การปรับปรุงเสถียรภาพของดินสำหรับงานทางหลวง

SOIL STABILIZATION FOR HIGHWAY

นายกฤษฎา ศิริบูรณ์

นายกฤษณ์ เหล่าศิริพงศ์

นายสัญญา นามี

วัน เดือน ปี 1 ต.ค. 2540

เลขทะเบียน 037186

เลขเรียกหนังสือ T 38 ก74 ก274 ก.

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร [illegible] นำไปใช้

037186

SOIL STABILIZATION FOR HIGHWAY

MR.KRITSADA SIRIBOON

MR.KRIT LHOAWSIRIPONG

MR.SUNYA NAMEE

A SPECIAL PROJECT SUMITTED IN FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEER

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

.....

หัวข้อโครงงานพิเศษ การปรับปรุงเสถียรภาพของดินสำหรับงานทางหลวง

(SOIL STABILIZATION FOR HIGHWAY)

นักศึกษา	นายกฤษฎา	ศิริบูรณ์	รหัส 35104011
	นายกฤษณ์	เหล่าศิริพงษ์	รหัส 35104014
	นายสัญญา	นามี	รหัส 35104460

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์

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

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....

(นายอำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงเสถียรภาพของดินสำหรับงานทางหลวง

SOIL STABILIZATION FOR HIGHWAY

โดย นายกฤษฎา ศิริบูรณ์

นายกฤษณ์ เหล่าศิริพงษ์

นายสัญญา นามี

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษฉบับนี้ได้กล่าวถึง การปรับปรุงเสถียรภาพของดินสำหรับงานทางหลวง โดยได้กล่าวถึง 4 วิธีการที่ได้นำมาใช้กับงานทางหลวงซึ่งได้แก่ การปรับปรุงด้วยซีเมนต์ , ปูนขาว , ยางน้ำ และวัสดุใยสังเคราะห์ โดยในแต่ละวิธีการปรับปรุงเสถียรภาพของดินทั้ง 4 วิธีการนั้น มีความเหมาะสมในดินแต่ละประเภทแตกต่างกันไป ซึ่งการนำไปใช้งานนั้นย่อมขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ , การขนส่งวัสดุ , ชนิดของดินที่ทำการปรับปรุง และงบประมาณในการดำเนินการก่อสร้าง

นอกจากนี้ยังได้รวบรวมกรณีศึกษาและวิจัย งานก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทยที่ได้ทำการก่อสร้าง โดยใช้การปรับปรุงเสถียรภาพของดินทั้ง 4 วิธีที่กล่าวมาแล้ว เพื่อจะได้ทราบถึงขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้าง ข้อกำหนดมาตรฐานของทางหลวงไทย ตลอดจนความเหมาะสมในการเลือกวิธีการปรับปรุงเสถียรภาพของดินในแต่ละสภาพดิน

ABSTRACT

This special project presents about soil stabilization for highway. It presents 4 methods for using with highway working such as cement stabilization , lime stabilization , bituminous stabilization and geotextile. Each method is suitable for different type of soil depending upon geography , material transportation , type of soil to stabilize and budjet for construction.

Futhermore this special project has many case-study and research projects of highway construction in Thailand by using this 4 methods to study the process in construction ,the specification standards for highway in Thailand and choosing the suitable method for soil stabilization for each type of soil.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย ที่ให้ข้อเสนอแนะและข้อมูลต่างๆ แก่คณะผู้จัดทำดังรายนามต่อไปนี้

อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประศาสตร์วิชา

บิดา-มารดา ที่ให้การอุปการะด้วยดีเสมอมา

เจ้าหน้าที่ห้องสมุด ให้คำแนะนำแหล่งข้อมูล

-คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

-หอสมุดกลาง สจล.

-คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ

-หอสมุดกลาง จุฬาฯ

-คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์

-AIT

-หอสมุดกลาง สจธ.

-คณะวิศวกรรมศาสตร์เทคโนโลยี ส.ราชมงคล

-กรมทางหลวง

เจ้าหน้าที่กรมทางหลวง

-ดร.ยงยุทธ แต้สิริ ให้คำแนะนำเบื้องต้น

-โครงการทางด่วน กรุงเทพฯ-ชลบุรี ให้ข้อมูลด้าน PVD
Section 1-C/2, 1D, 2-A/1

-โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 305 ให้ข้อมูลด้าน Cement Column
ตอน องครักษ์-นครนายก

-โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 305 ให้ข้อมูลด้าน Soil Cement
ตอน รังสิต-องครักษ์

องค์กรเอกชน

-บริษัท GEL (มหาชน) จำกัด ให้คำปรึกษา Geotextile

-บริษัท ทิปโก้แอสฟัล (มหาชน) จำกัด ให้ข้อมูลผิวทางและ Bituminous

-บริษัท Geocem Technologies จำกัด ให้ข้อมูล Cement Column

-บริษัท เอ็ม.ซี. คอนสตัคชั่น จำกัด

-บริษัท โรจน์สินก่อสร้าง จำกัด

-บริษัท สหวิศวก่อสร้าง จำกัด

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ใบรับรองโครงงานพิเศษ	
บทคัดย่อ	
กิตติกรรมประกาศ	
บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
3. ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	1
4. ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
5. วิธีการดำเนินงานโครงงานพิเศษ	2
6. ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงานพิเศษ	2
บทที่ 1 ดินเชิงวิศวกรรม	3
1.1 นิยามของดิน	3
1.2 ผิวเปลือกโลกและหินดาน	3
1.3 รูปหน้าตัดของชั้นดิน	4
1.4 องค์ประกอบของดิน	5
1.5 กำเนิดดิน	7
1.6 คุณสมบัติของดิน	8
1.7 การจำแนกประเภทของดิน	19
1.8 การบรรยายดิน	24
1.9 ชั้นดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา	26
1.10 ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร	29
บทที่ 2 การสำรวจและการทดสอบดินสำหรับการก่อสร้างทางหลวง	34
2.1 การสำรวจดิน	34
2.2 การสำรวจตรวจสอบใต้ผิวดิน	39
2.3 การเก็บตัวอย่างและการประเมินผล	41
บทที่ 3 วิธีการปรับปรุงเสถียรภาพของดิน	64
3.1 การเพิ่มเสถียรภาพโดยการอัดแน่น	64
3.2 วิธีระบายน้ำพื้นผิว	65
3.3 วิธีใช้ทรายรองพื้น	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.4 วิธีใช้แผ่นรอง	66
3.5 วิธีกระจัด	66
3.6 วิธีถ่วงน้ำหนัก	70
3.7 วิธีชะลอการเพิ่มน้ำหนัก	70
3.8 วิธีระบายน้ำด้วยทราย	72
3.9 วิธีระบายใช้แผ่นกระดาษแข็ง วิธีระบายใช้แผ่นพลาสติก	75
3.10 วิธีผสมดินดินลึก	76
3.11 การเพิ่มเสถียรภาพของดินด้วยปูนขาวหรือซีเมนต์	79
บทที่ 4 LIME STABILIZATION	81
4.1 วัตถุประสงค์ในการใช้ปูนขาวผสมเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของดิน	81
4.2 ประเภทของดินผสมปูนขาว	82
4.3 ปูนขาว	82
4.4 กลสมบัติของโครงสร้างของดินผสมปูนขาว	88
4.5 Lime Fexation Point	97
4.6 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยปูนขาว	98
4.7 การวิจัยเกี่ยวกับ Lime Stabilization ในประเทศไทย	117
กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทยโดยวิธี Lime Stabilization	126
-การออกแบบเสาเข็มดินปูนขาวในการปรับปรุงทางสาย บางนา-บางปะกง	127
1. ความเป็นมาของปัญหา	127
2. ข้อมูลคุณสมบัติของดินเดิมและคันทาง	127
3. ข้อคิดในการออกแบบถนนสาย บางนา-บางปะกง	127
4. การออกแบบถนนสาย บางนา-บางปะกง ขาเข้า	132
5. กำหนดขนาดและรายละเอียดในการออกแบบเสาเข็มดินปูนขาว	134
6. ค่าเสถียรภาพความมั่นคงของคันทาง	134
7. ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มดินปูนขาว	136
8. ผลการทรุดตัว	140
9. ค่าการทรุดตัวแตกต่างระหว่างเสาเข็มดินปูนขาว	142
10. อัตราการทรุดตัวต่อเวลา	143
11. ปรับแก้ขนาดและรายละเอียดรวมทั้งเลือกค่าการออกแบบที่เหมาะสม	144
บทที่ 5 CEMENT STABILIZATION	151
5.1 วัตถุประสงค์ในการใช้สารผสมเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของดิน	151

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิวัฒนาการดินซีเมนต์ 151
5.3 ประเภทของดินซีเมนต์ 153
5.4 ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 154
5.5 ซีเมนต์ปรับปรุงเสถียรภาพดินอย่างไร 160
5.6 คุณสมบัติของดิน 161
5.7 ปริมาณซีเมนต์ 173
5.8 กลไกของการปรับปรุงเสถียรภาพของดินด้วยซีเมนต์ 180
5.9 โครงสร้างของดินซีเมนต์ 181
5.10 การผสมและการบดอัด 181
5.11 การบ่มดินซีเมนต์ 188
5.12 สารที่ใช้ผสมเพิ่ม 194
กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทยโดยวิธี Cement Stabilization 200
- การก่อสร้างทางหลวงโดยวิธี Soil Stabilization ในประเทศไทย 201
- งานรองพื้นทางดินซีเมนต์ 202
1. วัสดุ 202
2. เครื่องจักรและเครื่องมือ 203
3. ข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ 205
4. วิธีการก่อสร้าง 206
5. การตรวจสอบ 208
6. การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างาน 209
- งานพื้นทางดินซีเมนต์ 211
1. วัสดุ 211
2. เครื่องจักรและเครื่องมือ 212
3. ข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ 213
4. วิธีการก่อสร้าง 214
5. การตรวจสอบ 216
6. การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างาน 217
- งานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ 219
1. วัสดุ 219
2. เครื่องจักรและเครื่องมือ 220
3. ข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ 222

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วิธีการก่อสร้าง 223

5. การตรวจสอบ 225

6. การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างาน 227

- ข้อมูลจากถนน Soil-Cement ที่สร้างในปี 2509-2513 228

- ถนน Soil-Cement ที่ก่อสร้างตั้งแต่ปี 2530 เป็นต้นมา 228

- กรณีศึกษา Cement Stabilization ด้วย Cement Column 243

ข้อกำหนดพิเศษ การก่อสร้าง Deep Stabilization

ทางสาย องครักษ์-นครนายก ช่วงที่เกิด Slide Failure กม. 51-62

1. สารผสมที่ใช้ผสมกับดินเดิม 243

2. การเจาะสำรวจและการผสมทดลอง 244

3. วิธีการก่อสร้าง 247

4. การทดสอบในสนาม 249

5. ความคาดเคลื่อนที่ยอมให้ 250

บทที่ 6 BITUMINOUS STABILIZATION 252

6.1 วัสดุบิทูมินัส 252

6.2 การควบคุมคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์ 259

6.3 ดินที่สามารถปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์ 261

6.4 บรรทัดฐานในการปรับปรุงดินด้วยแอสฟัลต์ 268

6.5 คุณลักษณะของความแข็งแรงของ Soil-Aggregate Mexture 281

กรณีศึกษาโครงงานวิจัย การปรับปรุงเสถียรภาพของดินด้วย Bituminous 287

- การปรับปรุงดินตะกรอนปนทราย โดยการใช้ยางน้ำกับปูนขาวหรือซีเมนต์ 288

1. วัสดุ 288

2. ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมให้แอสฟัลต์เคลือบได้อย่างสม่ำเสมอ 291

3. ความแข็งแรงกับปริมาณความชื้น 291

4. ค่าปริมาณอีมัลชั่นที่มีผลต่อค่า "R"และค่า "C" 291

5. การหดตัวของส่วนผสม 293

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 7 Geotextile

7.1 ผลิตภัณฑ์ของ Geotextile 295

7.2 ส่วนประกอบของ geotextiles และ geotextile-related products 296

7.3 ส่วนสำคัญของ geotextiles หรือ geotextile related products 296

7.4 ชนิดของ geotextiles และ geotextile related products 297

7.5 ชนิดของ geotextiles 299

7.6 โครงสร้างของ fabrics 299

7.7 หน้าที่ของ Geotextile 301

7.8 Geotextile และ Geomembranes ในงานวิศวกรรมโยธา 302

7.9 โครงสร้างของถนน 303

กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทย โดยใช้วัสดุ Geotextile

โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษกรุงเทพฯ-ชลบุรีใหม่

1. บทนำ 314

2. วัตถุประสงค์และหลักการโดยทั่วไป 316

3. วัสดุที่ใช้ 317

4. วัสดุและอุปกรณ์ในการติดตั้ง PVD 320

5. วิธีการติดตั้ง PVD 320

6. ข้อควรคำนึงในการติดตั้ง PVD 321

7. การควบคุมคุณภาพ PVD 322

8. เครื่องมือเทคนิคธรณี 327

9. การวัดค่าจากเครื่องมือเทคนิคธรณ์ 338

บทที่ 8 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบ

8.1 คุณสมบัติของดินในทางวิศวกรรมการทาง 340

8.2 Shallow Stabilization 342

8.3 Deep Stabilization 344

บรรณานุกรม 347

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 รูปหน้าตัดชั้นดิน แสดงการแบ่งชั้นดินตามรูปหน้าตัด 3 วิธี	10
1.2 รูปร่างของเม็ดดินแบบต่างๆ	10
1.3 แสดงความสัมพันธ์ต่างๆในเรื่อง ความเค้นความเครียด และกำลังวัสดุของดินที่ไม่มีค่าความเชื่อมแน่น	13
1.4 โครงสร้าง 4 ประเภทของดิน จัดตามการจับบตัวในสภาวะมวลรวมกลุ่มผลึก	14
1.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของมวลดินเหนียวในหลายสภาวะ	18
1.6 ค่าความชื้นสำหรับดินแห้งกรณีดินทราย (Sandy soil)	18
1.7 แผนภูมิสามเหลี่ยมของการจำแนกประเภทดินตามขนาดเม็ด	21
1.8 รูปหน้าตัดของดินดอนสามเหลี่ยมของที่ราบลุ่มในแอ่งเจ้าพระยา	27
1.9 รูปหน้าตัดชั้นดิน บริเวณอำเภอปากท่อถึงราชบุรี	30
1.10 รูปสมมุติลักษณะทั่วไปอย่างหยาบของชั้นดินบริเวณเขตกรุงเทพฯ	31
1.11 รายละเอียดชั้นดิน เป็นรูปตัดแนวเหนือ-ใต้ จากกรมไปรษณีย์ถึงลาดพร้าว	33
2.1 แสดงแหล่งของวัสดุที่อยู่ในแนวก่อสร้างทางสาย 3319 โกรกพระ-ทับทาน	36
2.2 ตัวอย่างรายงานผลการสำรวจและทดสอบคุณภาพของดิน และชั้นดินตามแนวถนนที่จะก่อสร้าง	37
2.3 ตัวอย่าง Plan และ Profile แบบก่อสร้างถนนสายบางบัวทอง-สุพรรณบุรี ทางหลวงหมายเลข 13	38
2.4 สว่านเจาะหลุมแบบต่างๆ	43
2.5 การเจาะแบบกระแทก	43
2.6 การเจาะแบบหมุนและอุปกรณ์ต่างๆ ที่สำคัญ ติดบนรถเทรเลอร์	44
2.7 ความแปรผันจากการแปลความหมายจากหลุมเจาะ 2 หลุม	45
2.8 เทคนิคในการวัดความเค้นหรือหน่วยแรงหน่วยแรงสมบูรณ์ในที่	47
2.9 เทคนิคการวัดความเค้นหน่วยแรงสัมพัทธ์	47
2.10 มาตรวัดความดันไฮดรอลิกที่อาศัยการเคลื่อนที่ของน้ำ	50
2.11 การทดสอบเชิงสถิต เพื่อหาการเปลี่ยนรูปและปริมาตรในที่	50
2.12 การวัดคลื่นสะเทือนจากบ่อเจาะสำรวจที่ต่อเนื่องกัน	51
2.13 การทดสอบแรงเฉือนโดยแวน	51
2.14 เครื่องมือทอร์เวน	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 เครื่องมือ สปลิท สปูน แบบกาว (Gow) ใช้ในการทดสอบมาตรฐานพีนีเตรชั่น 54
2.16 เครื่องมือดัชโดน 54
2.17 การทดสอบหาค่ากำลังวัสดุเฉือนในที่โดยตรง รูปที่แสดงเป็นการติดตั้ง 57
ใต้ผิวดินในออดิท
2.18 การทดสอบหาค่าความซาบซึมได้ในที่ โดยใช้แพคเกอร์ 57
2.19 การทดสอบหาค่าวามซาบซึมได้โดยหย่อนมาตรวัดความดันลง 62
ในหลุมเจาะสำรวจในที่ทำการสำรวจตรวจสอบ
2.20 เครื่องมือหาการอัดตัวคายน้ำมิติเดียว 62
3.1 การจัดรางระบายน้ำในวิธีระบายน้ำที่ผิวดิน 68
3.2 วิธีใช้แผ่นรอง 69
3.3 วิธีกระจัด 69
3.4 วิธีถ่วงน้ำหนัก 71
3.5 การเปรียบเทียบอัตราเร็วของการดำเนินการ 71
3.6 การอัดตัวโดยใช้ท่อทราย 74
3.7 โค้งการอัดตัวโดยใช้ท่อทราย (โดยทากากิ) 74
3.8 วิธีทำท่อทราย 77
3.9 รูปตัดของกระดาษแข็ง 77
3.10 การฝังแผ่นกระดาษแข็ง 77
3.11 78
3.12 การผสมและการกวน 78
4.1 แผนภูมิแสดงปริมาณปูนขาวที่พอเหมาะเพื่อการนำมาปรับปรุงคุณภาพ 85
ดินที่นำมาเป็นวัสดุ Subgrade และ Base
4.2 แสดงปฏิกริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อผลิตปูนขาวชนิดต่างๆ 90
4.3 กลศาสตร์ของปูนขาวเมื่อผสมกับดิน 96
4.4 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง LIME CONTENT กับค่า 99
PLASTIC LIMIT
4.5 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ PLASTIC LIMIT กับ 100
UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH
4.6 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่า PLASTIC LIMIT (PL) เมื่อนำ 106
ปูนขาวผสมกับดิน
4.7 แสดงถึงผลของส่วนประกอบและคุณสมบัติของดินต่อกำลังรับน้ำหนัก 107
4.8 แสดงความแตกต่างของกำลังรับน้ำหนักของดินเมื่อผสมด้วย CALCITIC 108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIME และ DOLOMITIC LIME แล้วทำการบ่ม (CURING) ที่อุณหภูมิต่างๆ

4.9 แสดงถึงความแตกต่างของกำลังรับน้ำหนัก เมื่อใช้ปริมาณของปูนขาว แตกต่างกันกับ MONTMORILLONITE CLAY 108

4.10 ผลของ ATTERBERG LIMIT เมื่อใช้ปูนขาวชนิดต่างๆกับดิน GUMBOTIL 109

4.11 การเพิ่มขึ้นของกำลังรับน้ำหนักของดิน เมื่อผสมปูนขาว 110

4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลง PLASTICITY INDEX ของดินเมื่อผสมด้วยปูนขาว 111

4.13 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นและความชื้นกับกำลังรับน้ำหนักของดินที่ผสมด้วยปูนขาวและดินที่ไม่ได้ผสมปูนขาวเมื่อเป็นดินแบบ MONTMORILLONITE CLAY ซึ่งบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน 112

4.14 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นและความชื้นกับกำลังรับน้ำหนักของดิน MONTMORILLONITE CLAY ซึ่งทำการบดอัดแบบมาตรฐาน 113

4.15 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างการผสมปูนขาวประเภท DOLOMITIC QUICKLIME ลงในดิน SLURRY FORM และแบบ POWDER FORM. 114

4.16 แสดงถึงอิทธิพลที่เกิดจากอุณและระยะ เวลาของการบ่มต่อกำลังรับน้ำหนักของดิน 115

4.17 แสดงถึงผลของการทิ้งช่วงเวลา หลังจากผสมเสร็จแล้วก่อนการบดอัดของ SILTY CLAY (PLASTIC LOESS) เมื่อผสมด้วยปูนขาว ชนิด DOLOMITIC 9 % 125

กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทย

-การออกแบบเสาเข็มดินปูนขาวในการปรับปรุงทางสาย บางนา-บางปะกง

1. แสดงค่าการทรุดตัวที่วัดได้ของทางสาย บางนา-บางปะกง 128

2. คุณสมบัติและสภาพของชั้นดินเดิมของทางสาย บางนา-บางปะกง กม.30 129

3. แสดงค่า Field Vane Shear Strength ของดินฐานรากตามระยะทางทางสาย บางนา-บางปะกง 129

4. แสดงค่าคุณสมบัติของการอัดตัว (Compressibility) ของชั้นดินที่ Section ต่างๆของทางสาย บางนา-บางประกง 130

5. แสดงค่าสัดส่วนการอัดตัว (Compressibility Ratio) ของชั้นดิน 130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามระยะทางของถนนสาย บางนา-บางปะกง
6. รายละเอียดในการออกแบบเสาเข็มดินปูนขาว 135
7. ผลการตรวจสอบค่า Factor of Safety ของคันทาง เมื่อมีการใช้เสาเข็ม ดินปูนขาว 137
8. ผลการตรวจสอบค่า Factor of Safety ของคันทาง เมื่อมีการใช้เสาเข็ม ดินปูนขาว 138
9. ผลคาดคะเนอัตราการทรุดตัวของชั้นดินกับระยะเวลาของทางสาย บางนา-บางปะกง กม.30หลังจากมีการใช้เสาเข็มดินปูนขาว 146
10. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวตามระยะ Section ของทางสาย บางนา-บางปะกง เนื่องจากมีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเสาเข็มดินปูนขาว 150
5.1 ปริมาณวัสดุที่ตกค้างบนตะแกรง เบอร์ 4 ที่มีผลต่อ กำลังรับแรงอัดของ Soil Cement 161
5.2 อิทธิพลของปริมาณดินเหนียวที่มีผลต่อค่าโมดูลัส ความยืดหยุ่นในการอัด 167
5.3 ปริมาณซีเมนต์(โดยน้ำหนัก) ที่ 10% การสูญเสียใน 12 ไซเคิลของ Freeze-Thaw Test 168
5.4 อิทธิพลของ Plasticity ที่สัมพันธ์กับ Minimum Cement Requirements ด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง CBR ของ Raw Soil และ Cement Requirment 169
5.5 ค่า PlasticityIndex กับ เวลา 170
5.6 ค่า Atterberg Limits สำหรับ Cement Treated Iowa Gumbatil หลังจาก 1 ชั่วโมงของการไฮเดรชั่น 171
5.7 ผลกระทบของปริมาณ ซีเมนต์และอายุในการรับกำลังอัด สำหรับ Loamy Sand 174
5.8 ผลกระทบของปริมาณซีเมนต์และอายุในการรับกำลังอัดสำหรับ Medium Clay 175
5.9 ผลกระทบของปริมาณซีเมนต์และอายุในการรับกำลังอัดสำหรับ Silty Clay Loam 176
5.10 การเปรียบเทียบของกำลังที่ได้มาจากซีเมนต์ธรรมดา(ชนิดที่ 1) และซีเมนต์แบบแข็ง เร็วในดิน Loamy Sand (Soil 2a-6) และ Silty Clay Loam (Soil 4cd) สำหรับในชั่วโมง เริ่มต้นและใน 4 ชั่วโมง ของการ Intermitter Mixing 179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

5.11 โครงสร้างของ Soil-Cement 182

5.12 ประสิทธิภาพของการผสมและกำลัง 184

5.13 ความสม่ำเสมอของการผสม Class A Cement-Treated Base โดย Plant Mix 185

5.14 ความสม่ำเสมอของ Place Mixing ใน Class C Cement Treated Base โดยBlade Method 186

5.15 ผลกระทบของการล่าช้าของความเปียกและการบดอัดใน กำลังรับแรงอัด 189

5.16 ผลกระทบของระยะเวลาของการผสมในกำลังรับแรงอัดของ Cement-Treated 190

5.17 ผลกระทบของระยะเวลาในการผสม Cement-Soil ที่สูญเสีย ใน Intermittent Mixing 191

5.18 ปริมาณความชื้นของ Soil-Cement ในระหว่างช่วงการบ่ม 192

5.19 ก 196

5.20 การได้รับกำลังของ Soil-Cement กับอายุจาก Field Cores 197

5.21 อิทธิพลของการผสมปูนขาวในการสูญเสียใน Wet-Dry Test 198

5.22 อิทธิพลของปูนขาวในการรับแรงอัดของ Clay-cement Mixture 199

กรณีศึกษาการโครงการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทยโดยวิธี Cement Stabilization

รูปแสดงถนนที่ก่อสร้างด้วย Soil Cement 238-242

6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยของการวัดความหนืดของ แอสฟัลต์ในหน่วยต่างๆ 255

6.2 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิ-ความหนืดสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์ 256

6.3 แผนภูมิของผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม 257

6.4 เกรดของแอสฟัลต์เหลว 258

6.5 การทดสอบเพนิเทรชั่นของแอสฟัลต์ซีเมนต์ 260

6.6 การทดสอบการยืดตัว 260

6.7 แสดงความเหมาะสมในการเลือกอิมัลชั่นประเภทแคทอิออน หรือแอนอิออน 270

6.8 แสดงปริมาณธาตุซิลิก้า และสารอัลคาไลน์ของมวลรวมชนิดต่างๆ 270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบส่วนประกอบของอากาศในดินกับอากาศในบรรยากาศ	14
1.2 ตารางการจำแนกขนาดอนุภาคของดิน	15
1.3 ผังภูมิการจำแนกประเภทดินตามระบบ AASHO	22
1.4 ผังภูมิการจำแนกประเภทดินตามระบบ USC	23
1.5 การเรียกชนิดดินตามขนาดของอนุภาคในมวลดิน	27
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐาน พีนีเตรชั่น ความหนาแน่นสัมพันธ์และกำลังของดิน	52
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของมวลดินจำพวกไม่มีแรงเหนี่ยวนำกับมุมเสียดทานภายใน	53
2.3 การจำแนกชนิดดินจากค่า Q_c , Q_f	53
2.4 ความสัมพันธ์ระหวางสภาพดิน มาตรฐานพีนีเตรชั่นต้านทานและความต้านทานของกรวย	55
3.1 เครื่องกลอัดแน่นตามลักษณะเนื้อดินและมูลดิน	67
3.2 ความหนามาตรฐานของชั้นทรายรองพื้น	69
4.1 วัตถุประสงค์ของการผสมปูนขาวลงไปในดิน	83
4.2 ส่วนผสมปูนขาวที่สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาคุณภาพของดิน	84
4.3 แสดงคุณสมบัติปูนขาวบริสุทธิ์	91
4.4 แสดงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ปูนขาวในท้องตลาด	92
4.5 แสดงถึงคุณสมบัติและรูปแบบผลิตภัณฑ์ของ Hydrated Lime	120
4.6 แสดงถึงกำลังรับน้ำหนักของดินที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ	121
4.7 ผลของการบ่มดินชนิด PLASTIC LOESS ด้วยไอน้ำที่ 248 F , ATMOSPHEREกับการบ่มชนิดธรรมดาที่อุณหภูมิ 70 F ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95 %	122
4.8 ผลของการบ่มดินที่ผสมกับปูนขาวด้วยไอน้ำ (STEAM CURING)	123
4.9 ผลของกำลังรับน้ำหนักของดินเมื่อผสม SODIUM CARBONATE ลงไปในการปรับปรุงเสถียรภาพของดินด้วย HIGH CALCIUM QUICKLIME 4.5 %	124
กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทยโดยวิธี Lime Stabilization	
-การออกแบบเสาเข็มดินปูนขาวในการปรับปรุงสาย บางนา-บางปะกง	
1. ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวกับเวลา	145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการคำนวณออกแบบปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน(กม. 15) 147
3. ผลการคำนวณออกแบบปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน(กม. 20) 148
4. ผลการคำนวณออกแบบปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน(กม. 30) 149
5.1 สารประกอบที่สำคัญของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 158
5.2 การเปรียบเทียบส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทต่างๆ 159
5.3 ปริมาณความต้องการซีเมนต์โดย AASHO Soil Groups 162
5.4 ความต้องการซีเมนต์โดยเฉลี่ยสำหรับวัสดุทั่วไป 163
5.5 ผลกระทบจากปริมาณซีเมนต์สำหรับความคงทนในดิน 177
5.6 Maximum densutities and optimum moisture contents of soil cement 187
5.7 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในร้อยละในกลุ่ม A และ B โดยจำนวนวัน 193
กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทยโดยวิธี Cement Stabilization
-งานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์
1. ขนาดคละของวัสดุหินคลุกที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์
- ถนน Soil Cement ที่ก่อสร้างตั้งแต่ปี 2530 เป็นต้นมา
1. ข้อมูลเกี่ยวกับถนน Soil Cement (ผิว D.B.S.T) 231
2. ข้อมูลเกี่ยวกับถนน Soil Cement (ผิว Asphaltic Concret) 234
3. Surface Condition สายกาฬสินธ์-ลำชี 236
-กรณีศึกษา Cement Stabilization ด้วย Cement Column
ข้อกำหนดพิเศษ การก่อสร้าง Deep Stabilization
ทางสาย องครักษ์-นครนายก ช่วงที่เกิด Slide Failure กม. 51-62
1. ปริมาณสารผสมที่ใช้ในการทำ Deep Stabilizatjon 243
2. ปริมาณของสารผสมที่ใช้ในการทำผสมทดลอง 246
3. ลักษณะของสารผสมที่จะใช้ทำผสมทดลอง 246
6.1 ข้อกำหนดสำหรับเพนิเทรชั่นของแอสฟัลต์ซีเมนต์ 262
6.2 มาตรฐานสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามเกรดของความหนืด 263
6.3 แสดงคุณลักษณะของดินชนิดต่างๆที่เหมาะสำหรับการปรับปรุง ด้วยแอสฟัลต์ 266
6.4 แสดงขนาดและปริมาณของดินพร้อมค่า PI ที่เหมาะสำหรับดินที่ปรับปรุง ด้วยแอสฟัลต์ 267
6.5 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินที่เหมาะสมในการปรับปรุง ด้วยแอสฟัลต์ 267

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 ขนาดของดินที่เหมาะสมในการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์เพื่อเป็นชั้นพื้นทาง 271

6.7 แสดงขนาดของดินทรายประเภทต่างๆที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต 271

6.8 แสดงค่าขนาดคละ PI และค่าการทนต่อการขัดสีของดินที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงด้วยอีมัลชั่น เพื่อใช้ทำวัสดุชั้นพื้นทางของถนน 272

6.9 ขนาดคละของดินที่เหมาะกับการปรับปรุงด้วยอีมัลชั่น 272

6.10 ประเภทของคัทแบคและอิมัลชั่นที่เหมาะกับดินบางประเภท 273

6.11 การเลือกชนิดของแอสฟัลต์ให้เหมาะกับชนิดของมวลรวม 274

6.12 แสดงมาตรฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ 275

6.13 แสดงมาตรฐานของคัทแบคแอสฟัลต์ 276

6.14 แสดงมาตรฐานของอีมัลชั่น 277

6.15 แสดงถึงข้อกำหนด ในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นพื้นทางถนน 282

6.16 แสดงปริมาณของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรดต่างๆ ที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรต่างๆ 283

6.17 แสดงข้อกำหนดของการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับชั้นพื้นของถนนโดยวิธี Marshall, Hveem และ Habbard Field ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพการจราจร 284

6.18 ข้อกำหนดในการออกแบบพื้นทางถนนโดยวิธีมาร์แชล 285

6.19 แสดงข้อกำหนดของการออกแบบชั้นพื้นทางถนนโดยดินที่ปรับปรุงด้วยคัทแบคแอสฟัลต์และอิมัลชั่นตามวิธีมาร์แชล 285

6.20 แสดงข้อกำหนดของการออกแบบชั้นพื้นทางถนนโดยดินที่ปรับปรุงด้วยอิมัลชั่นโดยวิธีของฮวีม 285

กรณีศึกษาโครงงานวิจัยการปรับปรุงเสถียรภาพของดินด้วย Bituminous

-การปรับปรุงดินชนิดตะกอนปนทราย โดยการใช้ยางน้ำปูนขาวหรือกับซีเมนต์

1. คุณสมบัติของซีเมนต์ 289

2. คุณสมบัติของอีมัลซิไฟด์แอสฟัลต์ 292

3. เปอร์เซนต์ของน้ำที่ต้องการเพื่อทำให้แอสฟัลต์เคลือบอย่างสม่ำเสมอ 292

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศสิ่งหนึ่งก็คือ การคมนาคมขนส่งที่มีประสิทธิภาพ ได้มีการก่อสร้างทางหลวงเป็นโครงข่ายเชื่อมต่อกันทั่วภูมิภาคและขยายช่องทางจราจร วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างทางหลวงที่สำคัญคือ ดิน ซึ่งนับได้ว่าเป็นปัจจัยหลักในการก่อสร้าง คุณสมบัติสำคัญที่นำมาใช้คัดเลือกดินในการก่อสร้างทางก็คือเสถียรภาพของดินในการรับแรง จากความสำคัญของดินที่กล่าวมาในสภาพความเป็นจริงแล้ว ดินที่มีเสถียรภาพเหมาะแก่การก่อสร้างอาจอยู่ไกลจากทางหลวงที่ทำการก่อสร้างทำให้ค่าขนส่งวัสดุมีราคาสูง ดังนั้นการปรับปรุงเสถียรภาพของจึงเข้ามามีความสำคัญในการก่อสร้างทางหลวง

การปรับปรุงเสถียรภาพของดิน (SOIL STABILIZATION) มีด้วยกันหลายวิธีแต่ไม่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการปรับปรุงเสถียรภาพของดินสำหรับงานทางหลวงในประเทศไทยได้ทุกวิธี จึงได้ทำการศึกษาวิธีการปรับปรุงเสถียรภาพของดินที่เหมาะสมสำหรับงานทางหลวงในประเทศไทย ซึ่งทำให้การก่อสร้างทางหลวงมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น มีอายุการใช้งานยาวนาน รวมทั้งค่าดำเนินการก่อสร้างที่ประหยัดและเหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นนั้นๆ

2. วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อศึกษาเทคนิควิธีการปรับปรุงเสถียรภาพของดิน (SOIL STABILIZATION) สำหรับงานทางหลวงในประเทศไทย

2.เพื่อศึกษาหลักการในการตัดสินใจเลือกใช้วิธีการปรับปรุงเสถียรภาพของดิน (SOIL STABILIZATION) ได้อย่างเหมาะสมทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ และวิศวกรรมการทาง

3. รวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละเทคนิควิธี

4. วิเคราะห์ เปรียบเทียบ ประเมินผลในแต่ละเทคนิควิธี

5. เพื่อศึกษาโครงการก่อสร้างทางหลวงที่ใช้วิธีการปรับปรุงเสถียรภาพของดิน (SOIL STABILIZATION)

3. ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

การปรับปรุงเสถียรภาพของดิน(SOIL STABILIZATION) ทำเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่มีคุณภาพด้อย ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ก่อสร้าง เช่น รับแรงเฉือนได้น้อย มีค่าการรับแรงต่ำ ซึ่งวิธีการที่นำมาใช้ในการปรับปรุงเสถียรภาพของดินในแต่ละชนิดนั้นไม่เหมือนกัน เช่น วิธี BITUMINOUS STABILIZATION เหมาะสำหรับการปรับปรุงเสถียรภาพของดินประเภททรายปนดินตระกอน ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อให้สามารถคาดการณ์และสามารถเลือกวิธีการที่ถูกต้องและเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

ในการศึกษาได้มุ่งเน้นประเด็นสำคัญดังนี้

- วิธีการปฏิบัติการ
- ผลที่ได้รับหลังการปรับปรุงเสถียรภาพของดิน (SOIL STABILIZATION)
- ความเหมาะสมในการเลือกใช้วิธีการต่างๆ
- ข้อดี ข้อเสียของวิธีการที่นำมาใช้

วิธีการปรับปรุงเสถียรภาพของดิน (SOIL STABILIZATION) ที่ศึกษาในโครงงานพิเศษได้แก่

1. LIME STABILIZATION
2. CEMENT STABILIZATION
3. BITUMINOUS STABILIZATION
4. GEOTEXTILES

5. วิธีการดำเนินงานโครงงานพิเศษ

1. รวบรวมข้อมูลทางทฤษฎี เทคนิควิธีในการปรับปรุงเสถียรภาพของดินสำหรับงานทางหลวง จากตำราวิชาการทางด้าน SOIL MECHANIC,HIGHWAY ENGINEERING บทความวิชาการ เอกสารต่างๆ

2. ศึกษาข้อมูลจากองค์กรที่ดำเนินงานทางด้านงานทางหลวง และงานดิน เช่น กรมทางหลวง บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา

3. ศึกษาข้อมูลและเปรียบเทียบโครงการก่อสร้างทางหลวงที่มีการใช้เทคนิควิธีการปรับปรุงเสถียรของดิน

4. นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดที่ได้มาเปรียบเทียบ สรุปข้อดี ข้อเสียของเทคนิควิธีทั้ง 4 วิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

6. ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงานพิเศษ

1. สามารถนำรายละเอียดที่ได้ศึกษามานั้นใช้ได้เหมาะสมกับงานทางหลวง

2. เป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ศึกษาค้นคว้าทางด้าน SOIL MECHANIC และ HIGHWAY ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ดินเชิงวิศวกรรม

ดินเป็นส่วนที่ได้จากการสลายตัวของแร่และหิน เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต ถ้าไม่มีสิ่งมีชีวิตช่วยเติมอินทรีย์วัตถุในแร่ที่สลายตัวก็จะไม่มีดินเกิดขึ้น ทั้ง 2 สิ่งจึงต้องเกิดควบคู่กันเสมอ

การศึกษาเรื่องความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดิน และดินเชิงวิศวกรรม (engineering soil) เพื่อรู้สภาพ ชนิด และคุณสมบัติของดิน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่วิศวกรควรจะเข้าใจอย่างถ่องแท้ ทั้งนี้เนื่องจากงานก่อสร้างในประเทศไทยส่วนใหญ่จะมีฐานราก (foundation) วางตัวบนพื้นผิวดิน

1.1 นิยามของดิน

นิยามของดินนั้นมีความแตกต่างกันไปตามสาขาของแต่ละวิชาของแต่ละวิชา ตามความคุ้นเคยและสัมพันธ์กันกับงานที่ใช้

นิยามของดินทางธรณีวิทยา กล่าวว่า ดินคือแร่และหินที่สลายตัวและผ่านกระบวนการสลายตัวทางธรณีวิทยามาแล้ว เป็นผิวชั้นบนที่หุ้มห่อโลก แร่และหินที่ผุพังมานี้เรียกว่า วัตถุต้นกำเนิดดิน (parentmaterial) ซึ่งมาผสมกับ อินทรียวัตถุ (organic matter) จนกลายเป็นดินที่พืชสามารถเจริญเติบโต

นิยามของดินทางวิศวกรรม กล่าวว่า ดินคือวัตถุร่วนไม่แข็งตัวของแร่และหิน เช่น กรวด ทราย (gravel) ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) หรือส่วนผสมของสิ่งเหล่านี้ที่มารวมตัวกัน และส่วนของรีโกลิท ดินสามารถแยกออกจากกันได้โดยวิธีง่าย ๆ เช่น บี ทุบ โดยไม่ต้องใช้การระเบิด

นิยามของดินทางปฐพีวิทยา กล่าวว่า ดินเป็นวัตถุทับปกคลุมเป็นชั้นบาง ๆ อยู่บนส่วนใหญ่ของพื้นผิวเปลือกโลก ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของ แร่ หิน และของดินชนิดอื่น ปะปนกันในสภาพของแข็ง ของเหลว ก๊าซ ผสมผสานกัน สามารถแบ่งชั้นนั้นได้เป็นรูปหน้าตัดของดิน (soil profile) เมื่อมีสภาวะที่เหมาะสมดินเป็นสิ่งที่ค้ำจุนและให้ธาตุอาหารแก่พืช

1.2 ผิวเปลือกโลกและหินดาน

ลักษณะชั้นบนของเปลือกโลก (crust) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามรูปที่ 1.1 คือ

1. ผิวเปลือกโลกหรือรีโกลิท (regolith) เป็นชั้นรวมของ *ส่วนที่เป็นดิน (soil zone)* กับชั้นของหินที่สลายตัวแตกแยกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย (fragmented rock) ความหนาของชั้นดินที่อยู่บนสุดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศและชนิดของตะกอนที่มาทับถมกัน ในบริเวณเชิงเขาชั้นดินอาจหนาเพียง 1 เมตร แต่บางบริเวณในที่ราบอาจจะมีความหนามากถ้ามีการทับถมของตะกอนมานาน ความหนามีตั้งแต่สิบเมตร ร้อยเมตร หรือมากกว่านี้ ชั้นของหินที่สลายตัวมีลักษณะคล้ายคลึงกับชั้นของหินแข็งที่อยู่ด้านล่าง ปกติมีความหนาไม่มากนัก อยู่ติดกับชั้นหินดาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หินดาน (bedrock) เป็นชั้นหินแข็งที่ไม่สามารถจะทำให้แตกแยกด้วยวิธีง่าย ๆ เพราะหินยังจับตัวแน่นโดยเป็นส่วนของเปลือกโลก (crust) ชั้นของหินดานจะมีความไม่แน่นอนตามสภาวะของกระบวนการแปรโครงสร้าง (tectonic process)

1.3 <u>รูปหน้าตัดชั้นดิน</u>

การแบ่งชั้นดินนั้นอาศัยการสังเกตจาก รูปหน้าตัดชั้นดิน (soil profile) ที่มีการเปลี่ยนแปลงของดินแต่ละบริเวณ โดยอาศัยความแตกต่างทางสี เนื้อดิน และปริมาณส่วนประกอบของดินเป็นหลัก ถ้าเป็นบริเวณแคบๆ และสามารถเห็นได้ง่าย เช่น ตามไหล่ทางที่อาจวัดได้โดยตรงแล้วนำมาเขียนเป็นรูปหน้าตัดชั้นดิน ขณะเดียวกันควรถ่ายรูปฟิล์มสีประกอบด้วยจะช่วยในการแปรความหมายและเรียงลำดับชั้นดินได้รวดเร็วขึ้น ในกรณีที่ไม่มีชั้นดินโผล่ขึ้นบนผิวโลกการเจาะสำรวจเพื่อหาดินชั้นล่าง (subsoil) ก็มีความจำเป็น

รูปหน้าตัดชั้นดินในแต่ละบริเวณจะแตกต่างกันเนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ภูมิอากาศ (climate) ลักษณะของหินที่เป็นวัตถุต้นกำเนิด (parent material) ของดิน สิ่งที่มีชีวิต (organic matter) ที่อยู่ในดิน ระยะเวลา (time) ในการสร้างตัวของดิน และสภาพภูมิประเทศ (topography) ในธรรมชาติดินที่สามารถจะพบได้ทุกชั้นตามรูปที่1.1 เรียกว่า ดินมัชฌิมวัยหรือดินที่มีอายุ (mature soil) ดินประเภทนี้ไม่ค่อยพบบ่อยนัก การศึกษารูปหน้าตัดชั้นดินมักศึกษาในระดับลึกอย่างน้อย 1 เมตร โดยทั่วไปแล้วความหนาในแต่ละชั้นของดินจะแตกต่างกันตามสถานที่อีกด้วย

การเรียงลำดับรูปหน้าตัดชั้นดินมีได้ดังนี้

1. แนวดินชั้นบนหรือช่วงชั้น เอ (A-horizon หรือ top soil)

ดินชั้นนี้สามารถแบ่งย่อยออกไปได้ดังนี้

เขต เอหนึ่ง (A_1) บางทีเรียกว่า เขตชั้นดินอินทรีย์ (organic soil zone) เพราะมีสารอินทรีย์มากกว่า 30% ดินมีลักษณะอ่อนนุ่มกว่าดินชั้นล่างดูดซับน้ำได้ดี บริเวณส่วนชั้นบนสุดเป็นสารอินทรีย์พวกซากสัตว์ เศษกิ่งไม้ ใบไม้ ที่ยังไม่สลายตัวเห็นชัดด้วยตาเปล่า ถัดลงมาประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่สลายตัวผุพังไปแล้วเป็นขุยอินทรีย์ (humus)

เขต เอสอง (A_2) เป็น เขตการละลาย (zone of leaching) ดินในชั้นนี้มีสีเทาหรือขาวซีด เนื้อดินหยาบ อนุภาคของดินเหนียวและขุยอินทรีย์ถูกชะล้างออกไปเหลือแต่สารประกอบของเหล็ก การชะละลายยังมีผลทำให้น้ำซึมมาจากข้างบนพาออกซิเจนจากอากาศเข้ามามากในดินส่วนนี้

2. แนวดินชั้นล่างหรือช่วงชั้น บี (B-horizon หรือ subsoil)

ดินชั้นนี้เป็นเขตการสะสม (zone of accumulation) ประกอบด้วยอนุภาคเล็กละเอียดของสารประกอบของเหล็ก อนุภาคดินเหนียว และบางส่วนของขุยอินทรีย์ ดินชั้นนี้มักจะมีสีเข้มเป็นสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แดงหรือสีเหลืองเนื่องจากมีเหล็กออกไซด์มาก ในงานก่อสร้างใช้แนวดินชั้นนี้เป็นรากฐานถ้าหากชั้นหินดานอยู่ลึกมาก

3. แนวชั้นหินร่วนหรือช่วงชั้น ซี (C-horizon หรือ soft rock)

แนวชั้นหินร่วนประกอบด้วยหินและเม็ดแร่ที่เป็นวัตถุต้นกำเนิดดิน (parent materia) หินที่พบกำลังสลายตัวแตกแยกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย จากกระบวนการทำลายเชิงกายภาพและเคมี ดินชั้นนี้จะไม่มีอิทธิพลของสิ่งที่มีชีวิตเข้าไปเกี่ยวข้อง

4. แนวชั้นหินดานหรือช่วงชั้น ดี (D-horizon หรือ bed rock)

เป็นหินชั้นที่ยังไม่มีการสลายตัวอยู่ข้างล่างรองรับ ดิน ทราย กรวด และมักจะมีแร่ที่ทนทานต่อการผุพังและสลายตัวรวมอยู่ในชั้นดินดานนี้ด้วย เช่น แร่ดีบุก แร่ทองคำ เป็นต้น

1.4 <u>องค์ประกอบของดิน</u>

ดินมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 4 อย่าง คือ สารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ อากาศ และน้ำ ดินมีองค์ประกอบที่พอเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของพืชควรจะประกอบด้วย สารอนินทรีย์ 5% สารอินทรีย์ 45% อากาศ 25% และน้ำในดิน 25% ดินที่มีลักษณะเช่นนี้ ได้แก่ ดินร่วนเชิงทรายแป้ง (silty loam) ที่อยู่ทางส่วนบน อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทั้งสี่ชนิดนี้ผันแปรไปได้มากตามชนิดของดิน สถานที่ อากาศและอื่นๆ โดยทั่วๆ ไปแล้วดินชั้นล่างจะมีปริมาณของอินทรียสารและอากาศลดลง แต่ปริมาณของอนินทรียสารและน้ำจะเพิ่มมากขึ้น

1.4.1 องค์ประกอบที่เป็นอนินทรียสาร (inorganic matter)

องค์ประกอบชนิดนี้ได้จากการสลายตัวของแร่และหิน ขนาดของอนุภาคขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดและกระบวนการสลายตัว มีขนาดตั้งแต่เล็กกว่าขนาดดินเหนียวจนถึงขนาดทราย อนินทรีย์สารนี้ประกอบด้วยธาตุซิลิคอน และอะลูมิเนียม เป็นส่วนใหญ่อาจมีธาตุเหล็ก แคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ปนอยู่บ้างเล็กน้อย

อนินทรีย์สารในดินที่พบเสมอเป็นแร่ต่างๆ และเศษหิน สำหรับส่วนที่เป็นแร่และพบบ่อยๆ คือ

1. แร่ควอร์ต ส่วนมากพบอนุภาคในลักษณะของเม็ดทราย หรือทรายแป้ง อันที่จริงแร่ควอร์ตซ์มีน้อยกว่าแร่เฟลด์สปาร์ แต่เนื่องจากมันมีความคงทนต่อการผุพังและสลายตัวมากกว่าแร่เฟลด์สปาร์ จึงพบเป็นส่วนประกอบอยู่ในดินมากกว่า

2. แร่เฟลด์สปาร์ แร่นี้มักเกิดร่วมกับแร่ควอร์ตซ์ในหินอัคนี เป็นแร่ที่มีมากที่สุดในบรรดาแร่ประกอบหินทั้งหมด แต่ที่มีอยู่ในดินมักจะเปลี่ยนไปเป็นแร่อื่น เพราะมีความคงทนต่อการผุพังน้อยกว่าแร่ควอร์ตซ์ เมื่อสลายตัวจะให้แร่ดินเหนียวซึ่งมีอยู่มากในดิน

3. แร่ไมกา ได้แก่ แร่มัสโควไวต์และไบโอไทต์ ซึ่งจะสลายตัวไปเป็นแร่ดินเหนียวเช่นเดียวกับเฟลด์สปาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. **แร่พวกเฟอโรแมกนีเซียมซิลิเกต** ได้แก่ แร่แอมฟิโบลและไพรอกซีน แร่พวกนี้มีสีเขียวคล้ำถึงดำ เมื่อสลายตัวจะให้แร่พวกเซอร์เพนทีน

5. **แร่ดินเหนียว** แร่ดินเหนียวเป็นแร่ที่มีขนาดเล็กมาก แร่พวกนี้มีคุณสมบัติเป็นสารคอลลอยด์ (colloid) มีทั้งชนิดที่เป็นผลึกและไม่เป็นผลึก และเนื่องจากมันมีสมบัติเป็นสารคอลลอยด์ จึงมีความสามารถในการดูดกลืนไอออนและแลกเปลี่ยนไอออน (absorb and ion exchange) ได้ดีมาก แร่ดินเหนียวแบ่งออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ

ก. **ดินเหนียวซิลิเกต (silicate clay)** ได้แก่ดินเหนียวที่มีส่วนประกอบเป็นแร่ซิลิเกต ได้แก่ แร่ดินขาวหรือเคโอลิไนต์ (kaolinite) แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonit) แร่อิลไลต์ (illite) และ แร่คลอไรด์ (chlorite)

ข. **ดินเหนียวเหล็กและอลูมิเนียม (iron and aluminium clay)** เป็นแร่ดินเหนียวประเภทที่มีเหล็กหรืออะลูมิเนียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งได้แก่ แร่ไลมอุไนต์ แร่ฮีมาไทต์ และแร่บอกไซด์

6. **แร่แคลไซด์และโดโลไมต์** เป็นแร่ประเภทคาร์บอเนตเมื่อสลายตัวแล้วจะมีผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง เพราะนอกจากจะทำให้ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมแล้ว ยังสามารถลดความเป็นกรดของดินได้ด้วย

7. **แร่อื่น** ๆ แร่อื่น ๆ ที่เป็นวัตถุกำเนิดดิน ได้แก่
- แร่ไพไรต์
- แร่อะพาไทต์
- แร่ยิปซัม
- แร่พวกไนเตรต (KNO_3 & $NaNO_3$)

8. หิน หินที่เป็นวัตถุต้นกำเนิดดินมีทั้งพวกหินอัคนี หินตะกอน และหินแปร

1.4.2 องค์ประกอบที่เป็นอินทรียสาร (organic matter)

อินทรีย์สารในดินได้มาจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุที่ย่อยให้เน่าเปื่อย จนผลสุดท้ายได้สารซึ่งทนทานต่อการสลายตัว มีลักษณะคล้ายวุ้นสีดำหรือสีน้ำตาล จับดูรู้สึกหยุ่นมือ เรียกว่า ขุยอินทรีย์ (humus) ที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนประมาณ 52%-58% และยังมีธาตุอาหารที่เป็นพืชอีก เช่น ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน นอกจากนี้ยังเป็นตัวการสำคัญในการดูดซึมน้ำ ควบคุมสมบัติเชิงกายภาพและโครงสร้างของดิน

1.4.3 **น้ำในดิน (subsurface water)**

น้ำที่แทรกอยู่ตามรูพรุนในดิน ทำให้เกิดสารละลายของเกลือและธาตุอาหารของพืช น้ำในดินนี้ถ้ามีพอเหมาะพืชจะเจริญเติบโตดี ถ้ามีมากเกินไปทำให้ปริมาณช่องว่างในดินลดลงรากพืชจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาดอากาศสำหรับหายใจ ถ้ามีน้อยเกินไปรากพืชจะไม่สามารถดูดซึมน้ำขึ้นไปได้ พืชจะเหี่ยวเฉาตายไป

1.4.4 อากาศในดิน (air in soil)

อากาศที่แทรกอยู่ในดินส่วนประกอบแตกต่างไปจากอากาศในชั้นบรรยากาศ โดยทั่วไปอากาศในดินมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า ความชื้นในดินจะสูงถึง 100% ดังตารางที่ 1.1

1.5 <u>กำเนิดของดิน</u>

กำเนิดของดิน (soil forming) มีอยู่ 2 แบบคือ

1.5.1 ดินที่เกิดตกค้างอยู่กับที่ (residual soil) เป็นดินที่เกิดจากการผุพังของแร่และหินเกิดตกค้าง ณ ที่นั่น

1.5.2 ดินที่ถูกพัดพา เป็นดินที่เกิดจากเศษแร่และหินถูกพัดพามาจากที่อื่นและมาทับถมอีกที่หนึ่ง เนื่องจากดินเหล่านี้มีการพัดพาโดยตัวกลางในส่วนของบรรยากาศ 3 ชนิดใหญ่ ๆ จึงเรียกชื่อดินที่เกิดจากการพัดพาในสภาพของตะกอน (sediment) โดยตัวกลางต่าง ๆ กันดังนี้

ก. พวกที่น้ำพัดพามา ถ้าเกิดในทะเลสาบเรียก ดินตะกอนในทะเลสาบ (lacustrinne deposit) ถ้าเกิดในแม่น้ำหรือทางน้ำ เรียก ดินตะกอนในที่ราบลุ่ม (alluvial deposit) ถ้าเกิดทับถมบริเวณที่ลาดเอียงหรือใกล้ภูเขา เรียก ดินตะกอนเชิงเขา (calluvial deposit) หรือเรียกดินตะกอนที่ถูกพัดพามาทางพื้นดินว่า ดินตำกอนบนพื้นดิน (terrestial deposit)

ข. พวกที่เกิดจากลมพัดพามา เรียกดินตะกอนที่เกิดจากลม (aeolian deposit)

ค. พวกที่เกิดจากน้ำทะเลพัดพามา เรียกดินตะกอนที่สะสมในทะเลว่า ดินตะกอนในทะเล (marin deposit)

อนึ่งนักวิชาการบางคน ก็เรียก ดินตะกอนตกค้าง ตามบริเวณถิ่นกำเนิดเดิมด้วย เช่น ถ้าบนพื้นผิวดิน ก็เรียก terrestial deposit ถ้าในทะเล ก็เรียก marin deposit สาเหตุก็เพราะว่า ดินส่วนใหญ่ในยุคปัจจุบันจะปะปนกันไป แยกหรือจำแนกประเภทได้ยากกว่า ถูกพัดพามา หรือ ตกค้าง

ดินแต่ละแห่งจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไป ปัจจัยที่ควบคุมการเกิดดิน (soil forming factors) มีอยู่ 5 อย่างคือ

1. ภูมิอากาศ (climate) มีอิทธิพลต่อการสลายตัวของแร่หินและหินทั้งทางตรงและทางอ้อม เพราะเป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ แสงแดด หิมะ น้ำค้าง และอื่น ๆ

2. วัตถุต้นกำเนิด (parent material) ชนิดของวัตถุต้นกำเนิดมีอิทธิพล อย่างมากต่อชนิดและลักษณะของดินที่แตกต่างกันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินที่ได้จากการผุพังสลายตัวของหินดินดาน ก็จะมีความพรุนและกำลังวัสดุต่ำจนถึงปานกลาง ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะการปรับตัวของอนุภาคเม็ดแร่ในเนื้อดิน (soil texture) ความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุในดินขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนของโพแทสเซียมไอออนต่อโซเดียมไอออน (K^{+1}/Na^{+1}) ซึ่งถ้ามีอยู่สูงก็จะให้ความอุดมสมบูรณ์ดีและทำให้กำลังวัสดุของดินบริเวณนั้นสูงด้วย

ดินที่เกิดจากหินทรายจะมีเนื้อดินเป็นซิลิกาหรือทราย ทนทานต่อหน่วยแรงอัดสูงเหมาะสำหรับใช้เป็นรากฐาน แต่ความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุในดินต่ำและความพรุนสูง ส่วนดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินปูนจะเป็นดินเนื้อละเอียดมีการทนทานต่อหน่วยแรงอัดต่ำกว่าดินจากหินทราย มีความอุดมสมบูรณ์ในดินดี ความพรุนปานกลาง ถ้าเป็นดินที่ถูกเคลื่อนย้ายพัดพามาจะมีลักษณะผสมกันของหินหลายชนิดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของหินที่ผสมกัน ลักษณะของการพัดพาและทับถม เป็นต้น

3. สภาพภูมิประเทศ (topography) ลักษณะและสภาพภูมิประเทศมีผลต่อชั้นของดินมาก พื้นที่ที่มีความลาดชันมากหินจะถูกพัดพาไปได้โดยง่าย ดินมีการสร้างตัวเองได้น้อยมักจะมีเนื้อหยาบและเกิดได้น้อย ส่วนใหญ่จะถูกพัดพาไปสะสมที่อื่น พื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยเกือบเป็นที่ราบมีการกัดเซาะชะล้างมากดินมีการสร้างตัวเองมากจะเกิดเป็นดินชั้นหนา

4. อิทธิพลของสิ่งที่มีชีวิต (role of organism) พืชและสัตว์ในดินมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการเกิดของดินและมักจะถูกควบคุมอีกชั้นหนึ่งด้วยภูมิอากาศ ในแถบที่มีความชุ่มชื้นสูง มีกรดอินทรีย์จากจุลินทรีย์ในดินเกิดขึ้นมากมาย ทำให้การสร้างตัวของดินเป็นไปอย่างรวดเร็ว ดินที่เกิดจะลึกและมีชั้นชัดเจน นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตยังมีอิทธิพลต่อดินในลักษณะต่างกัน เช่น ช่วยเพิ่มเติมอินทรีย์วัตถุให้แก่แร่และหินที่สลายตัวให้เป็นดิน หรือช่วยป้องกันการกัดกร่อนและผุพัง

5. ระยะเวลา (time) ระยะเวลาที่ใช้ในการกัดกร่อนผุพังและทับถมของหินให้กลายเป็นดินย่อมมีความสำคัญมาก ดินที่เกิดในบริเวณที่มีการระบายน้ำดี ความชื้นสูงการทับถมของตะกอนใหม่ ๆ จะมีชั้นดินไม่ชัดเจน การเกิดชั้นดินอยู่ภายในเวลา 20-30 ปี แต่ดินที่เกิดจากการทับถมมานานหรือมีระยะเวลาสร้างตัวมานาน ชั้นของดินจะชัดเจนเกิดเป็นชั้นลึก

1.6 คุณสมบัติของดิน

คุณสมบัติของดิน (soil properties) ที่จะกล่าวในหัวข้อนี้จะเน้นเรื่องคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมส่วนคุณสมบัติดิน

อนึ่งเป็นที่ทราบกันทั่วไปว่า คุณสมบัติของดินและหินในเชิงวิศวกรรมนั้นมีหลายคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน สมการที่ใช้คำนวณก็ใช้วิธีเดียวกัน คุณสมบัติที่คล้ายคลึงกันได้แก่

ก. คุณสมบัติเชิงเฟส

ข. คุณสมบัติความซาบซึมได้

ค. คุณสมบัติเชิงกำลังวัสดุ

ง. คุณสมบัติเชิงความแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. คุณสมบัติเชิงการสลายตัว และการทนทาน

จ. คุณสมบัติเชิงพลาสติก และการพองตัว

คุณสมบัติของดินที่จะกล่าวในที่นี้ เป็นเพียงคุณสมบัติที่ค่อนข้างแตกต่างจากของหินทั้งในทางธรณีวิทยาและเชิงวิศวกรรม และมีความจำเป็นดังกล่าวเพราะเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอันเป็นพื้นฐานสำหรับ เรื่อง กลศาสตร์ของดิน (soil mechanics)

1. **สีของดิน** (color of soil)

สีของดินมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของแร่ให้นที่เป็นต้นกำเนิด มีสีตั้งแต่สีขาว สีเทา สีน้ำตาลเหลือง จนถึงสีดำ ถ้าหากแร่ในหินนั้นเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ใหม่สีของดินก็จะมีลักษณะแตกต่างไปจากเดิม ตัวอย่าง แร่แมกนีไทต์ (magnetite) สลายตัวเปลี่ยนเป็นแร่ไลมอไนต์ (limonite) ได้ดินสีเหลืองหรือการที่มีแร่แมกนีไทต์สลายตัวไปเป็นแร่ฮีมาไทต์จะให้ดินสีน้ำตาลแดง เช่น ดินลูกรัง (laterite)

2. **รูปร่างของเม็ดดิน** (shape of soil grain)

รูปร่างของเม็ดดิน (ดูรูปที่ 1.2) แบ่งออกเป็น

ก. **เม็ดกลม** (bulk garin) ดินที่มีลักษณะของอนุภาคเป็นเม็ดกลมหรือเกือบกลม มิติทั้งสามในด้านของดินมีขนาดเกือบเท่ากัน ได้แก่ เม็ดกรวดทรายของแร่ควอร์ตซ์ โอปอ เป็นต้น

ข. **เม็ดแผ่นแบน** (flaky grain) ดินมีลักษณะอนุภาคเป็นแผ่นแบนและบางทีคล้ายใบไม้ มีเนื้อไม่ละเอียดนัก ได้แก่ เม็ดทรายแป้ง เม็ดดินเหนียว ของแร่เฟลด์สปาร์ ไมกา แร่ดินเหนียว

ค. **เม็ดรูปเข็ม** (needle-shaped grain) ดินมีลักษณะของอนุภาครูปร่างคล้ายเข็ม มีเนื้อละเอียดขนาดเม็ดดินเหนียวของแร่ดินเหนียว

3. **เนื้อดิน** (soil texture)

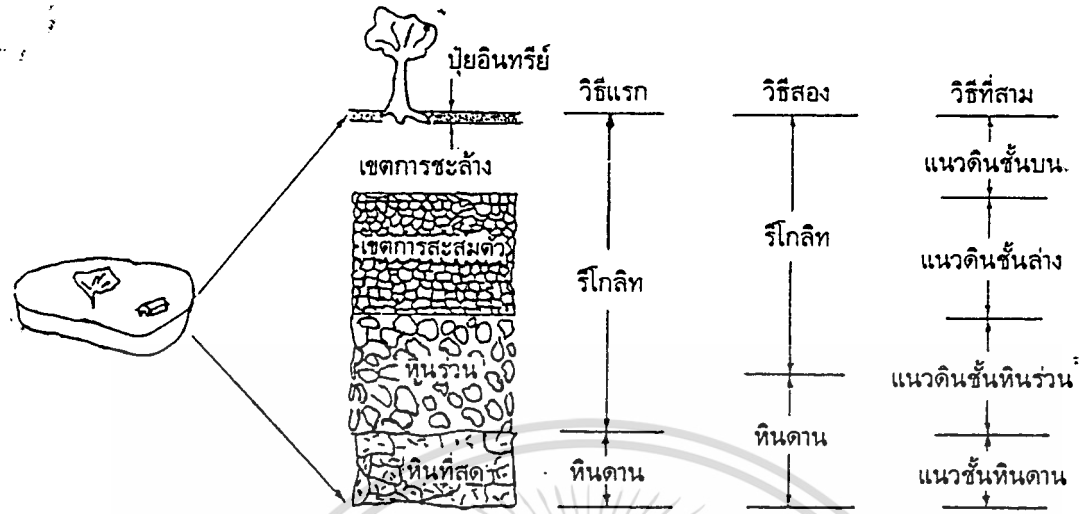
เนื้อดิน หมายถึง ลักษณะผสมของความหยาบหรือความละเอียดของเม็ดดิน โดยดูจากปริมาณหรือสัดส่วนร้อยละของน้ำหนักอนุภาคที่เป็นส่วนประกอบในดินนั้น

อนุภาคของดิน (soil particle) แปรเปลี่ยนตามสถานที่และสภาวะท้องถิ่น บางทีก็เล็กจนต้องจำแนกด้วยกล้องจุลทรรศน์ บางทีก็ใหญ่จนแยกไม่ออกว่าเป็นอนุภาค หรือหินคาน (bed rock)

การเรียกชื่อขนาดของเม็ดดินมีได้หลายแบบ ซึ่งแตกต่างกันไปเล็กน้อยตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดิน ตามหลักปฏิบัติเชิงวิศวกรรมนิยมใช้ของ ASTM (American Society for testing and Materials)

อนุภาคของเม็ดดินขนาดทรายแป้ง (silt) และขนาดดินเหนียว (clay) เป็นเม็ดเล็กละเอียดมองไม่เห็นชัดด้วยตาเปล่า ในเชิงวิศวกรรมทั้ง 2 ขนาด (เม็ดทรายแป้งและดินเหนียว) เรียกอีกรวมกันเ ป็น ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 รูปหน้าตัดชั้นดิน แสดงการแบ่งชั้นดินตามรูปหน้าตัด 3 วิธี

-วิธีแรก การแบ่งชั้นดินเชิงธรณีวิทยาส่วนที่ไม่ใช่หินดานจะจัดเป็นผิวเปลือกโลกหรือรีโกลิท

-วิธีที่สอง การแบ่งชั้นดินเชิงวิศวกรรมจะคล้ายคลึงกับวิธีแรก เพียงแต่จะจัดชั้นหินร่วน ที่ส่วนใหญ่มีเม็ดขนาดใหญ่กว่าขนาดกรวดทรายและจับตัวกันแน่นเป็นชั้นหินดาน

-วิธีที่สาม การแบ่งชั้นหินเชิงปฐพีวิทยา ส่วนที่ไม่มีอินทรียวัตถุปนจะจัดเป็นชั้นหินดาน



ก. ข. ค.

รูปที่ 1.2 รูปร่างของเม็ดดินแบบต่างๆ

ก. แบบเม็ดกลม

ข. แบบแผ่นแบน

ค. แบบรูปเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตารางที่ 1.2 ได้แสดงการจำแนกขนาดของอนุภาคในดิน โดยแบ่งออกเป็นหลายแบบ มาตราส่วนของเวนต์เวิร์ท (Wentworth) ใช้ในเชิงธรณีวิทยา ส่วนมาตราส่วนของแอทเทอร์เบอร์ก (Atterberg) หรือ เอ็ม ไอ ที (MIT) และของ เอ เอส ที เอ็ม (A S T M) ใช้ในเชิงวิศวกรรม ส่วนแบบมาตราส่วนสากล (International Scale) เป็นสิ่งที่ยอมรับและเข้าใจกันเป็นส่วนใหญ่ อนึ่งถ้าหากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดินหรือตะกอนน้อยกว่า 0.001 มม. จะเรียกว่า คอลลอยด์ (colloil)

4. ความเชื่อมแน่นของดิน (cohesion of soil)

ความเชื่อมแน่นของดิน จะขึ้นอยู่กับปริมาณขนาดของอนุภาคที่เป็นส่วนประกอบในดินนั้น ซึ่งจำแนกประเภทของความเชื่อมแน่นตามขนาดอนุภาคเม็ดแร่ในดิน ออกเป็น 3 ประเภท คือ

ก. **ความเชื่อมแน่นของเม็ดกรวดทราย** เนื่องจากขนาดของอนุภาคเม็ดดินมีขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 มม. ความเชื่อมแน่นไม่มี หรือมีน้อยมาก มักจะหลุดแยกออกจากมวลของดิน

ข. **ความเชื่อมแน่นของเม็ดทราย** ขนาดของอนุภาคมีขนาดปานกลาง 0.05-2 มม. เม็ดดินมีการยึดตัวเชื่อมแน่นแบบหลวม ๆ ดินมีความพรุนสูง มากกว่า 45% ดินชนิดนี้มีความซาบซึมได้สูง น้ำซึมผ่านได้ง่ายไม่ยึดพองตัว แต่อาจเปลี่ยนแปลงรูปได้โดยที่ปริมาตรคงเดิม

ค. **ความเชื่อมแน่นของเม็ดทรายแป้ง และเม็ดดินเหนียว** เนื่องจากขนาดของอนุภาคของทั้ง 2 ชนิดนี้มีขนาดเล็กละเอียด (น้อยกว่า 0.05 มม.) ความเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดอนุภาคสูง ความพรุนมีค่าแตกต่างกันมาก ตั้งแต่ 25% ถึง 90% (ขึ้นอยู่กับปัจจัยการปรับตัวของเนื้อดินมากกว่า) ดินมีความซาบซึมต่ำ น้ำซึมผ่านได้ไม่ยากมีการยึดพองตัว เปลี่ยนแปลงรูปร่างขนาดและปริมาตรได้ง่าย

อนึ่งในเรื่องของความเชื่อมแน่นนี้ ยังเกี่ยวข้องกับความเค้น ความเครียด และกำลังวัสดุของดินโดยตรงจากรูปที่1.3 แสดงถึงความแตกต่างของดินที่ไม่มีค่าความเชื่อมแน่น (chesionless soil) ของดินทราย กับ ดินเหนียว ในภาวะที่ถูกโหลดภายนอกออกมากระทำแตกต่าง ระหว่าง normal load กับ over consoildation load แต่ลักษณะที่จะเกิดภาวะโหลดสูงผิดปกติ จนเป็น over consolidaton state จะพบในดินเหนียวมากกว่า

ในรูปที่1.3ก ยังแสดงถึงจับตัวเชื่อมแน่นของเม็ดทรายที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของ ความเค้น ตั้งฉาก-เฉือน กับ ความเค้นตั้งฉากที่ประสิทธิผล-กำลังวัสดุเฉือน ที่ให้กราฟแตกต่างกันในภาวะของโหลดธรรมชาติ (normal load)

ในรูปที่ 1.3 ข แสดงถึง ดินเหนียวที่ถูกแรงภายนอกมากระทำในภาวะของโหลดปกติตามธรรมชาติ (ไม่เกี่ยวกับการเปียกและแห้งสลับกันที่เกิดในธรรมชาติ) แร่ดินเหนียวในมวลดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะแสดงจุดยอด (peak) ของกำลังวัสดุเฉือนจะมีค่าตาม ค่าของความเค้นเฉือนสูงสุด (maximum normal stress) ซึ่งต่อมากราฟก็จะแสดงจุดตกค้าง (residual) ของกำลังวัสดุเฉือนตามช่วงระยะเวลาที่ผ่านไป

ในรูปที่ 1.3 ค แสดงถึง ดินเหนียวที่ถูกแรงภายนอกมากระทำในภาวะโหลดอัดตัวมากผิดปกติ (over consolidated load) แร่ดินเหนียวในมวลดินจะแสดงช่วงแตกต่างระหว่างจุดยอดของกำลังวัสดุเฉือน กับ จุดตกค้างของกำลังวัสดุเฉือน ในระดับพิสัย (range) ที่กว้างกว่าในภาวะโหลดธรรมดาตามธรรมชาติ

5. โครงสร้างดิน (soil structure)

โครงสร้างของดิน เป็น ลักษณะการปรับตัวและจับกลุ่มของอนุภาคดินเป็นก้อนขึ้น ด้วยการยึดติดเชื่อมแน่นจากสารคอลลอยด์ในดิน (soil colloid)

ตามปกติ ในธรรมชาติจะหายากที่จะพบอนุภาคดินในสภาวะอิสระ (free particle) อนุภาคของดินเราจะพบในสภาวะมวลรวมกลุ่มผลึก (crystal aggregate) ขนาดของโครงสร้างดินเดี่ยว ๆ อาจมีตั้งแต่เล็กขนาดเล็บมือ จนถึงเป็นรูปร่างบลอคขนาดใหญ่

โครงสร้างดิน แบ่งตามกระบวนการที่ดินจับตัวเป็นมวลรวมกลุ่มผลึก ร่วมกับ ขุยอินทรีย์ เม็ดเล็กละเอียดของคอลลอยด์หรือสารละลายเกลือ สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ประเภท (ดู **รูปที่ 1.4**) คือ

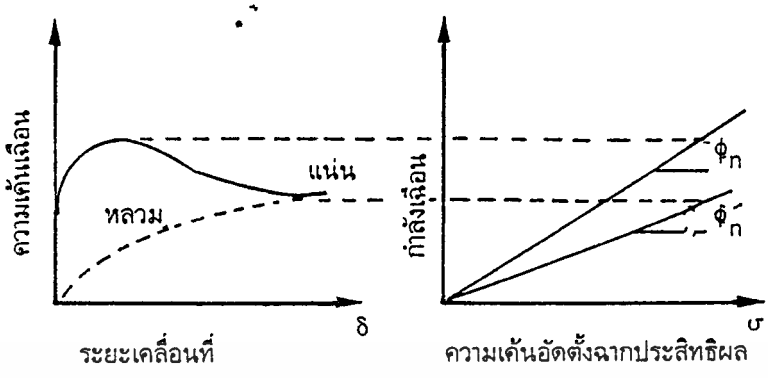
ก. **โครงสร้างแบบบลอค (blocky structure)** ลักษณะโครงสร้างแบบนี้ประกอบด้วยเม็ดอนุภาคที่เป็นเม็ดเดี่ยว (single grained particle) มีขนาดไม่สม่ำเสมอ จับตัวในสภาพหลวม ๆ โดยเรียงกันเป็นเม็ดต่อเม็ดมีขอบมุมแหลมเป็นรูปแท่งบลอค เมื่อถูกแรงอัดดันประทำจากภายนอก โครงสร้างดินจะทรุดตัวลงทันทีเมื่อได้รับน้ำหนัก

ข. **โครงสร้างแบบมวลเมล็ด (granular structure)** ลักษณะโครงสร้างแบบนี้ก็ประกอบด้วยอนุภาคที่เป็นเม็ดเดี่ยว แต่ใดเล็ก ๆ ขนาดใกล้เคียงกัน มีการยึดตัวเชื่อมแน่นดีกว่าแบบบลอค เมื่อถูกแรงอัดดันกระทำจากภายนอก มีอทรุดตัวไปครั้งหนึ่งแล้วจะทรุดตัวอีกน้อยมาก

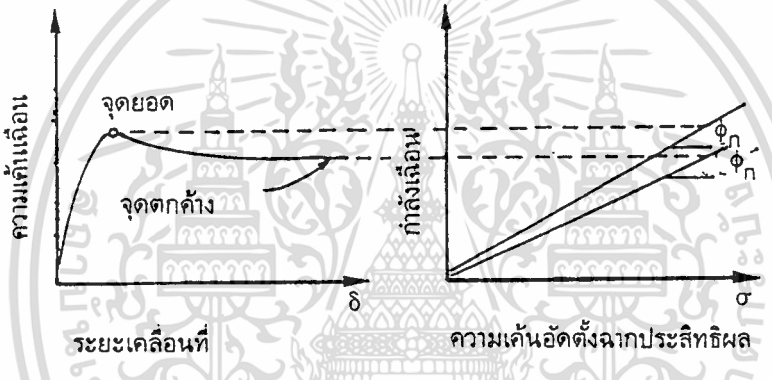
ค. **โครงสร้างแบบคอลัมน์หรือปริซึม (columnar or prismatic structure)** โครงสร้างจะมีสารเนื้อละเอียดมาก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาแว่นขอบธรรมดา จับตัวลักษณะกลุ่มผลึกเล็ก ๆ ต่อกันเป็นลูกโซ่ (chain) รวงผึ้ง (honey-combed) หรือเป็นแท่งคอลัมน์อิสระ (columnar) โครงสร้างแบบนี้จะมีน้ำหนักเบา เมื่อมีแรงอัดดันกระทำจากภายนอกโครงสร้างดินจะทรุดตัวไปเรื่อย ๆ

ง. **โครงสร้างแบบแผ่นเกล็ด (platy structure)** เป็นโครงสร้างของแร่ดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่ แร่เกาะยึดติดเป็นกลุมผลึกแบนเป็นเกล็ดวางตัวในแนวราบ โครงสร้างประเภทนี้ แต่ละ

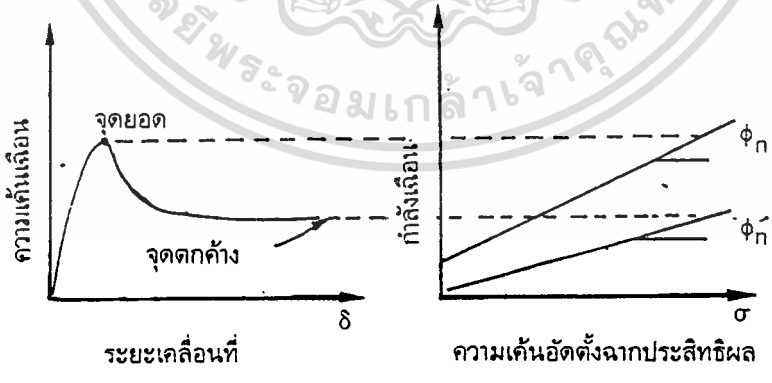
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ดินทรายที่ถูกโหลดอัดตัวปกติตามธรรมชาติมากระทำ แต่การจับตัวเชื่อมแน่นต่างกัน



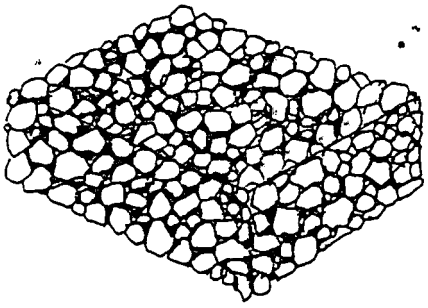
ข. ดินเหนียวที่ถูกโหลดปกติตามธรรมชาติมากระทำ



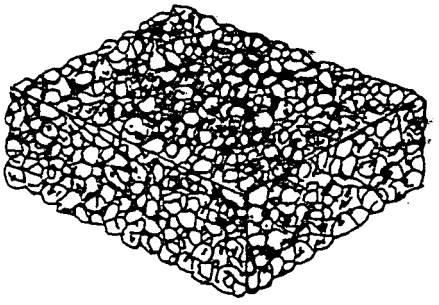
ค. ดินเหนียวที่ถูกโหลดอัดตัวในภาวะผิดปกติมากระทำ

รูปที่1.3 แสดงความสัมพันธ์ต่างๆในเรื่อง ความเค้นความเครียด และกำลังวัสดุของดินที่ไม่มีค่าความเชื่อมแน่น

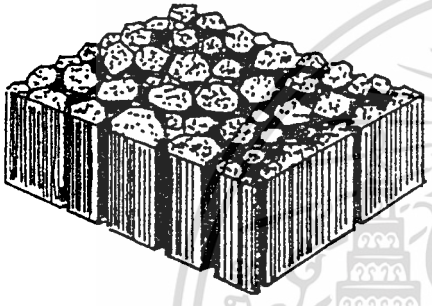
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



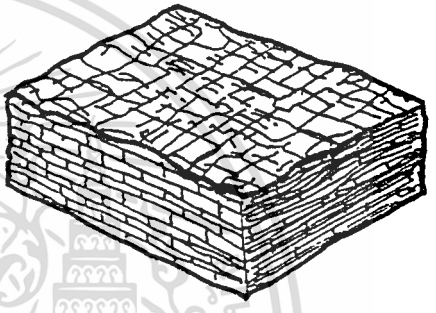
ก. โครงสร้างดินแบบบลอค



ข. โครงสร้างดินแบบมวลเมล็ด



ค. โครงสร้างดินแบบคอลัมน์หรือปริซึม



ง. โครงสร้างดินแบบแผ่นเกล็ด

รูปที่ 1.4 โครงสร้าง 4 ประเภทของดิน จัดตามการจับบตัวในสภาวะมวลรวมกลุ่มผลึก

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบส่วนประกอบของอากาศในดินกับอากาศในบรรยากาศ

ก๊าซ	อากาศในดิน (เปอร์เซ็นต์)	อากาศในชั้นบรรยากาศ (เปอร์เซ็นต์)
ออกซิเจน	20.55	20.97
คาร์บอนไดออกไซด์	0.25	0.03
ไนโตรเจน	79.20	79.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 ตารางการจำแนกขนาดอนุภาคของดิน

