.1.3) กำหนดหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Percent Passing) ได้ดังนี้

$$\% \text{ ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (กรัม)}}{\text{มวลของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดลอง (กรัม)}} * 100 \quad \dots(3.1)$$

3.2) กำหนดหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดทั้งใหญ่และเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.)

3.2.1) กำหนดหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.)

1) หามวลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด โดยซึ่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละ ตะแกรง มวลที่หายไป (เมื่อเอามวลของตัวอย่างที่ค้างในทุกตะแกรงรวมกัน แล้ว หักออกจากมวลของตัวอย่างที่อบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง) คือ มวลของตัวอย่าง ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ที่ค้างบน Pan

2) หามวลที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด เช่นเดียวกับข้อ 3.1.2

3) กำหนดหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม โดยใช้สูตรเช่นเดียวกับข้อ 3.1.3

3.2.2) กำหนดหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.) เช่นเดียวกับข้อ 3.1

3.2.3) กำหนดหาเปอร์เซ็นต์รวมผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Total Percent Passing) ของ วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ รวมผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก} = \frac{X * Y}{100} \dots(3.2)$$

100

เมื่อ $X =$ เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.)

$Y =$ เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ในการทดลองพวกวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 (4.75 มม.)

4). ข้อควรระวัง

4.1) การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องมือแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องมือที่มีขนาดช่องกว้างประมาณ 1 1/2

เท่าของก้อนโตที่สุด

4.2) ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะที่ยังร้อนอยู่

4.3) ควรตรวจสอบตะแกรงอยู่เสมอ โดยเฉพาะเบอร์ 200 (0.075 มม.)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตะแกรงขนาดต่างๆ (มณฑิเยร กังสติเทียม 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่ขอใช้เท่านั้น เมื่อผู้นานใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 Atterberg 's Limit

1. วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของดิน (เทียบเท่า AASHTO T 89)

1) ขอบข่าย

Liquid Limit (LL) ของดิน คือ ปริมาณของน้ำที่มีอยู่พอดีในดิน ซึ่งทำให้ดินเปลี่ยนจากสถานะ Plastic มาเป็นสถานะ Liquid คิดเทียบเป็นร้อยละของมวลดินอบแห้ง หาได้โดยนำดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 มาผสมกับน้ำ ค่า Liquid Limit คือ ปริมาณของน้ำคิดเป็นร้อยละที่ทำให้ดินในเครื่องมือการทดลอง (Liquid Limit Device) ไหลมาชนกันยาว 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) เมื่อเกาะเครื่องมือการทดลองซึ่งมีจุดตกกระทบสูง 10 มม. จำนวน 25 ครั้ง

2) วิธีทำ

2.1) การเตรียมตัวอย่าง

- 2.1.1) นำตัวอย่างตากแห้งหรืออบแห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60° ซ. มาผสมกันให้ทั่ว แล้วแบ่งด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างดินหรือใช้วิธี Quartering โดยมากทำพร้อมกับทำ Sieve Analysis ใช้ตัวซึ่งคาดว่าจะมีส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 มีมวลประมาณ 300 กรัม
- 2.1.2) ถ้ามีตัวอย่างจับเกาะกันเป็นก้อนให้ใช้เครื่องบด หรือค้อนยางค้อยาบดหรือทุบให้ก้อนดินแตกตัวแต่ต้องไม่ทำให้ส่วนที่เป็นเม็ดแข็งแตก
- 2.1.3) นำดินมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 โดยใช้ตะแกรงเบอร์ 4 ซ้อนข้างบนอีกชั้นหนึ่งเพื่อ ป้องกันก้อนโคล้างบนตะแกรงเบอร์ 40 ใช้เวลาร่อนไม่น้อยกว่า 5 นาที
- 2.1.4) นำดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 40 ทิ้งไปเทดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ใส่ขวดหรือภาชนะใดๆ เขียนป้ายบอกแหล่งและหมายเลขทดลองของวัสดุกำกับด้วยทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) การทดลอง

2.2.1) ให้ตรวจสอบเครื่องมือการทดลอง Liquid Limit ดังนี้

- 1) เครื่องมือทดลองต้องอยู่ในสภาพดีและมีขนาดถูกต้อง (ตามรูปที่ 3.2)
- 2) สลักยึดด้วยกระตาะต้องไม่ตีกหรือจนด้วยกระตาะเอียง
- 3) สกรูยึดด้วยกระตาะจะต้องแน่น
- 4) แนวปาดดินในด้วยกระตาะจะต้องไม่ตีกเป็นร่อง
- 5) ให้ตรวจสอบเครื่องมือปาดร่องดินบ่อยๆเพื่อให้แน่ใจว่าความกว้างของมือนี้ยังคงถูกต้องตามมาตรฐาน
- 6) ให้ตรวจสอบความสูงของด้วยกระตาะที่จะยกขึ้น โดยใช้ค้ำของเครื่องมือปาดร่องดิน ซึ่งมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 มม. วัดระยะตกของด้วยกระตาะให้ได้ 10 มม. ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับโดยการคลายสกรูยึดด้วยกระตาะให้หลวมเสียก่อน ปลดอัยให้ด้วยกระตาะปล่อยวางลงบนที่วัดแล้วจึงขันสกรูให้ยึดแน่นดังเดิม หมุนที่หมุนด้วยกระตาะเร็วๆหลายๆครั้ง ถ้าได้ยินเสียง “ แก๊ก ” เบาๆ แสดงว่า การตักถูกต้องแล้ว แต่ถ้าด้วยกระตาะยังคงสูงขึ้นไปอีกหรือไม่ ได้ยินเสียง “ แก๊ก ” เลย จะต้องปรับเครื่องใหม่

2.2.2) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาเทลงบนแผ่นกระจก ผสมกันให้ทั่วแล้วแต่งเป็นรูปกรวย ใช้ Spatula กดขอบทรงกรวยแล้วหมุนจนครบรอบ เพื่อให้กึ่งวงวัสดุตัวอย่างแบนราบลง ใช้ Spatula แบ่งตัวอย่างเป็น 4 ส่วน นำส่วนตรงข้ามกันรวมกันเพื่อทดลอง ส่วนที่เหลือเก็บไว้ใช้ทดลองเพิ่มเติม

2.2.3) นำตัวอย่างที่แบ่งมานี้ผสมกับน้ำในกระเบื้องเคลือบหรือในแผ่นกระจก เติมน้ำลงไปประมาณ 15-20 มล. ใช้ Spatula ผสมไปมา และบัจจนกระทั่งดินและน้ำผสมกันทั่วแล้วเติมน้ำอีกครั้งละประมาณ 1-3 มล. ผสมให้เข้ากันจนทั่วใช้เวลาในการผสมทั้งหมด 5-10 นาที

2.2.4) เมื่อผสมน้ำและคลุกเคล้ากันจนทั่วแล้ว กะให้เกาะได้ประมาณ 40 ครั้ง นำตัวอย่างใส่ลงในด้วยกระเบื้องเคลือบ ใช้แผ่นกระจกปิดข้างบน ตั้งทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 50 นาที และไม่เกิน 1 ชั่วโมง เพื่อให้ส่วนที่เป็นดินเหนียวดูดซึมน้ำจนทั่ว

2.2.5) นำตัวอย่างใส่ลงในด้วยกระตาะ ใช้ Spatula กดและปาดดิน โดยพยายามปาดให้น้อยครั้งที่สุดและป้องกันไม่ให้ฟองอากาศอยู่ข้างใน ให้ดินตรงกลางด้วยกระตาะหนา 10 มม. และมีรูปร่างดังรูปที่ 3.3 แล้วนำตัวอย่างที่เหลือกลับมาเก็บไว้ในด้วยกระเบื้องเคลือบอย่างเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.2.6) จับยึดด้วยกระแทงให้แน่น ใช้เครื่องมือปาดร่องดินปาดตัวอย่างให้เป็นร่องตรงกลาง ให้ได้ร่องที่สะอาดเรียบร้อย

ในกรณีที่ตัวอย่างค่อนข้างแข็ง หรือมี Plastic Index (PI) ต่ำ การกดเครื่องมือปาดร่องดินลงไปอาจจะทำให้ตัวอย่างทางด้านปลายฉีกหลุด หรือดินเคลื่อนออกจากกัน ดังนั้นให้ค่อยๆปาดจากหน้าไปหลัง และหลังไปหน้า กลับไปกลับมาหลายๆครั้งแต่ต้องไม่เกิน 6 ครั้ง และค่อยปาดเป็นร่องลึกลงไปเรื่อยๆ จนครั้งสุดท้ายแตะกันด้วยพอดีและได้ร่องดินที่สะอาดเรียบร้อย

- 2.2.7) หมุนเคาะด้วยกระแทงด้วยอัตรา 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่งดินเคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกันเป็นระยะ 12.7 มม. ระยะเวลาที่ต้องใช้ทดลองนับตั้งแต่ใส่ตัวอย่างลงในถ้วย กระแทงจนกระทั่งเคาะเสร็จจะต้องไม่เกิน 3 นาที

- 2.2.8) ถ้าไม่แน่ใจว่าการทดลองในข้อ 2.2.7 ถูกต้องหรือไม่ ให้ทำการตรวจสอบโดยรีบนำตัวอย่างมาผสมกันใหม่โดยเร็ว แล้วนำกลับไปทดลองใหม่ ถ้าการเคาะในครั้งนี้นับจำนวนครั้งได้เท่าเดิมหรือต่างกัน 1 ครั้ง ถือว่า การทดลองถูกต้อง แต่ถ้าผิดกันมากกว่านั้น จะต้องนำเอาตัวอย่างมาผสมกันใหม่เพื่อให้แน่ใจได้ผสมกับตัวอย่างจนทั่ว แล้วนำมาทดลองอีกครั้งหนึ่ง การตรวจสอบนี้มีความสำคัญมากในช่วงที่ใส่น้ำลงไปมากๆและตัวอย่างมี PI สูงเพราะตัวอย่างดูดซึมน้ำยังไม่เต็มที่ในขณะที่ทำการทดลองและยังคงดูดซึมน้ำอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้การทดลองมีค่าแตกต่างกัน

- 2.2.9) ทันทีกะแทงจนตัวอย่างเคลื่อนที่มาสัมผัสกันยาว 12.7 มม. ให้ใช้ช้อนตักตัวอย่างผ่านตรงที่ตัวอย่างเคลื่อนที่มาสัมผัสกันตลอดแนวความกว้างของตัวอย่างที่ตั้งฉากกับร่องตัวอย่าง เอาตัวอย่างใส่กระป๋องปิดฝาให้แน่นแล้วนำไปซึ่งหามวล จดจำนวนครั้งที่เคาะไว้ด้วย

- 2.2.10) รวมตัวอย่างจากถ้วยกระแทงมาใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบตามเดิม เติมน้ำลงไปแล้วผสมให้เข้ากัน แล้วดำเนินการตามข้อ 2.2.5 ถึง 2.2.9

- 2.2.11) ทำการทดลอง 4 จุด แต่ละจุดให้การเคาะต่างกันประมาณ 5-7 ครั้ง และจุดต่างๆควรอยู่ระหว่างช่วงดังต่อไปนี้

- จุดที่ 1 ช่วงการเคาะ 35- 40 ครั้ง
- จุดที่ 2 ช่วงการเคาะ 25-35 ครั้ง
- จุดที่ 3 ช่วงการเคาะ 20-30 ครั้ง
- จุดที่ 4 ช่วงการเคาะ 15-25 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการปฏิบัติงานที่กรมที่ดิน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.12) ถ้าหากตัวอย่างเปื่อยเพราะว่าเติมน้ำมากเกินไป แล้วต้องการให้ตัวอย่างแห้งขึ้นให้
เกลี่ยตัวอย่างเบาๆบนแผ่นกระจกผิงลมไว้ชั่วคราว แล้วทำการคลุกผสมกันใหม่ ทำ
เช่นนี้หลายๆครั้ง จนกว่าตัวอย่างจะแห้งตามที่ต้องการแต่อย่าผิงตัวอย่างทิ้งไว้จน
ผิวหน้าแข็งเป็นคราบขึ้น ห้ามใช้วิธีเอาตัวอย่างใหม่ผสมเพิ่มลงไปเพื่อให้ตัวอย่าง
แห้งขึ้น

2.2.13) ตัวอย่างที่ได้กระป๋องหลังจากซั่งหามวลแล้ว นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105-115 ° ซ.
อบจนแห้ง และมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำออกจากเตาอบทิ้งไว้จนเย็นแล้วซั่งหามวลอบ
แห้ง คำนวณหาปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างแต่ละจุด

3) การคำนวณ

คำนวณหาปริมาณน้ำในดินจากสูตร

$$w = \frac{\text{มวลของน้ำในดิน (กรัม)}}{\text{มวลของดินอบแห้ง (กรัม)}} * 100 \quad \dots (3.3)$$

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

4) ข้อควรระวัง

4.1) ดินตัวอย่างที่มี PI ต่ำ เช่น Silty Clay หรือ Sandy Clay ขณะที่ปริมาณน้ำในดินน้อยๆ การ
เคลื่อนที่ของตัวอย่างเข้าติดกันในร่อง อาจจะไม่ใช่การเคลื่อนที่ (Flow) เข้าสัมผัสกันอย่างแท้
จริง แต่เกิดจากปริมาณน้ำในดินน้อยเกินไป ตัวอย่างจึงไม่ยึดเกาะพื้นด้วยกระตาะที่ปรากฏ
ให้เห็นเคลื่อนที่เข้าติดกันนั้นอาจเป็นเพราะตัวอย่างเลื่อนไถล (Slip) มาชนกัน ให้ตรวจสอบ
โดยใช้ Spatula ถ่างดูตรงที่ตัวอย่างชนกัน ถ้าปรากฏว่าตัวอย่าง “ชนกัน” เฉยๆไม่ “ติด
เป็นเนื้อเดียว” แสดงว่าเกิดการ Slip ขึ้น ให้เติมน้ำแล้วทดลองใหม่

4.2) ในการเตรียมตัวอย่างทดลอง จะต้องแน่ใจว่า Sand Grains และ Clay Lumps ต่างๆ แยก
ออกจากกันจนสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.) ได้ อย่าอบตัวอย่างที่อุณหภูมิเกิน
60° ซ. เพราะจะทำให้ค่า PI และ LL ของวัสดุบางชนิดลดลง และ Organic Matters อาจจะถูก
เผาไหม้

4.3) ให้เก็บตัวอย่างทันทีเมื่อตัวอย่างเคลื่อนที่เข้ามาติดกันยาว 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) แล้วรีบซั่งหา
มวล เนื่องจากปริมาณน้ำในดินมีจำนวนน้อยอยู่แล้ว การเก็บรอไว้จะทำให้ น้ำระเหยออกไป
โดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องทำงานหรือห้องดินที่มีอากาศร้อน การระเหยของน้ำจะมีมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.4) ห้ามผสมตัวอย่างกับน้ำในถ้วยกระเทาะของเครื่องมือทดลอง แต่ให้ผสมตัวอย่างในถ้วยกระเบื้องเคลือบ หรือบนแผ่นกระจก
- 4.5) ให้วางเครื่องมือทดลองกับพื้นราบทุกครั้งในขณะที่หมุนเครื่อง ห้ามใช้มืออุ้มเครื่องขึ้นเพื่อหมุน ทดลอง
- 4.6) น้ำที่ใช้ทดลองจะต้องเป็นน้ำสะอาด เช่น น้ำกลั่น น้ำฝน หรือน้ำประปา

2. วิธีการทดลองค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน

(เทียบเท่า AASHTO T 90)

1) ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ ปรับปรุงจาก AASHTO T 90 อธิบายถึง การหาค่าจํานวนน้ำต่ำสุดในดินเมื่อดินนั้นยังคงอยู่ในสภาพ Plastic โดยการนำดินมาคลึงเป็นเส้นให้แตกตัวที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว)

2) วิธีทำ

2.1) การเตรียมตัวอย่าง

ดำเนินการตามวิธีการเตรียมตัวอย่างของวิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit ของดิน

2.2) การทดลอง

2.2.1) นำตัวอย่างขนาด 8 กรัมมาคลุกขยี้ย่ำให้เข้ากันจนทั่ว แล้วทำเป็นรูปยาวรี (Ellipsoidal Shape)

2.2.2) ใช้นิ้วมือคลึงตัวอย่างออกเป็นเส้น โดยใช้น้ำหนักกดลงแต่เพียงพอดีในอัตราการคลึง 80 ถึง 90 เที้ยวต่อนาที (คลึงไปและกลับนับ 1 เที้ยว) ให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นมีขนาดเท่ากันเสมอโดยตลอด เส้นตัวอย่างจะค่อยๆ ยาวออกและเส้นผ่านศูนย์กลางจะค่อยๆ เล็กลง

2.2.3) เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างเล็กลงจนเท่ากับ 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) และเส้นตัวอย่างแตกพอดี ให้ดำเนินการตามข้อ 2.2.11

2.2.4) ถ้าเส้นตัวอย่างยังไม่แตก เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดเล็กลงถึง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ให้หักเส้นตัวอย่างออกเป็น 6 หรือ 8 ชิ้น ใช้นิ้วขยี้และขยี้ทั้ง 2 มือจนเข้ากันดี แต่คงเป็นรูปยาวรีแล้วคลึงใหม่เช่นเดียวกับข้อ 2.2.2

2.2.5) ถ้าดำเนินการตามข้อ 2.2.4 แล้วเส้นตัวอย่างยังคงไม่แตก ให้ดำเนินการตามวิธี 2.2.4 ซ้ำใหม่ จนกระทั่งเส้นตัวอย่างแตก ไม่สามารถคลึงต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.2.6) ถ้าการแตกของเส้นตัวอย่างตามข้อ 2.2.4 เกิดขึ้นเมื่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางเกินกว่า 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) และเส้นตัวอย่างนั้นเคยลึงได้ขนาด 3.2 มม. มาก่อนแล้ว ให้ดำเนินการตามข้อ 2.2.11 ได้
- 2.2.7) การแตกของเส้นตัวอย่าง จะแสดงลักษณะการผิแตกกันไปสุดแล้วแต่ชนิดของดิน ดินแต่ละชนิดอาจแตกออกเป็นก้อนเล็กๆ มากมาย บางชนิดแตกออกเป็นลักษณะทรงกระบอก โดยเริ่มต้นแตกปรือออกจากปลายทั้ง 2 ข้างก่อน แล้วจึงแตกติดต่อไปตรงกลาง จนในที่สุดเส้นตัวอย่างจะแตกออกเป็นชิ้นตัวอย่างเล็กๆ หรืออาจแตกในลักษณะอื่นก็ได้
- 2.2.8) การปฏิบัติตามข้อ 2.2.4 สำหรับดินที่เหนียวมาก ในการคลึงให้เป็นเส้นในแต่ละครั้ง การคลึงครั้งหลังๆ จำเป็นต้องเพิ่มน้ำหนักมากขึ้น ตัวอย่างดินชนิดนี้เมื่อแตกจะแตกออกเป็นลักษณะปล้องๆ มีขนาดยาว 6.0 ถึง 10.0 มม. (1/4 ถึง 3/4 นิ้ว)
- 2.2.9) ในการคลึงแต่ละครั้ง ตามข้อ 2.2.4 ห้ามเปลี่ยนอัตราเร็ว หรือเปลี่ยนน้ำหนักการคลึง หรือเปลี่ยนทั้ง 2 อย่าง เพื่อต้องการให้เส้นผ่านศูนย์กลางแตกที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม.
- 2.2.10) สำหรับตัวอย่างที่มี Plasticity น้อยๆ ในครั้งแรกควรทำดินตัวอย่างให้มีลักษณะยาวรี และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 3.2 มม. เล็กน้อย
- 2.2.11) รวบรวมตัวอย่างที่แตกทั้งหมดลงในกระป๋องปิดฝา รีบนำไปซังแล้วบันทึกผลไว้ และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}$ ซ. นำไปซัง บันทึกมวลดินแห้งหามวลที่หายไป และถือว่าเป็นมวลของน้ำ
- 2.2.12) ให้ทำการทดลองตัวอย่างๆ ละอย่างน้อย 2 ครั้ง แต่ผลต่างของค่า Plastic Limit (PL) จะต้องไม่เกิน 2%

3) การคำนวณ

คำนวณหาค่า Plastic Limit (PL) และค่า Plasticity Index (PI) ได้จากสูตร

$$\text{Plastic Limit (PL)} = \frac{\text{มวลของน้ำ (กรัม)}}{\text{มวลของดินแห้ง (กรัม)}} * 100\% \quad \dots (3.4)$$

$$\text{Plasticity Index (PI)} = \text{LL} - \text{PL} \quad \dots (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

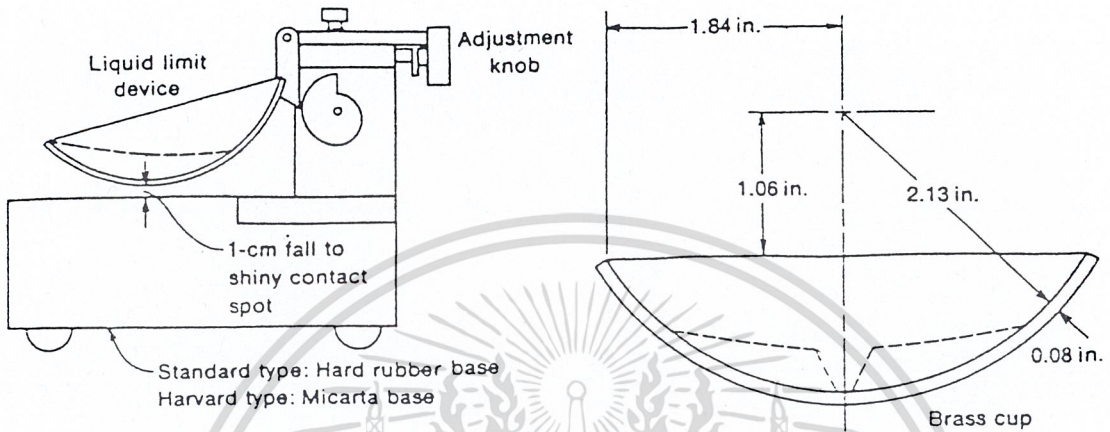
4) ข้อควรระวัง

- 4.1) ในการทดลองแต่ละครั้ง ให้แต่งดินที่ใช้เป็นตัวอย่างยวรีก่อนกลึง น้ำหนักนิ้วมือและความเร็วที่ใช้คลึงต้องเหมือนกัน
- 4.2) ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง ให้ชั่งน้ำหนักทันที มิฉะนั้นน้ำจะระเหยหายไป
- 4.3) ตัวอย่างดินพวก Silt หรือพวก PI ต่ำๆ จะทำลำบากมาก ก่อนคลึงให้แต่งดินก่อนเป็นแท่งยาว น้ำหนักที่ต้องใช้กดคลึงต้องเบา มิฉะนั้นแท่งตัวอย่างจะแตกทันที และระหว่างคลึงอาจจะต้องคอยช้อนนำตัวอย่างที่ออกมาจากตัวอย่างมาตีแผ่บนกระจก
- 4.4) ในกรณีที่ตัวอย่างมีทรายปนมาก ให้หาค่า Plastic Limit ก่อนค่า Liquid Limit ถ้าเป็น Non-Plastic จะไม่ต้องทดลองหาค่า Liquid Limit

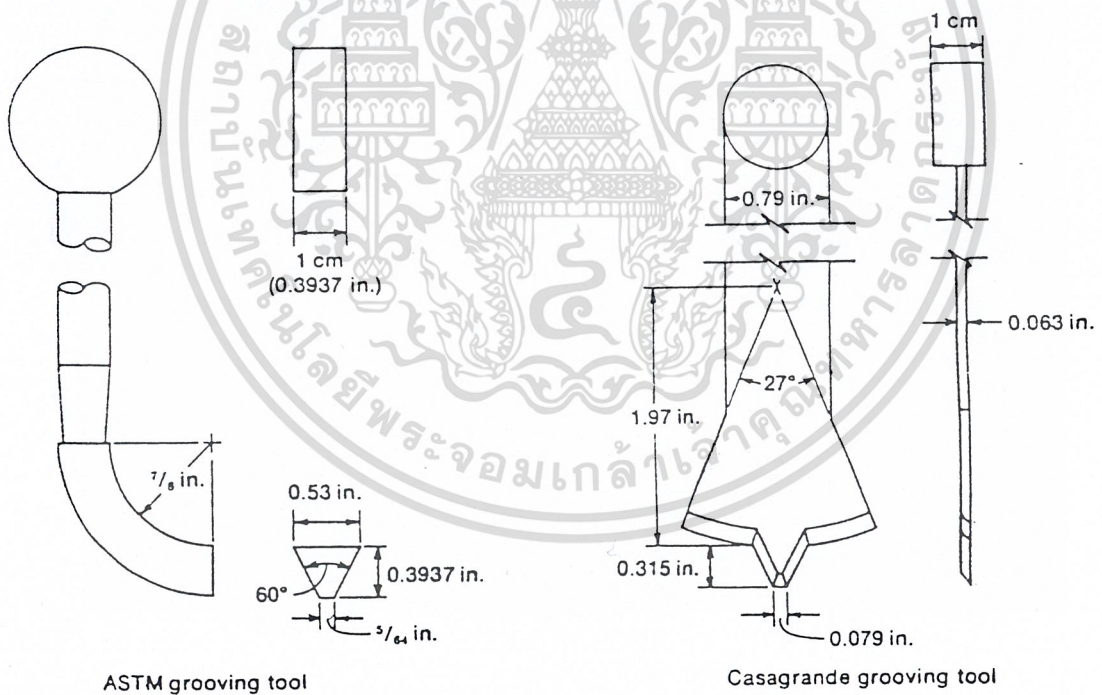
เครื่องมือและวิธีการที่ใช้ในการทดสอบค่า Liquid Limit และค่า Plastic Limit ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ,3.3 และ3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Construction details and dimensions of the Liquid limit device.