ขนาดอนุภาคเม็ดดิน หรือ ขนาดตะกอน	มาตราส่วนของ Wentworth	มาตราส่วนของ Atterberg or MIT	มาตราส่วนของ A S T M or U. S. Public Road	มาตราส่วนสากล International Scale
กรวด Pebble of Gravel	(เส้นผ่านศูนย์กลาง เป็น มม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง เป็น มม.)	(เส้นผ่านศูนย์กลาง เป็น มม.)	(เส้นผ่านศูนย์กลาง เป็น มม.)
	มากกว่า 2 มม.	มากกว่า 2 มม.	มากกว่า 2 มม.	มากกว่า 2 มม.
ทราย Sand	หยาบมาก 1-2 หยาบ 1/2-1 ปานกลาง 1/4-1/2 ละเอียด 1/8-1/4 ละเอียดมาก 1/16-1/8	หยาบ 0.6-2 ปานกลาง 0.2-0.6 ละเอียด 0.06-0.2	หยาบ 0.25-2 ละเอียด 0.05-0.25	หยาบ 0.22 ละเอียด 0.02-0.2
ทรายแป้ง Silt	1/16-1/256	หยาบ 0.02-0.06 ปานกลาง 0.006-0.02 ละเอียด 0.002-0.006	0.005-05	0.002-0.02
ดินเหนียว Clay	น้อยกว่า 1/256	น้อยกว่า 0.002	น้อยกว่า 0.005	น้อยกว่า 0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคของเม็ดดินมีน้ำห่อหุ้มอยู่และมีประจุไฟฟ้าของเม็ดอนุภาคที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ในช่วงขณะที่อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเหมือนกันอยู่ใกล้กันจะเกิดผลักกัน ส่วนในช่วงที่ประจุไฟฟ้าต่างกันอยู่ใกล้จะเกิดการดูดกัน จับรวมตัวเป็นการจับกลุ่มผลึกเล็ก ๆ เป็นก้อน (flocculant) เมื่อมีแรงอัดด้นกระทำภายนอก ดินจะเกิดการทรุดตัวไปเรื่อย ๆ

6. **ความเค้นประสิทธิผลและความดันในโพรง** (effective stress and pore pressure) ความดันในมวลของดิน จะมีชื่อเรียกว่า ความดันของเหลวภายในเม็ดแร่ (intergranular pressure) หรือ ความเค้นประสิทธิผล (effective stress) ซึ่งเป็นการกระทำที่เกิดที่จุดสัมผัสของอนุภาคของดิน

ค่าความเค้นภายในเม็ดแร่นี้ นับได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของความเค้นทั้งบริเวณ ช่วยหาความมีเสถียรภาพของดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ยของความเค้นอัดตัวตามธรรมชาติ (average normal strees) ที่มากระทำกับมวลดิน กับ ความดันในโพรง (pore pressure)

ความดันในโพรง คือความดันของของเหลว (น้ำ) ในโพรงหรือช่องว่างของหิน ที่เกิดขึ้นเพื่อต้านกับความดันภายนอกที่มากระทำ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ข้างบนนี้ สามารถเขียนเป็นสมการ ได้คือ

$$\overline{\sigma} = \sigma_{av} - U$$

โดยที่

$\overline{\sigma}$ = ค่าความเค้นประสิทธิผลของดิน

σ_{av} = ค่าของความเค้นอัดตัวตามธรรมชาติ

U = ค่าความดันในโพรงดิน

7. ภาวะการอัดตัวและการอัดตัวคายน้ำ (compressibillty and consolidation)

คุณสมบัติของดินเชิงวิศวกรรมที่สำคัญมาก มี 2 ประเภท คือ ค่ากำลังวัสดุเฉือน (shear strength) และค่าภาวะการอัดตัว (compressibility) ค่าดัชนีแรกที่เกี่ยวกับกำลังวัสดุเฉือนนั้นเป็นคุณสมบัติของดินที่มีความต้านทานต่อความไหลลื่น (sliding) ของมวลสาร คุณสมบัตินี้ได้นำไปใช้ในเชิงวิศวกรรม ตัวอย่างดินถมอยู่บนที่ลาดเอียงของถนน ค่าดัชนีที่สอง เป็นระดับชั้นของดินที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้โหลด และนิยามว่าเป็น ภาวะการอัดตัว (compressibility) โครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง เช่น เสาเข็ม มีโอกาสที่จะเกิดการทรุดตัวของโครงสร้าง (settlement) ในขณะที่ดินลดปริมาตรลงภายใต้โหลดเชิงสถิต (static load)

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินนี้ อาจเกิดโดยธรรมชาติก็ได้ ภาวะการอัดตัวของมวลดินตามปกติจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก อย่างคือ โพรงช่องว่าง (void) กับ โพรงน้ำ (water void) โดยที่องค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงรูปและปริมาตร (deformation) มีส่วนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าโพรงช่องว่างประกอบด้วยอากาศอย่างเดียว ดินจะถูกอัดตัวอย่างรวดเร็วภายใต้โหลด เมื่อเทียบกับโพรงช่องว่างมีน้ำอยู่ ในกรณีหลังนี้น้ำต้องการเวลาคายตัวระบายออกจากมวลดิน

การอัดตัวคายน้ำ (consolidation) อยู่ในรูปแบบของภาวะการอัดตัวภายใต้โหลดเชิงสถิต การอัดตัวคายตัว เป็นกระบวนการขับไล่น้ำออกจากโพรงช่องว่างในมวลดิน องค์ประกอบหลักขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเม็ดดิน (soil grain size) กับ น้ำ (water) มวลดินที่ประกอบด้วยเม็ดแร่หยาบ จะมีการระบายน้ำอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการอัดตัวคายน้ำจะเกิดอย่างรวดเร็วได้ค่าคัชนีสูง สำหรับมวลดินที่ประกอบด้วยเม็ดแร่เล็ก ละเอียดและอิ่มตัวด้วยน้ำ การอัดตัวคายน้ำเป็นไปได้ช้าได้ค่าคัชนีต่ำ ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อมีโหลดมากระทำน้ำจัดอยู่ในประเภท incompressible ในขณะที่น้ำคายตัวระบายออกจากชั้นดินที่ถูกอัดตัว โหลดที่มากระทำจะส่งผ่านไปยังชั้นของแข็งของเม็ดแร่ในดิน

ดังนั้นในการทดสอบหาค่ากำลังวัสดุของดิน โดยเฉพาะค่าของกำลังวัสดุเฉือนของดินที่มีเม็ดหยาบเท่ากับเม็ดทรายหรือมากกว่า 2 ม. จะทำภายใต้สภาวะ drained โดยมีการระบายน้ำออกได้จากมวลดิน แต่สำหรับดินเม็ดเล็กละเอียดเท่าเม็ดดินเหนียว (0.002 มม.) การอัดตัวคายน้ำจะมีพิสัยกว้างมาก สภาวะ drained ไม่ใช่องค์ประกอบสำคัญ เท่ากับ โหลด (load) กับ อัตราส่วนโพรงช่องว่าง (void ratio) ในรูปที่ 1.5 แสดงความสัมพันธ์ของ โหลด-อัตราส่วนโพรงช่องว่าง สำหรับมวลดินเม็ดขนาดดินเหนียวหลายชนิด

ดินที่ถูกอัดตัวตามธรรมชาติ (normally consolidated clay) จะมีความดันที่เกิดจากน้ำหนักของมวลดินส่วนบน (overburden) ซึ่งเป็นโหลดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ตามช่วงระยะเวลาทางธรณีวิทยา

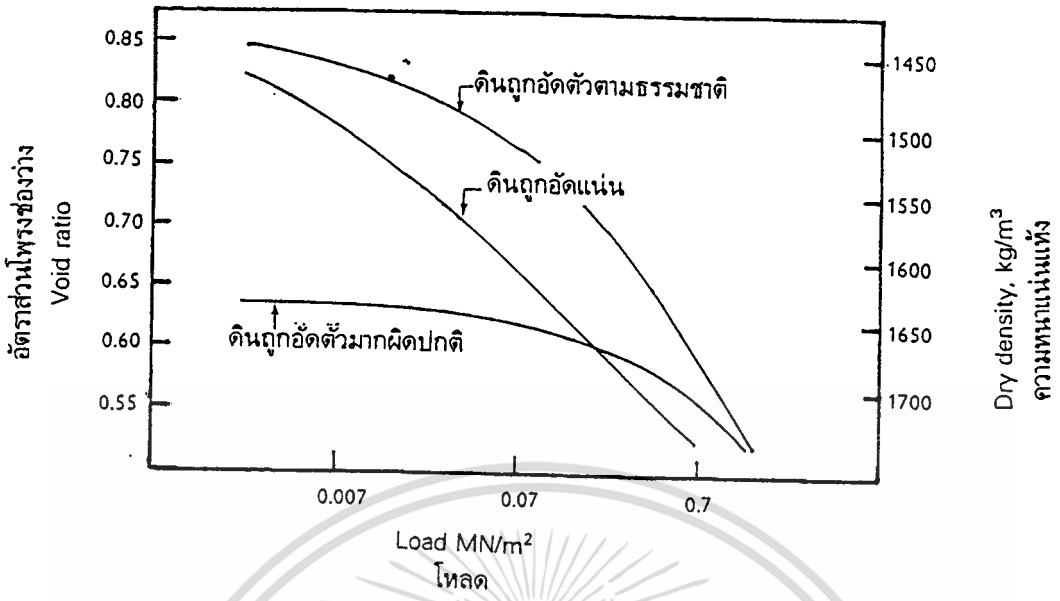
ดินที่ถูกอัดแน่น (compacted) ด้วยเครื่องจักรกลหรือมนุษย์ จะแสดงค่าสภาพไวของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของโพรงช่องว่างต่ำกว่าดินที่ถูกอัดตัวตามธรรมชาติ เมื่อมีโหลดมากระทำ

ดินที่ถูกอัดตัวมากผิดปกติ (over consolidated) เกิดเนื่องจากในช่วงระยะเวลาทางธรณีวิทยา มีโหลดที่มากระทำเพิ่มขึ้น นอกเหนือจากโหลดที่เกิดขึ้นจากมวลดินส่วนบน ดังนั้นสภาวะดินในปัจจุบันจะมีการอัดตัวของมวลดินแน่นผิดปกติ โดยทั่วไป เมื่อมีโหลดมากระทำ สภาพไวของ อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของโพรงช่องว่างจะต่ำมากกว่าดินชนิดอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้ว

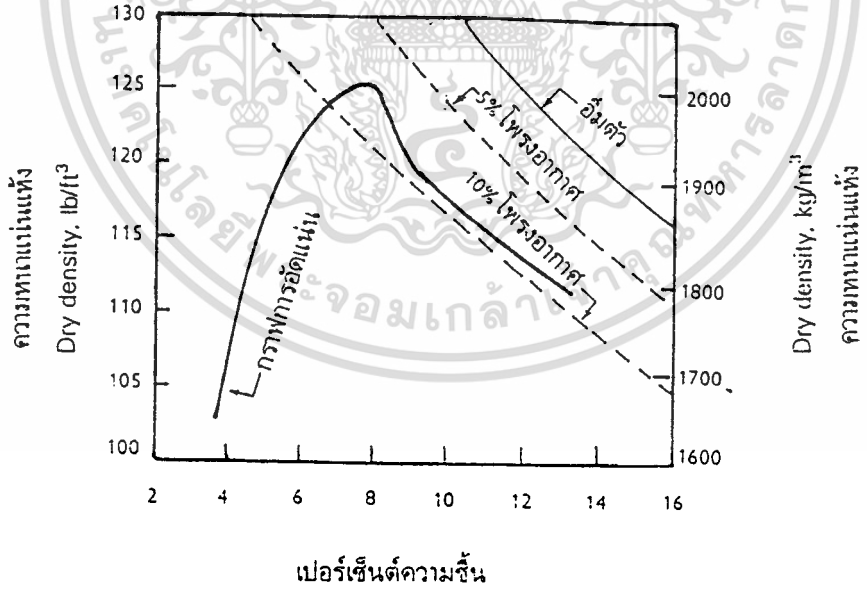
8. การอัดแน่น (compaction)

การอัดแน่นเป็นการทำให้ดินแน่นขึ้นโดยทำให้โพรงช่องว่างในมวลดินน้อยลง ซึ่งต้องอาศัยเครื่องจักรกลหรือมนุษย์ การอัดแน่นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับดินที่ใช้ในงานก่อสร้าง การลดปริมาตรของโพรงช่องว่างอาจทำได้โดยอาศัยการสั่นสะเทือน เพิ่มโหลดดิน ซึ่งจุดมุ่งหมายเพื่อจะเพิ่มกำลังวัสดุของดิน และทำให้ความชาบซึมได้ลดน้อยลง

เอกสารนี้ได้รับการคุ้มครองลิขสิทธิ์ ใช้ได้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่1.5 กราฟแสดงความสมพนธของมวลดินเหนียวในหลายสภาวะได้แก่ ดินถูกอัดตัวตามธรรมชาติดินถูกอัดตัวแน่นด้วยเครื่องจักรกลหรือมนุษย์ ดินถูกอัดตัวมากผิดปกติ



รูปที่ 1.6 ค่าความชื้นสำหรับดินแห้งกรณีดินทราย (Sandy soil) ที่ถูกอัดแน่นด้วยเครื่องจักรกล ในสภาวะของการอัดตัวลายน้ำต่างๆ(แสดงด้วยกราฟ 3 แบบ 10% โพรงอากาศ 5% โพรงอากาศและอิ่มตัวไม่มีโพรงอากาศ) สำหรับกราฟการอัดแน่น ในรูปนี้ได้ค่าความชื้นเหมาะที่สุดที่ 7.7% โดยได้ค่าความหนาแน่นสูงสุด 2.000 kg/m^3 (จาก A.Roberts.Geotechnology,1977)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำในมวลดินจะต้านทานต่อการยุบตัวของอนุภาค เนื่องจากมี ค่าแรงตึงผิว (surface tension) ของน้ำระหว่างเม็ดอนุภาค ถ้าหากมีการเพิ่มปริมาณความชื้นในดิน (moisture content) จะมีการลดค่าความต้านทานจากความเสียดทาน และช่วยให้การอัดแน่นดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกัน มวลดินควรจะแห้งเท่าที่จะเป็นไปได้ ในการทดสอบจะใช้ วิธีของการทดสอบการอัดแน่นแบบของพรอคเตอร์ (Proctor compaction test) จะได้ค่าความหนานแน่นของดินแห้งที่ระดับความชื้นในดินที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถหาค่าความชื้นที่เหมาะที่สุด (optimum moisture content) ค่านี้เป็นค่าเปอร์เซนต์ความชื้นที่เมื่อถูกอัดแน่นแล้วให้ค่าความหนาแน่นของดินแห้งสูงสุด (ดูรูปที่ 1.6)

1.7 การจำแนกประเภทของดิน

เนื่องจากดินมีการนำไปใช้ทำประโยชน์มากมาย การจำแนกประเภทของดิน (soil classification) จึงมีได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการประยุกต์ไปใช้งานอะไร หัวข้อการจำแนกประเภทดินในที่นี้ จะกล่าวเฉพาะการจำแนกประเภทดินในเชิงวิศวกรรมเท่านั้น

1.7.1 การจำแนกประเภทดินตามขนาดเม็ดแร่ (soil classification based on grain size)

ขนาดของเม็ดแร่ เป็นวิธีการที่นิยมในการจำแนกประเภทและการบรรยายดิน วิธีนี้เหมาะสำหรับดินพวกที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกยึดติดแน่นจะจำแนกสำบาก เนื่องจากการจำแนกประเภทนี้ อาจอาศัยน้ำหนักของแร่ ขนาดเม็ดทราย เม็ดทรายแป้ง และเม็ดดินเหนียวเป็นเกณฑ์ มวลดินถูกนำมาคละแล้วผ่านการร่อนตระแกรง โดยวิธี sieve analysis หรือทำการตรวจสอบทางด้าน sedimentation โดยอาศัย hydrometer หรือ pipette

จากนั้นจึงนำผลมาเขียนกราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (grain size distribution) ก็จะได้ปริมาณเม็ดดินของแต่ละชนิด แล้วจึงนำมาหาประเภทของดิน โดยอาศัยแผนภูมิสามเหลี่ยม (triangle diagram) ที่นิยมใช้ในปัจจุบันก็ใช้ของ U.S. Department of Agriculture ดังแสดงในรูปที่ 1.7

1.7.2 การจำแนกประเภทตามระบบของ AASHTO (AASHTO Classification System)

ระบบจำแนกประเภทของ AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) เพื่อนำดินไปใช้ในงานก่อสร้างทาง ที่ใช้เป็น ดินรากฐาน (subgrade) ของการก่อสร้างทางหลวง การจำแนกด้วยอาศัยส่วนผสมของเม็ดอนุภาคในเนื้อดิน โดยอาศัยตารางของ AASHTO (ตารางที่ 1.3) จากนั้นก็อาศัยสมการที่ 1.2 คือ

$$\text{ดัชนีกลุ่ม} = (F-35)\{0.2 + 0.005(w_l - 40)\} + 0.01(F-15)(P.I.-10) \quad (1.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
037186

โดยที่

F = จำนวนเปอร์เซนต์ของเม็ดขนาด 0.075 มม. ที่ผ่านตระแกรง

W_1 = ค่าขีดเหลว

P.I. = ค่าดัชนีพลาสติก

ดัชนีกลุ่มมักจะแสดงเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม (ยกเว้นถ้าออกมามีเครื่องหมายลบ ให้ถือว่าเป็นศูนย์) ตัวอย่าง ถ้าดัชนีกลุ่มของดิน A-7-6 คือ 15 ในการจำแนกประเภทควรจัดเป็น A-7-6 (15)

ค่าตัวเลขสูงของดัชนีกลุ่ม จะแสดงความไม่เหมาะสมที่จะนำไปเป็นดินฐานราก ค่าตัวเลขดัชนีถ้าเป็น 0 แสดงว่าเป็นดินฐานรากที่ดี แต่ถ้าจัดกลุ่มได้ค่าตัวเลขดัชนีเป็น 20 แสดงว่าเป็นดินฐานรากที่เลว

1.7.3 การจำแนกประเภทดินตามระบบ USC (USC System)

ระบบ USC (Unified Soil Classification System) นิยมใช้มากกับงาน วิศวกรรมงานก่อสร้างทางประเภทดินถมแบบดินฐานรากที่ปรับแต่ง (improved subgrade) และดินชั้นพื้น (base sourse) และงานฐานราก (foundation) ของอาคารทั่วไป

ระบบ USC ใช้องค์ประกอบหลักระหว่างเนื้อดิน (texture) สภาพพลาสติก (plasticity) ซึ่งได้แสดงวิธีการจำแนกดินตามตารางที่ 1.4 โดยแบ่งดินออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ (ส่วนดินอินทรีย์จัดเป็นกลุ่มย่อย) ดินกลุ่มแรก คือ ดินเม็ดหยาบ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.075 มม. (ค้างบนตระแกรง No.200) ดินกลุ่มที่สอง คือดินเม็ดละเอียดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.075 มม. (ผ่านตระแกรง) No.200)

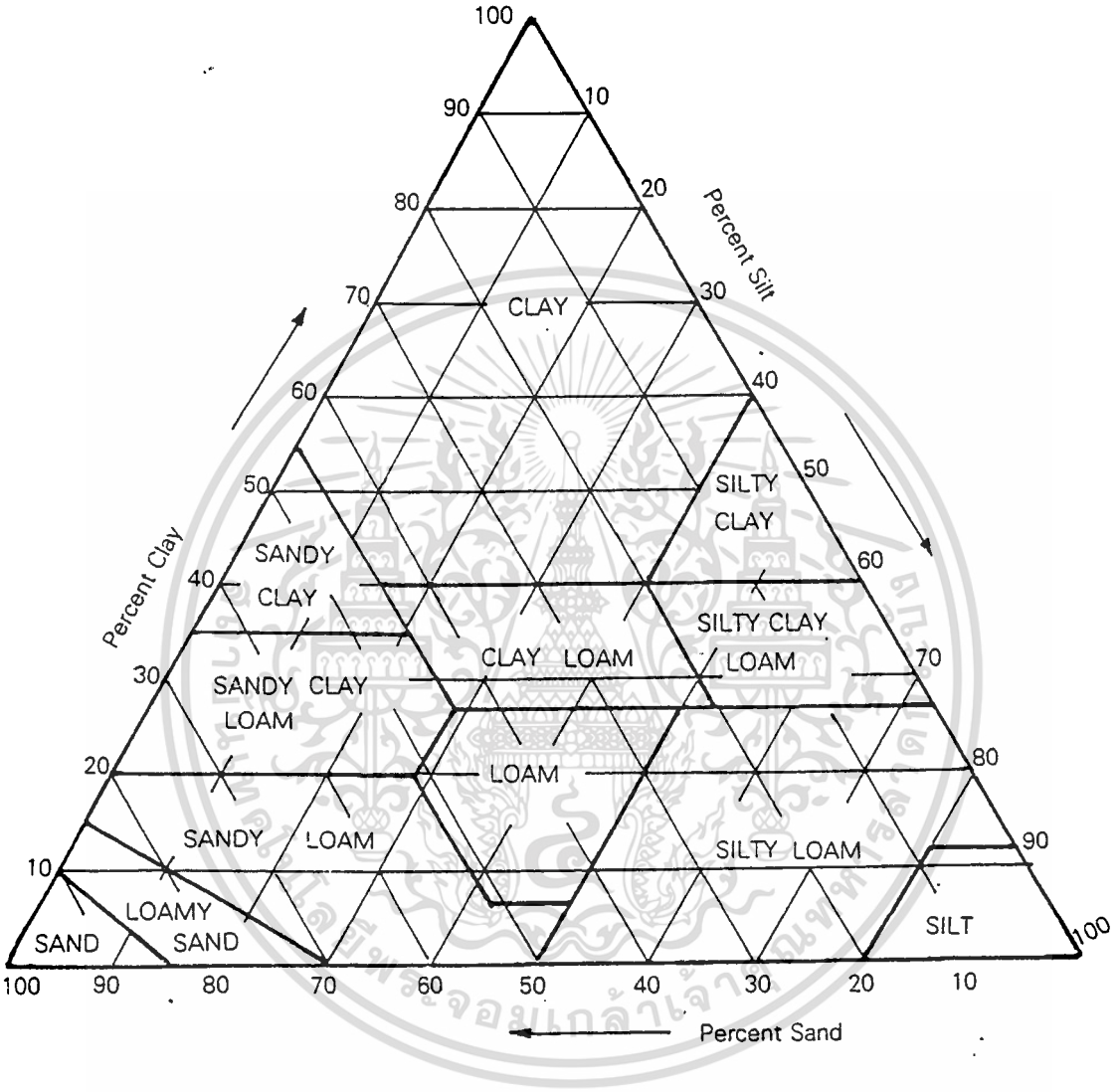
ถ้าหากมากกว่าครึ่งหนึ่งของมวลดินค้างบนตระแกรง U.S. Standard No.200 จะถูกจัดเป็นขนาดเม็ดหยาบต่อจากนั้นก็จำแนกพวกเม็ดหยาบย่อย โดยการร่อนตระแกรง (sieving) และส่วนขนาดของอนุภาคคละ (gradation)

ถ้าหากส่วนใหญ่ของมวลดินลอดผ่านตระแกรง No.200 ก็จัดเป็นขนาดเม็ดละเอียด จากนั้นก็จำแนกย่อยตามระดับขั้นพลาสติกของค่าขีดเหลว (liquid limit)

ตารางที่ 1.4 ของ USC จำแนกกลุ่มใหญ่ของดินเป็นตัวอักษรคู่ (ภาษาอังกฤษ) สัญลักษณ์อักษรตัวแรก หมายถึง ขนาดอนุภาค หรือ ลักษณะของอนุภาค หรือ ลักษณะของอนุภาค เช่น เม็ดกรวดทราย (G-Gravel)อนินทรีย์พวกทรายแป้ง (M-Inorganic Silt) เป็นต้น สัญลักษณ์อักษรตัวที่สอง (ของประเภทขนาดเม็ดหยาบ) หมายถึง ส่วนขนาดของอนุภาคคละ ว่ามีลำดับของการคละดี (W-Well-graded) หรือเลว (P-Poorgraded) สัญลักษณ์อักษรตัวที่สอง (ของประเภทขนาดเม็ดละเอียด) แบ่งออกตามสภาวะเชิงพลาสติก ว่าสูง (H-High) หรือต่ำ (L-Low)

ระบบ USC นี้อาจเป็นได้ที่จะพบมวลดินมีลักษณะผสมปนเปกัน เช่น SM-ML และ SC-CL เป็นต้น ปัญหาที่ประสบสำหรับการจำแนกประเภทดินตามระบบนี้ก็คือ การเก็บตัวอย่างดินใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่1.7 แผนภูมิสามเหลี่ยมของการจำแนกประเภทดินตามขนาดเม็ดอนุภาคในเนื้อดิน ขอบทั้งสามด้านสำหรับเม็ดอนุภาคขนาด เม็ดทราย เม็ดทรายแป้ง และดินเหนียว แต่ละจุดยอดของสามเหลี่ยมเป็นค่า 100%ของส่วนประกอบของน้ำหนักอนุภาค ชื่อของดินได้แสดงไว้ในแต่ละช่องแล้ว (จาก E.M.Bridges,World Soils:Second Edition,1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 ผังภูมิการจำแนกประเภทดินตามระบบ AASHO (จาก Johnson & De Graff, Principles of Engineering Geology, 1988)

General Classification	Granular Materials (35% or less passing No. 200)							Silt-Clay Materials (More than 35% passing No. 200)			
Group classification	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5,A-7-6
Sieve Analysis: Percent passing:											
No.10	50 Max.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
No.40	30 Max.	50 Max.	51 Min.	–	–	–	–	–	–	–	–
No.200	15 Max.	25 Max.	10 Max.	35 Max.	35 Max.	35 Max.	36 Max.	36 Min	36 Min.	36 Min.	36 Min.
Characteristics of fraction passing No.40:											
Liquid limit	–		–	40 Max.	41 Min.	40 Max.	41 Min.	40 Max.	41 Min.	40 Max.	41 Min.
Plasticity Index	6 Max.		N.P.[a]	10 Max.	10 Max.	11 Min.	11 Min.	10 Max.	10 Max.	11 Min.	11 Min.[b]
Group Index	0		0	0		4 Max.		8 Max.	12 Max.	16 Max.	20 Max.
Usual Types of Significant Constituent Materials	Stone Fragments Gravel and Sand		Fine Sand	Silty or Clayey Gravel and Sand				Silty Soils		Clayey Soils	
General Rating as Subgrade	Excellent to Good					Fair to Poor					

[a] N.P. = not plastic

[b] Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30.

ตารางที่1.4 ผังภูมิการจำแนกประเภทดินตามระบบ USC (จาก Johnson&De Graff. Principles of Engineering Geology,1988)

Major Divisions			Group Symbols	Typical Names
Coarse-Grained Soils More than 50% retained on No.200 sieve*	Gravels 50% or more of coarse fraction retainced on No.4 sieve	Clean Gravels	GW	Well-graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines
			GP	Poorly graded gravels and gravel-sand mixtures, little or no fines
		Gravels With Fines	GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures
			GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures
	Sands More than 50% of coarse fraction passes No.4 sieve	Clean Sands	SW	Well-graded sands and gravelly sands little or no fines
			SP	Poorly graded sands and gravelly sands, little or no fines
		Sands With Fines	SM	Silty sands, sand-silt mixtures
			SC	Clayey sands, sand-clay mixtures
Fine-Grained Soils 50% or more passes No.200 sieve*	Silts and Clays Liquid limit 50% or less		ML	Inorganic silts, very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands
			CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays
			OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity
	Silts and Clays Liquid limit greater than 50%		MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sands or silts, elastic silts
			CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays
			OH	Organic clays of medium to high plasticity
Highly Organic Soils			PT	Peat, muck and other highly organic soils

*Based on the material passing the 3-in. (75-mm) sieve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคสนามจำเป็นต้องนำดินนั้นมาทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาขนาดของเม็ดอนุภาคคละ และการหาค่าสภาพพลาสติกของมวลดิน ปัญหาที่ประสบอีกอย่างหนึ่ง ก็คือ การให้ความสำคัญของการจำแนกประเภทดินด้วยวิธีนี้มากเกินไป จนละเว้นที่จะศึกษาลักษณะและสภาพของดินในเชิงธรณีวิทยา ในจุดบริเวณที่ตั้งแหล่งก่อสร้าง (site)

1.8 <u>การบรรยายดิน</u>

ตัวอย่างดินอาจจะถูกเก็บในสภาพของแกนแท่งดิน หรือเป็นก้อน ๆ ของมวลดิน การบรรยายดิน (soil description) จะคล้ายคลึงกับการบรรยายหินมาก โดยตำราเล่มนี้จะเน้นการบรรยายดินเชิงธรณีวิทยาและดินเชิงวิศวกรรม เท่านั้น

1.8.1 ลักษณะที่สำคัญของดิน (important soil characteristics)

สิ่งที่ผู้บรรยายควรให้ความสนใจ ก็ได้แก่ ลักษณะสำคัญของดินที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่าและเครื่องมือง่าย ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการบรรยายดิน โดยกำหนดเป็นหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

1. ชื่อดิน (soil name) ชื่อของดินที่เรียกในงานวิศวกรรม นิยมใช้เรียกชื่อดินตามขนาดเม็ดอนุภาค มากกว่าเรียกชื่อตามแบบอื่น (AASHTO หรือ USC) เช่นเรียกชื่อดินเป็น ดินเหนียว ดินเหนียวเชิงทรายแป้ง ดินร่วน เป็นต้น

2. สีและองค์ประกอบของแร่ในดิน (color and soil composition) สีของดินก็อธิบายตามโทนสีเช่นเดียวกับหิน แต่แร่ที่เป็นองค์ประกอบในดิน เป็นการยากที่จะสามารถจำแนกได้ด้วยตาเปล่าหรืออุปกรณ์แบบง่ายๆ

3. การเปลี่ยนแปลงสภาพ (alteration) ดินที่บนพื้นผิวจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพได้รวดเร็วกว่าดินที่อยู่ในระดับลึก การบรรยายดินควรระบุลงไว้ด้วยใน core log

4. เนื้อดินและโครงสร้างดิน (soil texture and structure) การบรรยายดินจะทำได้ไม่ดีเท่ากับการบรรยายหินในเรื่องนี้ ทั้งนี้เพราะดินมักจะไม่มีการจับตัวยึดแน่นเหมือนหิน การบรรยายจึงเพียงแต่บอกขนาดของอนุภาคคละที่อยู่ในมวลดินเท่านั้น และประมาณเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (เท่าที่จะทำได้อย่างหยาบๆ)

5. ลักษณะเชิงเฟส (phase characteristic) ผู้ที่ทำการบรรยายลักษณะของดิน จำเป็นอย่างยิ่งต้องตรวจดูลักษณะเชิงเฟสอย่างละเอียดเท่าที่จะเป็นไปได้ ความชื้น ความพรุน และหน่วยน้ำหนักดินซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสำหรับงานก่อสร้างต่างๆ

6. ความซาบซึมได้ (permeability) การบรรยายจะแบ่งเพียงลักษณะของดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านมากน้อย โดยใช้ปริมาณความซาบซึมได้ของดิน เช่น สูง ต่ำ หรือปานกลาง

7. ความแข็ง สภาพพลาสติก และการพองตัว (hardness, plasticity and swelling) ดินบางชนิดอาจออกแรงกดหรือบีบให้แตกหลุดจากกันได้ง่าย เช่น ดินตะกอน แต่บางอย่างก็ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้เพราะโครงสร้างดินมีสภาพพลาสติกสูง เมื่อดินถูกแรงกระทำจะเปลี่ยนรูปร่างแทนที่จะหลุดออกจากกัน เช่น ดินเหนียว นอกจากนี้ก็สังเกตดูว่าดินมีการพองตัวหรือไม่

8. **การสลายตัวและการทนทาน** (slake and durabillity) ดินที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวสูงมักจะมีการสลายตัวสูงด้วยเมื่อแห้ง การอธิบายลักษณะดินก็คูความเป็นไปได้ว่า ดินจะแตกหลุดออกจากกันหรือเปลี่ยนสภาพ ได้ยากหรือง่าย เมื่อถูกเปียกชื้นสลับกับการแห้ง

9. **ความไม่ต่อเนื่อง** (discontinuity) มวลดินส่วนใหญ่จะมีความไม่ต่อเนื่องอยู่ในโครงสร้าง เช่น รอยแยก รอยแตกเล็กๆ (เมื่อดินหดหรือขยายตัว) ลักษณะความไม่ต่อเนื่องนี้เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องบันทึกไว้ ทั้งนี้เพราะว่าถ้าหากมีความไม่ต่อเนื่องขนาดใหญ่เกิดขึ้น เช่น รอยเลื่อน ก็มีผลโดยตรงต่องานก่อสร้างในบริเวณนั้นๆ

1.8.2 **การบรรยายชนิดของดิน** (soil type description)

ตัวอย่างของการบรรยายชนิดของดินในที่นี้ จะกล่าวเฉพาะดินที่จำแนกตามขนาดเม็ดอนุภาค ซึ่งอาศัยแผนภูมิสามเหลี่ยมของการจำแนกดิน (รูปที่ 1.7) แต่เพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจง่ายขึ้นจึงได้จัดทำเป็นตารางไว้โดยตารางที่ 1.5 จะเรียกชื่อดินตามส่วนประกอบเป็นเปอร์เซนต์ตามน้ำหนักของอนุภาคในมวลดิน

รายละเอียดของดินแต่ละชนิด (ในตารางที่ 1.5) ในแสดงลักษณะที่สังเกตและตรวจสอบเบื้องต้นไว้ตามหัวข้อย่อยข้างล่างนี้ อย่างไรก็ตาม ผู้ที่ทำการบรรยายดิน ก็ยังต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.8.1 ทำการบรรยายเพิ่มเติมด้วย ก่อนที่จะตัดสินใจนำมวลดินนั้นไปใช้ในงานวิศวกรรม

1. **ดินทราย** (sand) ดินทรายประกอบด้วยอนุภาคทรายขนาดหยาบ (2 มม.) จนถึงขนาดละเอียด (0.02 มม.) ปริมาณ 85-100% และมีอนุภาคดินเหนียว (0.02 มม.) อยู่น้อยมาก (น้อยกว่า 10%) ดินชนิดนี้จะร่วนจับตัวยึดติดกันอย่างหลวมๆ เมื่อแห้ง และไม่เหนียวติดกันเมื่อเปียก เมื่อเอาดินมาบีบถูกับมือ จะไม่มีฟิล์มบางๆ ของสารคอลลอยด์ติดมือ และรู้สึกขรุขระ บาดมือ

2. **ดินทรายเชิงร่วน** (loamy sand) ประกอบด้วยขนาดอนุภาคทรายเป็นส่วนใหญ่ (70-90%) แต่ปริมาณอนุภาคในดินเหนียวสูงขึ้น (สูงสุด 15%) มีความเชื่อมแน่นและเป็นสภาพพลาสติกดีขึ้นเมื่อเปียกจะมีฟิล์มบางๆ ติดมือเมื่อนำมาบีบถูกับมือ และยังรู้สึกขรุขระอยู่.

3. **ดินร่วนเชิงทราย** (sandy loam) ปริมาณของอนุภาคเม็ดทรายยังสูงอยู่ (50-85%) เนื่องจากมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงขึ้น เมื่อเปียกจึงสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ระหว่างถูกบีบ แต่ส่วนใหญ่จะไม่เหนียวติดมือ ไม่สามารถจะปั้นให้เป็นแท่งทรงกระบอก หรือรูปเข็มเล็กๆ ได้

4. **ดินร่วน** (loam) เป็นดินที่พบมากชนิดหนึ่ง ปริมาณสัดส่วนอนุภาคคละกันพอดี เม็ดอนุภาคทรายเกือบเท่าๆ กับเม็ดทรายแป้ง ส่วนอนุภาคดินเหนียวสูงในปริมาณพอดี (7-27%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินชนิดนี้เมื่อมีความชื้นเหมาะสมจะสามารถปั้นแต่งได้ แต่ยังไม่ถึงกับเหนียวติดมือมากนัก ยังลำบากที่จะปั้นเป็นแท่งเท่าเข็ม

5. ดินร่วนเชิงทรายแป้ง (silty loam) ดินชนิดนี้พบมาก ดินร่วนเชิงทรายแป้งมีสภาพพลาสติกปานกลางแต่ไม่เหนียวติดมือ มวลดินเมื่อลูบดูจะรู้สึกราบเรียบขึ้น เนื่องจากมีอนุภาคเม็ดทรายแป้งมาก (50-88%)

6. ดินร่วนปนดินเหนียวเชิงทราย (sandy clay loam) ดินชนิดนี้จะมีอนุภาคดินเหนียวในปริมาณมาก (20-35%). จะมีความรู้สึกว่าเริ่มเหนียวติดมือเมื่อเปียก แต่ปริมาณของอนุภาคเม็ดทราย (45-80%) ยังสังเกตได้ค่อนข้างชัดเจน

7. ดินร่วนเชิงดินเหนียว (clay loam) ดินเมื่อเปียกชื้นจะแสดงลักษณะเหนียวติดมือชัดเจนเนื่องจากปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูง (สูงสุด 40%) แต่ปริมาณของอนุภาคทรายยังตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้ (20-45%)

8. ดินร่วนปนดินเหนียวเชิงทรายแป้ง (silty clay loam) ดินชนิดนี้ปริมาณอนุภาคทรายจะน้อยลงมาก (0-20%) โดยที่ส่วนประกอบของมวลดินมีอนุภาคทรายแป้งสูงสุด (40-73%) จึงรู้สึกลื่นมือเมื่อสัมผัสมวลดิน แต่จะรู้สึกเหนียวติดมือน้อยกว่า ดินเหนียวเชิงทรายแป้ง (silty clay) หรือ ดินร่วนเชิงดินเหนียว (clay loam)

9. ดินทรายแป้ง (silt) เนื่องจากดินชนิดนี้มีปริมาณอนุภาคทรายแป้งสูงมาก (80-100%) เมื่อสัมผัสดูจะมีลักษณะเด่น คือราบเรียบลื่นมือคล้ายจับสบู่

10. ดินเหนียวเชิงทราย (sandy clay) สภาพพลาสติกและเหนียวติดมือของดินชนิดนี้ จะชัดเจนเมื่อความชื้นในมวลดินเหมาะสม (ปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงสุด 55%) แต่อนุภาคทรายยังคงสูงอยู่ในปริมาณใกล้เคียงกัน (45-65%) อนุภาคทรายแป้งหรือขนาดทรายเม็ดละเอียดจะหายาก

11. ดินเหนียวเชิงทรายแป้ง (silty clay) ในมวลดินจะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.02 มม. จึงรู้สึกราบเรียบลื่นมือเมื่อสัมผัส เพราะมีอนุภาคทรายแป้งสูง (40-60%) ในขณะเดียวกันก็เหนียวติดมือเพราะมีอนุภาคดินเหนียวสูงด้วยในปริมาณเท่าๆ กับอนุภาคทรายแป้ง สามารถปั้นแต่งเป็นรูปต่างๆ ได้

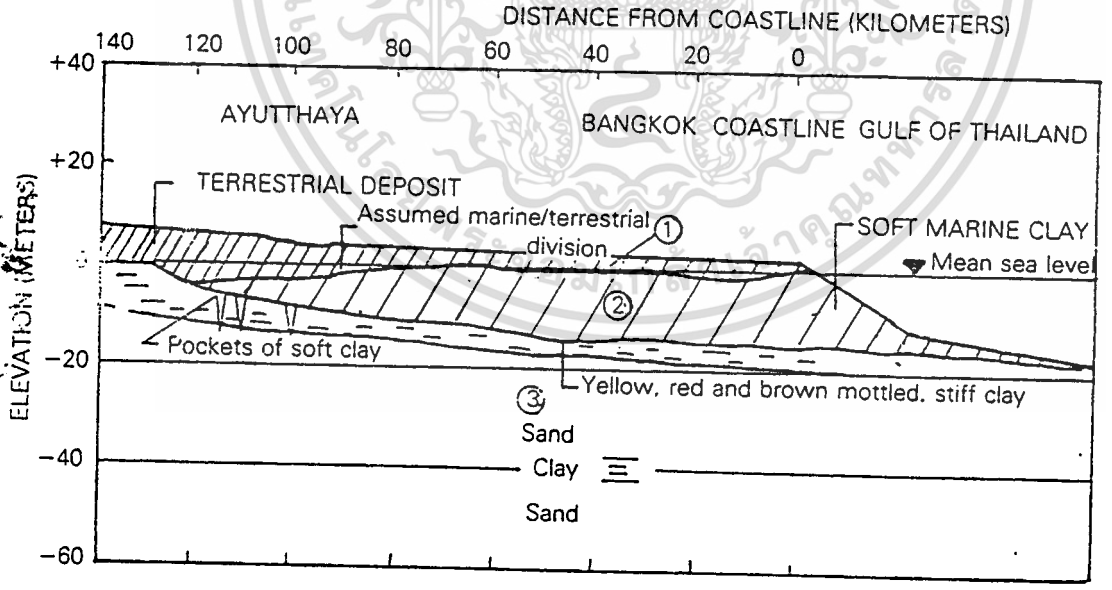
12. ดินเหนียว (clay) เป็นดินที่พบมากที่สุดชนิดหนึ่ง ดินจะมีสภาพพลาสติกสูงและเหนียวติดมือมากเมื่อเปียกชื้น นอกจากนี้เมื่อถูด้วยนิ้วมือจะเป็นเงา สามารถปั้นแต่งให้เป็นรูปต่างๆ ได้ดี ไม่ว่าจะเป็นรูปอะไร นอกจากนี้ยังสามารถทำเป็นแผ่นบางๆ หรือนำดินมาพิมพ์รอยนิ้วมือได้

1.9 <u>ชั้นดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.5 การเรียกชนิดดินตามขนาดของอนุภาคในมวลดิน

ชื่อดิน	ส่วนประกอบเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก		
	ทราย	ทรายแป้ง	ดินเหนียว
ดินทราย (Sand)	85–100	0–15	0–10
ดินทรายเชิงร่วน (Loamy Sand)	70–90	0–30	0–15
ดินร่วนเชิงทราย (Sandy Loam)	50–85	0–50	0–20
ดินร่วน (Loam)	23–52	28–50	7–27
ดินร่วนเชิงทรายแป้ง (Silty Loam)	0–50	50–88	0–27
ดินร่วนปนดินเหนียวเชิงทราย (Sandy Clay Loam)	45–80	0–28	20–35
ดินร่วนเชิงดินเหนียว (Clay Loam)	20–45	15–53	27–40
ดินร่วนปนดินเหนียวเชิงทรายแป้ง (Silty Clay Loam)	0–20	40–73	27–40
ดินทรายแป้ง (Silt)	0–20	80–100	0–12
ดินเหนียวเชิงทราย (Sandy Clay)	45–65	0–20	35–55
ดินเหนียวเชิงทรายแป้ง (Silty Clay)	0–20	40–60	40–60
ดินเหนียว (Clay)	0–45	0–40	40–100



รูปที่ 1.8 รูปหน้าตัดของดินดอนสามเหลี่ยมของที่ราบลุ่มในแอ่งเจ้าพระยาชั้นดินตอนบนจะสลับชั้นกันระหว่างดินส่วนที่เกิดตกตะกอนบนพื้นดิน (terrestrial deposit) กับดินส่วนที่ตกตะกอนในทะเล (marine deposit) ในบางบริเวณอาจมีชั้นดินชั้นใดชั้นหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณภาคกลางของประเทศไทย ปกคลุมด้วยชั้นดินเกิดเป็นที่ราบลุ่มในแอ่งแม่น้ำเจ้าพระยา (Chao Praya basin) ซึ่งเป็นดินตะกอน (sediment) เกิดจากการสะสมตัวของแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีอายุการทำงานนานมาก ที่ราบลุ่มนี้มีเทือกเขาและภูเขาล้อมรอบทั้ง 3 ด้าน ด้านตะวันตกถูกล้อมรอบด้วยเทือกเขาตะนาวศรี ด้านเหนือถูกล้อมรอบด้วยเทือกเขาและที่ราบสูงภาคเหนือ ด้านตะวันออกถูกล้อมรอบด้วยที่ราบสูงโคราช ที่ราบลุ่มมีความยาวประมาณ 450 กม. ทิศเหนือจรดจังหวัดอุตรดิตถ์ ทิศใต้จรดอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรปราการ ความกว้างตามแนวทิศตะวันตก-ทิศตะวันออก ช่วงความกว้างที่สุดอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ มีความกว้างประมาณ 250 กม. ความกว้างน้อยที่สุดอยู่ที่จังหวัดชัยนาทมีความกว้างประมาณ 50 กม.

การเกิดดินตะกอนในบริเวณที่ราบนี้ สันนิษฐานว่าเกิดมานานนับสิบล้านปีในช่วงสมัยไมโอซีน(Miocene epoch) ซึ่งต่อมาก็มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลอยู่หลายครั้ง ในขณะที่ระดับน้ำทะเลขึ้นสูงเม็ดตะกอนขนาดเล็กเท่าเม็ดดินเหนียว (0.002 มม.) จะมีโอกาสตกตะกอน (โดยเม็ดตะกอนขนาดหยาบจะตกตะกอนก่อน) เมื่อน้ำทะเลลดลง โดยมีการสะสมดินตะกอนในแอ่งรูปประทุนหงายหรือซินไคล์น (syncline)

จากหลักฐานทางธรณีวิทยาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของชั้นดินบริเวณแอ่งแม่น้ำเจ้าพระยาครั้งหลังสุดอยู่ในช่วงตอนปลายสมัยไพลสโตซีน (Pleistocence epoch) จนถึงสมัยปัจจุบัน (Recent epoch) คือราวๆ 10,000 ปีนั่นเอง หลักฐานประกอบในการพิจารณา ก็คือ การพบสมอเรือเดินทะเลที่อยุธยาหรือตามภูเขาสูงๆ พบเปลือกหอยฝังในหิน นอกจากนี้ในปัจจุบัน (2533) ยังพบเปลือกหอยจำนวนมากอยู่ใต้ระดับดินลึก 8 เมตร ที่วัดเจดีย์หอย อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี

สภาพภูมิประเทศที่เกิดจากการสะสมตัวนี้มีระดับความสูงลดต่ำจากทิศเหนือจรดทิศใต้ ขอบบนของที่ราบลุ่มบริเวณจังหวัดอุตรดิตถ์ วัดได้ประมาณ 40 ม. เหนือระดับน้ำทะเล ที่จังหวัดนครสวรรค์วัดได้ประมาณ 25 ม. เหนือระดับน้ำทะเล จังหวัดชัยนาทซึ่งเป็นปลายยอดของดินดอนสามเหลี่ยม (delta)วัดได้ประมาณ 18 ม. เหนือระดับน้ำทะเล จังหวัดอยุธยาวัดได้ประมาณ 4 ม. เหนือระดับน้ำทะเล และที่กรุงเทพมหานครระดับถนนโดยเฉลี่ยวัดได้ 1.5 ม. เหนือระดับน้ำทะเล (ตามรายงานในปี 2520 แต่ปัจจุบันจากข้อมูลอย่างไม่เป็นทางการระดับถนนอยู่ต่ำกว่านี้)

ผลของการเจาะสำรวจชั้นหินดานส่วนใหญ่ กระทำในบริเวณที่ราบลุ่มตอนล่างพบว่าชั้นหินดาน (หินชนวน สลับกับ หินควอร์ตไซต์) อยู่ลึกจากผิวดินไม่สม่ำเสมอ ที่ปลายดินดอนสามเหลี่ยมในจังหวัดชัยนาทความลึกของผิวดินของชั้นหินดานประมาณ 70 ม. ต่อมาจะมีระดับลึกมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเจาะสำรวจมาทางทิศใต้ (จังหวัดอยุธยา) บางแห่งอยู่ลึกประมาณ 430 ม. และบางแห่งลึกกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินที่วางทับบนหินดานที่ราบลุ่มแม่แอ่งแม่น้ำเจ้าพระยานี้ เป็นตะกอนดินที่อัดตัวแน่นของดินเหนียว ทราย กรวดเป็นชั้นๆ แยกจากกันแต่บางทีก็ปนกัน (ดูรูปที่ 1.8) ชั้นดินถัดมาที่มีอายุอ่อนกว่า ก็ได้แก่ ชั้นดินเหนียวอัดแน่น (stiff clay) ส่วนตอนบนเป็นดินตะกอนเนื้อนิ่มในทะเล (soft marine clay) แทรกตัวหรือวางทับบนชั้นดินเหนียวอัดแน่น ชั้นดินที่อยู่ตอนบนสุดและอายุอ่อนกว่า คือ ชั้นดินตะกอนบนพื้นดิน (terrestial deposit)

ส่วนชั้นดินที่อยู่เหนือสุดใกล้ปากอ่าวไทยมีความหนาประมาณ 15-20 ม. จากผิวดิน ชั้นดินนี้เป็นชั้นดินเหนียวนิ่ม (อ่อน) ของชุด soft marine clay เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล ปกคลุมอ่าวไทยบริเวณภาคกลางตั้งแต่จังหวัดชลบุรีไปจนถึงจังหวัดราชบุรี (รูปที่ 1.9) และขึ้นไปทางเหนือถึงจังหวัดอยุธยา อายุของดินชั้นนี้ประมาณไม่เกิน 10,000 ปี ดินยังอยู่ในสภาพที่นิ่มถึงนิ่มมาก พร้อมที่จะไหลและยุบตัวได้มากเมื่อมีแรงมากระทำส่วนในเนื้อดินมีปริมาณน้ำปนอยู่เป็นอัตราส่วนที่สูงมาก การทรุดตัวจึงไม่เกิดทันทีทันใดทั้งหมดโดยจะทรุดตัวเป็นระยะเวลานับเป็นปีขึ้นไปจึงเป็นชั้นดินที่สร้างปัญหาอย่างมากให้กับวิศวกรในปัจจุบัน

อนึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าระดับของของแอ่งดินเจ้าพระยา (Chao Praya basin) จะค่อยๆ ลดระดับจากทิศเหนือมาทางทิศใต้ อนุภาคตะกอนจากการกระทำของแม่น้ำในที่ราบลุ่มตอนล่างจะเป็นสารคอลลอยด์และดินเหนียวกับทรายแป้ง ในช่วงน้ำท่วมในแต่ละปีแม่น้ำเจ้าพระยา (รวมทั้งแม่น้ำ แม่กลอง ป่าสัก ท่าจีนและบางปะกง) จะพัดพาตะกอนจำนวนมหาศาลมาที่ปากอ่าว มีผลทำให้อ่าวไทยตื้นเขินขึ้นทุกปี และบริเวณชายฝั่งก็เป็นโคลนเลน ปัญหาของตะกอนสะสมบริเวณปากดินดอนสามเหลี่ยม ก็เป็นสิ่งที่การท่าเรือแห่งประเทศไทยต้องแก้ไขอยู่ตลอดเวลา โดยการทำขุดลอกปากอ่าว เพื่อให้การเดินเรือสะดวกขึ้น

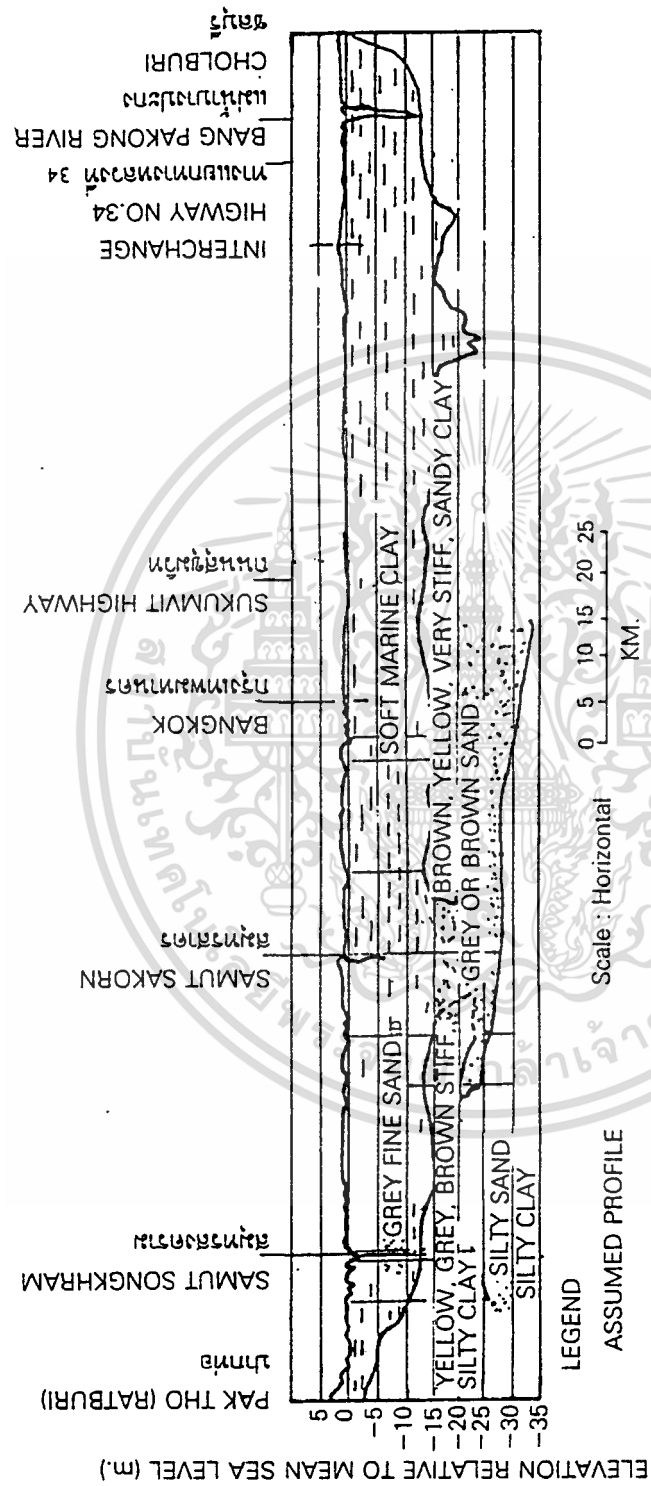
1.10 <u>ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร</u>

ชั้นดินของกรุงเทพมหานคร ได้เริ่มทำการสำรวจมาตั้งแต่ พ.ศ. 2475 โดยเริ่มทำการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดินมาเรื่อยๆ เพื่อให้ทราบโครงสร้าง คุณสมบัติและรูปหน้าตัดของชั้นดินของกรุงเทพมหานคร สำหรับการออกแบบวางแผนในงานก่อสร้าง

ปัญหาที่พบเห็นจากการพินิจศึกษาประวัติเฉพาะเรื่อง (case histories) ของการก่อสร้างพระที่นั่งอนันตสมาคม ที่มีฐานรากอยู่บนชั้นดินของกรุงเทพมหานคร ที่มีค่ากำลังรับน้ำหนัก (bearing capacity) ของดินต่ำ อาคารพระที่นั่งถูกสร้างด้วยหินอ่อน ระหว่างทำการก่อสร้างมีทรุดตัวของโครงสร้าง (settlement) ของปีกข้างหนึ่ง ทำให้ต้องทำการดัดแปลงแก้ไขก่อนการก่อสร้างจะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ต่อมาภายหลังก็มีการทรุดตัวอีก

ข้อมูลของชั้นดินที่อยู่ในบริเวณเขตกรุงเทพมหานครนี้ ต้องได้มาจากหลายหน่วยงานของราชการหรือจากบริษัท ชั้นดินจะแปรเปลี่ยนไปตามสถานที่และตามแนวตัดขวางชั้นดิน เท่าที่พอสรุปได้ว่า มีลักษณะทั่วไปที่แสดงในรูปที่ 1.10 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.9 รูปหน้าตัดชั้นดิน บริเวณอำเภอปากท่อถึงราชบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

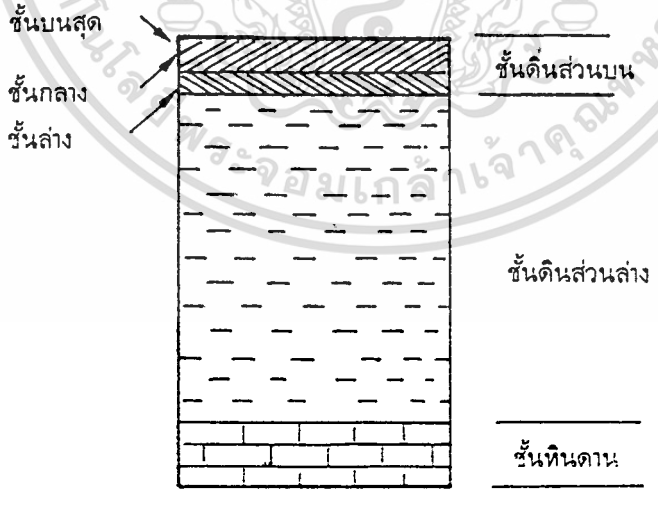
1.10.1 **ชั้นดินส่วนบน** (top layers) มีความลึกจากระดับผิวดินจนถึงระดับตั้งแต่ 21 เมตร ถึง 30 เมตร โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชั้นย่อย (**ดู รูปที่ 1.10 และ 1.11** ประกอบ)

1. **ชั้นบนสุด** เป็นดิน top soil มีสีเทา อ่อนร่วน และมีขุยอินทรีย์หรือ อินทรียวัตถุปนมีความหนาตั้งแต่ 1-2 เมตร เวลาทำการก่อสร้างต้องทำการขุดลอกชั้นดินชุดนี้ออก เพราะเป็นดินอายุอ่อนและไม่มีกำลังรับน้ำหนัก ก่อให้เกิดปัญหาการพองตัวเมื่อโซนชั้นดินถูกความชื้นได้ง่าย

2. **ชั้นกลาง** เป็นส่วนบนของชั้นดินตะกอนในทะเล ที่มีกำลังวัสดุน้อยจนถึงปานกลาง มีสีเทาจนถึงสีเทาดำ ปริมาณน้ำในเนื้อดินสูง ความหนาประมาณ 10-17 เมตร ซึ่งในช่วงระยะ 10 กว่าเมตรนี้จะมีชั้นดินย่อยของชั้นดินเหนียวสลับกับชั้นดินทราย (ดูรูปที่ 1.11)

การออกแบบสิ่งปลูกสร้าง ถ้าจะใช้ดินชั้นนี้เป็นรากฐานของอาคาร จะต้องคำนวณไม่ให้เกิดความเค้นอัดจนเกินกำลังวัสดุของดินฐานรากนี้ อันจะเป็นเหตุให้เกิดการพังทลายหรือทรุดตัวของโครงสร้างได้

3. **ชั้นล่าง** เป็นส่วนล่างของดินตะกอนในทะเล ดินมีความเชื่อมแน่นสูงขึ้นกว่าชั้นกลาง มีกำลังวัสดุปานกลาง สีดินสีน้ำตาลปนสีเทาอ่อน ความหนาชั้นดินประมาณ 10 เมตร ส่วนบนของดินชั้นล่างนี้เป็นที่หยั่งของปลายเข็มของฐานราก เพื่อรับอาคารขนาดเล็กและขนาดกลาง แต่จะให้รับน้ำหนักของอาคารขนาดใหญ่ วิศวกรโครงสร้างมักจะทำการเสริมเสถียรภาพเพื่อดินมีการยึดติดมากขึ้น ความพรุนน้อยลงและกำลังวัสดุสูงของดินกว่าเดิม



รูปที่ 1.10 รูปสมมุติลักษณะทั่วไปอย่างหยาบของชั้นดินบริเวณเขตกรุงเทพฯ

1.10.2 **ชั้นดินส่วนกลาง** (intermediate layers) เป็นชั้นดินที่มีระดับต่ำกว่า 30 เมตร เป็นชั้นดินทรายปนชั้นดินเหนียว (**ดูรูปที่ 1.8**) ความหนาเท่าที่ประมาณไว้จะมากกว่า 100 เมตร

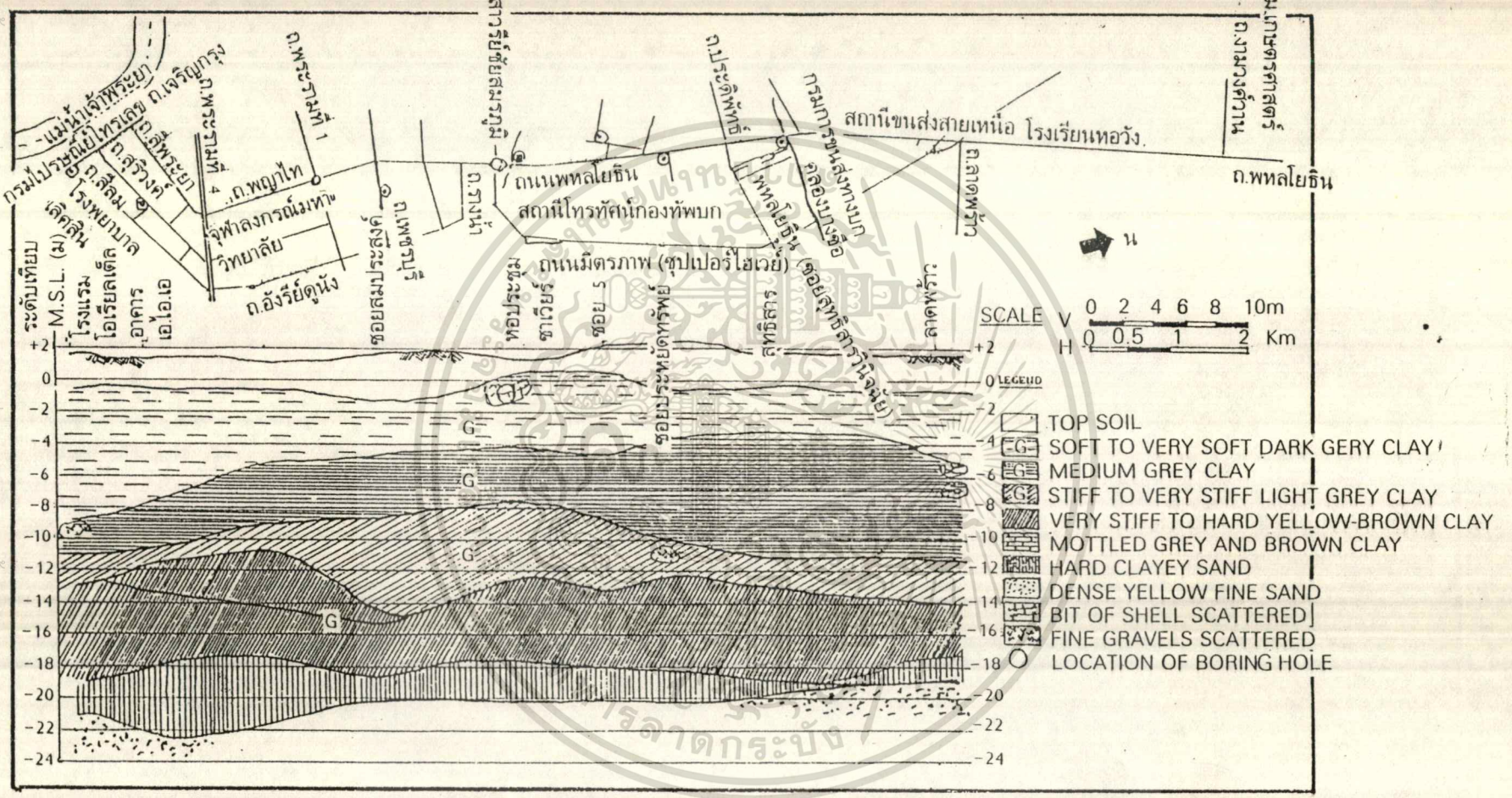
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นไป ส่วนบนของชั้นดินส่วนกลางนี้ ถ้าเป็นดินเหนียวแข็งหรือดินทรายอัดตัวแน่น และความหนามากกว่า 2 เมตรขึ้นไป ก็จะออกแบบให้เป็นที่หยั่งของปลายเสาเข็มที่รับอาคารขนาดใหญ่

1.10.3 **ชั้นหินดินดาน** (bedrock) จากข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์สันนิษฐานว่า เป็นหินชนวนหรือหินควอร์ตไซต์ ซึ่งจะอยู่ในระดับลึกถึง 1,000 เมตร เท่าที่การสำรวจถึงลึกถึง 250 เมตร ยังไม่พบชั้นหินดานนี้เลย

รายละเอียดของชั้นดินในเขตกรุงเทพมหานคร ได้แสดงเป็นตัวอย่างไว้ในรูปที่ 1.11 ซึ่งเป็นรูปตัดขวางของแนวตัดขวางเกือบเหนือ-ใต้ โดยทางทิศใต้เริ่มจากรมไปษรณีย์โทรเลขมาตามถนนสีลม หักเข้าถนนพญาไทตรงอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ ต่อไปตามถนนพหลโยธินจนกระทั่งถึงสะพานลอยลาดพร้าว ชั้นดินที่แสดงเป็นเพียงส่วนชั้นดินส่วนบน (top layers) โดยมีจำแนกย่อยจากบนสุดจนถึงล่างสุด จะได้ดิน top soil ซึ่งเป็นดินชั้นบนสุดหนาประมาณ 2 เมตร ใต้ชั้นถัดมาเป็นดินชั้นกลาง ซึ่งเป็นดินเหนียวเนื้อนิ่ม (soft clay) หนา 3-6 เมตร ใต้ชั้น soft clay ก็จะเป็นชั้นดินเหนียวปานกลาง (medium lay) หนาประมาณ 3-8 เมตร จนถึงชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมาก (stiff to very stiff clay) หนาประมาณ 2-4 เมตร ใต้ชั้นดินเหนียวแข็ง จะเป็นดินทรายที่แข็งมาก (hard sand) หนา 1-4 เมตร จากชั้นนี้ไปจะแปรเปลี่ยนมากแตกต่างกันไปตามหลุมเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.11 รายละเอียดชั้นดิน เป็นรูปตัดขวางแนวเหนือ-ใต้จากกรมไปรษณีย์โทรเลขถึงลาดพร้าว

บทที่ 2

การสำรวจและการทดสอบดินสำหรับการสร้างทางหลวง

2.1 การสำรวจดิน (Soil Survey)

ในเบื้องต้นควรเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานหรือหน่วยราชการที่เคยสำรวจข้อมูลรายละเอียดไว้บ้างแล้วเช่น จากแผนที่ทางธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี จากเทศบาลของเมืองที่ตัดถนนผ่าน จากกรมชลประทานที่ก่อสร้างเขื่อนฝายกั้นน้ำในบริเวณใกล้เคียง จากข้อมูลถนนสายเก่า ฯลฯ การสำรวจดินในสนามจะเริ่มพร้อมกับการสำรวจเบื้องต้น (Preliminary Survey) ตามมาตรฐาน AASHTO เกี่ยวกับ (Specifications for Highway Materials) กำหนดไว้ว่าจะต้องเก็บข้อมูลเพื่อประกอบในการ

1. กำหนดตำแหน่งของถนน (Location) ทั้งทางราบและทางดิ่ง
2. กำหนดตำแหน่งของบ่อยืมดิน (Bollow Pits) สำหรับนำมาใช้ในงานก่อสร้างถนน
3. ออกแบบและกำหนดตำแหน่งของคู ท่อลอดและการระบายน้ำ
4. ออกแบบรูปตัดของถนน (Cross-section)
5. กำหนดรายละเอียดการบดอัดดินคันทาง เพื่อให้ได้ดินคันทางมีความแข็งแรงที่เหมาะสมกับการใช้งาน
6. กำหนดแหล่งของวัสดุที่จะนำมาใช้ก่อสร้างพื้นทางรวมทั้งทำผิวทาง
7. ออกแบบโครงสร้างถนนและผิวทาง

การเก็บตัวอย่างดินใช้วิธีขุดเก็บตัวอย่างดินตามแนวเส้นศูนย์กลางของถนนด้วยสว่านเจาะดิน (Auger) เพื่อสังเกตุการเปลี่ยนแปลงลักษณะของผิวดิน พร้อมทั้งขุดหลุมเก็บดินตัวอย่างโดยมีกฎเกณฑ์ดังนี้คือ

1. ระยะห่างของจุดเก็บตัวอย่างเพื่อนำเข้าทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการในบริเวณที่มีชั้นดินสม่ำเสมอเท่ากัน 300 เมตร และถ้าชั้นดินเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงควรเก็บทุกระยะ 16 เมตร
2. ถ้าลักษณะชั้นดินมีการเปลี่ยนแปลงจะต้องพยายามหาจุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงนี้
3. ในบริเวณที่เป็นเนินขึ้นลง (Rolling Terrain) และความลาดชันเปลี่ยนจากดินถมเป็นดินตัด ให้เก็บตัวอย่างดินเฉพาะบริเวณที่เป็นดินตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถ้าเป็นถนนเก่าและระดับถนนที่จะสร้างใหม่ถมดินสร้างอยู่บนพื้นทางเดิมก็ไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างดินคันทางเดิม เว้นแต่จะเก็บเป็นบางจุดเพื่อหาคุณสมบัติของดินพื้นทางเก่าเพื่อนำมาพิจารณาความสามารถในการรับน้ำหนักประกอบการออกแบบ

ความลึกของชั้นดินที่ควรเก็บอย่างน้อย 1.0-1.5 เมตร หรือถ้าเป็นบริเวณที่เป็นดินตัดก็ควรจะให้ลึกถึงชั้นดินที่จะขุดออก นอกเหนือจากที่กล่าวแล้ว ความลึกของการเก็บตัวอย่างมีหลักเกณฑ์การพิจารณาคือ

1. ถ้าถนนตัดผ่านบริเวณที่มีชั้นดินสม่ำเสมอควรขุดเจาะให้ลึกลงไปถึงดินชั้นแรก (First Layer) ต่ำกว่าก้นคูระบายน้ำ หรือทะลุไปจนถึงชั้นที่น้ำซึมผ่านได้

2. บริเวณบ่อยืมดิน (Borrow Pits) ข้างทางควรขุดไปจนถึงระดับความลึกของก้นบ่อยืมดิน

3. บริเวณที่ต้องถมดินคันทางและดินพื้นทางสูงกว่า 7.5-9.0 เมตร ซึ่งจะมีปัญหาเกี่ยวกับแรงเสียดทาน (Bearing Pressure) ของดินบริเวณดังกล่าว ควรจะต้องขุดหรือสำรวจให้ลึกอย่างน้อย 2.5 เท่าของความสูงของดินถม

4. บริเวณที่ต้องถมดินต่ำกว่า 3 เมตร น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากดินถมมีไม่สูงนักควรขุดสำรวจลึก 3.0- 4.5 เมตร ก็พอเพียง

5. ถ้าบริเวณที่ถนนตัดผ่านเป็นที่ลุ่มมีน้ำขังจะต้องวัดความลึกของระดับน้ำทุกระยะ 15 เมตร

ดินตัวอย่างที่เก็บได้ต้องเคลือบด้วยพาราฟฟินใส่ถุงพลาสติก เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำนำส่งเข้าห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม ตามกระบวนการต่าง ๆ เช่น Field Moisture content, Sieve Analysis, Liquid Limit, Plastic Limit, Soil Classification, Compaction Test, CBR Test ฯลฯ จุดมุ่งหมายและรายละเอียดการทดสอบตลอดจนการนำผลการทดสอบมาใช้ประโยชน์ อาจศึกษาค้นคว้ารายละเอียดได้จากตำราปฐพีกลศาสตร์โดยทั่วไป

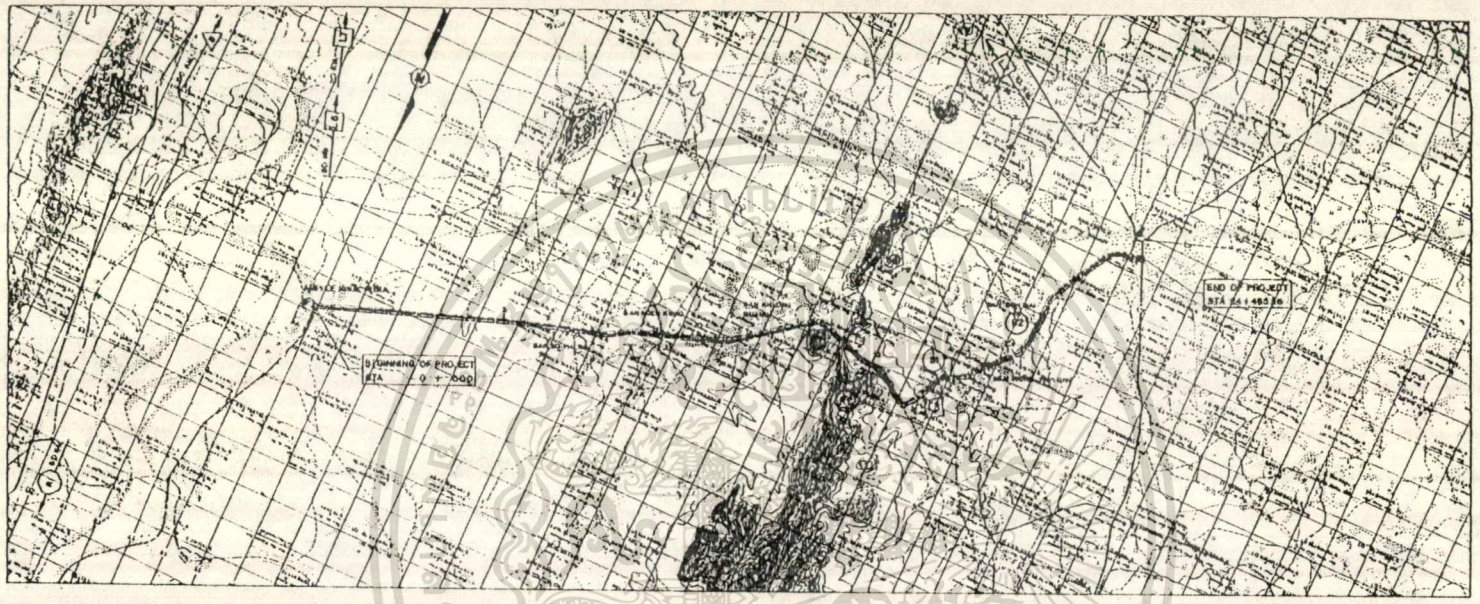
ระดับน้ำใต้ดิน (Water table) มีผลต่อความแข็งแรงของถนน ถ้าระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดินทำให้เกิด Capillary Rise มีผลให้ดินคันทางอ่อน ดังนั้นในการสำรวจดินต้องเก็บข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำใต้ดินจากบ่อสำรวจดินด้วยเพื่อประกอบในการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้าง ตลอดจนการออกแบบระบบการระบายน้ำเหนือพื้นดินและใต้ดินให้เหมาะสม

แบบก่อสร้างถนน (Highway Plans) เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในสนามมารวบรวมคำนวณแล้วเขียนรายละเอียดต่าง ๆ ลงบนแผ่นกระดาษ เพื่อนำไปก่อสร้างต่อไป **ภาพที่ 2.3** แสดงตัวอย่างแบบก่อสร้างถนนสายบางบัวทอง - สุพรรณบุรี แบบก่อสร้างนี้จะประกอบด้วยรายละเอียดเช่น

1. แสดงตำแหน่งและแนวถนนที่จะก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 4.3-2



TYPE OF SYMBOL	LOCATION		DESCRIPTION OF		USI CLASS	LABORATORY EXAMINATION:														AASHTO SOIL CLASS.	PROPOSED USE FOR:
						% PASS AASHTO STD SIEVES:							ATTERBERG		COMP TEST		L.A. ABR LOSS %	C.B.R. %			
	DESCRIPTION STA	TYPE OF ACCESS ROAD	SITE CONDITIONS	MATERIAL		1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200	L.L.	P.I.	MDD	OMC		SOAKED	SWELL		
L1	KM 6.5 RT TO KM ON 3220	LATERITE ROAD	MOUNTAIN	GREYISH BROWN, LAT. GRAVEL	LARGE	100	86	75	68	34	21	12	33	10	2.45	5.5		48	0.6	A-2-4(0)	UPPER SUBBASE
L2	KM 8 RT TO KM ON 3220	LATERITE ROAD	FLAT TERRAIN AROUND THE MOUNTAIN	BROWN LATERITE	LARGE	100	100	100	84	43	15	26	26	14	2.06	9.4		15	0.6	A-2-6(0)	SELECT FILL
L3	STA 17+0 RT 200 M ON PROJECT RD	LATERITE ROAD	KHAO NOI MOUNTAIN	BROWN, LATERITIC GRAVEL	LARGE	100	84	61	41	20	12	10	30	15	2.12	9.1		22	0.1	A-2-6(0)	LOWER SUBBASE
L4	STA 12+5 RT 200 M ON PROJECT RD	LATERITE ROAD	KHAO MANE BUAT MOUNTAIN	BROWN, LATERITIC GRAVEL	LARGE	95	66	71	38	13	9	6	—NP—		2.34	5.0		40	1.7	A-1-a(0)	UPPER SUBBASE
L5	STA. 19+0 LT 800M ON 3215	ASPHALTIC & LATERITE ROAD	FLAT TERRAIN AROUND THE MOUNTAIN	BROWN, LATERITIC GRAVEL	LARGE	100	85	86	85	44	30	27	32	14	2.15	9.0		23	0.5	A-2-6(0)	LOWER SUBBASE
B1	STA 17+0 LT 0.8 KM ON PROJECT RD	LATERITE ROAD	FLAT PADDY FIELD	BROWN, SILTY, FINE SAND	LARGE	100	100	100	99	91	81	44	20	7	2.06	8.8		14	0.3	A-4(0)	SELECT FILL
B2	STA 3+0 LT 0.8 KM ON PROJECT RD	LATERITE ROAD	FLAT PADDY FIELD	BROWN, SILTY FINE SAND	LARGE	100	100	100	100	99	87	55	—NP—		1.93	6.7		30	1.1	A-2-4(0)	SELECT FILL
S	KM 100.0 LT 100 M ON 33 AT CHAINAT	ASPHALTIC & LATERITE ROAD	KHAO PHRATA RIVER	BROWN SAND	LARGE																STRUCTURES
S1	KM 274.4 RT 800M ON 1	ASPHALTIC ROAD	MOUNTAIN	LIMESTONE	LARGE												45				AGGREGATE
A2	STA. 11+0 RT ON PROJECT ROAD	LATERITE ROAD	KHAO LUANG MOUNTAIN (PROPOSED QUARRY)	GRANITE	LARGE																AGGREGATE

LEGEND

- (R) ROCK QUARRY
- [L] GRANULAR MATERIAL DEPOSIT
- (B) BORROW PIT FOR FILL
- (S) SAND DEPOSIT
- (A1) 330 KM. DISTANCE AND DIRECTION OF UNMAPPED SOURCE

SCALE 0 1 2 3 4 KM

KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF COMMUNICATIONS
DEPARTMENT OF HIGHWAYS

PHI
PROVINCIAL ROAD IMPROVEMENT
PHASE 1 - FEASIBILITY STUDY

ROUTE 3319 KM PHRA – THAP THAN

MATERIAL SOURCES AND EVALUATION

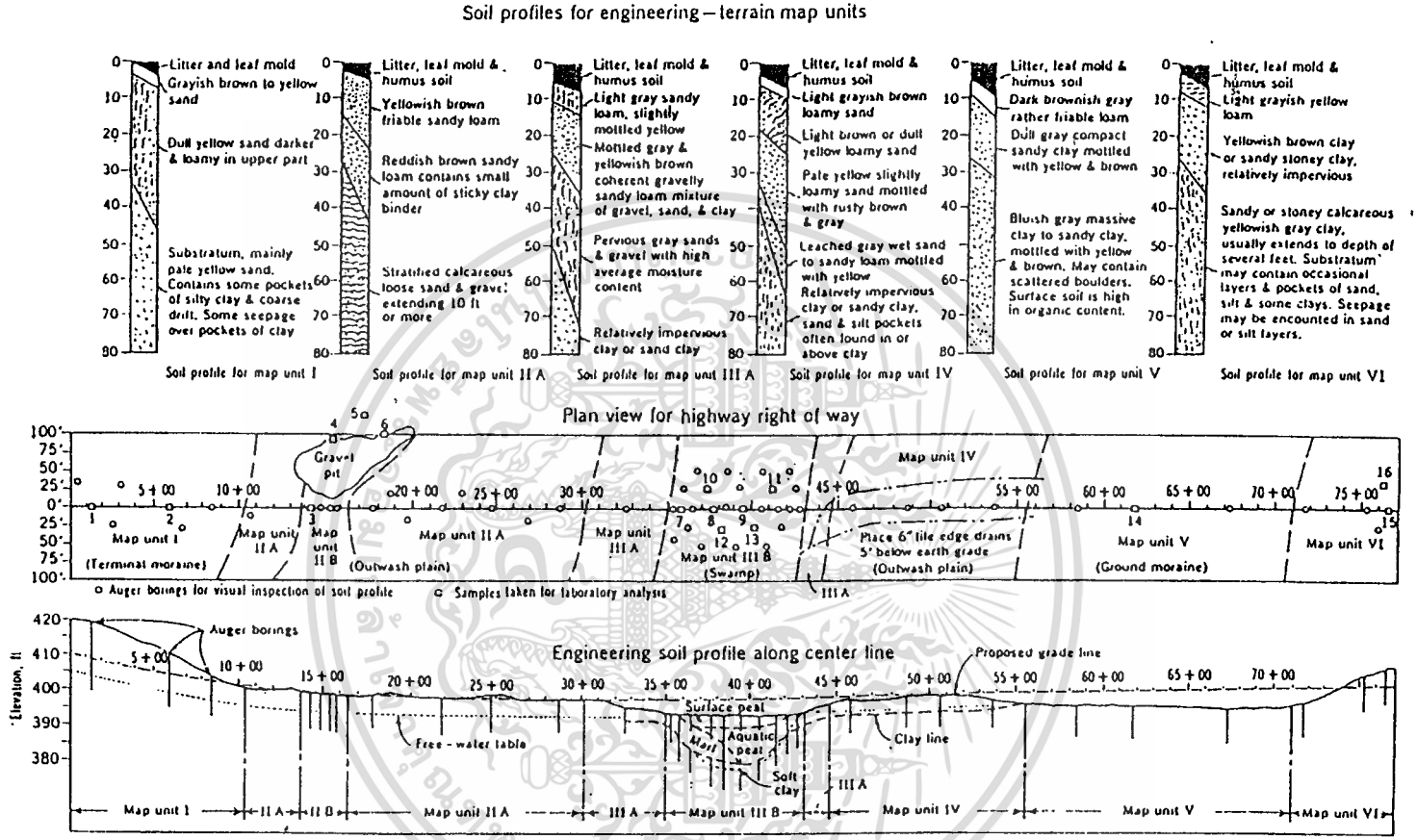
DESIGNED E.A. - (UNIT)
LOUIS BERGER INTERNATIONAL INC.
UNIVERSAL ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.
ASIAN ENGINEERING CONSULTANTS CORP., LTD.

DRAWN — N.L.
TRACED — L.S.
CHECKED — M.M.
DATE — JULY
SUBM. — OCTOBER, 19..

C1

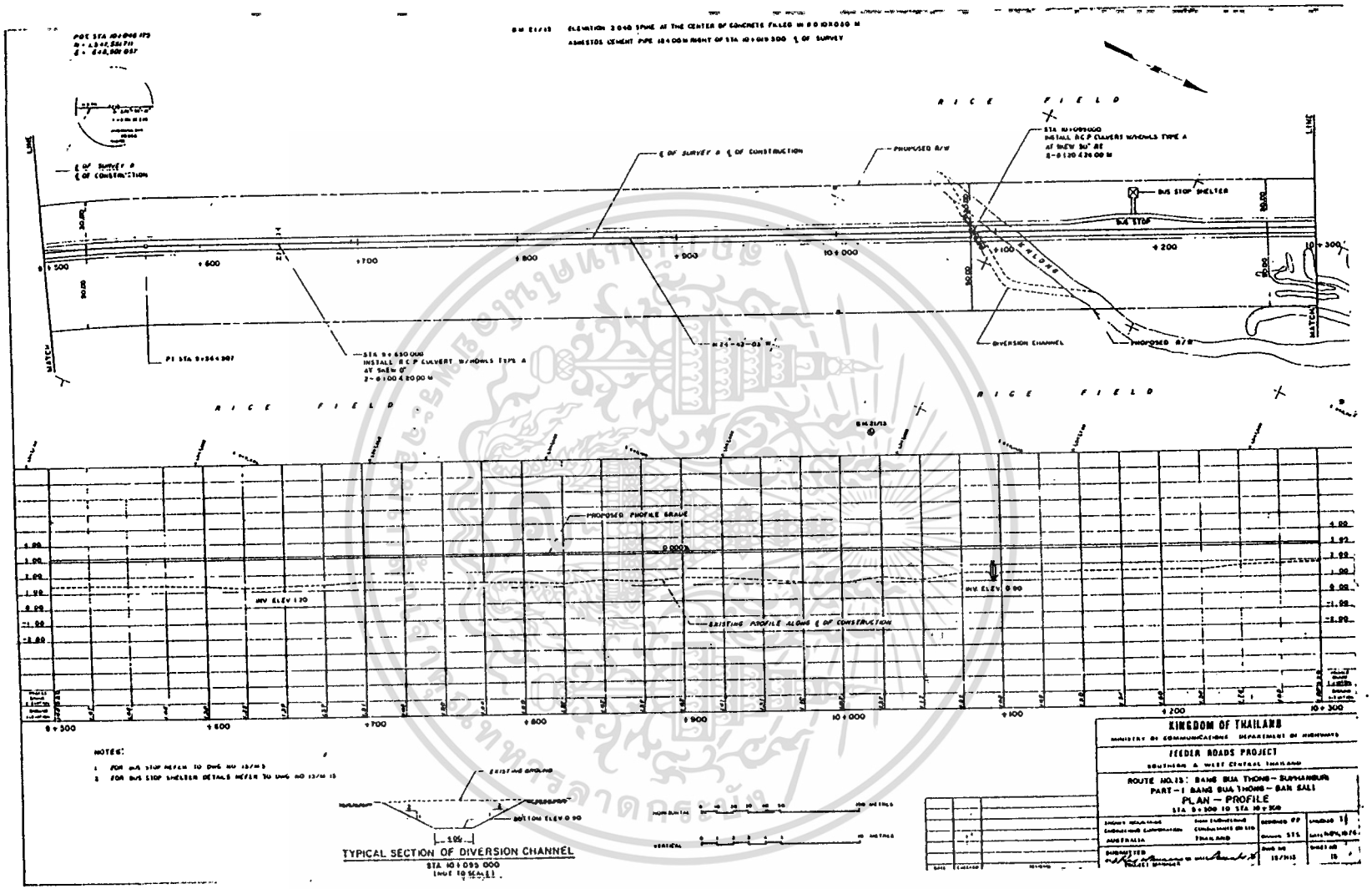
รูปที่ 2.1 แสดงแหล่งของวัสดุที่อยู่ในแนวก่อสร้างทางสาย 3319 โกรกพระ-ทับทาน

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ในรูปแบบใดๆ โดยไม่ได้รับอนุญาต



Example of soil-profile mapping. Source: *Surveying and Sampling Soils for Highway Purposes, AASHO Designation T86-54.* (Courtesy American Association of State Highway Officials)

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างรายงานผลการสำรวจและทดสอบคุณภาพของดิน และชั้นดินตามแนวถนนที่จะก่อสร้าง



รูปที่ 2.8 ตัวอย่าง Plan และ Profile แบบก่อสร้างถนนสายบางบัวทอง-สุพรรณบุรี ทางหลวงหมายเลข 13

2. แสดงรายละเอียดบอกหมุด (Pegs) ตามแนวศูนย์กลางถนนเส้นสัมผัส (Tangent) ทางโค้ง รัศมีทางโค้ง ขอบเขตทางหลวง (ROW.) แม่น้ำ จุดทางรถไฟตัดผ่าน อาคารข้างเคียง รั้ว ท่อน้ำประปา แนวเสาไฟฟ้า และโทรศัพท์ ตำแหน่งสะพาน และท่อลอด หมุดบอกระดับ (Bench Mark)

3. แสดง Profile ของถนนตามแนวศูนย์กลางถนน บอกรายละเอียดระดับผิวดินเดิมในปัจจุบัน ระดับความลาดชันหลังถนนเมื่อสร้างเสร็จแล้ว ระดับความลึกของร่องน้ำ ระดับสะพานท่อลอด

2.2 <u>การสำรวจตรวจสอบใต้ผิวดิน</u> (subsurface exploration)

การสำรวจตรวจสอบใต้พื้นผิวดินมีจุดประสงค์ เพื่อให้การตรวจผลของการแปลความหมายในทางธรณีวิทยาให้ถูกต้องยิ่งขึ้น วิธีตรวจสอบทางธรณีฟิสิกส์ก็เป็นวิธีหนึ่งที่จะได้ข้อมูลใต้พื้นผิวดิน แต่การขุดเจาะสำรวจก็ยังมีความจำเป็นในหลายกรณี อย่างไรก็ตามการเจาะสำรวจควรเป็นวิธีการที่ทำหลังจากการสำรวจในหัวข้อข้างต้นมาแล้ว เพื่อจะได้ลดจำนวนบ่อและหลุมเจาะให้น้อยที่สุดและเท่าที่จำเป็น

การสำรวจตรวจสอบโดยการขุดเจาะใต้พื้นผิวดิน จุดประสงค์หลักก็เพื่อทำการทดสอบตัวอย่างดินหรือหินในภาคสนาม และห้องปฏิบัติการ วิธีการสำรวจตรวจสอบโดยการขุดเจาะใต้พื้นดินที่สำคัญ มีหลายวิธี ดังนี้คือ

1. **หลุมพิทและร่องสำรวจ (pit and trench)**

หลุมพิท (pit) เป็นหลุมที่ทำการขุดเจาะในแนวดิ่ง ส่วนร่องสำรวจ (trench) เป็นร่องที่ทำการขุดเจาะในแนวระดับ หลุมเจาะหรือร่องสำรวจจะให้ข้อมูลที่ค่อนข้างละเอียด แต่สามารถตรวจสอบได้อย่างแน่ชัดที่ช่วงความลึกไม่มากนัก ขนาดของหลุมพิทลึกประมาณ 5 - 10 เมตร พื้นที่หน้าตัด 1.5 x 1.5 เมตรขนาดของร่องสำรวจ กว้างประมาณ 0.8 - 1.2 เมตร สูง 1 เมตร ยาว 10 เมตร การทำหลุมเจาะและร่องนี้มักใช้แรงงานของคน ซึ่งเหมาะสำหรับงานทางด้านวิศวกรรมที่ต้องการข้อมูลในระดับไม่ลึกจากผิวดินมากนักมักเป็นบริเวณที่ใช้ในการสร้างถนน ทางรถไฟ คูคลองส่งน้ำ

2. **ดริฟท์ (drift)** ดริฟท์เป็นการขุดเจาะโดยใช้เครื่องจักร เช่น รถขุดเจาะ (excavator) มีรูปร่างเป็นอุโมงค์ปลายตันอยู่ในแนวราบ ขนาดของดริฟท์กว้างประมาณ 12 เมตร สูง 2 เมตร ยาว 20 เมตร ปกติการทำดริฟท์มักเป็นการตรวจสอบบริเวณผุพังของดินและหินที่จำเป็นต้องทำฐานราก บริเวณที่ใช้เพื่อการก่อสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำ สะพาน หรืออาคารขนาดใหญ่

3. **สว่าน (auger)** สว่านเป็นเครื่องมือที่ออกแบบ เพื่อเก็บตัวอย่างจากหลุมเจาะสำรวจในระดับตื้นโดยใช้แรงคนที่เรียกว่า สว่านมือ (hand auger) หรือใช้แรงเครื่องยนต์ที่เรียกว่า สว่านกำลัง (powerauger) รูปร่างของสว่านมีได้หลายแบบ (ดูรูปที่ 2.4) ข้อมูลที่ได้จากการใช้สว่านเจาะหลุมสำรวจค่อนข้างละเอียด และตรวจสอบได้อย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หลุมเจาะสำรวจ (borehole or drillhole) หลุมเจาสำรวจเป็นหลุมที่เจาะเพื่อหาข้อมูลและรายละเอียดในระดับลึก ทำให้สามารถสร้างเป็นรูปหน้าตัดสามมิติของบริเวณที่ทำการศึกษาได้ ขนาดของหลุมเจาะและความลึกมีได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับสภาพและความต้องการของแต่ละบริเวณ การขุดเจาะอาจใช้คน หรือใช้เครื่องยนต์ แบ่งออกเป็น

ก. การเจาะแบบกระแทก (percussion drilling method) การเจาะแบบกระแทกเป็นการเจาะที่อาศัยแรงกระแทกจาก หัวเจาะ (drilling bit) กระแทกหรือกระทุ้งกับหินให้แตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 หัวเจาะทำด้วยเหล็กกล้าหรือเหล็กผสมมีขนาดรูปแบบและน้ำหนักแตกต่างกันออกไป หัวเจาะจะต่อเข้ากับ ก้านเจาะ (drill stem) ซึ่งเป็นแท่งเหล็กกลวงแต่ละท่อนยาวตั้งแต่ 1.8 - 9.0 เมตร (6 -30 ฟุต) มีเกลียวหัวท้ายที่ต่อเข้าซึ่งกันและกันได้ หัวเจาะและก้านเจาะต่อเข้ากับลวดสลิง (cable) ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องยนต์ยึดติดกับโครงมาสท์ (mast) ขณะที่หัวเจาะทำการกระแทกกับหิน เครื่องยนต์ก็จะบังคับให้หัวเจาะหมุนเข้ากับจังหวะของแรงกระแทก เพื่อให้บ่อเจาะมีลักษณะเป็นรูกลม เศษหินที่ถูกหัวเจาะกระแทกแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย เรียกว่า ชิ้นตัวอย่าง (cutting or chip sample) เมื่อเจาะได้ลึก 1 - 1.5 เมตร ก็หยุดเจาะดึงหัวเจาะขึ้นจากหลุมและหย่อน เครื่องมือเก็บตัวอย่าง (sampler) ที่เรียกว่า เบลเลอร์ (bailer) ซึ่งมีลักษณะเป็นกระบอกทรงกลมยาวตั้งแต่ 3 -9 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันออกไป ส่วนล่างของเบลเลอร์จะมีลิ้นปิดเปิด ซึ่งเปิดได้ทางเดียวคือ เปิดเข้าข้างใน เมื่อเบลเลอร์ถูกหย่อนลงไปถึงก้นหลุมลิ้นก็จะเปิดเข้าข้างใน ชิ้นตัวอย่างก็เข้าไปในกระบอก เมื่อดึงเบลเลอร์ขึ้นลิ้นก็จะปิดและนำชิ้นตัวอย่างขึ้น เพื่อทำการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ได้ เมื่อเสร็จจากการเก็บตัวอย่างในช่วง หนึ่ง ๆ แล้ว ก็จะหย่อนหัวเจาะและก้านเจาะลงไป เพื่อทำการขุดเจาะต่อไปจนเสร็จสิ้นตามความลึกที่ต้องการ

การเจาะแบบกระแทกนั้น มีข้อดีในแง่ที่ว่าไม่ต้องอาศัยน้ำช่วยในการเจาะ แต่มีข้อเสียโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเจาะในพวกหินที่ยังไม่แข็งตัวผนังหลุมเจาะจะพังง่าย - (caving) จึงจำเป็นที่จะต้องลงท่อหุ้มกัน(casing) ให้ตลอด ทำให้การเจาะทำได้ช้า นอกจากนั้นตัวอย่างของหินที่ได้จากการเจาะยากต่อการศึกษาหารายละเอียดและคุณสมบัติ จึงทำให้การเจาะแบบนี้ไม่ค่อยเหมาะสมสำหรับการศึกษาทางด้านธรณีวิศวกรรม

ข. การเจาะแบบหมุน (rotary drilling method) การเจาะแบบหมุนเป็นวิธีการเจาะที่เร็วที่สุดในหินที่ยังไม่แข็งตัวและยังเจาะได้ดีในพวกหินที่แข็งตัวแล้ว สามารถเจาะได้ลึกเป็นร้อย ๆ เมตร เป็นวิธีเจาะที่ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมัน เหมืองแร่ และทั่ว ๆ ไป ดังแสดงในรูปที่ 2.6 การเจาะนี้โครงเสาเหล็กของแท่นเจาะ (derrick) ยึดติดกับฐาน วิธีการเจาะก็โดยพยายามให้หัวเจาะซึ่งมี แท่งน้ำหนัก (drill collar) กดทับอยู่หมุนลงไปคล้ายกับการทำงานของสว่าน หัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจาะและแท่งน้ำหนักจะต่อเข้ากับก้านเจาะซึ่งต่อเข้ากับ เคลลีย์ (Kelly) เคลลีย์นี้มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กสี่เหลี่ยมหรือหกเหลี่ยมยึดกับ แท่นหมุน (rotary table) ซึ่งหมุนโดยอาศัยแรงเครื่องยนต์ เมื่อแท่นหมุนหมุนทำให้เคลลีย์ ก้านเจาะและหัวเจาะหมุนตามไปด้วย หินและดินที่อยู่รอบ ๆ หัวเจาะก็แตกออกเป็นชิ้น ๆ

ในการเจาะแบบหมุนนี้ต้องใช้น้ำหรือน้ำโคลน (drilling mud) ซึ่งเป็นส่วนผสมของแร่ดินเหนียวพวกเบนทอไนต์ (bentonite) แร่แบไรต์ และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมช่วยในการเจาะด้วย น้ำหรือน้ำโคลนจะถูกปั๊มลงไปในหลุมเจาะโดยผ่านก้านเจาะซึ่งกลวงและไปออกที่หัวเจาะ เนื่องจากน้ำโคลนที่ใช้มีความหนาแน่นสูง ชิ้นตัวอย่างบริเวณรอบหัวเจาะจึงถูกนำขึ้นมาปากหลุมโดยไหลขึ้นมาตามช่องว่างระหว่างผนังหลุมและก้านเจาะ น้ำโคลนที่มีชิ้นตัวอย่างปะปนอยู่เมื่อไหลขึ้นมาถูกทิ้งไว้ให้ตกตะกอน หรือใช้ตะแกรงกรองดักเอาชิ้นตัวอย่างนำไปศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

การเจาะแบบหมุนนี้ อาจเก็บตัวอย่างขึ้นมาในลักษณะเป็นแกนแท่งตัวอย่าง (core sample) ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของหัวเจาะที่ใช้ การเก็บตัวอย่างโดยวิธีนี้หัวเจาะจะต้องเป็นแบบที่มีรูกลวงตรงกลาง เรียกว่า หัวเจาะเก็บตัวอย่าง (core-drilling) สำหรับให้แกนแท่งตัวอย่างหินเข้าไปเก็บอยู่ในช่องเหนือหัวเจาะในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง หัวเจาะและก้านเจาะต้องถูกดึงขึ้นมาปากหลุมก่อนเสมอ

2.3 <u>การเก็บตัวอย่างและการประเมินผล</u> (sampling and evaluation)

หลังจากทำการตรวจสอบได้ผิวดิน ก็จะถึงขั้นตอนของการเก็บตัวอย่างและการประเมินผล ซึ่งเป็นหน้าที่ของวิศวกรหรือนักธรณีวิทยาที่จะต้องควบคุมและบันทึกผล เพื่อประกอบกับการศึกษาโครงสร้างชั้นดิน ชั้นหิน แล้วทำการทดสอบหรือวัดพฤติกรรมของวัสดุในห้องปฏิบัติการกับในภาคสนาม

2.3.1. การเก็บตัวอย่างของวัสดุ (sampling of material)

การเก็บตัวอย่างของวัสดุ ถ้าหากเป็นการเก็บตัวอย่างดิน ตัวอย่างหิน จากการสำรวจทางธรณีวิศวกรรมในภาคสนาม ใช้ปากกาเมจิกเขียนเลขที่ตัวอย่างติดไว้ที่หินหรือถุงที่ใส่ตัวอย่าง พร้อมรายละเอียดเชิงธรณีวิศวกรรมที่จำเป็นด้วย ถ้าหากเป็นการเก็บตัวอย่างจากหลุมเจาะสำรวจ ก็ควรหุ้มด้วยถุงพลาสติกหรือเคลือบขี้ผึ้งเพื่อรักษาค่าความชื้น และป้องกันการทำปฏิกิริยากับอากาศ และใส่ไว้ในลังเก็บตัวอย่างที่มีการแสดงตัวเลขหลุมเจาะ ตำแหน่ง และระดับความลึกไว้ด้วย

สิ่งที่ควรระวังในการเก็บตัวอย่างคือ ตัวอย่างที่ได้นั้นควรเป็นตัวอย่างสด (fresh rock) ที่ทุบจากหินโผล่หรือได้จากหลุมเจาะสำรวจ และต้องแน่ใจว่าตัวอย่างที่เก็บนั้นเป็นตัวแทนของหินทุกสภาพในแหล่งนั้น เพราะโดยปกติแล้วในแหล่งเดียวกันอาจมีหินหรือวัสดุก่อสร้างเพียงชนิดเดียว แต่คุณสมบัติของหินอาจจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับว่าหินนั้นถูกรบกวนหรือผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทางธรณีวิทยามาหรือไม่ ส่วนของหินที่ถูกรอยเลื่อนตัดผ่าน อาจแตกหักง่ายและมีค่าของกำลังวัสดุต่ำกว่าส่วนที่ไม่ถูกรอยเลื่อนตัดผ่าน เป็นต้น

2.3.2. การประเมินผลของการสำรวจตรวจสอบ (evaluation of the exploration)

การประเมินผลจากการสำรวจตรวจสอบนี้เป็นขั้นสุดท้ายก่อนเขียนรายงาน ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทางธรณีวิทยา การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ การเจาะสำรวจ ฯลฯ ต้องนำมาประกอบกันเพื่อประเมินผลหาความเหมาะสมของบริเวณที่ตั้งสิ่งก่อสร้าง ทั้งนี้ควรมีรายละเอียดที่สรุปเป็น แผนที่ รูปตัดขวาง และการแปลความหมายจากหลุมเจาะ มีตารางแสดงรายละเอียดของ drilling log รูปแบบจำลอง ประกอบกับข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็น

การแปลความหมายจากหลุมเจาะสำรวจ ต้องอาศัยความรู้พื้นฐานทางธรณีวิทยาของบริเวณที่ทำการสำรวจด้วย ความถูกต้องของการแปลความหมายของข้อมูลจากหลุมเจาะสำรวจยังขึ้นอยู่กับประสบการณ์การวางแผนงาน การกำหนดตำแหน่งความลึก และจำนวนหลุมเจาะสำรวจอย่างถูกต้องเพียงพอ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความประหยัดด้วย เพื่อประกอบในการตัดสินใจในการลงทุนขั้นต่อไป

ในรูปที่ 2.7 เป็นตัวอย่างของการขุดเจาะสำรวจ โดยใช้หลุมเจาะเก็บตัวอย่างแบบเจาะหมุนบันทึกผลของชั้นดิน ชั้นหิน ตลอดจนระดับความลึกของแต่ละชั้น จากนั้นก็นำมาเขียนเป็นรูปตัดขวางถ้าหากมีหลุมเจาะแค่ 2 หลุมเจาะเท่านั้น และไม่มีหลักฐานทางโครงสร้างของหินอย่างอื่นประกอบ (เช่น การวัดการวางตัวของหินที่โผล่) โอกาสที่ผู้แปลความหมายจะผิดพลาดได้มีอยู่สูง เฉพาะที่แสดงในรูปที่ 2.7 มี 4 โอกาส คือ แปลความหมาย เป็นชั้นหินลาดเอียง (dipping bed) เป็นชั้นหินลาดเอียงที่มีรอยเลื่อน (fault) ตัดผ่าน เป็นชั้นหินที่มีโครงสร้างแบบซินไคลน์ (syncline) เป็นชั้นหินที่มีโครงสร้างแบบแอนติไคลน์ (anticline) เป็นต้น แต่อันที่จริงแล้ว ยังมีโอกาสจะเป็นรูปแบบอื่นอีกนอกเหนือจากนี้

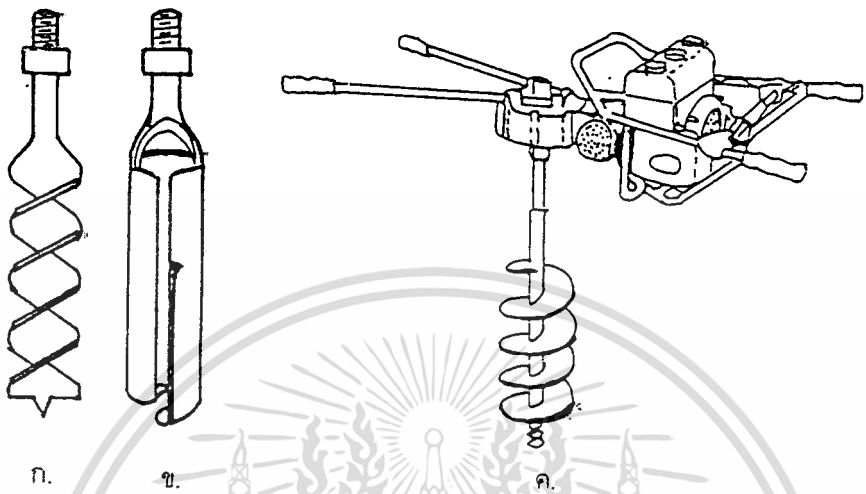
2.3.3 การทดสอบในที่ของภาคสนามและห้องปฏิบัติการ

การทดสอบวัสดุในที่ตั้งแหล่งก่อสร้างและการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้น เป็นเทคนิคที่ต้องอาศัยความรู้ทางด้านกลศาสตร์ของดินและหินเป็นอันมาก การบรรยายการทดสอบในตำราเล่มนี้ได้กล่าวไว้พอสมควรในเรื่องดินและหินจากบทต้น ๆ สิ่งที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นเพียงสรุปและจัดหมวดหมู่ของการทดสอบให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้น ยกเว้นการทดสอบบางชนิดที่ผู้เขียนยังไม่ได้บรรยายไว้ก่อน และเป็นเรื่องที่มีความสำคัญต่อการศึกษาในระดับต่อไป จึงต้องนำมาบรรยายไว้ ณ ที่นี้

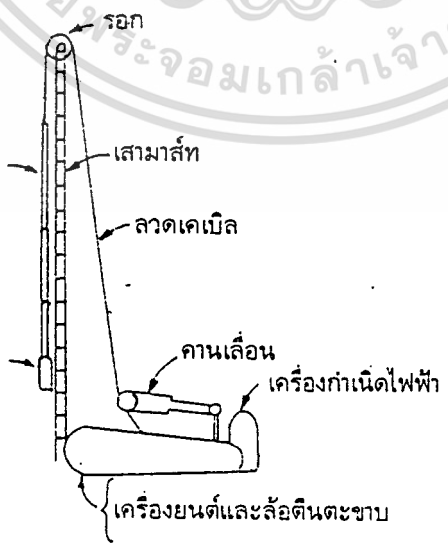
<u>การทดสอบในที่</u> (in situ test)

การทดสอบในที่ เป็นการทดสอบภาคสนามซึ่งเสียค่าใช้จ่ายและเวลามากกว่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีข้อดีคือ ค่าตัวเลขต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบเป็นค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ทั้งนี้เครื่องมือที่ใช้ทดสอบนั้นทำในที่ (in situ) ได้มาซึ่งส่วนใกล้เคียงสภาพธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

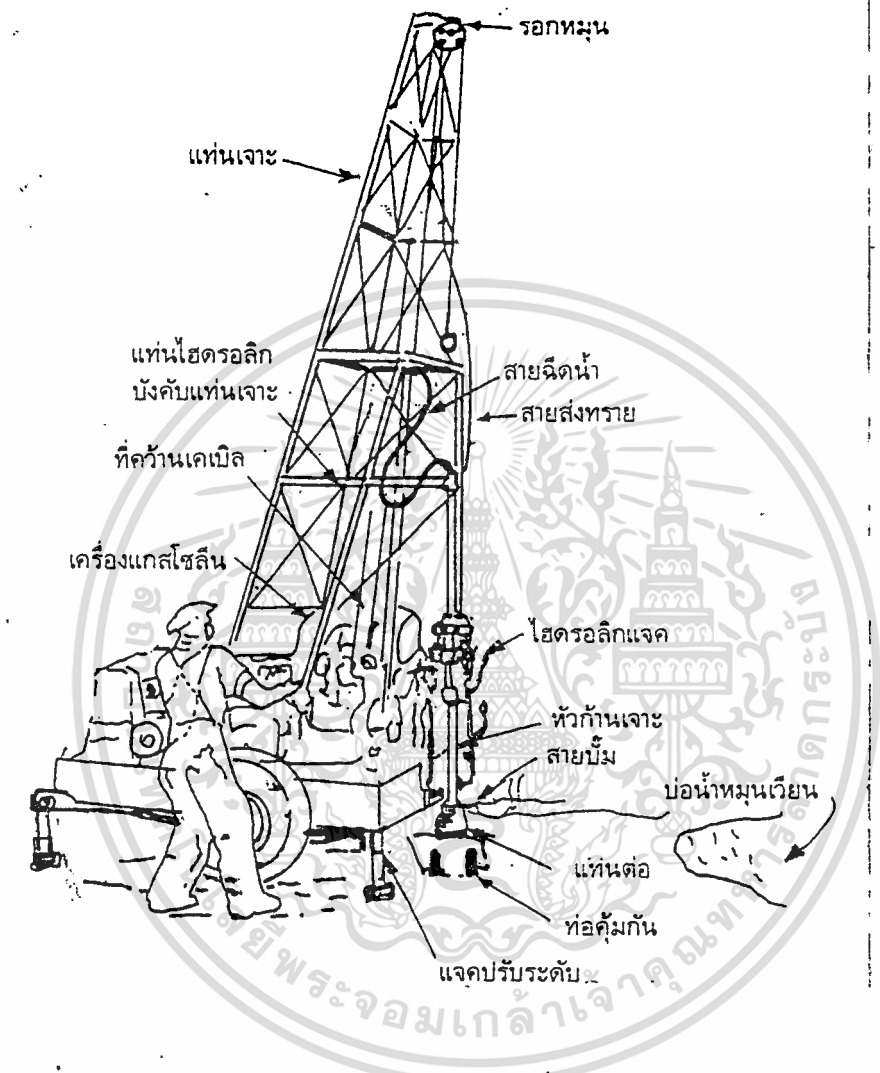


รูปที่ 2.4 สว่านเจาะหลุมแบบต่างๆ
ข. สว่านมือแบบซ้อน
ค. สว่านกำลังที่มีมอเตอร์ติดอยู่ด้วย



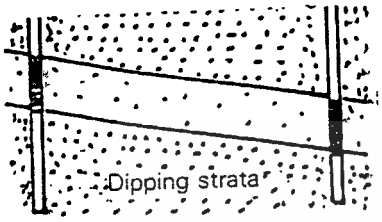
รูปที่ 2.5 การเจาะแบบกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การเจาะแบบหมุนและอุปกรณ์ต่างๆ ที่สำคัญ ติดบนรถเทรเลอร์

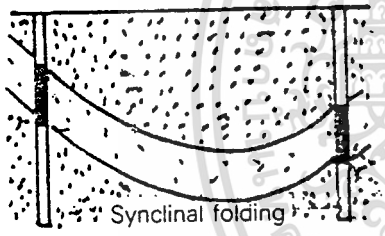
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



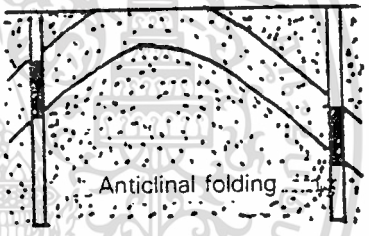
ก. แปลความหมายเป็นชั้นหินลาดเอียง



ข. แปลความหมายเป็นชั้นหินที่มีรอยเลื่อนตัดผ่าน



ค. แปลความหมายเป็นโครงสร้างซินไคลน์



ง. แปลความหมายเป็นโครงสร้างแอนติไคลน์

รูปที่ 2.7 ความแปรผันจากการแปลความหมายจากหลุมเจาะ 2 หลุม ที่พบชั้นหิน (สีดำ) ในระดับความลึกที่ต่างกัน มีโอกาสจะแปลความหมายได้ต่างกันหลายรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แท้จริง ตัวอย่างในบริเวณที่ทดสอบจะถูกกระทบกระเทือนน้อยที่สุด จุดมุ่งหมายของการทดสอบในที่ โดยทั่วไปเพื่อ

ก.หารายละเอียดของพื้นดิน (ground) บริเวณฐานราก (foundation) ให้มากที่สุด

ข.หาลักษณะของพื้นดินหรือบริเวณฐานรากที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ในระยะเวลาหนึ่ง

ค.หาค่าตัวเลขที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสำรอง คุณสมบัติของวัสดุทางด้านวิศวกรรม เช่น กำลังวัสดุ ค่อมอดุลัส และดัชนีของคุณสมบัติหินหรือดิน ทั้งนี้เพื่อเป็นหลักประกันและให้ความมั่นใจในการออกแบบที่ประหยัด ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ

การทดสอบในที่ สามารถตรวจสอบวัดได้ทั้งสภาพของแรงกระทำในพื้นดิน หรือปฏิกิริยาของพื้นดินต่อสิ่งแวดล้อมทั่วไป (ปฏิกิริยาของพื้นดินมักได้แก่ การเปลี่ยนรูปและปริมาตร กำลังเฉือนวัสดุพฤติกรรมทางพลศาสตร์ และความซาบซึมได้ของวัสดุ) การทดสอบในที่แต่ละอย่างแยกกล่าวได้ดังนี้

2.3.3.1 การวัดความเค้นในที่ (in situ stress measurement)

การวัดความเค้นในที่มีวิธีวัดได้ทั้งความเค้นหรือหน่วยแรงสัมบูรณ์ (absolute stress) และความเค้นสัมพัทธ์ (relative stress) การวัดหาค่าความเค้นสัมบูรณ์ทำให้สามารถหาความเค้นสัมพัทธ์ได้ แต่ความเค้นสัมบูรณ์ไม่สามารถวัดได้โดยตรง ต้องอาศัยตัวเฝ้าสังเกต (monitor) เช่น ความเครียด แล้วจึงนำมาคำนวณหาความเค้นภายหลัง

วิธีการวัดความเค้นสัมบูรณ์(ดูรูปที่2.8)ทำโดยสอดเครื่องเฝ้าสังเกต (monitoringdevice) เข้าไปในหลุมเจาะที่ทำให้กว้างกว่าขนาดเจาะ (over-cored) เล็กน้อยในภายหลัง เครื่องเฝ้าสังเกตติดตั้งด้วยมิเตอร์วัดการเปลี่ยนรูปและปริมาตร (deformation meter) ความเค้นหรือหน่วยแรงที่กระทำต่อเครื่องวัดตัวหยั่งทั้ง 3 มิติ รอบ ๆ มิเตอร์จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปและปริมาตรขึ้น

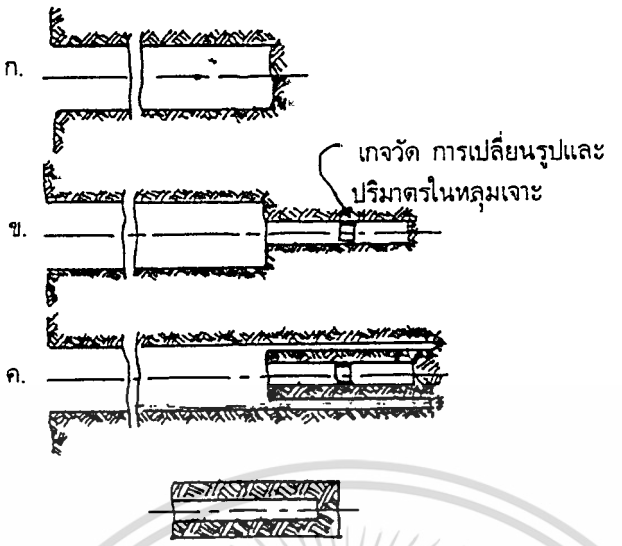
การวัดความเค้นสัมพัทธ์อาศัยหลักการที่ปล่อยความดันมากระทำต่อ แฟลทเจค (flat jack) ซึ่งทำได้โดยการเจาะช่องเล็ก ๆ (slot) ในบริเวณที่ต้องการวัดความเค้น ใส่แฟลทแจคเข้าไปในช่องอัดปูนเหลวให้แน่น ติดตั้งเกจวัดความดัน (pressure gauge) และเกจลวดวัดความสั่นสะเทือน (vibrating wire gauge) เมื่อปั๊ม ความดันจะเกิดแรงดันกระทำต่อแฟลทแจคก็วัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นนำไปหาความเค้นสัมพัทธ์ได้ (ดูรูปที่ 2.9)

ในการวัดจะได้ค่าความเค้นต่างๆถูกต้องมากน้อยขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ไม่ให้เกิดความกระทบกระเทือนต่อพื้นดิน นอกจากนี้ยังขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุด้วย ถ้าหากวัสดุมีพฤติกรรมพลาสติก เช่น มีการคืบ (creep)ง่าย การวัดความเค้นมักไม่ค่อยได้ผล

2.3.3.2 <u>การวัดความดันของเหลวในที่</u> (in situ fluid pressure)

อุปกรณ์สำหรับวัดความดันของเหลว (fluid pressure) ในภาคสนามนั้น มักนิยมใช้มาตรวัดความดันไฮดรอลิก (hydraulic piezometer) เพื่อหาความดันของเหลวในที่จากภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

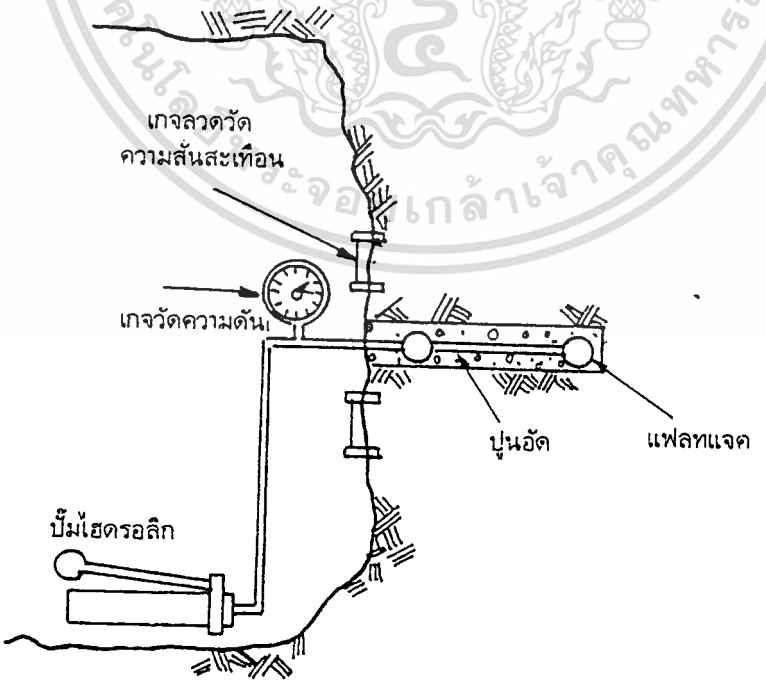


รูปที่ 2.8 เทคนิคในการวัดความเค้นหรือหน่วยแรงหน่วยแรงสมบูรณ์ในที่

ก. หลุมเจาะที่เจาะไปในตำแหน่งที่ต้องการ

ข. หลุมเจาะขนาดเล็กที่เจาะต่อเข้าไปเพื่อติดตั้งมาตรวัดการเปลี่ยนรูปและปริมาตร

ค. ทำหลุมเจาะให้กว้างกว่าหลุมเจาะขนาดเล็ก เพื่อให้เกิดความเค้นรอบๆ มาตรวัด



รูปที่ 2.9 เทคนิคการวัดความเค้นหน่วยแรงสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรวัดความดันไฮดรอลิก มีวิธีติดตั้งได้ 2 แบบ แบบแรกเป็นแบบที่ง่ายที่สุด คือ มาตรวัดความดันไฮดรอลิกที่อาศัยการเคลื่อนที่ของน้ำ (**ดูรูปที่ 2.10**) เหมาะสำหรับพื้นดินบริเวณแหล่งที่ตั้งสิ่งก่อสร้างที่ยอมให้น้ำซาบซึมผ่านได้ดี เช่น ทราย กรวด และหินที่แตกหัก น้ำสามารถจะไหลซึมจากพื้นดินเข้าไปยังมาตรวัดความดันในช่วงที่ระดับน้ำใต้ดินขึ้นสูง และไหลออกจากมาตรวัดความดันเมื่อระดับน้ำใต้ดินต่ำลง (ความดันลดลงหรือเปลี่ยนทิศทาง)

มาตรวัดแบบแรกที่กล่าวมาแล้ว ต้องอาศัยระยะเวลานานมากที่จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของเหลวในรูพรุนของวัสดุ ที่น้ำซาบซึมผ่านยาก เช่น ดินเหนียว ดินทรายแป้ง ความแม่นยำถูกต้องก็ย่อมลดน้อยลง จึงมีการค้นคว้าประดิษฐ์ มาตรวัดความดันแบบที่สอง ซึ่งเป็นมาตรวัดความดันไฮดรอลิกที่ไม่ต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของน้ำ มาตรวัดความดันแบบนี้จะทำงานคล้าย ๆ กับเกจวัดความเค้นความเครียด (stress-strain gauge) นั่นคือความดันของเหลวในที่ จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปและปริมาตร เมื่อมีความดันไฮดรอลิกที่อยู่ภายในมาตรวัดความดันที่ทำเทียมขึ้นจนเท่ากับความดันของเหลวในที่ ก็จะทำให้ทราบความดันของเหลวในรูพรุนของวัสดุในที่ได้

2.3.3.3 <u>การวัดความสามารถในการเปลี่ยนรูปและปริมาตรในที่</u> **(measurement of in situ deformability)**

การวัดความสามารถในการเปลี่ยนรูปและปริมาตรในที่ เป็นการหาค่ามอดุลัส และค่าคงที่ของวัสดุตามทฤษฎีอิลาสติก (elastic theory) ได้แก่ โมดูลัสของยัง (Young 's modulus) และอัตราส่วนของพอยส์ซอง (Poisson 's ratio) การทำการทดสอบความสามารถในการเปลี่ยนรูป ก็มีได้ 2 แบบ คือ การทดสอบเชิงสถิต (static test) และการทดสอบเชิงพลศาสตร์ (dynamic test) โดยกำหนดไว้ว่า พื้นที่บริเวณที่ทำการทดสอบมีค่าความเค้น-ความเครียด เป็นสัดส่วนโดยตรงกับตามทฤษฎีของอิลาสติก

ก. **การทดสอบเชิงสถิต (static test)**

ตามปกติการเปลี่ยนรูปและปริมาตรมักวัดจากโหลดเชิงสถิต (static load) ที่เพิ่มต่อพื้นที่โดยอาจกระทำบนแท่นแข็งเกร็ง (rigid plate) ที่วางบนผิวดินหรือใต้ผิวดินในแหล่งที่ทำการตรวจสอบ

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักโดยแท่นเพลท (plate bearing test) บนพื้นผิวดิน ได้แสดงในรูปที่ 2.11 ก. ทำได้โดยใช้ไฮดรอลิกแจค (hydraulic jack) วางทับบนเซลล์รับโหลด (load cell) ที่มีเกจวัดการเปลี่ยนรูปและปริมาตรติดอยู่ (deformation gauge) ตามทฤษฎีบริเวณที่ให้น้ำหนักควรใกล้เคียงกับขนาดของบริเวณก่อสร้าง แต่ในการปฏิบัติการเพื่อการประหยัดมักใช้พื้นที่เพียง 1 ตารางเมตร ซึ่งเป็นการใช้พื้นที่ที่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการทดสอบใต้พื้นผิวดิน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 ข. โดยมีแท่นเพลทอันหนึ่งยึดติดกับผนังของออดิท (adit) และวัดการเปลี่ยนรูปและปริมาตรบนพื้นของออดิท แทนการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด

ข. การทดสอบเชิงพลศาสตร์ (dynamic test)

บริเวณก่อสร้างบางแห่งอาจประสบปัญหาเรื่องแผ่นดินไหว หรือบริเวณก่อสร้างสร้างบนรอยเลื่อนที่ยังมีกิจกรรมอยู่ (active fault) การวัดค่ามอดูลัสและค่าคงที่เชิงพลศาสตร์ก็เป็นสิ่งจำเป็น

วิธีการหาค่าเชิงพลศาสตร์มักใช้วิธีทำคลื่นไหวสะเทือน (ดังรายละเอียดในเรื่องธรณีฟิสิกส์) โดยการทดสอบปล่อยคลื่นไหวสะเทือนจากหลุมเจาะสำรวจหนึ่งไปยังอีกหลุมเจาะสำรวจหนึ่ง (ดูรูปที่ 2.12)

LC = เซลล์รับน้ำหนัก

J = แจค

GL = ระดับพื้นดิน

การวัดการเปลี่ยนรูปและปริมาตร อาศัยหลักการผ่านทะลุของคลื่นไหวสะเทือนของดินหรือหินและหาค่ามอดูลัสเปรียบเทียบกับความเร็วของคลื่น แต่ตัวเลขที่ได้มักไม่ค่อยตรงกับค่าที่ได้เชิงสถิต ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ถ้าหากบริเวณก่อสร้างมีรอยแยก หรือมีความไม่ต่อเนื่องกัน (discontinuity) มาก ค่าอัตราส่วนของความเร็วคลื่นปฐมภูมิกับความเร็วคลื่นทุติยภูมิจะแตกต่างกันกับบริเวณที่ตั้งสิ่งก่อสร้างของวัสดุชนิดเดียวกันที่มีเนื้อแน่นและไม่มีรอยแยก

2.3.3.4 <u>การวัดค่ากำลังวัสดุเฉือนในที่</u> (in situ shear strength measurement)

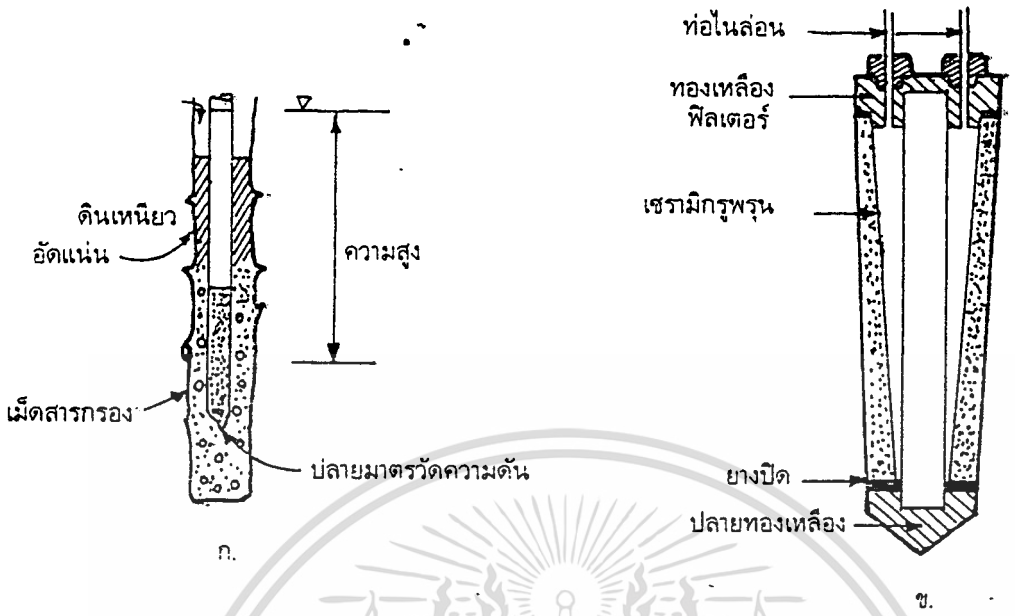
วิธีการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังวัสดุเฉือนในที่ เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในเรื่องงานก่อสร้างโดยเฉพาะที่ตั้งแหล่งก่อสร้างนั้นอยู่บนพื้นผิวดินที่มีกำลังวัสดุต่ำ

ก. วิธีทดสอบแรงเฉือนโดยเวน (Vane Shear Test)

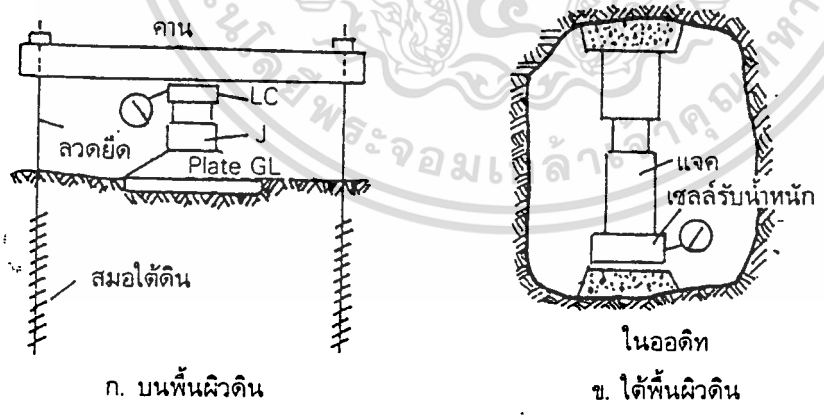
วิธีทดสอบแรงเฉือนโดยเวน เป็นวิธีหนึ่งของการหากำลังของดินในสนาม มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับดินจำพวกดินอ่อนและดินเหนียว อุปกรณ์เครื่องมือประกอบด้วย เหล็กแกนกับใบมีด (Read Find of Vanes) ปฏิบัติการโดยส่งเหล็กแกนลงในชั้นดินและบิดด้วยความเร็วเชิงมุม 0.1 องศาต่อวินาทีเนื่องจากโมเมนต์ (Torque) เพิ่มโมเมนต์บิดจนกระทั่งมวลดินบริเวณนั้นถูกเฉือนเป็นรูปทรงกระบอก ค่าโมเมนต์บิดที่ทำให้มวลดินถูกเฉือนเป็นรูปทรงกระบอก จะมีความสัมพันธ์ต่อความต้านทานหน่วยแรงเฉือนกับมวลดิน ดังรูปที่2.13 ใบมีดมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านยาวจะมีขนาดยาวเป็นสองเท่าของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง

$$T = \frac{3T}{28\pi r^2} \qquad \text{.....(2.1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

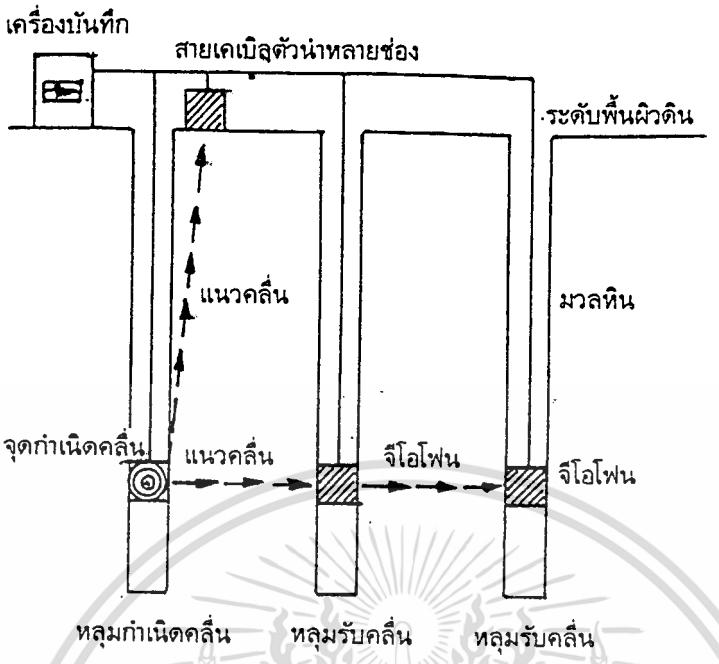


รูปที่ 2.10 มาตรวัดความดันไฮดรอลิกที่อาศัยการเคลื่อนที่ของน้ำ
ก. แผนภูมิแสดงการติดตั้งในหลุมเจาะ
ข. ภาพขยายรูปหน้าตัดของมาตรวัดความดันไฮดรอลิก

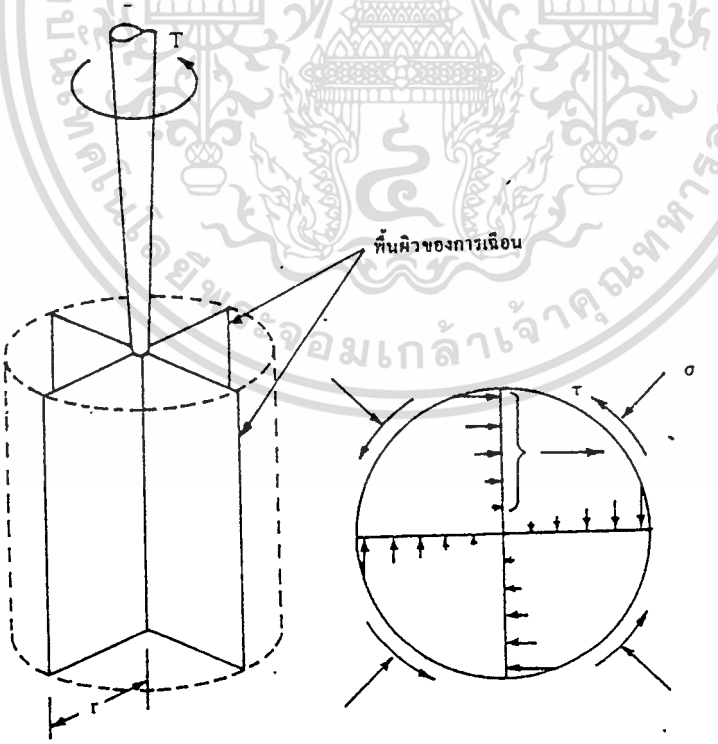


รูปที่ 2.11 การทดสอบเชิงสถิต เพื่อหาการเปลี่ยนรูปและปริมาตรในที่
ก. บริเวณบนผิว โดยการเพิ่มโหลดด้วยไฮดรอลิกแจคและวัดค่าเปลี่ยนแปลงของโหลดเซลล์ที่วางทับบนแท่นเพลท
ข. บริเวณใต้พื้นผิวดิน มีการโหลดโดยไฮดรอลิกโยไฮดรอลิกแจควัดค่าเปลี่ยนแปลงโดยโหลดเซลล์ที่อยู่บนพื้นของออดิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การวัดคลื่นสะเทือนจากบ่อเจาะสำรวจที่ต่อเนื่องกัน



รูปที่ 2.13 การทดสอบแรงเฉือนโดยแวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ:-

$\dot{T}$ = หน่วยแรงเฉือนของมวลดิน

T = โมเมนต์บิดที่กระทำ

r = รัศมีของใบมีด

เครื่องมือเวน ได้รับการปรับปรุงขีดความสามารถในการหาหน่วยแรงเฉือนของมวลดินที่ปฏิบัติการได้ทั้งในงานห้องประลองและงานในสนาม เราเรียกเครื่องมือนี้ว่า ทอร์เวน (Torvane) ดังรูปที่ 2.14

ข. วิธีทดสอบมาตรฐานพีนีเตรชั่น (Standard Penetration Test)

มาตรฐานพีนีเตรชั่น เป็นวิธีหากำลังของดินจำพวกดินทราย หรือดินแข็ง ในสนาม โดยอาศัยหลักการที่ว่า ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในมวลดิน เนื่องจากการกระทำของแรงจะแปรผกผันกับความแข็ง หรือ แน่นของมวลดิน กล่าวคือ ดินแข็งจะมีความต้านทานสูง ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในมวลดินต่ำ ส่วนดินอ่อนจะมีความต้านทานต่ำ ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในมวลดินสูง ซึ่ง ASTM D 1586-67 ได้กำหนดเครื่องมือที่ใช้ตอกลงไปในชั้นดินดังรูปที่ 2.15 เรียกว่า สปลิท สปูน (Spilt-Spoon) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $1\frac{3}{8}$ นิ้ว ตอกด้วยลูกตุ้มหนัก 140 ปอนด์ ระยะยก 30 นิ้ว แรงต้านทานของดินคิดจากจำนวนครั้งที่ตอกที่ทำให้ สปลิท สปูน จมลงไปในชั้นดินลึก 1 ฟุต เราเรียกจำนวนครั้งที่ตอกว่า โบลว์ เค้าท์ (Blow Count)

ความต้านทานของมวลดินจากการทดสอบมาตรฐาน พีนีเตรชั่น จะมีความสัมพันธ์ต่อความหนาแน่นสัมพัทธ์ของดินจำพวกทราย กำลังของดินเหนียว ดังตารางที่ 2.1 และสัมพันธ์ต่อมุมเสียดทานภายในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐาน พีนีเตรชั่น ความหนาแน่นสัมพันธ์และกำลังของดิน

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทราย			กำลังของดินเหนียว		
ความต้านทานพีนีเตรชั่น, N (ครั้ง/ฟุต)	ความหนาแน่นสัมพัทธ์	สภาพของดิน	ความต้านทานพีนีเตรชั่น, N (ครั้ง/ฟุต)	หน่วยแรงวัดแกนเดียว (ตัน/ฟุต^2)	ความข้นเหลว
0 – 4	0 – 0.2	หลวมมาก	น้อยกว่า 2	น้อยกว่า 0.25	อ่อนมาก
4 – 10	0.2 – 0.4	หลวม	2 – 4	0.25 – 0.50	อ่อน
10 – 30	0.4 – 0.6	ปานกลาง	4 – 8	0.50 – 1.00	ปานกลาง
30 – 50	0.6 – 0.8	แน่น	8 – 15	1.00 – 2.00	เหนียว
มากกว่า 50	0.8 – 1.0	แน่นมาก	15 – 30	2.00 – 4.00	เหนียวมาก
			มากกว่า 30	มากกว่า 4.00	แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

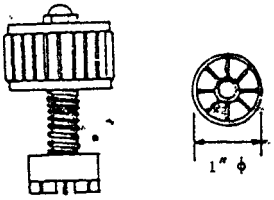
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของมวลดินจำพวกไม่มีแรงเหนี่ยวนำ กับค่าของมุมเสียดทาน ภายใน

ความต้านทานพีนีเตรชั่น มาตรฐาน, N (ครั้ง/ฟุต)	มุมเสียดทานภายใน (ϕ), องศา	
	เพค (Peck, 1974)	เมเยอร์ฮอฟ (Meyerhof, 1956)
0 – 4	น้อยกว่า 29	น้อยกว่า 30
4 – 10	29 – 30	30 – 35
10 – 30	30 – 36	35 – 40
30 – 50	36 – 41	40 – 45
มากกว่า 50	มากกว่า 41	มากกว่า 45

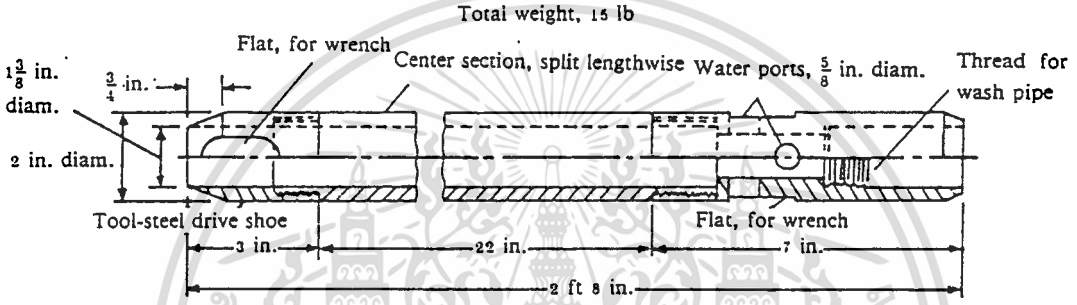
ตารางที่ 2.3 การจำแนกชนิดดินจากค่า Q_c , Q_f (Sanglerat , 1972)

Q_c (กก./ซม.^{2})	Q_f/Q_c (%)	ชนิดของดิน
น้อยกว่า 30	น้อยกว่า 0.1	การทับถมของดินจำพวกกรวดในระยะเวลาสั้น โครงสร้างการจับตัวเม็ดดินแบบหลวม
มากกว่า 30	น้อยกว่า 0.6	ทรายที่มีส่วนประกอบของเปลือกหอย (Shelly Sands) โดยมีแร่แคลไซท์เป็นตัวประสานหรือหินที่อ่อน (Soft Rock)
มากกว่า 30	มากกว่า 0.6 น้อยกว่า 2	กรวดและทรายที่อยู่สูงหรือต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน
มากกว่า 30	มากกว่า 2 น้อยกว่า 4	ดินตะกอนปนทราย, ดินเหนียวปนทราย, ดินตะกอน
มากกว่า 30	มากกว่า 4	ดินเหนียว
น้อยกว่า 6	มากกว่า 6	ดินเหนียวอินทรีย์ (Organic Clays), ดินอ่อน ดินเลน ที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของวัชพืช (Peat), ดินโคลนที่ทับถมกันในทะเลสาป (Lacustrine Muds)

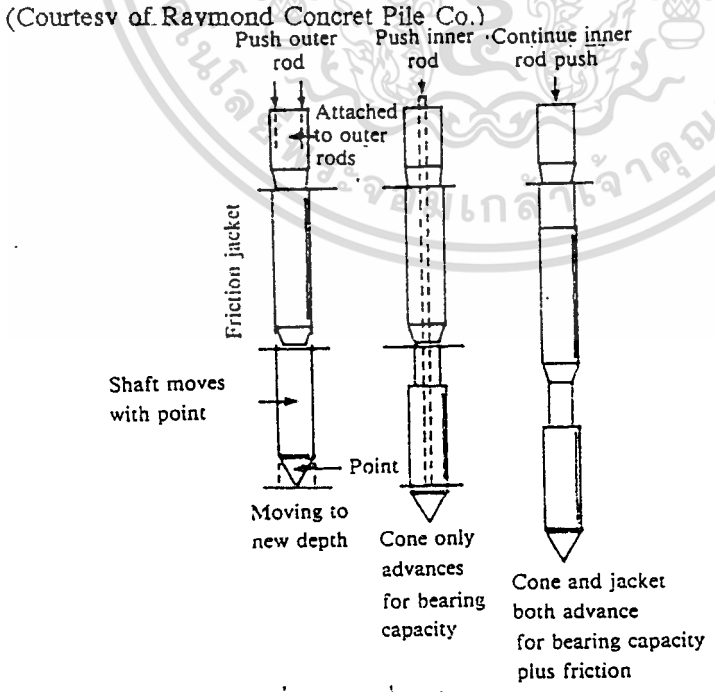
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 เครื่องมือทอร์เวน



รูปที่ 2.15 เครื่องมือ สปลิท สปูน แบบกาว (Gow) ใช้ในการทดสอบมาตรฐานพีนีเตรชั่น



รูปที่ 2.16 เครื่องมือคัชโดน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. วิธีทดสอบดัชโคน (Dutch Cone Test)

การหาความต้านทานแรงเฉือนของชั้นดินในสนามนั้น ดัชโคนเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการเช่นเดียวกับมาตรฐาน พีนีเตรชั่น ซึ่งเป็นที่ยอมรับของประเทศต่างๆ ในยุโรป เพราะนอกจากให้ผลข้อมูลที่เชื่อถือได้แล้วยังเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย วิธีทดสอบดัชโคนใช้กับดินเกือบทุกชนิด โดยเฉพาะดินจำพวกไม่มีแรงเหนี่ยวนำ (Cohesionless Soils) มีปัญหาในการเก็บตัวอย่างดินให้มีสภาพใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากที่สุด เครื่องมือประกอบด้วยส่วนปลายที่เป็นรูปกรวย ทำมุม 60 องศา พื้นที่ฐานกรวย 10 ซม.^{2} ปฏิบัติการได้ด้วยมือ โดยความลึกมีขีดขั้นจำกัดใช้กับดินจำพวกดินอ่อน ดังรูปที่ 2.16 ส่วนพื้นที่ฐานกรวย 20 ซม. ใช้กับดินจำพวกแน่นหรือแข็งในชั้นดินลึก จำเป็นปฏิบัติการขับเคลื่อนด้วยเครื่องมือกล ระยะการเคลื่อนที่ของกรวยและระยะการเคลื่อนที่รวมของกรวยกับส่วนที่อยู่เหนือกรวยเรียกว่า ปลอกนอก (Friction Jacket) นั้น หาค่าแรงกดอัดได้จากมาตรวัดความดันหน่วยแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของกรวยเรียกว่าความต้านทานกรวย (Q_c) หน่วยแรงเสียดทานของดินที่ต้านทานการเคลื่อนที่ปลอกนอกเรียกว่า ความต้านทานเสียดทาน (Q_f) ค่า Q_c และ Q_f จะมีความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติของดิน ดังตารางที่ 2.3 และความสัมพันธ์ระหว่างสภาพดิน มาตรฐานพีนีเตรชั่น และความต้านทานของกรวย ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง สภาพดิน มาตรฐานพีนีเตรชั่นต้านทานและความต้านทานของกรวย

(Meyerhoff, 1956)

สภาพดิน	มาตรฐานพีนีเตรชั่นต้านทาน (ครั้ง/ฟุต)	ความต้านทานของกรวย (ตัน/ตารางฟุต)
หลวมมาก	น้อยกว่า 4	น้อยกว่า 20
หลวม	4 – 10	20 – 40
ปานกลาง	10 – 30	40 – 120
แน่น	30 – 50	120 – 200
แน่นมาก	มากกว่า 50	มากกว่า 200

อนึ่งจากค่าของหน่วยแรงของมวลดินที่ต้านทานการเคลื่อนที่ของกรวย (Q_c) ทำให้มาสามารถหาค่าหน่วยแรงเหนี่ยวนำ (C) และมุมเสียดทานภายใน (O) จากความสัมพันธ์ของ

$$Q_c = \left[2.6 \left\{ P_o \tan_2 (45 + \frac{\varnothing}{2}) \right) e^{\pi} \tan \varnothing + \frac{c}{\tan \varnothing} \left\{ \tan^2 (45 + \frac{\varnothing}{2}) \right. \right. \left. \left. e^{\pi} \tan \varnothing - 1 \right\} \right] \quad \text{.....(2.2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินจำพวกไม่มีแรงเหนี่ยวนำ อาทิเช่น กรวด ทราย ค่า c = 0 เราสามารถที่จะหาค่า ∅ จากสมการ 1.1 ได้โดยตรง ส่วนดินจำพวกดินเหนียวปนทรายดินตะกอนปนดินเหนียว ฯลฯ ค่า c และ ∅ ≠ 0 หาค่า c และ ∅ ได้จากค่า Q_o อย่างน้อยสองค่า ซึ่งค่า c และ ∅ ที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ย

สำหรับดินเหนียว ค่า ∅ = 0

$$\therefore \quad Q_o = 13.4\,c \qquad \text{.....(2.2.1)}$$

2.3.3.5 <u>การวัดกำลังวัสดุเฉือนในที่โดยตรง</u> (measurement of in situ direct shear strength)

การวัดความเค้นเฉือนมักวัดจาก กล่องวัดกำลังวัสดุเฉือน (shear box test) ที่ทำในห้องปฏิบัติการแต่ เนื่องจากมาตราส่วนที่ทดลองในห้องปฏิบัติการไม่เหมาะสมต่อการกำลังวัสดุเฉือนในบริเวณแหล่งที่ตั้งสิ่งก่อสร้าง ดังนั้นการวัดกำลังวัสดุเฉือนโดยตรงในที่ (ดู **รูปที่** 2.17) จึงทำได้โดยการขุดเจาะพื้นดินให้เป็นรูปบลอคมีพื้นที่ประมาณ 1 ตารางเมตร และพยายามให้เกิดความกระเทือนต่อพื้นดินน้อยที่สุด ติดตั้งไฮดรอลิกแจค โหลดเซลล์ และเกจ วัดการเปลี่ยนรูปและปริมาตรไว้ในแนวดิ่งและแนวขวาง ทางด้านบนและด้านข้างของ
บลอควัสดุตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดน้ำหนักในแนวตั้งฉาก และน้ำหนักในแนวเฉือนต่อบลอควัสดุ ค่าของกำลังวัสดุเฉือนวัดได้เมื่อเพิ่มน้ำหนักจนเกิดจุดแตกหักขึ้น

2.3.3.6 <u>การวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฮดรอลิกในที่</u> (measurement in situ hydraulic properties)

วิธีการทดสอบค่าคุณสมบัติเชิงไฮดรอลิกในที่ของค่าความซาบซึมได้ของวัสดุ กับปริมาณน้ำที่กักเก็บ แบ่งออกได้เป็น 3 วิธีการ

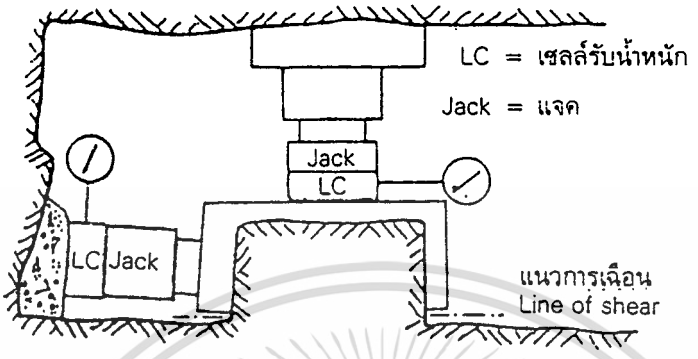
ก. ทดสอบจากการสูบน้ำ (pumping test)

วิธีการทดสอบจะทำการเจาะบ่อสูบน้ำ (pump well) ลงไปในพื้นดินบริเวณที่ทำการสำรวจตรวจสอบ และทำการเจาะหลุมสังเกตการณ์ (observation hole) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าบ่อสูบน้ำ ทั้งบ่อสูบน้ำและหลุมสังเกตการณ์จะต้องอยู่ในแนวรัศมีที่มีกรวยน้ำลดของบ่อเมื่อสูบน้ำออกจากบ่อระยะน้ำในบ่อ และกรวยน้ำลดจะขึ้นอยู่กับระยะเวลากับปริมาณน้ำที่ไหลเข้า จากนั้นก็ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของความซาบซึมได้

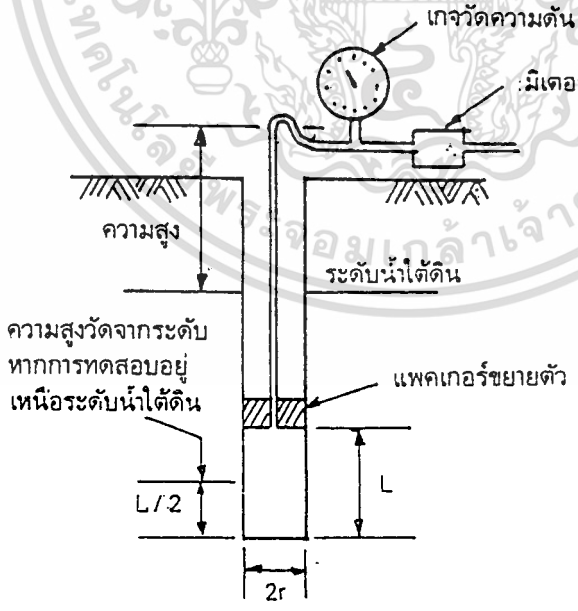
ข. ทดสอบจากแพคเกอร์ (packer test)

เครื่องทดสอบแบบแพคเกอร์ เป็นท่อยางขยายตัวได้เชิงกล ความยาว 1-2 เมตร แพคเกอร์ถูกนำหย่อนลงไปในหลุมเจาะสำรวจแล้วต่อมาขยายตัวทางด้านข้างตามแนวรัศมี(ดู**รูปที่** 2.18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนในที่โดยตรง รูปที่แสดงเป็นการติดตั้งใต้ผิวดินในออดิท



รูปที่ 2.18 การทดสอบหาค่าความซาบซึมได้ในที่ โดยใช้แพคเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้ระดับต่ำสุดที่จะทำการทดสอบ เมื่อหาค่าความซาบซึมได้ จนถึงตัวแพคเกอร์เท่ากับ L จะได้ สมการหาค่าสัมประสิทธิ์ความซาบซึมได้ คือ

$$K = \frac{Q.\log_e}{2\pi H_T L}\left(\frac{L}{r.}\right)$$

โดยที่

K = ค่าสัมประสิทธิ์ความซาบซึมได้

Q = ปริมาณน้ำไหลผ่าน

L = ความยาวของรูปหน้าตัด

r = รัศมีของหลุมเจาะสำรวจ

HT = ค่าความต่างศักย์เชิงไฮดรอลิกของความดัน ทั้งหมด

HT = P + H - Hf

P = ค่าที่อ่านได้จากเกจความดัน

H = ความต่างศักย์เชิงไฮดรอลิก (head difference)

Hf = ค่าความสูญเสียของความต่างศักย์เชิงไฮดรอลิก (head loss) เนื่องจากความฝืดในท่อ

ค. ทดสอบจากมาตรวัดความดัน (piezometer test)

การทำการทดสอบโดยใช้มาตรวัดความดัน ก็อาจทำได้ทำนองเดียวกับที่ได้อธิบายไว้แล้ว (**ดูรูปที่** 2.10 ก.) น้ำใต้ดินจะไหลผ่านตัวมาตรวัด ทำให้สามารถวัดค่าความซาบซึมได้ อย่างไรก็ตามการทำการวัดนี้ควรใช้มาตรความดันในหลุมเจาะสำราจที่มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางธรณีวิทยา และแนวของการขุดเจาะ (excavation line) ในบริเวณที่ทำการสำรวจตรวจสอบ ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 2.19

2.3.3.7 <u>การทดสอบในห้องปฏิบัติการ</u> (laboratory tests)

การทดสอบตัวอย่างวัสดุในห้องปฏิบัติการ เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำควบคู่กับการทดสอบในที่บริเวณที่ตั้งแหล่งก่อสร้าง เพื่อให้ได้ข้อมูลมากที่สุดและสามารถเปรียบเทียบกับการทดสอบในที่

การทดสอบในห้องปฏิบัติการได้อธิบายไว้หลายแหล่งในบทที่เกี่ยวกับดินและหิน หมวดหมู่ของการทดสอบพอจำแนกได้มีหลายแบบ คือ

ก. <u>การทดสอบหาองค์ประกอบ</u> (test for composition)

การหาองค์ประกอบของแร่ในวัสดุเป็นสิ่งจำเป็น ปริมาณของวัสดุที่พอเหมาะสำหรับการทดสอบถ้าเป็นดินและหินที่เก็บในภาคสนามควรหนักประมาณ 0.5 - 1 กก./ตัวอย่าง ถ้าเก็บจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลุมเจาะควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 35 มม. ยาว 75 มม. /ตัวอย่าง ถ้าเป็นน้ำควรมีปริมาตรประมาณ 2.5 ลิตร/ตัวอย่าง

การทดสอบทำได้โดยการตัดตัวอย่างนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ หาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ บางครั้งต้องใช้กล้องอิเล็กตรอนหรือรังสีเอกซ์ช่วยตรวจสอบด้วย หลังจากนั้นจึงหาคุณสมบัติทางเคมี เช่น หาสารอินทรีย์หรือหาออกไซด์ของสารประกอบ หา pH ความชื้น ฯลฯ

ข. <u>การทดสอบทางโครงสร้าง</u> (test for structure)

การทดสอบทางโครงสร้างควรใช้ปริมาณตัวอย่างที่มากกว่าเดิมเล็กน้อย ถ้าเป็นดินควรหนักประมาณ 2 กก./ ตัวอย่าง ถ้าเป็นหินควรมีปริมาตรประมาณ 0.2 ม.^{3} / ตัวอย่าง การทดสอบทางโครงสร้างนี้ ได้แก่การทดสอบหาโครงสร้างทั้งหมด หาส่วนที่เป็นของแข็งอย่างเดียว หาส่วนที่เป็นอากาศอย่างเดียว

การทดสอบการจัดตัวของโครงสร้าง ถ้าเป็นหินตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยตัดตัวอย่างให้เป็นแผ่นบาง (thin section) แต่ถ้าเป็นดินต้องเพิ่มกำลังวัสดุโดยจุ่มลงในขี้ผึ้งหรือยางเรซินก่อนแล้วทำเป็นแผ่นบาง อย่างไรก็ตามการทดสอบการจัดตัวของโครงสร้างอาจทำได้ทางอ้อม โดยหาความพรุนและความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่าง

การทดสอบส่วนที่เป็นของแข็ง มักตรวจสอบจากรูปร่างและขนาด รูปร่างของวัสดุมักไม่ค่อยสำคัญในงานทางด้านวิศวกรรม ยกเว้นวัสดุที่เป็นมวลรวมคอนกรีต (concrete aggregate) ส่วนขนาดของวัสดุเป็นสิ่งสำคัญมากกว่า ถ้าเป็นหินก็ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยทำเป็นแผ่นบางถ้าเป็นดินก็ใช้ตะแกรงร่อน(sieve)

การทดสอบหาส่วนที่เป็นอากาศ ได้แก่ การหาโพรงช่องว่าง (void) ในเนื้อตัวอย่างต่อปริมาตรทั้งหมดการหาปริมาตรของโพรงช่องว่างนิยมหาจากความสัมพันธ์ของความหนาแน่นรวม (bulk density) ต่อความหนาแน่นแห้ง (dry density) หรือหาจากความสัมพันธ์ของน้ำหนักตัวอย่างในสภาพอิ่มตัวกับในสภาพแห้ง ก็จะได้อัตราส่วนโพรงช่องว่าง (void ratio) หรือความพรุน (porosity) ของวัสดุ

ค. <u>การทดสอบหากำลังวัสดุ</u> (test for strength)

การทดสอบหากำลังวัสดุเป็นสิ่งที่สำคัญในการใช้วัสดุและออกแบบสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ปริมาณของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ถ้าเป็นตัวอย่างในภาคสนามควรใช้ขนาดปริมาตร 0.3 ม.^{3} ถ้าเป็นตัวอย่างในบ่อเจาะสำรวจ ตัวอย่างที่เป็นดินควรใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 35 มม. ยาว 75 มม. ตัวอย่างที่เป็นหินควรใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. ยาว 150 มม.