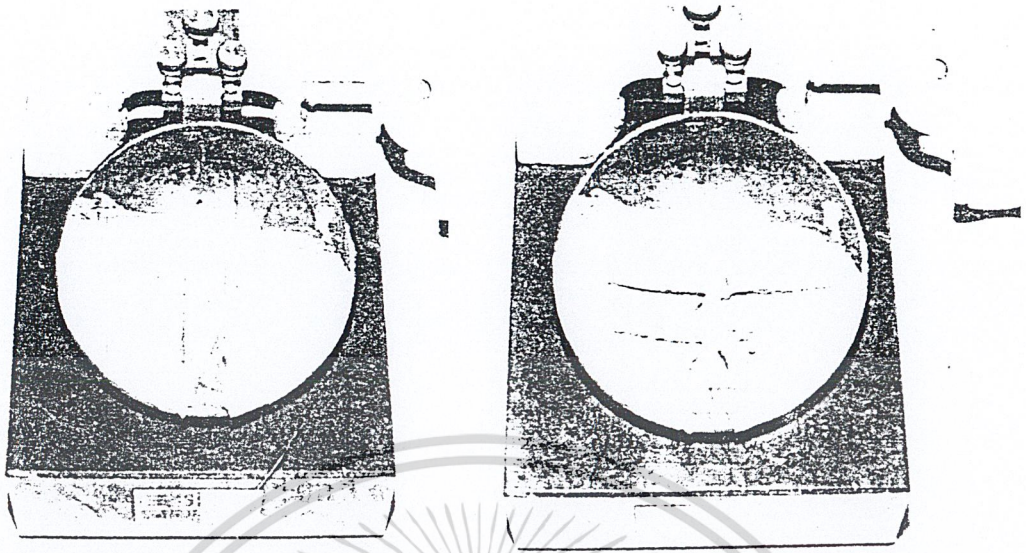


(b) Grooving tools

รูปที่ 3.2 เครื่องมือเคาะหาค่า Liquid Limit

(ดร.วรากร ไม้เรียง 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ก่อนเคาะ

ข. หลังเคาะ

รูปที่ 3.3 การเคลื่อนตัวของมวดคินบริเวณรอยบาก
(ดร.วรากร ไม้เรียง 1982)



รูปที่ 3.4 การทดสอบหาค่า Plastic Limit

(ดร.วรากร ไม้เรียง 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.3 Compaction Test

1. การทดลอง Compaction Test มาตรฐาน

(เทียบเท่า AASHTO T99)

1). ขอบข่าย

การทดลอง Compaction วิธีนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับดินในแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ ด้วยก้อนหนัก 2.494 กิโลกรัม (4.5 ปอนด์) ระยะปล่อยตก 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว)

วิธี ก. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มม. (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว)

วิธี ข. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มม. (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว)

วิธี ค. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มม. (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4)

วิธี ง. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มม. (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4)

หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี ก.

2). วิธีทำ

2.1) การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าง ได้แก่ ดิน หินคลุก หรือ Soil-Aggregate หรือวัสดุอื่นที่ต้องการทดลองให้ดำเนินการดังนี้

2.1.1) ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด (Maximum Size) มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

1) นำตัวอย่างมาทำให้แห้ง โดยวิธีการตากแห้งผึ่งอากาศให้แห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อให้เห็นแห้งพอเหมาะสมแล้ว (มีน้ำประมาณ (2-3 %) แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงแบ่งเป็น 3 ขนาด คือ

-ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว)

-ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4)

-ขนาดเล็กกว่า 4.75 มม. (เบอร์ 4)

2) ทำการหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1(1) ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีจำนวนอยู่ขนาดละเท่าใด

3) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไป

4) แทนที่มวลของตัวอย่างในข้อ 2.4.1 (3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากับตัวอย่าง เช่นมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม. เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดที่เล็กกว่า 19.0 มม. ตามที่มีจริง

5) คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.1.1 (4) ให้เข้ากัน

2.1.2) ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุดมีขนาดเล็กกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้ง โดยวิธีการตากแห้งผึ่งอากาศให้แห้ง (มีน้ำประมาณ 2-3 %) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) และคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.1.3) ถ้าต้องการทดสอบตามวิธี ก. หรือ ง. ดังกล่าวในขอบข่าย ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้ง โดยวิธีการตากแห้งผึ่งอากาศ แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกันและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) คลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.1.4) ชั่งตัวอย่างที่ได้เตรียมจากข้อ 2.1.1 หรือ 2.1.2 หรือ 2.1.3 แล้วแต่กรณีให้ได้มวลดังต่อไปนี้

1) ถ้าใช้แบบขนาดเล็กตามข้อ 2.1.1 (1) ให้ใช้มวลประมาณ 3,000 กรัม สำหรับการทดสอบ 1 ครั้ง

2) ถ้าใช้แบบขนาดใหญ่ตามข้อ 2.1.1 (2) ให้ใช้มวลประมาณ 6,000 กรัม สำหรับการทดสอบ 1 ครั้ง

2.1.5) ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.1.4 ให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

2.2) การทดสอบ

การทดสอบ Compaction Test จะใช้แบบขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการวิธีต่างๆ ดังกล่าวในขอบข่าย แล้วให้ดำเนินการทดสอบดังต่อไปนี้

2.2.1) นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมาคลุกเคล้าจนเข้ากันได้ดี

2.2.2) เติมน้ำจำนวนหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นประมาณ 4 % ต่ำกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content)

2.2.3) คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้วด้วยมือ หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากัน

2.2.4) แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยให้ดินแต่ละชั้น เมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 3 ของ 127 มม. (4 นิ้ว)

2.2.5) ทำการบดทับโดยค้อนดังนี้

- ตามวิธี ก. และ ค. จำนวน 25 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.2.6) ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดแล้วเป็นชั้นๆจำนวน 3 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มม. (5 นิ้ว) (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มม.)
- 2.2.7) ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่ากับระดับของตอบนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มม.) กรณีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่าง และมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก (A)
- 2.2.8) ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดิน เพื่อนำไปทดลองการหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดิน ให้ใช้ดังนี้
- ขนาดก้อนที่ใหญ่ที่สุด 19.0 มม. ใช้ประมาณ 300 กรัม
 - ขนาดก้อนที่ใหญ่ที่สุด 4.75 มม. ใช้ประมาณ 100 กรัม
- 2.2.9) คำนวณหาค่าความแน่นเปียก ρ_t (Wet Density) และความหนาแน่นแห้ง ρ_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน w (Moisture Content)
- 2.2.10) ดำเนินการตามข้อ 2.2.1 ถึงข้อ 2.2.9 โดยเพิ่มปริมาณน้ำในดินขึ้นอีกครั้งละ 2% จนกว่าจะได้ความหนาแน่นลดลง จึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เพิ่มน้ำแล้วได้ความหนาแน่นลดลง เพื่อให้เขียน Curve ได้
- 2.2.11) เขียน Curve ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (ρ_d) และปริมาณน้ำในดิน (w) ก็จะทราบความแน่นแห้งสูงสุด $\text{Max. } \rho_d$ (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด OMC. (Optimum Moisture Content)

3). การคำนวณ

3.1) คำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$w = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} * 100 \quad \dots (3.6)$$

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) คำนวณหาค่าความหนาแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{A}{V} \quad \dots (3.7)$$

เมื่อ ρ_t = ความหนาแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ หรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร

3.3) คำนวณหาค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1+w} \quad \dots (3.8)$$

เมื่อ ρ_t = ความหนาแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิเมตร

ρ_d = ความหนาแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิเมตร

w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

4). ข้อควรระวัง

- 4.1) การประมาณปริมาณน้ำที่ใช้ผสมสำหรับดินเหนียว (Cohesive Soil) ควรใช้ปริมาณต่ำกว่า และสูงกว่า ปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดที่ประมาณไว้ สำหรับดินทราย (Cohesive Soil) ควรเริ่มจากดินตาดกแห้ง แล้วค่อยๆ เพิ่มปริมาณน้ำขึ้น ทีละน้อย เพื่อให้ได้จำนวนจุดที่จะไปเขียน Curve มากที่สุด
- 4.2) ในการใช้ค้อนทำการบดทับให้วางแบบบนพื้นที่ที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น คอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดอนขึ้นขณะทำการตอก
- 4.3) ให้ใช้จำนวนตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดลองทางด้านแห้งกว่าจำนวนน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดประมาณ ไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีจุดทดลองทางด้านเปียกกว่า จำนวนน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดประมาณ 1 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.4) สำหรับดินที่เหนียวมากหลังจากการตากแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยาง หรือนำเข้าเครื่องบดจนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
- 4.5) ปริมาตรของแบบ (V) ให้ทำการวัดและทำการคำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ

2. การทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

(เทียบเท่า AASHTO T180)

1). ขอบข่าย

การทดลอง Compaction วิธีนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับในแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ด้วยค้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มม. (18 นิ้ว)

วิธี ก. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มม. (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว)

วิธี ข. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มม. (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว)

วิธี ค. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มม. (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4)

วิธี ง. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มม. (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4)

หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี “ก”

2). วิธีทำ

2.1) การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าง ได้แก่ ดินหรือหินคลุก หรือ Soil-Aggregate หรือ วัสดุอื่นใดที่การทดลองให้ดำเนินการดังนี้

2.1.1) ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุด (Maximum Size) มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังนี้

1) นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีน้ำประมาณ 2-3 %) นำมาร่อนผ่านตะแกรงเป็น 3 ขนาด คือ

- ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว)

- ขนาดระหว่าง 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4)

- ขนาดเล็กกว่า 4.75 มม. (เบอร์ 4)

2) ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 2.1.1 (1) ก็จะทราบว่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมทางหลวงชนบท หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2916-1111 หรือ 0-2916-1112

- 3) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไป
 - 4) แทนที่ของตัวอย่างในข้อ 2.1.1 (3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มม.(3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม. เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัมที่เหลือจะเป็นขนาดเล็กกว่า 19.0 มม. ตามที่มีจริง
 - 5) คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.1.1 (4) ให้เข้ากัน
- 2.1.2) ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้ง โดยวิธีตากแห้ง (มีน้ำประมาณ 2-3 %) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน
 - 2.1.3) ถ้าต้องการทดลองตามวิธี ค. หรือ ง. ดังกล่าวในขอบข่าย ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้ง โดยวิธีตากแห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดออกจากกัน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน
 - 2.1.4) ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.1.1 หรือ 2.1.2 หรือ 2.1.3 แล้วแต่กรณีให้ได้มวลประมาณ ดังนี้
 - 1) ถ้าใช้แบบขนาดเล็กตามข้อ 2.1.1 (1) ให้ใช้มวล 3,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง
 - 2) ถ้าใช้แบบใหญ่ตามข้อ 2.1.1 (2) ให้ใช้มวล 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง
 - 2.1.5) ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.1.4 ให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดลองได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง
- 2.2) การทดลอง
- การทดลอง Compaction Test จะใช้แบบขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการตามวิธีต่างๆ ดังกล่าวในขอบข่าย และให้ดำเนินการทดลองดังนี้
- 2.2.1) นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี
 - 2.2.2) เติมน้ำปริมาณหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นที่ประมาณ 4 % ต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content)
 - 2.2.3) คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี
 - 2.2.4) แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยประมาณให้ดินแต่ละชั้น เมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 4 ของ 127 มม. (5 นิ้ว)
 - 2.2.5) ทำการบดทับโดยค้อนดังนี้
 - ตามวิธี ก. และ ค. จำนวน 25 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และแจ้งจำนวน 56 ครั้งเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.2.6) ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้นๆจำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มม.- 5 นิ้ว (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มม.)
- 2.2.7) ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของตอมบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มม.) กรณีมีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่างแล้วใช้ค้อนยางทุบให้แน่นพอควร นำไปซึ่งจะได้มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก (A)
- 2.2.8) ในขณะที่เดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดิน เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินให้ใช้ ดังนี้
- ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มม. ใช้ประมาณ 300 กรัม
 - ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มม. ใช้ประมาณ 100 กรัม
- 2.2.9) คำนวณหาค่าความแน่นเปียก ρ_i (wet density) และความแน่นแห้ง ρ_d (dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน w (Moisture Content)
- 2.2.10) ดำเนินการตามข้อ 2.2.1 ถึง ข้อ 2.2.9 โดยเพิ่มน้ำขึ้นอีกครั้งละ 2 % จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความแน่นลดลงเพื่อให้เขียน curve ได้
- 2.2.11) เขียน curve ระหว่างความแน่นแห้ง ρ_d และปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ w ก็จะทราบความแน่นแห้งสูงสุด $\text{Max. } \rho_d$ (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด OMC (Optimum Moisture Content)

3). การคำนวณ

3.1) คำนวณหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$w = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} * 100 \quad \dots (3.9)$$

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็น กรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็น กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{A}{V} \quad \dots(3.10)$$

เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็น กรัมต่อมิลลิลิตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็น กรัม

V = ปริมาตรของแบบ หรือ ปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร

3.3) คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{w}{100}} \quad \dots (3.11)$$

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็น กรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็น กรัมต่อมิลลิลิตร

w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

4). ข้อควรระวัง

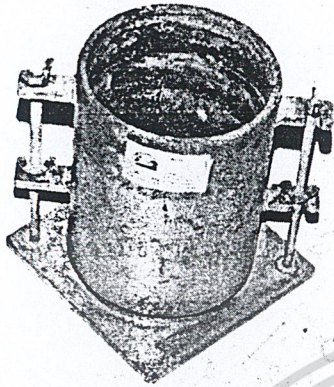
- 4.1) การประมาณปริมาณน้ำในดินเมื่อใช้ผสมสำหรับดินจำพวก Cohesive Soil ควรใช้ระยะต่ำกว่า และสูงกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุดที่ประมาณไว้ สำหรับดินจำพวก Cohesionless Soil ควรใช้ปริมาณน้ำในดินจากสภาพดินตกแห้ง จนกระทั่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้
- 4.2) ในการใช้ก้อนทำการบดทับ ให้วางแบบบนพื้นที่ยึดคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น คอนกรีต ไม่ให้แบบกระดอนขึ้นขณะทำการตอก
- 4.3) ให้ใช้จำนวนตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดลองทางด้านแห้งกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุดไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีจุดทดลองทางด้านเปียกกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุด 1 ตัวอย่าง
- 4.4) สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยาง หรือ นำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ให้มากที่สุดเท่าที่จะมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

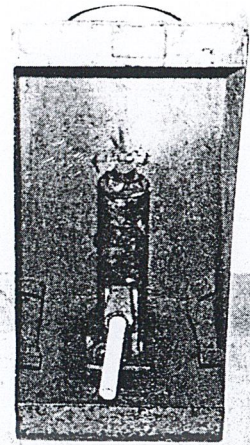
4.5) ปริมาตรของแบบ (V) ให้ทำการวัดและคำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการบดอัดดังแสดงในรูปที่ 3.5



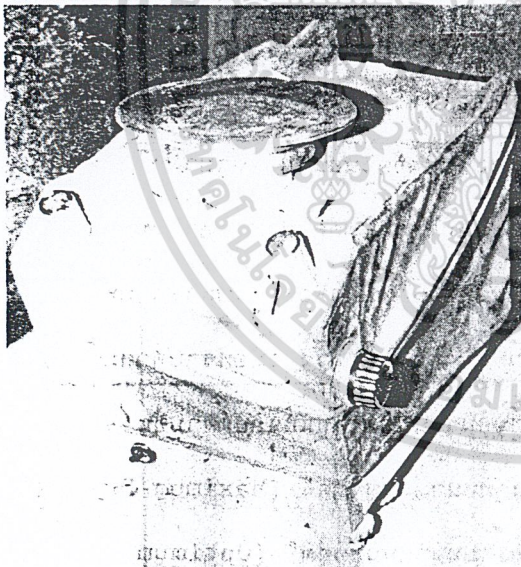
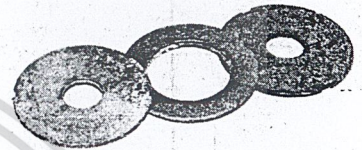
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOLD



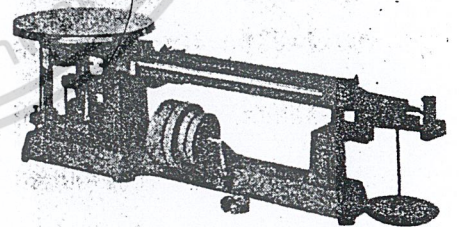
SAMPLE EJECTOR



PRECISION BALANCE



HAMMER



BALANCE

รูปที่ 3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการบดอัด

(ดร.วรกร ไม้เรียง 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.4 California Bearing Ratio

การทดลองเพื่อหาค่า CBR

(เทียบเท่า AASHTO T 193)

1). ขอบข่าย

วิธีการทดลอง CBR วิธีนี้เป็นวิธีการทดลองที่กำหนดขึ้น เพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการบดทับวัสดุอย่างนั้นโดยใช้ต้อนบดทับในแบบที่ Optimum Moisture Content หรือปริมาตรในดินใดๆเพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนใช้ควบคุมงาน ในการบดทับให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

การทดลอง CBR อาจทำได้ 2 วิธี

วิธี ก. การทดลองแบบแช่น้ำ (Soaked)

วิธี ข. การทดลองแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked)

ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้ “ วิธี ก ”

2). วิธีทำ

2.1) การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างได้แก่ ดิน หินคลุก หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง ให้ดำเนินการดังนี้

2.1.1) ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. ให้เตรียมตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

1) นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีปริมาณน้ำในดินประมาณ 2-3 %) นำมาร้อนผ่านตะแกรงแบ่ง เป็น 3 ขนาด คือ

- ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม.
- ขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม.
- ขนาดเล็กกว่า 4.75 มม.

2) ทำการชั่งหามวลของแต่ละขนาด ที่เตรียมได้จากข้อ 2.1.1 (1) ก็จะทราบว่ามีมวลของ ตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด

3) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. ให้ทิ้งไป

4) แทนที่ตัวอย่างในข้อ 2.1.1 (3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม. ด้วยมวลที่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มม. อยู่ 2,650 กรัมก็ให้ใช้ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างขนาดระหว่าง 19.0 มม. ถึงขนาด 4.75 มม. เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดที่เล็กกว่า 19.0 มม.ตามที่มีจริง

5) คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.1.1 (4) ให้เข้ากัน

2.1.2) ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มม. ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีปริมาณน้ำในดินประมาณ 2-3 %) และทำ Quartering

2.1.3) ถ้าต้องการทดลอง โดยใช้ตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบให้หลุดออกจากกันและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. คลุกตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงให้เข้ากัน

2.1.4) ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.1.1 หรือ 2.1.2 หรือ 2.1.3 แล้วแต่กรณี ให้มีมวลประมาณ 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ตัวอย่าง

2.1.5) ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.1.4 ให้เตรียมไว้ 3 ตัวอย่างในการทดลองแต่ละครั้ง

2.2) การทดลอง

2.2.1) การเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดลอง

1) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วจากข้อ 2. มาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

2) โดยวิธีการทดลอง Compaction Test จะทราบปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุดให้ใช้ ปริมาณน้ำในดินดังนี้

- เปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างกับปริมาณน้ำในดินที่คำนวณ ได้จากการอบตัวอย่าง จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ ให้ใช้ค่าเฉลี่ยจากการทดลองดังกล่าวเป็นค่าปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง เพิ่มน้ำเข้าไปในตัวอย่างที่เตรียมไว้ จนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด

- กรณีที่คาดว่าปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างที่เตรียมไว้ เพื่อทำการทดลอง CBR อาจจะไม่เท่ากับที่ทำ Compaction Test ให้หาปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่จริง โดยการอบหรือคั่วให้แห้ง ก็จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง ให้เพิ่มน้ำจนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด

3) เติมน้ำตามที่คำนวณได้จากข้อ 2.2.1 (2)

4) คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

5) นำแท่งโลหะรองใส่ลงในแบบ ซึ่งสวมปลอกเรียบร้อยแล้วและใส่กระดาษกรองลงบนแท่งโลหะรอง

6) แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบ โดยประมาณให้ตัวอย่างแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 4 ของ 127.0 มม. (5 นิ้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) ทำการบดทับโดยใช้ค้อน จำนวน 12 ครั้ง โดยเฉลี่ยการบดทับให้สม่ำเสมอเต็มหน้าที่ย
บดทับ
- 8) ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำกรบดทับแล้วเป็นชั้นๆจำนวน 5 ชั้น มีความสูง
ประมาณ 127.0 มม. (5 นิ้ว) หรือสูงกว่าแบบประมาณ 10.0 มม.
- 9) ถอดปลอก(Collar)ออกใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับตอมบนของแบบ(เหลือ
ความสูงเท่ากับ 116.4 มม.) กรณีมีหลุมบนหน้าให้เติมตัวอย่างใช้เหล็กปาดวางทับ
แล้วใช้ค้อนยางทุบจนกระทั่งเหล็กปาดยุบลงถึงขอบแบบ
- 10) คลายสกรูที่ยึดระหว่างแผ่นฐาน (Base Plate) และแบบ ยกแบบพร้อมตัวอย่างที่บดทับ
แล้วออกนำแท่งโลหะรองออกจากแผ่นฐาน วางกระดาษกรองแผ่นใหม่ลงบนแผ่น
ฐาน พลิกแบบโดยให้ด้านล่างของแบบอยู่ด้านบน นำเข้าประกอบกับแผ่นฐาน ชัน
สกรูและใส่ปลอกเข้าที่ก็จะได้ตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับทำการทดลองเพื่อหาค่า CBR
ต่อไป
- 11) ทำการเตรียมตัวอย่างอีก 2 ตัวอย่าง โดยทำการบดทับแต่ละชั้นด้วยค้อนจำนวน 25 ครั้ง
และ 56 ครั้ง ตามวิธีการข้างต้นก็จะได้ตัวอย่างทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง โดยมีค่าการบดทับ
เท่ากับ 12 ครั้ง 25 ครั้ง และ 56 ครั้ง ต่อชั้น

2.2.2) การหาความแน่นในการบดทับและปริมาณน้ำในดิน

- 1) นำตัวอย่างพร้อมแบบที่เตรียมไว้จากข้อ 2.2.1 (11) ไปชั่งจะได้มวลของตัวอย่างและ
มวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของตัวอย่างเปียก (A)
- 2) ในขณะที่เดียวกับที่ทำกรบดทับตัวอย่างในแบบตามข้อ 2.2.1 ให้นำตัวอย่างใส่กระป๋อง
อบตัวอย่าง เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของตัวอย่างที่นำไปหา
ปริมาณน้ำในดินใช้ดังนี้
 - ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มม. ใช้ประมาณ 300 กรัม
 - ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มม. ใช้ประมาณ 100 กรัม
- 3) คำนวณค่าความแน่นเปียก ρ_w (Wet Density) และค่าความแน่นแห้ง ρ_d (Dry
Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน w (Moisture Content)

2.2.3) การหาค่าการขยายตัว (Swell)

- 1) นำแผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plate) พร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 อัน สำหรับ
วัสดุพื้นทาง (Base) วัสดุรองพื้นทาง (Subbase) และวัสดุคัดเลือก (Selected
Materials) และ 3 อันสำหรับวัสดุ Subgradeวางลงบนตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วตามข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 (10) ให้แนบสนิทกับตัวอย่างโดยขยับไปมา แล้วนำลงแช่ในน้ำให้ท่วมตัวอย่าง ให้หมด วางก้านสามขา (Tripod) ลงบนปดของแบบ จัดให้ก้านของ Dial Gauge อยู่กึ่งกลางบนก้านของแผ่นวัดการขยายตัว จด Initial Reading ที่อ่านได้จาก Dial Gauge แชน้ำทิ้งไว้ บันทึกวันและเวลาที่อ่าน Reading บน Dial Gauge และอ่าน Reading บน Dial Gauge ทุกๆวัน เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัว (Swell) ในการอ่าน Reading บน Dial Gauge แต่ละครั้ง ถ้าจำเป็นต้องตั้งสามขาใหม่ ให้พยายามตั้งให้ขาของสามขาและแกนของ Dial Gauge อยู่ที่เดิมเช่นเดียวกับการอ่าน Initial Reading โดยทำเครื่องหมายไว้ที่ปด

- 2) เมื่อครบกำหนด 4 วัน ถึงแม้ว่าการขยายตัวยังเพิ่มอยู่เรื่อยๆ เช่น ดินเหนียว หรืออาจจะเร็วกว่า 4 วัน เมื่อปรากฏว่าไม่มีการขยายตัว เช่น ทราย (เมื่ออ่านค่าการขยายตัวแต่ละวันแล้ว) ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยกแผ่นวัดการขยายตัวพร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนัก ออก ตะแคงแบบให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที ระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหาย โดยเฉพาะวัสดุจำพวก Granular Material เสร็จแล้วทำการชั่งหามวล เมื่อหักมวลของแบบออกก็จะทราบมวลของตัวอย่างภายหลังแช่น้ำแล้ว นำตัวอย่างที่เตรียมไว้เพื่อทดสอบ Penetration Test ต่อไปโดยทันที

2.2.4) การทดสอบ Penetration Test เพื่อหาค่า CBR

- 1) ถ้าต้องการทดสอบโดยวิธีไม่แช่น้ำ (Unsoaked) ไม่ต้องดำเนินการหาค่าการขยายตัว (Swell) ตามข้อ 2.2.3 ให้นำตัวอย่างหลังจากการชั่งหามวลตามข้อ 2.2.2 มาทดสอบ Penetration Test ได้ทันที
- 2) นำตัวอย่างตามข้อ 2.2.3 (2) หรือ 2.2.4 (1) แล้วแต่กรณีมาใส่แผ่นถ่วงน้ำหนัก จำนวน 2 อัน สำหรับวัสดุพื้นทาง (Base) วัสดุรองพื้นทาง (Subbase) และวัสดุคัดเลือก (Selected Material) และ 3 อัน สำหรับวัสดุ Subgrade ลงบนตัวอย่าง
- 3) นำตัวอย่างขึ้นตั้งบนที่ตั้งของเครื่องกด ตั้งให้ท่อนกดอยู่ตรงพอดีกับกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก
- 4) หมุนเครื่องหรือเดินเครื่องหรือปั๊ม แล้วแต่ลักษณะของเครื่องกดให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้นหรือท่อนกดเคลื่อนลง จนท่อนกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่าง มีแรงกดประมาณ 4 กก. (40 นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving Ring หรือหน้าปัดของเครื่องวัดแรงให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งตั้งหน้าปัดของ Dial Gauge ที่วัด Penetration ให้เป็นศูนย์ด้วย การที่ให้มึแรงกดประมาณ 4 กก. (40 นิวตัน) เพื่อให้แน่ใจว่าท่อนกดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมการขนส่งทางบก ซึ่งสงวนไว้เพื่อใช้ในการดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เพิ่มแรงลงบนท่อนกค ตามวิธีการของเครื่องกคนั้นด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 มม. (0.05 นิ้ว) ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับ นาฬิกาจับเวลา