กำลังวัสดุหาได้หลายแบบ แต่พอจัดเป็นหมวดหมู่ได้ 2 แบบ คือ กำลังวัสดุที่ได้จากการทดสอบในช่วงระยะเวลาสั้น (short term strength) และกำลังวัสดุที่ได้จากการทดสอบในช่วงระยะเวลายาว (long term strength) โดยทั่วไปค่ากำลังวัสดุในช่วงระยะเวลายาวเป็นค่าที่ใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับความเป็นจริงมาก แต่ใช้ระยะเวลาในการทดสอบนานเป็นวันหรือเป็นเดือน จึงไม่ค่อยนิยมมากนัก

ค่ากำลังวัสดุที่หาได้จากการทดสอบ มีองค์ประกอบหลายอย่างที่ทำให้ค่าที่ได้เปลี่ยนแปลงไป องค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ความดันในโพรงของของเหลว การจัดตัวของโครงสร้างและขนาดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ องค์ประกอบเหล่านี้เมื่อเปลี่ยนแปลงไปค่ากำลังวัสดุที่ได้ก็เปลี่ยนไปด้วย

ค่าต่าง ๆ ที่ต้องการหาในห้องปฏิบัติการและเกี่ยวข้องกับกำลังวัสดุ แบ่งออกเป็น 8 ประเภท คือ

- ค่าคงที่ของอิลาสติกหรือความยืดหยุ่น (elastic constant)

ค่าคงที่ของอิลาสติกเชิงสถิต (static elastic constant) หาได้จากการเพิ่มโหลดต่อแท่งตัวอย่างวัสดุบันทึกความเครียดของวัสดุในทิศทางที่ตั้งฉากและขนานกับแนวน้ำหนัก ค่ามอดุลัสของยัง (มอดุลัสของความยืดหยุ่น) หาได้จากหน่วยแรงต่อความเครียด อัตราส่วนพอยส์ซอง หาได้จากความเครียดแนวขวางต่อความเครียดแนวยาว

ค่าคงที่อิลาสติกเชิงพลศาสตร์ (dynamic elastic constant) หาได้ทางอ้อมจากความเร็วของคลื่นปฐมภูมิและความเร็วของคลื่นทุติยภูมิ ที่เคลื่อนที่ผ่านวัสดุ

- กำลังวัสดุอัดแกนเดี่ยว (uniaxial compressive strength)

กำลังวัสดุอัดแกนเดี่ยวเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบปล่อยโหลดสถิตในแนวเดียวกันบนแท่งตัวอย่างทั้งทางด้านบน และด้านล่างของหินจนเกิดจุดแตกหัก

- กำลังวัสดุเฉือน (shear strength)

กำลังวัสดุเฉือนเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบจากกล่องวัดกำลังวัสดุเฉือน (shear box) หรือเซลล์สามแกน (triaxial cell)

กล่องวัดกำลังวัสดุเฉือนได้ออกแบบให้มีน้ำหนักตกในแนวตั้งฉากกับแท่งตัวอย่าง และมีแรงเฉือนทางด้านข้าง ๆ ตามแนวจนเกิดการเคลื่อนที่เพราะการเฉือน (ตามลักษณะของแนวแรงกระทำต่อแท่งตัวอย่าง)

เซลล์สามแกนเป็นรูปทรงกระบอกซึ่งมีความดันของน้ำอยู่ภายใน แท่งตัวอย่างทรงกระบอกถูกจัดให้วางอยู่ภายในเซลล์ ความดันของของเหลวจะกระทำรอบแท่งตัวอย่าง เมื่อให้โหลดกดทับบนแท่งตามแนวยาวจนเกิดจุดแตกหัก ก็นำค่าความเค้นอัดที่จุดแตกหักมาคำนวณหาค่าความเค้นเฉือนได้

- กำลังวัสดุดึง (tensile strength)

วิธีวัดกำลังวัสดุดึงมักไม่ใช้การออกแรงดึงวัสดุโดยตรงแบบกระทำต่อโลหะ แต่จะใช้วิธีอ้อมคือเพิ่มโหลดสถิตให้เกิดหน่ายแรงอัดตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง จนเกิดจุดแตกหักในแนวดึงบนพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างขนานกับแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลักษณะของการอัดตัวคายน้ำ (consolidation character)

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

รูปที่ 2.20

แท่งตัวอย่างดิน จะถูกตัดให้เข้าประกอบได้กับกระบอกทดสอบ ที่มีแผ่นรูพรุนประกบตัวอย่างหินอยู่ภายในทั้งบนและล่าง ต่อมาโหลดเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 12 kPa) มวลของน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านได้ทั้งบนและล่าง คำนวณหาลักษณะการอัดตัวเนื่องจากทราบค่าโหลดที่แน่นอนกับการเปลี่ยนปริมาตร (โดยเฉพาะในกรณีของมิติเดี่ยว เป็นค่าความสูง) ต่อเวลาที่วัดได้ จึงสามารถหาค่า สัมประสิทธิ์ของการอัดตัว (coefficient of compressibility) ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแปลงต่อหน่วยปริมาตรเมื่อความดันเปลี่ยนไป (ใช้สำหรับคำนวณหาขนาดของการทรุดตัว) และหาค่า สัมประสิทธิ์ของการอัดตัวคายน้ำ (coefficient of consolidation) ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ความซาบซึมได้ต่อการกดอัด (ใช้สำหรับคำนวณหาอัตราการทรุดตัว)

โออีโดมิเตอร์ยังใช้หาลักษณะการพองตัว (swelling character) ของตัวอย่างซึ่งมีการเพิ่มปริมาตรเมื่อลดความดัน วิธีการคือ เพิ่มน้ำหนักให้เท่ากับความดันที่กระทำต่อพื้นดิน หลังจากนั้นลดน้ำหนัก

- ลักษณะการจมเข้า (penetration character)

การทดสอบการจมเข้า ได้แก่ การออกแรงดันโดยใช้ พลังเกอร์ (plunger) ทำการดันพลังเกอร์ด้วยอัตราส่วนกำลังดันคงที่เข้าไปบนพื้นผิดดินหรือชั้นหินร่วน แล้ววัดอัตราส่วนกำลังรับน้ำหนักของดิน

- ลักษณะการคืบ (creep character)

การคืบเป็นผลของการเปลี่ยนรูปในช่วงระยะเวลานาน ซึ่งมักวัดจากกระทำของความเค้นอัดบนวัสดุต่อการเปลี่ยนรูป ซึ่งอาจจะวัดในแนวแกนเดี่ยวหรือในแนวทั้งสามแกนของวัสดุ

- การทดสอบหาดัชนีที่สัมพันธ์กับกำลังวัสดุ (index tests relating to strength)

การทดสอบหาดัชนีเป็นการหาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อกระทำในสภาวะต่างกัน พฤติกรรมของวัสดุที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ของกำลังวัสดุมีได้หลายชนิด

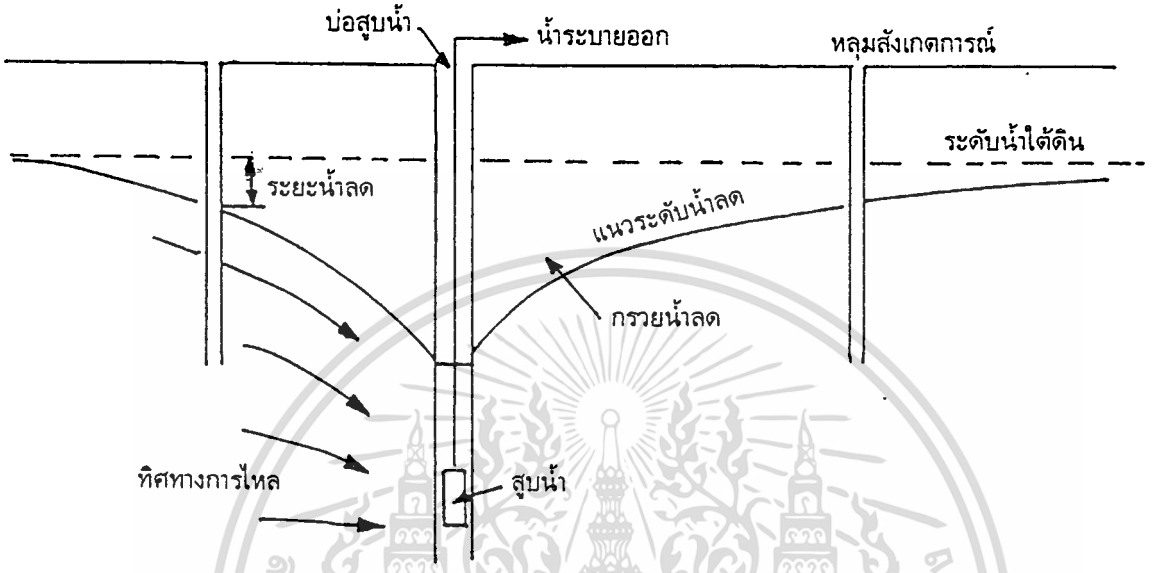
1. ขีดของแอทเทอร์เบอร์ก (Atterberg limits)

การทดสอบพฤติกรรมทางกลศาสตร์ที่เป็นผลมาจากขนาด และองค์ประกอบของตะกอนดินเหนียวและทรายแป้ง ตามวิธีของแอทเทอร์เบอร์กแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ *ขีดเหลว (liquid limit)* รายละเอียดของการทดสอบหาได้จากหนังสือกลศาสตร์ของดินทั่วไป

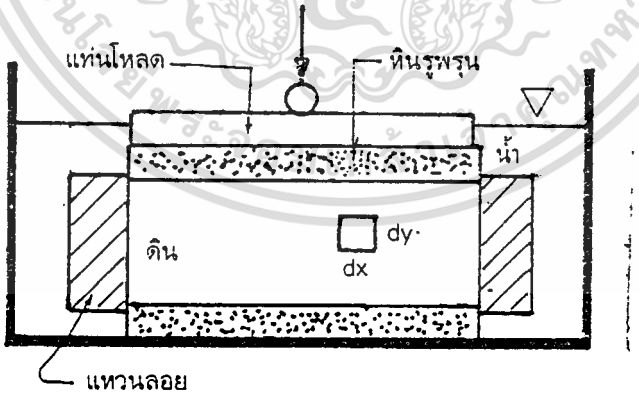
2. ดัชนีการเจาะ (drilling index)

ดัชนีการเจาะเป็นการหาความสัมพันธ์ของน้ำหนักทางพลศาสตร์ที่กระทำต่อวัสดุ เช่น อัตราการเจาะในวัสดุ และอัตราการสึกกร่อนของก้านเจาะ ปัจจุบันยังอยู่ในขั้นที่พยายามปรับปรุงนำค่าทดสอบในห้องปฏิบัติการมาใช้ในภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การทดสอบหาค่าความซาบซึมได้โดยหย่อนมาตรวัดความดันลงในหลุมเจาะสำรวจในที่ทำการสำรวจตรวจสอบ



รูปที่ 2.20 เครื่องมือหาการอัดตัวคายน้ำมิติเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ดัชนีการระเบิด (blasting index)

ดัชนีการระเบิดเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เร็วที่สุดต่อความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่ช้าที่สุด องค์ประกอบในเรื่องของคลื่นไหวสะเทือนจากระเบิดมีหลายอย่าง เช่น กำลังวัสดุดึง รอยแยกของวัสดุ และปริมาณวัตถุระเบิดที่ใช้

4. ดัชนีการสลายตัวในบรรยากาศ (slaking index)

การทดสอบแบบนี้ ใช้วัดการสลายตัวของดินและหินร่วนที่โผล่พ้นขึ้นมาบนชั้นบรรยากาศ โดยวัดค่าน้ำหนักจากการสลายตัวของวัสดุเมื่อเปียกต่อน้ำหนักดั้งเดิมของวัสดุ ทำให้รู้สภาวะของวัสดุในบริเวณแหล่งก่อสร้าง

2.3.3.8 การทดสอบหาคุณสมบัติเชิงไฮดรอลิก (tests for hydraulic properties)

การทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับคุณสมบัติเชิงไฮดรอลิกเป็นสิ่งที่จำเป็นถ้าหากต้องการค่าที่ใกล้เคียงพอสมควรกับความเป็นจริง หรือในกรณีที่ต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบเพื่อเป็นการทดแทนการทดสอบในที่ภาคสนาม

ก. สัมประสิทธิ์ของความซาบซึมได้ (coefficient of permeability)

ค่าสัมประสิทธิ์ของความซาบซึมได้นี้ได้จากค่าปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลซึมผ่านพื้นที่หน้าตัดตัวอย่างต่อความลาดเทเชิงไฮดรอลิก (hydraulic gradient)

ข. ความพรุนประสิทธิผล (effective porosity)

ความพรุนประสิทธิผลคือความพรุนที่ต่อเนื่องกันภายในวัสดุที่สามารถจะกักเก็บหรือปล่อยของเหลวออกมาได้ การหาความพรุนประสิทธิผลทำได้โดยการเทียบน้ำหนักของตัวอย่างวัสดุที่อิ่มตัวกับตัวอย่าง ตัวอย่างที่ถูกอบให้แห้งแล้ว นำมาคำนวณหาความพรุนประสิทธิผล

ตัวเลขค่าคงที่และดัชนีต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการทั้ง 4 ประเภทใหญ่ ๆ ดังกล่าวมานี้ เป็นสิ่งที่วิศวกรต้องเลือกนำมาใช้ให้เหมาะสมกับงาน ค่าที่ได้จะถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับเทคนิคและความละเอียดอ่อนของเครื่องมือแล้ว ยังขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ทดสอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการปรับปรุงเสถียรภาพของดิน

ในการก่อสร้างบริเวณพื้นที่ที่ดินไม่สามารถรับน้ำหนักที่กระทำได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการปรับปรุงเสถียรภาพของดินเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่ทำการออกแบบ วิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงเสถียรภาพของดินให้มีความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมนั้น ได้มีวิวัฒนาการมาตามลำดับจนกระทั่งปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี และมีการนำไปใช้แตกต่างกันไป

ในงานก่อสร้างทางหลวงบริเวณที่ดินไม่เหมาะสมก็เช่นกัน มีความจำเป็นที่จะต้องทำการปรับปรุงเสถียรภาพของดินซึ่งมีด้วยกันหลายวิธีดังจะกล่าวต่อไปนี้

3.1 <u>การเพิ่มเสถียรภาพโดยการอัดแน่น</u>

การอัดดินให้แน่นเป็นวิธีมูลฐานดั้งเดิมที่สุดในบรรดาวิธีการเพิ่มเสถียรภาพ และถึงแม้ว่าจะใช้วิธีอื่นในการปรับปรุงเสถียรภาพ ก็จะใช้วิธีอัดแน่นร่วมด้วยเสมอ

การที่จะปรับปรุงสมบัติทางกลของดิน เช่น เพิ่มความแข็งแรงเฉือน ลดความซึมได้ของน้ำ ในดินก็ต้องลดช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วยการอัดแน่น เหตุผลที่ว่าทำไมปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ผสมกับดินจึงมีความสำคัญในเวลาอัดดินให้แน่น

งานที่จะต้องมีการบดอัดให้แน่น ได้แก่ การทำมูลดินคันทาง ถมดินในคูที่ขุดสำหรับวางท่อใต้ดินและการเพิ่มความแข็งแรงของดินในที่ สำหรับชั้นดินเดิมหรือชั้นรองพื้น เป็นต้น

สิ่งที่จะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษในการบดอัดดินให้แน่นมีดังนี้

1. เกลี่ยวัสดุให้สม่ำเสมอและบาง ๆ
2. ปรับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมให้ถูกต้อง
3. เลือกใช้เครื่องจักรที่เหมาะสมในการบดอัด
4. ป้องกันไม่ให้น้ำฝนท่วมหรือซึมผ่าน

การเกลี่ยดินให้สม่ำเสมอมีความสำคัญยิ่งในการบดอัดดิน เพราะถ้ามีการเกลี่ยดินอย่างสม่ำเสมอเป็นชั้นบาง ๆ การบดอัดจะกระทำได้แน่นดี ทำให้การทรุดตัวจากการอัดตัวมีน้อย และความแตกต่างในการทรุดตัวก็มีน้อยด้วย

ความหนาของชั้นดินที่บดอัดจะแปรตามภาวะ เช่น ขนาด รูปร่าง เครื่องจักรในการบดอัด และวิธีการก่อสร้าง ตลอดทั้งระดับชั้นการอัดแน่นด้วย โดยทั่วไปสำหรับการสร้างถนน ความหนาหลังจากการบดอัดแล้วในแต่ละชั้นจะประมาณ 30 ซม. และความหนาของดินที่เกลี่ยแล้วจะอยู่ระหว่าง 35-45 ซม. สำหรับชั้นดินเดิม ความหนาที่บดอัดเสร็จแต่ละชั้นจะประมาณ 20 ซม. ซึ่งจะต้องเกลี่ยดินให้หนาสม่ำเสมอประมาณ 25-30 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำในดินจะต้องได้รับการปรับให้อยู่ภายในพิสัยของปริมาณน้ำที่ต้องการ ถ้าหากปริมาณน้ำตามธรรมชาติของดินไม่เข้าเกณฑ์ตามความต้องการในการบดอัดดินแล้ว จะต้องใช้วิธีลดปริมาณน้ำโดยการตากแห้ง หรือขุดร่องให้น้ำระบายออก

แม้ในกรณีที่ดินเหมือนกัน ความหนาแน่นแห้งสูงสุด หรือปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดก็ยังแปรไปได้มากตามวิธีบดอัด และวิธีให้พลังงานอัดแน่น ด้วยเหตุนี้ ลักษณะความแข็งแรงของดินที่บดอัดแน่นแล้ว จึงแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวางกฎในการให้น้ำก่อนการบดอัดหรือจำนวนครั้งที่บดอัด เพื่อให้ได้ลักษณะทางกลที่ต้องการ บนมูลฐานของผลลัทธ์ที่ได้จากการลองผสมบนมูลฐานของผลการทดสอบ ข้อกำหนดการบดอัดอาจทำได้ 2 วิธี คือ 1. กำหนดวิธีทำ และ 2 กำหนดคุณภาพ

เครื่องกลที่ใช้ในการบดอัดจะผลิตออกมาต่าง ๆ กัน และถึงแม้จะเป็นเครื่องกลชนิดเดียวกัน ผลของการบดอัดก็ยังแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนด และการทำงานของเครื่อง (ขนาด น้ำหนัก ความดันของล้อ จำนวนการสั่น แรงกระตุ้น แรงปะทะ ฯลฯ) ฉะนั้นจำเป็นต้องเลือกใช้เครื่องกลด้วยความเข้าใจในตัวประกอบเหล่านี้อย่างถ่องแท้

ตารางที่ 3.1แสดงเกณฑ์การเลือกเครื่องกลอัดแน่นในงานมูลดิน ของสมาคมการทางญี่ปุ่น

3.2 วิธีระบายน้ำพื้นผิว

วิธีนี้ได้แก่การขุดรางระบายบนผิวดิน ก่อนทำคันทางเพื่อระบายน้ำบนผิวดินออกไปเสียก่อน และขณะเดียวกันก็ลดปริมาณน้ำในดินเพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้เครื่องจักรขุดดินสามารถทำงานได้ ดูที่ขุดส่วนมากจะถมกลับด้วยกรวด ที่มีความพรุนสูงเพื่อให้น้ำระบายออกได้ในระหว่างการก่อสร้าง

ในการจัดทำรางระบายดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะต้องพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงความลาดชันควบคู่กับการทรุดตัวจากน้ำหนักดินถมด้วย จะต้องระมัดระวังมิให้น้ำผิวดินหรือน้ำซึมไหลจากการตัดดินในบริเวณข้างเคียงเข้ามา

รางระบายน้ำโดยทั่วไปกว้างประมาณ 0.5 ม. และลึกประมาณ 0.5-1.0 ม. ถมด้วยทรายหรือกรวดที่มีคุณภาพดีก่อนการทำคันดิน

3.3 วิธีใช้ทรายรองพื้น

ในวิธีนี้ชั้นดินอ่อนจะถมด้วยทราย มีความหนาประมาณ 0.5-1.2 ม. เพื่อให้น้ำระบายออกได้ที่ส่วนบน การทรุดตัวในชั้นดินอ่อนจะได้เกิดขึ้น ทำให้ดินแน่นตัวและเครื่องกลสามารถทำงานได้บนชั้นดินดังกล่าว โดยทั่วไปมักจะทำร่วมกับวิธีระบายน้ำในแนวดิ่งบ่อย ๆ แต่ถ้าชั้นดินอ่อนอยู่ที่ส่วนบนของดินฐานรากและมีชั้นบาง ๆ การปรับปรุงก็สามารถทำได้โดยการเตรียมทำชั้นทรายรองพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทรายที่ใช้สำหรับทำชั้นรองพื้นจะต้องผ่านตะแกรง 74 (0.074 มม.) น้อยกว่า 3% เพื่อให้มีการไหลซึมได้ดี เกิดการยุบตัวจากการระบายน้ำออก และจะต้องระวังไม่ให้มีน้ำหนักบรรทุกเฉพาะที่มากเกินไป ยิ่งกว่านั้น ถ้าใช้ทรายแป้ง (Silt) ซึ่งผ่านได้ยากเป็นคันทาง ก็จะต้องระวังผลสุดท้ายที่ทรายแป้งที่อยู่บนชั้นทรายจะทำให้น้ำไม่สามารถไหลผ่านชั้นทรายที่อยู่ข้างล่างได้

สำหรับความหนาของชั้นทราบ ที่จะให้เครื่องกลหนักสามารถทำงานได้บนชั้นทรายดังกล่าว ให้ดูจาก**ตารางที่ 3.2**

เนื่องจากชั้นทรายเป็นสาเหตุทำให้เกิดการไหลซึมของน้ำในคันทาง จึงห้ามใช้ทรายที่หนามากหรือใช้วัสดุเม็ดหยาบ เช่น กรวด เป็นต้น

3.4 <u>วิธีใช้แผ่นรอง</u> (GEOGRID)

วิธีนี้เป็นวิธีซึ่งใช้แผ่นใยเคมี หรือตาข่ายยางวางลงบนชั้นดินอ่อนแล้วจึงทำคันทางทับข้างบน วัตถุประสงค์ก็เพื่อให้เครื่องกลหนักสามารถทำงานได้บนชั้นดินอ่อน โดยอาศัยแรงดึงของแผ่นวัสดุที่วางอยู่บนชั้นดินเดิม หรือเพื่อเพิ่มวิสัยสามารถรับแรงธารของดินฐานราก ดังแสดงใน**รูปที่ 3.2**

วัสดุแผ่นจะช่วยให้เกิดการกระจายน้ำหนักของดินถมสม่ำเสมอ ไม่ทำให้เกิดการทรุดตัวเป็นหย่อมและแรงดึงของแผ่นวัสดุจะต้านการไหลออกทางข้างของคันทางได้

3.5 <u>วิธีกระจัด</u>

วิธีนี้ใช้วัสดุที่มีคุณภาพดีแทนที่ชั้นดินอ่อน เพื่อปรับปรุงวิสัยสามารถรับแรงธารของดินฐานรากและลดปริมาณการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดิน วิธีกระจัดอาจกระทำได้ 2 วิธีคือ วิธีซึ่งหลังจากขุดดินอ่อนออกแล้วใช้เครื่องกลหนักขนวัสดุที่มีคุณภาพดีเข้าแทนที่ แล้วทำการบดอัด และอีกวิธีหนึ่งใช้การดันดินอ่อนออกโดยใช้น้ำหนักดินถมซึ่งมีคุณภาพดีผลักออกไป หรือโดยการระเบิด ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ในกรณีที่ใช้การแทนที่โดยการขุดอาจทำได้ 2 อย่าง คือ ขุดตลอดความกว้าง ของส่วนที่ถมและการขุดออกเพียงบางส่วนของความกว้าง อย่างไรก็ดีในการขุดดินออกนั้นจะต้องพิจารณาว่าถ้าจะแก้การทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวเป็นสำคัญแล้วก็จะต้องขุดดินอ่อนที่อยู่ใต้ถนนนั้นออก แต่ถ้าคำนึงถึงการพิบัติจากการเลื่อนตัวแล้ว ก็จะต้องขุดดินอ่อนใต้ผิวลาดของถนนออก

โดยทั่วไปการขุดดินออกเพื่อใช้วัสดุที่มีคุณภาพดีแทนที่ จะดีกว่าการใช้กำลังดัน วิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ชั้นดินอ่อนอยู่ตื้น มีความหนาน้อยกว่า 3 ม. และต้องการให้การถมเสร็จสิ้นในเวลาสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยโครงสร้างของมูลดิน	การแยกประเภทดิน / เครื่องมือตัดแน่น	รถบดแบน	รถบดด้วยยาง	รถบดโดยการสั่น	เครื่องมือกระทุ้ง	รถบดโดยการกระทุ้ง	รถสั่นสะเทือน: ชนิดสลาม	รถสั่นสะเทือน: ใช้ไม่ที่สุ่ม	เครื่องอัดแน่นโดยการสั่น	เครื่องกระทุ้ง	หมายเหตุ
งานมูลดินส่วนใหญ่ทำถนน	หินซึ่งไม่สามารถบดให้ละเอียดให้ง่ายแม้โดยการขุดและบดอัด เช่น ก้อนหิน			⊙					⊗	ขนาดใหญ่ ⊗	หินแข็ง
	หินซึ่งสามารถบดละเอียดได้บางส่วนและอัดให้แน่นดี เช่น หินผุ หรือหินโคลน		ขนาดใหญ่ ○	⊙	○	○			⊗	ขนาดใหญ่ ⊗	หินผุ่ย
	ทรายเม็ดเหลี่ยว ๆ, กรวดไม่ให้ร่อนตะแกรงขนาดเม็ดละเอียด, ทราย			○					⊗	⊗	ทราย ทรายผสมกับกรวด
	ดินเม็ดละเอียดบดอัดให้สะดวก เช่น หินแกรนิตผุ หรือทราย		ขนาดใหญ่ ⊙	○	○				⊗	⊗	ดินทราย ดินทรายผสมกับกรวด
	ดินเม็ดละเอียดมาก มีความไวต่ำ, ดินร่วนมีความชื้นน้อยหรือดินโคลน		ขนาดใหญ่ ○		⊙	⊙				⊗	ดินเหนียว ดินเหนียวผสมกับกรวด
	ดินซึ่งมากแต่การปรับปริมาณน้ำ เช่น ทรายแป้ง ดินผุ สามารถในการรับน้ำหนักทรงตัวไม่สู้ดี						●				ดินทราย มีน้ำมากเกินไป
	ดินที่มีปริมาณความชื้นสูง และความไวมาก เช่น ดินร่วน ฯลฯ						●	●			ดินเหนียวมีความไว
ชั้นดินเดิม	ดินมีเม็ดคละขนาดปนกัน	○	ขนาดใหญ่ ⊙	⊙					⊗	⊗	วัสดุสำหรับผสมเพื่อปรับขนาดของเม็ดดิน
	ทรายเม็ดเหลี่ยว ๆ เป็นทรายมีเม็ดเหลี่ยมมีผสมกับกรวด หรือกรวดยังไม่ผ่านตะแกรง	○	ขนาดใหญ่ ○	⊙					⊗	⊗	ทราย ทรายผสมกับกรวด
ดินถม			○	ขนาดเล็ก ⊙					⊗	⊗	บางครั้งใช้ดูดฝุ่นกระแทก
ด้านหน้าของความลาด	ดินทราย			ขนาดเล็ก ⊙					⊙	⊗	
	ดินเหนียว			ขนาดเล็ก ○			○		○	⊗	
	ดินเหนียวมีความไว							●		⊗	

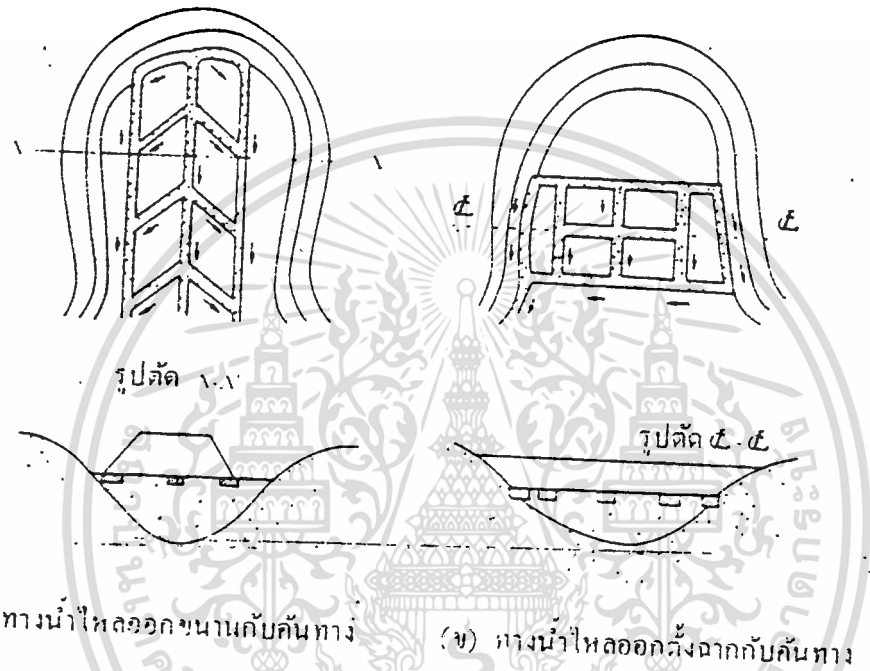
⊙ : ใช้ได้ผล

○ : ใช้ได้

● : จำเป็นต้องใช้เพราะไม่สามารถใช้เครื่องมืออย่างอื่นได้เพราะความจำกัดในการทำงานของเครื่องมือ

⊗ : ใช้ในกรณีไม่สามารถจะใช้เครื่องมืออย่างอื่นได้ เพราะความจำกัดของสถานที่

ตารางที่ 8.1 เครื่องกลอัดแน่นตามลักษณะเนื้อดินและมูลดิน

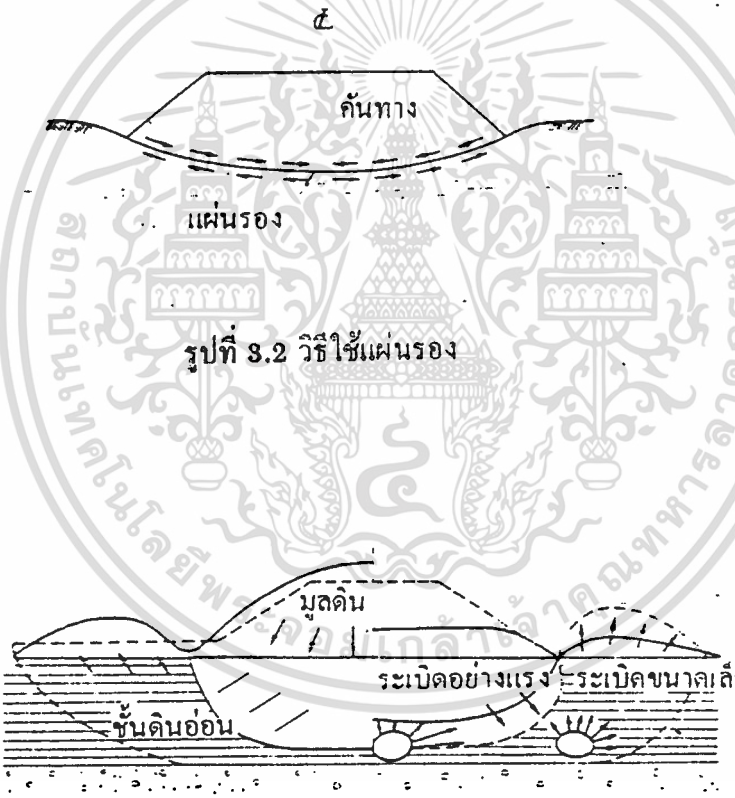


รูปที่ 3.1 การจัดรางระบายน้ำในวิธีระบายน้ำที่ผิวดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ความหนามาตรฐานของชั้นทรายรองพื้น

วิสัยสามารถรับแรงธารูปกรวยของพื้นผิว (กก./ซม.^{2})	ความหนาของชั้นทรายรองพื้น (ซม.)
ตั้งแต่ 2.0	50
2.0 – 1.0	50 – 80
1.0 – 0.75	80 – 100
0.75 – 0.5	100 – 120
น้อยกว่า 0.5	120



รูปที่ 3.2 วิธีใช้แผ่นรอง

(ก) วิธีกระจัดโดยใช้น้ำหนักของมูลดินดัน (ข) วิธีกระจัดโดยการระเบิด

รูปที่ 3.3 วิธีกระจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วิธีถ่วงน้ำหนัก

วัตถุประสงค์ของวิธีนี้คือถ่วงน้ำหนักด้านข้างของมูลดินและมุ่งที่เสถียรภาพของมูลดินเป็นหลักเมื่อไม่คิดตัวประกอบความปลอดภัยที่ต้องการจากการพิบัติด้วยการเลื่อนตัวในระหว่างการถมดิน

ดังแสดงในรูปที่3.4 เนื่องจากผลที่ได้รับจะเหมือนกันโดยใช้ความลาดของมูลดินโดยเฉลี่ย ดังนั้น จากการวิเคราะห์ด้วยวงกลมที่เกิดการเลื่อนตัวที่ให้ประกอบความปลอดภัยที่น้อยที่สุด จะได้โมเมนต์ต้านเพิ่มขึ้น ทำให้เสถียรภาพของมูลดินดีขึ้น

แต่เนื่องจากวิธีนี้ต้องการฐานการถมที่กว้างขึ้น ซึ่งจะไม่เป็นการประหยัดถ้าไม่สามารถหาที่ดินหรือหาซื้อวัสดุที่ใช้ถมในราคาถูกไม่ได้

ไม่จำเป็นต้องกล่าวถึงประสิทธิผลของวิธีนี้ในแง่ของการออกแบบ เพราะเป็นวิธีที่ให้ประโยชน์มากในการป้องกันการพิบัติจากการเลื่อนตัวของดินถมขณะก่อสร้าง หรือการแก้ไขเมื่อเกิดการเลื่อนตัวแล้ว

ในการออกแบบวิธีถ่วงน้ำหนัก จะต้องวิเคราะห์หาเสถียรภาพของดินถมก่อน จากนั้นจึงคำนวณหาน้ำหนักที่จะใช้ถ่วงโดยประมาณ จากโมเมนต์ต้านที่จะไม่ทำให้เกิดการพิบัติของดินถมด้วยการเลื่อนตัวเป็นวงกลม แล้วจึงหารูปร่างหน้าตัดของดินถมที่ใช้ถ่วง พร้อมทั้งน้ำหนักด้วย ในกรณีที่ใช้เป็นมาตรการฉุกเฉินเพื่อแก้ไขการเลื่อนตัวที่เกิดขึ้น จะต้องสำรวจหาตำแหน่งของผิวการเลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจริง แล้วเขียนวงกลมเพื่อวิเคราะห์หาเสถียรภาพของดินถม ซึ่งในสุดท้ายจะได้น้ำหนักถ่วงของดินถมที่ต้องใช้ในการป้องกันการเลื่อนตัว

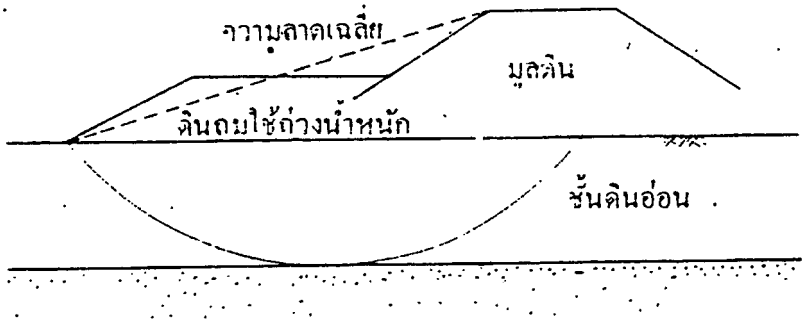
3.7 วิธีชะลอการเพิ่มน้ำหนัก

เมื่อดินฐานรากมีความแข็งแรงเฉือนไม่พอต้านการเลื่อนตัว เมื่อมีการถมมูลดินสูงขึ้นอย่างรวดเร็วก็จะใช้วิธีนี้ในการชะลออัตราเร็วของการถมดินมูลดินเพื่อมิให้เกิดการเลื่อนตัวขึ้น

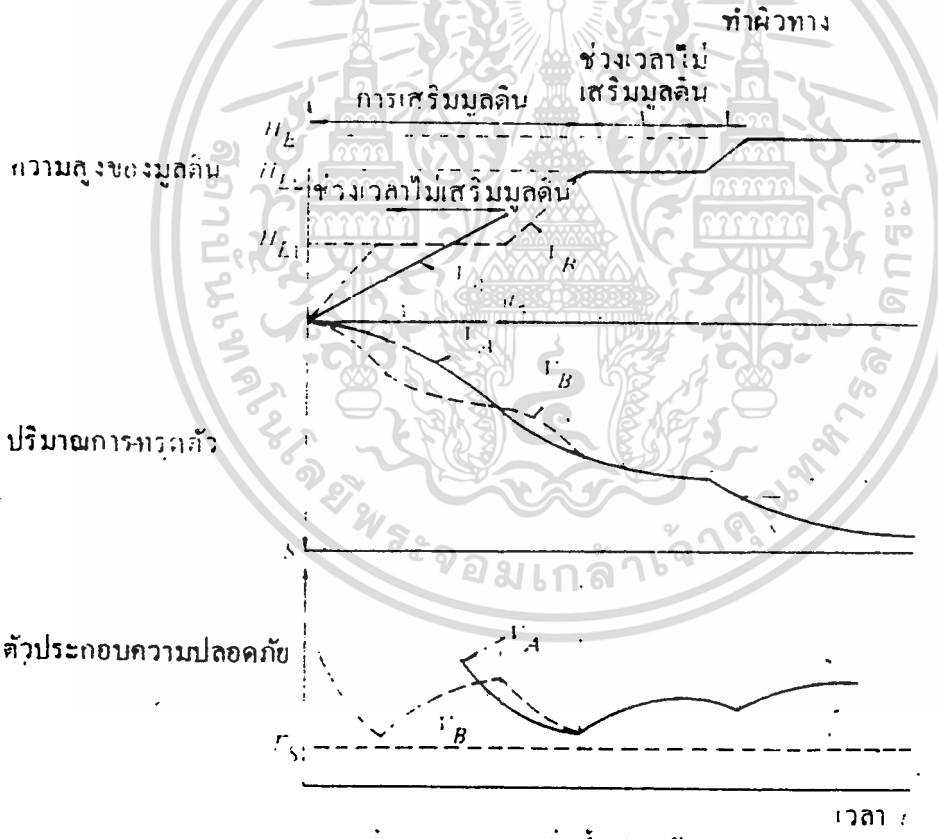
การชะลอการเพิ่มน้ำหนักมีอยู่สองวิธี คือการเพิ่มความสูงของดินถมทีละน้อยและอีกวิธีหนึ่ง คือการเพิ่มขึ้นเป็นระยะดู รูปที่ 3.5 ตามความเป็นจริงแล้วดินฐานรากในแต่ละกรณีจะถูกอัดตัวโดยน้ำหนักของมูลดิน และมูลดินก็จะถูกเสริมขึ้นเรื่อย ๆ การอัดตัวของดินจะทำให้ดินแข็งแรงขึ้นตามสภาพ จึงไม่จำเป็นต้องใช้การออกแบบเป็นพิเศษแต่อย่างใด เพียงแต่จะต้องหาอัตราเร็วของการเสริมดินถมจากการวิเคราะห์เสถียรภาพและการทรุดตัวทุกขั้นตอนของการน้ำหนักบรรทุกเท่านั้น

วิธีการนี้ไม่ต้องการเครื่องมือก่อสร้างหรือวัสดุเป็นพิเศษแต่อย่างใด เวลาเท่านั้นที่จำเป็น วิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพและการประหยัด เมื่อมีช่วงเวลาในการดำเนินงานได้นาน และโดยทั่วไปมักจะใช้เป็นมาตรการแก้ไขสำหรับชั้นดินอ่อนก่อนวิธีอื่น หรืออาจจะใช้ร่วมกับวิธีอื่นด้วย

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 3.4 วิธีถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 3.5 การเปรียบเทียบอัตราเร็วของการดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดินจะเกิดขึ้นค่อนข้างเร็ว เมื่อความหนาของชั้นดินอ่อนนั้นน้อย หรือระยะทางการระบายน้ำออกนั้นสั้น เพราะมีแถบทรายมากหลายแถบในชั้นดินอ่อนนั้น ด้วยเหตุนี้วิธีการนี้อาจใช้เพียงวิธีเดียวได้สำหรับกรณีข้างต้น

เพื่อให้ทราบความก้าวหน้าในการอัดตัวเมื่อใช้วิธีนี้ ไม่เพียงแต่จะคำนวณหาเวลาการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวของดินจากการสำรวจดินที่ทำไว้ล่วงหน้าเท่านั้น แต่จะต้องสำรวจความก้าวหน้าในการอัดตัวจากการเปลี่ยนแปลงของการทรุดตัว หรือความดันของน้ำในช่องว่างของดิน โดยใช้เครื่องวัดความทรุดหรือเครื่องวัดความดันน้ำในช่องว่างด้วย

3.8 วิธีระบายน้ำด้วยทราย

วิธีระบายน้ำด้วยทรายเป็นวิธีที่ใช้ทรายทำเป็นท่อในแนวดิ่งผ่านชั้นดินอ่อน ซึ่งอาจทำได้หลายแบบ เช่น แบบตอกกระบอกปลายปิด แบบสั่นสะเทือน แบบเจาะ แบบฉีดน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีปฏิบัติ

ในกรณีที่ไม่ใช้ท่อทราย เวลา ที่ต้องการให้เกิดการอัดตัวในชั้นดินเหนียวจะหาได้จากสมการต่อไปนี้ โดยให้ระยะทางที่น้ำระบายออกเป็น $H/2$

$$t = \frac{T_v(H)^2}{C_v 2} \qquad (3.1)$$

เมื่อใช้ท่อทรายดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยสมมติฐานว่าดินฐานรากถูกแทนด้วยตัวแบบรูปทรงกระบอก มีน้ำในช่องว่างระบายออกตามแนวราบไปยังท่อทราย เวลา ที่ดินเกิดการอัดตัวจะหาได้จากสมการ

$$t = \frac{T_h \cdot d_e^2}{C_h} \qquad (3.2)$$

เมื่อ t : เวลาที่ดินเกิดการอัดตัว (วัน)

T_h : ตัวประกอบเวลาสำหรับการอัดตัวในแนวราบ (ไม่มีหน่วย)

C_h : สัมประสิทธิ์ของการอัดตัวในแนวราบ ($ม^2$/วัน)

d_e ความยาวประสิทธิผล (ม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติว่าระยะระหว่างท่อทรายมีค่าเท่ากับ d

ในกรณีที่จัดแบบรูปสามเหลี่ยม $d_e = 1.05\ d$

ในกรณีที่จัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส $d_e = 1.13\ d$

ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าระยะระหว่างท่อทรายยิ่งน้อย จะทำให้เวลาที่ใช้ในการอัดตัวของดินน้อยลงด้วย

สมมติให้ตัวแปรเสริม $n = d_e/d_w$ ซึ่ง d_e = ความยาวประสิทธิผล, d_w = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทราย ความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นการอัดตัว U_h และตัวประกอบเวลา T_h จะแสดงได้ด้วยรูปที่ 3.7

การระบายน้ำในแนวดิ่งโดยทั่วไปมักจะไม่คิดเพราะว่าความยาวประสิทธิผล d_e มักจะมีค่าน้อยกว่าความหนา H ของชั้นดินอ่อน แต่ถ้าความหนาของชั้นดินอ่อนนั้นน้อย ควรคิดการระบายน้ำในแนวดิ่งด้วย โดยให้ U_v เป็นระดับชั้นการอัดตัวในแนวดิ่ง และระดับชั้นการอัดตัว U ของชั้นดินเหนียวทั้งหมดจะหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$U = 1-(1-U_h)\,(1-U_v) \qquad (3.3)$$

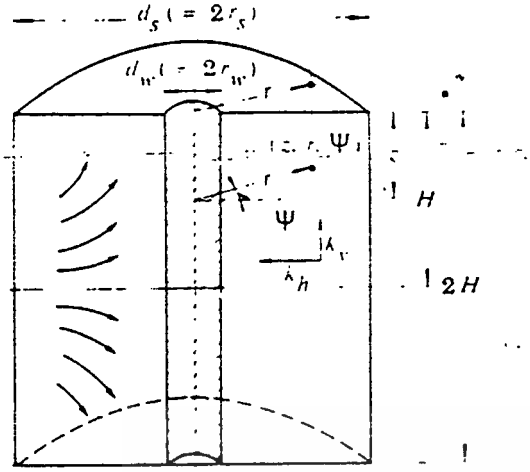
ในการออกแบบท่อทราย ก่อนอื่นจะต้องสมมติวิธีการทำ, เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทราย, ระยะระหว่างศูนย์กลางท่อ และขอบเขตของการปรับปรุง พร้อมทั้งวิเคราะห์หาเสถียรภาพ และการทรุดตัวด้วย เมื่อตัวประกอบความปลอดภัยและปริมาณการทรุดตัวที่เหลือยังไม่เป็นที่พอใจ ก็เปลี่ยนระยะระหว่างท่อทราย และขอบเขตของการปรับปรุงหลาย ๆ ครั้ง จนได้ตามความประสงค์

ความลึกของท่อทรายนั้นกำหนดด้วยความหนาของชั้นดินเหนียว หรือความลึกของดินฐานรากที่จะต้องปรับปรุงเพื่อเสถียรภาพของโครงสร้าง ในทางปฏิบัติท่อทรายยิ่งลึกจะยิ่งทำยาก และเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงมักทำระหว่าง 25-30 ม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d_w ของท่อทรายที่พิสัยที่เลือกได้ระหว่าง 25-50 ซม. แล้วแต่ขนาดของเครื่องกล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d_w ยิ่งเล็กยิ่งได้ประโยชน์ที่ทำได้เร็ว แต่ถ้าชั้นดินเหนียวนั้นอ่อนมาก และอาจเกิดการวิรูปด้วยแรงเฉือน ท่อทรายอาจถูกตัดขาดในระหว่างทำ จึงยากที่จะทำท่อทรายให้เล็กมาก

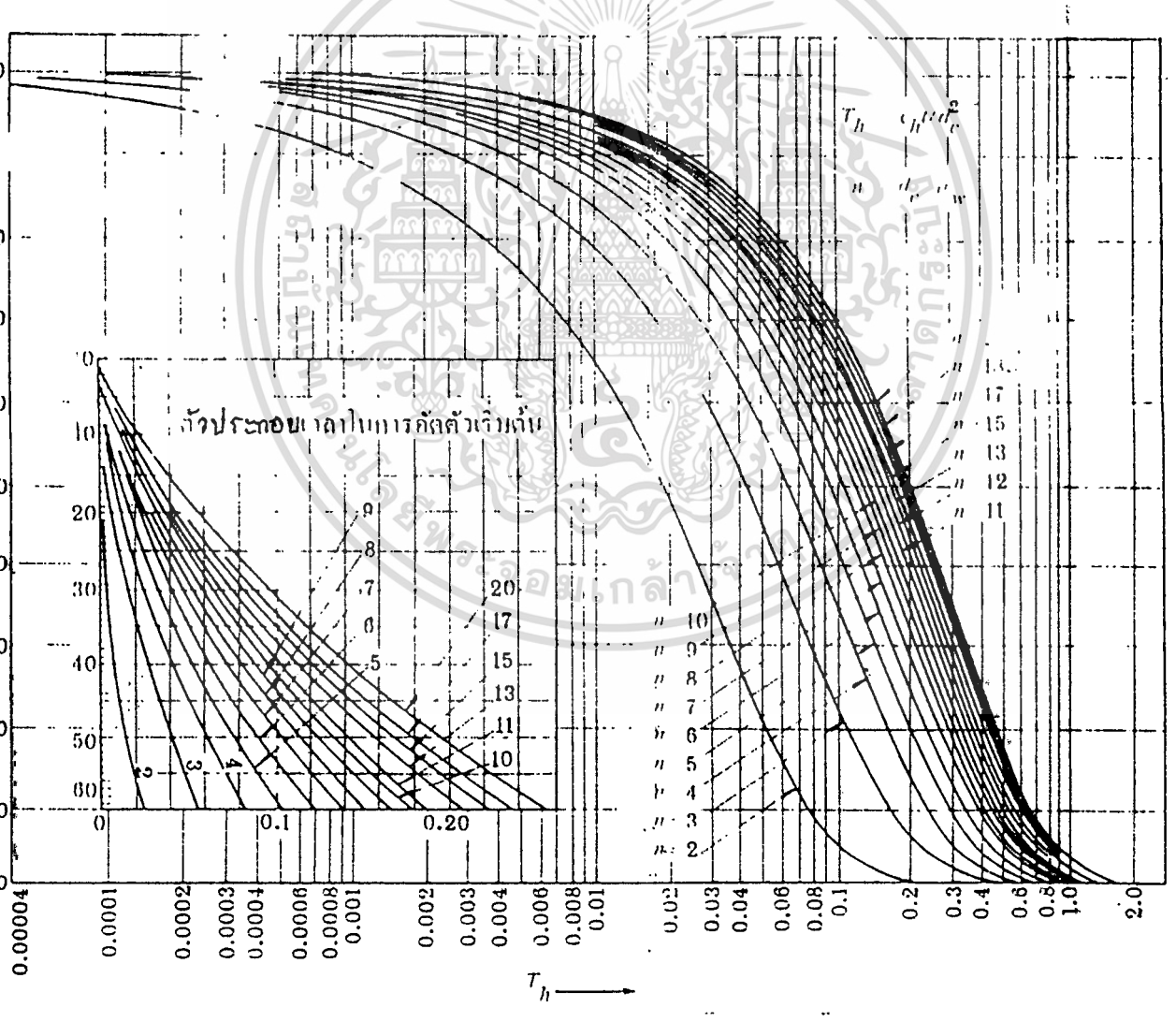
สำหรับขนาดของ d_e หรือค่า $n = d_e/d_w$ ในการออแบบท่อทรายนั้น ในประเทศญี่ปุ่น มักใช้ d_e ระหว่าง 1.5-3.0 เมตร

การทำท่อทรายโดยปกติจะทำในชั้นดินอ่อน ที่มีวิสัยสามารถรับแรงธารของดินฐานรากน้อยกว่าความเค้นจากน้ำหนักของดินถมหรือโครงสร้างที่ตั้งอยู่ ดังนั้น จะบรรทุกน้ำหนักทั้งหมดคราวเดียว พร้อมกันบนดินก็ทำไม่ได้ จึงต้องเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะ ๆ ยกตัวอย่างเช่น ดินมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การอัดตัวโดยใช้ท่อทราย



รูปที่ 3.7 โค้งการอัดตัวโดยใช้ท่อทราย (โดยทากากิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิสัยสามารถรับแรงธารพอที่จะรับน้ำหนักคิดเป็น 1/3 ความสูงของดินถม ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการบรรทุกน้ำหนักแต่ละครั้ง ก็หาได้โดยการแบ่งการถมดินเป็น 3 ระยะ ๆ ละ 1/3 ของความสูงของดินถมแล้วหา d_e หรือ n ให้การอัดตัวของดินประมาณ 80-90% เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว

โดยที่ ค่า d_e นั้นใช้ในการคำนวณการอัดตัวในแนวราบ ฉะนั้นจึงคำนวณหา t โดยใช้ค่า T_h ที่ U_h = 80% หรือ U_h = 90% ตามสมการ (3.2) และรูปที่ 3.7 โดยสมมติว่า d_e ก่อนแล้วหาค่า d_e โดยการลองดูจนกระทั่ง f ที่คำนวณได้อยู่ภายในกำหนดเวลาการทำงานที่ต้องการ ในกรณีนี้อาจใช้ค่า C_v ที่ได้จากการทดสอบการอัดตัวของดินแทนค่า C_h ได้ในการคำนวณ

เมื่อหา d_e ได้แล้ว ในลำดับต่อไปก็จะต้องประมาณว่า ความแข็งแรงของดินเหนียวจะเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงใด เมื่อได้มีการอัดตัว 80 หรือ 90% ตามที่กำหนดไว้ ในขั้นที่ 2 นี้จะต้องหาน้ำหนักบรรทุกที่จะทำให้ดินมีความแข็งแรงเฉือนสูงขึ้น แล้วบรรทุกน้ำหนักนั้นบนชั้นดินอ่อนต่อไป

เนื่องจากระยะเวลาที่จะให้เกิดการอัดตัวตามสมการ (3.2) นั้น หาได้จาก d_e โดยไม่คำนึงถึงขนาดของน้ำหนักบรรทุก ถ้า C_h ไม่เปลี่ยนแปลง ฉะนั้นระดับชั้นของการอัดตัวที่ต้องการ จะเกิดขึ้นภายในเวลาของการบรรทุกน้ำหนักในขั้นที่ 1 ต่อจากนั้นให้ประมาณค่าความแข็งแรงเฉือนเฉลี่ยของดินฐานรากที่ได้รับน้ำหนักบรรทุกในขั้นที่ 2 เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาของการอัดตัวอีกครั้งหนึ่งและหาน้ำหนักบรรทุกในขั้นสุดท้าย

ถ้าน้ำหนักบรรทุกในขั้นสุดท้าย เท่ากับน้ำหนักบรรทุกรวม ก็สามารถกล่าวได้ว่าท่อทรายที่ทำไปแล้วนั้นใช้ได้ แต่ถ้าน้ำหนักบรรทุกไม่เท่ากับน้ำหนักบรรทุกรวม ก็ต้องเพิ่มขั้นตอนของการบรรทุกน้ำหนักมากกว่า 3 ขั้นและปรับค่า d_e เสียใหม่ ก่อนเริ่มงานในขั้นต่อไป

จากผลของการทดสอบการอัดตัวแบบไม่มีการระบายน้ำ ก็สามารถจะประมาณการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงเฉือนเฉลี่ยของดินฐานรากพร้อมทั้งอัตราของการอัดตัว ได้จากสมการต่อไปนี้

$$C_u/p = 0.25 \quad 0.35 \qquad (3.4)$$

$$C_u/p = 0.11 + 0.0037\, I_p \qquad (3.5)$$

เมื่อ C_u : ความแข็งแรงเฉือนของดินเหนียวที่ไม่มีการระบายน้ำ

p : น้ำหนักการอัดตัว

I_p : ดรรชนีสภาพพลาสติก (plasticity index)

รูปที่ 3.8 แสดงกรรมวิธีการทำท่อทรายแสดงภาพวิธีการตอก,วิธีฉีดน้ำ

3.9 <u>วิธีระบายใช้แผ่นกระดาษแข็ง วิธีระบายใช้แผ่นพลาสติก</u>(PVD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทั้งสองนี้อาศัยหลักการเดียวกับวิธีท่อทราย แต่ต่างกันที่ ในการทำให้เกิดการอัดตัวในชั้นดินอ่อน แทนที่จะใช้ทรายในท่อระบาย แต่ใช้กระดาษแข็งหรือไวนิล คลอไรด์ เป็นวัสดุที่ช่วยให้น้ำระบายได้แทน

วิธีใช้กระดาษแข็งที่ได้รับการพัฒนาจากห้องปฏิบัติการของสวีเดน วัตถุประสงค์ก็เพื่อปรับปรุงดินฐานรากโดยตอกกระดาษแข็งมีร่องระบายดังแสดงในรูปที่ 3.9 ลงไปในชั้นดินอ่อนตามวิธีที่แสดงในรูปที่ 3.10

โดยที่กระดาษแข็งที่ใช้เป็นวัสดุระบายน้ำนั้นมีคุณภาพแน่นอน เนื่องจากผลิตจากโรงงาน และมีน้ำหนักเบา ขนย้ายสะดวก ฉะนั้นเครื่องกลในการกดแผ่นกระดาษแข็ง ถึงแม้จะมีขนาดเล็กก็สามารถใช้ได้ วิธีการนี้จึงนิยมใช้กับดินอ่อนมาก ๆ แม้แผ่นกระดาษแข็งจะมีสัมประสิทธิความซึมได้ระหว่าง $k = 10^{-3} - 10^{-10}$ ซม./วินาที ซึ่งเลวกว่าทราย ที่สำคัญก็คือ แผ่นกระดาษแข็งในสภาพเปียก จะอ่อนและอาจขาดออกจากกัน และถ้ามีอุปสรรคอยู่ในชั้นดิน จะทำให้การทำงานยากลำบาก มีปัญหามากกว่าการระบายแบบท่อทราย

เพื่อขจัดข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่ประสบในวิธีใช้แผ่นกระดาษแข็ง จึงได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยยางสังเคราะห์ขึ้น มีชื่อเรียกว่า แผ่นพลาสติก

ในการออกแบบการระบายน้ำด้วยแผ่นกระดาษแข็งหรือแผ่นพลาสติกที่มีขนาดมาตรฐานดังแสดงในรูปที่3.11 โดยทั่วไปจะสมมติว่าเป็นการระบายแบบทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 ซม. กล่าวอีกนัยหนึ่งในการออกแบบจะไม่เกิดปัญหาแต่อย่างใด ถ้าสมติให้ $d_w = 5$ ซม. ตามวิธีการออกแบบท่อทรายที่กล่าวมาแล้วในตอนต้น

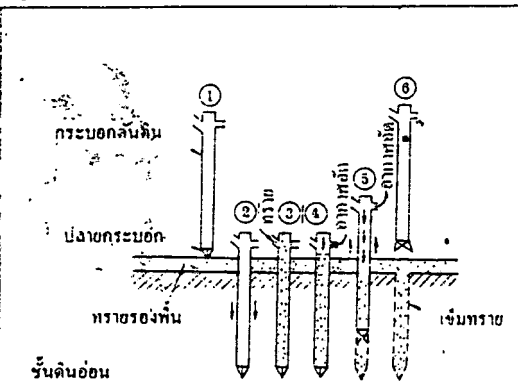
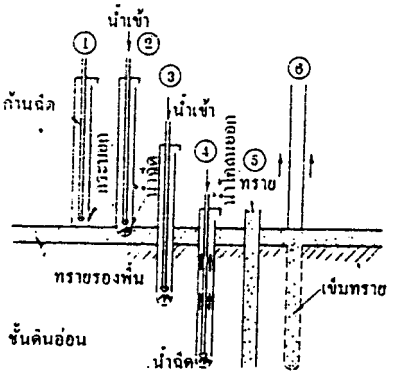
3.10 วิธีผสมในชั้นดินดินลึก

วิธีนี้ใช้ตัวเสถียรคือปูนดิบ หรือซีเมนต์ กวนผสมกับดินเหนียวในที่ เพื่อให้เกิดการอัดตัวของดิน

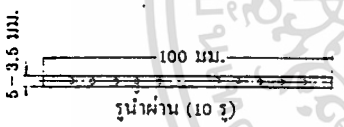
การผสมในชั้นดินลึกโดยการใช้ปูนดิบนั้น อาศัยหลักการดูดกลืน ทำให้เกิดความร้อนและการขยายตัว ยังผลให้เกิดการผสมระหว่างปูนดิบ และดินคล้ายกับวิธีเข็มปูนขาว

การปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินอ่อนบริเวณก้นทะเล สามารถจะทำได้ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ก่อนอื่นใช้ใบพัดหมุนกวนดินลงไปถึงระยะลึกตามที่กำหนด ต่อจากนั้นใส่ปูนดิบลงไปตามท่อดังแสดงในรูปที่ 3.12 ขณะที่ปูนดิบจำนวนที่ต้องการไหลลงไปใต้ดิน ก็หมุนใบพัด ปูนดิบก็จะถูกกวนและผสมกับดินเหนียว เสร็จแล้วดึงเครื่องมือขึ้น สำหรับใบพัดที่ใช้อาจเป็นชนิด 2 แกน มีใบพัด 2 ใบ หรือชนิด 4 แกน มีใบพัด 4 ใบก็ได้

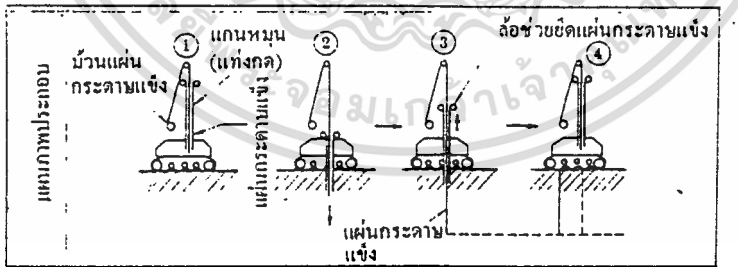
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนการประกอบ		
ลำดับการ	อันดับการทำเข็มทรายโดยใช้กระบอกดันดิน) ① ปิดปลายกระบอก แล้วปรับให้เข้าที่ ② ถอกระบอกลงโดยใช้การสั่น ③ ใส่ทรายลงในกระบอก ④ ⑤ เมื่อใส่ทรายเต็มแล้วก็อัดอากาศ ⑥ ลิ่งกระบอกขึ้น	(อันดับการทำเข็มทรายโดยใช้น้ำฉีด) ① ปรับกระบอกให้เข้าที่ ② ③ ใส่ท่อน้ำฉีดลงในกระบอก ④ เมื่อกระบอกได้จมลงไปถึงระยะหนึ่ง ดินในกระบอกจะถูกน้ำฉีดกลายเป็นน้ำโคลนพุ่งออกไป ⑤ เติมทรายให้เต็มกระบอก ⑥ ลิ่งกระบอกขึ้น
ลักษณะพิเศษ	(1) เนื่องจากมีการถอกระบอก ผลที่ได้สู้วิธีสั่นไม่ได้	(1) เนื่องจากมีการระบายน้ำโคลนออกอย่างต่อเนื่อง ดินฐานรากจะถูกกระทบกระเทือนน้อยมาก (2) ในการนำน้ำโคลนออก จะต้องมีการประดิษฐ์เครื่องมือช่วย

รูปที่ 3.8 วิธีทำท่อทราย

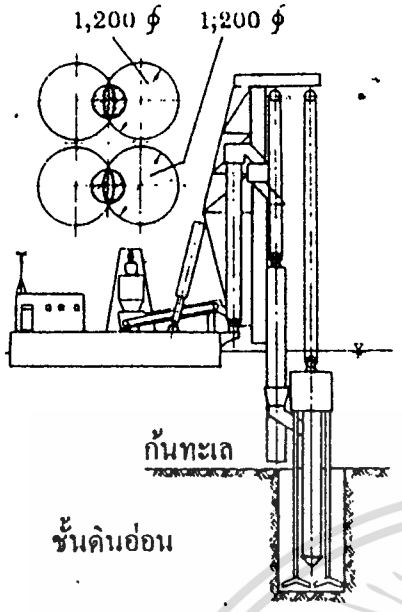


รูปที่ 3.9 รูปตัดของกระดาษแข็ง

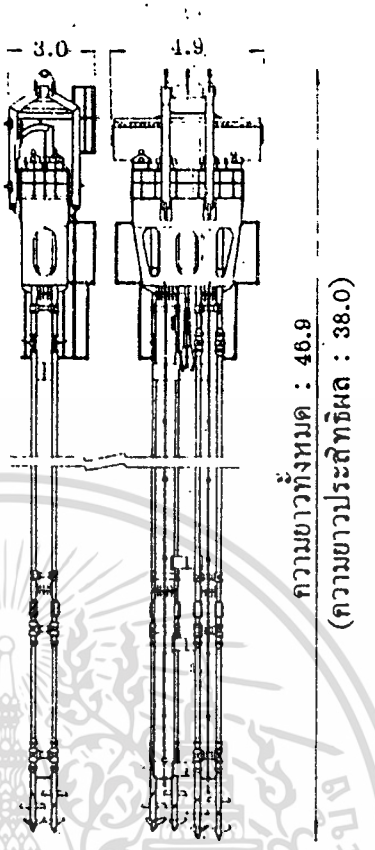
แผนการประกอบ	
ลำดับการ	(อันดับของการฝังแผ่นกระดาษแข็ง) ① ดึงแผ่นกระดาษแข็งจากม้วน ใส่ลงในแกนหมุนโดยใช้ลูกรอก ② เลื่อนแกนหมุนที่มีแผ่นกระดาษแข็งอยู่ภายในลงไปในดินฐานราก ③ ปล่อยแผ่นกระดาษแข็งไว้ในดินแล้วลิ่งแกนหมุนขึ้น ④ ใช้เครื่องตัด ตัดแผ่นกระดาษแข็ง
ลักษณะพิเศษ	(1) แผ่นกระดาษแข็งมีความสม่ำเสมอดี (2) อัตราเร็วในการปฏิบัติงานสูง (3) การตัดแผ่นกระดาษแข็งบางครั้ง อาจทำให้วิสัยสามารถการระบายน้ำลดลง

รูปที่ 3.10 การฝังแผ่นกระดาษแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

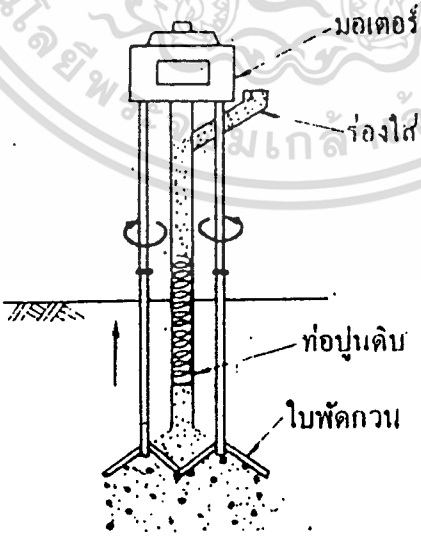


(ก) เครื่องกลใช้ผสมดินเป็นชั้น



(ข) บริภัณฑ์ใช้ผสมดินที่ระยะลึก

รูปที่ 3.11



รูปที่ 3.12 การผสมและการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอาศัยวิธีทำอย่างเดียวกัน อาจใช้น้ำปูนซีเมนต์ หรือปูนสอ แทนปูนดิบก็ได้ ในกรณีที่ใช้น้ำปูนซีเมนต์ เป็นตัวทำให้เกิดการแข็งตัวแล้ว ไม่เพียงแต่ดินเหนียวเท่านั้น แม้แต่ดินทรายหรือดินอินทรีย์ก็ใช้ได้ผล

วิธีการนี้ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อปรับปรุงชั้นดินอ่อนของพื้นที่ชายทะเลให้เกิดประโยชน์ แต่อย่างไรก็ดีเท่าที่ทำมา ยังไม่ค่อยประสบผลสำเร็จในงานขนาดใหญ่ และยิ่งกว่านั้นพฤติกรรมอันแท้จริงหลังจากทำเสร็จแล้วก็ยังไม่ได้รับการยืนยันสำหรับผลระยะยาว คงจะต้องใช้เวลานานพอสมควร ที่จะหาวิธีปฏิบัติในการออกแบบที่ยอมรับในแง่ของปฐพีกลศาสตร์

3.11 <u>การเพิ่มเสถียรภาพด้วยปูนขาวหรือซีเมนต์</u>

ปูนขาวที่ใช้เป็นตัวทำให้เสถียร ในการเพิ่มเสถียรภาพของชั้นดินตื้นนั้น ใช้ได้ดีกับดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่ ส่วนซีเมนต์ใช้ได้ผลกับดินทราย หรือกรวด ที่มีดินเนื้อละเอียดเป็นจำนวนน้อย

สัดส่วนขนาดเม็ดคละที่มีที่มีประสิทธิผลมากที่สุดในการเพิ่มเสถียรภาพโดยใช้ปูนขาว ได้แก่การแจกแจงขนาดของดินทราย หรือกรวดที่ผ่านตะแกรง 74 ระหว่าง 20-30% แต่ในการเพิ่มคุณภาพของดินเหนียวที่มีเนื้อละเอียดกว่าข้างต้น โดยเฉพาะ ดินจากเถ้าภูเขาไฟ ก็คาดว่าเป็นไปได้

ปูนขาวโดยปกติมักใช้ในสภาพเป็นผงหรือเป็นเม็ดมากที่สุด และไม่ใคร่ใช้ในสภาพผสมน้ำแล้วนอกจากในกรณีพิเศษ

วัสดุที่ได้จากการผสมซีเมนต์กับดินตามธรรมชาติโดยทั่วไปจะเรียกว่าดินผสมซีเมนต์คือใช้ซีเมนต์เป็นตัวทำให้เสถียร

ในการเพิ่มเสถียรภาพของดินด้วยซีเมนต์นั้น ก่อนที่จะออกแบบหาสัดส่วนที่ใช้ผสมตะต้องสำรวจความชื้นในดิน ขนาดเม็ด และความแนบนัยของดิน แล้วปรับขนาดของดินที่ใช้เป็นพื้นถนน ถ้าจำเป็นจากนั้นจึงหาปริมาตรของซีเมนต์ ที่จะใช้ผสม จากความแข็งแรงอัดแบบไม่จำกัดของตัวอย่างที่แช่น้ำไว้ตัวอย่างเหล่านี้ได้จากการบดอัดดินที่ผสมซีเมนต์ด้วยปริมาตรต่าง ๆ กัน 5 ตัวอย่าง โดยใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะที่สุดผสม

ในกรณีที่ใช้ปูนขาว การหาปริมาตรของปูนขาวที่จะใช้ผสมเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของดินนั้นให้ใช้หลักการอย่างเดียวกับการใช้ซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องมีการปรับขนาดของดิน แต่ถ้าเป็นดินตามธรรมชาติแล้ว จะต้องหาปริมาตรของปูนขาว หลังจากที่ได้ทดสอบปริมาณน้ำ หรือการบดอัดตามสภาพในสนามแล้ว

ปริมาตรของปูนขาวที่ใช้ผสมจะแปรไปตามเนื้อดิน ตามมาตรฐานที่กำหนดขึ้นให้ใช้ประมาณ 2-5% ในดินทรายและดินที่มีสมบัติคล้ายกรวด, ประมาณ 4-8% ในทรายแป้งและดินเหนียว, ประมาณ 6-10% ในดินเหนียวที่มีสมบัติคล้ายเถ้าภูเขาไฟ และประมาณ 4-12% ในดินเหนียว ที่อาจมีการเยือกแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมปูนขาว หรือซีเมนต์นั้น มีการปฏิบัติอยู่ 3 วิธี

1. วิธีผสมรวม : ผสมดินกับตัวทำให้เสถียร ณ ที่แห่งเดียวกัน แล้วขนย้ายไปใช้ในที่ต่าง ๆ กัน ในวิธีนี้ จะต้องใช้เครื่องผสมด้วย

2. วิธีผสมบนดิน : ผสมดินกับตัวทำให้เสถียรในบ่อยืม แล้วขนย้ายและนำไปใช้งาน บางวิธีใส่ตัวทำให้เสถียรลงไปในดินด้วยการตอกเหมือนเสาเข็ม ให้ทำปฏิกริยากับดิน บางวิธีโรยทำให้เสถียรบนดิน แล้วคลุกกับดิน

3. วิธีผสมในที่ : เป็นวิธีที่เกลี่ยดินให้แผ่ออกไปกว้าง ในบริเวณที่ก่อสร้าง และโรยตัวทำให้เสถียรบนผิวดิน แล้วผสม บางวิธีใช้คราดดินในที่แล้วผสมกับตัวทำให้เสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

LIME STABILIZATION

4.1 วัตถุประสงค์ในการใช้ปูนขาวผสมเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของดิน

MATEOS (1964) อธิบายว่า การใช้ปูนขาวผสม เพื่อยังประโยชน์แก่เสถียรภาพของดินนั้นมีมาช้านานแล้ว ตั้งแต่สมัย Roman ก็เคยใช้ปูนขาวหรือใช้ปูนขาวกับวัสดุ Pozzolan ผสมกับดินในการทำถนน และหากจะเทียบราคาที่ใช้ในการปรับปรุงเสถียรของดินโดยปูนขาวจะเป็นวิธีที่มีราคาถูกที่สุด

MITCHELL (1982) อธิบายว่า วัตถุประสงค์ทั่วไปในการนำสารเคมีผสมลงไปในดิน ก็เพื่อการปรับปรุงเสถียรภาพดิน อันได้แก่ การควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาตรการปรับปรุงคุณสมบัติหรือพฤติกรรมของ Stress - Strain หรือกำลังรับน้ำหนัก การควบคุมการไหลซึมผ่านได้ของน้ำ และการปรับปรุงความทนทานต่อการกัดกร่อน แตกหักของดิน

การควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดิน ก็คือ การควบคุมการบวมตัวหรือ หดตัวของดิน สามารถทำได้โดยการใส่สารที่มี Hydration Cation ต่ำ ๆ เช่น Calcium, Magnesium, Aluminium หรือ Iron เข้าไปแทนที่สารประกอบประเภท sodium ซึ่งมี Hydration Cation สูง ๆ ที่มีอยู่ในดิน หรือการทำให้เกิดปฏิกริยาที่จะทำให้เกิดสารเชื่อมยึดเม็ดดิน (Cementitious) ขึ้น และโดยการใช้สารเคมีที่ช่วยป้องกันการซึมของน้ำ

การที่จะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินเพิ่มขึ้น หรือทำให้ดินแข็งแรงขึ้น ก็อาจทำได้โดยการลดช่องว่างในเม็ดดิน การทำให้เม็ดดินเชื่อมยึดติดกัน หรือการทำให้อนุภาคดินเกิดการรวมตัว (Flocculation) ให้เป็นก้อนโตขึ้นหรือป้องกันไม่ให้ดินเกิดการบวมตัว

ส่วนการลดความซึมน้ำได้ของดิน ก็ทำได้โดยการปรับปรุงช่องว่างในเม็ดดินหรือการทำให้ขนาดของมวลดละของดินดีขึ้น

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการปรับปรุงคุณภาพของดินระหว่างดินที่มีอินทรีย์วัตถุ และอนินทรีย์วัตถุผสมอยู่เป็นส่วนใหญ่นั้น โดยทั่วไปจะแตกต่างกันมาก ดินที่มีอินทรีย์วัตถุจะให้กำลังรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และการเพิ่มขึ้นของกำลังรับน้ำหนักจะหยุดลงเมื่อระยะเวลาหนึ่งผ่านไป ซึ่งสารเคมีที่จะใช้ผสมลงไปในอินทรีย์วัตถุเหล่านี้ ได้แก่ Acrylamide, Resin, Polyurethanes, Polyester และวัตถุ Asphalt

คุณสมบัติของการผสมปูนขาวและซีเมนต์ลงไปในดินประเภทที่มีแร่ดินเหนียวมากๆ จะมีลักษณะคล้าย ๆ กัน เพราะเมื่อเกิดปฏิกริยาแล้วจะให้สารประกอบสุดท้ายเป็น Calcium Silicate Hydrates (CSH) โดยที่ปูนขาวจะทำปฏิกริยากับ Silica จากดินเหนียวหรือจากวัสดุ Pozzolan ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินอันเป็นผลทำให้เกิดสารประกอบดังกล่าว ส่วนซีเมนต์จะมีสารประกอบ Silicates ในตัวของมันเองอยู่แล้ว ซึ่งเมื่อทำปฏิกริยาเคมีกับดินก็จะได้สารประกอบ Calcium Silicate Hydrates โดยตรง

ปฏิกริยาช่วงสั้น ๆ ที่เกิดขึ้น เมื่อนำปูนขาวหรือซีเมนต์ผสมลงไปในดินประกอบด้วยการแทนที่หรือการแลกเปลี่ยน Valency โดยวิธีการดูดกลืน Cation รอง Calcium และเม็ดดินจะดูดซึมเอา $Ca(OH)_2$ เข้าไว้ รวมทั้งการเกิดสารประกอบที่ทำให้เกิดการเชื่อมยึดติดกันของเม็ดดิน (Cementitious) และเกิดสภาพรองความเป็นด่าง เพิ่มมากขึ้นจากสภาวะธรรมชาติในของเหลวที่ผสมอยู่

ส่วนปฏิกริยาที่เกิดต่อเนื่องในระยะยาวนั้น เนื่องด้วยสภาพความเป็นด่างของของเหลวในโพรงดินจะทำให้เกิดการแยกตัวของเม็ดดินเหนียว และเกิดการผลิตสารประกอบประเภท Calcium Silicate Hydrates ที่ช่วยในการเชื่อมยึดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปฏิกริยานี้จะเกิดต่อเนื่องกันไปเป็นระยะเวลานานหลาย ๆ ปี

4.2 <u>ประเภทของดินผสมปูนขาว</u>

การปรับปรุงเสถียรภาพของดินโดยใช้ปูนขาว สามารถจะแยกออกเป็น 2 ลักษณะ INGLES และ METCALF (1972) ได้อธิบายว่า การที่จะเรียกว่าเป็นลักษณะใดนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุหลักคือ ปูนขาว นั้นคือเมื่อใช้ปูนขาวเป็นตัวเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินก็จะเรียกว่า Lime Modification ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป เช่น ลดความเป็นพลาสติกของดิน ช่วยให้เกิดความสะดวกในการทำงาน และเพิ่มขนาดของมวลคละของดิน

ส่วนการใช้ปูนขาวเป็นหลักสำคัญในการช่วยให้ดินเกิดความแข็งแรงและคงทนถาวรต่อการกัดกร่อนก็เรียกว่า Lime Stabiliaztion ซึ่งจะช่วยให้ดินนั้นเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนัก มีความแข็งแรงมากขึ้น และลดอัตราการบวมตัว ความแตกต่างระหว่าง Lime Modification และ Lime Stabilization ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

INGLES และ METCALF (1972) ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับปริมาณปูนขาวที่จะใช้ผสมกับดินทั้งแบบ Lime Modification และ Lime Stabilization ดังตารางที่ 4.2

Mc. DOWELL (1966) ได้เสนอแผนภูมิที่ช่วยให้ทราบประมาณของปูนขาวที่จะผสมลงไปในดินเหนียวที่มีค่า Plasticity Index ต่าง ๆ อย่างคร่าว ๆ ดังรูปที่ 4.1

4.3 <u>ปูนขาว</u>

4.3.1 <u>ประเภทของปูนขาวและกรรมวิธีการผลิต</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 วัตถุประสงค์ของการผสมปูนขาวลงไปในดิน

(INGLES and METCALF , 1972)

SUGGESTED CRITERIA FOR SOIL-LIME		
Process	**Purpose**	**Requirements**
Lime "modification"	Improvement of access on wet site Improvement of workability and pulverization	Large increase in plastic limit Rapid increase in bearing strength Large and rapid decrease in plasticity Increase in proportion passing 3/16 in sieve
Lime "stabilization"	Improvement of subgrade material Improvement of base material	Increase in bearing capacity Decrease in swell Decrease in plasticity Decrease in swell Increase in strength or bearing capacity (min. CBR 80)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ส่วนผสมปูนขาวที่สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการพัฒนาคุณภาพของดิน

(INGLES and METCALF , 1972)

SUGGESTED LIME* CONTENTS		
Soil Type	**Content for Modification**	**Content for Stabilization**
Fine crushed rock†	2 - 4 per cent	not recommended
Well graded clay gravels	1 - 3 per cent.	3 per cent
Sands††	not recommended	not recommended
Sandy clay	not recommended	5 per cent
Silty clay	1 - 3 per cent	2 - 4 per cent
Heavy clay	1 - 3 per cent	3 - 8 per cent
Very heavy clay	1 - 3 per cent	3 - 8 per cent
Organic soils	not recommended	not recommended

* Hydrated lime $Ca(OH)^2$ as a percentage of dry weight of soil.

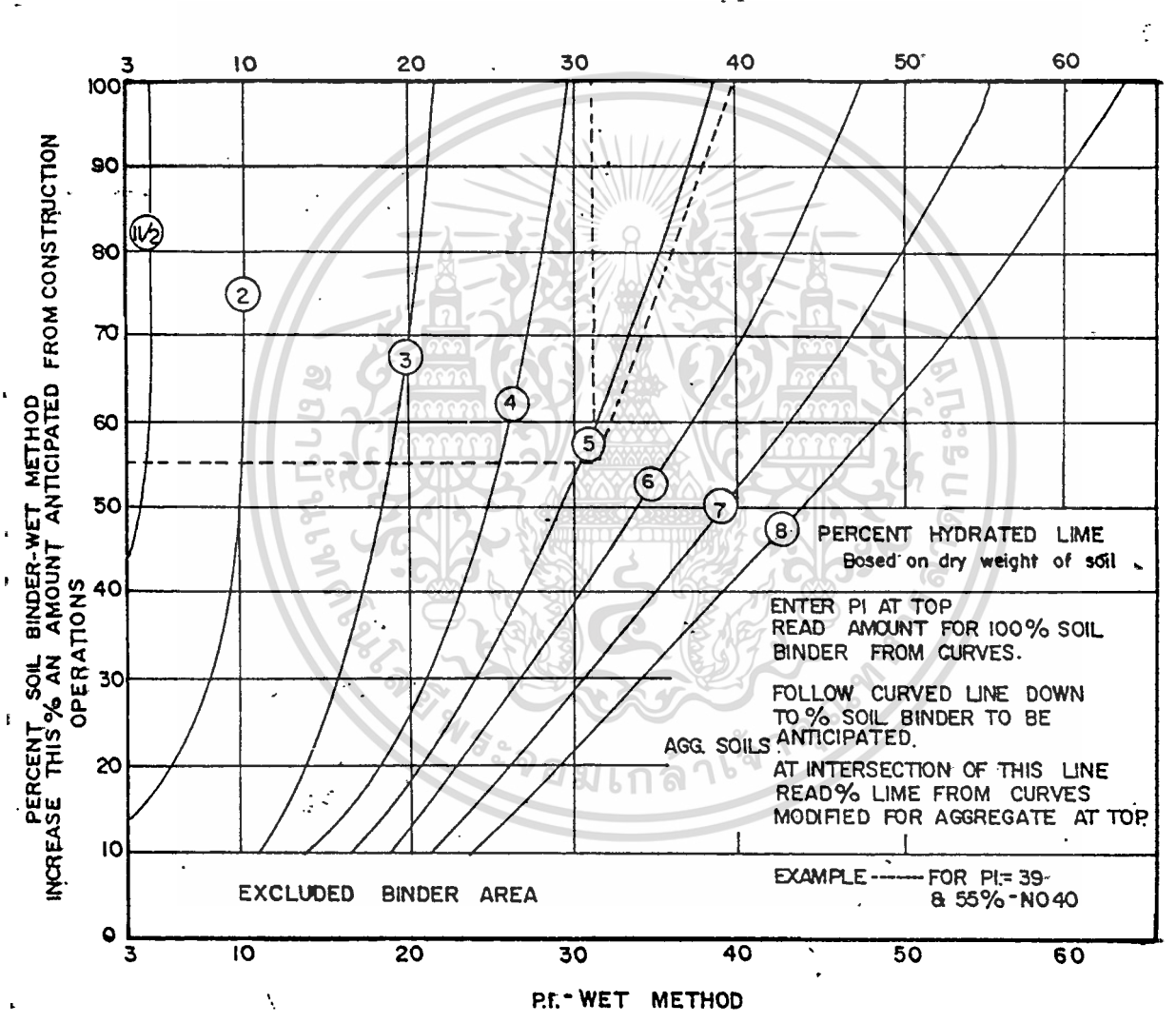
† Lime only effective if fines are plastic.

†† Lime used in bitumen stablization for promotion adhesion: Quicklime in loessal materials

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงปริมาณปูนขาวที่พอเหมาะเพื่อการนำมาปรับปรุงคุณภาพดินที่นำมาเป็นวัสดุ Subgrade และ Base

(Mc.DOWELL , 1966)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปูนขาว หมายถึง อ๊อกไซด์ของแคลเซียม (CaO) เนื่องจากพฤติกรรมและส่วนประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ของปูนขาวจะแตกต่างกันไปหลายอย่าง ดังนั้นจึงมีวิธีจำแนกปูนขาวออกเป็นหลายชนิด ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

4.3.1.1 การจำแนกตามประเภทของวัตถุดิบ

RUENKRAIRERGSA (1982) ได้อธิบายว่า ปูนขาวคือ ผลผลิตที่เกิดจากการเผาวัตถุที่ประกอบด้วย Calcum (Calcination of Calcareous Materials) เช่น Limestone, Chalk หรือ Shell และได้แบ่งประเภทของปูนขาวตามวัตถุดิบที่นำมาผลิตออกเป็น 2 ประเภทคือ

(1) Calcitic หรือ High Calcium Lime ได้จากการเผาวัตถุดิบประเภทแคลเซียม (calcareous Material) หรือมี Calcium Carbonate (CaCO3) เป็นส่วนประกอบร้อยละ 95-99

(2) Dolomitic Lime ได้จากการเผาวัตถุดิบที่ประกอบด้วย Magnesium Carbonate (MgCO3) ซึ่งก็คือ วัตถุจำพวก Dolomitic Limestone หรือ Dolomite เป็นส่วนประกอบร้อยละ 30-40

4.3.1.2 การจำแนกตามวิธีการผลิต

RUENKRAIRERGSA (1982) ได้แบ่งปูนขาวออกตามกรรมวิธีการผลิต ได้แก่

(1) Quicklime คือ ผลผลิตจากการเผาให้วัตถุดิบประเภทแคลเซียมแตกตัวออกเป็นผุยผง ซึ่งมี CaO เป็นส่วนประกอบสำคัญ และอาจมี MgO ประกอบด้วยก็ได้ซึ่งหากมี CaO ในอัตราสูงก็เรียกว่า High Calcium Quicklime แต่หากมี MgO ประกอบอยู่ด้วยในอัตราสูง (ซึ่งก็ยังคงมี CaO ประกอบค้ายเป็นจำนวนมาก) ก็เรียกว่า Dolomitic Quicklime

วิธีการผลิตปูนขาวแบบ Quicklime ก็คือการเผา Limestone ที่ทำให้เป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย โดยพลังงานความร้อนที่เกิดจากแก๊ซ ถ่านหิน หรือน้ำมัน เพื่อขจัด Carbon dioxide (CO2) ที่มีอยู่ในหิน ซึ่งเป็นวัตถุดิบ และให้เหลือเพียงแต่ Calcium Oxide (CaO) ผลของการเผาหินปูนจะทำให้เกิด Calcium Oxide ตามสมการเคมีที่แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนคือ

$$21\ K\ Cal + CaCO3 \xrightarrow{1650^{0}\ F} CaO + CO2$$

จากสมการเคมีข้างต้น Limestone จะแตกตัวออกเป็นผุยผง ได้เมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 1650 F (900 C) ซึ่งจะทำได้ CaO และ CO2 แต่ค่าบางครั้งอาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 2000 F (1100 C) จึงจะทำให้วัตถุดิบประเภท Calcitic Limestone แตกตัวดังกล่าวส่วน Dolomitic Quicklime ก็ได้มาจากการเผา Dolomitic Limestones ที่อุณหภูมิ 1350(750ซึ่งจะได้ Mgo และ Co2 แต่อาจใช้อุณหภูมิสูงถึง 2000 F (1100 C) เพื่อทำให้เกิดการแยกตัวของ CO2 ที่สมบูรณ์เต็มที่ตามสมการเคมี

บทคัดย่อนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$CaMg\ (CO_3)_2 \xrightarrow{\text{---------}} MgO + CaCO_3 + CO_3$$

$$MgO + CaCO_3 \xrightarrow{\text{----------}} MgO + CaO + CO_2$$

คุณภาพของปูนขาวชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้และช่วงเวลาในการเผา ซึ่งอาจแบ่งปูนขาวออกเป็น 2 แบบ คือ Hard Burning และ Soft Burning โดยที่ Hard Burning Lime จะมีความหนาแน่นมากกว่าและเกิดปฏิกริยาได้น้อยกว่า Soft Burned Lime เพราะกากที่เกิดจากการเผาไหม้แตกต่างกัน HERRIN และ MITCHELL (1961) อธิบายว่า ถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงเกินกว่าความจำเป็นที่ต้องการในการผลิตปูนขาว จะได้ปูนขาวที่เรียกว่า Overburned Quicklime ซึ่ง Dolomitic Overburned Quicklime จะทำให้เกิดปฏิกริยาที่มากกว่า High Calcium Overburned Quicklime แต่ถ้าการเผาวัตถุดิบเพื่อผลิตปูนขาวใช้อุณหภูมิต่ำกว่าพอดีจะทำให้เหลือวัตถุดิบที่ยังเผาผลาญไม่หมด ซึ่งเป็นวัสดุไม่พึงประสงในการปรับปรุงคุณภาพของดิน

(2) Hydrated Lime เป็นปูนขาวที่เกิดจากการนำเอา Quicklime มาทำปฏิกริยากับน้ำหรือเรียกว่าเกิดปฏิกริยา Hydration ซึ่ง HERRIN และ MITCHELL (1961) ได้อธิบายว่า Dolomitic Quicklime จะ ไม่เกิดปฏิกริริยา Hydration อย่างสมบูรณ์เหมือนกับ High Calcium Quicklime เนื่องจาก Magnesium Oxide(Mgo) จะยังคงรักษาสภาพเดิมไว้ได้อย่างอิสระในสภาวะปกติ เพื่อให้การเข้าใจได้ง่ายขึ้น อาจจำแนก Hydrated Lime ออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของการเกิดปฏิกริยา Hydration ดังนี้

Calcitic Quicklime Lime ($Ca(OH)_2$) คือการเกิดปฏิกริยา Hydration ของ High Calcium Quicklime Normal Hydrated Lime หรือ Dolomitic Monohydrated Lime ($Ca(OH)_2+MgO$) ได้จากการทำปฏิกริยา Hydration ของ Dolomitic Quicklime ภายใต้ความดันของสภาวะบรรยากาศปกติ Pressure Hydrated Lime หรือ Dolomitic Dihydrated Lime ($Ca(OH)_2+Mg(OH)_2$) ได้จากการทำปฏิกริยา Hydration ของ Dolomitic Quicklime ภายใต้ความดันที่มากกว่าสภาวะปกติ เพื่อพิจารณาคุณสมบัติทางฟิสิคส์ของ High Calcium Lime และ Dolomitic Monohydrated Lime แล้วควรจะแบ่งเป็นชนิด N (Type N) หรือ Normal Hydrated Lime ส่วน Dihydrated Lime นั้นควรแบ่งเป็นชนิด S (Type S) หรือ Special Hydrated Lime

(3) Hydraulic Hydrated Lime WANG, DAVIDSON, ROSAUER และ MATEOS (1962) กล่าวว่า Hydraulic Hydrated Lime คือ Hydrated Cementitious Compound ที่จะเป็นผลผลิตจากการเผา Lime Stone ซึ่งประกอบด้วย alumina และ Silica ร้อยละ 15-20 ในอุณหภูมิที่เพียงพอที่จะให้ CaO ออกมาทำปฏิกริยา Hydration ไปพร้อม ๆ กันในช่วงเริ่มแรกเพียงระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้นและเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาดังกล่าวแล้วก็จะทำให้เกิด Unhydrated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lime และจะได้ Calcium Silicate (CS) ในสภาพของ Unhydrated Condition ที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง ซึ่ง Calcium Silicated นี้มีพฤติกรรมอยู่ระหว่างปูนขาวและปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

RUENKRAIRERGSA (1982) High Calcium Hydraulic Hydrated Lime จะประกอบด้วย Mgo น้อยกว่าร้อยละ 5 ในขณะที่ High Magnesium Hydraulic Hydrated Lime จะประกอบด้วย Mgo มากกว่าร้อยละ 5

HERRIN และ MITCHELL (1961) ได้แสดงคุณสมบัติของปูนขาวบริสุทธิ์หรือตามทฤษฎี ดังตารางที่ และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ปูนขาวในท้องตลาด ดังตารางที่ 4.3

GILLOTT (1968) กล่าวว่าปูนขาวที่ผลิตขึ้นโดยการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ๆ เมื่อนำไปใช้งานจะก่อให้เกิดปฏิกริยาต่าง ๆ มากกว่าปูนขาวที่ผลิตขึ้นโดยการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า บางครั้งจะเรียกปูนขาวที่ผลิตจากการใช้อุณหภูมิสูงกว่าว่า Hard Burned Lime และที่ผลิตจากอุณหภูมิต่ำกว่าว่า Soft Burned Lime Quicklime ที่ผลิตจากการเผาที่คุณหภูมิสูงนั้น จะทำให้ผลผลิตที่ได้มีความหนาแน่นมาก ความพรุนน้อย ขนาดของผลึกโตขึ้นและลดพื้นที่ผิวของเม็ดวัสดุลง GILLOTT (1968) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า Calcium Hydroxide หรือ Hydrated Lime นั้น เกิดจากปฏิกริยาของ Quick Lime กับน้ำ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นคือ การเกิดปฏิกริยา Exothermix และกระบวนการที่เรียกว่า Slaking การผลิต Hydrated Lime จะทำได้โดยให้ Calcium Oxide ทำปฏิกริยากับไอน้ำอันจะทำให้ได้ผลึกขนาดเล็ก ๆ ของ Calcium Hydroside (มีขนาดประมาณ 250 A) ปฏิกริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อผลิตปูนขาวได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.2

REMUS และ DAVIDSON (1961) ได้แสดงถึงส่วนประกอบแร่ธาตุของผลิตภัณฑ์ปูนขาวชนิด Hydrated Lime ดังปรากฏในตารางที่ 4.5

4.4 คุณสมบัติและโครงสร้างของดินผสมปูนขาว

ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเมื่อนำปูนขาวมาผสม กับดินนั้นมีหลายชนิดและรูปแบบทั้งที่เกิดขึ้นทันทีทันใด และเกิดขึ้นภายหลังในระยะเวลาต่าง ๆ กัน จนยากที่จะวิเคราะห์และแยกออกให้เห็นได้อย่างเด่นชัด HERRIN และ MITCHELL (1961) กล่าวว่าปฏิกริยาที่สำคัญ ๆ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อนำปูนขาวมาผสมกับดินเหนียวเปียกนั้น พอจะแยกออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

4.4.1 Ion Exchange และ Flocculation

เมื่อนำปูนขาวมาคลุกเคล้าให้เข้ากับดินเหนียวเปียก จะทำให้ดินเหนียวนั้นร่วนขึ้นสามารถที่จะแยกออกเป็นเม็ด ๆ ได้ง่าย ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ สืบเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ

4.4.1.1 เกิดแทนที่หรือแลกเปลี่ยนกันของประจุไฟฟ้าบวกระหว่างแคลเซี่ยมในปูนขาวกับธาตุโลหะอื่น ๆ ในดินโดย Cation ของแคลเซี่ยมที่แข็งแรงกว่าจะเข้าไปแทนที่ Ion ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาตุโลหะในดิน ซึ่งอ่อนแอกว่า เช่น โซเดียม ไฮโดรเจน ซึ่งปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดดิน (Clay Particle)

4.4.1.2 การจับตัวกันระหว่าง Cation ของแคลเซียมที่ผิวของเม็ดดิน โดย Cation เหล่านี้จะเชื่อมประสานโยงใยกันจนปกคลุมเม็ดดิน ทำให้ Ion อื่น ๆ ที่มีอยู่ที่ผิวของเม็ดดินเคลื่อนที่ห่างออกไป พร้อม ๆ กับน้ำที่อยู่ในชั้น Double Layer ทำให้เม็ดดินเข้าใกล้กันและมีน้ำภายในเม็ดดินลดน้อยลง

RUENKRAIRERGSA (1982) อธิบายว่าเมื่อมีการแลกเปลี่ยน Ion นั้น Ion ของแคลเซียมที่มีอยู่ในปูนขาวเมื่อผสมลงในดิน จะเข้าไปเกาะติดอยู่รอบ ๆ เม็ดดิน ซึ่งจะได้สารใหม่คือ $Ca(OH)_2$ และผลักให้ Fe_2O_3, AL_2O_3 และ SiO_2 เคลื่อนที่ห่างออกไปจากเม็ดดิน จากนั้นเม็ดดินก็จะเกิดประจุไฟฟ้าที่มีแรงดึงดูดให้เม็ดดินเคลื่อนที่เข้าหากัน ข้อคิดเห็นดังกล่าวนี้สอดคล้องกับข้อคิดเห็นของ DIAMOND และ KINTER (1965) เพราะน้ำที่อยู่ในชั้น Double Layer บางลงนี่เองที่เป็นสาเหตุในเกิดการFlocculation และเกิดการรวมตัวกันของเม็ดดิน (Aggregate) ซึ่งเป็นการทำให้ Liquid Limit ลดลง Plasstic Limit เพิ่มขึ้นผลก็คือ Plasticity Index ลดลง

การเกิด Flocculation นั้น จะทำให้ขนาดของเม็ดดินโตขึ้นและเนื่องจากโครงสร้างของเม็ดดินเหนียวส่วนมากเป็นแผ่นบาง ๆ (Platy Structure) ซึ่งเมื่อเข้าใกล้กันอย่างอิสระจะวางตัวในลักษณะของ Random Arrangement ทำให้เกิดเป็นมุมหรือเหลี่ยมซึ่งจะเป็นผลดีต่อการต้านทานแรงกระทำจากแรงภายนอก

HERRIN และ MITCHELL (1961) อธิบายต่อไปว่าปฏิกริยาทั้งสองที่กล่าวมาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้า (Electrical Charges) ที่ผิวของเม็ดดินเหนียว และเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างเม็ดดินเหนียวจะขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าและขนาดของ Ion ดังนั้น Calcium Ion ที่เข้าไปเกาะยึดติดกับเม็ดดินเหนียวเข้าไปแทนที่ Ion ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินที่มีอยู่เดิม อันเป็นผลทำให้อนุภาคดินเหนียวเดิมรวมตัวกันเป็นก้อนดินที่มีขนาดใหญ่ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ดินเหนียวนั้นร่วนขึ้นนั่นคือ ความเป็นพลาสติค (Plasticity) ของดินลดลง

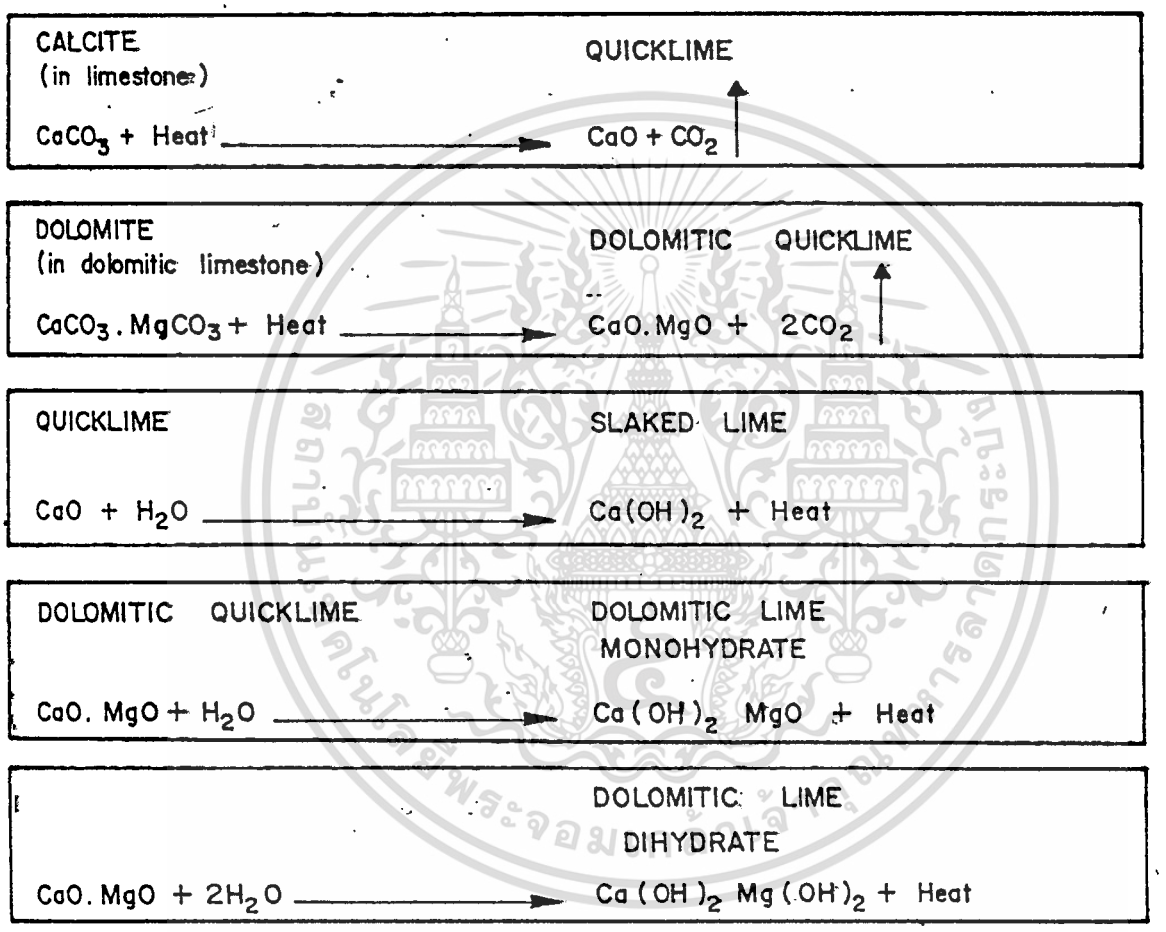
การเกิดปฏิกริยาที่กล่าวมานี้จะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดที่นำวัสดุทั้งสองชนิดมาผสมกัน และจะเกิดปฏิกริยาสมบูรณ์เต็มที่เมื่อเวลาผ่านไป 2-3 วัน หลังจากผสมผสานคลุกเคล้าให้เข้ากันดีแล้ว

เนื่องจากการเกิดปฏิกริยาเช่นนี้ จะทำให้ความเหนียวหนืดของดินเหนียวลดลง ซึ่งจะทำให้ดินหลวมขึ้นหรือร่วนขึ้น ดังนั้นปูนขาวจึงมีประโยชน์ที่จะนำมาใช้กับวัสดุที่มีความเป็นพลาสติกสูง ๆ และดินที่มีน้ำมาก ๆ เช่น ดินเหนียว ซึ่งยากต่อการนำมาใช้งานเพราะบดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงปฏิกริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อผลิตปูนขาวชนิดต่างๆ

(GILLOTT , 1968)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติของปูนขาวบริสุทธิ์

(HERRIN and MITCHELL , 1961)

PROPERTIES OF THEORECTICALLY PURE LIMES				
	Quicklime		Hydrated Lime	
Chemical Name	Calcia or Calcium Oxide	Magnesia or Magnesium Oxide	Calcium Hydroxide	Magnesium Hydroxide
Chemical formula	CaO	MgO	$Ca(OH)_2$	$Mg(OH)_2$
Crystalline form	Cubic	Cubic	Hexagonal	Hexagonal
Melting point	2570 C	2800 C	—	—
Decomposition point	—	—	580 C	345 C
Boiling point	2850 C	3600 C	—	—
Heat of solution at 18 C	+18.33 kg-cal	—	+2.79 kg-cal	+0.0 kg-cal
Molecular weight	56.09	40.32	74.10	5834
Specific gravity	3.40	3.65	2.34	2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ปูนขาวในท้องตลาด

(HERRIN and MITCHELL , 1961)

PROPERTIES OF COMMERCIAL LIMES		
(a) Quicklime		
Chemical Composition	High Calcium, %	Dolomitic, %
CaO	92.25 - 98.00	55.50 - 57.50
MgO	0.30 - 2.50	37.60 - 40.80
CO_2	0.40 - 1.50	0.40 - 1.50
SiO_2	0.20 - 1.50	0.10 - 1.50
Fe_2O_3	0.10 - 0.40	0.05 - 0.40
Al_2O_3	0.10 - 0.50	0.05 - 0.50
H_2O	0.10 - 0.90	0.10 - 0.90
Specific gravity	3.2 - 3.4	3.2 - 3.4
Specific heat at 100°F, Btu per lb	0.19	0.21
Bulk density (pebble lime), pcf	55 - 60	55 - 60

(b) Hydrates			
	High Calcium	Monohydrated Dolomitic	Dihydrated Dolomitic
Principal chemical composition	$Ca(OH)_2$	$Ca(OH)_2 + MgO$	$Ca(OH)_2 + Mg(OH)_2$
Specific gravity	2.3 - 2.4	2.7 - 2.9	2.4 - 2.6
Specific heat at 100°F, Btu per lb	0.29	0.29	0.29
Bulk density, pcf	25 - 35	25 - 35	30 - 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำบาก ซึ่งหากนำมาผสมกับปูนขาวจะทำให้การทำงานสะดวกขึ้น เพราะดินสามารถจะผึ่งให้แห้งได้เร็ว ไม่อมน้ำซึ่งจะทำให้บดอัดง่ายขึ้น

ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งก็คือ เมื่อต้องการที่จะผสมซีเมนต์หรือแอสฟัลส์กับดินเพื่อต้องการปรับปรุงเสถียรภาพของดินเหนียวหรือดินที่มีความเป็นพลาสติกสูง ๆ ให้มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นแต่ซีเมนต์หรือแอสฟัลส์จะให้ผลดีในการปรับปรุงเสถียรภาพของดินได้ก็ต่อเมื่อวัสดุดังกล่าวสามารถเข้าไปหุ้มหรือเกาะติดอยู่ที่เม็ดดินมากที่สุดเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปดินที่มี Liquid Limit มากกว่า 30 และมี Plasticity Index มากกว่า 12 จะแยกตัวหรือทำให้ร่วนเป็นผุยผงลำบาก ดังนั้นหากเราใช้ปูนขาวผสมลงไปก่อน ก็จะทำให้ดินเหล่านั้นเกิดร่วนขึ้น ทำให้ซีเมนต์และแอสฟัลส์เข้าไปเกาะติดหรือหุ้มที่ผิวของเม็ดดินได้สะดวกทำให้ดินมีคุณภาพที่ต้องการได้อย่างเต็มที่

4.4.2 Cementing Action

การเกิดสารเชื่อมยึด (Cementitious Materials) ขึ้นระหว่างเม็ดดิน เป็นปฏิกริยาเคมีที่สำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อนำปูนขาวมาผสมกับดินเหนียวการเกิดสารเชื่อมยึดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากแคลเซียมในปูนขาวทำปฏิกริยากับสารประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในดิน ทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสารประกอบของอลูมิเนียมและซิลิก้าที่มีอยู่ในดินจะทำปฏิกริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นสารประกอบใหม่ ได้แก่ Calcium Silicate Hydrate (CSH) และ Calcium Aluminate Hydrate (CAH) ดังสมการ

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

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

ซึ่งสารที่เกิดขึ้นใหม่ทั้ง 2 มีสภาพเป็น Gel คล้าย ๆ กับผลผลิตของการเกิดปฏิกริยา Hydration ของซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งเรารู้จักกันในชื่อ Tobermorite Gel (TROXELL และคณะ , 1968)

สารที่จะเกิดปฏิกริยากับปูนขาวแล้วได้สารประกอบชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติของการยึดเหนี่ยวเม็ดดินได้นี้ รู้จักกันในชื่อของ Pozzolans ดังนั้นชนิดและปริมาณของสาร Pozzolans จะเป็นตัวควบคุมปฏิกริยาเคมีดังกล่าว สาร Pozzolans อื่นๆ ที่พบได้แก่ Fly Ash, Vocanic Ash เป็นต้น

ปฏิกริยาที่ทำให้เกิดสารเชื่อมยึดระหว่างปูนขาวกับดินนี้จะเกิดได้ช้ากว่าการเกิดสารเชื่อมยึดที่เกิดจากปฏิกริยา Hydration ของซีเมนต์ อัตราการเกิดปฏิกริยานี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลาย ๆ อย่างได้แก่ ปริมาณและชนิดของวัสดุ Plzzolans ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว และสภาพภูมิอากาศตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกริยาที่เกิดสารประกอบ Aluminate โดยปรกติแล้วจะเกิดขึ้นทันทีและจะเกิดตรงบริเวณที่เป็นเหลี่ยมมุมของอนุภาคดิน สำหรับสารประกอบ Silicate จะเกิดปฏิกริยาที่ช้ากว่าแรงยึดเกาะที่เกิดจากสารประกอบ Silicate ดังนั้นกำบังรับแรงอัดหรือความแข็งแรงของดินเหนียวผสมปูนขาวจึงสามารถประเมินจากปริมาณของสารประกอบ Calcium Silicate Hydrates ที่เกิดขึ้นจากปฏิกริยาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

4.4.3 Carbonation

ปฏิกริยาเคมีชนิดนี้เกิดจากการดูดซับ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในอากาศเข้าไปทำปฏิกริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) ซึ่งมีอยู่ในปูนขาว จะได้รับสารประกอบแคลเซี่ยมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate)

การเกิดปฏิกริยาเคมีนี้ อาจเรียกได้ว่าเป็นกระบวนการสวนทางกับปฏิกริยาเคมีที่ผ่านมาทั้ง 2 ชนิด เพราะแคลเซียมคาร์บอเนต ที่เกิดขึ้นจะหน่วงการเกิดปฏิกริยาเคมีที่จะจะทำให้เกิดสารประกอบ Calcium silicate Hydrates ให้ช้าลง อันจะเป็นผลให้การพัฒนากำลังรับแรงอัดของดินเหนียวผสมปูนขาวช้าลงกว่าเกณฑ์ปกติได้

ดังนั้นจึงไม่เป็นที่พึงประสงค์ที่จะยอมให้เกิดปฏิกริยา Carbonation ขึ้นในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของดินโดยการผสมปูนขาว การป้องกันไม่ให้ปูนขาวเกิดปฏิกริยาเคมีนี้ก็คือต้องเก็บปูนขาวไว้ให้มิดชิดอย่าให้สัมผัสกับอากาศก่อนที่จะนำไปใช้งาน และยังพบว่าบริเวณโรงงานอุตสาหกรรมจะมีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าบริเวณที่เป็นย่านที่อยู่อาศัยหรือในตัวเมืองรวมทั้งในพื้นที่ที่เป็นป่าเขา เพราะฉะนั้นการใช้ปูนขาวในบริเวณที่เป็นแหล่งที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว ต้องเพิ่มความระมัดระวังโดยอย่าให้ปูนขาวสัมผัสกับอากาศนาน ๆ

DIAMOND และ KINTER (1965) กล่าวว่า นอกจากปฏิกริยาเคมีที่สำคัญ 3 ประการที่เกิดขึ้นระหว่างการนำปูนขาวมาผสมกับดินเหนียวดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีปฏิกริยาเคมีที่มีผลโดยตรงต่อการปรับปรุงคุณภาพของดินอีกอย่างหนึ่งคือ การเกิดปฏิกริยา Cementitious ทั้งแบบที่เกิดขึ้นทันทีทันใดและแบบที่ใช้เวลายาวนานและยังกล่าวอีกด้วยว่าสมมุติฐานที่ว่า Cation จะเข้าไปเบียดเสียดยัดเยียดกันรอบ ๆ เม็ดดินนั้นอาจไม่เป็นความจริง ซึ่งที่จริงแล้วรอบ ๆ เม็ดดินนั้นควรจะมี Calcium Hydroxide เพราะดินจะดูดสารดังกล่าวในขณะที่เกิดปฏิกริยา Flocculation ซึ่งทำให้เม็ดดินเข้าไปใกล้ชิดหรือสัมผัสกัน

การเกิดการเชื่อมติดกันอย่างทันทีทันใดนั้น ก็เนื่องมาจากการเกิดสาร Tetra Calcium Alumnate Hydrate โดยปฏิกริยาเคมีของ Al $(OH)_4$ ที่บริเวณขอบหรือมุมของเม็ดดิน ทำให้เกิดการดูดซับเอา Calcium Hydroxide ไปทำปฏิกริยาเคมีดังที่กล่ามาแล้ว ซึ่งหากเปรียบเทียบกับการเกิดปฏิกริยาเคมีของดินผสมซีเมนต์แล้วก็จะพบว่าสาร Tetra Calcium Aluminate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ หรือหาประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydrate นี้ก็คือ Tobermorite Gel นั่นเอง ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยการใช้เครื่อง X-Ray เพราะมี Basal Spacing ถึง 7.6 A และนอกจาก Tetra Cacium Aluminate Hydrate แล้วยังพบว่ามี Tricalcium aluminate Hexahydrate และ Silicate Hydrate อีกด้วย

DIAMOND และ KINTER (1965) , JAMBOR (1963) และ CROFT (1964) อธิบายในลักษณะเดียวกันว่าปูนขาวซึ่งทำปฏิกริยากับแร่ดินเหนียวในดินหรือในวัสดุ Pozzolan ขนาดเล็ก ๆ เช่น Hydrous Silica จะทำให้เกิดสารละลาย Cacium Silicate ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการเชื่อมยึดเม็ดดินให้เกาะติดกันคล้าย ๆ กับปฏิกริยาที่เกิดจากการทำปฏิกริยาของซีเมนต์กับดิน จะแตกต่างกันบ้างก็เพียงแต่การเกิดสารละลาย Cacium Silicate ของซีเมนต์เกิดจากปฏิกริยา Hydration ของ Anhydrous Cacium Silicate ในขณะที่การเกิดปฏิกริยา Hydration ของปูนขาวจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเกิดการดูดซับเอา Soluble Silica ออกจากแร่ดินเหนียวมาทำปฏิกริยาเท่านั้น

INGLES (1970) อธิบายว่าสารละลาย Cacium Silicate (Silicate Gel) จะทำหน้าที่ห่อหุ้มเม็ดดินและเชื่อมยึดเม็ดดินให้เกาะติดกัน และเป็นตัวปิดกั้นทางเดินของน้ำที่ไหลเคลื่อนที่ระหว่างช่องว่างของเม็ดดิน ดังรูปที่ 4.3

RUENKRAIRERGSA และ PIMSARN (1982) อธิบายว่าการเกิดปฏิกริยาระหว่างปูนขาวกับดินนั้น ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นอาจจะเพิ่มขึ้นได้ไม่เต็มที่หากมีสารประกอบอื่น ๆ อยู่ในดินนั้นด้วย สิ่งที่สำคัญที่สุดคือปริมาณสารอินทรีย์และซัลเฟต การซึมได้ของน้ำในดินตามธรรมชาติ ตลอดจนสภาวะการผุพังของดิน สารอินทรีย์และซัลเฟตจะทำให้ความแข็งแรงของดินผสมปูนขาวลดลง โดยจะไปแย่ง Ion ของ Ca^{++} มาจากปฏิกริยา Pozzolanic Reaction ทำให้อัตราการเพิ่มของความแข็งแรงของดินผสมปูนขาวลดลง สารประกอบของเหล็กเช่น Fe_2O_3 ที่เคลือบอยู่ในโครงสร้างของดินก็สามารถขัดขวางปฏิกริยาให้ช้งักลงได้เช่นกัน

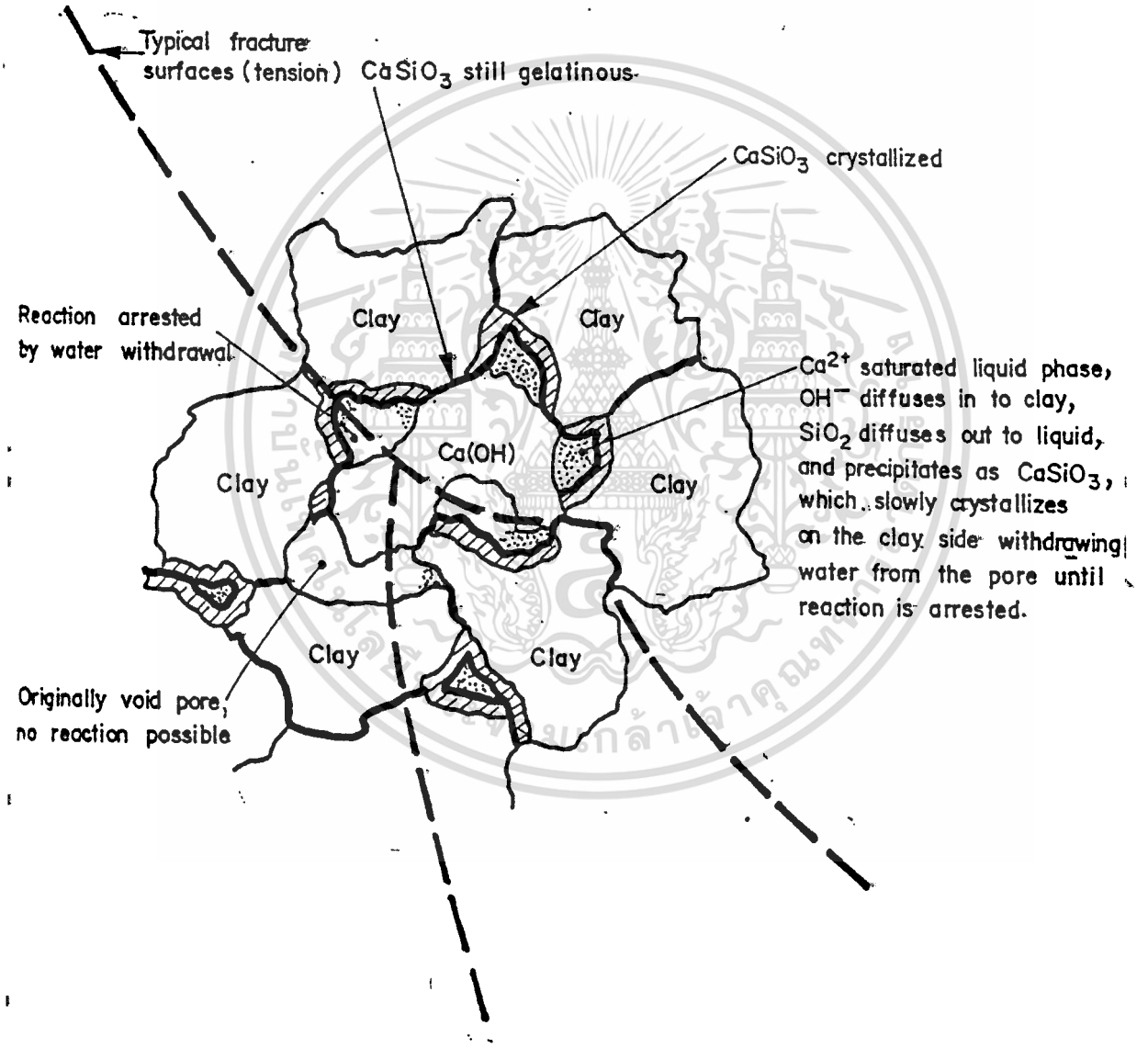
ความผันแปรในคุณสมบัติเฉพาะของดินแต่ละอย่างเช่น การกระจายขนาดคละของเม็ดดิน (Grain Size Distribution) ค่าความเหนียวของดิน (Soil Plasticity) ปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียว (Clay Minerals) สารอินทรีย์ สารซัลเฟต ปริมาณความชื้น สิ่งเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของดินโดยการใช้ปูนขาวทั้งสิ้น ธาตุต่าง ๆ ที่ประกอบอยู่ในดินอันมี ซิลิคอน เหล็ก แมกนีเซียม โปตัสเซียม โซเดียม อลูมิเนียม แคลเซียม และออกซิเจน มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมเสียดทานภายในของดิน (Angle of Internal friction) โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุอลูมิเนียมและซิลิกอนมีส่วนเกี่ยวข้องกับปูนขาวอย่างมาก

ปฏิกริยาการเปลี่ยนแปลง Ion ในดินจะเป็นไปอย่างช้า ๆ และเกิดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งในระยะต่อมาก็จะทำให้ค่า Plasticity Index (PI) ของดินลดลง องค์ประกอบที่สามารถทำให้เกิดปฏิกริยาของปูนขาวเกิดได้ทำถึงขึ้นอยู่กับชนิดของดินและช่วงระยะเวลาของการบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 กลศาสตร์ของปูนขาวเมื่อผสมกับดิน

(INGLES , 1970)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำปูนขาวมาผสมกับดินโดยทั่วไปจะลดความหนาแน่น(Density) ของดินลดลง เกิดการลดลงของค่า PI ทำให้ดินมีกำลังแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากการผสมปูนขาวกับดินจะอยู่ในรูปของวัสดุใหม่ที่เรียกว่า Cementation Material ซึ่งวัสดุใหม่นี้เป็นผลจากปฏิกริยา Pozzolanic Reaction ระหว่างปูนขาวกับดิน

4.5 LIME FIXATION POINT

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าเมื่อผสมปูนขาวลงไปในดินจะทำให้ค่า Plastic Limit ของดินเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ HILT และ DAVIDSON (1960) ได้เรียกความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและค่า Plastic Limit ของดินว่า Lime Fixation ซึ่งพบว่าการเพิ่มขึ้นของ Plastic Limit จะเพิ่มขึ้นไปจนถึงจุด ๆ หนึ่งก็จะหยุดหรือไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไป ซึ่ง ณ จุด ๆ นี้จะเรียกว่าเกิด Lime Fixation อย่างสมบูรณ์ และพบว่าในดินชนิดเดียวกันค่า Unconfined Compressive Strength มีแนวโน้มที่จะคงที่ในขณะที่ค่า Plastic Limit เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณปูนขาว ที่เพิ่มขึ้น จนถึงจุด ๆ หนึ่งเมื่อเพิ่มปูนขาวปริมาณเกินกว่าปริมาณ Lime Fixation แล้วค่า Plastic Limit จะมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งในขณะเดียวกัน ค่า Unconfined Compressive Strength จะแสดงในแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นทันที

PIETSCH และ DAVIDSON(1962) อธิบายว่าเราสามารถที่จะหาจุดเรียกว่า Lime fixation Point ซึ่งเป็นจุดที่เส้นโค้งของความสัมพันธ์ระหว่าง Plastic Limit กับปริมาณของปูนขาวบ่งบอกถึงการหยุดการเพิ่มค่า Plastic Limit แม้ว่าจะมีการเพิ่มของปริมาณปูนขาวมากขึ้นก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ในทำนองเดียวกันหากแสดงเส้นโค้งของความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength กับ Plastic Limit ดังรูปที่ 4.5 ก็จะสามารถหาตำแหน่งของ Lime Fixation Point ได้เช่นเดียวกัน

PIETSCH และ DAVIDSON(1962) ยังได้กล่าวว่า เนื่องจากปูนขาวจะไม่เกิดปฏิกริยากับวัสดุที่มีขนาดโตเกินกว่า Silt Size ดังนั้นปริมาณปูนขาวที่จะทำให้เกิดความแข็งแรงของดินเพิ่มมากขึ้น จึงขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินว่าจะเล็กหรือโตเท่าใด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณปูนขาวที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ Plastic limit แล้วพบว่า ปริมาณปูนขาวที่ต้องผสมเข้าไปเพื่อให้ทำปฏิกริยากับเม็ดดิน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงจะมากกว่าปริมาณปูนขาวที่จะมีผลทำให้ค่า Plastic timit เพิ่มขึ้น

ดังนั้นจึงได้สมการที่จะใช้หาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสม(Equivalent Lime Content) ที่จะทำให้เกิดปฏิกริยาทั้งสองได้พอดี ๆ ดังนี้

$$Le = L \times \frac{P40}{P4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Le = Equivalent Lime Content

L = Original Lime Content

P40 = น้ำหนักของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40,%

P4 = น้ำหนักของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4,%

4.6 <u>องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยปูนขาว</u>

MATEOD (1964) กล่าวว่า องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเมื่อนำปูนขาวและน้ำ มาผสมลงไปในดินนั้นมีมากมายหลายประการ ซึ่งพอแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

4.6.1 องค์ประกอบปฐมภูมิ (Primary Factors)

ซึ่งประกอบด้วย

4.6.1.1 ชนิดของปริมาณของแร่ดินเหนียว

TREADWELL และ DAVIDSON (1961) กล่าวว่าดินเหนียวที่จะทำปฏิกริยากับปูนขาวแล้วเกิดความแข็งแรงโดยการเกิดปฏิกริยา Cementation ได้นั้น จะต้องมีปริมาณแร่ดินเหนียว (Claly Minerals) อย่างน้อยร้อยละ 15

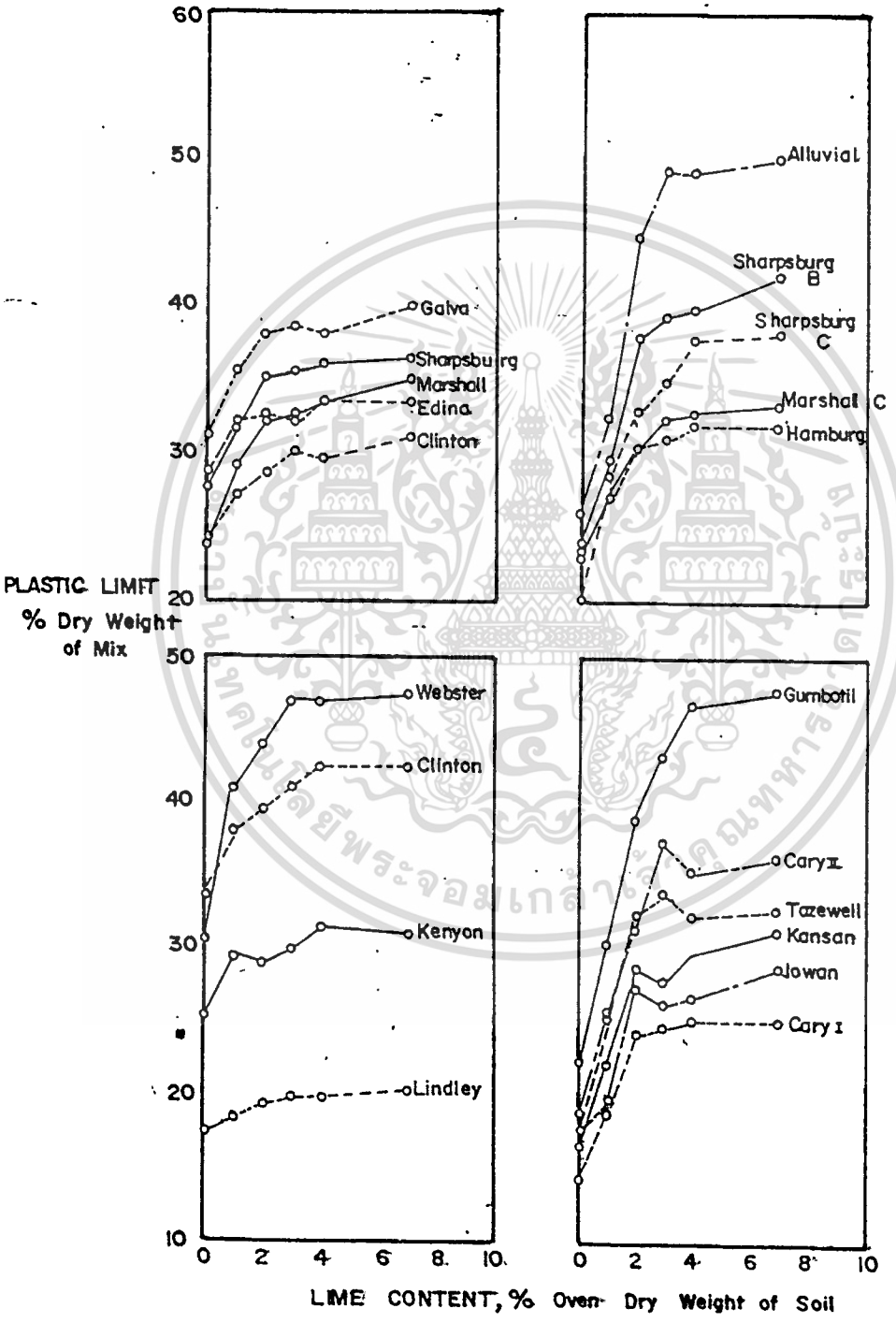
HILT และ DAVIDSON (1960) , REMUS และ DAVIDSON (1960) อธิบายในทำนองเดียวกันว่าดินที่มีส่วนประกอบของแร่ดินเหนียวชนิด Montmorillonite และ kaolinite จะให้ผลดีในการปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาวมากกว่าดินที่ประกอบด้วย แร่ดินเหนียวชนิด Illite และ Chlorite ซึ่งในทุกประเภทของแร่ดินเหนียว Holloysite จะให้ผลในการปรับปรุงคุณภาพด้อยที่สุด ซึ่ง TREADWELL และ DAVIDSON (1961) ได้แสดงถึงกำลังรับน้ำหนักของดินที่ผสมด้วยปูนขาว 2 ชนิด ในดินที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

LU และคณะ (1957) ได้ศึกษาถึงอิทธิพบของชนิดของดินที่เลือกมาปรับปรุงคุณภาพแล้วได้ผลจากการศึกษาว่าดินที่เหมาะสมที่จะเลือกใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ปูนขาวได้แก่ SandySoilและได้ทดลองนำ Dune Sand ซึ่งมีปริมาณแร่ดินเหนียว เพียงร้อยละ 4 หลังจากผสมเสร็จบ่มทิ้งไว้ในอุณภูมิ 70° F 7 วัน แล้วนำมาแช่น้ำ 1 วัน พบว่า หากผสมปูนขาวชนิด Calcitic Quicklime ร้อยละ 15 จะให้กำลังรับน้ำหนัก 240 ปอนด์/นิ้ว^2 ถ้าผสมด้วย Dolomitic Quicklime ร้อยละ 15 จะให้กำลังรับน้ำหนัก 320 ปอนด์/นิ้ว^2 และถ้าผสมด้วย Dolomitic Monohydrate Lime ร้อยละ 15 จะให้กำลังรับน้ำหนักเพียง 53 ปอนด์/นิ้ว^2 เท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการความแข็งแรงในระดับเดียวกันนี้ ก็จะสามารถกระทำได้โดยการผสมด้วยซีเมนต์ในอัตราส่วนที่น้อยกว่าการผสมด้วยปูนขาวมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง LIME CONTENT กับค่า PLASTIC LIMIT

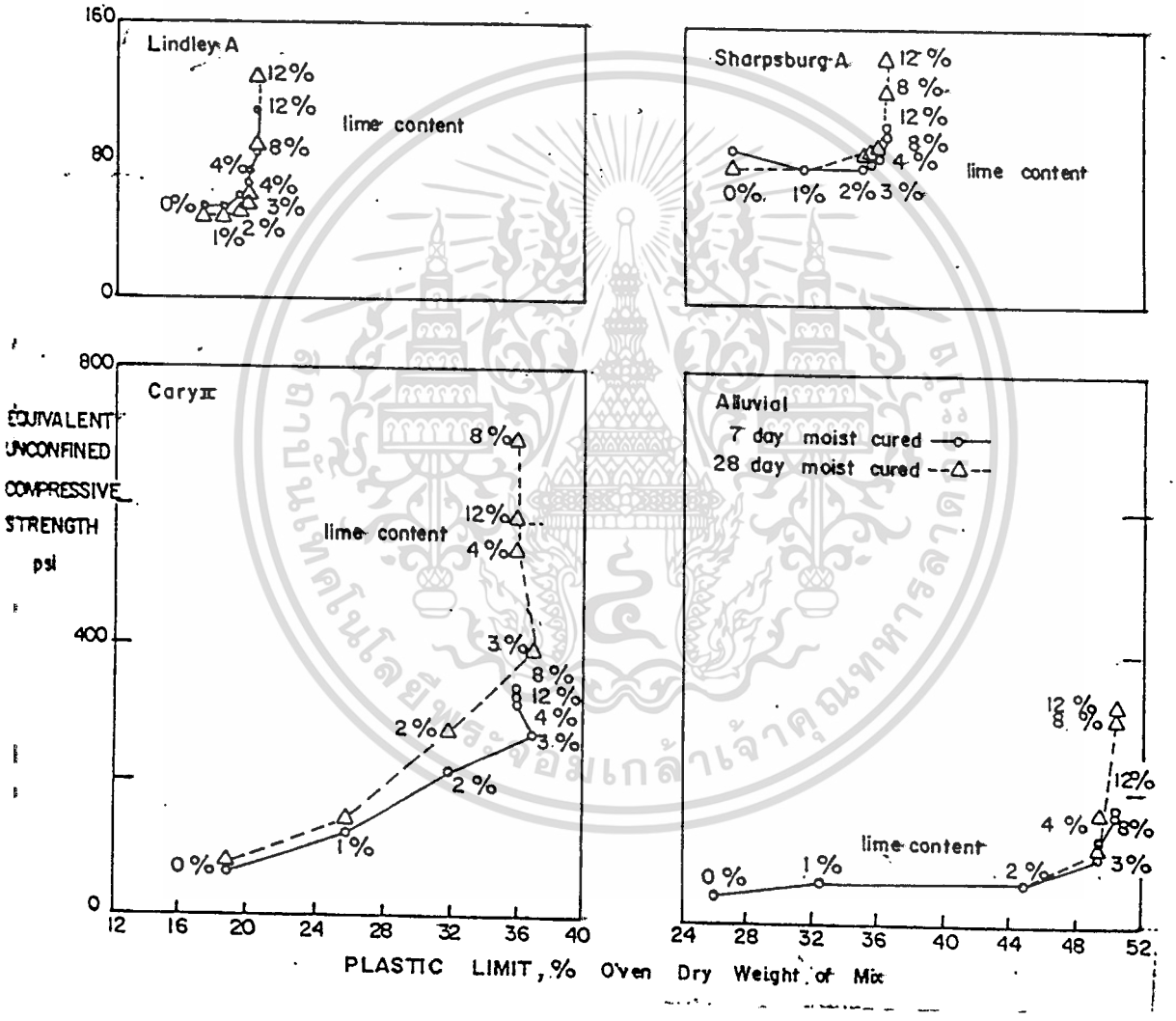
(PIETSCH and DAVIDSON , 1962)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ PLASTIC LIMIT กับ UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH

(PIETSCH and DAVIDSON , 1962)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HILT และ DAVIDSON (1960) พบว่าเมื่อนำปูนขาวไปผสม กับดินเหนียวนั้น จะทำให้ค่า Plastic Limit เพิ่มขึ้น แต่ค่า Liquid Limit ลดลงจึงทำให้ค่า Plasticity ลดลงด้วย หากเปรียบเทียบกับปริมาณของการเพิ่มขึ้นของค่า Plastic Index พบว่าดินเหนียวที่ประกอบด้วย Montmorillonite จะเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด Illite เพิ่มขึ้นปานกลาง และ Kalinite จะเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ผลการทดลองดังกล่าวนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6

MATEOS (1964) ได้อธิบายถึงสาเหตุที่ Illite มีการเปลี่ยนแปลงค่า Plasticity Index (PI) น้อยกว่า Montmorillonite นั้นก็เพราะว่า Montmorillonite นั้นค่า Plastic Limit จะเพิ่มขึ้นมากแต่ค่า Liquid Limit จะลดลงดังนั้นจึงทำให้ค่า Plasticity Index ลดลงมาก (PI=LL-PL) ในขณะที่ Illite เมื่อผสมปูนขาวจะเพิ่มค่า Plastic Limit และค่า Liquid Limit ก็เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า Plasticity Index อย่างเห็นได้ชัด และกล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงค่า Plasticity Index นี้ขึ้นอยู่กับเวลาด้วย เพราะรูปร่างและ Surface Activity ของผิวของ Clay Minerals แต่ละชนิดมีส่วนที่จะทำให้ปฏิกริยาเคมีระหว่างแร่ดินเหนียวกับปูนขาวเกิดขึ้นช้าเร็วผิดกัน

EDES และ GRIM (1960) ได้ศึกษาถึงปฏิกริยาระหว่าง Hydrated Lime กับแร่ดินเหนียวบริสุทธิ์ พบว่า Kaolinite จะให้ค่าความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อผสมปูนขาวลงไปร้อยละ 4-6 และความแข็งแรงของดินนี้จะเพิ่มขึ้นทันทีที่ผสมปูนขาวลงไป ส่วน Montmorillonite และ Illite จะต้องผสมปูนขาวลงไปมากกว่าร้อยละ 6 จึงจะทำให้ค่าความแข็งแรงเริ่มจะเพิ่มขึ้น และได้ทดสอบดินโดยวิธี X-Ray Diffraction ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการที่ Kaolinite เกิดความแข็งแรงได้รวดเร็วนั้นเนื่องมาจากมีปูนขาวเข้าไปเกาะติดอยู่บริเวณขอบหรือมุมของเม็ดดิน ส่วน Montmorillonite และ Illite ที่ต้องใช้ปริมาณปูนขาวมากกว่าและช้าเวลาในการเพิ่มความแข็งแรงมากกว่านั้น เพราะว่าปูนขาวต้องแทรกเข้าไประหว่าง Layer ของแร่ Montmorillonite และแร่ Illite เพื่อทำให้ Interlayer ของแร่ดินเหนียวทั้งสองอื่มตัวอย่างเต็มทีเสียก่อน การแทรกตัวของปูนขาวเข้าไปใน Interlayer ในแร่ดินเหนียวทั้งสองเป็นผลทำให้แร่ดินเหนียวทั้งสองเมื่อผสมปูนขาวจะเกิดการพัฒนากำลังรับแรงอัดช้ากว่าแร่ Kaolinite

4.6.1.2 ขนาดมวลรวมคละ

TREADWELL และ DAVIDSON (1961) ได้อธิบายว่าหากดินมีอัตราส่วนของมวลคละที่ไม่ดี กล่าวคือมีขนาดมวลเกือบเท่า ๆ กันหรือมีเพียงขนาดเดียว (Uniformly Graded) จะทำให้ผลในการปรับปรุงด้อยกว่าดินที่มีส่วนคละที่ดี (Well Graded)

4.6.1.3 สภาวะของภูมิอากาศตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HARTY และ THOMSON (1973) ได้ศึกษาถึงปฏิกริยาของปูนขาวที่เกิดขึ้นกับดินในเขตร้อนหรือกึ่งร้อนพบว่าความแข็งแรงของดินที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อผสมปูนขาวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน (Soil pH) Cation Exchange Capacity, Silica-Sesquioxide Ratio, Silica-Alumino Ratio และ Pedologh ของดิน ทั้งยังพบว่าดินที่อยู่ในเขตร้อนหรือกึ่งร้อนจะต้องการปริมาณปูนขาวเพื่อทำให้เพิ่มความแข็งแรงมากกว่าดินที่อยู่ในเขตอื่น

4.6.1.4 ปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดิน

AHMED (1981) ได้ศึกษาถึงองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของดินเมื่อผสมปูนขาวแล้วพบว่าการที่ความแข็งแรงของดินจะเพิ่มขึ้นได้นั้น จะต้องมีปริมาณคาร์บอนของอินทรีย์วัตถุ (Organic Carbon) ต่ำกว่าร้อยละ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 a ดินจะต้องมีค่า pH มากกว่า 7 ขึ้นไปดังแสดงในรูปที่ 4.7 b และปริมาณของดินเหนียวจะต้องมีมากกว่าร้อยละ 20 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 c

4.6.1.5 ชนิดและปริมาณของปูนขาว

LU และคณะ (1957) ได้กล่าวว่า Dolomitic Quicklime จะให้ความสามารถในการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ Dolomitic Monohydrated Lime ในการใช้วัสดุทั้งสองชนิดนี้ในการปรับปรุงเสถียรภาพของดิน

LAGUROS และคณะ (1956) ยังพบว่า Dolomitic Dihydrated Lime จะให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินต่ำกว่า Dolomitic Monohydrated Lime และ Dolomitic Quicklime

LAGUROS และคณะ (1956). LU และคณะ (1957), DAVIDSON และคณะ (1960) ได้อธิบายในลักษณะเดียวกันว่าหากใช้ปูนขาวปริมาณไม่เกินร้อยละ 3 ผสมกับดินเพื่อปรับปรุงคุณภาพ Calcitic Quicklime จะให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินได้ดีกว่า Calcitic Hydrated Lime และยังพบอีกว่า Dolomitic Lime (ทั้ง Quicklime และ Monohydrate Lime) จะให้ความสามารถในการรับน้ำหนักมากกว่า Calcitic Lime เมื่อบ่มที่อุณหภูมิไม่เกิน 70°F ยกเว้นดินที่มีแร่ดินเหนียวชนิด Kaolinite ผสมอยู่ในปริมาณมาก จะให้ความสามารถในการรับน้ำหนักเท่า ๆ กัน เมื่อใช้ Calcitic Hydrated Lime และ Dolomitic Monohydrated Lime

DAVIDSON และคณะ (1960) พบว่าเมื่อบ่มดินเหนียวที่ผสมกับ Calcitic Lime ที่อุณหภูมิสูง ๆ จะให้ความสามารถในการรับน้ำหนักดีกว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ผสมกับ Dolomitic Lime ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATEOS และ DAVIDSON (1962) พบว่าเมื่อใช้ Dolomitic Monohydrated Lime ปรับปรุงเสถียรภาพของดินเหนียวประเภท Montmorillonite แล้ว จะให้ความแข็งแรงหรือกำลังน้ำหนักมากกว่าการใช้ Calcitic Hydrated Lime ดังแสดงในรูปที่ 4.9

LAGUROS และคณะ (1956) ได้อธิบายเพิ่มเติมในลักษณะของการลดความเป็นพลาสติกของดินว่า Quicklime จะทำให้ความเป็นพลาสติกของดินลดลงมากกว่า Hydrated Lime ที่ปริมาณปูนขาวเดียวกัน และ Quicklime จะช่วยปรับปรุงพฤติกรรมการยืดหดตัว (Shrinkage Properties) ของดินได้มากกว่า Hydrated Lime อีกด้วย

WANG และคณะ (1963) ได้ศึกษาพฤติกรรมความเป็นพลาสติกของดิน Gumbotil เมื่อผสมกับปูนขาวชนิดต่าง ๆ ซึ่งพบว่า Hydrated Lime ชนิด Calcitic Lime นั้น จะทำให้ความเป็นพลาสติกของดินลดลงมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.10

WANG และคณะ (1962) กล่าวว่า Dolomitic Lime ที่ผลิตต่างโรงงานกันจะให้ความสามารถในการรับน้ำหนักแตกต่างกันมาก แต่ Calcitic Lime จะให้ความสามารถในการรับน้ำหนักเท่า ๆ กันแม้ว่าจะผลิตต่างโรงงานกันก็ตาม เพราะการผลิต Dolomitic Lime นั้น มีองค์ประกอบที่จะทำให้เกิดความแตกต่างในการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักแก่ดินหลายประการอันได้แก่ วัตถุดิบ ชนิดของเตาเผา สภาวะของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา ขนาดของผลึกที่บดละเอียดแล้ว อัตราส่วนของ Calcium-Magnesium Ratio ระดับความสูงต่ำของการเกิดปฏิกริยา Hydration และความไม่บริสุทธิ์ของปูนขาวชนิดนี้

LAGUROS และคณะ (1965) กล่าวว่า การที่จะผสมปูนขาวลงไปในดินเท่าใดนั้นควรที่จะได้ทำการทดสอบกับดินชนิดนั้น ๆ เสียก่อน เพราะปริมาณปูนขาวที่ใส่ลงไปมากเกินความต้องการนั้นจะยังผลให้ดินอ่อนตัวเกินไป ซึ่งเมื่อทำปฏิกริยาแล้วจะทำให้ความแข็งแรงและอัตราการลดลงของ Plasticity Index ไม่เป็นไปตามความคาดหมาย ดังสังเกตุได้จากรูปที่ 4.11 และ 4.12

GILLOTT (1968) กล่าวว่า ความแตกต่างอย่างหนึ่งของการปรับปรุงเสถียรภาพของดินด้วยปูนขาวและซีเมนต์ก็คือ ซีเมนต์จะเพิ่มความแข็งแรงของดินขึ้นตามความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง (Linear Relationship) ในขณะที่ใช้ปูนขาวปรับปรุงเสถียรภาพของดิน จะพบว่าความแข็งแรงของดินจะลดต่ำลงหากใช้ปูนขาวมากเกินปริมาณที่พอเหมาะ

4.6.2 องค์ประกอบทุติยภูมิ (Secondary Factors)

ซึ่งประกอบด้วย

4.6.2.1 ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับปริมาณความชื้นที่มีผลต่อการปรับปรุงเสถียรภาพของดินโดยปูนขาวนั้น MATEOS และ DAVIDSON (1962) และนักวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้อีกหลายคณะได้กล่าวในทำนองเดียวกันว่าเมื่อผสมปูนขาวลงไปในดินจะทำให้ความหนาแน่นสูงสุดลดลง และยังพบว่า Dolomitic Monohydrated Lime จะทำให้ความหนาแน่นสูงสุดลดลงน้อยกว่า Calcitic Hydrated Lime

ในดินที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวประเภท Montmorillonite ในปริมาณมากนั้นเมื่อผสมปูนขาวลงไปจะทำให้เส้นโค้งของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและความหนาแน่นสูงสุดบิดเบี้ยวไป ซึ่งทำให้ไม่สามารถที่จะบ่งบอกความหนาแน่นสูงสุดได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14 การที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะการแทรกตัวของน้ำใน Interlayer ของ Montmorillonite จะต้องใช้เวลามากอีกทั้งการแผ่กระจายของน้ำในมวลดินที่ประกอบด้วย Montmorillonite ในปริมาณยังไม่สม่ำเสมอเหมือนดินประเภท Kaolinite อันเป็นผลทำให้การกำหนดลักษณะของ Compaction Curve อาจไม่แน่นอนและบางครั้งกำหนดได้ยาก

MATEOS (1964) ได้ศึกษาลักษณะการปรับปรุงเสถียรภาพของดินเหนียวรัฐไอโอวา สหรัฐอเมริกา กล่าวว่า ถ้าดินที่มีปริมาณน้ำตามธรรมชาติสูงกว่าปริมาณที่ให้ความหนาแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) แล้วหากนำมาผสมกับปูนขาวจะทำให้ความชื้นเหล่านั้นไปเพื่อทำปฏิกริยา Hydration และเมื่อนุภาคดินเกิดการรวมตัวแบบ Flocculation แล้วจะทำให้ดินนั้นร่านซุยขึ้น

4.6.2.2 วิธีการผสมปูนขาวลงในดิน

DIVIDSON, NOGUERA และ SHEELER (1960) ได้ศึกษาถึงรูปแบบของการผสมปูนขาวลงไปในดิน ระหว่างการผสมแบบผง (Power Form) และแบบที่นำปูนขาวมาผสมกับน้ำก่อนแล้วจึงผสมกันดิน (Slurry Form) พบว่าหากใช้ Quicklime ผสมกับดินในแบบเป็นผงจะทำให้เกิดอาการแสบร้อนผิวหนังที่สัมผัสกับมันได้ ดังนั้นจึงควรใช้การผสมโดยวิธีนำปูนขาวมาละลายน้ำก่อนแล้วจึงผสมกับดินในภายหลัง ทั้งยังพบว่าจะเป็นการดีต่อการเพิ่มความแข็งแรงของดินมากกว่าการผสมแบบผงเสียอีก แต่ Hydrated Lime จะให้ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.15

4.6.2.3 ประเภทของการบดอัด

เมื่อพิจารณาถึงพลังงานที่ใช้ในการบดอัดดินที่ปรับปรุงเสถียรภาพด้วยปูนขาวนั้น REMUS และ DAVIDSON (1961) พบว่าพลังงานที่ใช้ในการบดอัดจะมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของดินมาก เช่น เมื่อเพิ่มพลังงานที่ใช้ในการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction) ไปเป็นแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) ตาม ASTM หรือ AASHTO Standards จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กำลังต้านทานของการบดอัดของดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 ถึง 250 สำหรับการบ่มทั้ง 7 วัน และ 28 วัน และเมื่อกำลังต้านทานการรับน้ำหนักของดินเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดเพิ่มขึ้นด้วยประมาณ ร้อยละ 10

ทั้งยังพบอีกว่า แม้จะบดอัดด้วยวิธีมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐานก็จะต้องการปริมาณน้ำที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดใกล้เคียงกัน และพบว่าปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุดจะกำหนดได้ลำบากกว่าปริมาณความชื้นที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดซึ่งหากเป็นดินธรรมดาเกือบทุกชนิดจะต้องการปริมาณน้ำที่ให้ความหนาแน่นสูงสุดและปริมาณน้ำที่ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดใกล้เคียงกันอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14

4.6.2.4 อุณหภูมิและชนิดของการบ่ม

ดินที่ปรับปรุงคุณภาพโดยปูนขาวจะมีกำลังรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามต้องการได้นั้น การบ่มจะเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ช่วยส่งเสริมให้ดินมีคุณภาพได้ดังที่ประสงค์ MATEOS และ DAVIDSON (1962) อธิบายว่า กำลังรับน้ำหนักของดินจะเพิ่มขึ้นเพราะการบ่มได้นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการอันได้แก่ ชนิดของดิน ชนิดและปริมาณของปูนขาว ปริมาณน้ำของแท่งดินตัวอย่าง อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มและพลังงานที่ใช้ในการบดอัด

เมื่อพิจารณาตามรูปที่ 4.9 จะพบว่าหากต้องการกำลังรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นมาก แต่มีเวลาในการบ่มไม่มากนัก ก็ต้องใช้ปริมาณปูนขาวมากขึ้นจากร้อยละ 3 ถึง 10 ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียวในดินนั้น ๆ ซึ่งบางประเภทจะให้กำลังรับน้ำหนักเท่าที่ต้องการได้ก็ต่อเมื่อต้องใช้ระยะเวลาในการบ่มเป็นเดือนหรือปีทีเดียว

AHMED (1981) กล่าวว่า ความแข็งแรงของดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาวนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้บ่ม โดยทั่วไปความแข็งแรงของดินจะเพิ่มขึ้นในช่วง 5 สัปดาห์แรกของการบ่มที่อุณหภูมิ 20°C - 25°C (68°F - 77°F) การใช้อุณหภูมิสูง ๆ ในการบ่มจะช่วยเร่งให้ดินพัฒนาความแข็งแรงอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 4.16

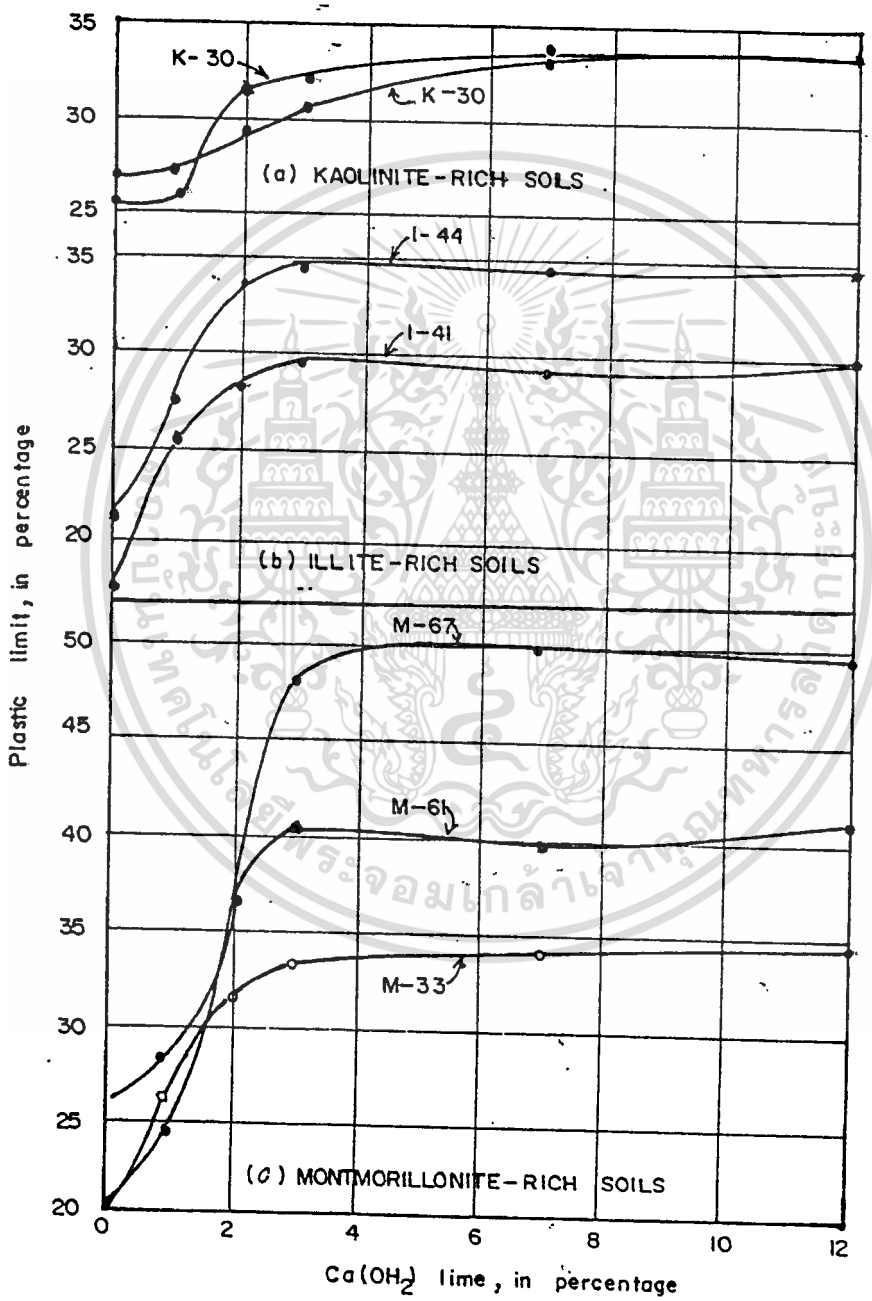
DAVIDSON และคณะ (1960) กล่าวว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มดินที่ผสมปูนขาวจะมีอิทธิพลในการเพิ่มขึ้นของกำลังรับน้ำหนักของดิน โดยทั่วไปพบว่าถ้าบ่มที่อุณหภูมิ 100°F จะถือว่าเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของดินเป็นร้อยละ 100 และจะทำให้ดินรับน้ำหนักได้ดีกว่าการบ่มที่อุณหภูมิ 70°F ทั้งยังอธิบายว่าหากใช้ Dolomitic Monohydrated Lime เมื่อใช้เวลาในการบ่มเกิน 3 เดือนขึ้น แต่ใช้อุณหภูมิสูงมาก ๆ ในการบ่ม Calcitic Lime จะให้กำลังรับน้ำหนักสูงกว่า Dolomitic Lime

MATEOS (1964) กล่าวว่า เนื่องจากพบว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลในการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาว ดังนั้นจึงควรทำงานปรับปรุงเสถียรภาพดินโดยใช้

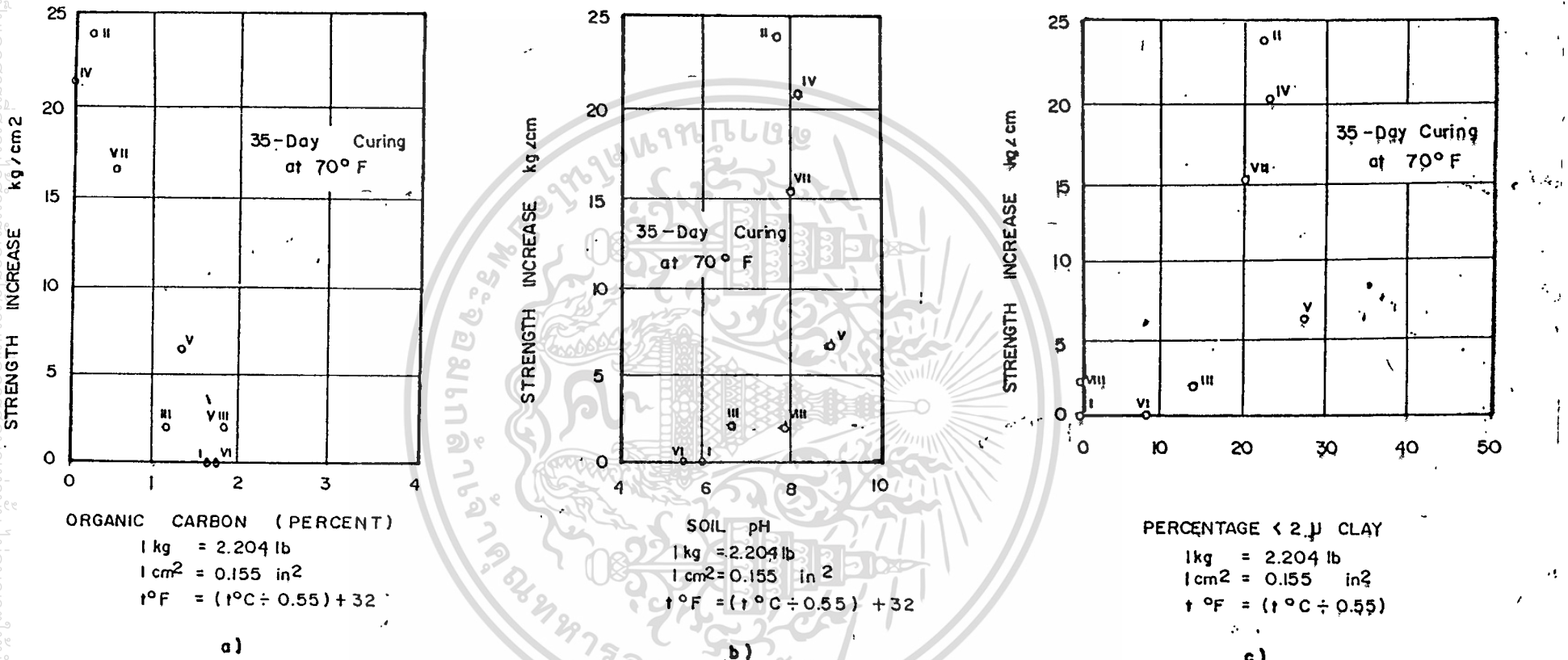
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่า PLASTIC LIMIT (PL) เมื่อนำปูนขาวผสมกับดิน

(HILT and DAVIDSON , 1960)



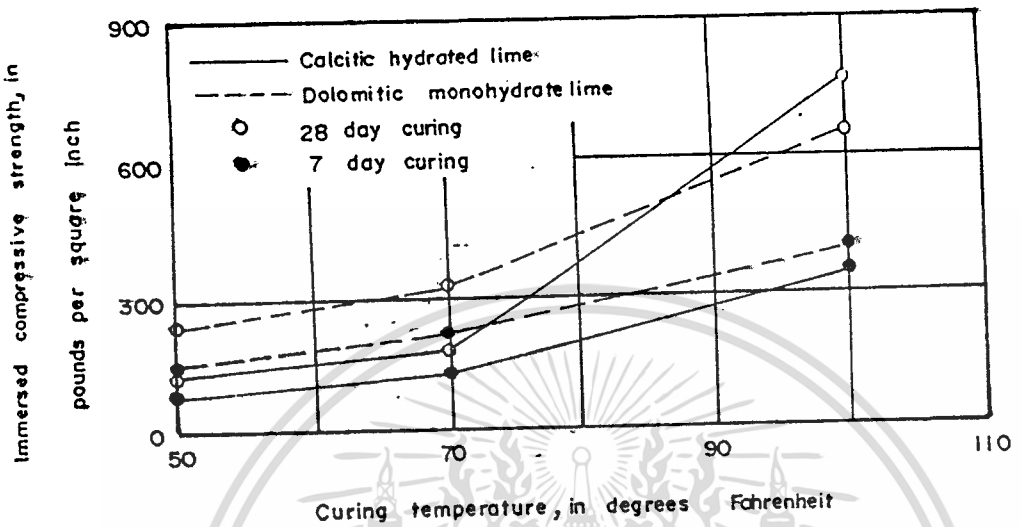
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงถึงผลของส่วนประกอบและคุณสมบัติของดินต่อกำลังรับน้ำหนัก

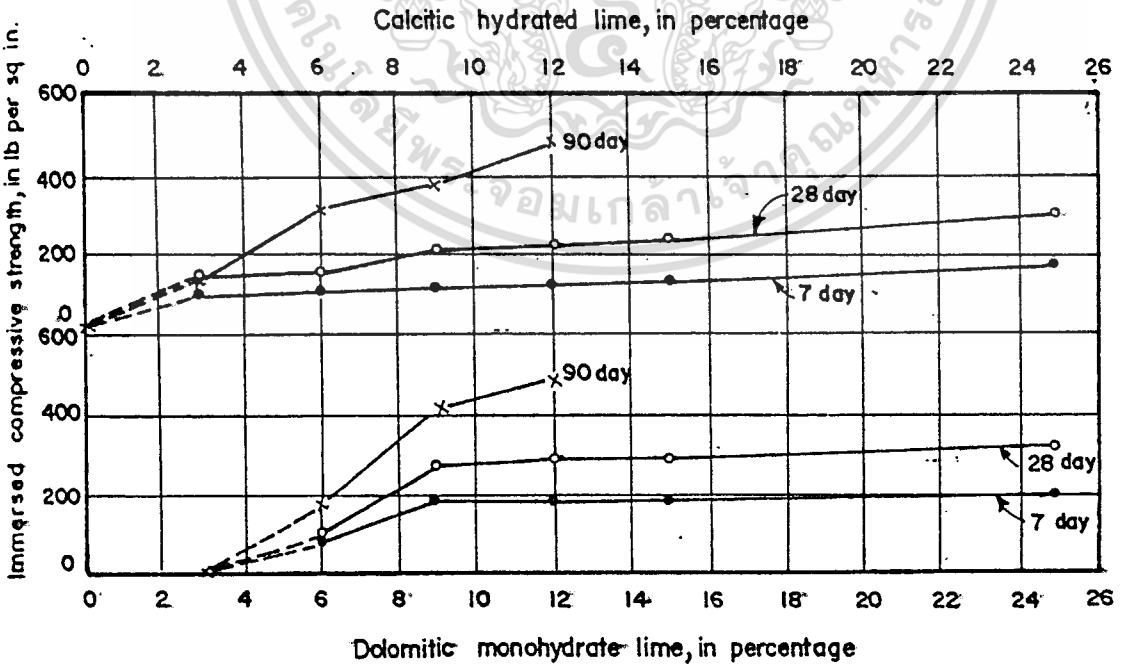
a) Organic Carbon b) Soil PH c) Percentage of 2u Clay

(AHMED , 1961)



รูปที่ 4.8 แสดงความแตกต่างของกำลังรับน้ำหนักของดินเมื่อผสมด้วย CALCITIC LIME และ DOLOMITIC LIME แล้วทำการบ่ม (CURING) ที่อุณหภูมิต่างๆ

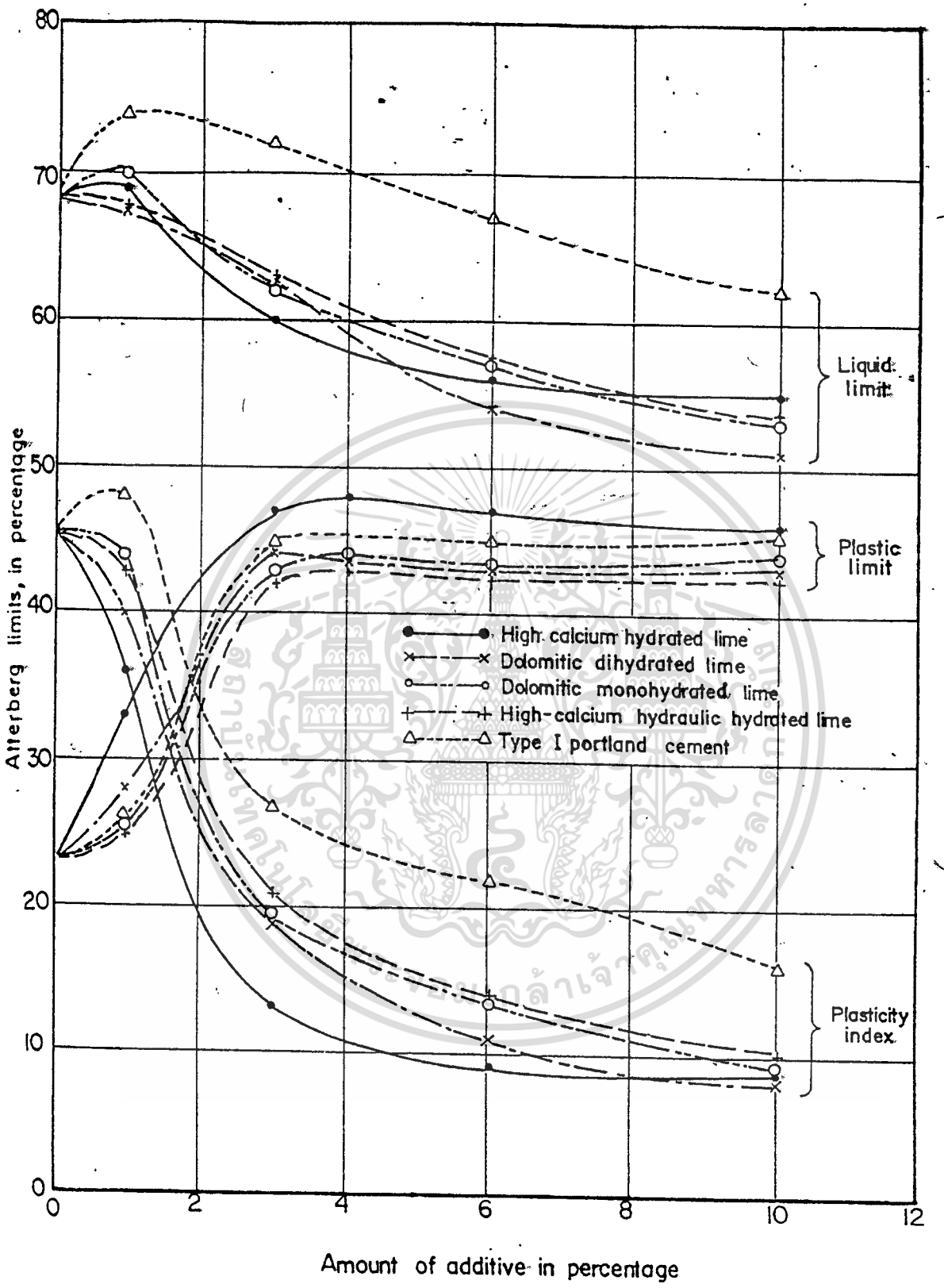
(DAVIDSON et al., 1960)