6) ทำการบันทึกแรงกค เมื่อ Penetration อ่านได้ที่

- 0.63 มม. (0.025 นิ้ว)

- 1.27 มม. (0.050 นิ้ว)

- 1.90 มม. (0.075 นิ้ว)

- 2.54 มม. (0.100 นิ้ว)

- 3.17 มม. (0.125 นิ้ว)

- 3.81 มม. (0.150 นิ้ว)

- 4.44 มม. (0.175 นิ้ว)

- 5.08 มม. (0.200 นิ้ว)

- 6.35 มม. (0.250 นิ้ว)

- 7.62 มม. (0.300 นิ้ว)

- 8.89 มม. (0.350 นิ้ว)

- 10.16 มม. (0.400 นิ้ว)

- 11.43 มม. (0.450 นิ้ว)

- 12.70 มม. (0.500 นิ้ว)

เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกค ยก แผ่นลวดงน้ำหนักรอก

7) นำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกคลงไปเป็นรูปไปหาปริมาณน้ำในดิน ปริมาณตัวอย่าง ให้ใช้ตามข้อ 2.2.2 (2)

8) ดำเนินการทดสอบ Penetration Test ของตัวอย่างที่เตรียมไว้อีก 2 ตัวอย่าง โดยวิธี เดียวกับที่กล่าวมาแล้ว

9) เขียน Curve ระหว่างแรงกค และระยะที่ท่อนกคจมลงในตัวอย่าง (Stress vs Penetration) เพื่อหาค่า CBR ต่อไป

10) เมื่อได้ค่า CBR ของแต่ละตัวอย่างแล้ว เขียน Curve ระหว่างค่า CBR กับค่าความ แน่นแห้ง (Dry Density) เพื่อหาค่า CBR ที่เปอร์เซ็นต์ของการบดทับที่ต้องการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

ในการเขียน Curve ของ Stress vs Penetration เพื่อหาค่า CBR จำเป็นจะต้องทำการแก้ Curve โดยเลื่อนจุดศูนย์ของ Penetration ในกรณีที่ Curve หงายเพื่อให้ได้ค่า CBR ที่แท้จริง

3) การคำนวณ

3.1) คำนวณหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100 \quad \dots (3.12)$$

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็น กรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็น กรัม

3.2) คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{A}{V} \quad \dots (3.13)$$

เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็น กรัมต่อมิลลิเมตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็น กรัม

V = ปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบหรือปริมาตรของแบบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

3.3) คำนวณค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{w}{100}} \quad \dots (3.14)$$

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็น กรัมต่อมิลลิเมตร

ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็น กรัมต่อมิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

w = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

3.4) คำนวณหาค่าการขยายตัว (Swell)

$$\text{Swell} = \frac{S}{H} * 100 \quad \dots (3.15)$$

เมื่อ S = ผลต่างระหว่างการอ่าน Reading ครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของ Dial Gauge ที่วัด Swell มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร
 H = ความสูงเริ่มต้น (Initial Height) ของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

3.5) คำนวณหาค่า CBR

ในการคำนวณหาค่า CBR ให้ถือแรงมาตรฐาน (Standard Load) ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าแรงมาตรฐาน (Standard Load) ที่ Penetration ต่างๆ (คร.วรากร ไม้เรียง 1982)

| Penetration (mm.) | Standard Load (Kg.) | Standard Unit Load (Kg. / cm.) |
|-------------------|---------------------|--------------------------------|
| 2.54 (0.1") | 1360.8 (3000 lb) | 70.3 (1000 lb/in) |
| 5.08 (0.2") | 2041.2 (4500 lb) | 105.46 (1500 lb/in) |
| 7.62 (0.3") | 2585.5 (5700 lb) | 133.59 (1900 lb/in) |
| 10.16 (0.4") | 3129.8 (6900 lb) | 161.71 (2300 lb/in) |
| 12.70 (0.5") | 3538.0 (7800 lb) | 182.81 (2600 lb/in) |

หมายเหตุ พื้นที่หน้าตัดของท่อนกด = 1935.5 ตร.มม. (3 ตร.นิ้ว) คำนวณค่า CBR เป็นร้อยละ จากสูตร

$$\text{CBR} = \frac{X}{Y} * 100 \quad \dots (3.16)$$

เมื่อ X = ค่าแรงกดที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด (สำหรับ Penetration ที่ 2.54 มม. หรือ 0.1 นิ้ว และที่เพิ่มขึ้นอีกทุกๆ 2.54 มม.)
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานวิชาการอื่นที่เพิ่มขึ้นมาโดยไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Y = ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Load) กิโลกรัมต่อตาราง
เซนติเมตร (จากตารางข้างบน)

4) ข้อควรระวัง

- 4.1) สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยาง หรือ นำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้
- 4.2) ในการใช้ค้อนทำการบดทับให้วางแบบบนพื้นที่ยึดแน่น แข็งแรง ราบเรียบ เช่น พื้นคอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดก หรือกระดอนขึ้น ขณะทำการบดทับ
- 4.3) ปริมาตรของแบบ (V) หลังจากหักปริมาตรของโลหะรองออกแล้ว ให้ทำการวัดและคำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบไป ห้ามใช้ปริมาตรโดยประมาณ
- 4.4) ปริมาณของน้ำที่ใช้ผสม เพื่อเตรียมตัวอย่างทำ CBR ถ้าต้องการใช้ค่าต่างๆนอกเหนือจากที่ระบุไว้ในวิธีการทดลอง วิธีนี้ยอมทำได้สำหรับงานวิจัยหรืองานอื่นใด
- 4.5) ในการทดลอง Penetration Test โดยใช้ Proving Ring เป็นตัวอ่านแรงและใช้ Penetration Dial Gauge ติดที่ Frame ของเครื่องกดต้องทำการแก้ค่า Penetration เนื่องจากการหดตัวของ Proving Ring โดยหักค่าการหดตัวของ Proving Ring ออกจากค่า Penetration กรณีที่ติด Penetration Dial Gauge ที่ท่อนกด ไม่ต้องปฏิบัติตามความในข้อนี้
- 4.6) เมื่อทำการทดลอง Penetration เสร็จเรียบร้อยแล้ว ในการ Plot Curve ระหว่าง Unit Load และค่า Penetration จำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์ สำหรับ Curve ที่หงายขึ้น เนื่องจากความไม่ราบเรียบ หรือเกิดจากการอ่อนยุบที่ผิวหน้าของตัวอย่าง เนื่องจากการแช่น้ำ ให้ทำการแก้ไขโดยลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของ Curve ไปตัดกับแกนตามแนวราบ คือ เส้นที่ลากผ่าน Unit Load เท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของ Penetration ไปที่จุดที่ตัด แล้วจึงดำเนินการหาค่า CBR ต่อไปเรียกว่า Corrected CBR Value
- 4.7) ค่า CBR ที่ได้จาก Corrected Load Value หรือจาก True Load Value (Curve ถูกต้องไม่ต้องแก้ Curve) คำนวณจาก Penetration 2.54 มม. (0.1 นิ้ว) และที่ Penetration 5.08 มม. (0.2 นิ้ว) เป็นค่า CBR ที่ใช้รายงาน

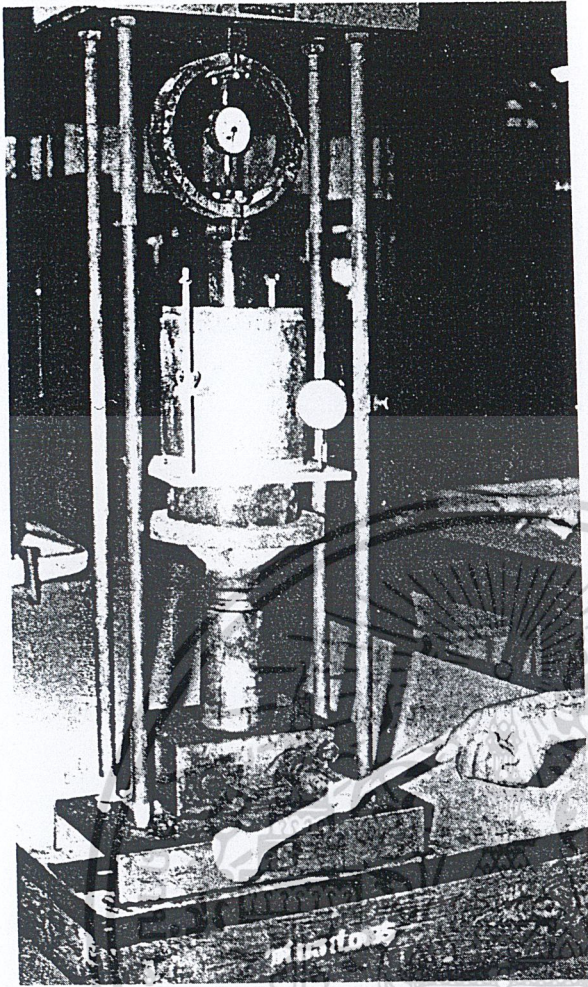
โดยปกติค่า CBR ที่ Penetration 2.54 มม. จะต้องมีค่าสูงกว่าค่า CBR ที่ Penetration 5.08 มม. ถ้าหากไม่เป็นดังนั้นคือค่า CBR ที่ 5.08 มม. สูงกว่าที่ 2.54 มม. ให้ทำการเตรียมตัวอย่างทดลองใหม่ทั้งหมด แต่ถ้ายังสูงกว่าอยู่ก็ให้ใช้ค่า CBR ที่ 5.08 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8) ในการทำตัวอย่างเพื่อทดลอง ในกรณีที่ต้องการบดทับมากกว่า หรือน้อยกว่า ที่ต้องการตามวิธีทดลองนี้ อาจจะเพิ่มการบดทับเป็นชั้นละ 75 ครั้ง หรือลดการบดทับเป็นชั้นละ 8 ครั้ง เพื่อให้ได้ตัวอย่างมากขึ้นในการนำมาเขียน Curve เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.6 รูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8

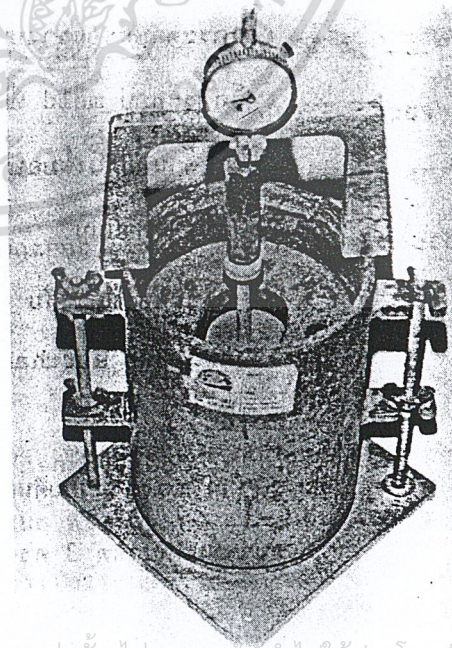


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การกดตัวอย่าง CBR
(ดร.วรากร ไม้เรียง 1982)

รูปที่ 3.7 การเตรียมตัวอย่าง CBR เพื่อแช่น้ำ
(ดร.วรากร ไม้เรียง 1982)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ปัจจัยและคุณสมบัติต่างๆที่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง

4.1 คุณสมบัติของดินและหิน (Soil Aggregate Mixtures) ที่ใช้ในส่วนทางและรองพื้นทาง

1) ขนาดคละวัสดุ (Grain Size Distribution) ที่เหมาะสม ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้

- วัสดุมวลหยาบล้วน ผิวของหินแต่ละก้อนจะไม่สัมผัสกันอย่างเคียงโดยรอบ หินประเภทนี้มีความแน่นต่ำ เพราะมีช่องว่างมาก มีคุณสมบัติระบายน้ำได้ดี ไม่มีแรงยึดเกาะระหว่างผิวทำให้การบดอัดทำได้ยาก
- วัสดุมวลหยาบผสมมวลละเอียดอย่างเหมาะสม ผิวของหินแต่ละก้อนจะสัมผัสกันโดยรอบ ช่วยให้รับและถ่ายน้ำหนักถึงกันได้ดี บดอัดได้ความแน่นสูงมาก น้ำซึมผ่านได้ยาก สามารถรับแรงเลื่อนได้สูง การบดอัดทำได้ง่าย
- วัสดุมวลหยาบที่มีมวลละเอียดผสมอยู่มาก ผิวของหินแต่ละก้อนไม่ได้สัมผัสกันมีมวลละเอียดเล็กๆหุ้มโดยรอบ บดอัดแล้วได้ความแน่นต่ำ น้ำซึมผ่านได้ยากมาก เมื่อมีความชื้นมากความแข็งแรงจะลดลง การบดอัดกระทำได้ง่าย

2) ความสัมพันธ์ระหว่าง γ_d , CBR และขนาดของหิน

- ค่าความแน่น γ_d และ CBR จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของวัสดุใหญ่ขึ้น รูปที่ 4.1
- ค่า CBR จะเพิ่มปริมาณ เมื่อเปอร์เซ็นต์มวลละเอียดน้อยกว่าจุดสูงสุดของ $\gamma_{d(max)}$ เล็กน้อย

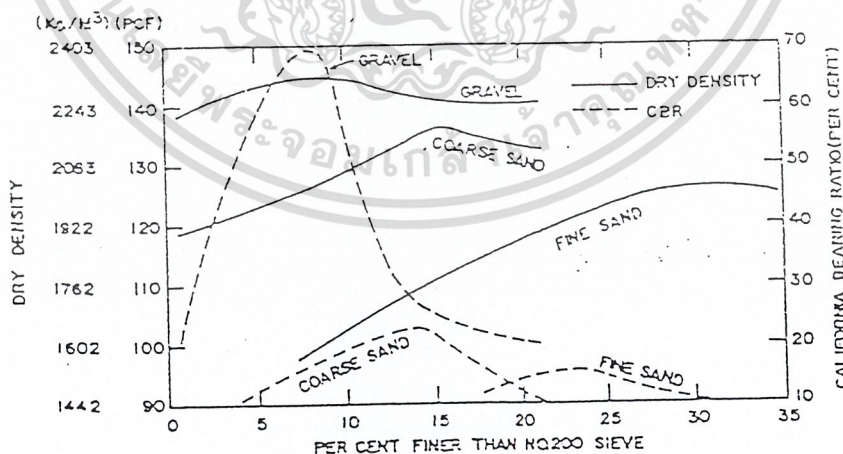
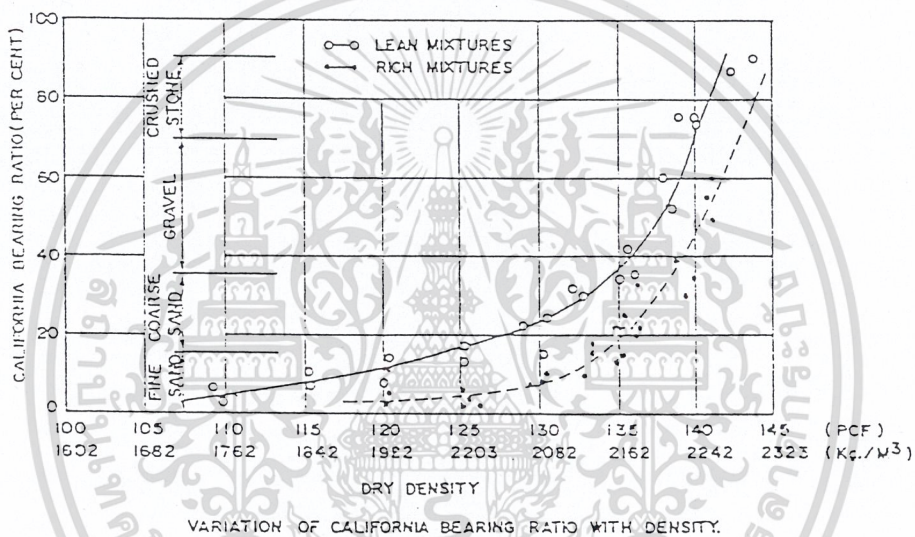


FIGURE 4.1 VARIATION OF DENSITY AND CALIFORNIA BEARING RATIO WITH FINES AND WITH MAXIMUM SIZE OF AGGREGATE. (TESTS MADE AT 100% STANDARD TASHO DENSITY.)

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง γ_d , CBR และขนาดของหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ผศ. จิรพัฒน์ โชติไกร 1986)

- วัสดุที่มีมวลละเอียดน้อยกว่า (Lean Mix) จะได้ค่า CBR สูงกว่าวัสดุที่มีมวลผสมอยู่จำนวนมาก (Rich Mix) นั้นหมายความว่ามีความค่า Stability สูงกว่าดังรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง CBR ของวัสดุที่มี γ_d เท่ากันแต่มีอัตราส่วนผสมของมวลละเอียดแตกต่างกัน

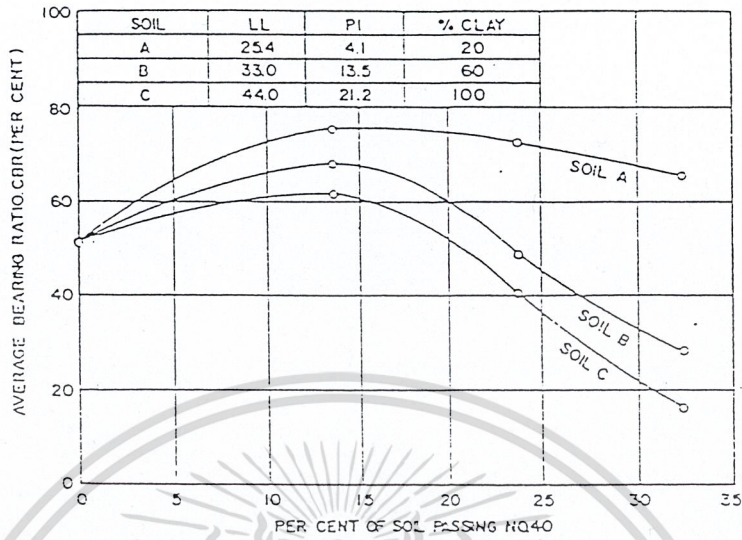


รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบ CBR กับ γ_d ของวัสดุที่มีมวลละเอียดในจำนวนไม่เท่ากัน (ผศ.จिरพัฒน์ โชติไกร 1986)

4.2 ผลของ Plasticity (P.I.) ต่อความแข็งแรงของพื้นทาง

- รูปที่ 4.3 แสดงผลการตรวจสอบ CBR ของ Granular Soil ซึ่งมีมวลละเอียดแตกต่างกันมวลที่มีค่า PI ต่ำจะให้เปอร์เซ็นต์ CBR สูง ขณะเดียวกันการกำหนดคุณสมบัติของขนาดละเอียด (Gradation) มีความสำคัญยิ่งเช่นกัน เพราะถ้าเปอร์เซ็นต์ขนาดละเอียดของดินและหิน (เปอร์เซ็นต์เฉพาะผ่านตะแกรง No.40) เป็นไปตามข้อกำหนดค่าของ PI ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



EFFECT OF SOIL CONTENT AND SOIL PLASTICITY ON BEARING RATIOS. (FROM DEKLOTZ, PROCEEDINGS, HIGHWAY RESEARCH BOARD, 1940)

รูปที่ 4.3 ผลของ PI ต่อ CBR

(ผศ. จิรพัฒน์ โชติไกร 1986)

4.3 ความซึมผ่านได้ (Permeability)

ความซึมผ่านได้ของน้ำได้ขึ้นอยู่กับ

- ขนาดกละของหินและดิน
- ชนิดของหิน
- ชนิดของดิน
- ความหนาแน่นของมวลวัสดุ

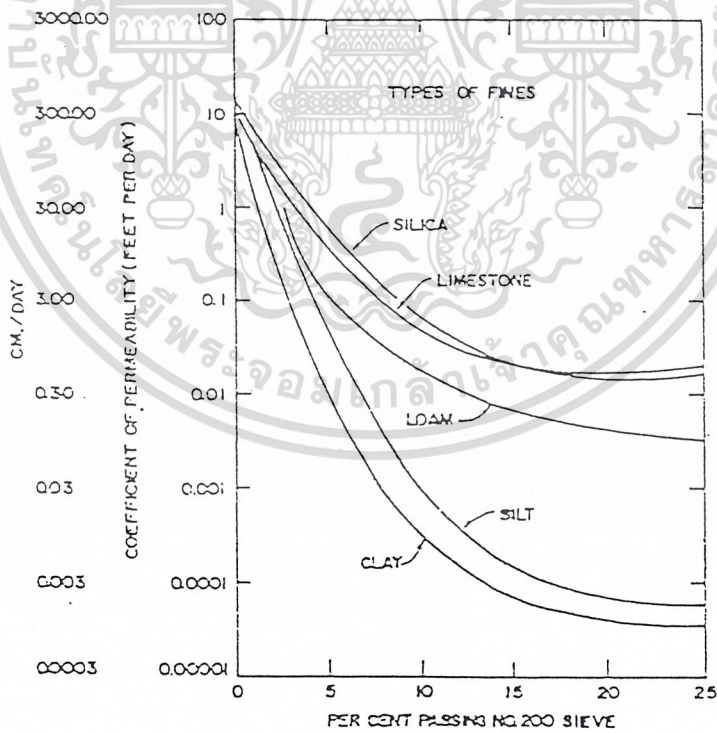
ความสามารถของการซึมผ่านได้ของน้ำในพื้นที่ที่มีความสำคัญยิ่งต่อความแข็งแรงของโครงสร้างเพราะถ้าสามารถซึมผ่านออกจากใต้ผิวทางได้สะดวก โครงสร้างทางนั้นก็จะมี ความแข็งแรงปลอดภัยจากความชื้นซึ่งเป็นตัวลดความแข็งแรงของดิน ตารางที่ 4.1 แสดงสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำในดินประเภทต่างๆ รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์เปอร์เซ็นต์ดินมวลละเอียดซึ่งลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ของหินและประเภทต่างๆ การออกแบบทางจะต้องคำนึงถึงความสามารถการซึมผ่านได้ของน้ำใต้ดินด้วย การที่พื้นทางเป็นวัสดุประเภท Dense Grade ไม่จำเป็นต้องมีการระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain) แต่ถ้าเป็นวัสดุชนิด Open Grade ควรพิจารณาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในดินประเภทต่างๆ

(ผศ.จิรพัฒน์ โชติไกร 1986)

| ชนิดของวัสดุ | การระบายน้ำ | สัมประสิทธิ์ / วัน |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------|
| กรวดทรายหยาบ | ดีมาก | 30.0+ |
| กรวดทรายที่มีดินเม็ดละเอียดปนพอประมาณ | ไม่ดีถึงปานกลาง | 0.03 – 30.0 |
| กรวดทรายที่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่มาก | ไม่ดี | ต่ำกว่า 0.03 |



รูปที่ 4.4 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของกรวดและทรายขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ผศ.จิรพัฒน์ โชติไกร 1986)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

5.1 ความนำ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากทางหลวงสายตาก-ลำปาง โดยได้ทำการแยกข้อมูลออกตามประเภทของชั้นของถนน และแยกข้อมูลออกตามประเภทของวัสดุ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ถึง 5.4 ในภาคผนวก เพื่อให้เกิดความชัดเจนและสะดวกในการวิเคราะห์ จะทำการแยกการวิเคราะห์ออกเป็นแต่ละชั้นทาง

5.2 Base Course วัสดุกลุ่ม GP-GM

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมานำมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับผลของการวิเคราะห์การถดถอยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS แสดงในรูปที่ 5.1 , 5.2 และในตารางที่ 5.5 , 5.6 และ 5.7 ในภาคผนวก

ดังนั้นผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์การถดถอยจะพบว่า

- 1) จากแผนภาพการกระจายความสัมพันธ์ระหว่าง %Gravel , %Sand , %Clay , γ_d , OMC และ %CBR มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง
- 2) - ค่า γ_d มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Sand และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ %Clay %Gravel และ OMC
- ค่า OMC มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Clay %Gravel และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ γ_d และ %Sand
- 3) อัตราความสัมพันธ์ระหว่าง %Sand และ %Gravel , γ_d และ OMC อยู่ในระดับสูง ($R^2 = 0.543$ และ $R^2 = 0.864$) ซึ่งละเมิดข้อสมมติฐานหลักของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการสร้างตัวแปรใหม่จาก %Sand และ %Gravel , OMC และ γ_d ได้เป็น $(\%Sand * \%Clay * \%Clay)$ และ $(OMC - \gamma_d)$ แทนตัวแปรเดิม ซึ่งจะพบว่า
- ค่า $(\%Sand * \%Gravel * \%Clay)$ มีความสัมพันธ์เป็นเชิงลบกับ $(OMC - \gamma_d)$ ซึ่งอัตราความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ

4) $R^2 = 0.400$

5) ระดับนัยสำคัญของค่า $F = 0.000$ น้อยกว่า 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

6) - ค่า $(\%Sand * \%Gravel * \%Clay)$ มีค่า $t = 5.331$ และค่า Sig. ของ $t = 0.000$
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ ไม่มีเหตุผลเบื้องต้นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า (OMC - γ_d) มีค่า $t = -1.414$ และค่า Sig. ของ $t = 0.164$
- 7) - ค่า (%Sand*%Gravel*%Clay) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ %CBR
 - ค่า (OMC - γ_d) มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับ %CBR
- 8) $CBR = 0.0005 [CBR(cal.)]^3 - 0.0662 [CBR(cal.)]^2 + 244.894 \quad \dots (5.1)$

โดย $R^2 = 0.536$

ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า

- 1) แผนภาพการกระจายมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยได้
- 2) ค่า (%Sand*%Gravel*%Clay) และ (OMC - γ_d) มีความสัมพันธ์กันน้อย จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยได้
- 3) ตัวแปรอิสระอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม (%CBR) ได้เพียงร้อยละ 40.0 ซึ่งถือว่าน้อยมาก แสดงว่า ความผันแปรของ %CBR ที่ไม่ใช่เนื่องจาก (%Sand*%Gravel*%Clay) และ (OMC - γ_d) มีสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และในบรรดาตัวแปรอิสระทั้งหมด 2 ตัว มีเพียงค่า (%Sand*%Gravel*%Clay) ที่มีผลต่อค่า %CBR อย่างมีนัยสำคัญ (เพราะว่าค่า $t > 2.00$ และ Sig. ของ $t < 0.05$)
- 4) ระดับนัยสำคัญของ $F < 0.05$ แสดงว่า ค่าของ (%Sand*%Gravel*%Clay) และ (OMC - γ_d) สามารถอธิบายการผันแปรของ %CBR ได้ดีสมการ

$$\%CBR = 0.002296 (\%Sand*\%Gravel*\%Clay) - 3.596 (OMC - \gamma_d) + 68.776 \quad \dots (5.2)$$

- 5) แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %CBR(จากการทดลอง) และ %CBR(จากการคำนวณ) จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งกราฟ Cubic มีสมการเป็น

$$\%CBR = 0.0005 [CBR (cal.)]^3 - 0.0662 [CBR (cal.)]^2 + 244.894 \quad \dots (5.3)$$

โดยค่า $R^2 = 0.536$ แสดงว่า %CBR(คำนวณจากสมการ) สามารถทำนายค่า(จากการทดลอง) ได้ถูกต้องเพียง 53.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังถือว่า มีความผิดพลาดอยู่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 Subbase

5.3.1) วัสดุกลุ่ม GC

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องจะนำมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับผลของการวิเคราะห์การถดถอยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS แสดงในรูปที่ 5.3(ก) , 5.4 (ก) และในตารางที่ 5.8(ก) , 5.9(ก) และ 5.10(ก) ในภาคผนวก

ดังนั้นผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์การถดถอยจะพบว่า

- 1) จากแผนภาพการกระจายความสัมพันธ์ระหว่าง %Gravel , %Sand , %Clay , γ_d , OMC , PI และ %CBR มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง
- 2) - ค่า γ_d มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Sand และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ %Clay , %Gravel PI และ OMC
- ค่า OMC มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PI และ %Sand และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ γ_d , %Gravel และ %Clay
- ค่า PI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Sand , %Clay และ OMC และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ γ_d และ %Gravel
- 3) อัตราความสัมพันธ์ระหว่าง %Gravel , %Sand และ %Clay , OMC และ PI อยู่ในระดับสูง ซึ่งละเมิดข้อสมมติฐานหลักของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการสร้างตัวแปรใหม่จาก %Gravel , %Sand และ %Clay , OMC และ PI ได้เป็น $[(\%Gravel * \%Clay) / \%Sand]$ และ (OMC / PI) แทนตัวแปรเดิม ซึ่งจะพบว่า
- ค่า $[(\%Gravel * \%Clay) / \%Sand]$ มีความสัมพันธ์เป็นเชิงลบกับ (OMC / PI) และ γ_d
- ค่า (OMC / PI) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ γ_d และ $[(\%Gravel * \%Clay) / \%Sand]$
ซึ่งอัตราความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ
- 4) $R^2 = 0.391$
- 5) ระดับนัยสำคัญของค่า F = 0.004 น้อยกว่า 0.05
- 6) - ค่า $[(\%Gravel * \%Clay) / \%Sand]$ มีค่า t = 0.698 และค่า Sig. ของ t = 0.491
- ค่า (OMC / PI) มีค่า t = -2.122 และค่า Sig. ของ t = 0.044
- ค่า γ_d มีค่า t = 3.300 และค่า Sig. ของ t = 0.003
- 7) - ค่า $[(\%Gravel * \%Clay) / \%Sand]$ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ %CBR
- ค่า (OMC / PI) มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับ %CBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า γ_d มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ %CBR

- 8) แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %CBR(จากการทดลอง) และ %CBR(จากการคำนวณ) จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งพาราโบลา

ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า

- 1) แผนภาพการกระจายมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยได้
- 2) ค่า $[(\%Gravel*\%Clay) / \%Sand]$ และ (OMC / PI) มีความสัมพันธ์กันน้อย จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยได้
- 3) ตัวแปรอิสระอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม (%CBR) ได้เพียงร้อยละ 39.1 ซึ่งถือว่าน้อยมาก แสดงว่า ความผันแปรของ %CBR ที่ไม่ใช่เนื่องจาก $[(\%Gravel*\%Clay) / \%Sand]$ และ (OMC / PI) มีสูงถึง 60.9 เปอร์เซ็นต์ และในบรรดาตัวแปรอิสระทั้งหมด 3 ตัว มีเพียงค่า γ_d และ (OMC / PI) ที่มีผลต่อค่า %CBR อย่างมีนัยสำคัญ (เพราะว่าค่า $t > 2.00$ และ Sig. ของ $t < 0.05$)
- 4) ระดับนัยสำคัญของ $F < 0.05$ แสดงว่า ค่าของ $[(\%Gravel*\%Clay) / \%Sand]$, γ_d และ (OMC / PI) สามารถอธิบายการผันแปรของ %CBR ได้ดังสมการ

$$\%CBR = 0.03666 [(\%Gravel*\%Clay) / \%Sand] - 10.64 (OMC / PI) + 65.656 \gamma_d - 99.475 \dots(5.4)$$

- 5) แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %CBR(จากการทดลอง) และ %CBR(จากการคำนวณ) จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งมีสมการเป็น

$$\%CBR = 0.1599 [CBR (cal.)]^2 - 8.8615 [CBR (cal.)] + 151.638 \dots (5.5)$$

โดยค่า $R^2 = 0.432$ แสดงว่า %CBR(คำนวณจากสมการ) สามารถทำนายค่า(จากการทดลอง) ได้ถูกต้องเพียง 43.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังถือว่า มีความผิดพลาดอยู่มาก

5.3.2) วัสดุกลุ่ม SM-SC

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องนำมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับผลของการวิเคราะห์การถดถอยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS แสดงในรูปที่ 5.3(ข) , 5.4(ข) และในตารางที่ 5.8(ข) , 5.9(ข) และ 5.10(ข) ในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์ การถดถอยจะพบว่า

- 1) จากแผนภาพการกระจายความสัมพันธ์ระหว่าง %Gravel , %Sand , %Clay , γ_d , OMC , PI และ %CBR มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง
- 2) - ค่า γ_d มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Gravel , PI และ %Sand และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ %Clay และ OMC
 - ค่า OMC มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ PI และ %Clay และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ γ_d , %Gravel และ %Sand
 - ค่า PI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Sand , γ_d และ OMC และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ %Clay และ %Gravel
- 3) อัตราความสัมพันธ์ระหว่าง %Sand และ %Clay , OMC และ γ_d อยู่ในระดับสูง ซึ่งละเมิดข้อสมมติฐานหลักของการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น สามารถแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการสร้างตัวแปรใหม่จาก %Sand และ %Clay , OMC และ PI ได้เป็น ($\%Sand / \%Clay$) และ ($OMC * \gamma_d$) แทนตัวแปรเดิม ซึ่งจะพบว่า ทั้ง ($\%Sand / \%Clay$) , %Gravel , PI และ ($OMC * \gamma_d$) มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำมาก
- 4) $R^2 = 0.160$
- 5) ระดับนัยสำคัญของค่า F = 0.091 มากกว่า 0.05
- 6) - ค่า ($OMC * \gamma_d$) มีค่า t = 1.085 และค่า Sig. ของ t = 0.284
 - ค่า %Gravel มีค่า t = 1.051 และค่า Sig. ของ t = 0.299
 - ค่า PI มีค่า t = 0.798 และค่า Sig. ของ t = 0.429
 - ค่า ($\%Sand / \%Clay$) มีค่า t = 2.547 และค่า Sig. ของ t = 0.014
- 7) - ค่า ($OMC * \gamma_d$) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ %CBR
 - ค่า %Gravel มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ %CBR
 - ค่า PI มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ %CBR
 - ค่า ($\%Sand / \%Clay$) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ %CBR
- 8) แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %CBR(จากการทดลอง) และ %CBR(จากการคำนวณ) จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า

- 1) แผนภาพการกระจายมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยได้
- 2) ค่า (%Sand / %Clay) , %Gravel , PI และ $(OMC * \gamma_d)$ มีความสัมพันธ์กันน้อย จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยได้
- 3) ตัวแปรอิสระอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม (%CBR) ได้เพียงร้อยละ 16.0 ซึ่งถือว่าน้อยมาก แสดงว่า ความผันแปรของ %CBR ที่ไม่ใช่เนื่องจาก (%Sand / %Clay) , %Gravel , PI และ $(OMC * \gamma_d)$ มีสูงถึง 84.0 เปอร์เซ็นต์
- 4) ระดับนัยสำคัญของ $F > 0.05$ แสดงว่า ค่าของ (%Sand / %Clay) , %Gravel , PI และ $(OMC * \gamma_d)$ ไม่สามารถนำมาใช้ทำนายค่า %CBR ได้

5.4 Selected Material วัสดุกลุ่ม SM-SC

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมานำมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับผลของการวิเคราะห์การถดถอยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS แสดงในรูปที่ 5.5, 5.6 และ ในตารางที่ 5.11, 5.12 และ 5.13

ดังนั้นผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์การถดถอยจะพบว่า

- 1) จากแผนภาพการกระจายความสัมพันธ์ระหว่าง %Gravel , %Sand , %Clay , γ_d , OMC , PI และ %CBR มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง
- 2) - ค่า γ_d มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Gravel และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ %Clay , %Sand , PI และ OMC
- ค่า OMC มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Clay , PI และ %Sand และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ γ_d และ %Gravel
- ค่า PI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Clay และ OMC และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ γ_d , %Sand และ %Gravel
- 3) อัตราความสัมพันธ์ระหว่าง %Gravel และ %Clay , OMC และ γ_d อยู่ในระดับสูง ซึ่งละเมิดข้อสมมติฐานหลักของการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น สามารถแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการสร้างตัวแปรใหม่จาก %Gravel และ %Clay , OMC และ γ_d ได้เป็น $(\%Gravel - \%Clay)$ และ $(OMC * \gamma_d)$ แทนตัวแปรเดิม ซึ่งจะพบว่า ทั้ง $(\%Gravel - \%Clay)$, %Sand , PI และ $(OMC * \gamma_d)$ มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีผิดแผกแตกต่างและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) $R^2 = 0.685$
- 5) ระดับนัยสำคัญของค่า $F = 0.000$ น้อยกว่า 0.05
- 6) - ค่า $(OMC * \gamma_d)$ มีค่า $t = -1.222$ และค่า Sig. ของ $t = 0.228$
 - ค่า %Sand มีค่า $t = -0.046$ และค่า Sig. ของ $t = 0.964$
 - ค่า PI มีค่า $t = -3.470$ และค่า Sig. ของ $t = 0.001$
 - ค่า $(\%Gravel - \%Clay)$ มีค่า $t = 7.463$ และค่า Sig. ของ $t = 0.000$
- 7) - ค่า $(OMC * \gamma_d)$ มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับ %CBR
 - ค่า %Sand มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับ %CBR
 - ค่า PI มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับ %CBR
 - ค่า $(\%Gravel - \%Clay)$ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ %CBR
- 8) แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %CBR(จากการทดลอง) และ %CBR(จากการคำนวณ) จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งกำลังสาม

ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า

- 1) แผนภาพการกระจายมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยได้
- 2) ค่า $(\%Gravel - \%Clay)$, %Sand, PI และ $(OMC * \gamma_d)$ มีความสัมพันธ์กันน้อย จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยได้
- 3) ตัวแปรอิสระอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม (%CBR) ได้สูงถึงร้อยละ 68.5 เปอร์เซ็นต์ และในบรรดาตัวแปรอิสระทั้งหมด 4 ตัว มีเพียงค่า $(\%Gravel - \%Clay)$ และ PI ที่มีผลต่อค่า %CBR อย่างมีนัยสำคัญ (เพราะว่าค่า $t > 2.00$ และ Sig. ของ $t < 0.05$)
- 4) ระดับนัยสำคัญของ $F < 0.05$ แสดงว่า ค่าของ $(\%Gravel - \%Clay)$, %Sand, PI และ $(OMC * \gamma_d)$ สามารถอธิบายการผันแปรของ %CBR ได้ดีสมควร

$$\%CBR = 1.687(\%Gravel - \%Clay) - 5.165PI - 0.02987\%Sand - 2.254(OMC * \gamma_d) + 48.821 \dots (5.6)$$

- 5) แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %CBR(จากการทดลอง) และ %CBR(จากการคำนวณ) จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งกำลังสาม มีสมการเป็น

$$\%CBR = -0.0007[CBR (cal.)]^3 + 0.0804[CBR (cal.)]^2 - 2.0315[CBR (cal.)] + 34.6525 \dots (5.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า $R^2 = 0.701$ แสดงว่า %CBR(คำนวณจากสมการ) สามารถทำนายค่า %CBR (จากการทดลอง) ได้ถูกต้องถึง 70.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่า มีความถูกต้องสูงมาก

5.5 Subgrade วัสดุกลุ่ม SC

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาจะนำมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับผลของการวิเคราะห์การถดถอยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS แสดงในรูปที่ 5.7, 5.8 และ ในตารางที่ 5.14, 5.15 และ 5.16 ในภาคผนวก

ดังนั้นผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์การถดถอยจะพบว่า

- 1) จากแผนภาพการกระจายความสัมพันธ์ระหว่าง %Gravel , %Sand , %Clay , γ_d , OMC , PI และ %CBR มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง
- 2) - ค่า γ_d มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Gravel และ %Sand และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ %Clay , PI และ OMC
- ค่า OMC มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Clay และ PI และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ γ_d , %Sand และ %Gravel
- ค่า PI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ %Clay และ OMC และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ γ_d , %Sand และ %Gravel
- 3) อัตราความสัมพันธ์ระหว่าง %Gravel %Sand และ %Clay , OMC PI และ γ_d อยู่ในระดับสูง ซึ่งละเมิดข้อสมมติฐานหลักของการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการสร้างตัวแปรใหม่จาก %Gravel %Sand และ %Clay , OMC PI และ γ_d ได้เป็น $(\%Gravel + \%Sand - \%Clay)$ และ $[(\gamma_d * PI) / OMC]$ แทนตัวแปรเดิม ซึ่งจะพบว่า ทั้ง $(\%Gravel + \%Sand - \%Clay)$ และ $[(\gamma_d * PI) / OMC]$ มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ
- 4) $R^2 = 0.638$
- 5) ระดับนัยสำคัญของค่า F = 0.000 น้อยกว่า 0.05
- 6) - ค่า $[(\gamma_d * PI) / OMC]$ มีค่า t = -3.205 และค่า Sig. ของ t = 0.002
- ค่า $(\%Gravel + \%Sand - \%Clay)$ มีค่า t = 8.765 และค่า Sig. ของ t = 0.000
- 7) - ค่า $[(\gamma_d * PI) / OMC]$ มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับ %CBR
- ค่า $(\%Gravel + \%Sand - \%Clay)$ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ %CBR
- 8) แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %CBR(จากการทดลอง) และ %CBR(จากการคำนวณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ชนด้านการค้า
จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งกำลังสาม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า

- 1) แผนภาพการกระจายมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยได้
- 2) ค่า $(\%Gravel + \%Sand - \%Clay)$ และ $[(\gamma_d * PI) / OMC]$ มีความสัมพันธ์กันน้อย จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยได้
- 3) ตัวแปรอิสระอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม (%CBR) ได้สูงถึงร้อยละ 63.8 เปอร์เซ็นต์ และตัวแปรอิสระทั้งหมด 2 ตัว มีผลต่อค่า %CBR อย่างมีนัยสำคัญ (เพราะว่าค่า $t > 2.00$ และ Sig. ของ $t < 0.05$)
- 4) ระดับนัยสำคัญของ $F < 0.05$ แสดงว่า ค่าของ $(\%Gravel + \%Sand - \%Clay)$ และ $[(\gamma_d * PI) / OMC]$ สามารถอธิบายการผันแปรของ %CBR ได้ดังสมการ

$$\%CBR = -5.127[(\gamma_d * PI) / OMC] + 0.156(\%Gravel + \%Sand - \%Clay) + 10.133 \quad \dots(5.8)$$

- 5) แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %CBR(จากการทดลอง) และ %CBR(จากการคำนวณ) จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งกำลังสาม มีสมการเป็น

$$\%CBR = -0.0094[CBR (cal.)]^3 + 0.2569[CBR (cal.)]^2 - 1.031[CBR (cal.)] + 4.1201 \quad \dots(5.9)$$

โดยค่า $R^2 = 0.6807$ แสดงว่า %CBR(คำนวณจากสมการ) สามารถทำนายค่า %CBR (จากการทดลอง) ได้ถูกต้องถึง 68.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่า มีความถูกต้องสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 การเปรียบเทียบความแตกต่างทางด้านราคาของการทดสอบคุณสมบัติดิน

ตารางที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดสอบดินคิดในช่วงระยะทาง 30 กม. เก็บตัวอย่างทดสอบทุกๆระยะทาง 500 ม.

| การทดสอบ | ราคาการทดสอบ (บาท/ตัวอย่าง) | จำนวนตัวอย่าง | ราคารวม (บาท) |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------|------------------|
| 1. Atterberg's Limit | 250 | 120 | 30,000 |
| 2. การหาขนาดเม็ดดิน | | | |
| - แบบร่อนเปียก | 400 | 120 | 48,000 |
| - แบบร่อนแห้ง | 250 | 120 | 30,000 |
| 3. การบดอัดดิน | | | |
| - Modified Proctor | 650 | 60 | 39,000 |
| 4. การทดสอบ CBR | | | |
| - แชน้ำ | 350 | 60 | 21,000 |
| 5. การหาปริมาณน้ำ | 50 | 60 | 3,000 |
| Total cost (ไม่รวมการทดสอบ CBR) | | | 150,000 |
| Total cost (รวมการทดสอบ CBR) | | | 171,000 |

จากตารางจะเห็นได้ว่าเมื่อไม่ต้องทำการทดสอบ CBR จะสามารถลดต้นทุนในส่วนนี้ลงได้ถึง 21,000 บาท หรือคิดเป็น 12.28 % ของราคาการทดสอบคุณสมบัติดินทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาโครงการพิเศษนี้ สรุปได้ว่า ในงานก่อสร้างถนนสายตาก-ลำปาง มีอยู่เพียง 2 ชั้นถนน คือ ชั้น Selected Material และ Subgrade ที่ตัวแปรอิสระที่กำหนดขึ้นสามารถอธิบายความผันแปรของค่า %CBR ได้ถูกต้องมีความน่าเชื่อถือสูง โดย

- ชั้น Selected Material สามารถกำหนดความสัมพันธ์ได้เป็น

$$\%CBR = 1.687(\%Gravel - \%Clay) - 5.165PI - 0.02987\%Sand - 2.254(OMC * \gamma_d) + 48.821 \quad \dots (6.1)$$

ค่า %CBR ที่คำนวณได้จากสมการข้างบนนี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า %CBR ที่ได้จากการทดลอง จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก โดย 80% ของข้อมูล ค่า %CBR ที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในช่วง ± 10 ของค่า %CBR ที่ได้จากการทดลอง อีก 20% เป็นค่าที่โคตกออกนอกช่วงที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ในภาคผนวก

- ชั้น Subgrade สามารถกำหนดความสัมพันธ์ได้เป็น

$$\%CBR = 10.133 - 5.127[(\gamma_d * PI) / OMC] + 0.156(\%Gravel + \%Sand - \%Clay) \quad \dots (6.2)$$

ค่า %CBR ที่คำนวณได้จากสมการข้างบนนี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า %CBR ที่ได้จากการทดลอง จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก โดย 82% ของข้อมูล ค่า %CBR ที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในช่วง ± 3 ของค่า %CBR ที่ได้จากการทดลอง อีก 18% เป็นค่าที่โคตกออกนอกช่วงที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 5.4 ในภาคผนวก

- ในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุในแต่ละชั้นของถนน ในช่วงระยะทาง 30 กิโลเมตร จะสามารถลดขั้นตอนการทดสอบหาค่า %CBR ลงได้ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายส่วนนี้ได้ถึง 21,000 บาท หรือ คิดเป็น 12.28 % ของราคาการทดสอบทั้งหมด ถ้าคิดถึงโครงการที่ทำทั่วประเทศวิธีการนี้จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบถูกใช้มาเป็นเวลานาน ค่าคงที่ต่างๆที่นำมาใช้ในการคำนวณ อาจมีการคาดเคลื่อนไปได้บ้าง ควรมีการนำมา Calibrate เพื่อปรับแก้ค่าคงที่ให้ตรงตามสภาพในขณะนั้น
- 2) ในการทดสอบตัวอย่างดินอาจจะมีข้อผิดพลาดอยู่บ้าง ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากใช้สายตาของผู้ที่ทำการทดสอบในการอ่านค่าต่างๆจากอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง ซึ่งแต่ละคนก็อ่านค่าได้ไม่เท่ากัน
- 3) ถึงแม้ว่าการเก็บตัวอย่างดินจะใช้วิธีสุ่มตัดตัวอย่างดินจากหน้างานมาทำการทดสอบ อาจจะไม่ครอบคลุมคุณสมบัติดินทั้งหมด แต่คุณสมบัติโดยรวมแล้วดินที่นำมาใช้ทำวัสดุจะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน ในขั้นตอนนี้ก็อาจมีข้อผิดพลาดอยู่บ้าง
- 4) เนื่องจากความสัมพันธ์ของข้อมูลมีลักษณะเชิงเส้นตรงจึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างมากที่ใช้วิธีการทดสอบ Linear Regression Analysis โดย Program SPSS ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นักวิเคราะห์ใช้กันอย่างแพร่หลาย
- 5) จากจำนวนตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบมีความเหมาะสมกับวิธีการที่ใช้ในการทดสอบเป็นอย่างมากทำให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Lambe, W . (1979), Soil Mechanics , John Wiley and Sons , NewYork , 553p.
- [2] Lambe, T.W . (1951), Soil Testing for Engineering , John Wiley and Sons , NewYork , 553p.
- [3] ผศ.จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2529. การออกแบบทาง. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 424น.
- [4] รศ.จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2531. วิศวกรรมทาง. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 392น.
- [5] รศ.ดำรงศักดิ์ ทิพย์โยธา. 2540. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและความน่าจะเป็นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window & MATHCAD. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 310น.
- [6] มณเฑียร กังคศิเทียม. 2538. กลศาสตร์ของดินทางวิศวกรรม. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์. กรุงเทพฯ. 371น.
- [7] วรากร ไม้เรียง จิรพัฒน์ โชติกไกร และ ประทีป ดวงเดือน. 2525. ทฤษฎีและปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 180น.
- [8] ศ.ดร.สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์. 2540. เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์ และพฤติกรรมศาสตร์. โรงพิมพ์เลียงเชียง. กรุงเทพฯ. 413น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