รูปที่ 4.9 แสดงถึงความแตกต่างของกำลังรับน้ำหนัก เมื่อใช้ปริมาณของปูนขาวแตกต่างกันกับ MONTMORILLONITE CLAY

(MATEOS and DAVIDSON, 1962)

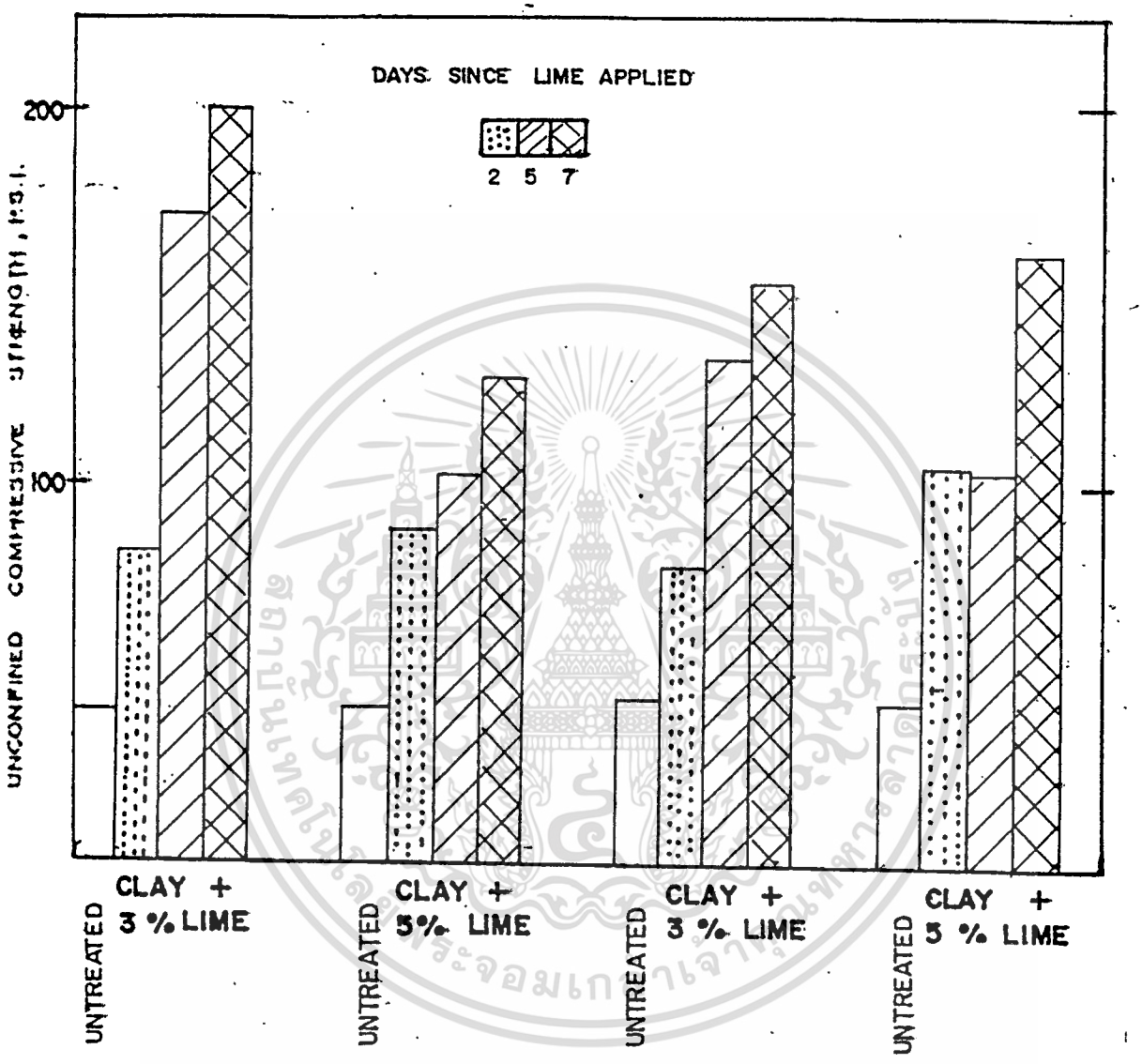
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลของ ATTERBERG LIMIT เมื่อใช้ปูนขาวชนิดต่างๆกับดิน GUMBOTIL

(WANG et al., 1963)

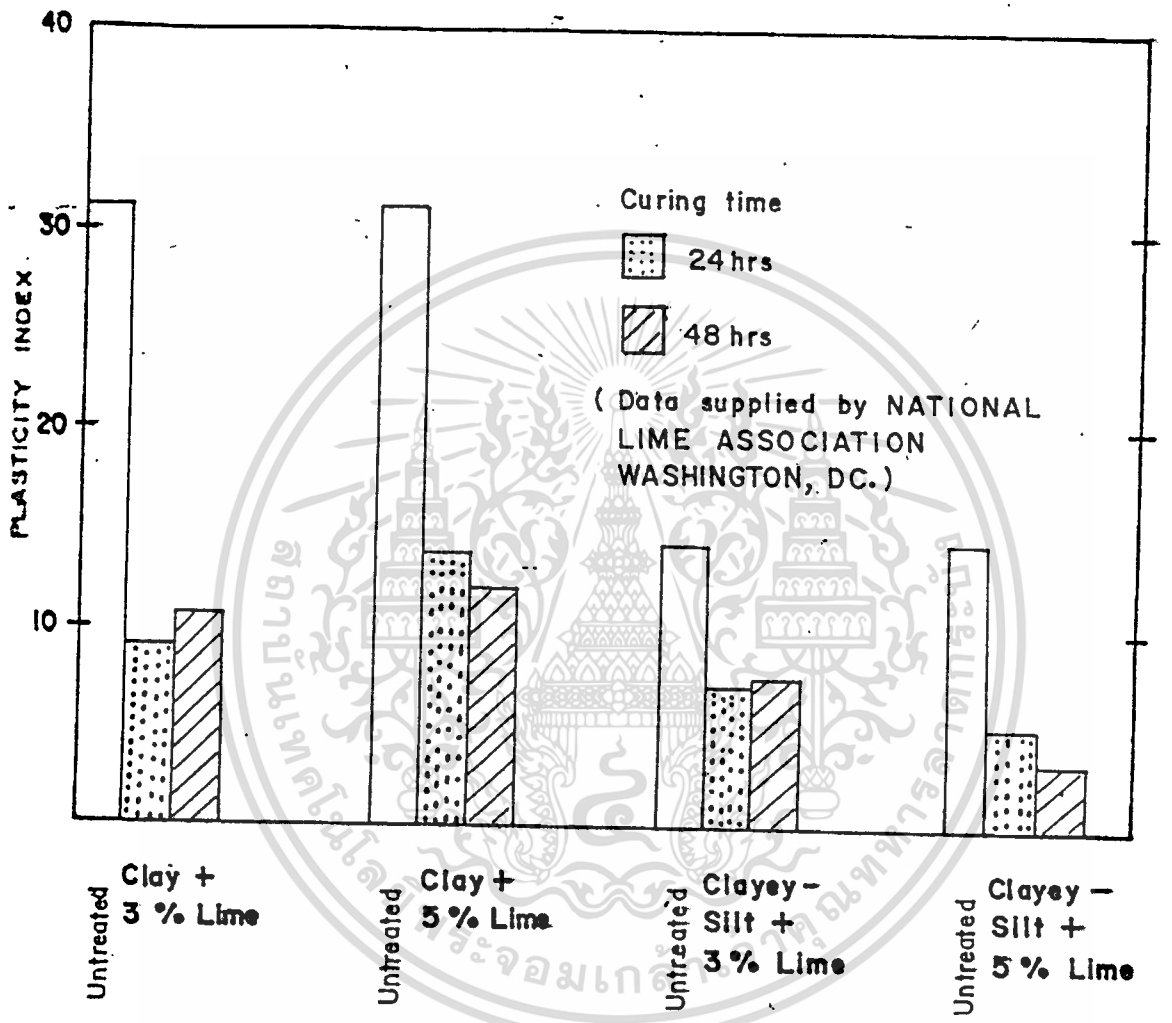
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การเพิ่มขึ้นของกำลังรับน้ำหนักของดิน เมื่อผสมปูนขาว

(LAGURUS et al ., 1956)

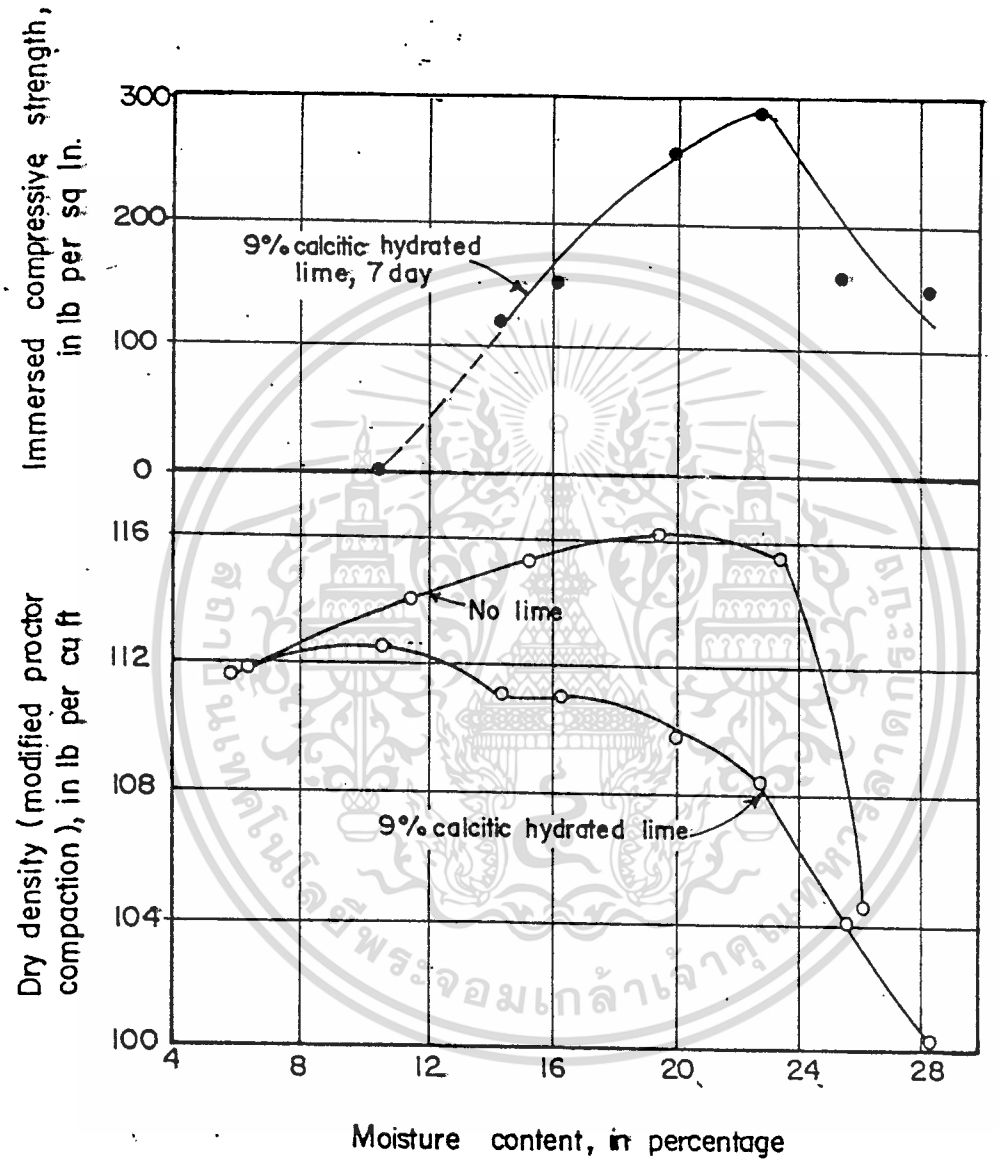
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลง PLASTICITY INDEX ของดินเมื่อผสมด้วยปูนขาว

(LAGULOS et al ., 1956)

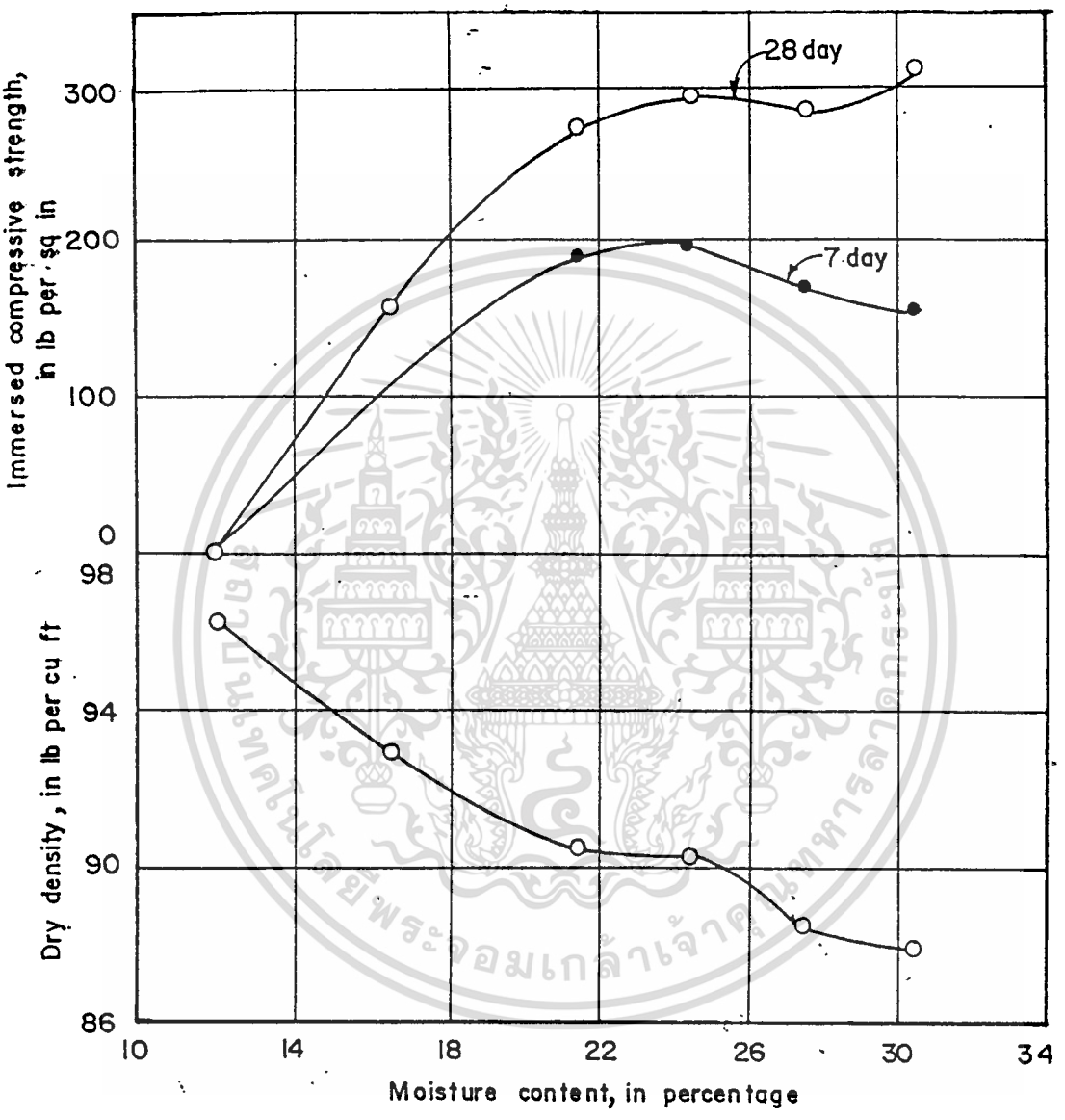
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นและความชื้นกับกำลังรับน้ำหนักของดินที่ผสมด้วยปูนขาวและดินที่ไม่ได้ผสมปูนขาวเมื่อเป็นดินแบบ MONTMORILLONITE CLAY ซึ่งบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

(MATEOS and DAVIDSON . 1962)

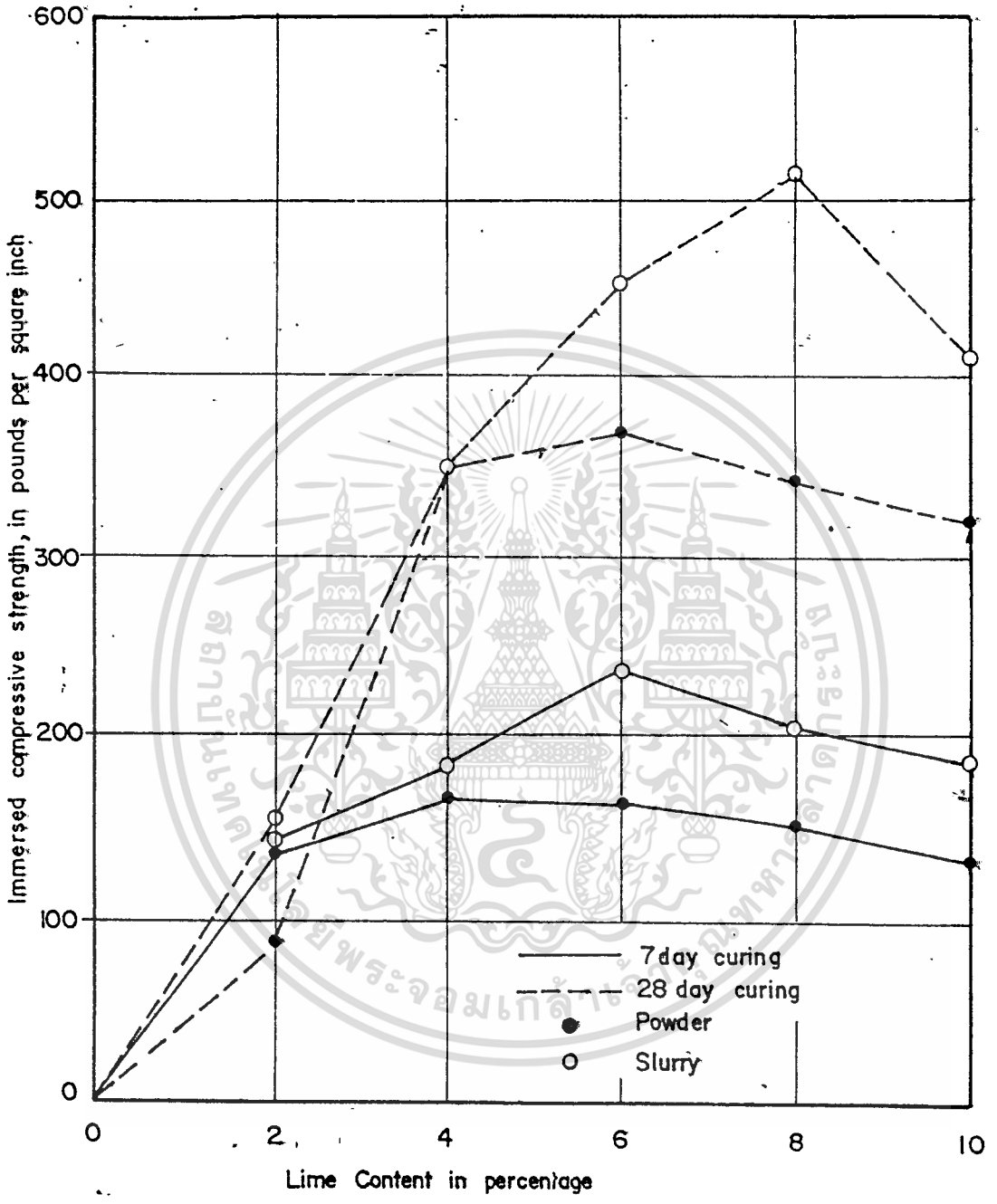
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นและความชื้นกับกำลังรับน้ำหนักของดิน MONTMORILLONITE CLAY ซึ่งทำการบดอัดแบบมาตรฐาน

(MATEOS and DAVIDSON , 1962)

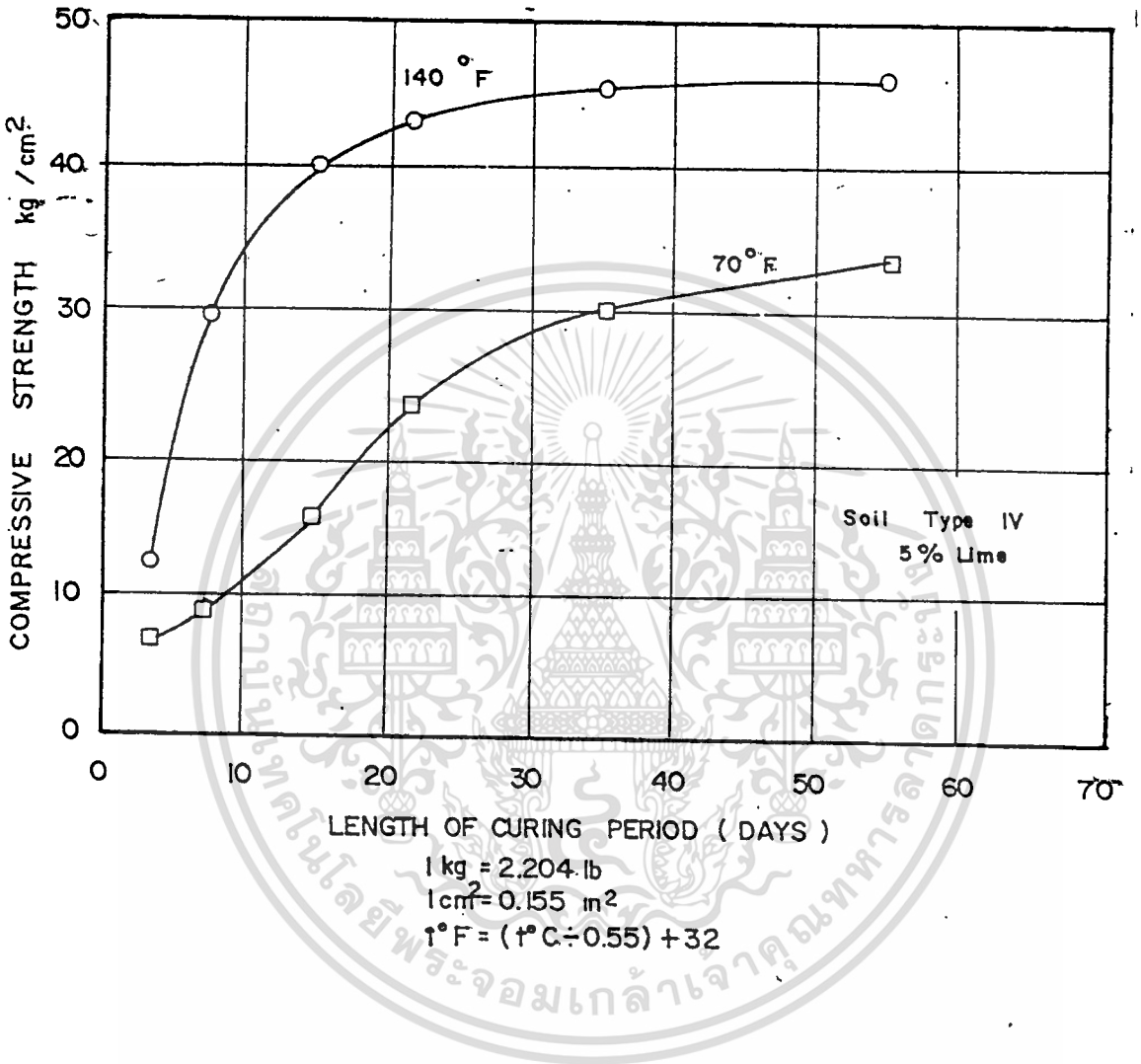
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างการผสมปูนขาวประเภท DOLOMITIC QUICKLIME ลงในดิน SLURRY FORM และแบบ POWDER FORM.

(DAVID et al ., 1960)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงถึงอิทธิพลที่เกิดจากอุณและระยะ เวลาของการบ่มต่อกำลังรับน้ำหนักของดิน

(AHMED , 1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปูนขาวในฤดูร้อน โดยเฉพาะในงานก่อสร้างทางตอนเหนือของประเทศสหรัฐอเมริกาหากเริ่มทำงานได้ในช่วงเวลาเริ่มต้นฤดูร้อน จะทำให้มีเวลาบ่มตัวของดินมากกว่า 2 เดือน ซึ่งจะทำให้กำลังรับน้ำหนักของดินเพิ่มมากยิ่งขึ้นอีก แต่ถ้าหากเริ่มทำงานในช่วงปลายฤดูร้อน หรือเริ่มต้นฤดูฝนควรใช้ Dolomitic Monohydrated Lime เพราะจะให้ผลดีกว่า Calcitic Hydrated Lime

นอกจากนั้น MATEOS (1963) ยังได้อธิบายถึงการใช้วิธีการบ่มแบบไอน้ำว่าจะทำให้กำลังรับน้ำหนักของดินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คือหลังจากการบ่มด้วยวิธีไอน้ำในเตาอบ 1 วัน จะให้กำลังรับน้ำหนักเท่ากับการบ่มที่ใช้เวลาถึง 90 วัน ณ อุณหภูมิใด ๆ ตามสภาพธรรมดาของการทดลอง ซึ่งเทคนิคการบ่มดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีไอน้ำนี้เป็นวิธีที่สำคัญและควรจะนำมาใช้อย่างยิ่ง ผลการทดลองเพื่อแสดงอิทธิพลของการบ่มโดยใช้ไอน้ำเทียบกับการบ่มโดยวิธีธรรมดาได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 นอกจากนี้ MATEOS และ DAVIDSON (1961) ยังได้ทดลองการบ่มดินที่ผสมปูนขาวด้วยไอน้ำในดินประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

4.6.2.5 ระยะเวลาทิ้งช่วงระหว่างการผสมและการบดอัด

MATEOS (1964) ได้อธิบายว่า หากทิ้งดินตัวอย่างไว้ก่อนการบดอัดจะทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลง เช่น จากการทดสอบกับดิน Plastic Loess พบว่าหากทิ้งดินที่ผสมไว้ 1 วัน แล้วจึงบดอัด จะให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดเมื่อปริมาณน้ำร้อยละ 22.5 แต่ถ้าไม่ทิ้งไว้เลยคือ ผสมเสร็จแล้วทำการบดอัดทันที จะใช้ปริมาณน้ำที่ให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลงร้อยละ 2 แต่จะไม่ทำให้กำลังน้ำหนักสูงสุดเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 4.17 จากผลดังกล่าวว่าผลของ Delay Compaction ทำให้การลดอัดดินกระทำได้ยากขึ้นอันเป็นผลทำให้ค่า MDD และ OMC ของตัวอย่างดินลดลง อย่างไรก็ตามผลข้อนี้สะท้อนให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในดินกล่าวคือ ดินจะรวมตัวกันเป็นก้อนโตขึ้นอันทำให้การบดอัดลำบากขึ้นและทำให้ค่า MDD ลดลง

4.6.2.6 สารเคมีที่ใช้ผสมเพิ่ม

อิทธิพลที่เกิดจากสารประกอบที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกำลังรับน้ำหนักของดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาวนั้น DAVIDSON และคณะ (1960), MTEOS (1963)1964) LAGUROS และ DAVIDSON (1962) อธิบายไว้ในทำนองเดียวกันว่า ได้แก่

Sodium Silicate , Sodium Hydroxide Sodium Potassium , Potassium Permanganate Sodium Calcium , Calcium SulphateSodium Magnesiu , Magnesiu Oxide และ Calcium Clhloride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATEOS (1964) กล่าวสรุปว่า สารที่พบว่าทำให้เกิดความสามารถในการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุดนั้นได้แก่ Sodium , Silicate, Sodium Hydroxide และ Sodium Carbonate

MATEOS (1963) ได้แสดงถึงการนำ Sodium Carbonate มาใช้ผสมเพิ่มในการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยปูนขาว แล้วสรุปว่าเป็นการไม่ประหยัดที่จะใช้สารประกอบทางเคมีเหล่านี้มาใช้ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของดินเพราะไม่สามารถที่จะทำนายผลในการเพิ่มความแข็งแรงของดินได้อย่างถูกต้องหรือใกล้เคียง ดังแสดงความตารางที่ 4.9

MATEOS และ DAVIDSON (1962) , LAGUROS และ DAVIDSON (1962) ได้ศึกษาการเพิ่มสารประกอบประเภท Sulphate พบว่าการใส่สารประกกอบ Sulphate เพียงเล็กน้อยเท่านั้นอาจจะเป็นผลดีหรือเกิดผลเสียก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและปูนขาวที่ใช้การใช้สารเคมีเพื่อเป็นสารผสมเพิ่มในงานปรับปรุงคุณภาพของดินโดยใช้ปูนขาวหรือปูนซีเมนต์จึงควรพิจารณาให้.รอบคอบและทางที่ดีที่สุดควรทำการทดลองโดยตรงกับดินแต่ละชนิดที่จะนำไปใช้งาน

4.7 <u>งานวิจัยเกี่ยวกับ Lime Stabilization ในประเทศไทย</u>

BUNNAG (1964) ได้ทำการวิจัยเรื่องคุณสมบัติการบวมตัวของดินกลุ่ม A-7 เมื่อผสมปูนขาว พบว่าเมื่อผสมปูนขาวในปริมาณร้อยละ 5 จะทำให้ลดอัตราการบวมตัว (Swelling) ของดินลงได้ประมาณร้อยละ 80 และจะทำให้ลดอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาตรลงได้ประมาณร้อยละ 78

WOO (1971) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การใช้ปูนขาวผสมลงไปในดินลูกรังหลายแหล่งในประเทศไทย พบว่า เมื่อใช้ปริมาณปริมาณปูนขาวมากขึ้น ค่าความแน่นแห้งสูงสุดจะลดลง ค่าปริมาณความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุดจะเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Wet Compressive Strength กับปริมาณปูนขาว จะมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งแบบ Parabola ค่าปริมาณปูนขาวชนิด Hydrated Lime ในปริมาณร้อยละ 3 จะให้ค่า Wet Compressire Strength สูงสุด นอกจากนั้นยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Activity Ratio กับ Wet Compressire Strength เป็นเส้นตรง อีกด้าย

LUTHRA (1978) ได้ศึกษาผลกระทบทางเคมีเมื่อมีการแพร่กระจายของปูนขาวในดินเหนียวบริเวณ รังสิต ธัญบุรี องครักษ์ พบว่า ค่า pH ของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มและปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้น ค่า Electrical Conductivity ไอออนของ Ca^{++} และ Mg^{++} จะลดลงเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น และจะเมื่ออายุการบ่มมากขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณปูนขาวมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้น ไอออนของ Na^{+} K^{+} Al^{+++} และFe^{++} จะลดลงของอัตราการอายุการบ่มและปริมาณปูนขาวมากขึ้น

ANSHUMALI (1980) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ Lime Column Stabilization ของดินกรุงเทพฯในห้องปฏิบัติและศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติของดินบริเวณที่ทำ Lime Column พบว่า การลดลงของอัตราการยุบตัวนั้นมาจากสาเหตุ 3 ประการ ประการแรก คือ การเปลี่ยนแปลงขนาดคละของดินทำให้ดินรวมกันเป็นก้อนโตขึ้น ประการที่สอง คือ Lime Column จะมีลักษณะเป็น Rigid Support และความสามารถรับน้ำหนักของ Column จะขึ้นอยู่กับความห่างของหลุมเจาะ และประการสุดท้ายค่า Shear strength ของดินประเภทนี้เพิ่มขึ้น

LEE (1983) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ Lime Column บริเวณ อำเภอบางประกง จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่าเมื่อใช้ปูนขาวปริมาณร้อยละ 10 หลังจากทิ้งไว้นาน 12 สัปดาห์ จะให้ค่า Shear Strength ที่ทดสอบในสนามเพิ่มขึ้น 14 เท่า ของดินที่ไม่ได้ผสมปูนขาว และยังทำให้ลดปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินเหนียวผสมปูนขาวลงได้อย่างเห็นได้ชัด

MAITHILI (1983) ได้ทดลองผสมปูนขาวและ Flyash ในดินเหนียวบริเวณหนองงูเห่า โดยใช้ Flyash จากอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง พบว่าเมื่อใช้ปูนขาวปริมาณร้อยละ 3 และ Flyash ร้อยละ 27 บ่มนานกว่า 28 วัน จะทำให้ค่า Shear Strength เพิ่มสูงมาก หากใช้ปูนขาวเพียงอย่างเดียวผสมกับดินเหนียวบริเวณนี้ พบว่าปริมาณของปูนขาวประเภท Quicklime ที่พอเหมาะคือปริมาณร้อยละ 4 และประเภท Hydrated Lime ปริมาณที่พอเหมาะคือร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก

RUENKRAIRERGSA และ PIMSARN (1982) ได้ทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพดิน Clay Shale บริเวณดินถมคันทางของทางสายเชียงใหม่-เชียงดาว-ผาง โดยวิธี Deep Hole Lime Stabilization ซึ่งพบว่าดิน Clay Shale ในบางพื้นที่มีความเคลื่อนตัวของคันทางอยู่เสมอ จากผลการทดลองพบว่า ระยะห่างและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแต่ละหลุมที่ให้ผลดีควรจะเป็น 2-3 เมตร และ 15 ซม. ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบอีกว่า เมื่อปูนขาวได้แพร่กระจายดีแล้วจะมีผลทำให้ Strength Parameters ต่าง ๆ ของดินรอบ ๆ หลุมปูนขาวเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Plasticity Index และปริมาณความชื้นตามธรรมชาติของดินที่อยู่รอบ ๆ หลุมปูนขาวนั้นลดลง

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และคณะ (2531) ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดินบริเวณป้อมพระจุลจอมเกล้าผสมกับปูนขาว ในโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาการใช้พื้นที่บริเวณป้อมพระจุลจอมเกล้า พบว่า ปฏิกริยา Ion Exchange จะเกิดในช่วง 7 วันแรกอันมีผลทำให้ดินเหนียวมี workability ดีขึ้น ซึ่งปฏิกริยานี้ถือว่าเป็น Immediate Reaction ส่วนปฏิกริยา Pozzolanic Reaction จะเกิดในช่วงอายุการบ่มตั้งแต่ 14 วันขึ้นไป ทำให้ดินเหนียวมีค่า Shear Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ CBR สูงขึ้น ซึ่งปฏิกริยานี้ถือว่าเป็น Long- Term Reaction อายุการบ่มจะมีอิทธพลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการกระจายขนาด Atterberg Limits และ Shear Strength ของดินเหนียวมากกว่าปริมาณปูนขาวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณปูนขาวร้อยละ 5 ถือได้ว่าเป็นปริมาณที่ประหยัดที่จะใช้ผสมกับดินเหนียวที่ก่อให้เกิด Workability ในการทำงาน ค่า Shear Strength ของดินเหนียวผสมปูนขาว มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในทุกปริมาณปูนขาวที่ใช้ผสมในช่วงอายุการบ่ม 14-180 วัน ค่า CBR ของดินเหนียวผสมปูนขาวจะเพิ่มสูงขึ้นในทุกปริมาณปูนขาวที่ผสมและทุกอายุการบ่ม และอัตราการเพิ่มของค่า CBR ตามปริมาณปูนขาวและอายุการบ่มจะแน่นอนกว่าอัตราการเพิ่มของค่า Shear Strength ของดินเหนียวผสมปูนขาว ซึ่งอาจแสดงแนวโน้มที่จะเพิ่มหรือลดได้

RUENKRAIRERGSA(1982) กล่าวว่าจำนวนปูนขาวเพียงเล็กน้อยที่เพิ่มเข้าไปในดินที่มี Plasticity Index สูงก่อนจะผสมซีเมนต์จะช่วยลดค่า Plasticity Idex ของดินลงได้มาก และทำให้ดินผสมกับซีเมนต์ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงถึงคุณสมบัติและรูปแบบผลิตภัณฑ์ของ Hydrated Lime

(REMUS and DAVIDSON , 1961)

PROPERTIES AND PRODUCTION INFORMATION OF HYDRATED LIMES						
	Calcitic Hydrated lime			Monohydrate Type N Dolomitic Lime		
	A[a]	B[a]	C[a]	D[a]	E[a]	F[a]
Chemical constituent,% by wt[b]						
Calcium oxide, CaO	73.0	73.46	73.9[c]	49.1	47.52	48.3
Calcium hydroxide, $Ca(OH)_2$	96.5[d]	97.04	97.68	64.8[d]	61.81	63.7[d]
Magnesium oxide, MgO	0.3	0.93	0.64	32.0	33.50	33.2
Silica, SiO_2	0.6	0.34	0.69	0.4	0.6	0.6
Iron-alumina, R_2O_3	0.3	0.24	0.59	0.3	0.62	1.1
Total loss on ignition	24.5-27.0	24.92	24.22	17.0	17.84	16.8
Ca : Mg ratio	—	—	—	1.815 : 1[e]	1.682 : 1[e]	1.732 : 1[e]

[a] Designation of lime manufacturer.

[b] Data supplied by company concerned.

[c] Calculated by molecular weight ratios from amount of $Ca(OH)_2$ present.

[d] Calculated by molecular weight ratios from amount of CaO present.

[e] Calculated as ratio of calcium to magnesium by weight from amount of materials present as their oxides.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงถึงกำลังรับน้ำหนักของดินที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ

(TREADWELL and DAVIDSON , 1961)

Type soil (1)	Curing time, days[b] (2)	Type of Lime			
		Calcitic hydrated		Dolomitic monohydrate	
		Optimum lime content, in percentage[c] (3)	Strength in pounds per square inch (4)	Optimum lime content, in percentage (5)	Strength in pounds per square inch (6)
Montmorillonite and kaolinite rich	7	2 – 8	60 – 120	8 – 12	100 – 200
	28	2 – 8	150 – 250	8 – 14	250 – 400
Illite – and chlorite rich	7	3 – 5	50 – 100	4 – 6	100 – 150
	28	4 – 6	130 – 170	4 – 8	200 – 250
Halloysite rich	7	4 – 8	50 – 100	4 – 8	50 – 100
	28	4 – 8	75 – 125	6 – 14	150 – 200

[a] 2in. high by 2 in. diameter samples molded to near standard Proctor maximum density and immersed one day prior to testing.

b Cured at 70°F and 90% or higher relative humidity.

c Percentage dry weight of soil.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลของการบ่มดินชนิด PLASTIC LOESS ด้วยไอน้ำที่ 248 F , ATMOSPHERE กับการบ่มชนิดธรรมดาที่อุณหภูมิ 70 F ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95 %

(METOS , 1963)

Admixture		Immersed compressive strength, in pounds per square inch.			
		Steam curing			Ordinary curing.
Kind (1)	Amount (2)	0.5 hr (3)	3 hr (4)	8 hr (5)	90 day (6)
Calcitic hydrated lime	2	73	95	95	60
	5	531	680	730	180
	8	524	1060	1280	210
	12	516	1453	1683	290
Portland cement	2	150	200	210	100
	5	360	410	460	250
	8	610	820	860	540
	12	740	1220	1350	780
Dolomitic mono-hydrate lime	2	0	0	0	30
	5	280	310	290	280
	8	540	650	610	330
	12	570	990	1040	340

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลของการบ่มดินที่ผสมกับปูนขาวด้วยไอน้ำ (STEAM CURING)

(MATEOS and DAVIDSON , 1961)

Soil	Lime		Unconfined compressive strength in pounds per square inch	
	Kind[a]	Amount, in percentage	1 day steam-curing at 248° F + 1 day immersion	90 days moist-curing at 70° F + 1 day immersion.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Dune Sand	C	8	311	30
Friable loess	C	3	630	287
	D	3	254	234
	C	6	1792	403
	D	6	1396	584
	C	9	1441	499
	D	9	1344	621
Alluvial clay	C	9	921	218
	D	9	613	336
Gumbotil clay	C	9	1188	386

[a] C = calcitic hydrated; D = dolomitic monohydrate

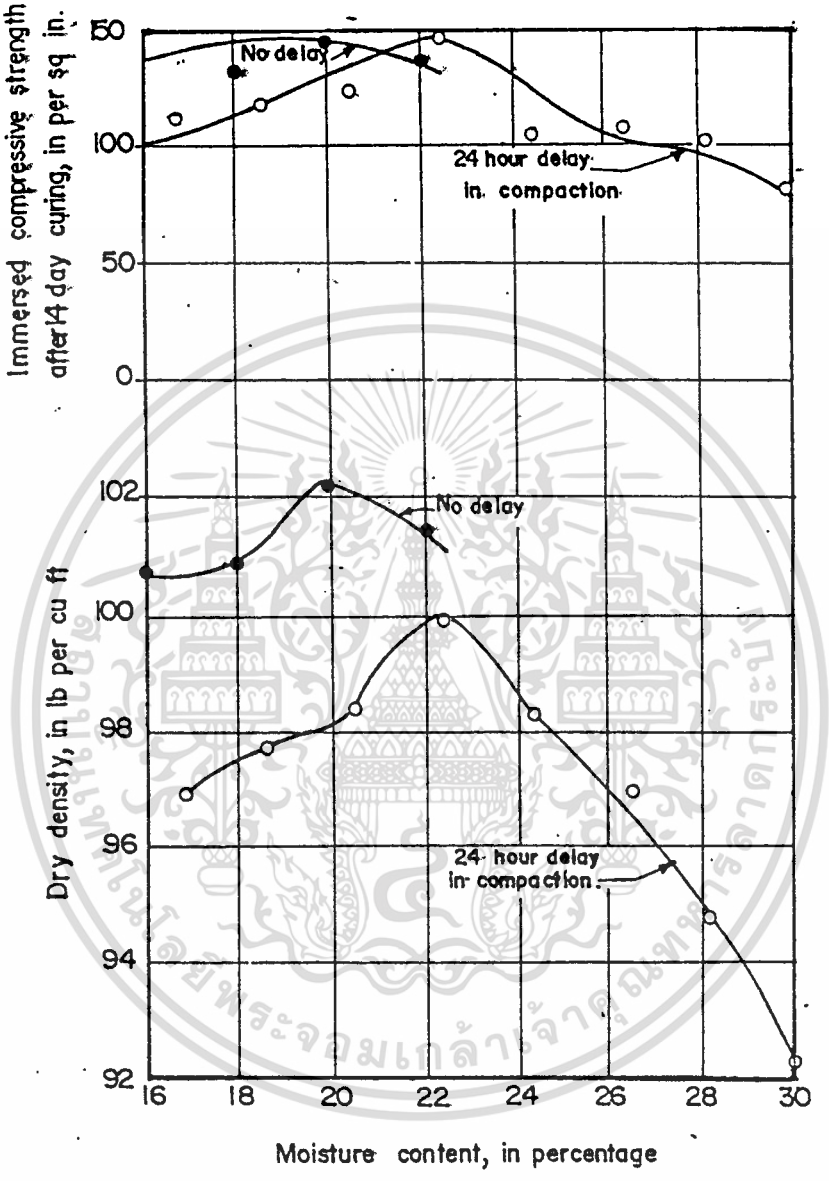
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลของกำลังรับน้ำหนักของดินเมื่อผสม SODIUM CARBONATE ลงไปในการปรับปรุงเสถียรภาพของดินด้วย HIGH CALCIUM QUICKLIME 4.5 %

(MATEOS , 1963)

Soil (1)	Sodium carbonate, in percentage (2)	Application of lime (3)	Dry density, in pound per cubic foot (4)	Unconfined compressive strength, psi	
				7 day cured + 1 day immersion (5)	28 day cured + 1 day immersion (6)
Silt(friable loess)	No	Powder	96.7	60	93
Silt (friable loess)	0.5	Powder	96.7	116	207
Silt (friable loess)	No	Slurry	95.3	89	115
Silt (friable loess)	0.5	Slurry	94.2	73	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงถึงผลของการทิ้งช่วงเวลา หลังจากผสมเสร็จแล้วก่อนการบดอัดของ SILTY CLAY (PLASTIC LOESS) เมื่อผสมด้วยปูนขาว ชนิด DOLOMITIC 9 %

(MATEOS , 1964)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษา
โครงการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทย
โดยวิธี LIME STABILIZATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในประเทศไทยได้มีการเริ่มมีการนำเอา Lime Stabilization มาใช้ในงานทางหลวงแห่งแรกคือ ถนนสายบางนา - บางประกง ซึ่งได้ทำการสำรวจและออกแบบเรียบร้อยแล้ว

การออกแบบเสาเข็มดินปูนขาว
ในการปรับปรุงทางสาย บางนา - บางปะกง

1. ความเป็นมาของปัญหา

เนื่องจากการสร้างถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงผ่านบริเวณดินอ่อนปัญหาสำคัญที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็คือ เสถียรภาพและการทรุดตัวของคันทาง ทางสาย บางนา-บางปะกง เป็นเส้นทางสายหนึ่งที่ประสบกับปัญหาดังกล่าว ดังในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงค่าการทรุดตัวที่วัดได้ของชั้นดินของถนน หลังจากการเปิดใช้งานจราจร พบว่ามีค่าสูงมาก โดยเฉพาะที่บริเวณ กม. 30 มีค่าการทรุดตัวมากที่สุด โดยค่าการทรุดตัวที่วัดได้มีค่าสูงเกินกว่า 2.0 เมตร ปัญหาที่ตามมาก็คือ ความเสื่อมสภาพของถนน ดังนั้น จึงควรหาวิธีที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาของทางสายนี้

2. ข้อมูลคุณสมบัติของดินเดิมและคันทาง

คุณสมบัติและสภาพของชั้นดินเดิม ของทางสาย บางนา-บางปะกง บริเวณ กม. 30 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 ค่า Field Vane Shear Strength ของดินฐานรากตามระยะทางของถนนได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 และผลของค่าเสถียรภาพการอัดตัว (Compressibility) ของชั้นดิน ที่ระยะทางต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 และรูปที่ 5

3. ข้อคิดในการออกแบบถนนสาย บางนา-บางปะกง

ถนนสาย บางนา-บางปะกง เป็นถนนที่ตัดผ่านบริเวณดินเดิมที่มีลักษณะค่อนข้างอ่อนถึงอ่อนมาก ซึ่งสามารถจะแยกออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

บริเวณที่ดินอ่อนมาก เป็นช่วง กม. 20-35 และ กม. 50-55

บริเวณที่ดินอ่อนปานกลาง เป็นช่วง กม. 10-20 และ กม. 35-40

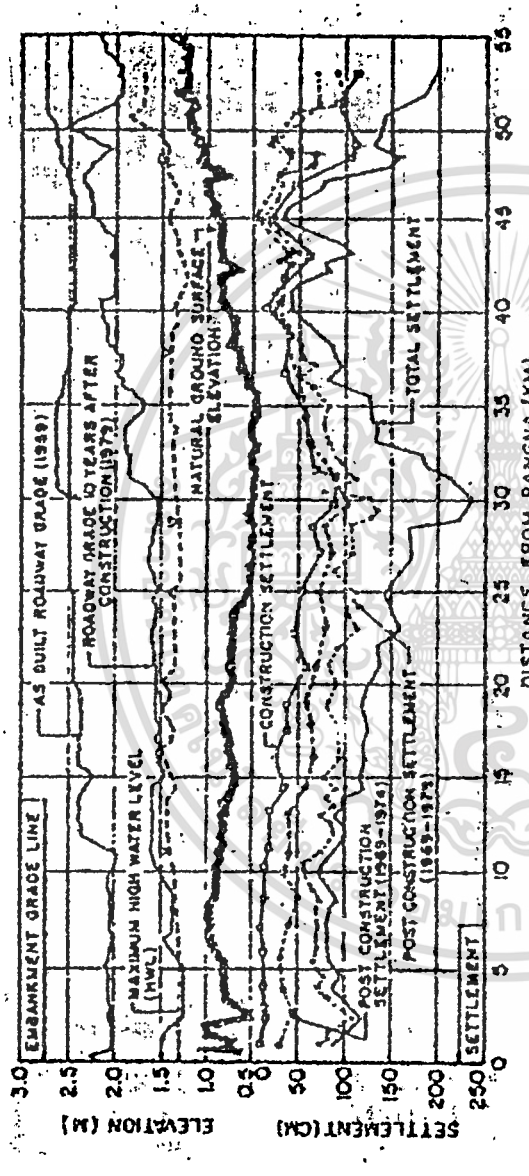
บริเวณที่ดินค่อนข้างดี เป็นช่วง กม. 0-10 และ กม. 40-50

ในบริเวณที่ดินอ่อนมากนั้น การก่อสร้างถนนจะมีค่าการทรุดตัวทั้งในระหว่างก่อสร้างและกำลังก่อสร้างสูง เนื่องจากดินในบริเวณดังกล่าวมีความสามารถรับน้ำหนักกดทับได้น้อยกว่าบริเวณอื่น จากประสบการณ์ในการก่อสร้างถนนสาย บางนา-บางปะกง. ขาออก พอจะสรุปปัญหาในการก่อสร้างและการทรุดตัวได้ดังนี้

3.1 ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของถนน

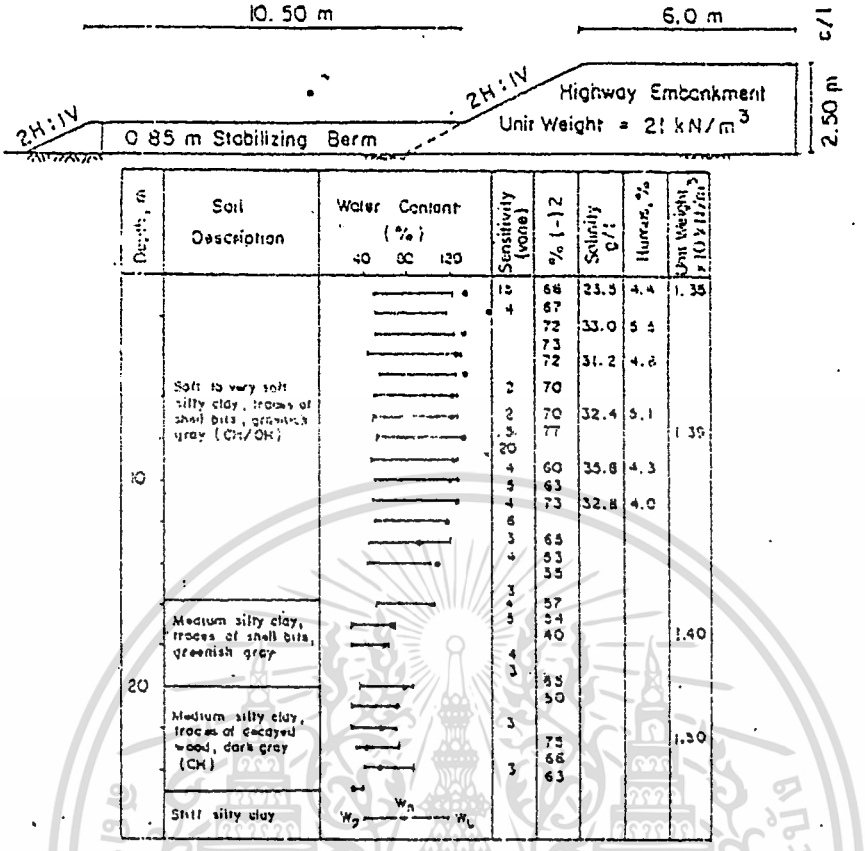
ในการก่อสร้างถนนสาย บางนา-บางปะกง มีปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของคันทาง เนื่องจากมีการยกระดับคันทางสูงเกินกว่าความสูงกำหนด (Critical Height) จึงต้องออกแบบ Berm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

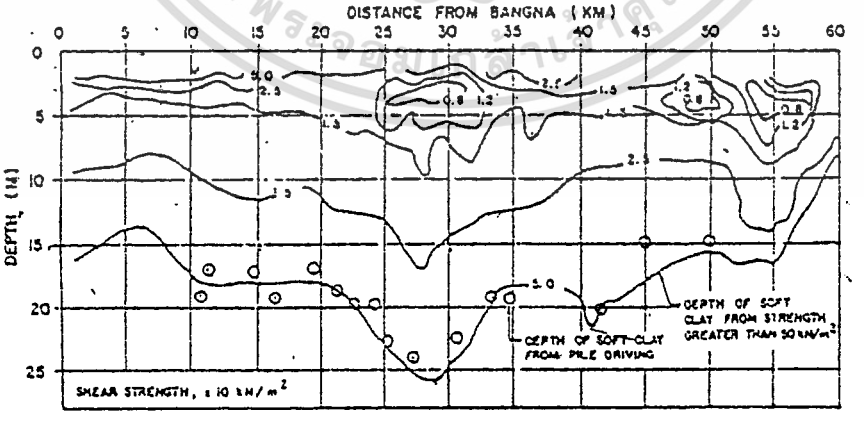


รูปที่ 1 แสดงการทรุดตัวที่วัดได้ ของทางสาย บางนา-บางปะกง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

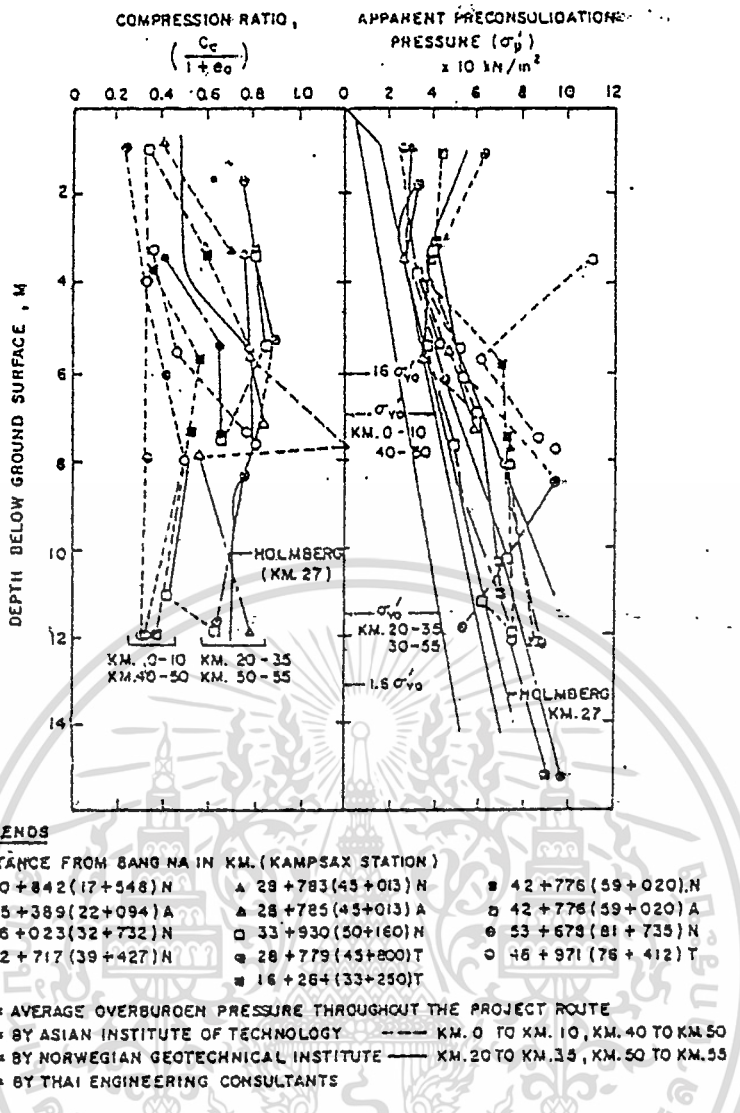


รูปที่ 2 คุณสมบัติและสภาพของชั้นดินเดิม ของทางสาย บางนา-บางปะกง บริเวณ กม.30

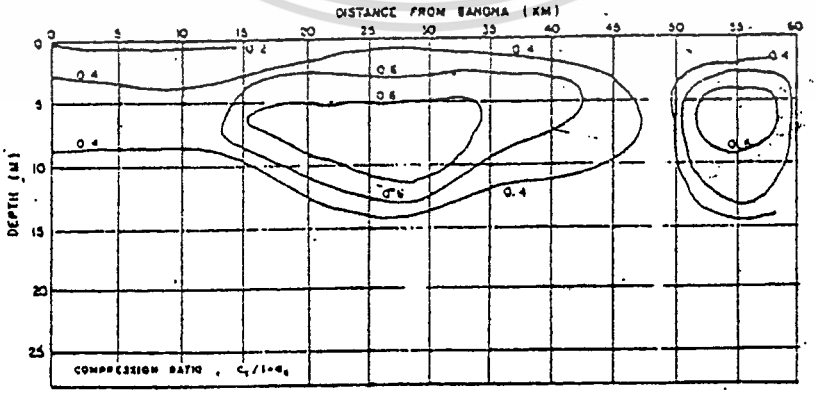


รูปที่ 3 แสดงค่า Field Vane Shear Strength ของดินฐานรากตามระยะทางของถนนสาย บางนา-บางปะกง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงค่าคุณสมบัติของการอัดตัว (Compressibility) ของชั้นดิน ที่ Section ต่างๆ ของทางสาย บางนา-บางประกง



รูปที่ 5 แสดงค่าสัดส่วนการอัดตัว (Compressibility Ratio) ของชั้นดินตามระยะทางของถนน สาย บางนา-บางประกง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อช่วยมิให้คันทางเกิดการ Slide โดยเฉพาะในช่วงบริเวณที่เป็นดินอ่อนมากและดินอ่อนปานกลาง แต่การออกแบบ Berm เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพ ก็อาจจะทำให้เกิดการทรุดตัวสูงได้ อันเนื่องมาจากการเพิ่มน้ำหนักกดทับบนดินอ่อน

3.2 ปัญหาเกี่ยวกับการทรุดตัว

ปัญหาเกี่ยวกับการทรุดตัวในระหว่างก่อสร้าง ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับระดับถนนเพิ่มขึ้นก่อนทำผิวทาง จึงทำให้ความสูงของคันทางในบริเวณดินอ่อนมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลดลงจากค่าที่ได้ออกแบบเอาไว้ เนื่องจากความสูงของคันทางซึ่งสูงกว่าปกติเมื่อมีการทรุดตัวระหว่างการก่อสร้างสูง นอกจากนั้น การทรุดตัวหลังการก่อสร้างก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ทำให้ถนนเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เมื่อถนนทรุดตัวเร็วและมีการเสริมผิวทางก็เป็นการเพิ่มน้ำหนักกดทับทำให้การทรุดตัวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยการทรุดตัวมิได้ชะลอลงเลย

ในการออกแบบถนนสาย บางนา-บางปะกง ครั้งแรกโดยบริษัทได้กำหนดความสูงคันทางแยกเป็นช่วง ๆ ได้ดังนี้

กม. 0-10	ความสูงคันทางที่ก่อสร้าง	1.5	ม.
10-20	"	2.0	ม.
20-30	"	2.0	ม.
35-55	"	1.5	ม.

ในการก่อสร้างจริง มีการปรับระดับทรายถมเนื่องจากการทรุดตัวของคันทางในระหว่างก่อสร้าง จึงทำให้ความสูงของคันทางจริงสูงกว่าความสูงที่ได้ออกแบบไว้เป็น

กม. 0-10	ความสูงคันทางจริง	1.70	ม.
10-20	"	2.25	ม.
20-35	"	2.60	ม.
35-45	"	1.30	ม.
45-55	"	2.60	ม.

จากค่าวัดค่าการทรุดตัวของ ถนนสาย บางนา-บางปะกง ในช่วงระยะเวลา 10 ปี หลังจากการก่อสร้างเสร็จ ได้ค่าการทรุดตัวของถนน ดังนี้

กม. 0-10	ประมาณ	0.80	ม.
10-20	"	1.20	ม.
20-30	"	1.80	ม.
30-35	"	2.00	ม.
35-40	"	1.20	ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40-45	"	0.60 ม.
45-50	"	1.00 ม.

* ข้อมูลการทรุดตัวระหว่างปี 1965-1979

จากข้อมูลที่มีอยู่จะเห็นได้ชัดว่า ในการก่อสร้างถนนผ่านบริเวณที่เป็นดินอ่อนถึงอ่อนมาก โดยมิได้มีการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับดินอ่อน กล่าวคือ เป็นการก่อสร้างตามปกติ โดยการถมคันทางและก่อสร้าง Berm เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของถนน ถนนที่ก่อสร้างในลักษณะเช่นนี้จะมีอายุการใช้งานประมาณ 10-20 ปี หากมีการบำรุงโดยปกติ ทั้งนี้เนื่องจากการทรุดตัวมีค่าสูงและมีปัญหาเกี่ยวกับระดับน้ำข้างทางด้วย จึงอาจจะต้องมีการก่อสร้างใหม่ จริงอยู่ เมื่อมีการก่อสร้างใหม่โดยยกระดับคันทางขึ้น การทรุดตัวอาจจะชะลอลง เนื่องจากดินเดิมที่ถูกกดทับอยู่ในสภาพแน่นขึ้น อย่างไรก็ตาม การทรุดตัวที่เกิดขึ้นใหม่ก็มิยังมิได้ลดลงจากเดิมมากนัก ซึ่งโดยทั่วไป อาจจะลดลงประมาณมาก การทรุดตัวด้านข้างก็จะลดลงแต่อย่างไรก็ตาม การทรุดตัวจะยังคงมีอยู่พร้อม ๆ กันไป เสมือนหนึ่งว่า คันทางทรุดตัวช้าลง เพราะบริเวณใกล้เคียงก็มีการทรุดตัวเช่นเดียวกัน จึงคาดว่าในการก่อสร้างถนนในลักษณะนี้จะทำให้อายุการใช้งานนานขึ้นไม่เกิน 5 ปี

หากมีการออกแบบแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับดินอ่อน โดยทำการปรับปรุงเสถียรภาพของดินอ่อนหรือถ่ายน้ำหนักของคันทางไปยังดินชั้นที่แข็งกว่าโดยการตอกเสาเข็มก็สามารถที่จะแก้ปัญหาเกี่ยวกับการทรุดตัวของคันทางและปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของถนนได้ ในการออกแบบอาจจะออกแบบโดยคาดคะเนอายุการใช้งานของถนนหรือออกแบบให้คันทางมีอายุการใช้งานนานมากมีแต่เฉพาะการบำรุงรักษาผิวทางให้อยู่ในสภาพดีก็ได้

เทคนิคในการปรับปรุงเสถียรภาพดินอ่อน

-Prefabricatd Vertical Drain

-Lime หรือ Cement Column

-Stone หรือ Sand Compaction Pile

-Shallow Soil Stabilization

-เทคนิคพิเศษอื่น ๆ

- เสาเข็มรับน้ำหนักคันทาง

- Light Weight Material เช่น EPS หรือวัสดุมวลเบาอื่น ๆ ซึ่งใช้แทนวัสดุทรายถมหรือดินถม Geotextile หรือ Geogrid เป็น Saparator และ Soil Reinforcement

4. <u>การออกแบบถนนสาย บางนา-บางปะกง ขาเข้า</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบถนนสาย บางนา-บางปะกง ขาเข้า เป็นการออกแบบเพื่อก่อสร้างครั้งที่สอง ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบในส่วนของ Main Road และ Frontage Road ในส่วนของ Main Road เป็นการเพิ่มช่องจราจรจาก 2 เลน เป็น 3 เลน ส่วน Frontage Road เป็นการทำถนน 2 เลน ซึ่งจะก่อสร้างใหม่ ฉะนั้นจึงเป็นการออกแบบถนนเดิมและถนนใหม่บนดินอ่อน

เมื่อพิจารณาจากปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น มีข้อคิดว่าจะยอมรับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างถนนบนดินอ่อนอีกหรือไม่ จะออกแบบโดยการแก้ปัญาที่จะเกิดขึ้น หรือจะออกแบบเพียงแต่ชะลอปัญหาที่จะเกิดขึ้น

4.1 หากยอมรับสภาพโดยมิได้แก้ปัญหาเกี่ยวกับดินอ่อน ก็สามารถกำหนดความสูงของคันทางได้จากประสบการณ์เดิม ซึ่งในกรณีนี้ อาจจะก่อสร้าง Berm ในบริเวณที่จำเป็นด้วย ข้อดีในกรณีนี้คือ ค่าก่อสร้างราคาถูก

4.2 หากไม่ยอมรับสภาพดินอ่อน อาจทำการก่อสร้างโดยวิธีต่าง ๆ เกี่ยวกันเทคนิคการปรับปรุงเสถียรภาพดินอ่อน ซึ่งจะเป็นการแก้หรือชะลอปัญหาอื่น ๆ เช่น การตอกเสาเข็มหรือ Soil Reinforcement ก็อาจนำมาใช้ได้เช่นกัน ข้อเสียในกรณีนี้คือ ค่าก่อสร้างราคาแพง

ในการออกแบบก่อสร้างถนนสาย บางนา-บางปะกง นั้น มีข้อจำกัดเกี่ยากับปัญหาการจราจรจึงจำเป็นต้องก่อสร้าง Frontage Road ให้เสร็จก่อนแล้วจึงก่อสร้างและปรับปรุง Main Road ในบริเวณที่ดินอ่อนมาก จำเป็นจะต้องออกแบบเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพและการทรุดตัวของคันทาง เทคนิคที่ใช้จึงจำเป็นจะต้องปรับปรุงดินฐานราก หรือส่งถ่ายน้ำหนักคันทางผ่านดินอ่อนไปยังชั้นดิน ซึ่งสามารถรับน้ำหนักได้ ส่วนในบริเวณที่เป็นดินอ่อนปานกลางและบริเวณรอบข้างซึ่งมีการถมดินไว้แล้วอาจจะมีการก่อสร้างตามปกติ หรืออาจจะใช้วิธีปรับปรุงเสถียรภาพดินก็ได้ ข้อที่พิจารณาคือการทรุดตัวของถนนที่เกิดขึ้นในระยะยาว

เทคนิคการปรับปรุงเสถียรภาพดินโดยวิธี Prefabricated Vertical Drain ซึ่งนำมาใช้ก่อสร้างถนนสาย กรุงเทพฯ-ชลบุรี และถนนวงแหวนรอบนอก ซึ่งไม่สามารถที่จะนำมาใช้ก่อสร้างในถนนสาย บางนา-บางปะกง ได้ เนื่องจากพื้นที่ในการก่อสร้างมีจำกัดจึงไม่สามารถจะก่อสร้างคันทางให้สูงพอที่จะเป็น Surcharge Material ได้ ทั้งยังต้องปิดการจราจรในช่วงรอเวลาการทรุดตัวของคันทางอีกด้วย

วิธีการแก้ปัญหาการก่อสร้งถนนดินอ่อนโดยใช้เทคนิค Stone หรือ Sand Compaction Pile นั้น ในขณะนี้ยังไม่มีผู้รับจ้างซึ่งมีประสบการณ์ในประเทศไทยดีพอ วิธีการนี้จึงไม่น่าที่จะนำมาใช้

วิธี Lime หรือ Cement Column ขณะนี้เริ่มมีการใช้ในประเทศไทยลักษณะการก่อสร้างคล้ายกับการทำเสาเข็มเจาะ ซึ่งเมื่อก่อสร้างเสร็จแล้วจะมีกำลังรับน้ำหนักได้ใกล้เคียงกับเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอก และดินบริเวณรอบ Lime หรือ Cement Column จะมีคุณสมบัติดีขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี ฉะนั้น ในการก่อสร้างถนนสาย บางนา-บางปะกง ในบริเวณที่ดินอ่อนมากจึงควรใช้วิธี Lime หรือ Cement Column เนื่องจากวิธีการนี้ยังช่วยลดปัญหาการเคลื่อนตัวของดินด้านข้างได้อีกด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับการตอกเสาเข็มเพื่อรับน้ำหนักคันทาง

อย่างไรก็ตาม ในบริเวณซึ่งมีเขตทางจำกัดและดินไม่อ่อนมาก อาจมีปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของคันทาง ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยวิธีการ Shallow Soil Stabilization เนื่องจากความจำกัดของเขตทางจึงไม่มีพื้นที่ที่จะทำ Berm การก่อสร้างในลักษณะนี้จึงมิได้เป็นการแก้ไขปัญหาการทรุดตัวในระยะยาว อายุการใช้งานของถนนก็จะใกล้เคียงกับการก่อสร้างแบบปกติแต่ค่าบำรุงรักษาจะถูกกว่า

การใช้ Geotextile หรือ Geogrid เป็น Soil Reinforcement ในคันทาง ก็สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของคันทางได้ แต่มิได้แก้ปัญหาการทรุดตัวของคันทางโดยตรง แต่ในขณะนี้วัสดุดังกล่าวข้างต้น ยังมีราคาแพงเมื่อนำมาใช้เป็น Soil Reinforcement

การใช้ Light Weight Material เช่น EPS หรือวัสดุมวลเบาอื่น ๆ แทนทรายถมคันทาง ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ในบางกรณี อย่างไรก็ตามปัญหาการทรุดตัวของคันทางในระยะยาวก็ยังคงมีอยู่ อีกทั้งความคงทนของวัสดุ EPS ยังมิได้ปรากฏเป็นที่แน่ชัดในระยะยาว นอกจากนั้นวัสดุ EPS ยังมีราคาค่อนข้างแพง

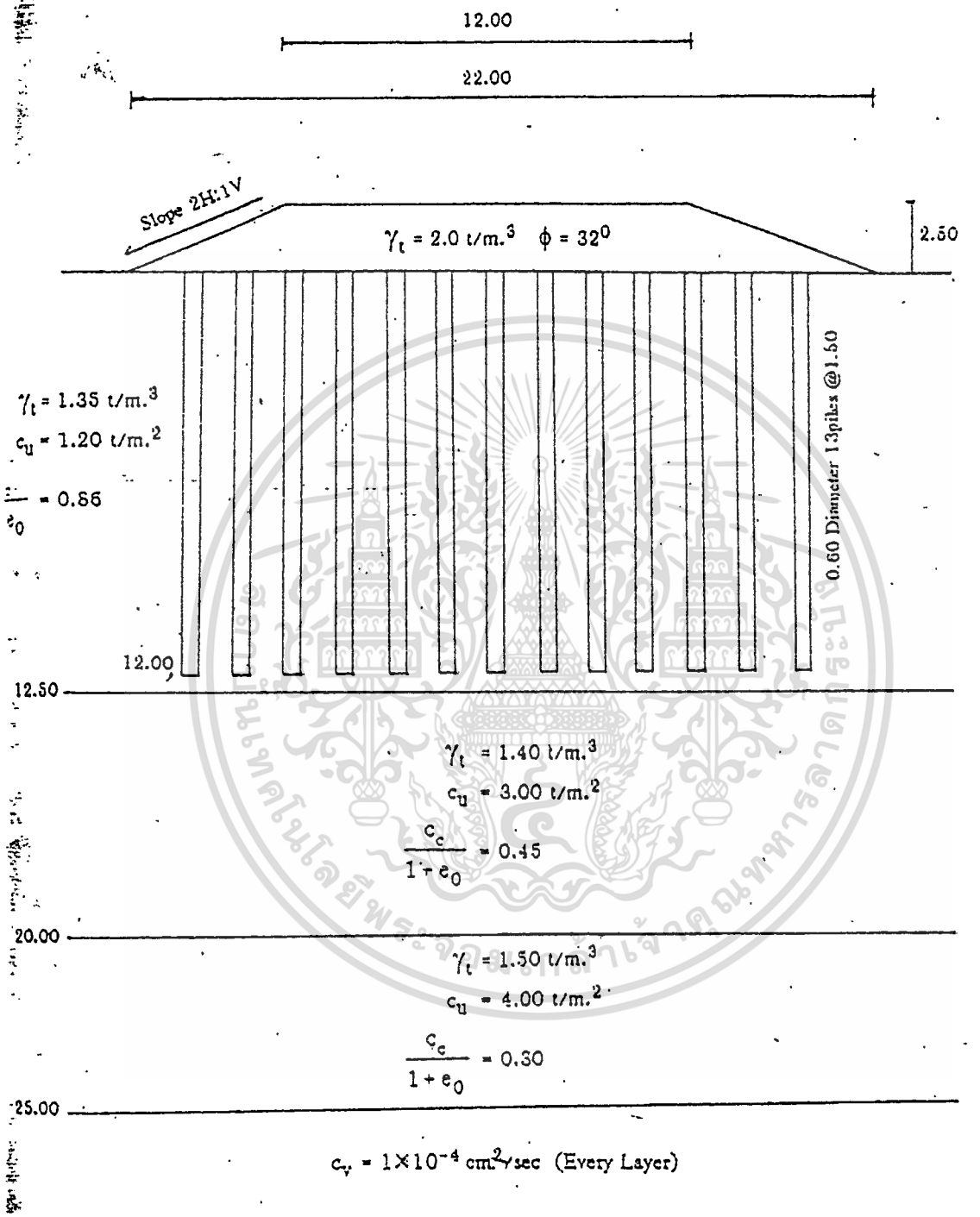
โดยสรุปแล้ว รูปแบบของการก่อสร้างถนน สายบางนา-บางปะกง ควรจะใช้วิธี Lime หรือ Cement Column ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการก่อสร้างโดยวิธีใช้เสาเข็มตอกจะประหยัดกว่า และวิธี Lime หรือ Cement Column สามารถช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพและการทรุดตัวได้ แต่หากจะก่อสร้างโดยวิธีใช้เสาเข็มตอก ก็สามารถกระทำได้ในเฉพาะบริเวณ Frontage Road เท่านั้น วิธีการนี้ไม่สมควรที่จะนำมาใช้ก่อสร้างในบริเวณ Main Road ทั้งนี้เพราะจำเป็นจะต้องมีการรื้อคันทางเดิม และอาจมีปัญหาการเคลื่อนตัวของดินในระหว่างก่อสร้างได้

5. <u>กำหนดขนาดและรายละเอียดในการออกแบบเสาเข็มดินปูนขาว</u>

การออกแบบในขั้นต้น กำหนดให้เสาเข็มดินปูนขาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร หยั่งปลายเสาเข็มที่ระดับความลึก 12 เมตร ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 1.50 เมตร จำนวนเสาเข็มเท่ากับ 13 ต้นต่อแถว โดยรับน้ำหนักจากคันทางสูง 2.50 เมตรและกว้าง 12 เมตร ดังรายละเอียดที่แสดงในรูปที่ 6

6. <u>ค่าเสถียรภาพความมั่นคงของคันทาง</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 รายละเอียดในการออกแบบเสาเข็มดินปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ค่าเสถียรภาพความมั่นคงของคันทางโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SB-Slope สำหรับข้อมูลค่ากำลังของเสาเข็มดินปูนขาว และดินบริเวณรอบข้าง แปลงได้เป็นค่าเฉลี่ยจากสมการ

$$c_{AV} = c_U (1-a) + c_{COL} a$$

เมื่อ $c_U = 1.2$ t/m.^{2}

$$a = \left[\frac{NA_{COL}}{B \times L} \right]$$

$$= \left[\frac{13 (\pi \times 0.6^2/4)}{18.6 \times 1.5} \right]$$

$$= 0.132$$

$c_{COL} = 20.0$ t/m.^{2}

แทนค่า $c_{AV} = 1.2 (1-0.132) + (10.0 \times 0.132)$

$= 3.68$ t/m.^{2}

ผลการวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพความมั่นคงของคันทาง เนื่องจากผลรวมของน้ำหนักตายตัวของถนน (คันทาง) กับน้ำหนักจรอันเนื่องมาจากปริมาณการจราจร (DL. + LL.) และน้ำหนักตายตัวของถนน (คันทาง) แต่เพียงอย่างเดียว (DL.) โดยค่า Factor of Safety เท่ากับ 3.23 และ 3.89 ซึ่งคาดว่าเป็นค่าที่ปลอดภัยสำหรับถนนสายนี้ ผลการวิเคราะห์ได้แสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8

7. ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มดินปูนขาว

จากรูปที่ 6

น้ำหนัก DL. ที่กระทำต่อเสาเข็ม/ต้น = 1.5 x 1.5 x 2.5 x 2 = 11.25 ton

น้ำหนัก LL. ที่กระทำต่อเสาเข็ม/ต้น = 1.5 x 1.5 = 2.25 ton

น้ำหนักรวมที่กระทำต่อเสาเข็ม/ต้น = 11.25 + 2.25 = 13.50 ton

หากค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย เนื่องจากกำลังแรงเฉือนของชั้นดินบริเวณรอบ ๆ เสาเข็ม ลักษณะการวิบัติจึงเป็นแบบการเคลื่อนตัวของชั้นดินดังกล่าว (Soil Failure) จากสมการ

$$Qult\text{-}s = (\pi dH + 9d^2) c_U$$

เมื่อ $d = 0.6$ m. (เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม)

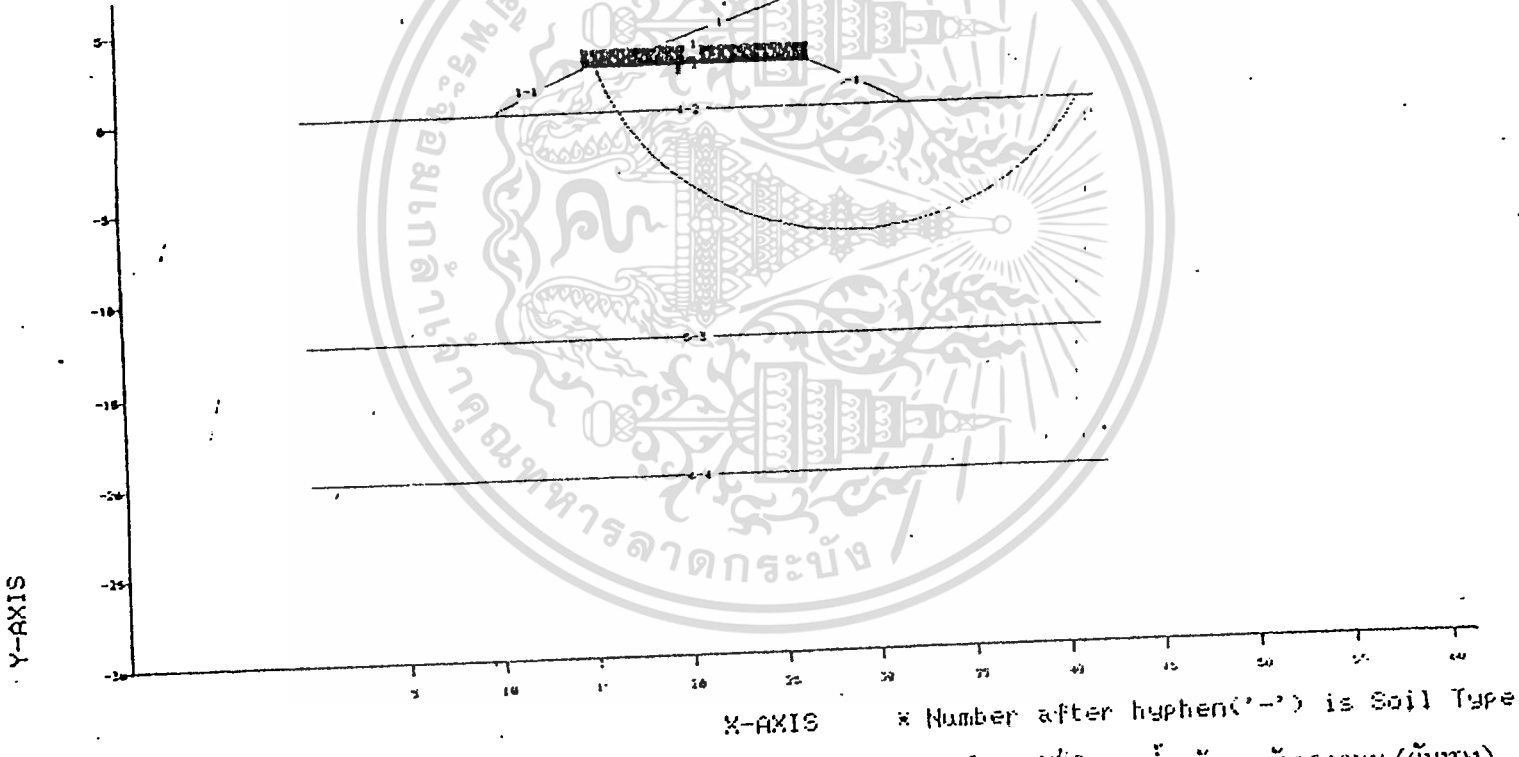
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simplified Bishop Slope Stability Analysis

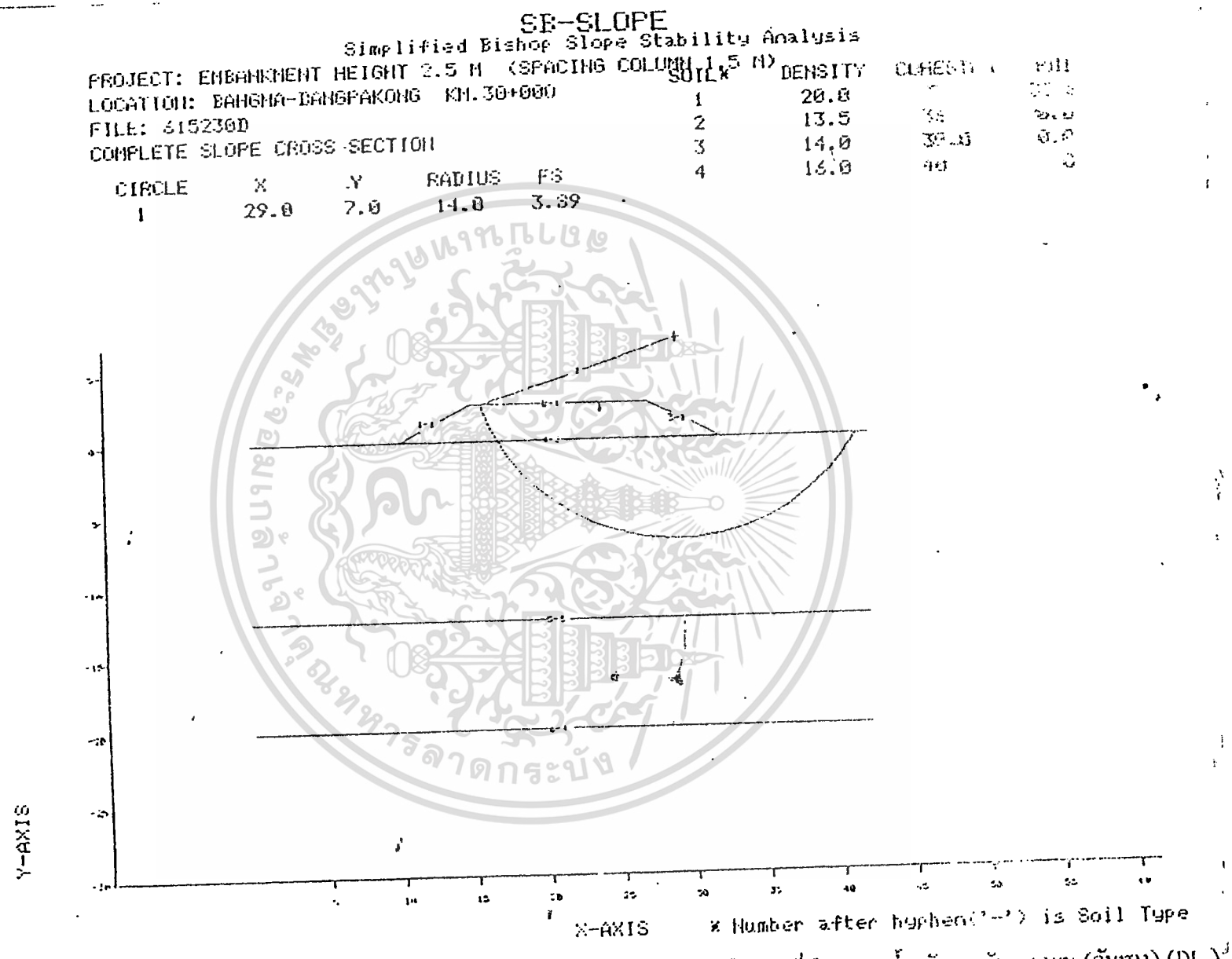
PROJECT: EMBANKMENT HEIGHT 2.5 M (SPACING COLUMN 1.5 M)
LOCATION: BANGNA-BANGPAKONG KM.30+000
FILE: 615230L
COMPLETE SLOPE CROSS SECTION

CIRCLE	X	Y	RADIUS	FS
1	29.0	7.0	14.0	3.23

SOIL#	DENSITY	COHESION	PHI
1	20.0	0.0	32.0
2	13.5	36.8	0.0
3	14.0	30.0	0.0
4	16.0	40.0	0.0



รูปที่ 7. ผลการตรวจสอบค่า Factor of Safety ของคันทาง เมื่อมีการใช้เสาเข็มดินปูนขาว ในกรณีที่เกิดจากน้ำหนักตายตัวของถนน (คันทาง) กับน้ำหนักจร อันเนื่องมาจากปริมาณการจราจร (DL.+LL.)