แสดงข้อมูลของความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดิน

- ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Base Course กลุ่ม GP-GM
- ตารางที่ 5.2(ก) แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC
- ตารางที่ 5.2(ข) แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Subbase กลุ่ม GC
- ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Selected Material กลุ่ม SM-SC
- ตารางที่ 5.4 แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Subgrade กลุ่ม SC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Base Course กลุ่ม GP-GM

| UNIFIED | | | O.M.C. (%) | DryDensity (gm/cc.) | CBR (%) | CBR(cal.) (%) | ผลต่างCBR (%) |
|-----------|---------|---------|---------------|------------------------|------------|------------------|------------------|
| Gravel(%) | Sand(%) | Clay(%) | | | | | |
| 55.7 | 35.4 | 8.9 | 4.4 | 2.191 | 90 | 101.1842 | -11.18422 |
| 55.9 | 35.1 | 9 | 5.1 | 2.223 | 85 | 99.05261 | -14.05261 |
| 59.9 | 32.5 | 7.6 | 4.9 | 2.239 | 83 | 93.2489 | -10.2489 |
| 60.9 | 28.5 | 10.6 | 5.5 | 2.204 | 87 | 99.25413 | -12.25413 |
| 61.1 | 27.6 | 11.3 | 5.5 | 2.172 | 89 | 100.6506 | -11.65064 |
| 61.9 | 25.9 | 12.2 | 6.7 | 2.177 | 82.5 | 97.54125 | -15.04125 |
| 62.2 | 31.3 | 6.5 | 6.1 | 2.21 | 82 | 83.94753 | -1.947529 |
| 62.6 | 32.9 | 4.5 | 5.9 | 2.2 | 85.5 | 76.84987 | 8.6501327 |
| 62.7 | 29.9 | 7.4 | 6.2 | 2.2 | 86 | 86.35241 | -0.352413 |
| 62.7 | 30.1 | 7.2 | 6 | 2.185 | 84 | 86.3591 | -2.359103 |
| 62.7 | 30.8 | 6.5 | 4 | 2.221 | 87 | 91.24738 | -4.247381 |
| 62.9 | 26.6 | 10.5 | 5.1 | 2.232 | 86 | 98.87617 | -12.87617 |
| 63.7 | 25.2 | 11.1 | 4.8 | 2.215 | 83 | 100.4606 | -17.46064 |
| 63.7 | 26 | 10.3 | 5 | 2.231 | 86 | 98.06058 | -12.06058 |
| 64.5 | 27.9 | 7.6 | 5.8 | 2.203 | 85 | 87.33973 | -2.339735 |
| 64.5 | 29.5 | 6 | 4.6 | 2.219 | 85 | 86.4905 | -1.490495 |
| 64.5 | 29.5 | 6 | 4.7 | 2.208 | 90 | 86.09434 | 3.905664 |
| 64.7 | 25.4 | 9.9 | 6 | 2.151 | 85 | 92.3936 | -7.393604 |
| 64.7 | 26.7 | 8.6 | 5.1 | 2.231 | 95 | 92.64687 | 2.3531345 |
| 64.8 | 26.3 | 8.9 | 5.5 | 2.19 | 88 | 91.78773 | -3.787732 |
| 65.2 | 27.1 | 6.7 | 4.6 | 2.214 | 94 | 87.44125 | 6.5587503 |
| 65.5 | 24.1 | 10.4 | 6.4 | 2.202 | 86 | 91.48659 | -5.486586 |
| 66.1 | 24 | 9.9 | 4.1 | 2.204 | 89 | 98.06868 | -9.068683 |
| 68.7 | 21 | 10.3 | 6 | 2.174 | 88 | 89.23913 | -1.23913 |
| 68.7 | 24.4 | 6.9 | 6.2 | 2.212 | 84 | 81.09913 | 2.9008737 |
| 68.7 | 24.5 | 6.8 | 5 | 2.234 | 83.5 | 85.18283 | -1.68283 |
| 68.7 | 26.8 | 4.5 | 5.1 | 2.215 | 89 | 77.5023 | 11.4977 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัด
ไม่ว่าการนี้ใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ให้มีให้แต่แสดงเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

| | | | | | | | |
|------|------|------|-----|-------|------|----------|-----------|
| 68.8 | 20.9 | 10.3 | 6 | 2.17 | 85 | 89.11181 | -4.111812 |
| 68.9 | 20.7 | 10.4 | 5.8 | 2.176 | 85 | 89.89803 | -4.898034 |
| 68.9 | 21.1 | 10 | 6.5 | 2.172 | 85 | 86.70839 | -1.708386 |
| 74.4 | 20 | 5.6 | 5.9 | 2.198 | 83.5 | 74.69567 | 8.8043292 |
| 56.4 | 32.3 | 11.3 | 5.3 | 2.213 | 121 | 105.0227 | 15.977342 |
| 56.7 | 32 | 11.3 | 5.3 | 2.221 | 108 | 104.8613 | 3.1387059 |
| 58 | 31.3 | 10.7 | 5.3 | 2.212 | 105 | 102.3542 | 2.6457771 |
| 58.3 | 30.9 | 10.8 | 5.2 | 2.205 | 119 | 102.7575 | 16.242464 |
| 58.5 | 30.9 | 10.6 | 5.3 | 2.21 | 104 | 101.7417 | 2.2583474 |
| 58.6 | 30.2 | 11.2 | 5.4 | 2.214 | 114 | 102.9139 | 11.08613 |
| 58.8 | 29.8 | 11.4 | 5.3 | 2.208 | 130 | 103.6045 | 26.395517 |
| 58.9 | 30 | 11.1 | 5.3 | 2.199 | 98 | 102.7416 | -4.741586 |
| 59 | 30.8 | 10.2 | 5.2 | 2.216 | 116 | 100.6835 | 15.316526 |
| 59.1 | 29.1 | 11.8 | 5.2 | 2.195 | 119 | 104.6456 | 14.354377 |
| 59.1 | 30 | 10.9 | 5.3 | 2.204 | 100 | 102.0982 | -2.098183 |
| 59.5 | 30.6 | 9.9 | 5.4 | 2.212 | 105 | 98.78327 | 6.2167327 |
| 59.6 | 29.1 | 11.3 | 5.3 | 2.208 | 95 | 102.7383 | -7.738275 |
| 60.2 | 28.4 | 11.4 | 5.5 | 2.222 | 102 | 101.8267 | 0.1733338 |
| 60.2 | 29.4 | 10.4 | 5.3 | 2.201 | 97 | 99.97757 | -2.977572 |
| 60.3 | 29.2 | 10.5 | 5.4 | 2.214 | 115 | 99.85357 | 15.146432 |
| 60.5 | 27.8 | 11.7 | 5.2 | 2.223 | 113 | 103.3323 | 9.6676969 |
| 60.7 | 29.2 | 10.1 | 5.2 | 2.206 | 117 | 99.19259 | 17.807411 |
| 61.6 | 26.8 | 11.6 | 5.1 | 2.204 | 88 | 102.4091 | -14.40905 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ก) แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC

| UNIFIED | | | O.M.C. (%) | Dry Density (gm./cc.) | CBR (%) | P.I. | CBR(cal.) (%) | ผลต่างCBR (%) |
|-----------|----------|---------|---------------|--------------------------|------------|------|------------------|------------------|
| Gravel(%) | Sand (%) | Clay(%) | | | | | | |
| 50.2 | 30.6 | 19.2 | 7 | 2.071 | 41.2 | 4.5 | 49.07002 | -7.870018 |
| 50.2 | 31.3 | 18.5 | 6.9 | 2.138 | 39.7 | 4.8 | 40.39368 | -0.693682 |
| 50.3 | 31.6 | 18.1 | 7.1 | 2.109 | 48.5 | 7 | 44.62143 | 3.8785715 |
| 50.5 | 30.3 | 19.2 | 7.3 | 2.093 | 42.5 | 5.4 | 40.83249 | 1.667508 |
| 50.5 | 31.3 | 18.2 | 7.1 | 2.109 | 37.3 | 6 | 43.141 | -5.840996 |
| 50.5 | 32.9 | 16.6 | 6.8 | 2.137 | 52 | 5.5 | 45.61569 | 6.3843114 |
| 50.6 | 30.5 | 18.9 | 7.4 | 2.084 | 45.5 | 5.2 | 41.53683 | 3.9631698 |
| 50.6 | 30.7 | 18.7 | 7.2 | 2.099 | 43 | 5.2 | 41.30719 | 1.6928109 |
| 50.7 | 30.8 | 18.5 | 7.4 | 2.128 | 38.5 | 5.9 | 44.02487 | -5.524874 |
| 50.8 | 29.6 | 19.6 | 6.6 | 2.123 | 40.5 | 4.9 | 36.72382 | 3.7761817 |
| 50.8 | 31.1 | 18.1 | 6.8 | 2.13 | 28.5 | 4.7 | 40.70668 | -12.20668 |
| 50.9 | 30.2 | 18.9 | 7.4 | 2.079 | 49.5 | 4.3 | 40.36443 | 9.1355723 |
| 50.9 | 31.2 | 17.9 | 7.2 | 2.072 | 32.5 | 4.8 | 42.25285 | -9.752851 |
| 50.9 | 33.4 | 15.7 | 7.1 | 2.087 | 50.5 | 4.7 | 47.86728 | 2.632721 |
| 51 | 29.7 | 19.3 | 7.4 | 2.09 | 44.5 | 6.8 | 42.92311 | 1.5768887 |
| 51 | 30.5 | 18.5 | 7.5 | 2.1 | 38 | 6 | 44.2116 | -6.211601 |
| 51 | 32.1 | 16.9 | 6.9 | 2.09 | 55 | 4.6 | 43.45491 | 11.545086 |
| 51.1 | 30.1 | 18.8 | 7.6 | 2.073 | 35.5 | 5.2 | 42.56245 | -7.062447 |
| 51.1 | 30.1 | 18.8 | 7.4 | 2.079 | 39 | 5 | 41.51183 | -2.511828 |
| 51.1 | 30.6 | 18.3 | 7.1 | 2.095 | 59 | 4.9 | 41.39043 | 17.609571 |
| 51.2 | 30.2 | 18.6 | 7.5 | 2.076 | 36 | 5 | 42.3615 | -6.361504 |
| 51.4 | 31.9 | 16.7 | 6.3 | 2.152 | 41.4 | 5.1 | 42.81327 | -1.413272 |
| 51.5 | 29.3 | 19.2 | 6.7 | 2.102 | 30.5 | 4.7 | 37.57706 | -7.077058 |
| 51.5 | 30 | 18.5 | 7.2 | 2.081 | 43.5 | 4.5 | 40.73481 | 2.7651912 |
| 51.5 | 30.6 | 17.9 | 6.5 | 2.138 | 35.1 | 4.6 | 39.89288 | -4.792885 |
| 51.5 | 31.9 | 16.6 | 7.1 | 2.137 | 48 | 5.7 | 47.32807 | 0.6719251 |
| 51.5 | 33.1 | 15.4 | 7.4 | 2.094 | 46.5 | 5.5 | 51.29479 | -4.794787 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่สามารถแก้ไข ดัดแปลง หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ก) (ต่อ)

| | | | | | | | | |
|------|------|------|-----|-------|------|-----|----------|-----------|
| 51.7 | 29.6 | 18.7 | 7.1 | 2.112 | 43 | 6.1 | 42.40932 | 0.5906805 |
| 51.7 | 30.2 | 18.1 | 7.1 | 2.121 | 42.5 | 5.3 | 42.8506 | -0.350603 |
| 51.8 | 31.1 | 17.1 | 7.5 | 2.083 | 40 | 5.1 | 46.2343 | -6.234303 |
| 52 | 28.1 | 19.9 | 7.2 | 2.089 | 29 | 4.4 | 37.98896 | -8.988956 |
| 52 | 29 | 19 | 7.7 | 2.088 | 58.5 | 5.1 | 42.88145 | 15.618545 |
| 52.1 | 28.6 | 19.3 | 7.2 | 2.088 | 42.5 | 5.8 | 40.94761 | 1.5523852 |
| 52.1 | 30.2 | 17.7 | 7.4 | 2.076 | 50 | 4.5 | 43.46871 | 6.5312871 |
| 52.4 | 28.8 | 18.8 | 7.4 | 2.095 | 47 | 5 | 42.01229 | 4.9877143 |
| 52.5 | 28.4 | 19.1 | 7.3 | 2.1 | 36.8 | 5.4 | 41.5562 | -4.756204 |
| 52.5 | 28.7 | 18.8 | 7.4 | 2.071 | 34.5 | 4.7 | 41.26622 | -6.766221 |
| 52.6 | 29.9 | 17.5 | 7.3 | 2.099 | 46.1 | 6 | 45.84551 | 0.2544888 |
| 52.7 | 29.7 | 17.6 | 7 | 2.115 | 49.5 | 6.5 | 45.14826 | 4.35174 |
| 52.8 | 31.3 | 15.9 | 6.6 | 2.156 | 43 | 4.7 | 46.06897 | -3.068967 |
| 52.9 | 28.2 | 18.9 | 7.1 | 2.104 | 29.5 | 5.7 | 41.58461 | -12.08461 |
| 53 | 28.9 | 18.1 | 7.1 | 2.117 | 44.9 | 5.9 | 43.76183 | 1.1381749 |
| 53 | 29.9 | 17.1 | 7.4 | 2.09 | 44 | 4.3 | 45.00404 | -1.004038 |
| 53.2 | 29.4 | 17.4 | 7.1 | 2.095 | 39.5 | 4.3 | 43.02409 | -3.524086 |
| 53.3 | 28.6 | 18.1 | 6.8 | 2.081 | 51.5 | 4.3 | 39.87354 | 11.626459 |
| 53.4 | 27.2 | 19.4 | 7.1 | 2.103 | 30.5 | 4.8 | 39.53006 | -9.030064 |
| 53.6 | 28.3 | 18.1 | 7.5 | 2.141 | 50 | 5.6 | 45.67719 | 4.3228138 |
| 53.7 | 30.9 | 15.4 | 6.9 | 2.105 | 44.5 | 5.4 | 49.09816 | -4.598164 |
| 53.8 | 27.3 | 18.9 | 6.9 | 2.142 | 53 | 5.7 | 41.41851 | 11.581492 |
| 53.9 | 29.7 | 16.4 | 7.1 | 2.115 | 49.2 | 5.8 | 47.83797 | 1.3620306 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ข) แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Subbase กลุ่ม GC

| UNIFIED | | | O.M.C. (%) | DryDensity (gm./cc.) | CBR (%) | P.I. | CBR(cal.) (%) | ผลต่างCBR (%) |
|-----------|----------|---------|---------------|-------------------------|------------|------|------------------|------------------|
| Gravel(%) | Sand (%) | Clay(%) | | | | | | |
| 61.2 | 22.1 | 16.7 | 7.7 | 2.094 | 30.8 | 8.6 | 30.17754 | 0.6224636 |
| 62 | 25.2 | 12.8 | 7.9 | 2.08 | 28.8 | 8.8 | 28.69216 | 0.1078391 |
| 60.8 | 26 | 13.2 | 8.5 | 2.09 | 29 | 8.7 | 28.48225 | 0.5177527 |
| 61.3 | 21.8 | 16.9 | 7.5 | 2.105 | 28.8 | 7.8 | 30.24225 | -1.442251 |
| 60.7 | 25.3 | 14 | 7.5 | 2.117 | 35.2 | 8.6 | 31.47105 | 3.7289475 |
| 58.2 | 25.6 | 16.2 | 7.2 | 2.136 | 33.5 | 8.6 | 33.20849 | 0.2915146 |
| 50.2 | 31.8 | 18 | 7.5 | 2.134 | 33 | 8.3 | 32.06214 | 0.9378565 |
| 68.3 | 17.5 | 14.2 | 7.8 | 2.109 | 29.4 | 7.8 | 30.38522 | -0.985222 |
| 59.1 | 26.9 | 14 | 7.6 | 2.132 | 32.4 | 7.5 | 30.84933 | 1.550673 |
| 64.5 | 23.4 | 12.1 | 7.1 | 2.126 | 34 | 7.7 | 31.52145 | 2.4785481 |
| 62.9 | 25 | 12.1 | 7.5 | 2.13 | 33 | 7.6 | 30.98834 | 2.0116576 |
| 60.5 | 24.1 | 15.4 | 7.7 | 2.073 | 26 | 8 | 27.80615 | -1.806154 |
| 65.4 | 21.1 | 13.5 | 7.6 | 2.109 | 29.6 | 8 | 30.41949 | -0.81949 |
| 61.9 | 24.1 | 14 | 7.1 | 2.122 | 30.8 | 8.1 | 31.83885 | -1.038851 |
| 64.8 | 22.5 | 12.7 | 7.1 | 2.143 | 34 | 7.8 | 32.88156 | 1.118444 |
| 58.2 | 29.3 | 12.5 | 7.5 | 2.138 | 30.8 | 8.7 | 32.63536 | -1.835358 |
| 60 | 27.8 | 12.2 | 9.2 | 2.125 | 30 | 9.5 | 30.70529 | -0.705292 |
| 60 | 27.8 | 12.2 | 9 | 2.145 | 26.4 | 8.3 | 30.78506 | -4.385063 |
| 57.3 | 28.1 | 14.6 | 8.7 | 2.151 | 34.4 | 9.6 | 33.19998 | 1.2000197 |
| 58.3 | 27.7 | 14 | 7.1 | 2.104 | 26.8 | 8.8 | 31.16089 | -4.360891 |
| 61 | 26.8 | 12.2 | 7.2 | 2.109 | 30.4 | 8.7 | 31.20599 | -0.805986 |
| 57.4 | 29.2 | 13.4 | 7.3 | 2.128 | 29.8 | 8.5 | 32.06875 | -2.26875 |
| 59.1 | 25.7 | 15.2 | 6.7 | 2.136 | 36 | 8.6 | 33.75833 | 2.2416695 |
| 68.3 | 18.9 | 12.8 | 7.1 | 2.119 | 32.4 | 8.1 | 32.01939 | 0.3806077 |
| 51.8 | 32.8 | 15.4 | 8.9 | 2.09 | 32.2 | 8.7 | 27.75304 | 4.4469597 |
| 60.1 | 26.8 | 13.1 | 7.9 | 2.126 | 30 | 7.9 | 30.54663 | -0.546626 |
| 60.4 | 27.2 | 12.4 | 8.5 | 2.136 | 30 | 7.9 | 30.32756 | -0.327559 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับความเห็นชอบจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 02-254-2000 หรือ 02-254-2001

ตารางที่ 5.2 (ข) (ต่อ)

| | | | | | | | | |
|------|------|------|-----|-------|----|-----|----------|-----------|
| 58.3 | 26.7 | 15 | 7.9 | 2.132 | 31 | 7.9 | 31.06431 | -0.06431 |
| 63.7 | 21.5 | 14.8 | 7.3 | 2.128 | 33 | 8.2 | 32.37629 | 0.6237117 |
| 61.1 | 25.3 | 13.6 | 6.8 | 2.147 | 33 | 8.2 | 33.86909 | -0.869088 |

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Selected Material กลุ่ม SM-SC

| UNIFIED | | | O.M.C. (%) | Dry Density (gm./cc.) | CBR (%) | P.I. | CBR(cal.) (%) | ผลต่างCBR (%) |
|-----------|----------|---------|---------------|--------------------------|------------|------|------------------|------------------|
| Gravel(%) | Sand (%) | Clay(%) | | | | | | |
| 43.5 | 30.2 | 26.3 | 7.1 | 2.08 | 23.3 | 4.6 | 19.88925 | 3.410746 |
| 43.8 | 32.6 | 23.6 | 8 | 2.06 | 19 | 6.3 | 12.23922 | 6.760782 |
| 45.7 | 29.9 | 24.4 | 7.7 | 2.05 | 26.5 | 4.5 | 25.0391 | 1.460903 |
| 45.7 | 30.9 | 23.4 | 7.4 | 2.06 | 22.5 | 6.4 | 18.10214 | 4.397859 |
| 45.8 | 28.6 | 25.6 | 6.9 | 2.1 | 26 | 6.1 | 17.87716 | 8.122842 |
| 45.8 | 29.5 | 24.7 | 7 | 2.09 | 24.5 | 5.1 | 24.21802 | 0.281985 |
| 46.5 | 33.5 | 20 | 8.4 | 2.04 | 18.5 | 5.9 | 23.42781 | -4.927811 |
| 46.9 | 31.2 | 21.9 | 7.6 | 2.04 | 19.8 | 5.4 | 27.22704 | -7.42704 |
| 46.9 | 32.4 | 20.7 | 7.6 | 2.04 | 20.5 | 5.9 | 26.6331 | -6.133096 |
| 47.3 | 28 | 24.7 | 7.3 | 2.06 | 15.8 | 6.7 | 17.60969 | -1.809688 |
| 47.5 | 32.6 | 19.9 | 7.9 | 2.06 | 18.9 | 6.8 | 22.60484 | -3.704842 |
| 47.7 | 30.9 | 21.4 | 7.3 | 2.06 | 26.8 | 4.7 | 34.09497 | -7.294965 |
| 47.8 | 34.7 | 17.5 | 7.1 | 2.14 | 48 | 5.4 | 36.76234 | 11.237665 |
| 48 | 32.5 | 19.5 | 7 | 2.09 | 46.5 | 4.7 | 38.67821 | 7.821795 |
| 48.1 | 33.4 | 18.5 | 6.4 | 2.11 | 35.5 | 6.2 | 35.29753 | 0.202474 |
| 48.2 | 27 | 24.8 | 7.2 | 2.07 | 22.2 | 6.4 | 20.84069 | 1.359306 |
| 48.5 | 30.2 | 21.3 | 7.2 | 2.07 | 29.5 | 6.2 | 28.18871 | 1.31129 |
| 48.5 | 32.7 | 18.8 | 7.7 | 2.05 | 19.5 | 5.7 | 32.92826 | -13.42826 |
| 48.6 | 34.7 | 16.7 | 7.1 | 2.07 | 39 | 4.3 | 46.26327 | -7.263273 |
| 49 | 32.6 | 18.4 | 7.4 | 2.07 | 60 | 4.5 | 41.70017 | 18.299834 |
| 49.2 | 32 | 18.8 | 7.2 | 2.1 | 58 | 4 | 44.40948 | 13.59052 |
| 49.3 | 30.9 | 19.8 | 7.3 | 2.09 | 25.9 | 7 | 27.12024 | -1.220239 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าการรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

| | | | | | | | | |
|------|------|------|-----|------|------|-----|----------|-----------|
| 49.4 | 30.5 | 20.1 | 7.2 | 2.06 | 30 | 5.3 | 36.53324 | -6.533237 |
| 49.6 | 29.8 | 20.6 | 7.4 | 2.03 | 26.5 | 6 | 32.00429 | -5.504286 |
| 49.7 | 30.4 | 19.9 | 7.3 | 2.11 | 41.2 | 5.5 | 35.05969 | 6.14031 |
| 49.9 | 30.7 | 19.4 | 7.2 | 2.07 | 41.8 | 4.8 | 40.97188 | 0.828125 |
| 50 | 27.9 | 22.1 | 7.2 | 2.09 | 25 | 4.9 | 35.82824 | -10.82824 |
| 50.1 | 30.7 | 19.2 | 6.9 | 2.08 | 31 | 6.1 | 36.17638 | -5.176383 |
| 50.1 | 30.8 | 19.1 | 7.2 | 2.1 | 33.5 | 5.5 | 37.71002 | -4.210024 |
| 50.2 | 30.9 | 18.9 | 7.6 | 2.06 | 17.6 | 5.8 | 35.45549 | -17.85549 |
| 50.5 | 30.2 | 19.3 | 7.7 | 2.08 | 36 | 4.6 | 40.69426 | -4.694262 |
| 50.6 | 30.3 | 19.1 | 7.2 | 2.1 | 47.9 | 5.3 | 39.60146 | 8.298541 |
| 50.6 | 33.4 | 16 | 7.2 | 2.11 | 42.5 | 5.2 | 45.09277 | -2.592774 |
| 50.7 | 31.3 | 18 | 6.5 | 2.1 | 47 | 4.6 | 48.52487 | -1.524869 |
| 51 | 28.8 | 20.2 | 7.4 | 2.1 | 32.6 | 6.8 | 29.77118 | 2.828816 |
| 51 | 29.1 | 19.9 | 7.6 | 2.08 | 39.5 | 6.9 | 29.14775 | 10.352249 |
| 51.6 | 27.9 | 20.5 | 7.2 | 2.06 | 30 | 5 | 41.197 | -11.197 |
| 51.7 | 29.5 | 18.8 | 7.6 | 2.1 | 33 | 6.9 | 31.8298 | 1.170205 |
| 52.1 | 28.9 | 19 | 7.2 | 2.1 | 54 | 4.6 | 45.95798 | 8.042023 |
| 52.4 | 30.2 | 17.4 | 7.8 | 2.07 | 53 | 4.5 | 47.32834 | 5.671658 |
| 52.9 | 29.1 | 18 | 7.2 | 2.11 | 29.5 | 5.2 | 45.72732 | -16.22732 |
| 53 | 28.8 | 18.2 | 7.4 | 2.08 | 41.8 | 6.9 | 36.33628 | 5.463724 |
| 53.1 | 27.1 | 19.8 | 7.3 | 2.13 | 40 | 6.3 | 36.60168 | 3.398323 |
| 53.2 | 29.7 | 17.1 | 7.1 | 2.06 | 43.5 | 4.5 | 52.62506 | -9.125057 |
| 53.2 | 31.3 | 15.5 | 6.9 | 2.09 | 50 | 4.6 | 55.22204 | -5.222035 |
| 54.7 | 29.4 | 15.9 | 7 | 2.11 | 65 | 5.6 | 51.18284 | 13.817158 |
| 55 | 28.3 | 16.7 | 7.5 | 2.1 | 56 | 4.5 | 53.84478 | 2.155221 |
| 55.1 | 29.4 | 15.5 | 7.2 | 2.08 | 60 | 4.9 | 55.68362 | 4.316382 |
| 55.3 | 29.2 | 15.5 | 7 | 2.09 | 65 | 4.6 | 58.35638 | 6.643624 |
| 55.4 | 29.2 | 15.4 | 6.8 | 2.09 | 55 | 4.9 | 58.08645 | -3.086448 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงข้อมูลคุณสมบัติของดินชั้น Subgrade กลุ่ม SM-SC

| UNIFIED | | | O.M.C. (%) | DryDensity (gm./cc.) | CBR. (%) | P.I. | CBR(cal.) (%) | ผลต่างCBR (%) |
|-----------|----------|---------|---------------|-------------------------|-------------|------|------------------|------------------|
| Gravel(%) | Sand (%) | Clay(%) | | | | | | |
| 10.2 | 40.1 | 49.7 | 12.4 | 1.834 | 4.2 | 9.9 | 2.719432 | 1.4805684 |
| 18.3 | 28.8 | 52.9 | 12.5 | 1.845 | 3.1 | 11.2 | 0.752654 | 2.3473462 |
| 21.9 | 34.6 | 43.5 | 11.8 | 1.843 | 3.5 | 10.5 | 3.752937 | -0.252937 |
| 24.1 | 35.2 | 40.7 | 9.4 | 1.927 | 5.4 | 7.4 | 5.256941 | 0.143059 |
| 25 | 33.3 | 41.7 | 10.3 | 1.929 | 4 | 7.3 | 5.713195 | -1.713195 |
| 26.6 | 36.2 | 37.2 | 10.5 | 1.899 | 5.6 | 8.7 | 6.059485 | -0.459485 |
| 26.8 | 28.1 | 45.1 | 10.8 | 1.875 | 3.3 | 12.2 | 0.802529 | 2.4974708 |
| 31.1 | 37.4 | 31.5 | 9.7 | 1.962 | 8.5 | 7.1 | 8.542099 | -0.042099 |
| 33.3 | 38 | 28.7 | 9.6 | 1.929 | 3.8 | 10 | 6.476534 | -2.676534 |
| 35.8 | 34.2 | 30 | 10.2 | 1.932 | 5.1 | 8.3 | 8.312753 | -3.212753 |
| 36.3 | 44.2 | 19.5 | 9.6 | 1.937 | 12 | 8 | 11.37317 | 0.6268325 |
| 38.9 | 30.6 | 30.5 | 10.3 | 1.843 | 6.5 | 9.9 | 7.134893 | -0.634893 |
| 41 | 30.2 | 28.8 | 9.5 | 1.94 | 4.7 | 10.2 | 6.068129 | -1.368129 |
| 41.9 | 27.9 | 30.2 | 10.8 | 1.854 | 6.5 | 10 | 7.50925 | -1.00925 |
| 42.3 | 24 | 33.7 | 11.1 | 1.838 | 4.2 | 10.4 | 6.389444 | -2.189444 |
| 42.4 | 27.3 | 30.3 | 8.7 | 1.919 | 5.4 | 7.2 | 8.137017 | -2.737017 |
| 42.7 | 32.3 | 25 | 10.5 | 1.888 | 6.6 | 11.3 | 7.515717 | -0.915717 |
| 42.8 | 24.9 | 32.3 | 11.2 | 1.833 | 7.1 | 10 | 7.264515 | -0.164515 |
| 43.3 | 30.2 | 26.5 | 10.3 | 1.834 | 5.4 | 12.5 | 6.053692 | -0.653692 |
| 43.7 | 29.6 | 26.7 | 10.2 | 1.891 | 7.3 | 10.1 | 7.802494 | -0.502494 |
| 43.8 | 31.2 | 25 | 10.3 | 1.881 | 7.6 | 9.6 | 8.944523 | -1.344523 |
| 44 | 32.8 | 23.2 | 10.4 | 1.9 | 9.5 | 9.7 | 9.408964 | 0.0910356 |
| 44.3 | 30.6 | 25.1 | 10.1 | 1.898 | 9.9 | 9 | 9.230571 | 0.6694291 |
| 44.4 | 33.3 | 22.3 | 10.5 | 1.91 | 8.3 | 8.4 | 10.94134 | -2.641344 |
| 45.1 | 30.3 | 24.6 | 11.4 | 1.891 | 13.8 | 9.2 | 10.23364 | 3.5663618 |
| 46.2 | 30.7 | 23.1 | 9.2 | 1.962 | 12.9 | 8.8 | 8.903981 | 3.9960186 |
| 46.6 | 30.5 | 22.9 | 10.6 | 1.891 | 8.5 | 9.3 | 10.08207 | -1.582072 |
| 46.6 | 34.1 | 19.3 | 9.1 | 1.966 | 11.5 | 8.1 | 10.73938 | 0.7606246 |

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

| | | | | | | | | |
|------|------|------|------|-------|------|------|----------|-----------|
| 46.8 | 29.8 | 23.4 | 10.5 | 1.833 | 4.9 | 12.5 | 7.244354 | -2.344354 |
| 46.9 | 30.8 | 22.3 | 10.2 | 1.894 | 9.6 | 9.7 | 9.540869 | 0.0591312 |
| 47.6 | 29.9 | 22.5 | 10.3 | 1.919 | 10.7 | 9.1 | 10.02054 | 0.6794552 |
| 47.8 | 24.8 | 27.4 | 10.3 | 1.851 | 9 | 11.4 | 6.68062 | 2.3193804 |
| 48.1 | 32.2 | 19.7 | 9.4 | 1.962 | 11.7 | 8.1 | 10.91859 | 0.7814116 |
| 48.2 | 35 | 16.8 | 10.2 | 1.948 | 14.9 | 8 | 12.65815 | 2.2418518 |
| 48.4 | 33.4 | 18.2 | 11.1 | 1.887 | 7.1 | 10.1 | 11.25154 | -4.151541 |
| 49 | 32.2 | 18.8 | 9.3 | 1.908 | 7 | 9.2 | 10.19027 | -3.19027 |
| 49.1 | 28.5 | 22.4 | 10.3 | 1.893 | 12.2 | 9.8 | 9.509925 | 2.6900745 |
| 49.3 | 30 | 20.7 | 11.4 | 1.827 | 7.1 | 10.7 | 10.48274 | -3.382739 |
| 49.3 | 31.4 | 19.3 | 9.7 | 1.944 | 14.3 | 8 | 11.49129 | 2.8087138 |
| 49.7 | 30.8 | 19.5 | 10.4 | 1.92 | 13.9 | 9.4 | 10.75168 | 3.1483169 |
| 49.8 | 28.2 | 22 | 10.2 | 1.899 | 11.6 | 10.1 | 9.22828 | 2.3717203 |
| 49.9 | 28.5 | 21.6 | 10.6 | 1.886 | 8.5 | 10.2 | 9.689166 | -1.189166 |
| 51.2 | 29.5 | 19.3 | 10.1 | 1.93 | 12 | 9 | 10.89398 | 1.1060248 |
| 51.2 | 30.8 | 18 | 10.3 | 1.942 | 14.9 | 8.3 | 12.09369 | 2.806307 |
| 51.3 | 28.6 | 20.1 | 9.7 | 1.92 | 12.9 | 8.1 | 11.24169 | 1.6583138 |
| 51.5 | 27.4 | 21.2 | 10.6 | 1.897 | 7.8 | 8.2 | 11.61038 | -3.810376 |
| 51.8 | 27.9 | 20.3 | 9.8 | 1.91 | 14.2 | 9.1 | 10.3063 | 3.8937007 |
| 51.8 | 31 | 17.2 | 10 | 1.946 | 12.3 | 7.6 | 12.78397 | -0.483972 |
| 53.7 | 29.9 | 16.4 | 10.1 | 1.912 | 12.8 | 9 | 11.88101 | 0.9189897 |
| 54.9 | 28.4 | 16.7 | 10.4 | 1.933 | 11.4 | 9 | 11.94621 | -0.546214 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

แสดงตารางการวิเคราะห์การถดถอย

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แต่ละคู่ของตัวแปรอิสระชั้น Base Course

ตารางที่ 5.6(ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่จากตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Base Course

ตารางที่ 5.6(ข) แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Base Course

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR(การทดลอง) และ CBR(การคำนวณ)จากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Base Course

ตารางที่ 5.8(ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แต่ละคู่ของตัวแปรอิสระ ชั้น Subbase กลุ่ม GC

ตารางที่ 5.9.1(ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่จากตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Subbase กลุ่ม GC

ตารางที่ 5.9.2(ก) แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Subbase กลุ่ม GC

ตารางที่ 5.10(ก) แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR(การทดลอง) และ CBR(การคำนวณ)จากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Subbase กลุ่ม GC

ตารางที่ 5.8(ข) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แต่ละคู่ของตัวแปรอิสระ ชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC

ตารางที่ 5.9.1(ข) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่จากตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC

ตารางที่ 5.9.2(ข) แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC

ตารางที่ 5.10(ข) แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR(การทดลอง) และ CBR(การคำนวณ)จากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC

ตารางที่ 5.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แต่ละคู่ของตัวแปรอิสระชั้น Selected Material

ตารางที่ 5.12(ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่จากตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Selected Material

ตารางที่ 5.12(ข) แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Selected Material

ตารางที่ 5.13 แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR (การทดลอง) และ CBR (การคำนวณ)จากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Selected Material

ตารางที่ 5.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แต่ละคู่ของตัวแปรอิสระชั้น Subgrade

ตารางที่ 5.15(ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระใหม่จากตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Subgrade

ตารางที่ 5.15(ข) แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ถดถอยชั้น Subgrade

ตารางที่ 5.16 แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR (การทดลอง) และ CBR (การคำนวณ)จากการวิเคราะห์

ถดถอยชั้น Subgrade

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคู่ของตัวแปรอิสระ
 ชั้น Base Course กลุ่ม GP-GM

Correlations

| | | C | DRY | G | OMC | S |
|---------------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| Pearson Correlation | C | 1.000 | -.169 | -.478** | .088 | -.029 |
| | DRY | -.169 | 1.000 | -.270 | -.543** | .401** |
| | G | -.478** | -.270 | 1.000 | .285* | -.864** |
| | OMC | .088 | -.543** | .285* | 1.000 | -.367** |
| | S | -.029 | .401** | -.864** | -.367** | 1.000 |
| Sig. (2-tailed) | C | . | .242 | .000 | .544 | .844 |
| | DRY | .242 | . | .058 | .000 | .004 |
| | G | .000 | .058 | . | .045 | .000 |
| | OMC | .544 | .000 | .045 | . | .009 |
| | S | .844 | .004 | .000 | .009 | . |
| N | C | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | DRY | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | G | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | OMC | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | S | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางที่ 5.6 (ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระใหม่จาก
 ตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Base Course

Correlations

| | | GSC | OMCMDRY |
|---------------------|---------|-------|---------|
| Pearson Correlation | GSC | 1.000 | -.054 |
| | OMCMDRY | -.054 | 1.000 |
| Sig. (2-tailed) | GSC | . | .709 |
| | OMCMDRY | .709 | . |
| N | GSC | 50 | 50 |
| | OMCMDRY | 50 | 50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ข) แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์การถดถอยขั้น Base Course

Variables Entered/Removed^b

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|-------|-------------------|-------------------|--------|
| 1 | OMCMDRY Y, GSC | | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CBR

Model Summary

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | .632 ^a | .400 | .374 | 10.2735 |

a. Predictors: (Constant), OMCMDRY, GSC

ANOVA^b

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1 | Regression | 3306.103 | 2 | 1653.051 | 15.662 | .000 ^a |
| | Residual | 4960.617 | 47 | 105.545 | | |
| | Total | 8266.720 | 49 | | | |

a. Predictors: (Constant), OMCMDRY, GSC

b. Dependent Variable: CBR

Coefficients^a

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. | 95% Confidence Interval for B | |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|-------------------------------|-------------|
| | | B | Std. Error | Beta | | | Lower Bound | Upper Bound |
| 1 | (Constant) | 68.776 | 11.028 | | 6.237 | .000 | 46.591 | 90.961 |
| | GSC | 2.296E-03 | .000 | .603 | 5.331 | .000 | .001 | .003 |
| | OMCMDRY | -3.569 | 2.524 | -.160 | -1.414 | .164 | -8.647 | 1.509 |

a. Dependent Variable: CBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR (จากการทดสอบ) และ CBR (จากการคำนวณ) จากการวิเคราะห์ถดถอย ชั้น Base Course

Curve Fit

MODEL: MOD_1.

Independent: CBRCAL

| Dependent | Mth | Rsq | d.f. | F | Sigf | b0 | b1 | b2 | b3 |
|-----------|-----|------|------|-------|------|---------|----|--------|-------|
| 9 CBR | CUB | .536 | 47 | 27.13 | .000 | 244.894 | | -.0662 | .0005 |

Notes:

9 Tolerance limits reached; some dependent variables were not entered.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 (ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคู่ของตัวแปร
อิสระชั้น Subbase กลุ่ม GC

Correlations

| | | C | DRY | G | OMC | PI | S |
|------------------------|-----|--------|-------|---------|-------|--------|---------|
| Pearson Correlation | C | 1.000 | -.178 | -.459* | -.134 | .032 | .054 |
| | DRY | -.178 | 1.000 | -.087 | -.114 | -.064 | .180 |
| | G | -.459* | -.087 | 1.000 | -.278 | -.396* | -.912** |
| | OMC | -.134 | -.114 | -.278 | 1.000 | .378* | .374* |
| | PI | .032 | -.064 | -.396* | .378* | 1.000 | .430* |
| | S | .054 | .180 | -.912** | .374* | .430* | 1.000 |
| Sig. (2-tailed) | C | | .346 | .011 | .480 | .865 | .776 |
| | DRY | .346 | | .647 | .548 | .738 | .340 |
| | G | .011 | .647 | | .138 | .030 | .000 |
| | OMC | .480 | .548 | .138 | | .039 | .042 |
| | PI | .865 | .738 | .030 | .039 | | .018 |
| | S | .776 | .340 | .000 | .042 | .018 | |
| N | C | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | DRY | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | G | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | OMC | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | PI | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | S | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ 5.9(ก)

ตารางที่ 5.9.1 (ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระใหม่จาก
ตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Subbase กลุ่ม GC

Correlations

| | | DRY | GCPS | OMCPPI |
|------------------------|--------|-------|-------|--------|
| Pearson Correlation | DRY | 1.000 | -.259 | -.062 |
| | GCPS | -.259 | 1.000 | -.076 |
| | OMCPPI | -.062 | -.076 | 1.000 |
| Sig. (2-tailed) | DRY | | .167 | .744 |
| | GCPS | .167 | | .692 |
| | OMCPPI | .744 | .692 | |
| N | DRY | 30 | 30 | 30 |
| | GCPS | 30 | 30 | 30 |
| | OMCPPI | 30 | 30 | 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9.2 (ก) แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์การถดถอยขั้น Subbase กลุ่ม

GC

Variables Entered/Removed^b

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|-------|--------------------------------|-------------------|--------|
| 1 | OMCPPI, DRY, GCPS ^a | | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CBR

Model Summary

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | .625 ^a | .391 | .321 | 2.0875 |

a. Predictors: (Constant), OMCPPI, DRY, GCPS

ANOVA^b

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|-------|-------------------|
| 1 | Regression | 72.760 | 3 | 24.253 | 5.566 | .004 ^a |
| | Residual | 113.295 | 26 | 4.357 | | |
| | Total | 186.055 | 29 | | | |

a. Predictors: (Constant), OMCPPI, DRY, GCPS

b. Dependent Variable: CBR

Coefficients^a

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | -99.475 | 43.356 | | -2.294 | .030 |
| | DRY | 65.656 | 19.898 | .525 | 3.300 | .003 |
| | GCPS | 3.666E-02 | .052 | .111 | .698 | .491 |
| | OMCPPI | -10.640 | 5.014 | -.327 | -2.122 | .044 |

a. Dependent Variable: CBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10(ก) แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR (จากการทดลอง) และค่า CBR (การคำนวณ)จากการวิเคราะห์ถดถอย ชั้น Subbase กลุ่ม GC

Curve Fit

MODEL: MOD_1.

Independent: CBRCAL

| Dependent Mth | Rsq | d.f. | F | Sigf | b0 | b1 | b2 | |
|---------------|-----|------|----|-------|------|---------|---------|-------|
| CBR | QUA | .432 | 27 | 10.27 | .000 | 151.638 | -8.8615 | .1599 |

ตารางที่ 5.8 (ข) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคู่ของตัวแปรอิสระชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC

Correlations

| | | C | DRY | G | OMC | PI | S |
|---------------------|-----|---------|---------|---------|---------|-------|---------|
| Pearson Correlation | C | 1.000 | -.278 | -.197 | .244 | -.003 | -.656** |
| | DRY | -.278 | 1.000 | .134 | -.606** | .274 | .121 |
| | G | -.197 | .134 | 1.000 | -.009 | -.014 | -.611** |
| | OMC | .244 | -.606** | -.009 | 1.000 | .156 | -.190 |
| | PI | -.003 | .274 | -.014 | .156 | 1.000 | .013 |
| | S | -.656** | .121 | -.611** | -.190 | .013 | 1.000 |
| Sig. (2-tailed) | C | . | .051 | .170 | .087 | .982 | .000 |
| | DRY | .051 | . | .353 | .000 | .055 | .402 |
| | G | .170 | .353 | . | .949 | .924 | .000 |
| | OMC | .087 | .000 | .949 | . | .278 | .186 |
| | PI | .982 | .055 | .924 | .278 | . | .927 |
| | S | .000 | .402 | .000 | .186 | .927 | . |
| N | C | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | DRY | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | G | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | OMC | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | PI | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | S | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกทั้งหมดให้หมดและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9(ข)

ตารางที่ 5.9.1(ข) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระใหม่จาก
ตัวแปร อิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC

Correlations

| | | G | PI | SC | OMCDRY |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|
| Pearson Correlation | G | 1.000 | -.014 | -.142 | .031 |
| | PI | -.014 | 1.000 | .003 | .264 |
| | SC | -.142 | .003 | 1.000 | -.216 |
| | OMCDRY | .031 | .264 | -.216 | 1.000 |
| Sig. (2-tailed) | G | . | .924 | .324 | .829 |
| | PI | .924 | . | .984 | .064 |
| | SC | .324 | .984 | . | .132 |
| | OMCDRY | .829 | .064 | .132 | . |
| N | G | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | PI | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | SC | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | OMCDRY | 50 | 50 | 50 | 50 |

ตารางที่ 5.9.2 (ข) แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์การถดถอยชั้น Subbase กลุ่ม

SM-SC

Variables Entered/Removed^a

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|-------|-------------------|-------------------|--------|
| 1 | SC, PI, G, OMCDRY | | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CBR

Model Summary

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | .400 ^a | .160 | .085 | 7.1072 |

a. Predictors: (Constant), SC, PI, G, OMCDRY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANOVA^b

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|-------|-------------------|
| 1 | Regression | 432.893 | 4 | 108.223 | 2.143 | .091 ^a |
| | Residual | 2273.067 | 45 | 50.513 | | |
| | Total | 2705.960 | 49 | | | |

a. Predictors: (Constant), SC, PI, G, OMCDRY

b. Dependent Variable: CBR

Coefficients^a

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | -74.549 | 60.656 | | -1.229 | .225 |
| | OMCDRY | 2.147 | 1.978 | .158 | 1.085 | .284 |
| | G | 1.014 | .965 | .145 | 1.051 | .299 |
| | PI | 1.279 | 1.602 | .113 | .798 | .429 |
| | SC | 15.502 | 6.086 | .361 | 2.547 | .014 |

a. Dependent Variable: CBR

ตารางที่ 5.10(ข) แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR (การทดลอง) และค่า CBR (การคำนวณ) จากการวิเคราะห์ถดถอย ชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC

Curve Fit

MODEL: MOD_2.

-

Independent: CBRCAL

Dependent Mth Rsq d.f. F Sig b0 b1

CBR LIN .143 48 7.99 .007 2.7491 .9309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคู่ของตัวแปรอิสระ
ชั้น Selected Material กลุ่ม SM-SC

| | | C | DRY | G | OMC | PI | S |
|---------------------|-----|---------|---------|---------|---------|-------|---------|
| Pearson Correlation | C | 1.000 | -.329* | -.794** | .189 | .299* | -.235 |
| | DRY | -.329* | 1.000 | .374** | -.520** | -.056 | -.103 |
| | G | -.794** | .374** | 1.000 | -.247 | -.194 | -.404** |
| | OMC | .189 | -.520** | -.247 | 1.000 | .247 | .111 |
| | PI | .299* | -.056 | -.194 | .247 | 1.000 | -.140 |
| | S | -.235 | -.103 | -.404** | .111 | -.140 | 1.000 |
| Sig. (2-tailed) | C | . | .019 | .000 | .188 | .035 | .100 |
| | DRY | .019 | . | .007 | .000 | .701 | .477 |
| | G | .000 | .007 | . | .084 | .178 | .004 |
| | OMC | .188 | .000 | .084 | . | .083 | .445 |
| | PI | .035 | .701 | .178 | .083 | . | .333 |
| | S | .100 | .477 | .004 | .445 | .333 | . |
| N | C | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | DRY | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | G | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | OMC | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | PI | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | S | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ 5.12 (ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระใหม่จาก
ตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Selected Material

| | | S | OMCDRY | GMC | PI |
|---------------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| Pearson Correlation | S | 1.000 | .090 | -.099 | -.140 |
| | OMCDRY | .090 | 1.000 | -.157 | .260 |
| | GMC | -.099 | -.157 | 1.000 | -.258 |
| | PI | -.140 | .260 | -.258 | 1.000 |
| Sig. (2-tailed) | S | . | .536 | .492 | .333 |
| | OMCDRY | .536 | . | .277 | .069 |
| | GMC | .492 | .277 | . | .070 |
| | PI | .333 | .069 | .070 | . |
| N | S | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | OMCDRY | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | GMC | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | PI | 50 | 50 | 50 | 50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ GMC ใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น 50 อนุญาตให้ 50 ไปใช้ประ 50 ษณ 50 ด้านการค้
ไม่วารณใดๆ ทั้งนี้ อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์เผยแพร่ และต้องขัง อิงเงง ของเอกสารทุกแห่งที่นำ ไปใช้

ตารางที่ 5.12 (ข) แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์การถดถอยขั้น Selected

Material

Variables Entered/Removed^a

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|-------|--------------------|-------------------|--------|
| 1 | PI, S, OMCDRY, GMC | | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CBR

Model Summary

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | .828 ^a | .685 | .657 | 8.1529 |

a. Predictors: (Constant), PI, S, OMCDRY, GMC

ANOVA^b

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1 | Regression | 6511.942 | 4 | 1627.985 | 24.492 | .000 ^a |
| | Residual | 2991.152 | 45 | 66.470 | | |
| | Total | 9503.094 | 49 | | | |

a. Predictors: (Constant), PI, S, OMCDRY, GMC

b. Dependent Variable: CBR

Coefficients^a

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | 48.821 | 34.650 | | 1.409 | .166 |
| | OMCDRY | -2.254 | 1.845 | -.107 | -1.222 | .228 |
| | S | -2.99E-02 | .651 | -.004 | -.046 | .964 |
| | GMC | 1.687 | .226 | .655 | 7.463 | .000 |
| | PI | -5.165 | 1.488 | -.315 | -3.470 | .001 |

a. Dependent Variable: CBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 แสดงค่าทางสถิติของค่าCBR(การทดลอง) และค่าCBR(การคำนวณ)
จากการวิเคราะห์ถดถอย ชั้น Selected Material กลุ่ม SM-SC

Curve Fit

MODEL: MOD_3.

Independent: CBRCAL

| Dependent | Mth | Rsq | d.f. | F | Sigf | b0 | b1 | b2 | b3 |
|-----------|-----|------|------|-------|------|---------|---------|-------|--------|
| CBR | CUB | .701 | 46 | 35.93 | .000 | 34.6525 | -2.0315 | .0804 | -.0007 |

ตารางที่ 5.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคู่ของตัวแปรอิสระ
ชั้น Subgrade กลุ่ม SC

Correlations

| | | C | DRY | G | OMC | PI | S |
|------------------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Pearson Correlation | C | 1.000 | -.431** | -.927** | .488** | .240 | .122 |
| | DRY | -.431** | 1.000 | .253 | -.722** | -.759** | .336* |
| | G | -.927** | .253 | 1.000 | -.395** | -.085 | -.485** |
| | OMC | .488** | -.722** | -.395** | 1.000 | .507** | -.093 |
| | PI | .240 | -.759** | -.085 | .507** | 1.000 | -.336* |
| | S | .122 | .336* | -.485** | -.093 | -.336* | 1.000 |
| Sig. (2-tailed) | C | | .002 | .000 | .000 | .094 | .397 |
| | DRY | .002 | | .076 | .000 | .000 | .017 |
| | G | .000 | .076 | | .004 | .559 | .000 |
| | OMC | .000 | .000 | .004 | | .000 | .522 |
| | PI | .094 | .000 | .559 | .000 | | .017 |
| | S | .397 | .017 | .000 | .522 | .017 | |
| N | C | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | DRY | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | G | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | OMC | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | PI | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | S | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.15 (ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระใหม่จาก
ตัวแปรอิสระเดิมที่มีความสัมพันธ์กันชั้น Subgrade

Correlations

| | | GPLSMC | DRYPIPOM |
|---------------------|----------|--------|----------|
| Pearson Correlation | GPLSMC | 1.000 | .086 |
| | DRYPIPOM | .086 | 1.000 |
| Sig. (2-tailed) | GPLSMC | . | .551 |
| | DRYPIPOM | .551 | . |
| N | GPLSMC | 50 | 50 |
| | DRYPIPOM | 50 | 50 |

ตารางที่ 5.15 (ข) แสดงค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์การถดถอยชั้น Subgrade

Variables Entered/Removed^a

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|-------|-------------------|-------------------|--------|
| 1 | GPLSMC, DRYPIPOM | | Enter |

- a. All requested variables entered.
b. Dependent Variable: CBR

Model Summary

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | .799 ^a | .638 | .623 | 2.1831 |

- a. Predictors: (Constant), GPLSMC, DRYPIPOM

ANOVA^b

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1 | Regression | 394.906 | 2 | 197.453 | 41.431 | .000 ^a |
| | Residual | 223.994 | 47 | 4.766 | | |
| | Total | 618.900 | 49 | | | |

- a. Predictors: (Constant), GPLSMC, DRYPIPOM
b. Dependent Variable: CBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coefficients^a

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | 10.133 | 2.833 | | 3.577 | .001 |
| | DRYPIPOM | -5.127 | 1.600 | -.282 | -3.205 | .002 |
| | GPLSMC | .156 | .018 | .772 | 8.765 | .000 |

a. Dependent Variable: CBR

ตารางที่ 5.16 แสดงค่าทางสถิติของค่า CBR (การทดลอง) และค่า CBR (การคำนวณ) จากการวิเคราะห์ถดถอย ชั้น Subgrade กลุ่ม SC

Curve Fit

MODEL: MOD_4.

Independent: CBRCAL

| Dependent | Mth | Rsq | d.f. | F | Sigf | b0 | b1 | b2 | b3 |
|-----------|-----|------|------|-------|------|--------|---------|-------|--------|
| CBR | CUB | .681 | 46 | 32.68 | .000 | 4.1201 | -1.0310 | .2569 | -.0094 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

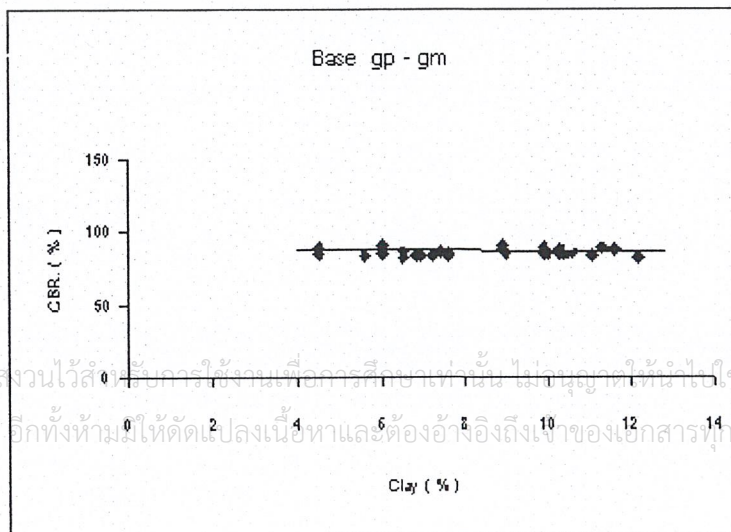
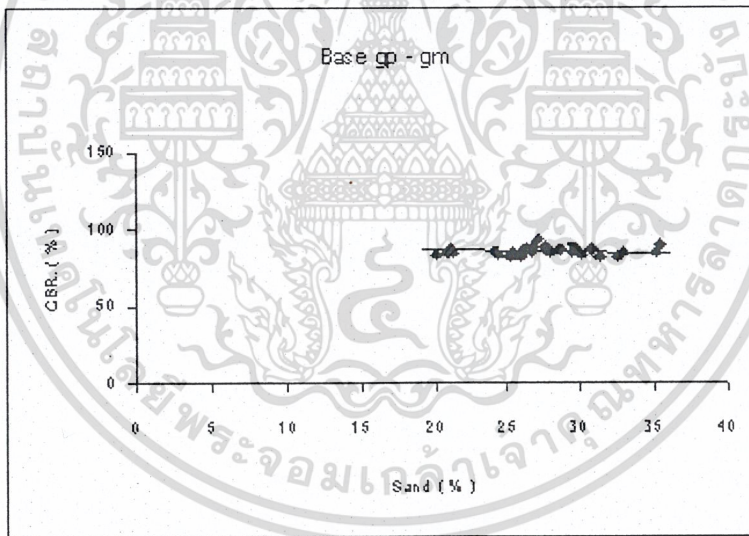
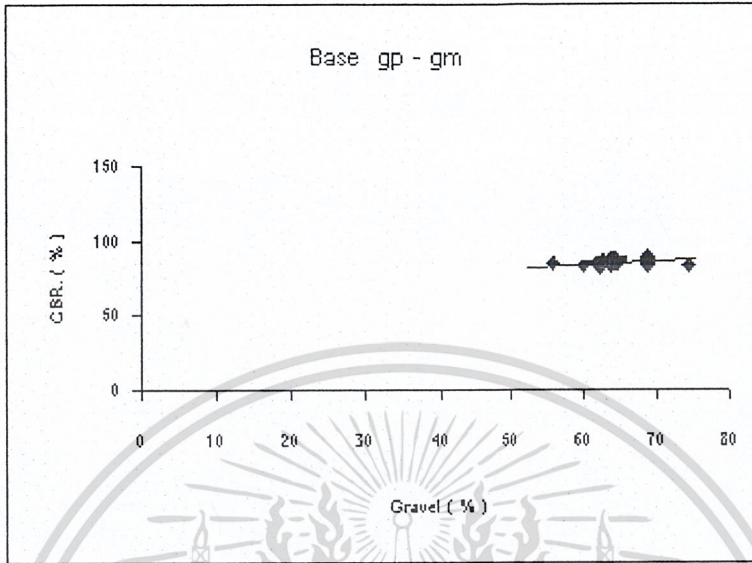
ภาคผนวก ก.

แสดงกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลคุณสมบัติดิน

- รูปที่ 5.1 แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , OMC , γ_d และค่า %CBR
ชั้น Base Course
- รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR (การทดลอง) และค่า %CBR (การคำนวณ)
ชั้น Base Course
- รูปที่ 5.3(a) แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , OMC , γ_d ,PI และค่า
%CBR ชั้น Subbase กลุ่ม GC
- รูปที่ 5.4(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR (การทดลอง) และค่า %CBR (การคำนวณ)
ชั้น Subbase กลุ่ม GC
- รูปที่ 5.3(b) แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , OMC , γ_d , PI และค่า
%CBR ชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC
- รูปที่ 5.4(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR(การทดลอง) และค่า %CBR (การคำนวณ)
ชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC
- รูปที่ 5.5 แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , OMC , γ_d , PI และค่า
%CBR ชั้น Selected Material
- รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR(การทดลอง) และค่า %CBR (การคำนวณ)
ชั้น Selected Material
- รูปที่ 5.7 แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , OMC , γ_d , PI และค่า
%CBR ชั้น Subgrade
- รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %CBR(การทดลอง) และค่า %CBR (การคำนวณ)
ชั้น Subgrade

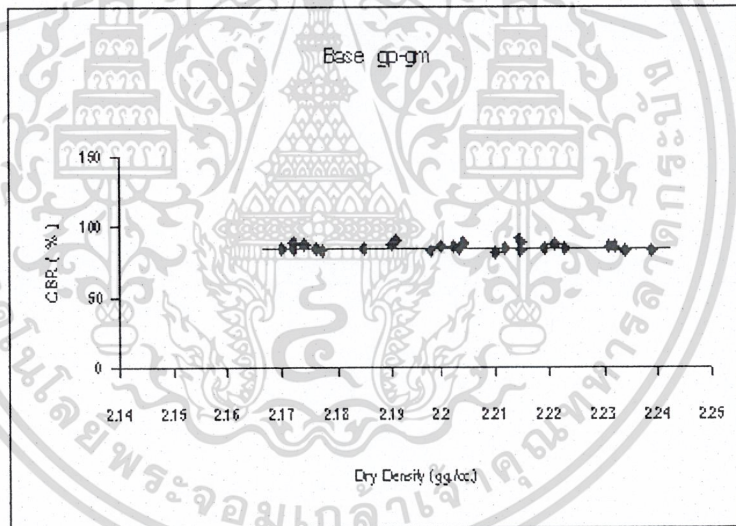
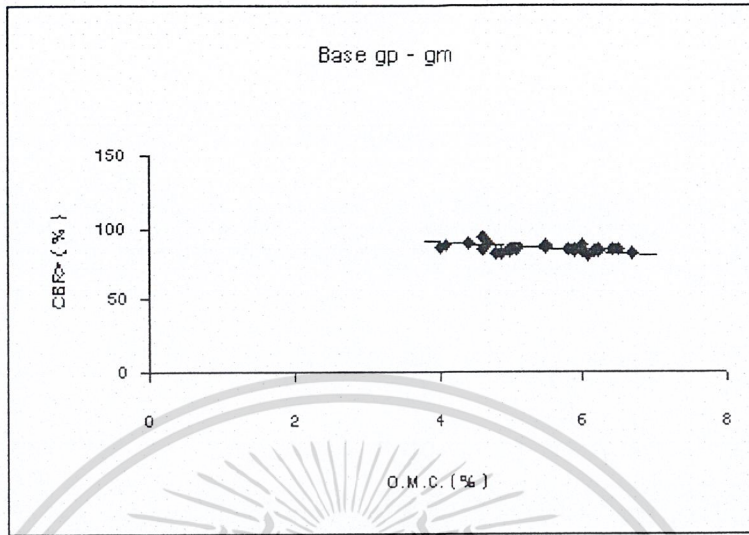
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , γ_d , OMC และค่า %CBR ชั้น Base Course



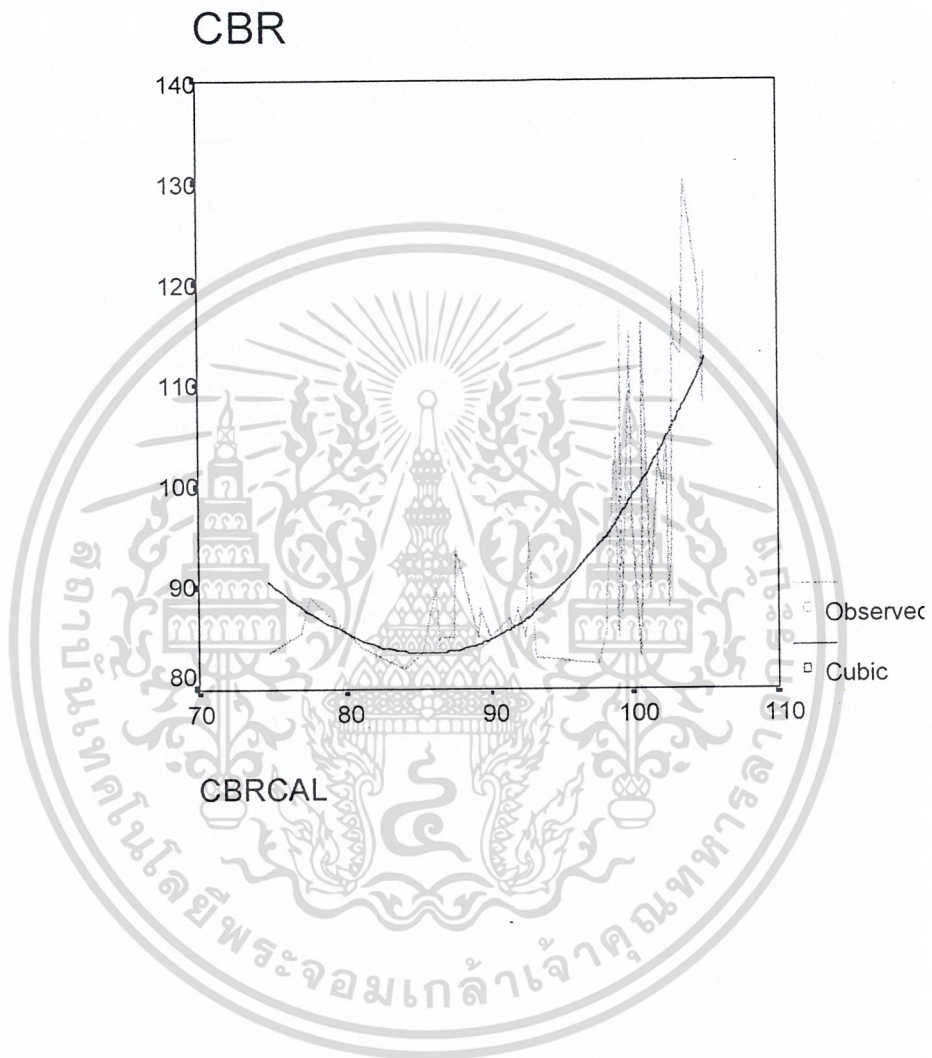
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 (ต่อ)



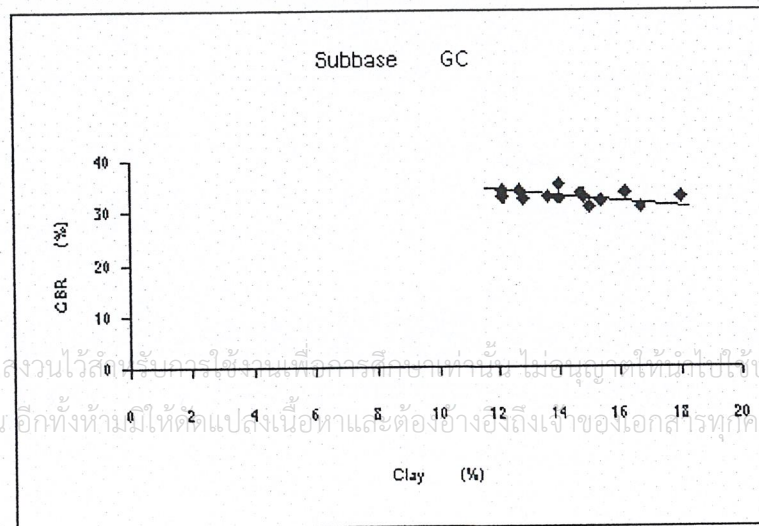
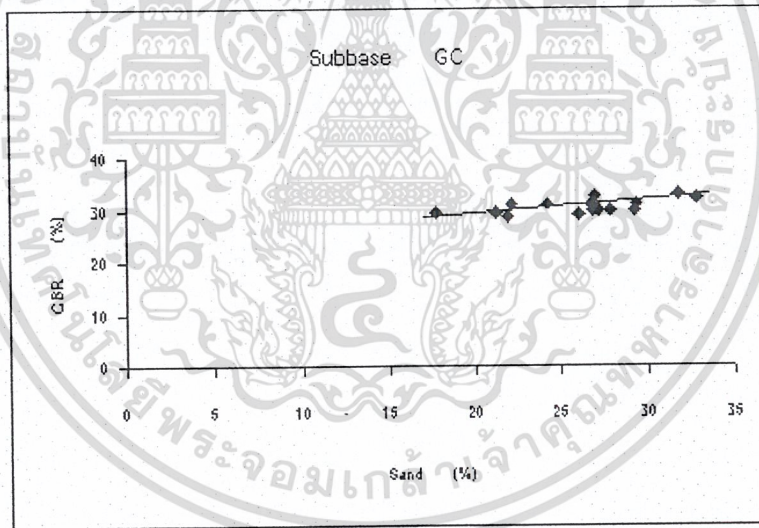
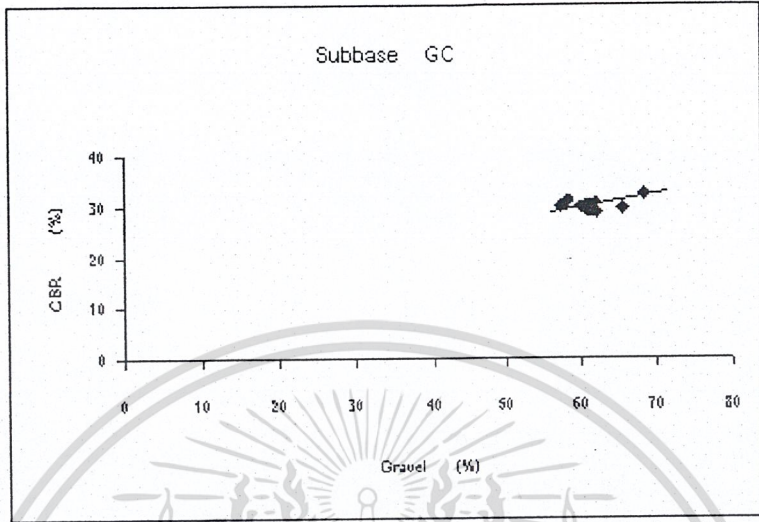
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR (การทดลอง) และ ค่า CBR (การคำนวณ) ชั้น Base Course กลุ่ม GP-GM



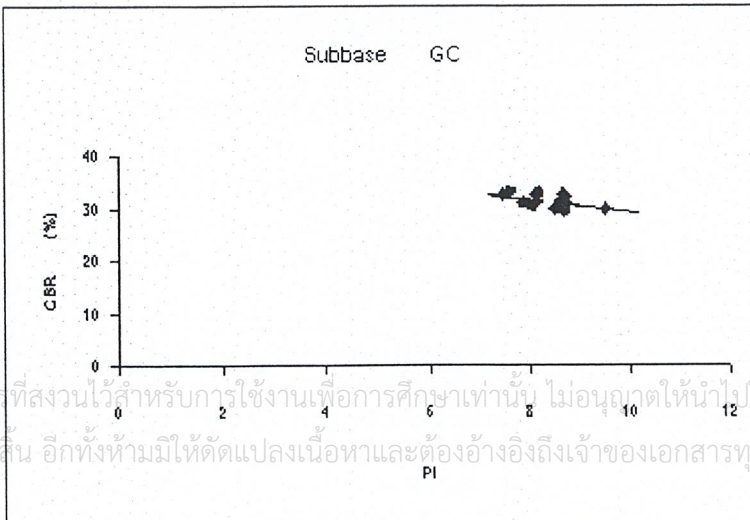
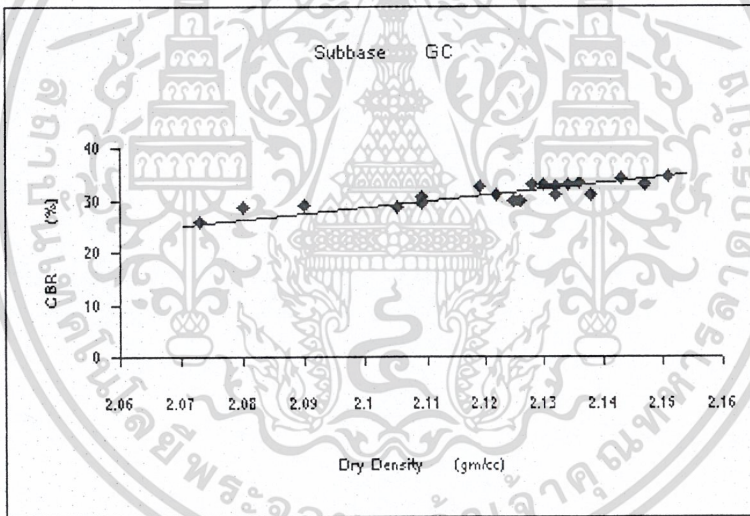
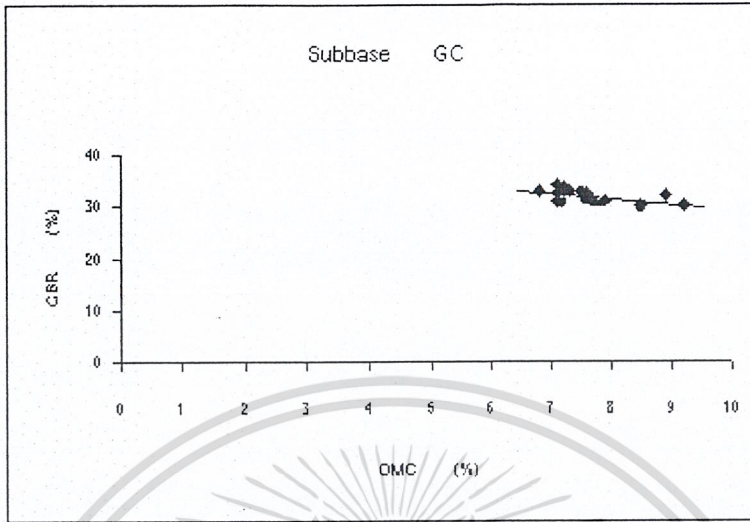
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3 (a) แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , γ_d , OMC , PI และค่า %CBR ชั้น Subbase กลุ่ม GC



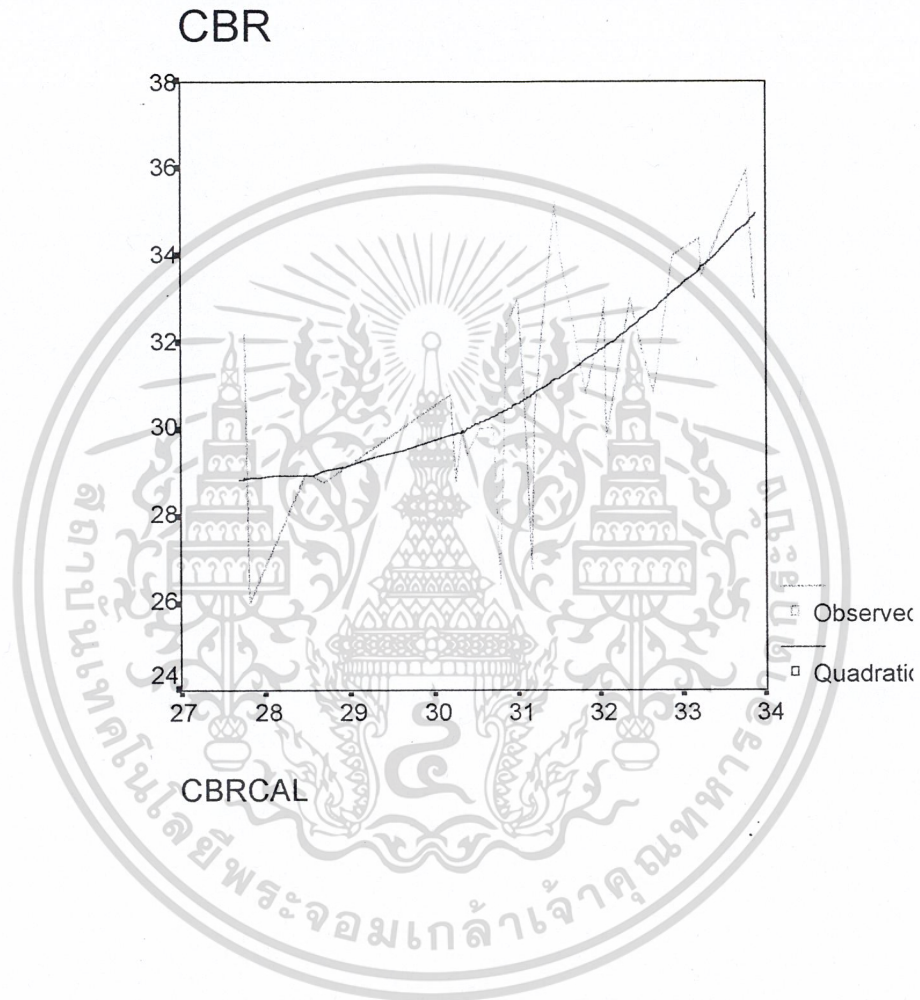
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้พิมพ์ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3 (a) (ต่อ)



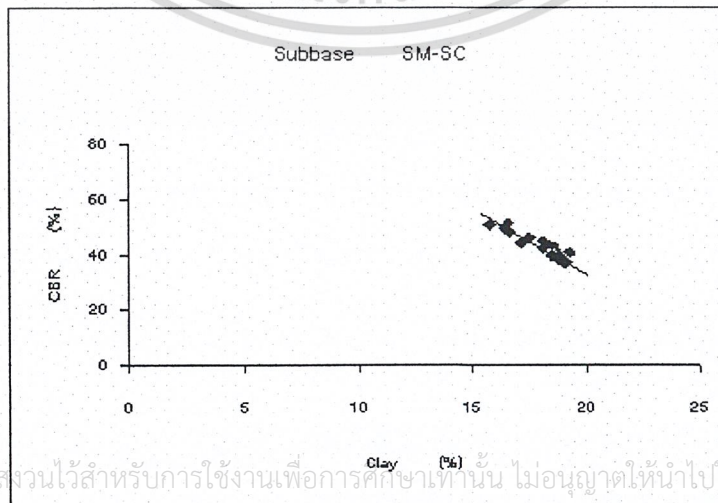
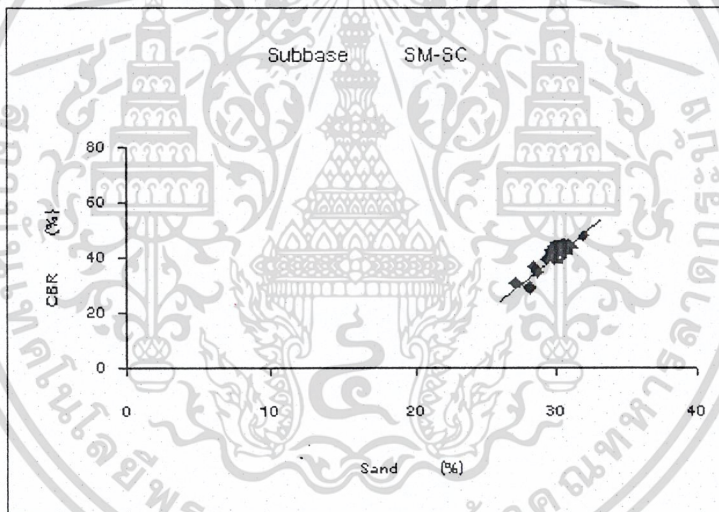
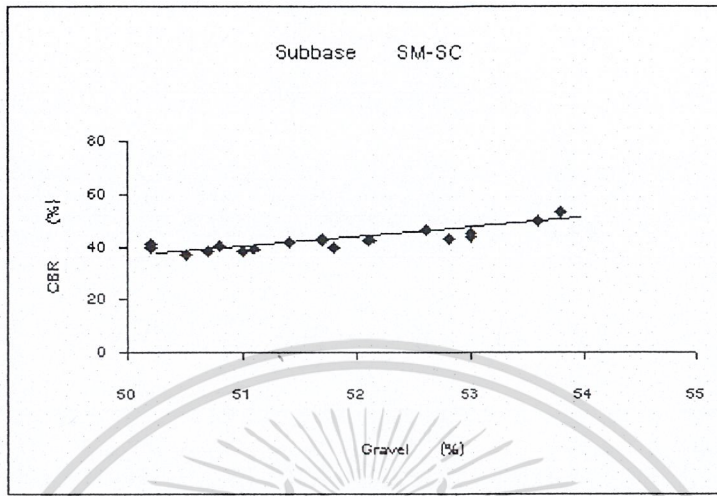
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.4 (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR (การทดลอง) และ ค่า CBR (การคำนวณ) ชั้น Subbase กลุ่ม GC



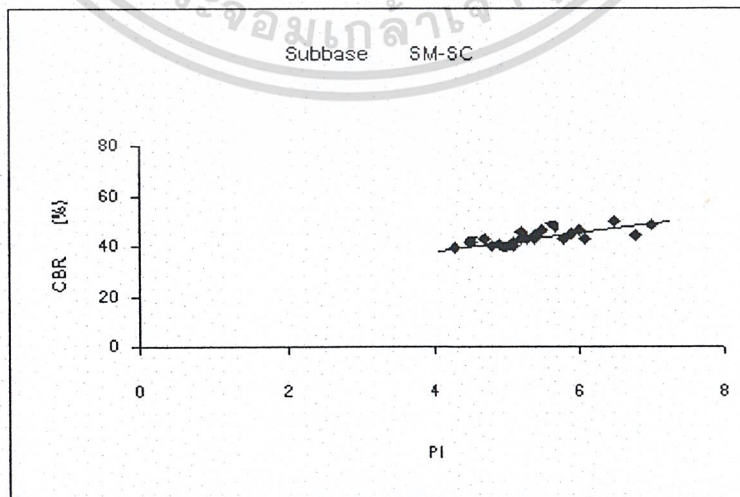
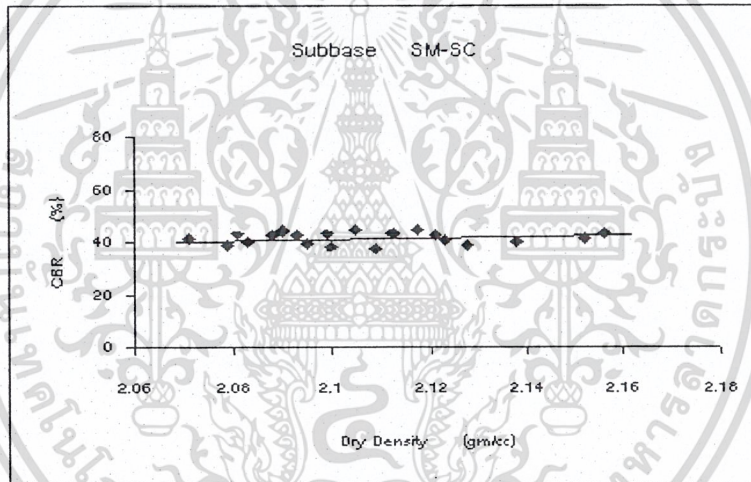
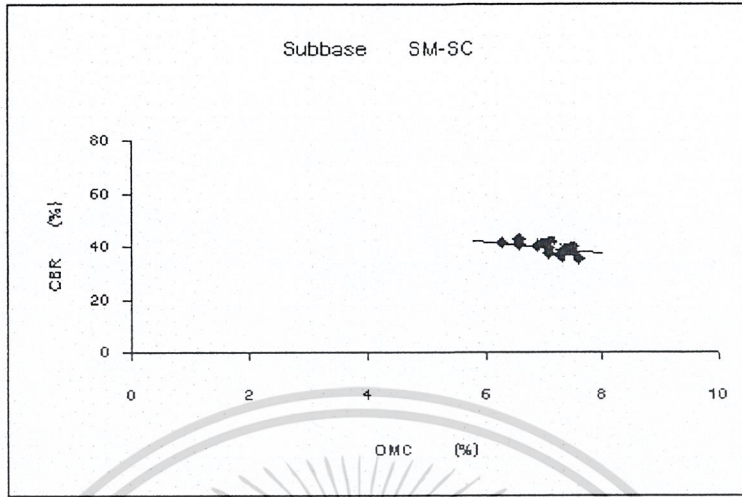
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3 (b) แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , γ_d , OMC , PI และค่า %CBR ชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC



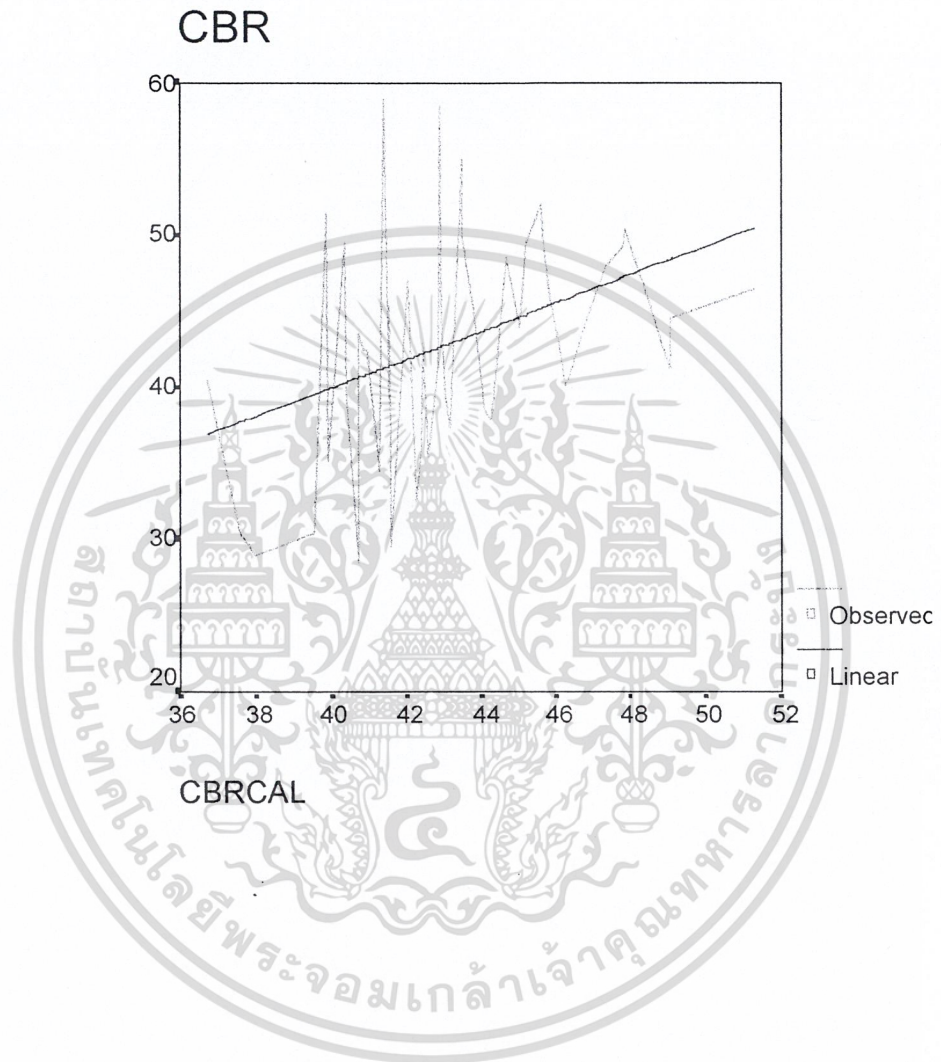
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3 (b) (ต่อ)



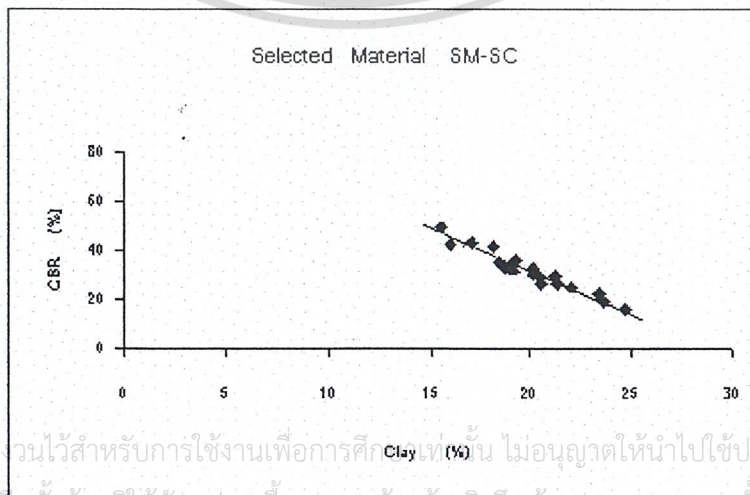
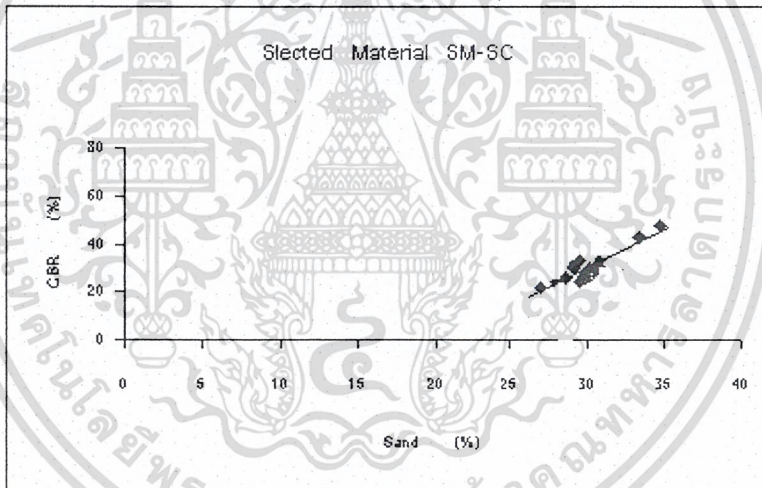
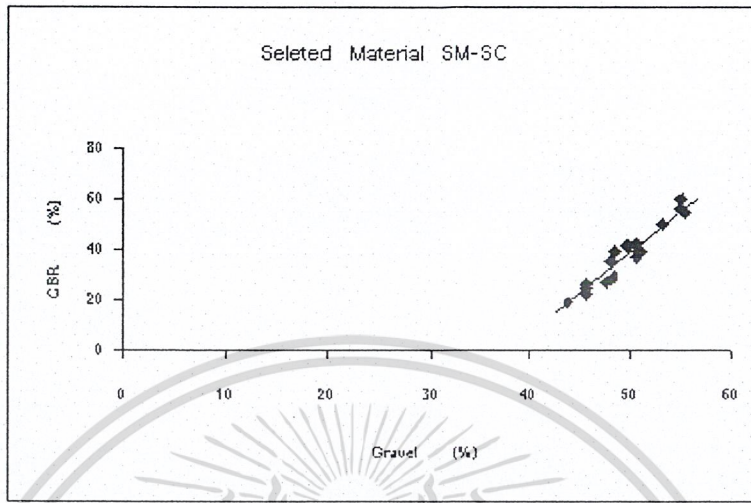
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.4 (b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR (การทดลอง) และ ค่า CBR (การคำนวณ) ชั้น Subbase กลุ่ม SM-SC



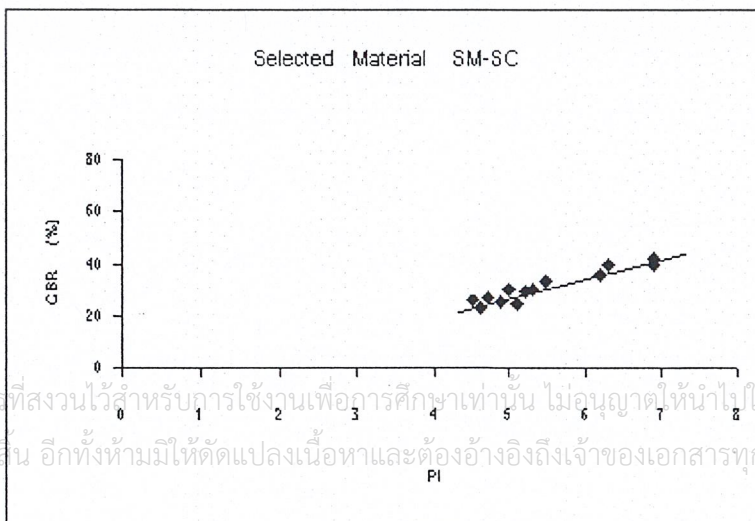
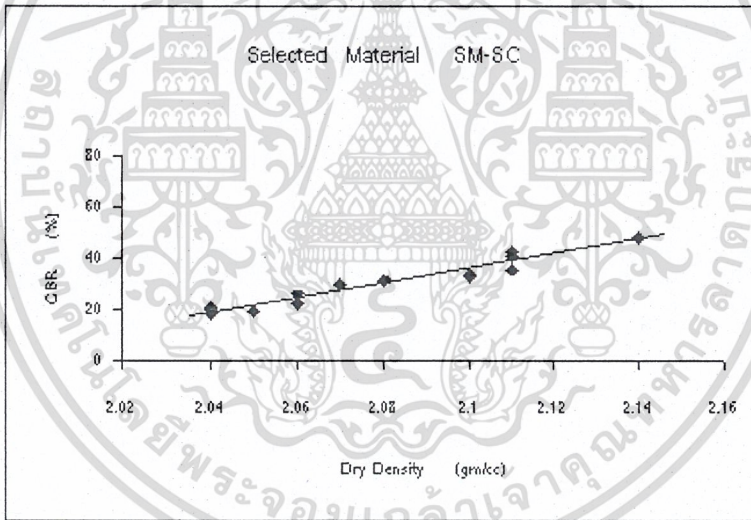
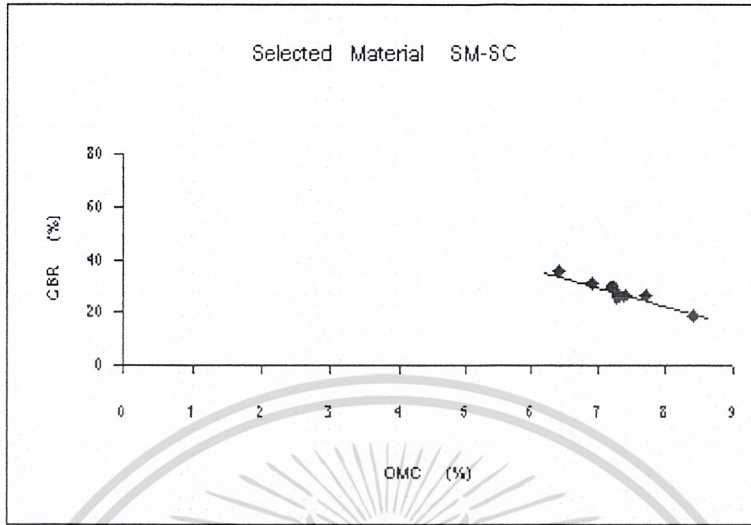
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , γ_d , OMC , PI และค่า %CBR ชั้น Selected Material กลุ่ม SM-SC



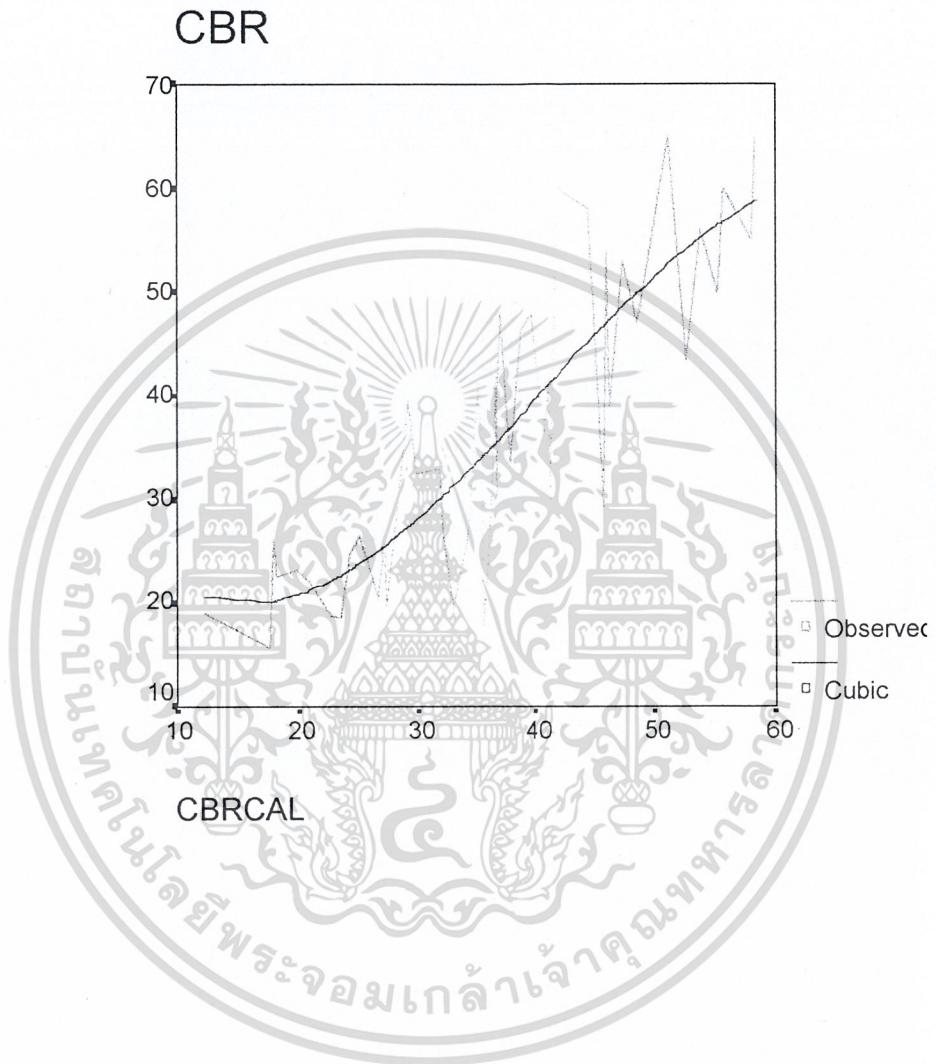
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 (ต่อ)



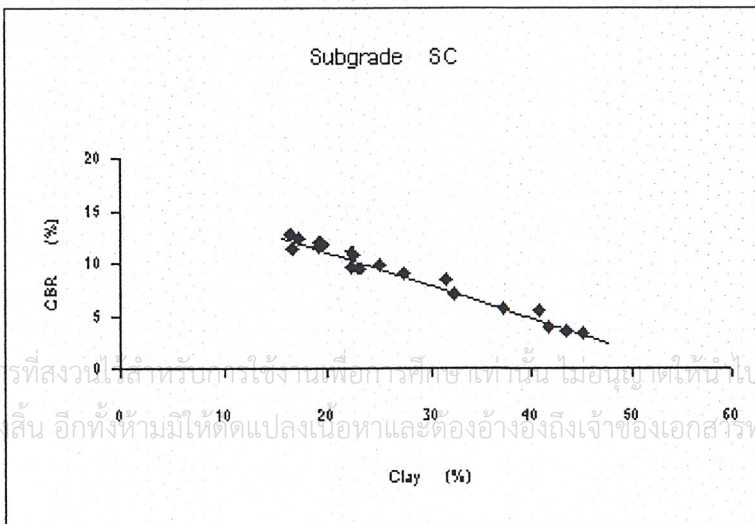
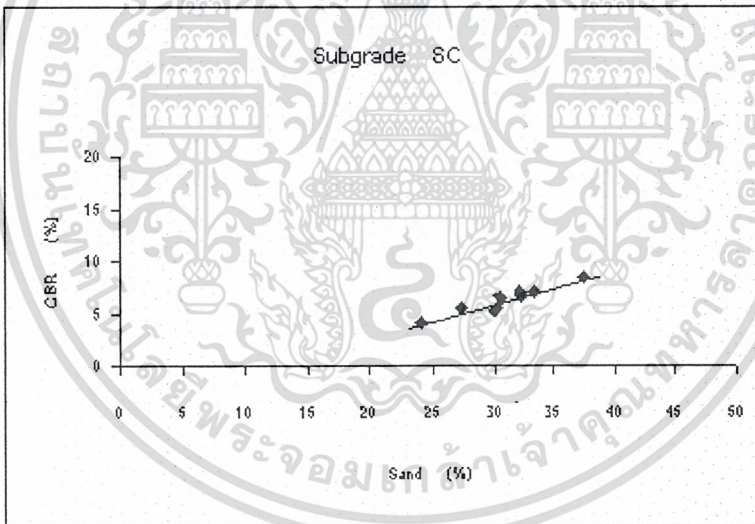
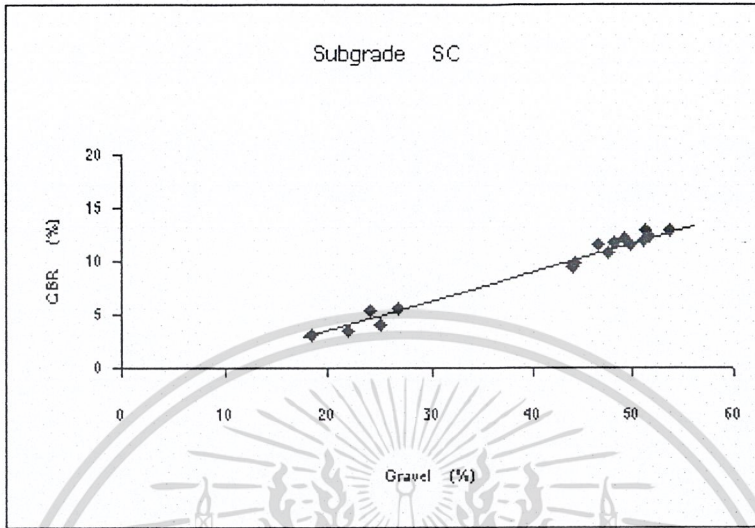
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR (การทดลอง) และ ค่า CBR (การคำนวณ) ชั้น Selected Material กลุ่ม SM-SC



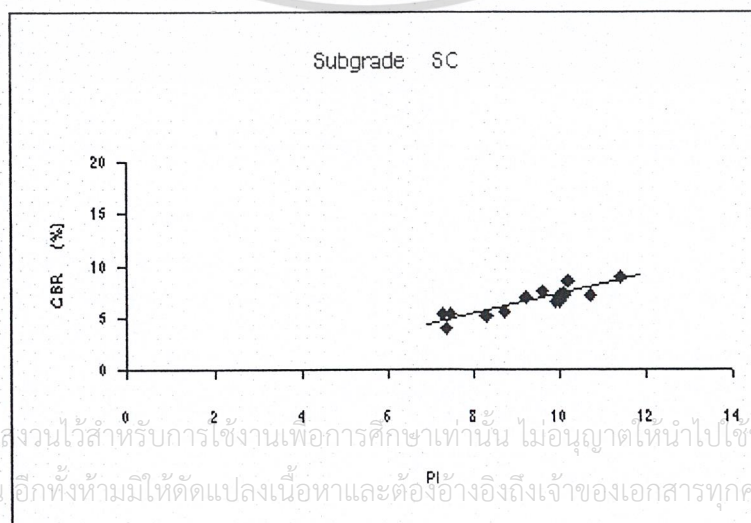
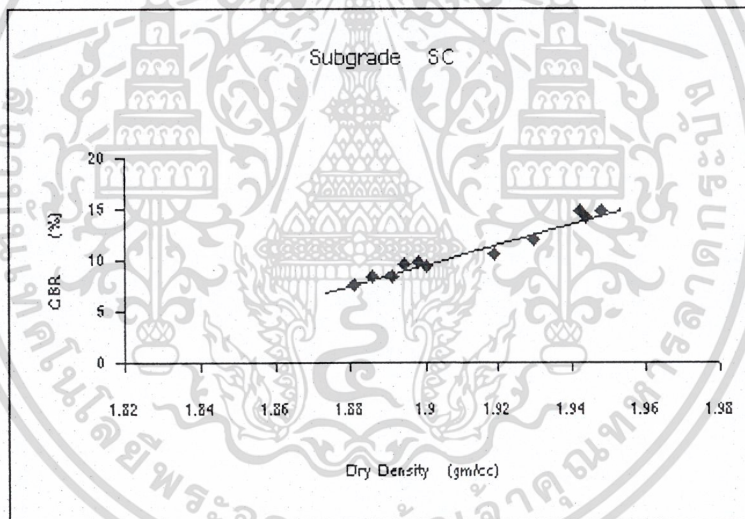
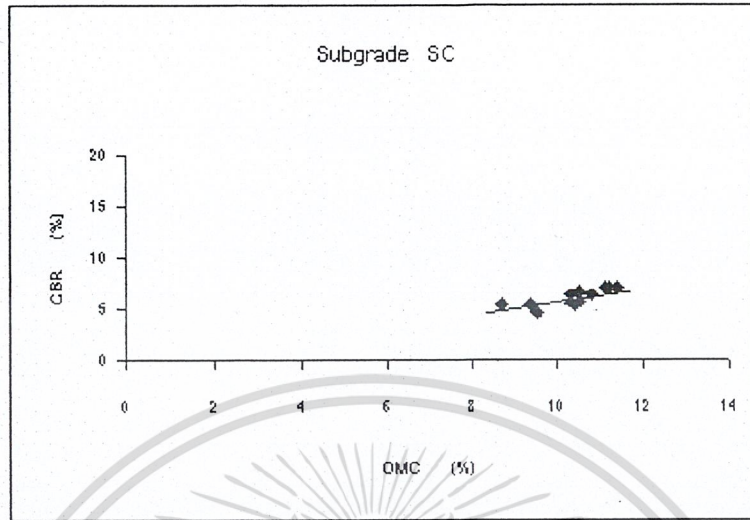
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 แผนภาพการกระจายระหว่างค่า %Gravel , %Sand , %Clay , γ_d , OMC , PI และค่า %CBR ชั้น Subgrade กลุ่ม SC



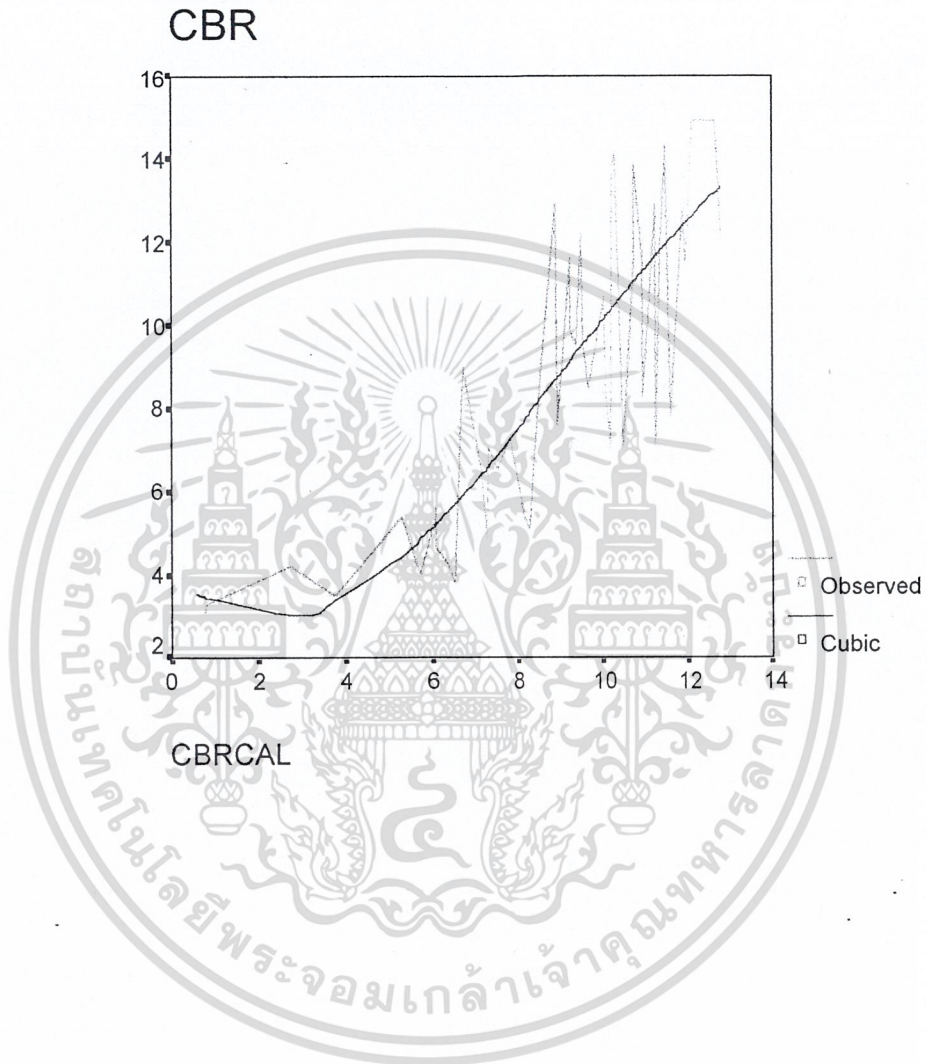
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร
 ไม่ว่าการณีใดๆ ที่สืบ อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR (การทดลอง) และ ค่า CBR (การคำนวณ) ชั้น Subgrade กลุ่ม SC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้