รูปที่ 8. ผลการตรวจสอบค่า Factor of Safety ของคันทาง เมื่อมีการใช้เสาเข็มดินปูนขาว ในกรณีที่เกิดจาก น้ำหนักบรรทุกจรสม่ำเสมอ (คันทาง) (DL.)

H = 12 m. (ระดับความลึกของปลายเสาเข็มที่กำหนด)

c_u = 1.2 t/m.^{2} (หน่วยแรงเฉือนของชั้นดินบริเวณรอบ ๆ กลุ่มเข็ม)

แทนค่า $Qult\text{-}s = (\pi \times 0.6 \times 12 + 9 \times \pi \frac{0.6^2}{4}) 1.2$

$= 30.20$ ton

เนื่องจากระยะห่างระหว่างเสาเข็มที่ออกแบบมีค่าน้อยกว่าสามเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม ดังนั้นจึงต้องคำนวณค่าปรับแก้เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเข็มกลุ่ม จากสมการ

$$Eg = 1 - \tan^{-1}(d/s) \left[\frac{(n-1)\,m+(m-41)n}{90\,mm} \right]$$

เมื่อ d = 0.6 m.

s = 1.5 m. (ระยะห่างของเสาเข็มซึ่งวัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่างกัน)

n = 1 แถว (จำนวนแถวของเสาเข็ม, ในที่นี้พิจารณาเพียง 1 แถว)

m = 13 ต้น (จำนวนเสาเข็มต่อแถว)

n = 1 แถว (จำนวนแถวของเสาเข็ม, ในที่นี้พิจารณาเพียง 1 แถว)

m = 13 ต้น (จำนวนเสาเข็มต่อแถว)

แทนค่า $Eg = 1\text{-}\tan^{-1}(0.6/1.5) \frac{12}{90 \times 13}$

$= 0.7763$

ค่าประสิทธิภาพของเสาเข็มแต่ละต้น

$Qult\text{-}s = 30.20 \times 0.7763$

$= 23.44$ tons

หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มดินปูนขาว ลักษณะการวิบัติจึงเป็นแบบการพังทลายของตัวเสาเข็มเอง (Column Failure) จากสมการ

$$Qult\text{-}c = A_{CLO}(3.5\, c_{CLO} + 3\bar{\sigma}_h)$$

เมื่อ $A_{CLO} = \frac{0.6^2}{4} = 0.2827$ m.^{2}

$\sigma h = (0.35 \times 12) \times \tan^2 (45^\circ + \frac{30^\circ}{2}) = 12.6$ t/m^2

แทนค่า $Qult\text{-}c = 0.2827\,(3.5 \times 20.0 + 3 \times 12.6)$

$= 30.48$ tons

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากำลังรับน้ำหนักปลอดภัย

$$Qallow = \frac{Qult}{F.S.}$$

เมื่อ Qult = 23.44 tons (เลือกค่าน้อย)

F.S. = 1.5

แทนค่า $Qallow = \frac{23.44}{1.5}$

8.ผลการทรุดตัว

น้ำหนักรวมที่กระทำต่อเสาเข็ม/ต้น = 13.50

ค่า Creep Limit = 0.8 x 30.48 = 24.38 > 13.50 ton

ค่าการทรุดตัวของชั้นดินบริเวณรอบข้างกลุ่มเข็ม (S_1)

$$S_1 = \frac{qH}{E_{col} - E_{soil}}$$

เมื่อ $q = \left[\frac{17(2x2 - 5x1.5 \div (12x1.5)}{18.6x1.5}\right] = 5.22$ t/m^2

H = 12 m.

$$a = \left[\frac{A_{col}}{BxL}\right]$$

$$= \left[\frac{13(\pi x0.6^2 / 4)}{18.6x1.5}\right]$$

$$= 0.132$$

$$E_{col} = 10\left[\frac{(0.8x30.48)}{(\pi x0.6^2 / 4)}\right]$$

$$= 862.41 \text{ t/m.}^2$$

E_{soil} = 300 t/m.^{2}

แทนค่า $S1 = \frac{(5.22x12)}{(0.132x862.41) - (1-0.132)300}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 0.1673 m.

= 16.73 cm.

ค่าการทรุดตัวของชั้นดินบริเวณใต้ปลายเสาเข็ม (S2)

$$S2\text{-}1 = \frac{C_c}{1+C} H_1 \log\left[\frac{\bar{\sigma}_v + \Delta\bar{\sigma}_v}{\bar{\sigma}_v}\right]$$

เมื่อ $\frac{C_c}{1+e_o}$ = 0.86 (จากรูปที่ 6)

H_1 = 0.5 m.

$\bar{\sigma}v$ = 0.35 x 12.25 = 4.288 t/m^2

$$\Delta\bar{\sigma}v = \frac{Q}{[B+(H_1/2)]\,[L+(H_1/2)]}$$

$$= \frac{(127.5+18)}{(18.6+0.25)\,(1.5+0.25)}$$

= 4.411 t/m^2

แทนค่า S2-1 $= (0.86 \times 0.5) \log\left[\frac{4.288+4.411}{4.288}\right]$

= 0.1321 m.

= 13.21 cm.

$$S2\text{-}2 = \frac{C_c}{1+e_o} H_2 \log\left[\frac{\bar{\sigma}v + \Delta\bar{\sigma}v}{\bar{\sigma}v}\right]$$

เมื่อ $\frac{C_c}{1+e_o}$ = 0.45

H_2 = 7.5 m.

$\bar{\sigma}v$ = (0.35x12.5) + (0.4x3.75) = 5.875 t/m^2

$$\Delta\bar{\sigma}v = \frac{Q}{[B+H_1+(H_2/2)]\,[L+H_1+H_2/2)]}$$

$$= \frac{(127.5+18)}{}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(18.6+0.5+3.75)\ (1.5+0.5+3.75)$$

$$= 1.107\ t/m^2$$

แทนค่า S2-2 $= (0.45 \times 7.5) \log \left[\dfrac{5.875+1.107}{5.875} \right]$

$$= 0.2531\ m.$$

$$= 25.31\ cm.$$

$$S2\text{-}3 = \frac{Cc}{1+e_o} H_3 \log \frac{\sigma v + \Delta \sigma v}{\Delta \sigma v}$$

$H_3 = 5.0$ m.

เมื่อ $\dfrac{Cc}{1+e_o} = 0.3$ (จากรูปที่ 6)

$\overline{\sigma}_v = (0.35 \times 12.5)+(0.4 \times 7.5)+(0.5 \times 2.5) = 8.625\ t/m^2$

$$\Delta \overline{\sigma}_v = \frac{Q}{(B+H_1-H_2-(H_3/2))(L+H_2-H_2-(H_3/2))}$$

$$= \frac{(127.5+18)}{(18.6+0.5+7.5+2.5)(1.5+0.5+7.5+2.5)}$$

$$= 0.417\ t/m^2$$

แทนค่า $S2\text{-}3 = (0.3 \times 5.0) \log \left[\dfrac{(8.625+0.417)}{8.625} \right]$

$$= 0.0307\ m.$$

$$= 3.07\ cm.$$

ผลรวมของค่าการทรุดตัวทั้งหมด $= S1+S2\text{-}1+S2\text{-}2\text{-}S2\text{-}3$

$$= 16.73+13.21+25.31+3.07\ cm.$$

$$= 58.32\ cm.$$

9. <u>ค่าการทรุดตัวแตกต่างระหว่างเสาเข็มดินปูนขาว</u>

ค่ามุมแตกต่างระหว่างการทรุดตัวของเสาเข็มระหว่างต้น จากสมการ

$$\alpha = \frac{S_{per}}{G_{av}}$$

โดย $S_{per} = \dfrac{Q}{2(B+L)f_1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Q = 127.5+18 = 145.5 ton

B = 18.6 m.

L = 1.5 m.

H = 12 m.

แทนค่า $S_{per} = \frac{145.5}{[2(18.6+1.5)12]}$

$= 0.301617\ t/m^2$

$\frac{c_u}{F.S.} = \frac{1.2}{1.5} = 0.8 > 0.301617$

2.) $G_{av} = \frac{B}{(B-md)} G_{soil}$

เมื่อ B = 18.6 m.

m = 13

d = 0.60 m.

แทนค่า G_{soil} = 100X1.2 =120 $t/m.^2$

$G_{av} = \frac{18.6}{(18.6-(13x0.6))} \times 120$

$= 206.667\ t/m.^2$

แทนค่า $\alpha = \frac{0.301617}{206.667}$

= 0.0015 เรเดียน

10. อัตราการทรุดตัวต่อเวลา

อัตราการทรุดตัวต่อเวลา ของค่าการทรุดตัวของชั้นดินบริเวณรอบข้างกลุ่มเข็ม (S1) ซึ่งหาได้จากสมการ

$U(t) = 1-(1-U_v)(1-U_r)$

1.) $T_v = \frac{C_v t}{H^2}$

$= \frac{(1x10^{-4} x31,536,000xt)}{1200^2}$

= 0.00219 t เมื่อ t เท่ากับระยะเวลา (Years)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จากค่า T_v จึงหาค่า U_v ได้จากตารางที่ 1

2.) $U_r = 1-\exp\left[\frac{8\,T_r}{f(n)}\right]$

2.1) $Tr = \frac{C_{vh}t}{S^2}$

$= \frac{(1x10^{-4}x31,536,000xt)}{150^2}$

$= 0.14016\ t$ เมื่อ t เท่ากับระยะเวลา (Year)

2.2) $f(n) = \frac{n^2}{n^2-1}\ln(n) - \frac{3}{4} + \frac{1}{4n^2}$

เมื่อ $n = \frac{R}{r}$

$= \frac{0.75}{0.30} = 2.5$

แทนค่า $f(n) = \frac{2.5^2}{2.5^2-1}\ln(2.5) - \frac{3}{4} + \frac{1}{4x2.5^2} = 0.3808$

ผลคาดคะเนอัตราการทรุดตัวของชั้นดินกับระยะ ของถนนสาย บางนา-บางปะกง บริเวณ กม.30 หลังจากมีการใช้เสาเข็มดินปูนขาว ตามรายละเอียดในการออกแบบขั้นต้น ได้แสดงไว้รูปที่ 9

11. ปรับแก้ขนาดและรายละเอียดรวมทั้งเลือกค่าการออกแบบที่เหมาะสม

ปรับแก้ระดับความลึกของเสาเข็มดินปูนขาว ซึ่งอาจจะเริ่มต้นจากระดับ 10 เมตร ค่อย ๆ เพิ่มความลึกจนถึงที่ระดับ 20 เมตร เพื่อหาค่าการออกแบบที่เหมาะสม โดยทำการคำนวณเช่นนี้ใน กม. 15 , กม.25 และ กม. 30 ตามลำดับ ผลของการคำนวณค่าการออกแบบดังกล่าวได้แสดงในตารางที่ 2- ตารางที่ 4 และผลคำนวณค่าการทรุดตัวจากการออกแบบปรับปรุงโดยใช้เสาเข็มดินปูนขาวของทางสาย บางนา-บางปะกง ที่ กม. 15 , กม.25 และ กม. 30 ได้แสดงในรูปที่ 10

พิจารณาค่าการทรุดตัวแตกต่าง (รูปที่ 10) รวมทั้งคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและความสะดวกในการปฏิบัติงาน เลือกระดับความลึกของปลายเสาเข็มที่ เหมาะสมแต่ละ Station ดังนี้

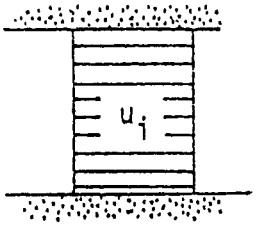
กม. 14-20 ระดับความลึกของปลายเสาเข็มดินปูนขาว 14 ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

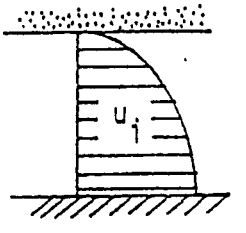
ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การทรุดตัวกับเวลา (Time Factor)

PERCENTAGE OF CONSOLIDATION, U	Time Factor T		
	CASE 1	CASE 2	CASE 3
0	0	0	0
5	0.0020	0.0030	0.0208
10	0.0078	0.0111	0.0427
15	0.0177	0.0238	0.0659
20	0.0314	0.0405	0.0904
25	0.0491	0.0608	0.128
30	0.0707	0.0847	0.145
35	0.0962	0.112	0.187
40	0.126	0.143	0.207
45	0.159	0.177	0.242
50	0.197	0.215	0.281
55	0.239	0.257	0.324
60	0.286	0.305	0.371
65	0.342	0.359	0.435
70	0.403	0.422	0.488
75	0.477	0.495	0.562
80	0.567	0.586	0.652
85	0.674	0.702	0.769
90	0.848	0.867	0.933
95	1.129	1.148	1.214
100	∞	∞	∞

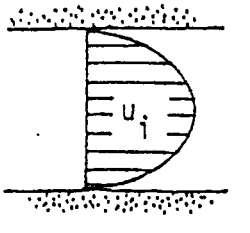
Case I
Initial Pore Pressure
Constant



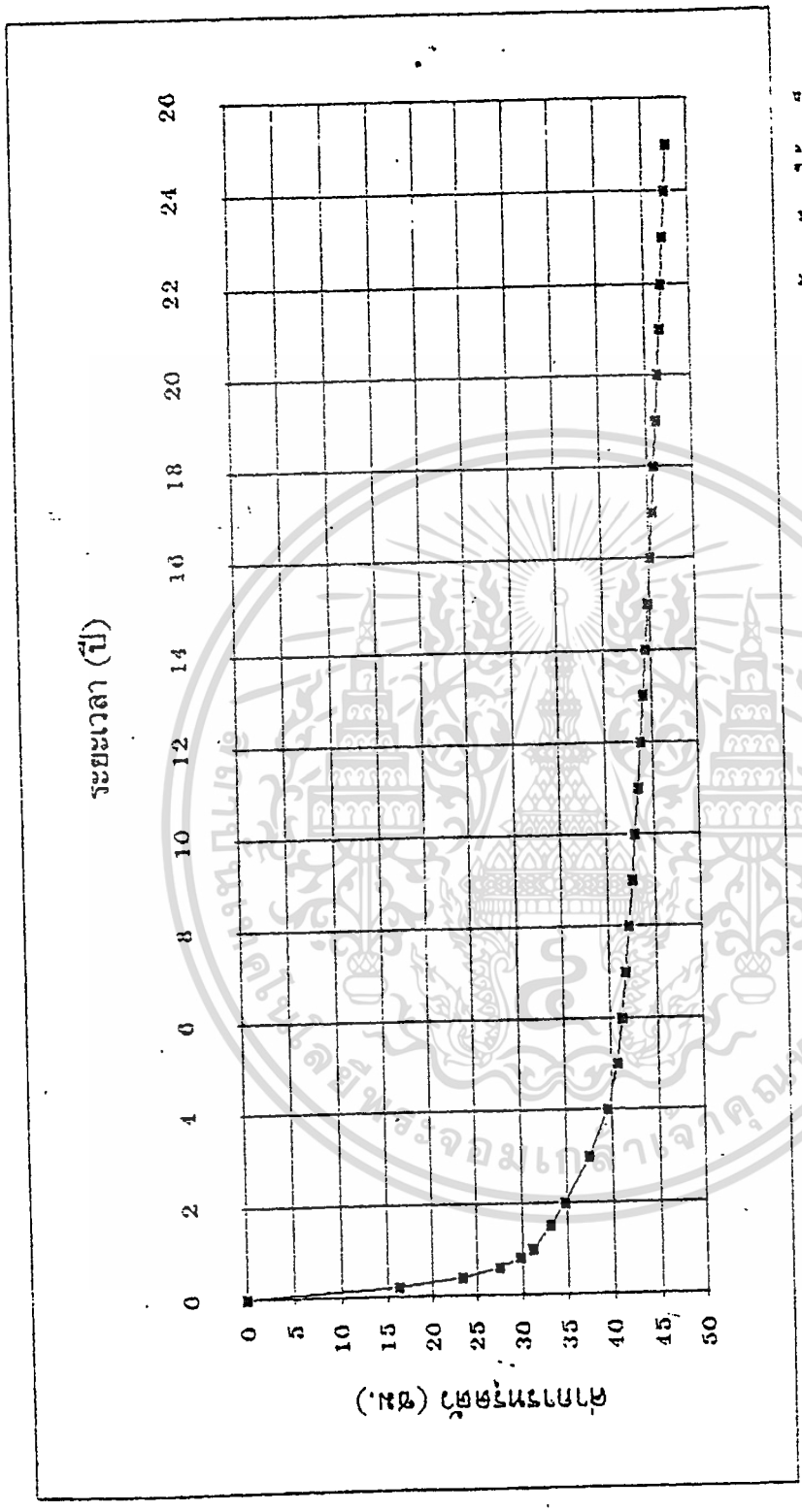
Case II
Initial Pore Pressure
Half Sine Curve



Case III
Intial Pore Pressure
Sine Curve



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9. ผลการคะเนอัตราการทรุดตัวของพื้นดินกับระยะเวลา ของถนนสาย กรุงเทพ-บางปะกง บริเวณ กม. 30 หลังจากมีการใช้เสาเข็ม ดินปูนขาว ตามเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 ม. ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 1.50 ม. และระดับความลึกของปลายเสาเข็ม 12.00 ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. ผลการคำนวณออกแบบปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน ของถนนสาย ภาษา-บางปะกง บริเวณ กม.15 ซึ่งมีดินอ่อนหนา 2.50 ม. โดยวิธีการใช้เสาเข็มดินปูนขาว (Lime Column) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 ม. และระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 1.5 ม.

HEIGHT OF EMBANKMENT	=	2.50	m
DIAMETER OF LIME COLUMN	=	0.6	m
TOTAL OF LIME COLUMNS	=	13	Columns/Row
SPACING OF LIME COLUMNS	=	1.5	m

DL	=	11.25	ton per pile
LL	=	2.25	ton per pile
DL+LL	=	13.5	ton per pile
DL+LL	=	145.50	ton per embankment
q	=	5.22	t/m^2 per embankment
a	=	0.131744	
Cav	=	3.94	t/m^2
F.S. of Slope Stability	=	3.46 & 4.16	(DD+LL & LL)

H (m)	qult(s) (ton)	qult(c) (ton)	qult(allow) fs. = 1.5 (ton)	S1 (cm)	S2-1 (cm)	S2-2 (cm)	Total Settlement (cm)	Angle Change (Radian)
10	35.33	28.75	19.17	14.19	31.57	6.74	52.49	0.0013
11	40.99	29.77	19.84	15.44	27.83	7.69	50.96	0.0016
12	46.64	30.79	20.52	16.68	23.40	8.88	48.95	0.0015
13	52.30	31.80	21.20	17.89	17.88	10.39	46.16	0.0013
14	57.95	32.82	21.88	19.07	10.55	12.38	42.01	0.0013
15	63.61	33.84	22.56	20.23	0.00	15.08	35.31	0.0012
16	76.98	39.53	26.36	20.46		18.36	38.82	0.0011
17	86.41	40.81	27.20	21.49		17.84	39.33	0.0010
18	95.83	42.08	28.05	22.49		17.27	39.76	0.0010
19	105.26	43.35	28.90	23.48		16.62	40.09	0.0009
20	114.68	44.62	29.75	24.44		15.83	40.27	0.0009

HEIGHT OF EMBANKMENT	=	2.50	m
DIAMETER OF LIME COLUMN	=	0.6	m
TOTAL OF LIME COLUMNS	=	13	Columns/Row
SPACING OF LIME COLUMNS	=	1.5	m

DL	=	11.25	ton per pile
LL	=	2.25	ton per pile
DL+LL	=	13.5	ton per pile
DL+LL	=	145.50	ton per embankment
q	=	5.22	t/m^2 per embankmen.
a	=	0.131744	
Cav	=	3.68	t/m^2
F.S. of Slope Stability	=	3.23 & 3.89	(DL+LL & DL)

H (m)	qult(s) (ton)	qult(c) (ton)	qult(allow) fs. = 1.5 (ton)	S1 (cm)	S2-1 (cm)	S2-2 (cm)	S2-3 (cm)	Total Settlement (cm)	Angle Change (Radian)
10	19.93	28.70	13.29	14.19	26.56	24.87	4.12	69.75	0.0018
11	21.69	29.59	14.46	15.47	0.00	30.61	4.61	50.70	0.0016
12	36.46	30.61	20.40	16.71		28.36	5.20	50.27	0.0015
13	42.12	31.62	21.08	17.92		25.81	5.91	49.64	0.0013
14	47.77	32.64	21.76	19.10		22.80	6.79	48.70	0.0013
15	53.43	33.66	22.44	20.27		19.09	7.91	47.27	0.0012
16	59.08	34.68	23.12	21.41		14.28	9.36	45.05	0.0011
17	64.74	35.70	23.80	22.53		7.63	11.31	41.46	0.0010
18	72.75	36.77	24.51	23.61		0.00	13.25	36.87	0.0010
19	80.29	38.04	25.36	24.63			12.45	37.08	0.0009
20	87.82	39.31	26.21	25.63			11.51	37.14	0.0009

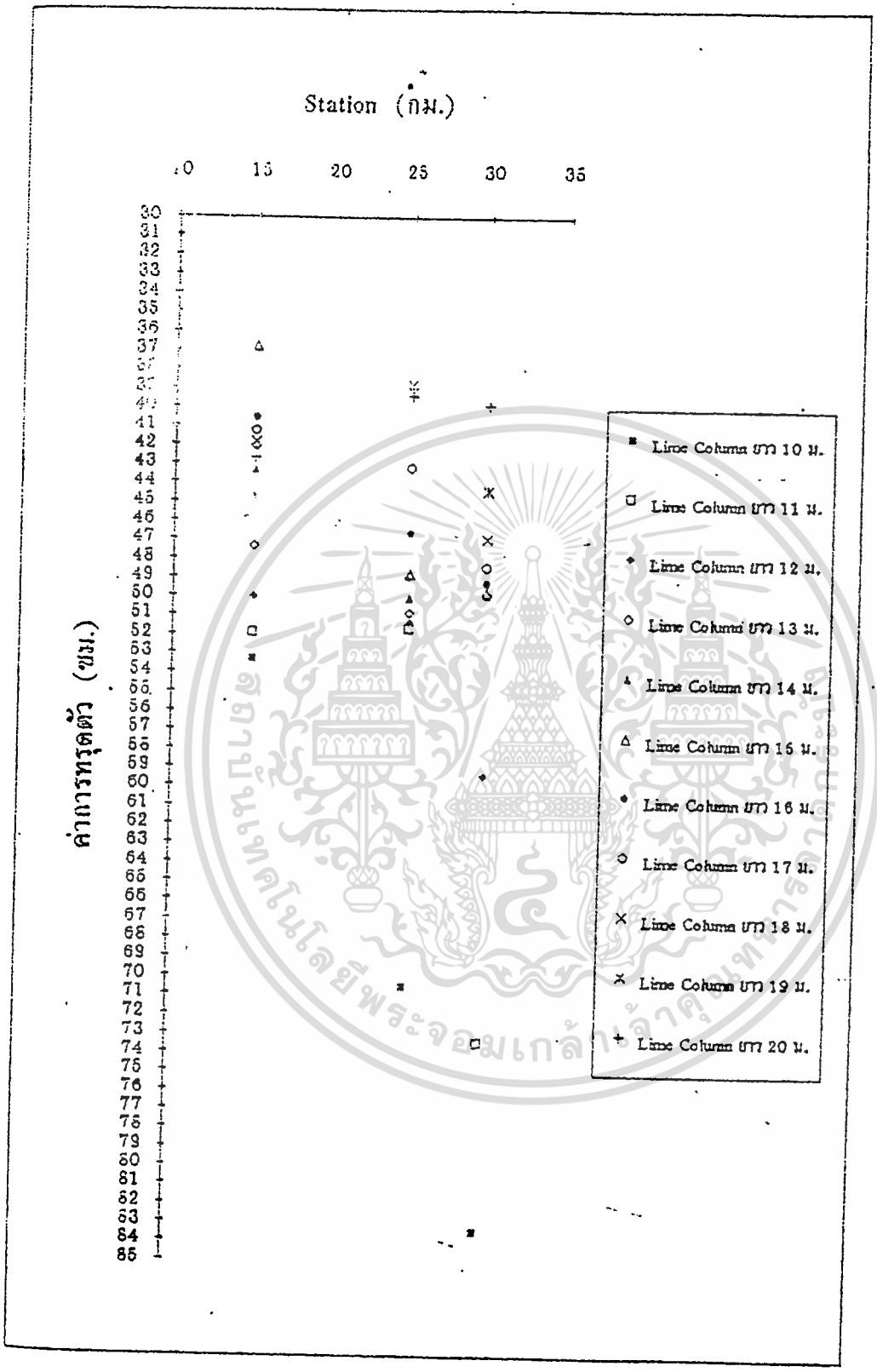
ตารางที่ 3 ผลการคำนวณออกแบบปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน ของสาย บางนา-บางปะกง บริเวณ กม.20 ดินคันทางสูง 2.5 ม. โดยวิธีการใช้เสาเข็มดินปูนขาว (Lime Column) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 ม. และระยะห่างระหว่างเข็ม 1.5 ม.

ตารางที่ 4. ผลการคำนวณออกแบบปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน ของถนนสาย บางนา-บางปะกง บริเวณ กม.30 ซึ่งถมคันทางสูง 2.50 ม. โดยวิธีการใช้เสาเข็มดินปูนขาว (Lime Column) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 ม. และระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 1.5 ม.

HEIGHT OF EMBANKMENT	=	2.50	m
DIAMETER OF LIME COLUMN	=	0.6	m
TOTAL OF LIME COLUMNS	=	13	Columns/Row
SPACING OF LIME COLUMNS	=	1.5	m

DL	=	11.25	ton per pile
LL	=	2.25	ton per pile
DL+LL	=	13.50	ton per pile
DL+LL	=	145.50	ton per embankment
q	=	5.22	t/m^2 per embankment
a	=	0.131744	
Cav	=	3.68	t/m^2
F.S. of Slope Stability	=	3.23 & 3.89	(DL+LL & DL)

H (m)	qult(s) (ton)	qult(c) (ton)	qult(allow) fs. = 1.5 (ton)	S1 (cm)	S2-1 (cm)	S2-2 (cm)	S2-3 (cm)	Total Settlement (cm)	Angle Change (Radian)
10	19.93	28.70	13.29	14.19	48.27	17.73	2.48	82.67	0.0018
11	21.69	29.59	14.46	15.47	33.32	20.97	2.75	72.52	0.0016
12	23.44	30.48	15.63	16.73	13.21	25.31	3.07	58.32	0.0015
13	37.03	31.43	20.96	17.95	0.00	27.25	3.46	48.66	0.0013
14	42.68	32.45	21.63	19.14		25.45	3.93	48.53	0.0013
15	48.34	33.47	22.31	20.31		23.39	4.52	48.21	0.0012
16	53.99	34.49	22.99	21.45		20.93	5.26	47.63	0.0011
17	59.65	35.51	23.67	22.57		17.86	6.21	46.64	0.0010
18	65.30	36.52	24.35	23.67		13.86	7.48	45.01	0.0010
19	70.96	37.54	25.03	24.75		8.32	9.26	42.32	0.0009
20	76.61	38.56	25.71	25.80		0.00	11.87	37.67	0.0009



16. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวตามระยะ Section ของถนนสาย บางนา-บางปะกง เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้เสาเข็มดินปูนขาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 ม. ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 1.5 ม. และความสูงของคันทางเท่ากับ 2.5 ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

CEMENT STABILIZATION

5.1 วัตถุประสงค์ในการใช้สารผสมเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของดิน

WINTERKORN (1955) ได้อธิบายว่า การปรับปรุงเสถียรภาพของดินเป็นการนำเอาวิธีการทางด้าน ฟิสิกส์ เคมีฟิสิกส์ และเคมีมาใช้ผสมกับดิน เพื่อให้ดินมีเสถียรภาพที่ดีสำหรับงานด้านวิศวกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการก่อสร้างถนน

HOGENTORLER (1938) ได้กล่าวว่าการปรับปรุงเสถียรภาพของดินเป็นกระบวนการที่ทำให้ดินตามธรรมชาติมีความทนทานต่อการสึกหรอ และการรับน้ำหนักดีขึ้น วิธีการที่ใช้อาจจะเป็นการบดอัดให้แน่น การนำสารผสมมาเติมลงในดิน สารผสมนี้อาจจะอยู่ในรูปของของเหลวหรือเป็นผงก็ได้

MITCHELL (1982) ได้กล่าวถึงวัตถุประสงค์ในการนำสารเคมีผสมลงในดินก็เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของดินได้แก่ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ปรับปรุงเสถียรภาพในการรับน้ำหนักหรือพฤติกรรมของ Stress - Strain ปรับปรุงการไหลซึมของน้ำที่ผ่านดิน และความทนทานต่อการกัดกร่อนแตกหักของดิน

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินคือการบวมตัว หรือหดตัวของดินเมื่อความชื้นในดินมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสภาพของภูมิอากาศ การควบคุมทำได้โดยผสมสารที่มี Hydration Cation ต่ำ ๆ เช่น Calcium Magnesium Aluminum เข้าไปแทนที่ สำหรับดินที่มีสารอินทรีย์มาก ๆ เมื่อผสมซีเมนต์ลงไปจะเกิดสารประกอบ CSH (Calcium Silicate Hydrate) ส่วนในซีเมนต์เองจะมีพวก Silica อยู่แล้วก็จะเกิดการแทนที่หรือแลกเปลี่ยน Valency กัน ทำให้เกิดการเชื่อมยึดติดกันระหว่างเม็ดดินกับซีเมนต์และทำให้บริเวณรอบ ๆ มีสภาพความเป็นด่างเกิดขึ้น ปฏิกิริยานี้จะเกิดในระยะนี้ ส่วนเมื่อเวลานานไปสภาพความเป็นด่างจะทำให้เม็ดดินแยกห่างออกและสร้างสารประกอบในการเชื่อมยึดติดเพิ่มมากขึ้นระหว่างเม็ดดินนั้น

CIPCEO, DAVIDSON และ DAVID (1962) อธิบายว่าการใส่ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ลงในดินจะเปลี่ยนแปลงเสถียรภาพและโครงสร้างของดิน ดินเกือบทุกชนิดสามารถปรับปรุงเสถียรภาพได้ แต่ผลของการปรับปรุงเสถียรภาพของดินจะได้ไม่เหมือนกัน ถึงแม้ว่าดินจะมีเสถียรภาพทางฟิสิกส์เหมือนกันปริมาณซีเมนต์ที่ใช้เท่ากันแต่เสถียรภาพทางเคมีต่างกัน ก็จะมีผลกระทบต่อการรับกำลังแรงอัดของดิน (Compressive Strength) ไม่เหมือนกันด้วย แสดงว่าส่วนประกอบทางเคมีจะมีผลเป็นอย่างมากต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์

5.2 วิวัฒนาการของดินซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAVIDSON (1961) ได้กล่าวในคำนำของหนังสือ Highway Research Board (1961) เกี่ยวกับการวิวัฒนาการของดินผสมซีเมนต์ไว้ว่าได้เริ่มขึ้นครั้งแรกในปี 1951 เมื่อการก่อสร้างถนน Oak ในเมือง Saratosa รัฐ Florida โดยขุดเอา Shell ในอ่าวขึ้นมาผสมกับทรายและซีเมนต์แล้วทำการบดอัดด้วยรถบดอัดไอน้ำหนัก 10 ตัน แทนการทำถนนคอนกรีตเนื่องจากเครื่องผสมคอนกรีตเสีย

ในปี 1920 หน่วยงานที่เกี่ยวกับถนนในรัฐต่าง ๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกาอันประกอบด้วยรัฐไอโอวา รัฐเซาท์ดาโกต้า รัฐโอไฮโอ รัฐแคลิฟอร์เนีย และรัฐเท็กซัส ได้เริ่มทดลองนำดินและซีเมนต์มาผสมกันเพื่อใช้ในการสร้างถนน แต่ผลการทดลองที่ได้นั้นยังมีความผันแปรมากจนไม่สามารถจะคาดการณ์ผลลัพธ์ได้เนื่องจากว่ายังขาดความรู้เกี่ยวกับเสถียรภาพทางวิทยาศาสตร์ของดินอยู่มาก

MILLS (1935. 1936) ได้บันทึกผลการค้นคว้าของ South Carolina State Highway Department ซึ่งเริ่มค้นคว้าในปี 1932 โดย Dr. C.H. Moorefield ได้นำดินซีเมนต์มาใช้สร้างถนนทดลองหลายสายในปี 1933 และปี 1934 พฤติกรรมของถนนทดลองเหล่านี้ได้แสดงให้เห็นว่าดินซีเมนต์ เป็นวัสดุที่เหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุสำหรับทำชั้นพื้นทางของถนนราคาถูกได้

CATTON (1938) ได้กล่าวว่าจากผลงานที่ประสบความสำเร็จของ South Carolina State Highwa0y Department เป็นสิ่งที่ช่วยกระตุ้นให้เกิดการศึกษาค้นคว้าขึ้นกันอย่างกว้างขวาง โดยในปี 1935 Portland Cement Association นำโดย F.T. SHEET และ M.D. CATTON ได้ใช้เทคโนโลยีการบดอัดดินซึ่งเป็นกุญแจสำคัญที่ใช้มาตั้งแต่ปี 1929 มาปรับปรุงใช้กับการบดอัดดินซีเมนต์ ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่น ผลของการศึกษาปรับปรุงวิธีการทดลองทำให้สามารถหาปริมาณของ ดิน ซีเมนต์ และน้ำที่ใช้ ส่วนวิธีการทดลองหาความชื้น-ความหนาแน่น การทดลอง Wet-Dry การทดลอง Freeze-Thaw นั้นได้ทำให้เป็นมาตรฐานโดย American Society for Testing and Materials (ASTM) และ American Association of State Highway Officials (AASHO)

ในปี 1935 South Carolina State Highway Department. Bureau of Public Roads และ Portland Cement Association ได้ร่วมกันทดลองสร้างถนนที่ใช้ดินซีเมนต์เป็นระยะทางยาว 1.5 ไมล์บริเวณใกล้เมือง Johnsonville โครงการนี้เป็นโครงการแรกในวงการวิศวกรรมที่เกี่ยวกับถนนดินซีเมนต์ และจากผลสำเร็จของโครงการนี้ทำให้มีการทดลองเพิ่มขึ้นในปี 1936 ในรัฐ South Carolina รัฐ Illinois รัฐ Michigan รัฐ Missouri และรัฐ Wisconsin โดย Portland Cement Association เป็นผู้ทดลองสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHEET และ CATTON (1938), LANCASTER (1938) และ TEXAS HIGHWAY DEPARTMENT (1940) รายงานว่าปี 1937 รัฐต่าง ๆ มากกว่า 8 รัฐของประเทศอเมริกา ได้เริ่มโครงการก่อสร้างโดยใช้ดินซีเมนต์ ทำให้มีการเรียนรู้และปรับปรุงขยายโครงการก่อสร้างอย่างกว้างขวาง

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (1956) รายงานว่าปี 1940 ในประเทศสหรัฐอเมริกางานก่อสร้างถนนด้วยดินซีเมนต์มีพื้นที่มากกว่า 7.5 ล้านตารางหลาส่วนการนำดินซีเมนต์มาใช้งานสนามบินได้เริ่มขึ้นระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ในช่วงปี 1941-1944 ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 22 ล้านตารางหลา ช่วงเวลานี้งานด้านถนนได้หยุดชงักลงจนกระทั่งสงครามยุติจึงมีการสร้างถนนด้วยดินซีเมนต์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางของถนนผิวคอนกรีต ใช้เป็นไหล่ทาง ที่จอดรถ พื้นคลังสินค้า และยังใช้งานดาดพื้นอ่างเก็บน้ำคูและคลองด้วย

DAVIDSON (1961) รายงานว่าปี 1960 การใช้ดินซีเมนต์ในงานก่อสร้างของประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดามีมากถึง 46 ล้านตารางหลา นอกจากประเทศสหรัฐอเมริกาจะมีการใช้ดินซีเมนต์กันอย่างกว้างขวางแล้วดินซีเมนต์ยังถูกนำไปใช้ในประเทศอังกฤษ แอฟริกาใต้ ตะวันออกกลาง อเมริกาใต้และเยอรมันเป็นต้น

5.3 <u>ประเภทของดินซีเมนต์</u>

Highway Research Boare's Committee on Soil - Portland Cement Stabilization (1959) ได้ให้คำจำกัดความของ Cement-Treated Soil ว่าเป็นการนำเอาดิน และซีเมนต์ในปริมาณที่ต้องการมาผสมกับน้ำให้เข้ากันแล้วบดอัดให้ได้ความหนาแน่นสูงสุดและป้องกันความชื้นไม่ให้สูญเสียไปในระหว่างการบ่ม ดินซีเมนต์แยกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

5.3.1 Soil-Cement เป็นการนำดินและซีเมนต์มาผสมกับน้ำ แล้วบดอัดโดยวิธีการทางกลศาสตร์แล้วทำการบ่มให้แข็งตัว ความแข็งแรงจะพิจารณาจากค่าความคงทน (Durability) และค่ารับแรงอัด (Compressive Strength) ของดินซีเมนต์

5.3.2 Cement-Modified Granular Soil Mixture มีดินจำพวก ทราย และกรวด (Granular Soil) หลายชนิดที่มีคุณสมบัติต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อยในการใช้งานเป็นต้นว่ามีส่วนละเอียดมากเกินไป มีค่า Plasticity สูงเกินไปหรือทั้งสองอย่าง จึงจำเป็นต้องปรับปรุงเสถียรภาพโดยการผสมซีเมนต์เข้าไปเพื่อลดค่า Plasticity ให้ต่ำลง ดินซีเมนต์ประเภทนี้จึงใช้ทำเป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง และใช้ชั้นพื้นทางของถนนประเภท Rigid Pavement และ Flexible Pavement ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ประมาณร้อยละ 1 ขึ้นไปของน้ำหนักดินแห้ง แต่น้อยกว่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ทำ Soil-Cement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 Cement-Modified Silt-Clay Soil ดินชนิด Silt-Clay จะเป็นดินที่อ่อนมากหรือเป็นพื้นที่ที่ดินเปียกน้ำ ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมเพื่อไปปรับปรุงคุณสมบัติการบวมตัวและหดตัวของดิน ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้จะน้อยกว่า Soil-Cement

5.3.4 Plastic Soil-Cement เป็นการนำดิน ซีเมนต์ และน้ำผสมเข้าด้วยกัน โดยผสมให้มีความเหลวข้นคล้ายกับคอนกรีตแล้วนำไปเทหรือปูพื้นในสภาพที่เหลวข้นอยู่ แล้วปล่อยให้แข็งตัวโดยวิธีการบ่ม ความสามารถรับน้ำหนักและความคงทน มีคุณสมบัติเหมือนกับ Soil-Cement

5.3.5 Cement-Treated Soil Slurries and Grouts Cement-Treated Soil ประเภทนี้ใช้งานบำรุงรักษาถนน เช่นทำ Mudjacking กับพื้นถนนที่เกิดการทรุดตัวของคันทาง (Embankment) หรือ Subgrade ถูกน้ำกัดเซาะ ส่วน Grouting ใช้ในการยาหรืออุดรอยรั่วที่เกิดขึ้นในอุโมงค์ส่งน้ำ

5.4 ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

5.4.1 ประวัติและความหมายของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แรกทีเดียวอียิปต์รู้จักใช้วัสดุสร้างช่วยในการก่อสร้างปิรามิด โดยใช้ปูนขาวเป็นปูนก่อน (Mortar) แต่ปูนชนิดนี้ไม่อยู่ตัวในน้ำ ต่อมาจึงได้มีการเติมสารประเภท Hydraulic ซึ่งมีส่วนผสมซิลิก้าเข้าไป เช่น หิน Volcanic Pozzolana หรือดิน Santorin คำว่า Hydraulic นั้นหมายถึงสารซีเมนต์ที่ผสมกับน้ำแล้วสามารถแข็งตัวในอากาศหรือในน้ำได้และเมื่อก่อตัวขึ้นแล้วจะไม่ละลายในน้ำ

ปี 1791 ได้มีการศึกษาเสถียรภาพทางด้านเคมีของปูนซีเมนต์ Hydraulic ต่อมาในต้นศตวรรษที่ 19 ความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์เป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้ความต้องการใช้ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นด้วย จึงได้มีการค้นคว้านำเอาหินปูนผสมกับหิน Shale แล้วนำไปเผาจะเกิดสารซีเมนต์ (Cementing Material) ซึ่งสามารถแข็งตัวในน้ำและไม่ละลายน้ำ โดยเหตุที่เมื่อแข็งตัวแล้วจะมีสีคล้ายกับสีของหินในเหมืองของเกาะPortland จึงเรียกกันว่า"ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์"

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2514) ได้อธิบายเกี่ยวกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หมายถึงผลผลิตที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่าง ๆ จนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ ไฮดรอลิกคัลเซียมซิลิเกต (Hydraulic Calcium Silicates)

RUENDRAIRERGSA (1982) กล่าวว่าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นผลผลิตที่ได้จากการบดปูนเม็ด (Clinker) ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ Hydraulic Calcium Silicates วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ได้แก่ หินปูน (Lime Stone) หินชอล์ค (Chalk) ดินสอพองหรือดินขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Marl) ซึ่งจะให้ธาตุคัลเซียม และพวกหินเชล (Shale) ดินเหนียว (Clay) หินชนวน (Slate) และทราย (Sand) เป็นตัวให้ธาตุซิลิกอนและอลูมิเนียม

5.4.2 กรรมวิธีการผลิตปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ กรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่สำคัญมี 3 วิธีคือ

วิธีที่ 1 <u>กรรมวิธีแบบเปียก</u> (Wet Process) เป็นกรรมวิธีซึ่งป้อนวัตถุดิบสำเร็จรูป (Raw Meal) เข้าหม้อเผาในลักษณะของน้ำดินเรียกว่า Slurry มีน้ำประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 วัตถุดิบประกอบด้วยดินขาว (Marl) มีสารประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ร้อยละ 85 ถึง 95 ดินเหนียว (Clay) มีสารประกอบเคมีเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ อลูมินั่มออกไซด์ และเฟอร์ริกออกไซด์ แร่เหล็กหรือลูกรัง (Iron Ore or Laterite) มีสารประกอบเคมีเป็นเฟอร์ริกออกไซด์ เมื่ออัตราส่วนผสมถูกต้องแล้วจะส่งต่อไปเผาในหม้อเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส ถึง 1,500 องศาเซลเซียส จนปูนเม็ดลักษณะเป็นเม็ดสีดำ แล้วจึงนำปูนเม็ดไปบดรวมกับแร่ยิบซั่มประมาณร้อยละ 5 จะได้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ถ้าบดให้ละเอียดมากจะได้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสามและถ้าบดกับยิบซั่มร้อยละ 4 กับวัสดุเฉื่อย (Inert Material) เช่น หินปูน ทราย หรือหินดินดาน จะได้ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Portland Cement)

วิธีที่ 2 <u>กรรมวิธีแบบแห้ง</u> (Dry Process) เป็นกรรมวิธีป้อนวัสดุผสมเสร็จ (Raw Meal) เข้าหม้อเผาในลักษณะเป็นดินผงแห้ง วัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วย หินปูน ดินดาน แร่เหล็กหรือลูกรัง และทราย นำไปบดในหม้อบดดินให้ละเอียดโดยอัตราส่วนผสมที่ออกแบบ (Mix Design) ดินผงที่บดจากหม้อบดจะไปแยกเอาส่วนละเอียดเก็บไว้ แล้วนำไปเผาเป็นปูนเม็ดต่อไป

วิธีที่ 3 <u>กรรมวิธีแบบหมาด</u> (Semi Dry Process) วิธีนี้คล้ายกับวิธีเผาแห้งแต่ใช้ดินผงที่มีส่วนผสมที่ถูกต้องผสมน้ำแล้วปั้นเป็นเม็ดโตขนาด 15 ถึง 20 มม. บนจานปั้นเม็ดที่เรียกว่า Granulator โดยให้เม็ดดินมีความชื้นร้อยละ 14 ถึง 15 เม็ดดินนี้จะถูกส่งเข้าหม้อเผาโดยแผ่นตะกรับแล้วเผาออกมาเป็นเม็ดปูน

การทำปูนเม็ดให้เย็นลงนั้นจะต้องมีวิธีการควบคุมอย่างดี เนื่องจากปูนเม็ดร้อนมีความยุ่งยากต่อการบด ในระหว่างการบดความร้อนจะถ่ายเทอย่างช้า ๆ และสะสมไว้ทำให้ปูนซีเมนต์ที่เก็บไว้ในถังเก็บมีอุณหภูมิสูง ซึ่งวิศวกรพบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ร้อนทำให้คอนกรีตมีคุณภาพในการก่อสร้างเลวลง จึงมักจะฉีดน้ำหรือเป่าลมบนปูนเม็ดที่ออกจากหม้อเผา หรืออาจทำให้ปูนเม็ดเย็นลงด้วย Rotary Cooler คุณภาพของปูนเม็ดที่เปลี่ยนแปลงนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการเย็นตัวของปูนเม็ดการทำให้ปูนเม็ดเย็นตัวเร็ว จะทำให้บดง่ายและความแข็งแรงภายใน 7 วันดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น แต่การทำปูนเม็ดเย็นลงช้า ๆ ทำให้ความแข็งแรงในระยะหลังสูงขึ้น นอกจากนี้อัตราการเย็นตัวยังมีผลต่อสีของปูนเม็ดด้วย

ก่อนที่จะนำปูนเม็ดไปบดในหม้อบดปูน จะต้องผสมกับสารหน่วง (Retarder) ในประมาณที่พอเหมาะ เช่น พวกยิปซั่ม หรือ Plaster เสียก่อนเพราะถ้าไม่มีสารหน่วงพอปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำอาจจะก่อตัวเร็วเกินไป ปริมาณของสารหน่วงที่ใช้จำกัดตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้เวลาการก่อตัวตามที่ต้องการ ปริมาณของสารหน่วงส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาณของอลูมินาที่มีอยู่ ปูนเม็ดที่ผสมกับยิปซั่มหรือพลาสเตอร์แล้วนำไปบดจนได้ความละเอียดตามที่กำหนดให้ของปูนซีเมนต์แต่ละชนิด ปูนซีเมนต์ที่บดละเอียดกว่าจะให้ความแข็งแรงได้เร็วกว่า ถ้าปูนซีเมนต์หยาบมากอาจทำให้เกิดการคายน้ำได้

5.4.3 **ประเภทของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์** ประเภทของปูนซีเมนต์ที่มีการผลิตอยู่ในท้องตลาดทั้งหมดมี 5 ประเภทดังต่อไปนี้

ประเภทที่หนึ่ง เป็นปูนซีเมนต์ธรรมดา สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใด ๆ ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาใช้ในการก่อสร้างทั่ว ๆ ไป

ประเภทที่สอง เป็นปูนสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใด ๆ ที่เกิดความร้อนและทนต่อซัลเฟตได้ปานกลาง

ประเภทที่สาม เป็นปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวเร็วและให้กำลังสูงในระยะแรกมีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา

ประเภทที่สี่ เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำที่สุด ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหลาเนื่องจากให้อุณหภูมิต่ำกว่าซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ ขณะแข็งตัว

ประเภทที่ห้า เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง

5.4.4 **ส่วนประกอบของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์** ในขบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นการเผาวัตถุซึ่งได้แก่พวกสารออกไซด์ของธาตุแคลเซี่ยม ซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็กและสารอื่น ๆ สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมีรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนซีเมนต์ ในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ 4 ชนิดคือ

5.4.4.1 ไตรแคลเซี่ยมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$) หรือใช้ชื่อย่อว่า C_3S เป็นสารประกอบที่ให้ความแข็งแรงแก่ปูนซีเมนต์ในระยะแรกสูง ให้ความร้อนสูงเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ

5.4.4.2 ไดแคลเซี่ยมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$) หรือใช้ชื่อย่อว่า C_2S เป็นสารประกอบที่ให้ความแข็งแรงแก่ปูนซีเมนต์ในระยะแรกต่ำและจะให้กำลังค่อย ๆ สูงขึ้นภายหลัง และให้ความร้อนต่ำเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลรวมของสารประกอบ C_3S และ C_2S ของปูนซีเมนต์ประเภทต่าง ๆ จะเป็นตัวกำหนดกำลังแรงอัดในบั้นปลาย

5.4.4.3 ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3CaO.Al_2O_3$) หรือใช้ชื่อย่อว่า C_3A เป็นสารประกอบที่ให้กำลังรับแรงอัดในตอนแรกเพียงเล็กน้อยและเป็นตัวทำให้ซีเมนต์มอร์ต้าลื่นมี Plasticity สูง แต่ซีเมนต์ที่มีสารประกอบ C_3A มากจะไม่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตในดินหรือในน้ำได้ นอกจากนั้นยังทำให้การก่อตัวของปูนมอร์ต้าแข็งเร็วขึ้น

5.4.4.4 แตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรค์ ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$) หรือใช้ชื่อย่อว่า C_4AF เป็นส่วนประกอบที่ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีดำ สารละลายแข็งของแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรค์ช่วยในเรื่องความอยู่ตัว (Soundness) อีกทั้งยังมีคุณสมบัติช่วยป้องกันปฏิกิริยาทางเคมีจากสิ่งต่าง ๆ ที่มีผลต่อความแข็งแรงด้วย

อัตราส่วนของสารประกอบทางเคมี ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่าง ๆ ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 5.1

GONNERMAN และ LERCH (1951) ได้เปรียบเทียบปริมาณออกไซด์และส่วนประกอบที่สำคัญต่าง ๆ ของการผลิตซีเมนต์ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยแยกตามประเภทของซีเมนต์ดังได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 5.2

Lime มีชื่อทางเคมีว่า Calcium Oxide(CaO) แต่ทั่ว ๆ ไปหมายถึงมีสารอื่นอยู่ด้วย แต่มีแคลเซียมเป็นธาตุหลักในทางการค้าจะอยู่ในรูปของ Quicklime (CaO) หรือ Hydrated Lime (Ca(OH)2 สารที่มีแคลเซียมเป็นธาตุหลักนี้เรียกว่า Ca:carepis Materials ที่มีเกิดขึ้นทั่ว ๆ ไป ได้แก่ Calcite ($CaCo_3$ หรือ $CaO.CO_2$) Quicklime ได้มาจากการให้ความร้อนแก่ Limestone หรือ Calcium Carbonate ในรูปต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 1,800° ฟ หรือ 1,000° ซ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้

$$CaCO_3 \text{ - heat } \text{----------} > CaO - CO_2$$

Quicklime เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะให้ความร้อน

$$CaO - H_2O \text{ ----------} > Ca(OH)_2 + \text{heat}$$

เมื่อ Lime นำไปใช้เป็น Cementing Material ในรูปของ Hydrated Lime จะทำปฏิกิริยากับ CO_2 ในอากาศจะทำให้เกิด $CaCO_3$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \text{ ----------} > CaCo_3 + H_2O$$

Silica ทางเคมีคือ Silicon Dioxide (Sio_2) ซิลิก้าเกิดขึ้นตามธรรมชาติในรูปของผลึก เช่น Quartz และในรูปของ Amorphous เช่น Opal Quartz เป็น Stable Form ของซิลิก้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 สารประกอบที่สำคัญของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์
(บริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด , 2527)

CEMENT		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	Free CaO	MgO	Ignition Loss	Number of Samples
Type I	Max	67	31	14	12	3.4	1.5	3.6	2.3	21
	Min	42	8	5	6	2.6	0.0	0.7	0.6	
	Mean	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2	
Type II	Max	55	39	8	16	3.4	1.8	4.4	2.0	28
	Min	37	19	4	6	2.1	0.1	1.5	0.5	
	Mean	46	29	6	12	2.8	0.6	3.0	1.0	
Type III	Max	70	36	17	10	4.6	2.4	4.8	2.7	5
	Min	34	0	7	6	2.2	0.1	1.0	1.1	
	Mean	56	15	12	8	3.9	1.3	2.6	1.9	
Type IV	Max	44	57	7	16	3.5	0.9	4.1	1.9	16
	Min	21	34	3	6	2.6	0.0	1.0	0.6	
	Mean	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	1.0	
Type V	Max	54	49	5	15	3.9	0.6	2.3	1.2	22
	Min	35	24	1	6	2.4	0.1	0.7	0.5	
	Mean	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	1.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทต่างๆ

(GONNERMAN and LEACH , 1951)

ASTM Type	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	Na_2O	K_2O	SO_3	Free CaO	C_4AF	C_3A	C_3S	C_2S
I	63.8	3.7	5.6	2.4	20.7	0.23	0.21	0.51	1.6	0.4	7	11	55	18
	63.1	2.5	4.7	3.0	22.1	0.21	0.06	1.30	1.7	0.2	9	7	47	28
	65.8	1.1	4.7	2.1	22.2	0.30	0.04	0.19	1.6	1.6	6	9	54	23
	62.8	1.7	6.7	2.5	21.1	0.39	0.95	0.51	1.8	2.0	8	14	33	35
II	61.4	3.1	4.8	4.8	20.8	0.21	0.06	1.30	1.8	0.9	15	5	44	26
	64.9	1.9	4.0	2.1	24.0	0.23	0.23	0.55	1.7	1.5	6	7	41	38
III	65.6	1.4	5.2	2.5	20.0	0.27	0.21	0.44	2.3	1.8	8	10	63	10
	63.3	4.3	5.1	2.0	20.3	0.21	0.19	0.28	2.5	1.9	6	10	51	15
IV	59.6	3.0	4.6	5.0	22.9	0.23	0.06	1.19	1.3	0.4	15	4	25	47
	63.6	1.1	3.7	3.1	25.2	0.19	0.33	0.01	1.9	0.4	9	5	31	49
V	64.3	1.7	3.1	3.3	24.4	0.19	0.08	0.22	1.4	0.5	10	3	45	36
	64.2	2.5	1.9	1.3	26.1	0.12	0.10	0.15	2.0	1.8	4	3	35	48
	63.3+	1.2	3.3	4.7	23.1	-	0.08	0.37	1.7	-	14	1	49	30

+ Corrected for free CaO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Alumina ทางเคมีคือ Al_2O_3 หรือบางทีเรียกว่า Alumina Seaquioxide เกิดขึ้นตามธรรมชาติในรูปของ Mineral Corundum เมื่อรวมตัวกับออกซิเจนทำให้เกิดเป็นอลูมิเนต ซึ่งปอร์ตแลนด์ซีเมนต์หรือไฮดรอลิกซีเมนต์บางชนิดมีพวกแคลเซียมอลูมิเนตอยู่ด้วย

Iron เหล็กอาจจะรวมกับออกซิเจน ทำให้เกิดเฟอร์รัสออกไซด์ หรือเฟอร์ริกออกไซด์สินแร่ของเหล็กที่สำคัญคือ Hematite(Fe_2O_3) และ Hydrated Limonite ($Fe_2O_3H_2O$)

Gypsum ซึ่งทางเคมีคือ Hydrated Calcium Sulfate ($CaSo_4.2H_2O$) เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เมื่อถูก Hydrate ที่อุณหภูมิ 400°ฟ มักจะเปลี่ยนจาก Crystalline Form มาเป็น Anhydrite ถ้าให้ความร้อนแก่ยิบซั่มที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400°ฟ (350-400°ฟ) บางส่วนของน้ำในผลึกจะถูกขับออกไปและได้เป็น Plaster of Paris ดังสมการ

$$2(CaSO_4.2H_2O) + \text{heat} \longrightarrow (CaSO_4)\,2H_2O + H_2O$$

ถ้าเอาน้ำผสมกับ Plaster จะเกิดเป็นของแข็งในการวิเคราะห์ ทางเคมีของซีเมนต์การที่มี Gypsum อยู่จะบอกได้โดย SO_3 ซึ่งเรียกว่า Sulfuric Anhydride

Magnesia อยู่ในรูปของ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ถ้าเป็นแร่ธาตุเรียกว่า Periclase สารประกอบของแมกนีเซียมที่พบในไฮดรอลิกซีเมนต์มาจากแมกนีเซียมคาร์บอเนตในวัตถุดิบ

Alklies Alkali Oxide หรือ Na_2O และ K_2O จะพบอยู่ในปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีปริมาณน้อย ได้จากสารประกอบที่มีปะปนอยู่ในวัตถุดิบตามธรรมชาติ

5.5 ซีเมนต์ปรับปรุงเสถียรภาพดินอย่างไร

5.5.1 ลดค่า Plasticity ลง คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนประการแรกคือ ลดค่า Plasticity ลงเนื่องจากปฏิกิริยา Hydration จะทำให้เกิด Calcium ions แล้ว มีการแลกเปลี่ยนหรือรวมตัวกันของประจุไฟฟ้ารอบเม็ดดิน ทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างกัน ทำให้เม็ดดินจับตัวกันเป็นก้อนค่า Plasticity หรือ Cohesion จึงลดลง

5.5.2 การยึดประสาน ในการบดอัด Cement-Treated Soil ส่วนประกอบต่าง ๆ ของซีเมนต์จะทำให้ปฏิกิริยา Hydration เกิดขึ้นในเวลาต่างกันไป เม็ดดินจะเกิดการเกาะยึดกันเป็นก้อนและสามารถรับแรงอัดได้ การยึดเกาะกันนี้จะเกิดขึ้นทั้งระหว่างเม็ดดินกับซีเมนต์และซีเมนต์กับซีเมนต์เอง

5.5.3 ดินเม็ดละเอียด การทำ Soil-Cement กับดินเม็ดละเอียดทำได้ทั้งชนิด Clayey Soil และ Silty Soil แต่ต้องใช้ปริมาณซีเมนต์สูงกว่าดินชนิดเม็ดหยาด เพราะว่าชนิดเม็ดละเอียดมีพื้นที่ผิวและจุดสัมผัสกันมากกว่าชนิดเม็ดหยาบ ซีเมนต์จะเป็นตัวช่วยให้การเกาะตัวกันของเม็ดดินแข็งแรงขึ้น ดังนั้นนอกจากซีเมนต์จะเป็นตัวลดค่า Plasticity แล้วยังไปเพิ่มค่า Shear Strength อีกด้วย เพราะปฏิกิริยาเคมีของซีเมนต์ที่เกิดขึ้นจะเกิดตามผิวเม็ดดินโดยจะไปไล่น้ำที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกาะอยู่รอบๆ ผิวเม็ดดินออกไปและมันจะเข้าไปอยู่แทนที่ทำให้ลดการบวมตัวและการอ่อนตัวของดินเมื่อมีน้ำภายนอกซึมเข้าไปอีก

5.5.4 ดินเม็ดหยาบ ในกรณีของดินชนิดเม็ดหยาบปฏิกิริยาของ Cement จะทำหน้าที่คล้ายกับการผสมคอนกรีต เว้นแต่ว่า Cement Paste จะไม่ไปช่วยอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน การยึดเกาะกันจะมีทั้งการเกาะกันทาง Mechanical Interlock และ Chemical Cementation กรณีของทรายการยึดเกาะกันจะมีตรงบริเวณผิวที่สัมผัสกัน เมื่อทรายมีการบดอัดแน่นช่องว่างระหว่างเม็ดทรายจะมีน้อย พื้นที่สัมผัสมีมากการยึดเกาะกันจะแข็งแรงขึ้นด้วย แต่ถ้าเป็นทรายชนิดเม็ดขนาดเดียวกันตลอด (Uniform Grade) จะมีพื้นที่สัมผัสน้อย การใช้ซีเมนต์จะต้องมีปริมาณมากขึ้นกว่าชนิดที่มีขนาดคละกันดี (Well - graded)

5.5.5 Degree of Stabilization องค์ประกอบหลักในการควบคุมการผสมของซีเมนต์กับดินมีอยู่ 4 อย่างคือ

1. สภาพตามธรรมชาติของดิน
2. คุณสมบัติของซีเมนต์ที่ใช้ผสม
3. ปริมาณความชื้นในการบดอัด
4. ความหนาแน่นที่ต้องการในการบดอัด

5.6 <u>คุณสมบัติของดิน</u>

ส่วนประกอบที่มีตามธรรมชาติของดินชนิดต่าง ๆ มีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อผสมกับซีเมนต์และน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงมีผลกระทบต่อการรับแรงและความคงทนของดินซีเมนต์ ส่วนประกอบที่ว่านี้รวมทั้งด้านฟิสิกส์และเคมีเป็นต้นว่า ปริมาณส่วนผสมคงทนของทราย (SAND) ดินตะกอน (SILT) และดินเหนียว (CLAY) และพวกสารอินทรีย์หรือ SULPHATES ที่มีอยู่ในดิน

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่จะใช้เป็นแนวทางในการหาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมสามารถใช้ข้อมูลจากสิ่งต่อไปนี้ได้ คือ

5.6.1 Soil Classification Groups

สภาพตามธรรมชาติของดินชนิดคาดจะเป็นตัวชี้บอกถึงปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินได้ AASHO และ Unified ได้แบ่งดินเป็นกลุ่มใหญ่หลายกลุ่มใช้ปริมาณซีเมนต์ที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ปริมาณความต้องการซีเมนต์โดย AASHTO Soil Groups

(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION , 1959)

AASHO SOIL GROUP	USUAL RANGE IN CEMENT REQUIREMENT (% by vol.)	(% by wt.)	ESTIMATED CEMENT CONTENT AND THAT USED IN THE MOISTURE DENSITY TEST (% by wt.)	CEMENT COTENT FOR WET–DRY AND FREEZE –THAW TESTS (% by wt.)
A-1-a	5 - 7	3 - 5	5	3 - 5 - 7
A-1-b	7 - 9	5 - 8	6	4 - 6 - 8
A-2	7 - 10	5 - 9	7	5 - 7 - 9
A-3	8 - 12	7 - 11	9	7 - 9 - 11
A-4	8 - 12	7 - 12	10	8 - 10 - 12
A-5	8 - 12	8 - 13	10	8 - 10 - 12
A-6	10 - 14	9 - 15	12	10 - 12 - 14
A-7	10 - 14	10 - 16	13	10 - 13 - 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ความต้องการซีเมนต์โดยเฉลี่ยสำหรับวัสดุทั่วๆ ไป

(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION , 1959)

Type of Miscellaneous Material	Estimated Cement Content and that used ing Moisture-Density Test		Cement Content for Wet-dry and Freeze-Thaw Tests
	(% by vol)	(% by wt)	(% by wt.)
Shell Soils	8	7	5 - 7 - 9
Limestone Screenings	7	5	3 - 5 - 7
Red - Dog	9	8	6 - 8 - 10
Shale or Disintegrated Shale	11	10	8 -10 - 12
Cullche	8	7	5 - 7 - 9
Cinders	8	8	6 - 8 - 10
Chert	9	8	6 - 8 - 10
Chat	8	7	5 - 7 - 9
Marl	11	11	9 - 11- 13
Scoria(Containing+No.4 Material)	12	11	9 - 11- 13
Scoria(Minus No.4 Material only)	8	7	5 - 7 - 9
Air - Cooled Slag	9	7	5 - 7 - 9
Water - Cooled Slag	10	12	10 - 12 - 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2 มวลรวมที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4

การเพิ่มปริมาณมวลรวมหยาบที่มีขนาดค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 จะต้องเพิ่มปริมาณซีเมนต์ที่ใช้มากขึ้นด้วย แต่ก็ทำให้ความสามารถในการรับกำลังของดินซีเมนต์สูงขึ้นด้วยเช่นกัน Norling และ Packard (1958) ได้ทดลองกับดิน 3 ชนิดคือ Coarse Sand , Fine Sand Loam และ Coamy Sand ด้วยปริมาณซีเมนต์เท่ากันทั้ง 3 ตัวอย่างแต่เพิ่มมวลรวมที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 ต่างกัน แล้วนำไปทดลองหากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 วันซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 5.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า Loamy Sand และ Fine Sandy Loam จะมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเมื่อปริมาณมวลรวมที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของ Coarse Sand จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อปริมาณมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด

5.6.3 ปริมาณดินเหนียว

ปริมาณดินเหนียวมีผลโดยตรงกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ Reinhold (1955) ได้ทดลองนำเอาทรายมาผสมกับดินเหนียวโดยเปลี่ยนปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 0-100 แล้วผสมกับซีเมนต์ที่ปริมาณคงที่ จากนั้นนำไปทดลองหากำลังรับแรงอัด และค่า Modulus of Elasticity ตามรูปที่ 5.2 พบว่าค่าปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นค่า Modulus of Elasticity จะลดลง แสดงว่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงตามไปด้วย เช่นเดียวกับการทดลองของ Road Research Laboratory (1952) ซึ่งใช้ดินหลายชนิดผสมกับซีเมนต์ประมาณร้อยละ 10 กำลังของดินซีเมนต์จะลดลงในขณะที่ปริมาณดินเหนียวมากขึ้น

5.6.4 พื้นที่ผิวของเม็ดดิน

เม็ดดินที่มีพื้นที่ผิวมากก็จะต้องใช้ปริมาณซีเมนต์มากขึ้นเช่นกัน Diamond และ Kinter (1958) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ตัวอย่างดิน 18 ตัวอย่าง ซึ่งจะมี Silt ผสมอยู่ไม่เกินร้อยละ 45 มาทดลอง Freeze-Thaw จะได้ค่า Losses of Weight ตามข้อกำหนดไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งแสดงว่าดินที่ใช้ทำดินซีเมนต์ควรมี Silt ผสมไม่เกินร้อยละ 45 ของน้ำหนักดินทั้งหมด จากการศึกษาดังกล่าวยังได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวกับปริมาณซีเมนต์ จะเห็นได้ว่าเม็ดดินที่มีพื้นที่ผิวมากจะต้องใช้ปริมาณซีเมนต์มากขึ้นด้วยดังรูปที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.5 Liquid Limit และ Plasticity Index

ถึงแม้ค่า Plasticity ของดินจะมีผลต่อคุณสมบัติของ Cement-Treated Soil ก็ตามแต่คุณสมบัติอื่นๆ ก็ยังมีอิทธิพลด้วย มิใช่ค่า Plasticity อย่างเดียว การหาปริมาณซีเมนต์พอเหมาะในการทำ Soil-Cement อาจจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง Plasticity กับปริมาณซีเมนต์เป็นตัวกำหนดได้ดีพอสมควร

Handy , davidson และ Chu (1955) ทดลองนำดิน Loess Soil ในบริเวณทิศตะวันตกเฉียงใต้ของรัฐไอโอวา มาศึกษาพบว่า Plasticity Index ของดินบริเวณนี้มีความเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออกจึงเป็นตัวอย่างที่ดีในการนำมาทดลองทำ Soil-Cement เพื่อหาความสัมพันธ์ของ Plasticity กับปริมาณที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.4 เมื่อพิจารณาพบว่าปริมาณซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามค่าของ Liquid Limit และ Plasticity Index จนกระทั่งปริมาณซีเมนต์ปริมาณร้อยละ 17 ของน้ำหนักดินค่า Limit และ Plasticity Index จึงไม่มีผลต่อปริมาณซีเมนต์

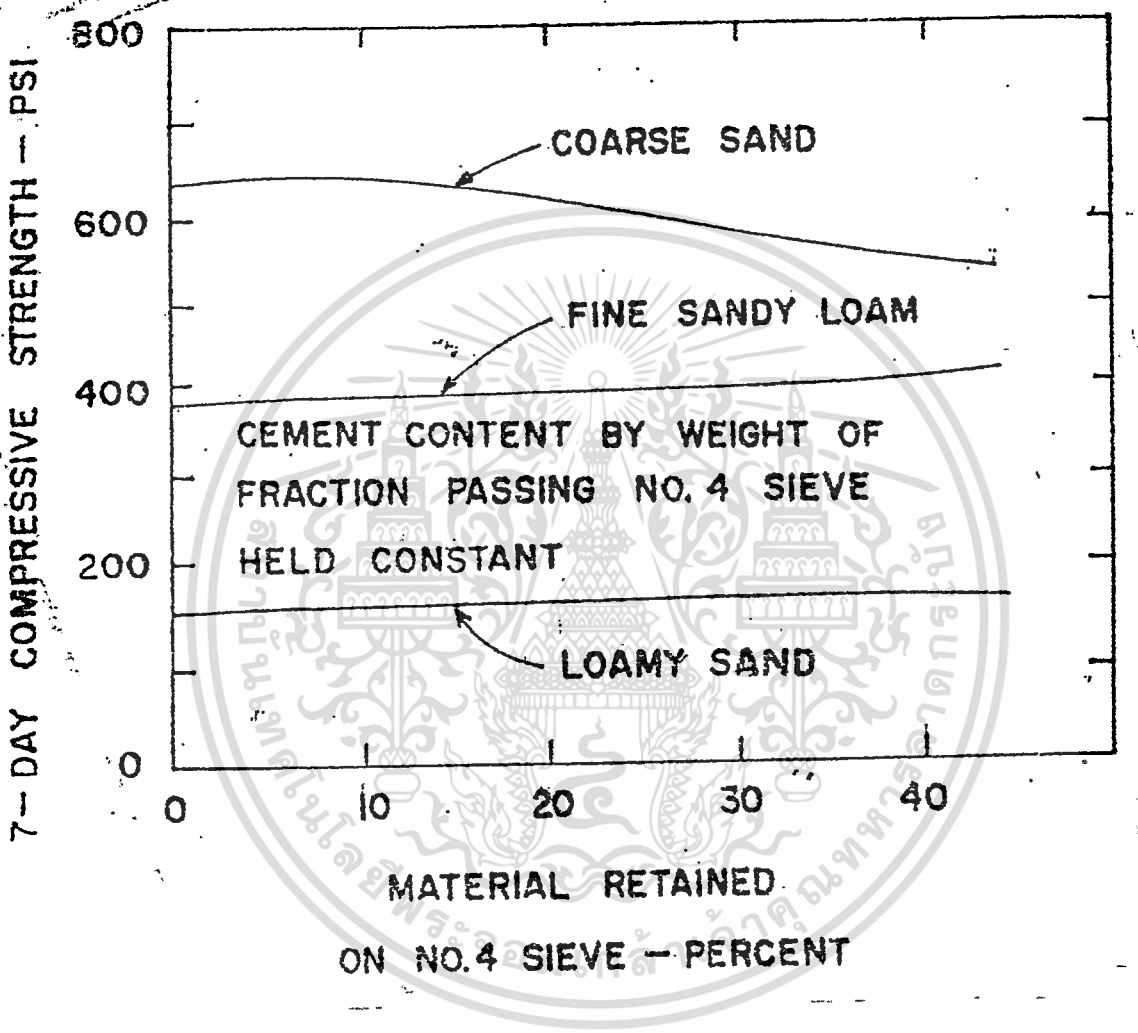
Redus (1958) ได้นำเอา Soil-Cement ที่เป็นชั้น Base Course ของสนามบินต่างๆ มาทำการหาค่า Atterberg Limit ซึ่งเป็น Soil-Cement มีอายุใช้งานมาหลายปีแล้ว ผลที่ได้แสดงในรูปที่5.5 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณซีเมนต์จะสัมพันธ์กับการลดค่า Plasticity Index คือถ้าปริมาณซีเมนต์มากค่า Plasticity Index จะลดลงเร็ว ถ้าซีเมนต์มีปริมาณน้อยค่า Plasticity Index จะลดลงช้า นอกจากนี้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา Hydration ยังมีผลต่อการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 5.6

5.6.6 คุณสมบัติทางเคมีของดิน

ส่วนประกอบทางเคมีของดินจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับซีเมนต์แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ Cation ที่มีอยู่ในเม็ดดิน โดยเฉพาะดินที่มีสารอิทรีย์ผสมอยู่ด้วยจะทำให้ปฏิกิริยาเปลี่ยนไป เช่นเกิดการแข็งตัวช้าขึ้นหรือมีการบวมตัวเมื่อมีพวกซัลเฟตผสม ซึ่งจะทำให้กำลังรับแรงลดต่ำลง

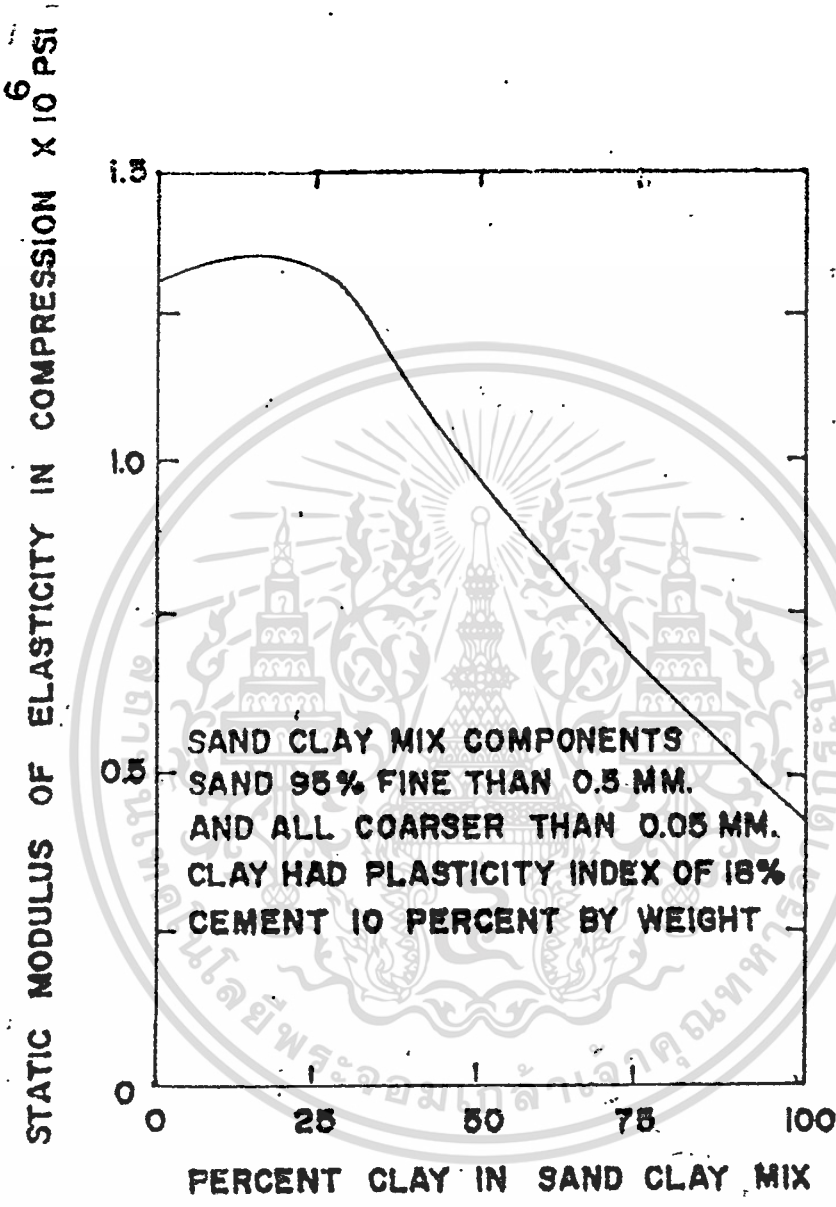
Ruenkrairergsa (1982) กล่าวว่า คุณสมบัติทางเคมีของดินจะมีอิทธิพลมากต่อการปรับปรุงเสถียรภาพดินด้วยซีเมนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดินพวกดินเหนียวหรือดินตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ปริมาณวัสดุที่ตกค้างบนตะแกรง เบอร์ 4 ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของ Soil Cement (NORLING , 1958)

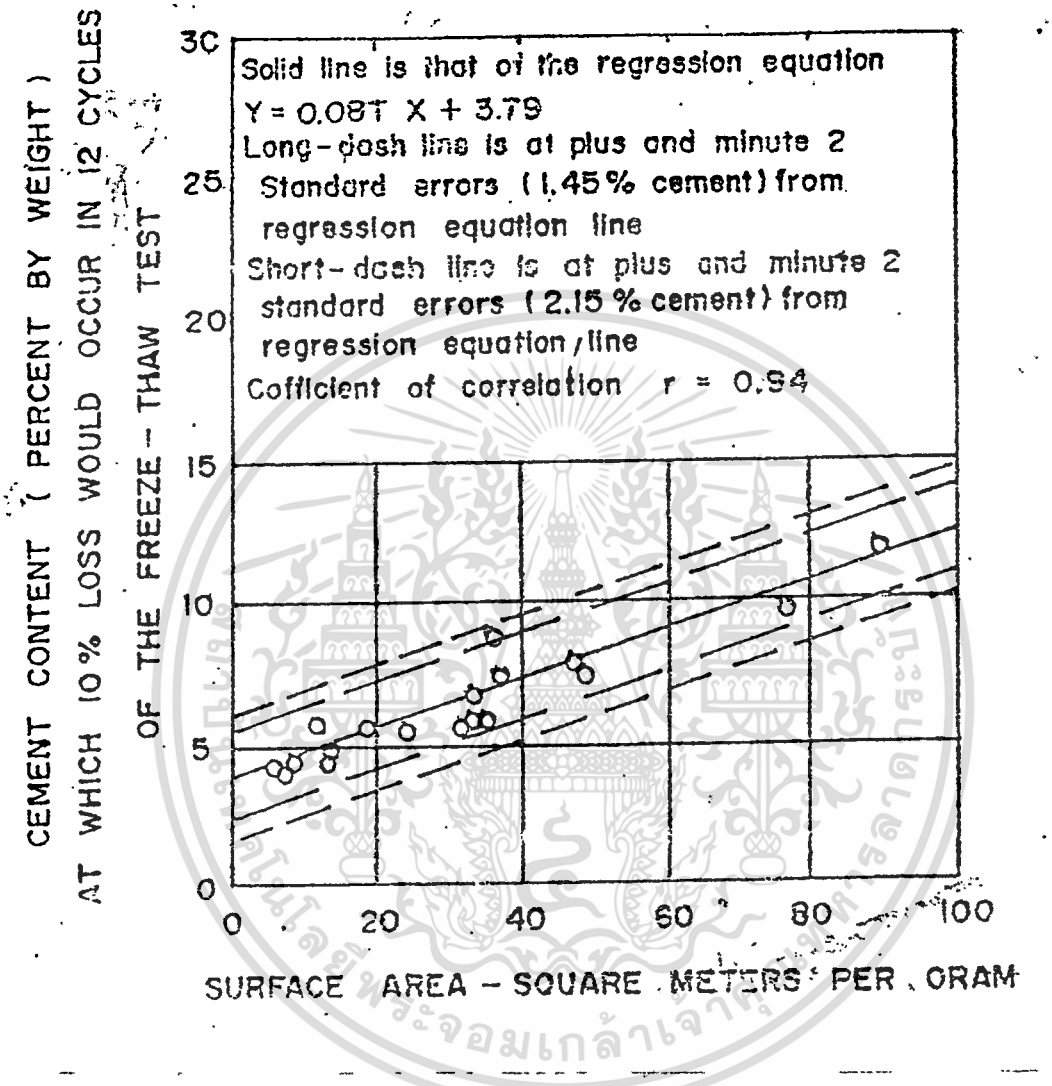
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 อิทธิพลของปริมาณดินเหนียวที่มีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในการอัด

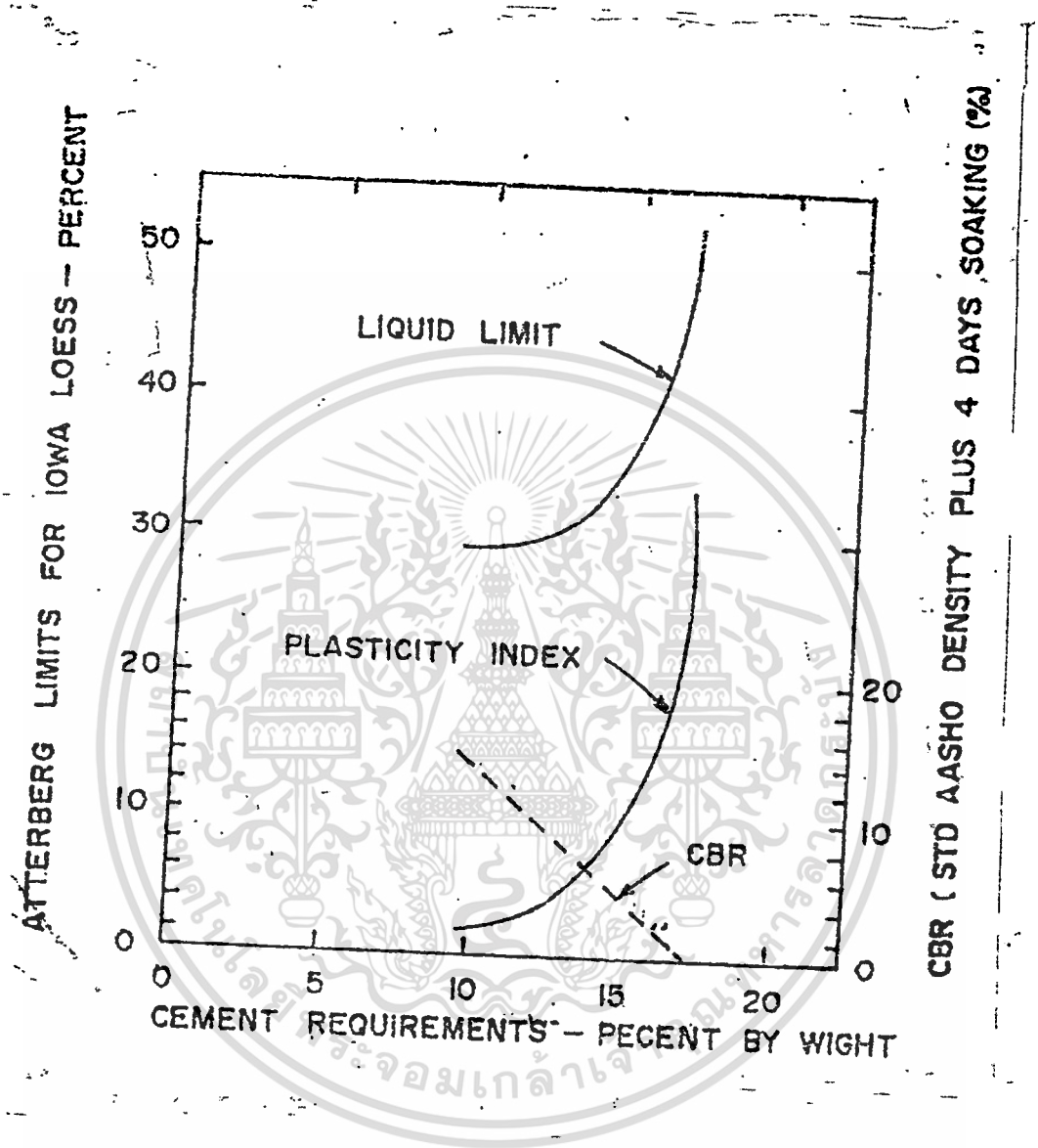
(REINHOLD , 1955)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ปริมาณซีเมนต์(โดยน้ำหนัก) ที่ 10% การสูญเสียใน 12 ไซเคิลของ Freeze-Thaw Test (DIAMOND and KINTER , 1958)

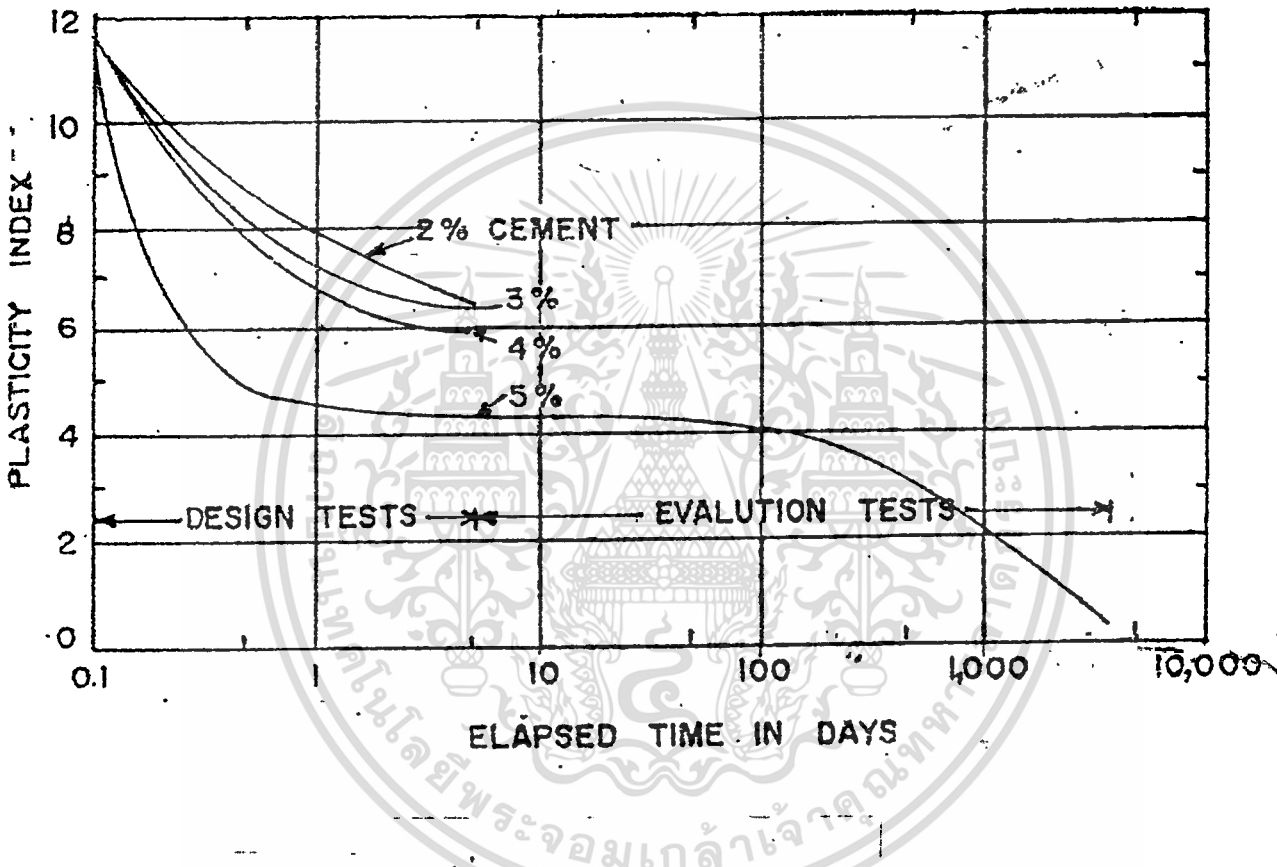
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 อิทธิพลของ Plasticity ที่สัมพันธ์กับ Minimum Cement Requirements ด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง CBR ของ Raw Soil และ Cement Requirment

(HANDY , DAVIDSON and CHU , 1955)

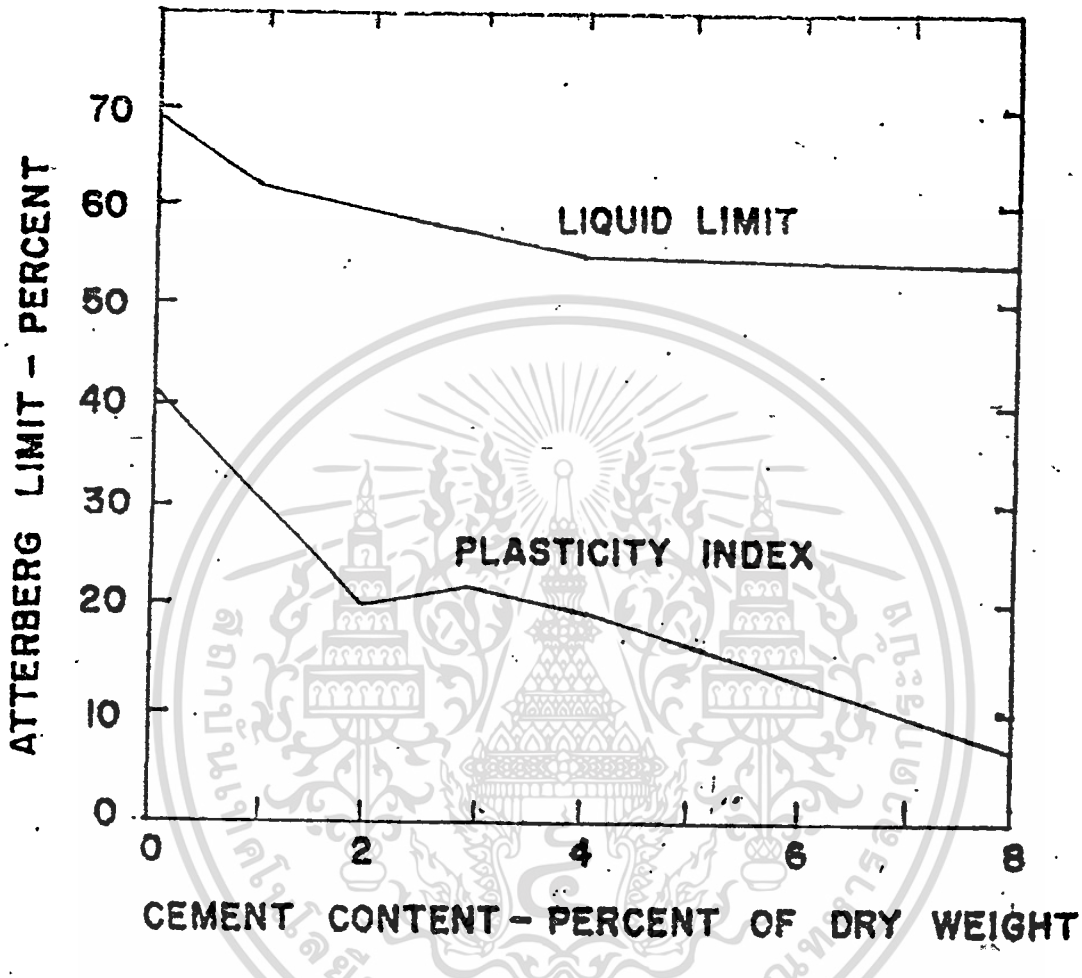
นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ค่า PlasticityIndex กับ เวลา

(REDUS , 1955)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ค่า Atterberg Limits สำหรับ Cement Treated Iowa Gumbatil หลังจาก 1 ชั่วโมง ของการไฮเดรชั่น

(SPANGLER and PATEL , 1949)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนดินที่มีขนาดเม็ดก้อนใหญ่ เช่น ทราย จะมีผลไม่มากในดินเหนียวเมื่อผสมด้วยซีเมนต์จะมีการดูดซึม Cation กับดินที่มี Calcium Ion จะปรับปรุงได้ยากลำบากมาก สำหรับดินที่มีสารผสมอยู่ก็จะมีผลต่อการทำดินซีเมนต์ ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์นั้นว่าเป็นชนิดใดและมีปริมาณมากน้อยเพียงใด เช่น พวกเศษไม้ ฟาง หรือเซลลูโลส จะมีผลเพียงเล็กน้อยและกรดทาร์ทาริกจะมีอิทธิพลมากต่อการก่อปฏิกิริยา Hydration ของซีเมนต์ทำให้เกิดการแข็งตัวช้าขึ้น

ส่วนดินที่มีพวกสารซัลเฟต เมื่อผสมกับซีเมนต์ในช่วงในช่วงปฏิกิริยา Hydration เกิดขึ้นจะไม่มีผลแต่อย่างไร จะมีผลต่อเมื่อหลังจากปฏิกิริยา Hydration เกิดขึ้นแล้วดังนั้น การปรับปรุงดินที่มีสารซัลเฟตอยู่จึงต้องใช้ซีเมนต์ชนิดต่อต้านซัลเฟตมาผสมจึงได้ผล

5.6.7 Degree of Pulverization

ดินเหนียวหรือดินตะกอน เมื่อผสมกับซีเมนต์ควรใช้ดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ทั้งหมดจึงได้คุณภาพดีแต่ถ้ามีขนาดเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 ก็ไม่ควรมีเกินร้อยละ 30 และเมื่อเวลาผสมกับซีเมนต์แล้วบดอัดควรให้มีปริมาณน้ำมากกว่าค่า Optimum Moisture Content เล็กน้อย จะทำให้ดินซีเมนต์มีคุณภาพต่ำลงไม่มากนัก ถ้าบดอัดด้วยปริมาณน้ำน้อยกว่า OMC จะทำให้คุณภาพลดลงมาก

5.6.8 ปริมาณความชื้นในเวลาทำการบดอัด

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นของ Cement-Treated Soil จะมีพฤติกรรมเหมือนกับดินทั่วไปที่ไม่ได้ผสมกับซีเมนต์ ความชื้นที่เหมาะสมในการผสมซีเมนต์จะทำให้การทำงานและการบดอัดสะดวกง่ายขึ้น แล้วยังเพียงพอที่ใช้ในปฏิกิริยา Hydration ของซีเมนต์อีกด้วย

Felt (1955) ได้ทดลองศึกษาหาผลของความชื้นที่มีต่อกำลังรับแรงอัดและความชื้นกับ Losses of Weight จากการทำ Wet-Dry และ Freeze-Thaw จากผลที่ได้สรุปได้ว่า ถ้าเป็นทรายควรบดอัดด้วยปริมาณความชื้นต่ำกว่าค่า OMC จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด ส่วนดินเหนียวถ้าจะให้ได้กำลังรับแรงอัดสูงสุดต้องใช้ปริมาณความชื้นมากกว่า OMC เล็กน้อย ส่วนผลการทดลอง Wet-Dry และ Freeze-Thaw สรุปได้ว่า สำหรับดินเหนียวและดินตะกอนความคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทนจะลดลงถ้าปริมาณความชื้นในการอัดมีค่าต่ำกว่า OMC ส่วนดินทรายนั้นปริมาณความชื้นจะไม่มีผลต่อความคงทนเลย ซึ่งผลการทดลองนี้จะเหมือนกับการทดลอง Davidson และคณะ (1962)

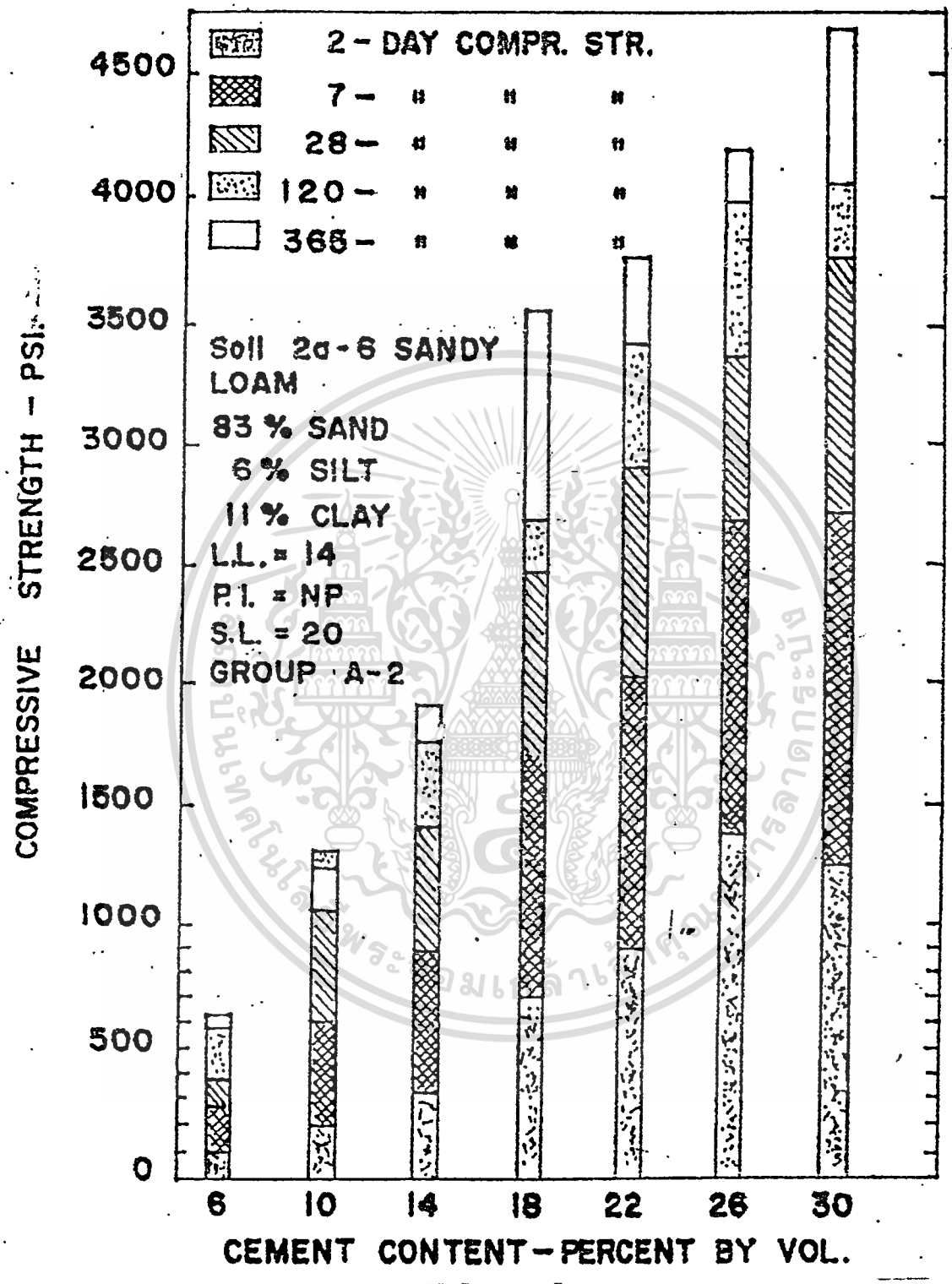
Ruenkrairergsa (1982) ได้อธิบายว่า การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นของดินที่บดอัดตามวิธีการของ Proctor (1933)นำมาใช้กับงานดินซีเมนต์ พบว่าปริมาณความชื้นที่ OMC นั้นนอกจากจะทำให้ได้ความหนาแน่นสูงสุดแล้วยังทำให้ซีเมนต์เกิดปฏิกิริยา Hydration อย่างสมบูรณ์ด้วย ผลที่ได้ในงานก่อสร้างจริงพบว่า การบดอัดที่ความหนาแน่นสูงสุดไม่ได้แข็งแรงและความคงทนของดินซีเมนต์จะสูงสุดตาม การทดลองหาความคงทนตามวิธี Freeze-Thaw ของดินตะกอนและดินเหนียวผสมซีเมนต์จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อบดอัดที่ปริมาณความชื้นที่ OMC หรือมากกว่าเล็กน้อย แต่ถ้าความชื้นต่ำกว่า OMC เล็กน้อยจะให้ค่าความคงทนสูงขึ้น ส่วนความแข็งแรงของดินทรายเกิดที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่า OMC ประมาณร้อยละ 3 ถึง 6 แต่ถ้าเป็นดินเหนียวความแข็งแรงจะเกิดที่ปริมาณความชื้นเกิน OMC ไปเล็กน้อย

5.7 <u>ปริมาณซีเมนต์</u>

โดยทั่วไปแล้วดินเหนียวเกือบทุกชนิดจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับประเภทของ Cement-Treated Soil สัดส่วนของซีเมนต์ที่ใช้เปลี่ยนตามค่า Plasticity Soil สัดส่วนของซีเมนต์ที่ใช้เปลี่ยนตามค่า Plasticity Index การเปลี่ยนแปลงปริมาตร คุณสมบัติความหยืดหยุ่น ความคงทน และชนิดของดินที่จะนำมาปรับปรุงคุณภาพ

Felt (1955) ได้นำดิน 3 ชนิดคือ Sandy Loam, Silty loam และ Silty Clay มาทดลองผสมกับซีเมนต์ โดยเปลี่ยนปริมาณซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 6 ถึง 30 ตามปริมาตร แล้วทดสอบหากำลังรับแรงอัดที่มีอายุการบ่ม 5 แบบตั้งแต่ 2 วันจนถึง 1 ปี และทดสอบความคงทนด้วยวิธี Wet-Dry และ Freeze-thaw ตั้งแต่ 12 รอบถึง 96 รอบ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.7,5.8,5.9และตารางที่ 5.5ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ ดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่จะมีการรับแรงอัดสูงกว่าดินที่มีขนาดเม็ดเล็ก และดินที่มีปริมาณดินเหนียวผสมอยู่สูงจะรับกำลังน้อยกว่าดินที่มีปริมาณดินเหนียวต่ำกว่า ความคงทนของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ใช้

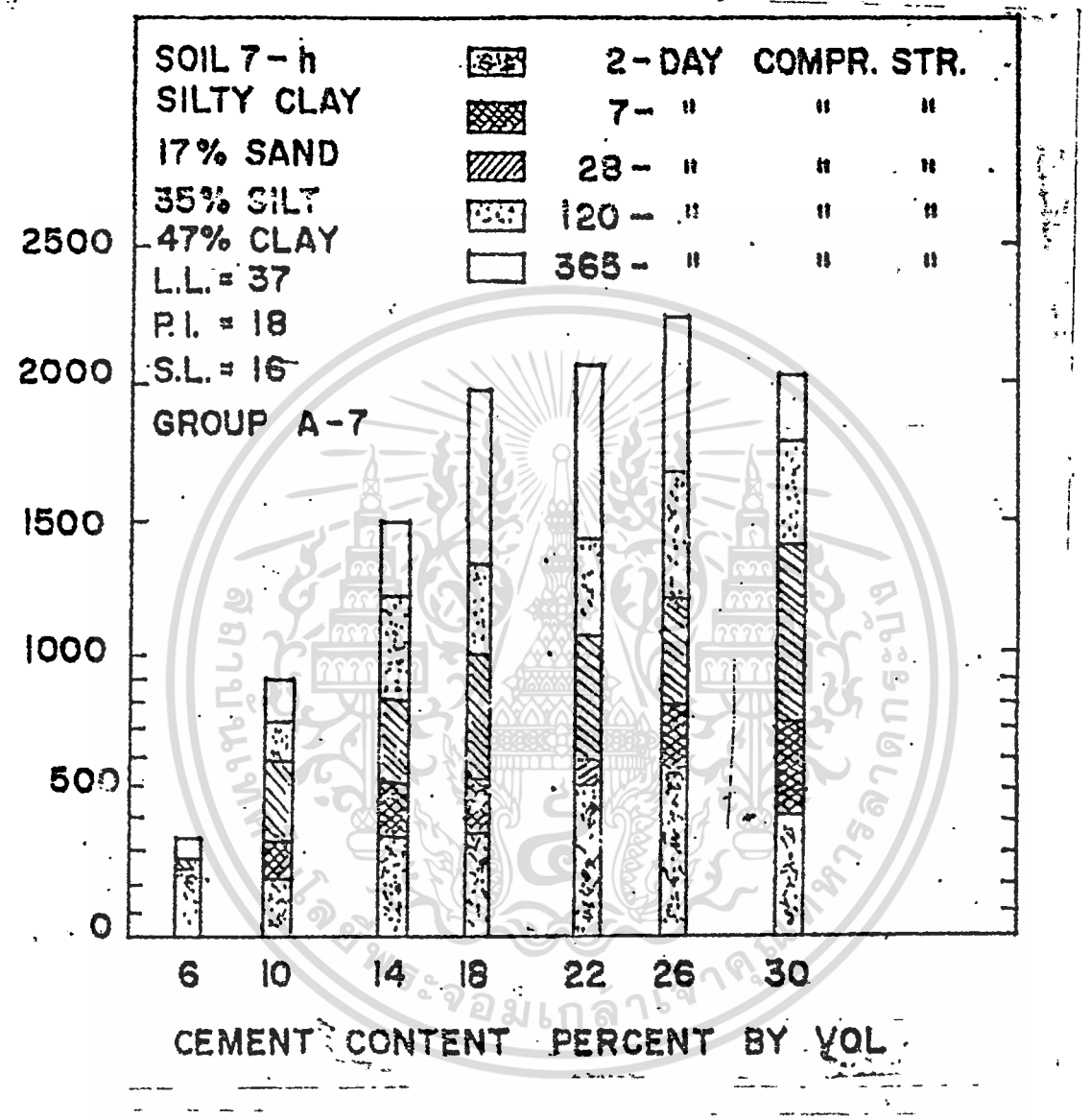
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ผลกระทบของปริมาณ ซีเมนต์และอายุในการรับกำลังอัดสำหรับ Loamy Sand

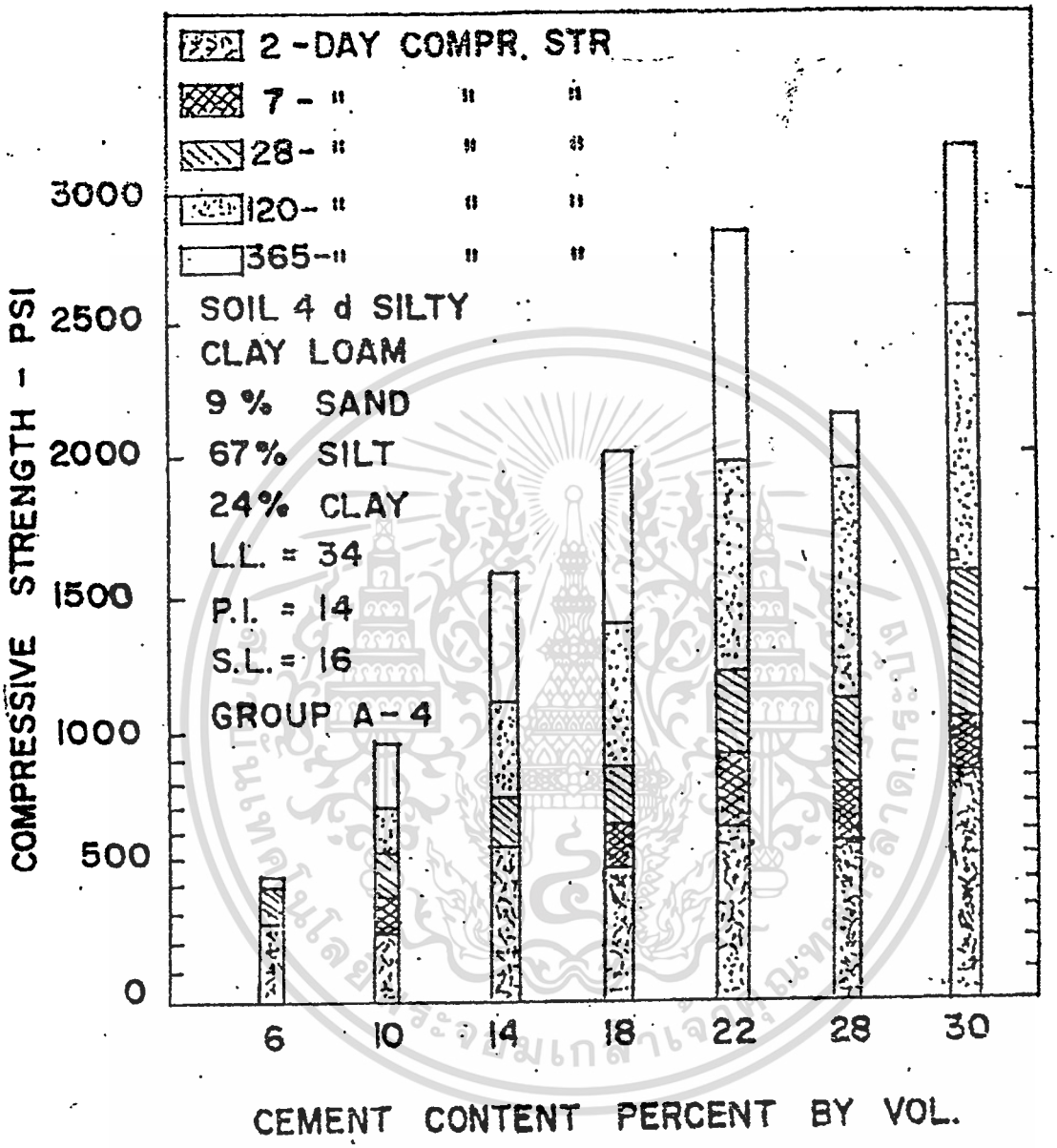
(FELT , 1955)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ผลกระทบของปริมาณซีเมนต์และอายุในการรับกำลังอัดสำหรับ Medium Clay (FELT , 1955)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 ผลกระทบของปริมาณซีเมนต์และอายุในการรับกำลังอัดสำหรับ Silty Clay Loam

(FELT , 1955)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 ผลกระทบจากปริมาณซีเมนต์สำหรับความคงทนในดิน

Soil	Content Content Vol. %	Brushing Loss (% Drig.Wt) Wet - Dry Test (Cycles) 12	24	36	48	60	72	84	96	Freeze - Thaw Test 12	24	36	48	60	72	84	96
2a-G	8	6	10	14	18	21	24	27	28	12	19	25	30	37	42	46	51
	10	4	6	7	9	11	12	13	14	5	8	10	13	16	17	19	21
	12	2	3	3	4	5	6	6	6	2	4	5	7	9	10	11	12
	14	2	2	2	3	3	4	4	4	1	2	3	4	5	6	6	7
	18	1	1	1	1	1	2	2	2	0	1	1	1	2	2	2	3
	22	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	2
	26	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4d	8	7	29	53	67	72	75	80	87	21	58	70	62	92	100	100	100
	10	5	25	43	54	63	70	76	83	7	24	33	53	66	74	88	93
	12	4	21	22	48	56	62	67	78	3	6	9	16	21	40	45	56
	14	2	9	27	35	46	47	52	60	2	4	9	14	16	20	21	24
	18	2	4	11	18	22	38	47	56	2	2	2	3	5	5	5	5
	22	1	2	7	8	9	12	17	20	2	2	2	3	5	5	5	5
	26	1	1	1	3	4	5	7	9	1	1	2	3	4	4	4	4
	30	1	1	1	2	3	4	4	5	1	1	2	2	3	4	4	4
7h	8	9	24	40	61	72	78	80	92	10	19	36	61	84	100	100	100
	10	7	16	33	45	48	49	52	56	6	18	26	41	86	100	100	100
	12	3	10	16	27	39	43	45	46	3	4	7	9	41	64	83	97
	14	2	4	9	18	24	31	33	35	3	4	7	6	10	25	43	52
	18	1	1	2	6	11	15	19	24	2	2	3	3	4	4	4	34
	22	1	1	1	2	6	7	9	11	1	1	2	2	3	3	3	27
	26	1	1	1	1	1	1	3	5	1	1	1	2	2	2	2	3
	30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ruenkrairergsa (1982) ได้อธิบายว่า ปริมาณซีเมนต์เป็นตัวหลักที่มีอิทธิพลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของดินซีเมนต์ดีขึ้นด้วย อัตราการเพิ่มขึ้นของคุณสมบัติของดินผสมซีเมนต์ขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่นำมาปรับปรุงด้วยการเกาะยึดของดินซีเมนต์ที่มีขนาดเม็ดดินหยาบจะเพิ่มสูงขึ้นและเร็วกว่าดินที่มีขนาดเม็ดละเอียด ปริมาณซีเมนต์นอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปริมาณดินเหนียวที่มีอยู่ในดินเดิมด้วย ดังนั้นปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมจึงควรหาจากผลการทดลองตามที่กล่าวมาแล้ว

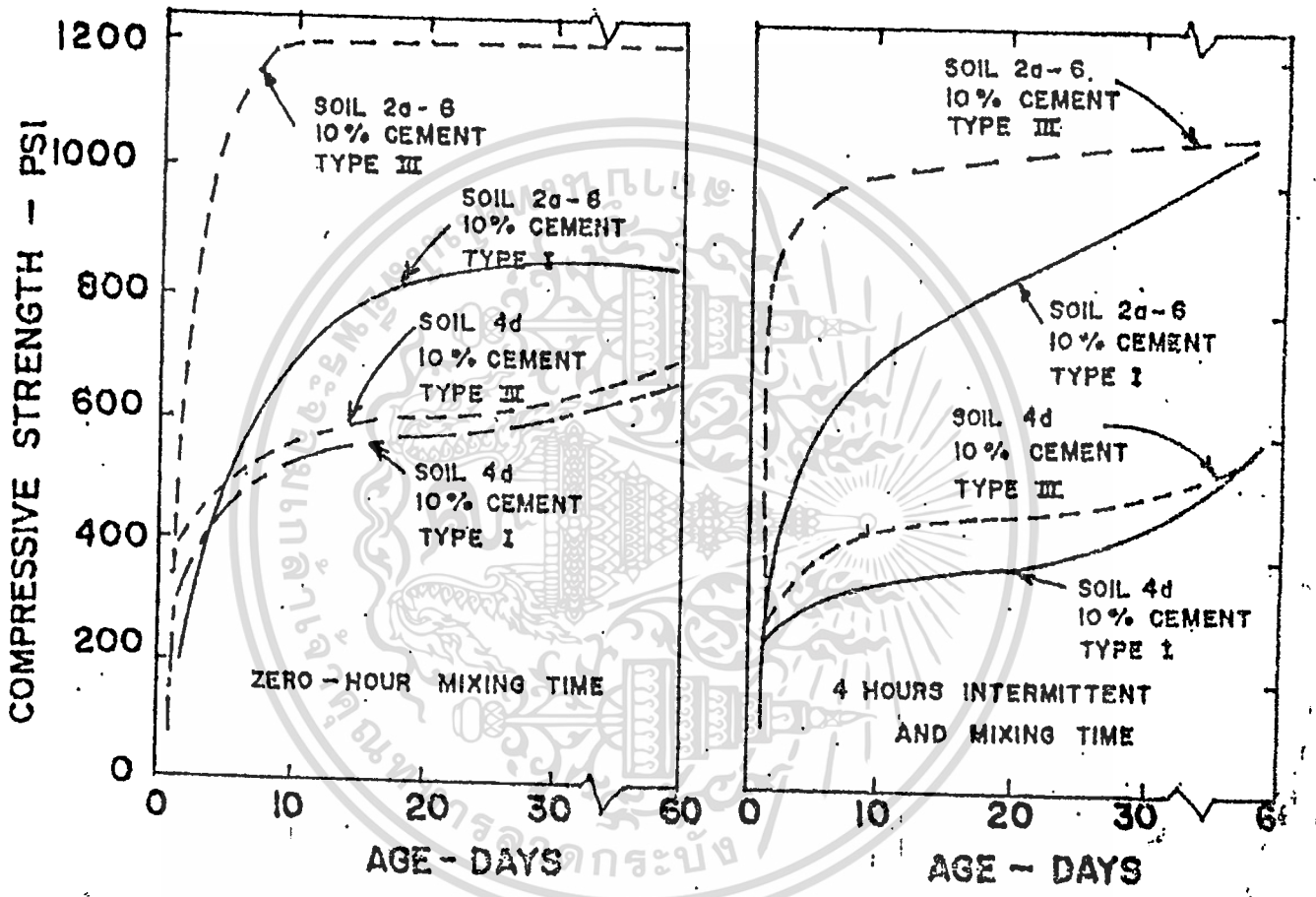
ในดินซีเมนต์จะใช้ซีเมนต์อยู่ 2 ประเภทคือ ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 3 ในการคุณสมบัติของดิน ซึ่งมีผู้ค้นคว้าศึกษาทดลองอยู่หลายคนซึ่งผลที่ได้จะคล้ายคลึงกัน

Felt (1955) ได้นำดิน 2 ชนิด คือ Sandy Loam และ Silty Clay Loam มาผสมกับซีเมนต์ทั้ง 2 ประเภทผลที่ได้จากการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 5.10 ดินที่ผสมซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะให้กำลังสูงกว่าดินที่ผสมกับดินประเภทที่ 1 แต่ซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะไม่มีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงของดินทุกชนิด เป็นต้นว่าดิน Loam Sand ผสมกับซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะให้กำลังรับแรงอัดเป็น 2 เท่าของดินที่ผสมซีเมนต์ประเภทที่ 1 ที่อายุการบ่ม 7 วันและเป็น 1.4 เท่าเมื่ออายุการบ่ม 28 วันแต่สำหรับดิน Silty Clay Loam เมื่อใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะให้กำลังกว่าซีเมนต์ประเภทที่ 1 เล็กน้อยเท่านั้น

Davidson และ Bruns (1960) ได้นำดินทราย ดินตะกอน และดินเหนียวในรัฐไอโอวา มาทดลองผสมซีเมนต์ทั้ง 2 ประเภท แล้วทดสอบหากำลังรับแรงอัดกับความคงทนด้วยวิธี Freeze-Thaw ผลที่ได้นั้นสรุปว่า การใช้ดินซีเมนต์สำหรับการก่อสร้างถนนการใช้ซีเมนต์ประเภท 3 จะประหยัดและได้เปรียบกว่าการใช้ซีเมนต์ประเภท 1 เพราะการใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 1 ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 7 วัน ซึ่งจะมีผลต่อเวลาก่อสร้างแต่ซีเมนต์ประเภทที่ 3จะลดอายุการบ่มลง ทำให้ได้เปรียบกว่า

ในประเทศอังกฤษ Clare และ Pollard (1951) ได้นำดิน 3 ชนิดมาผสมกับซีเมนต์ประเภท High-alumina ภายหลังการผสม 24 ชั่วโมงจะให้กำลังรับแรงอัดสูงมากขณะที่ซีเมนต์ประเภทอื่นจะให้กำลังรับแรงอัดต้องมีอายุการบ่ม 5 วัน และใช้ซีเมนต์ประเภท Brtish Rapid Hardening ซึ่งเทียบเท่ากับซีเมนต์ประเภทที่ 3 ค่า Yield Strength จะสูงกว่าซีเมนต์ประเภทที่ 1 มากเมื่ออายุการบ่มเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบของกำลังที่ได้มาจากซีเมนต์ธรรมดา(ชนิดที่ 1)และซีเมนต์แบบแข็งเร็ว ในดิน Loamy Sand (Soil 2a-6) และ Silty Clay Loam (Soil 4cd) สำหรับในชั่วโมงเริ่มต้นและใน 4 ชั่วโมง ของการ Intermitter Mixing

(FELT , 1955)

5.8 กลไกของการปรับปรุงเสถียรภาพของดินด้วยซีเมนต์

LAMBE และคณะ (1959) และ MOH(1962) ได้อธิบายว่าเมื่อน้ำผสมกับซีเมนต์จะทำให้ปฏิกิริยา Cement Hydration เกิดเป็นสารประกอบ Calcium Silicate Hydrate (CSH), Calcium Aluminate Hydrate(CAH) และ Released Hydrate Lime กระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดการแข็งตัวของ CSH และ CAH ซึ่งเป็นวัสดุสำหรับเชื่อมยึด นอกจากนี้ Released Hydrate Lime ที่เกิดขึ้นในประบวนการดังกล่าวจะทำให้ความเป็นด่าง (pH) ของ Pore Water เพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ Colloid Gel หรือ Cement Gel เกิดการรวมตัวแล้วยึดเกาะกันเป็นมวลที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นตามอายุการบ่ม

ในมวลดินที่มีขนาดเม็ดหยาบเมื่อเกิด Cement Hydration การยึดเกาะกันของเม็ดดินจะคล้ายกบในคอนกรีต แต่ว่า Cement Paste จะไม่อุดเต็มช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินแรงเชื่อมยึดติดกันเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวทางด้าน Mechanical Interlock ของ CSH และ CAH ที่ผิวอนุภาคของดิน

ส่วนดินที่มีขนาดเม็ดละเอียด แรงยึดเกาะกันจะประกอบทั้งด้าน Mechanical Interlock และ Chemical Cementation การยึดเกาะทางด้าน Chemical Cementation นั้นเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับ Silica และ Alumina ที่มีอยู่ตามผิวเม็ดดิน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบ CSH และ CAH อยู่รอบเม็ดดินทำให้เม็ดดินเกิดการเชื่อมติดกัน

HERZOG และ MITCELL(1963) ได้กล่าวถึงการเกิด Cement Hydration ว่าเป็นการเกิด CSH และ CAH ในช่วงแรก และปฏิกิริยาระหว่าง Silica และ Alumina ที่มีอยู่ในเม็ดดินกับ Calcium Ion ที่เกิดจาก Released Hydrated Lime จะเป็นกระบวนการที่สองที่จะทำให้เกิด CSH และ CAH ซึ่งต้องใช้ระยะเวลายาวนานกว่า จึงทำให้กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์จะสูงขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น

MOH(1965) ได้เขียนปฏิกิริยาของดินซีเมนต์เป็นสมการทางเคมีได้ดังต่อไปนี้

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

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

$$Ca^{++} + 2(ON) + SiO_2 \text{ (Soil Silica)} \longrightarrow CSH$$

$$+ Al_2O_3 \text{ (Soil Alumina)} \longrightarrow CAH$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9 โครงสร้างของดินซีเมนต์

MITCHELL และ JACK(1966) เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของดินซีเมนต์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบและโครงสร้างของดินซีเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.22 ซึ่งแบ่งให้เห็นเป็น 3 ขั้นตอนคือ

5.9.1 ภายใต้การบดอัด ขั้นตอนนี้เป็นช่วงที่ซีเมนต์ไม่เกิดปฏิกิริยา Cement Hydration จะเข้าไปผสมกับอนุภาคของดินตามรูปที่ 5.11 a.

5.9.2 ภายใต้การบ่มระยะสั้น อนุภาคของซีเมนต์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา Hydration จะเริ่มมีปฏิกิริยา Cement Hydration ขึ้นทำให้เกิดเป็น Cement Gel แทรกซึมตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และ Released Lime เริ่มทำปฏิกิริยากับดินที่เป็น Active Soil Silica หรือ Active Soil Alumina ในสารละลาย จะเป็นผลให้เกิดการแยกตัวของ Soil Silica และ Soil Alumina ในดิน และผลของปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้จะแผ่กระจายไปตามอนุภาคของดินดังแสดงในรูปที่ 5.11 b.

5.9.3 ภายใต้การบ่มระยะยาว อนุภาคของซีเมนต์จะเกิดกระบวนการ Cement Hydration อย่างสมบูรณ์อันมีผลทำให้ปริมาณ Cement Gel และขอบเขตการแทรกซึมของ Cement Gel แผ่กระจายไปทั่วทั้งก้อนของ Soil-Cement ซึ่งจะทำให้ค่ากำลังแรงรับอัดสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 5.11 c

ดังที่กล่าวแล้วทั้ง 3 ขั้นตอนจะเห็นได้ว่า ขั้นตอน 5.9.1 ในรูปที่ 5.11 a จะไม่เป็นจริงตามธรรมชาติแต่จะเกิดพร้อมไปกับขั้นตอน5.9.2 เลย เพราะว่าซีเมนต์เมื่อผสมกับความชื้นในดินหรืออากาศจะทำปฏิกิริยา Cement Hydration เลยอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งลบเลือนปฏิกิริยาในขั้นตอน 5.9.1 ซึ่งสอดคล้องกับ CZERNIN (1962)

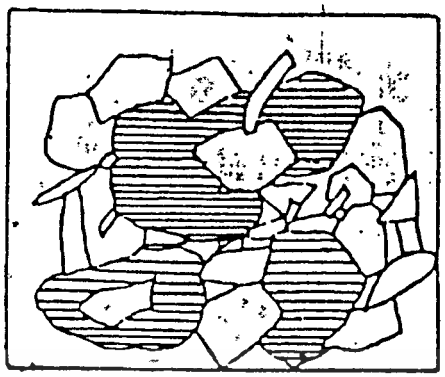
CZERNIN (1962) กล่าวว่าหลังจากซีเมนต์ผสมกับน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยา Cement Hydration เป็นผลให้เกิด Calcium Silicate Hydrate ในรูปของ Gel ขึ้นในส่วนผสมของซีเมนต์กับน้ำ ดังนั้นจึงสามารถที่จะเข้าใจได้ว่าภายใต้สภาวะของการบดอัดเม็ดซีเมนต์มิได้ผสมกับดินแต่เพียงอย่างเดียวแต่จะเกิดกระบวนการ Cement Hydration ด้วย

รูปที่ 5.11 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนต่าง ๆ ของ Cement Hydration อันจะสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของปฏิกิริยา Cement Hydration ที่มีต่อกำลังรับแรงของดินซีเมนต์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้

5.10 การผสมและการบดอัด

เนื่องจากกำลังความแข็งแรงและความคงทนของดินซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการผสม เครื่องมือในการบดอัด และระยะเวลาของการผสมและบดอัด การผสมจะเกี่ยวข้องกับ

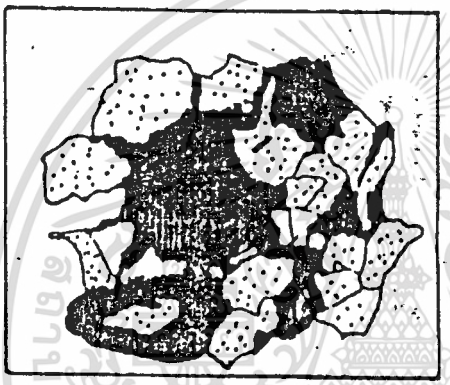
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Clay Particles

Cement Particles (unhydrated)

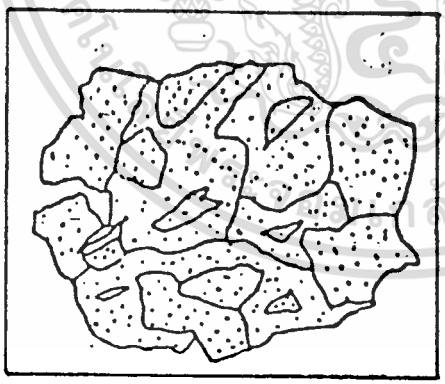
(A) AS-COMPACTED CONDITION



Degrading Clay Particles

Hydrating Cement Gel and Lime-Clay Reaction Products

(B) AFTER SHORT CURING PERIOD



Indistinguishable Clay and Cement Phase

(C) AFTER LONG CURING PERIOD

รูปที่ 5.11 โครงสร้างของ Soil-Cement

(MITCHELL and EL JACK , 1963)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาและดีกรีการผสม ซึ่งวัดได้จากความเข้ากันตลอดของส่วนผสม สิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อคุณสมบัติของ Cement-Treated Soil

5.10.1 ดีกรีการผสม (Degree of Mixing) วิธีการทดลองเพื่อวัดดีกรีการผสมมีผู้ค้นคว้าอยู่ 2 แบบ ที่จะกล่าวถึง คือ

Baker (1995) ได้ใช้เทคนิคของ Redioactive Tracer วัดความสม่ำเสมอของซีเมนต์ในส่วนผสม โดยใช้ Cobalt 60 บดกับซีเมนต์แล้วผสมกับดิน จากนั้นใช้เครื่องวัดที่เรียกว่า Scintillation Counter เป็นตัววัดความสม่ำเสมอของซีเมนต์ที่กระจายอยู่ในดิน

อีกวิธีหนึ่งที่ Robinson (1952) หาประสิทธิภาพในการผสมในสนามโดยใช้ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ผสมในสนามมาหล่อในแบบแล้วทดลองหากำลังรับแรงอัด จากนั้นนำส่วนผสมอีกตัวอย่างมาผสมซ้ำอีกครั้งในห้องทดลอง โดยทำการหล่อในแบบแล้วทำการทดสอบหากำลังรับแรงอัด การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการผสมหาได้จากวิธีการดังต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการผสม} = (C_f / C_r) \times 100 \text{ (ร้อยละ)}$$

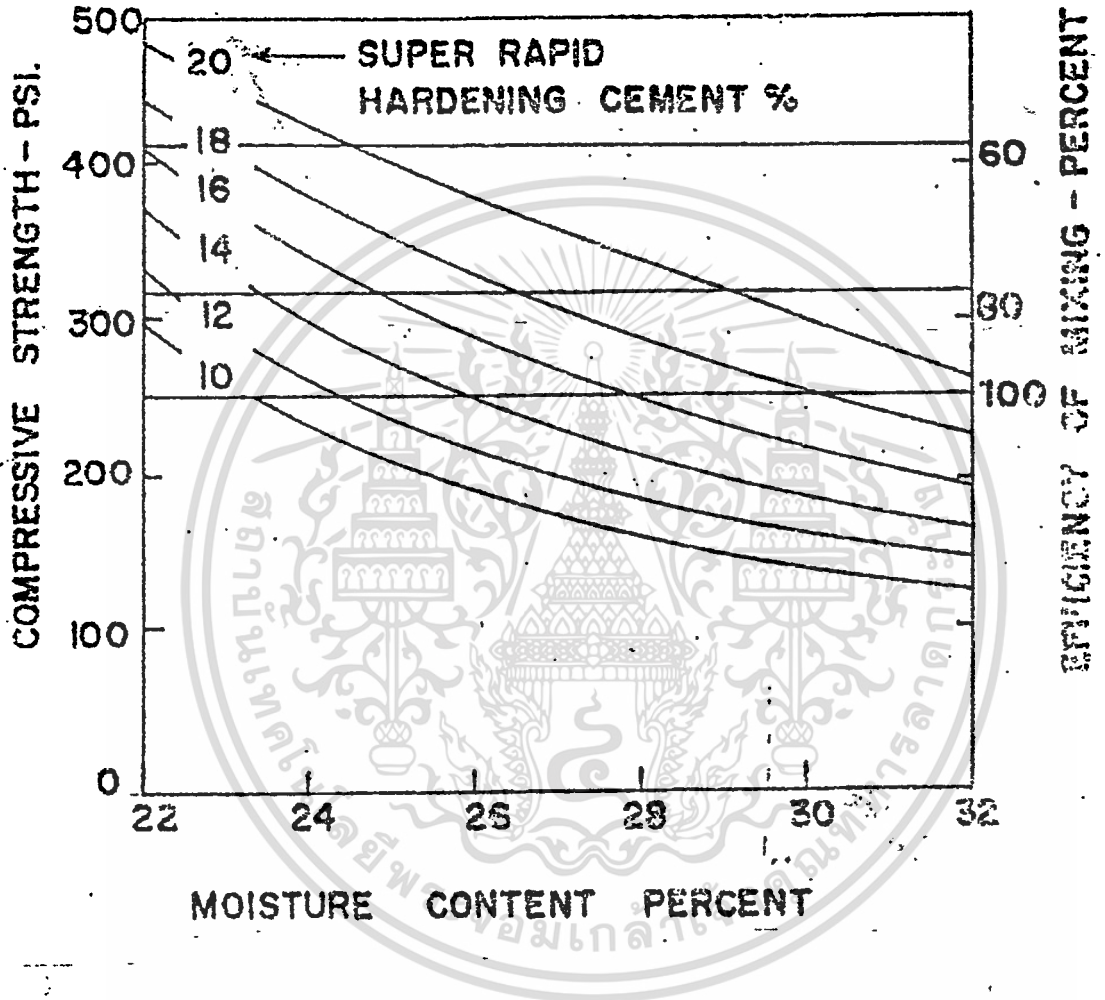
เมื่อ C_f = เป็นค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ผสมในสนาม

C_r = เป็นค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดตัวอย่างที่ผสมในสนามแล้วนำมาผสมซ้ำในห้องทดลองอีกครั้ง

ผลที่สรุปได้ว่า ดินที่เป็นพวก Cohesiv Soil แล้วประสิทธิภาพในการผสมจะเท่ากับร้อยละ 60 ถ้าเป็นดินพวก Granular และผสมด้วย Plant-Mix แล้วจะมีประสิทธิภาพสูงเกือบร้อยละ 100 จากรูปที่ 5.12 เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการผสมกับกำลังรับแรงของดินเหนียวที่มี Plasticity Index ปานกลาง จะเห็นว่าที่ปริมาณความชื้นเดียวกันและกำลังแรงอัดเท่ากัน 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ประสิทธิภาพในการผสมที่ร้อยละ 60 จะต้องใช้ซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นอีกประมาณร้อยละ 5 จึงจะเท่ากับประสิทธิภาพในการผสมที่ร้อยละ 80 แสดงว่า ประสิทธิภาพในการผสมสูงจะช่วยประหยัดการใช้ซีเมนต์ด้วย

Lovering (1951) ได้ค่าความสม่ำเสมอในการผสมของดินซีเมนต์ที่ใช้ทำชั้นพื้นทางของถนน โดยใช้ดินซีเมนต์ Class A และ Class C มาผสมกับ Plant-ซีเมนต์ด้วยวิธีต่างกัน Class A ผสมกับซีเมนต์ร้อยละ 4 ถึง 5 ผสมด้วย Plant-Mixed Class C ผสมกับซีเมนต์ร้อยละ 2 ด้วยวิธี Blade-Mixed ผลการทดลอง แสดงไว้ในรูปที่ 5.13 และ 5.14 จากการวิเคราะห์ทางสถิติจะเห็นว่า การผสมของ Class C จะมีกำลังรับแรงอัดรวมเป็นกลุ่มดีกว่าการผสมของ Class A แต่ Class A จะให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่า และการกระจายค่าดีกว่าค่า coefficient of Variation ของ Class A จะเท่ากับร้อยละ 16 ส่วน Class C เท่ากับร้อยละ 18.9 หมายความว่า การผสมของ Class A ดีกว่าการผสมของ Class C เล็กน้อย

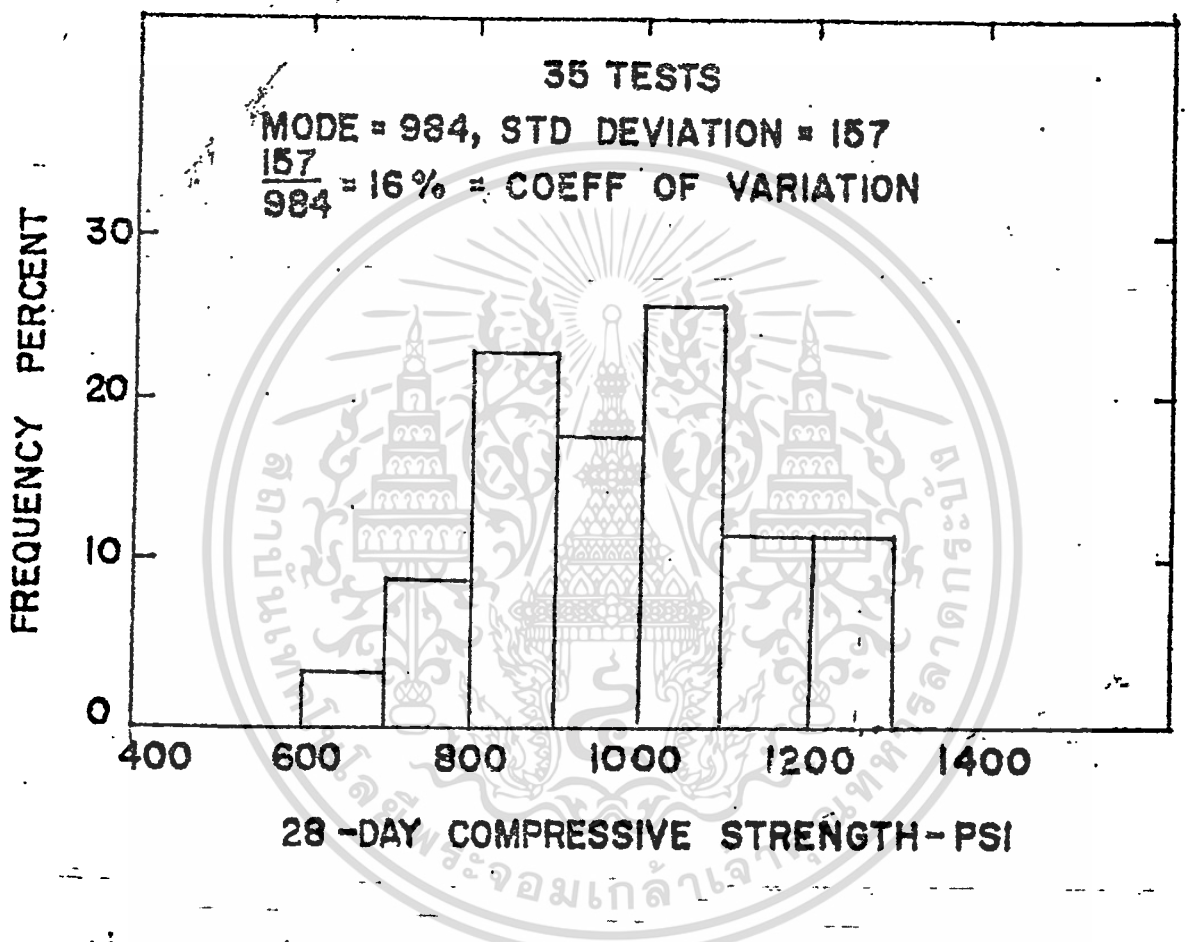
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ประสิทธิภาพของการผสมและกำลัง

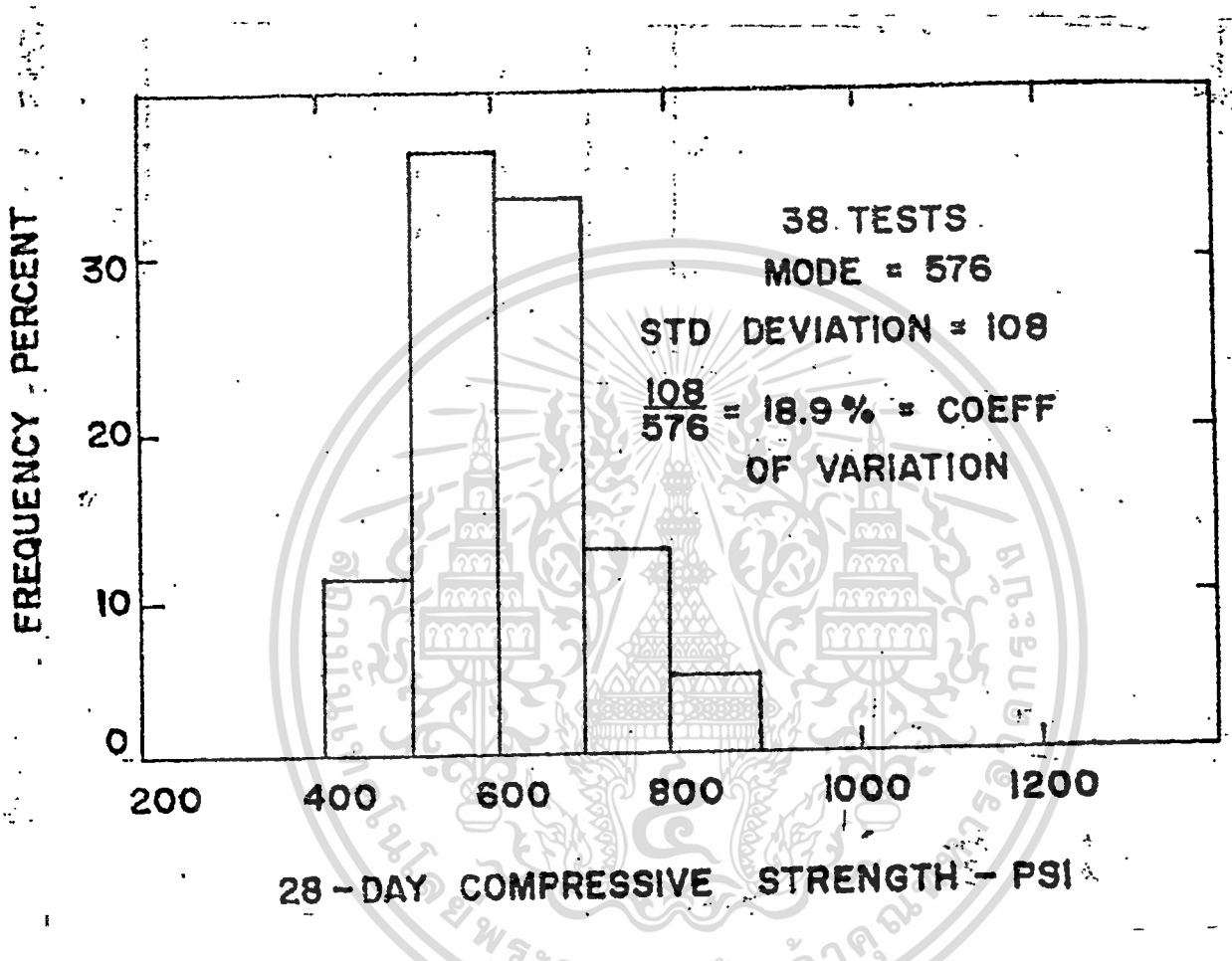
(Soil-Clay of Medium Plasticity. CASAGRANDE Classification , CL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 ความสม่ำเสมอของการผสม Class A Cement-Treated Base โดย Plant Mix (LOVERING , 1951)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ความสม่ำเสมอของ Place Mixing ใน Class C Cement Treated Base โดยBlade Method

(LOVERING , 1951)(2% CEMENT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.10.2 ระยะเวลาการผสม (Duration of Mixing Period)

Davidson (1961) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่ทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดกับความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินซีเมนต์ ที่ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยแยกประเภทของดินตามตารางที่ 5.6 ซึ่งพบว่าระยะเวลาของการผสมเพิ่มขึ้น และ/หรือ การบดอัดช้าลง จะมีผลทำให้ความชื้นสูงสุดเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันความหนาแน่นแห้งสูงสุดจะลดลง และกำลังรับแรงอัดก็ลดลงด้วย ความคงทนเมื่อทดสอบวิธี Wet-Dry และ FreeZe-Thaw Loss of Weight มากขึ้น อิทธิพลที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ระยะเวลาของการผสมหรือการบดอัดช้าลง (หรือทั้งสองอย่าง) และปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ผสม

Marshall (1954) ทำการทดลองพบว่าใช้เวลาในการผสมและบดอัดให้ช้าลงจะไปเพิ่มค่าความชื้นให้สูงขึ้น แต่จะมีผลต่อการรับสูงสุดของดินซีเมนต์หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของดิน พวกดินทรายเวลาการผสมและบดอัดช้าลงจะมีผลต่อกำลังของดินซีเมนต์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนดินตะกอนและดินเหนียวการใช้เวลาในการผสมและบดอัดนานไปจะมีผลต่อกำลังรับแรงอย่างมาก ผลทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 5.15 ซึ่งจะเห็นว่าการลดลงของกำลังรับแรงเมื่อใช้ระยะเวลาการผสมนานขึ้น แต่ถ้าจะให้กำลังรับแรงอัดมีค่าใกล้เคียงกับการผสมโดยไม่ใช้เวลามากจะต้องเพิ่มกำลังบดอัดมากขึ้น

ตารางที่ 5.6

MAXIMUM DENSITIES AND CPTIMUM MOISTURE CONTENTS OF SOIL - CEMENT COMPARED TO CORRESPONDING VALUES FOR RAW SOIL

(DAVIDSON,1961)

SOIL GROUP AND TYPE	CHANGE IN MAMIMUM DENSITY (IN POF)	CHANGE IN OPTIMUM MOISTURE CONTENT (IN PERCENTAGE UNITS)
A - 2 Sandy Loams	0 to + 3	-1 to + 1
A - 3 Sands	0 to + 6	0 to - 1
A - 4 Silts and Loams	0 to - 6	0 to + 3
A - 5 Silts	-3 to + 1	0 to - 3
A - 6 Medium Clays	0 to + 1	0 to - 2
A - 6 Heavy Clays	-1 to + 2	0 to - 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Felt (1955) กล่าวว่า การผสมที่ไม่ต่อเนื่อง มีการหยุดทิ้งไว้ระหว่างการผสม ถ้าเวลานานเกินกว่า 6 ชั่วโมง จะทำให้ความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด มีค่าเพิ่มขึ้น โดยได้ทดลองนำดิน 3 ชนิด คือกลุ่มดิน A-2 Sandy Loam (LL=26,PI=11) กลุ่มดิน A - 4 Silt Clay Loam (LL = 35,PI - 12) และกลุ่มดิน A-6-77 Clay (LL=47,PI=26) ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.16 จะเห็นได้ว่า ดินทุกชนิดจะมีกำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อเวลาการผสมนานขึ้นคือ มีการผสมและหยุดทิ้งช่วงระหว่างผสม และความชื้น OMC จะเพิ่มขึ้นถ้าเป็นดิน Sandy Loam จะมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ดินตะกอนจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 1-2 ส่วนดินเหนียวจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณร้อยละ 1-3 ส่วนในรูปที่ 5.17 เป็นผลของการทดลองหาความคงทนด้วยวิธี Wet - Cry และ Freeze - Thaw เมื่อถูกขูดด้วยแปลงลวด 12 รอบ ผลที่ได้แสดงว่าถ้าใช้เวลาในการผสมเปียกมากขึ้นค่าร้อยละของ Loss of Weight จะมีค่าสูงตามไปด้วย นั่นคือ ความคงทนของดินซีเมนต์จะลดลงตามระยะเวลาที่ช้าออกไปในการผสม หรืออาจกล่าวได้ว่าความคงทน (Durability) ของดินซีเมนต์จะแปรผันกับเวลาที่ใช้ในการผสม

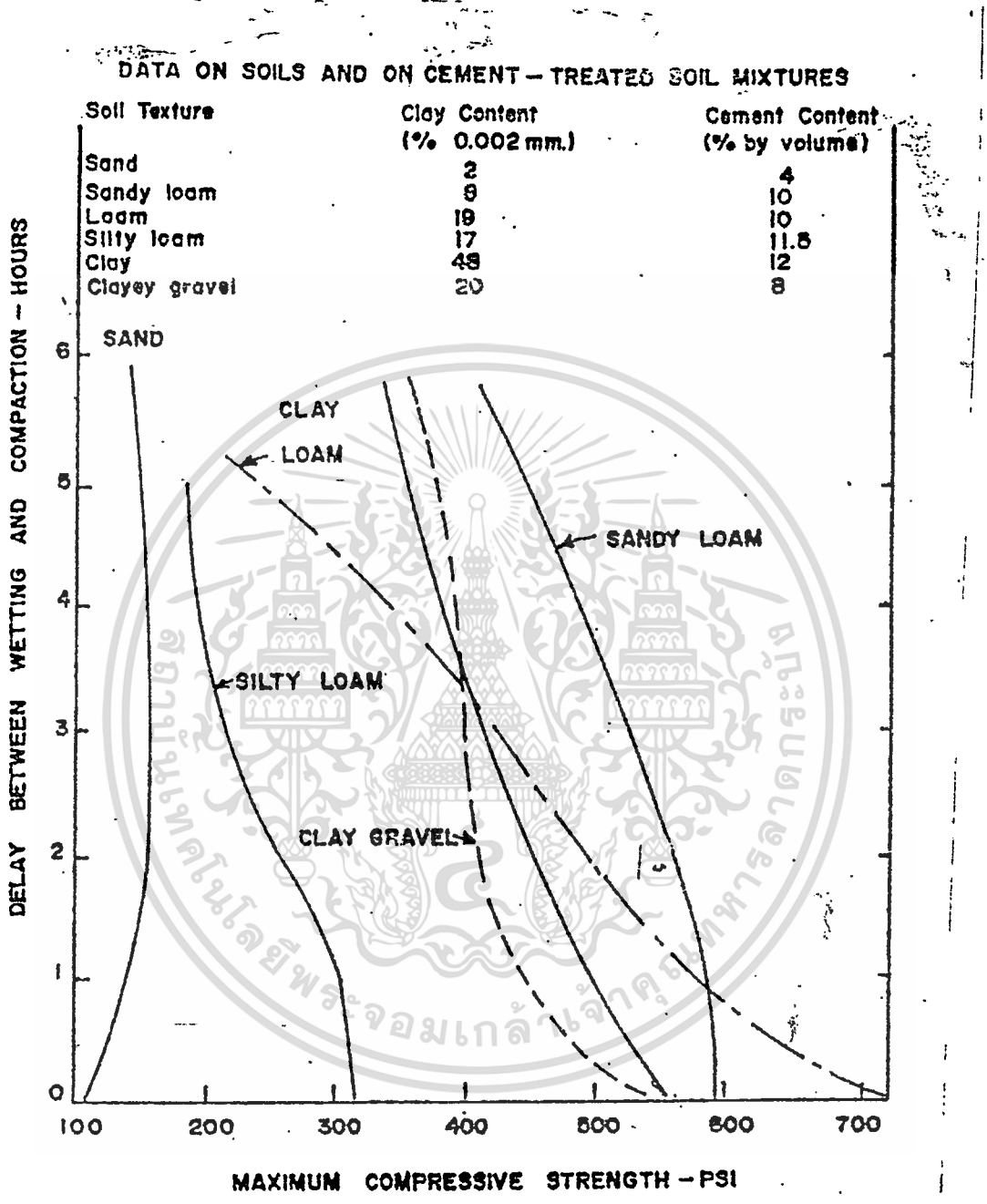
5.11 การบ่มดินซีเมนต์

5.11.1การบ่มในสนาม

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติและพฤติกรรมของ Cement-Treated Soil ทุกอย่างมาจากสมมติฐานว่า หลังจากการบดอัดแล้วจะต้องมีน้ำเหลือพอสำหรับช่วงการบ่มอย่างน้อย 7 วัน ข้อสมมติฐานการบ่มในความชื้นของห้องปฏิบัติการซึ่งความชื้นและอุณหภูมิได้ตามมาตรฐานที่ต้องการด้วย ดังนั้น Highway Research Board (1943,1949) ได้ร่วมมือกับรัฐบาลต่าง ๆ 4 รัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้เก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นที่เหลืออยู่ในดินที่ถูกฉาบด้วยวัสดุจำพวก Bituminous Materials โดยแต่ละรัฐจะใช้วัสดุ Bituminous Materials แต่ละชนิดต่างกันไป ที่รัฐ Illinois ใช้ Cutback Asphalt MC-2 รัฐ Nebraska ใช้ Cutback Asphalt RC-1 รัฐ Kansas ใช้วัสดุ Negative Oliensis Spot และรัฐ Arkansas ใช้ Asphalt Emulsion ซึ่งปรากฏว่าวัสดุฉาบผิวทั้ง 4 ชนิด ใช้ได้ผลดีมากในการป้องกันน้ำให้ค้างอยู่ในดินซีเมนต์ตลอดช่วงการบ่ม 7 วัน ในรูปที่ 5.18 เป็นการแสดงผลที่ได้ จากการทดลองในรัฐ Kansas

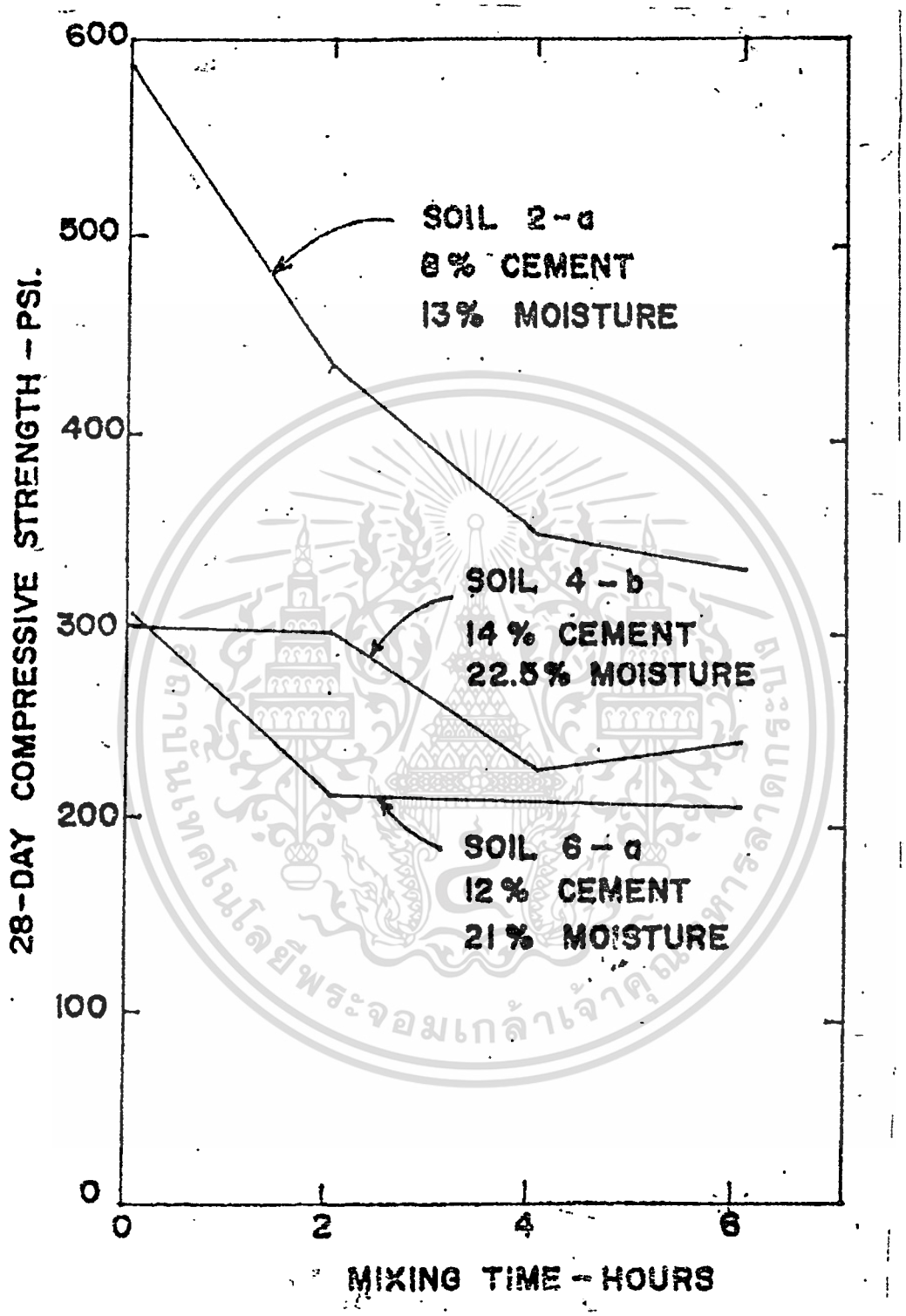
Maner (1952) ได้ทำการทดลองในรัฐ Virginia โดยใช้วัสดุต่าง ๆ เช่น Waterproof Paper,Calcium Chloride, RC-2 Asphalt,Tar และ Asphalt Emulsion มาทำการบ่มดินซีเมนต์ที่ใช้เป็นพื้นทาง ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5.7 จะเห็นว่าวัสดุ Bituminous Material 3 ชนิด และ Waterproof Paper ใช้ในการบ่มจะให้ผลเป็นอย่างดี นอกจากนั้นยังพบว่าความชื้นของอากาศจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อความชื้นในดินซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 ผลกระทบของการล่าช้าของความเปียกและการบดอัดในกำลังรับแรงอัด (MARSHALL , 1954)

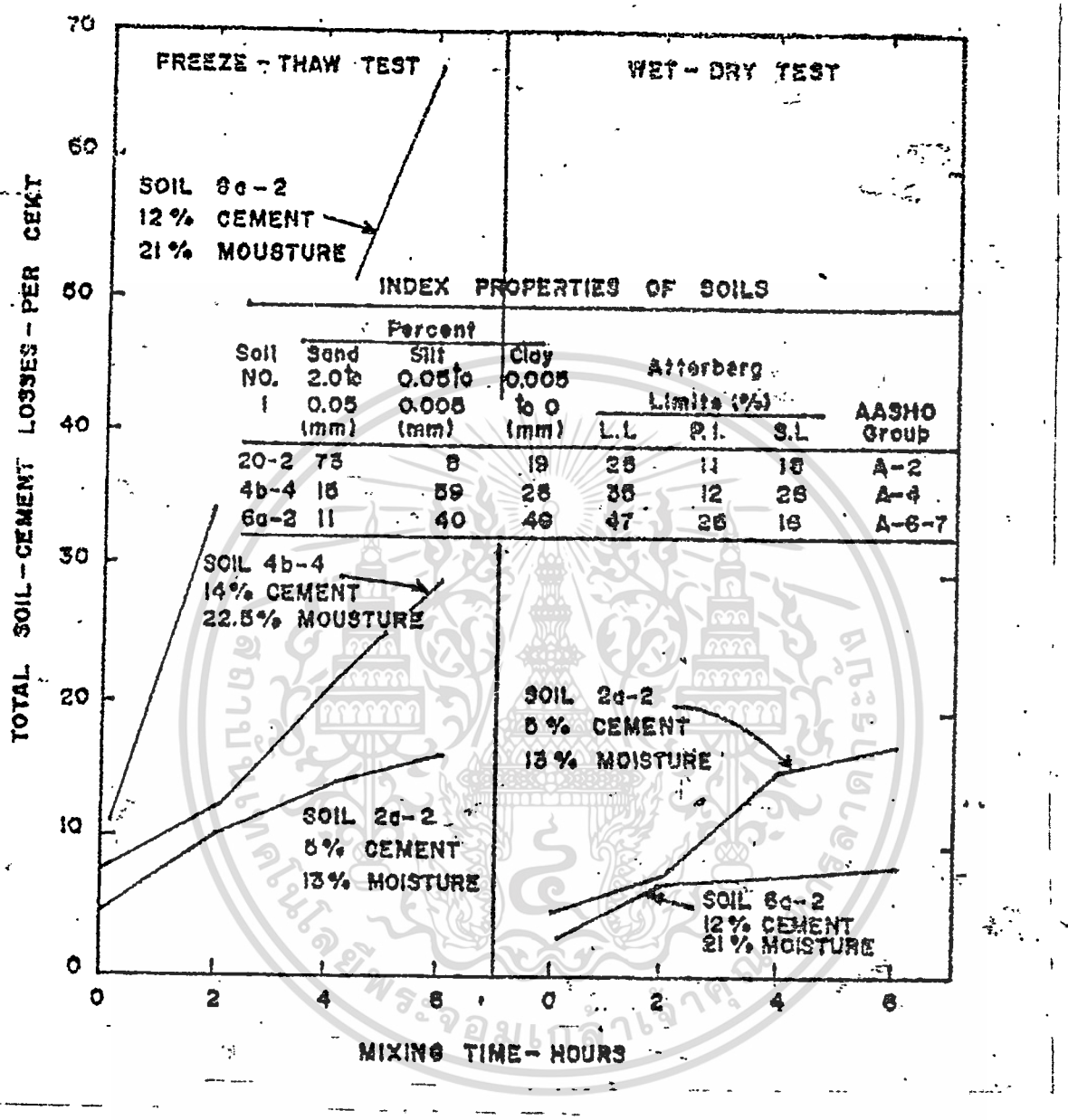
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ผลกระทบของระยะเวลาของการผสมในกำลังรับแรงอัดของ Cement-Treated

(FELT , 1955)

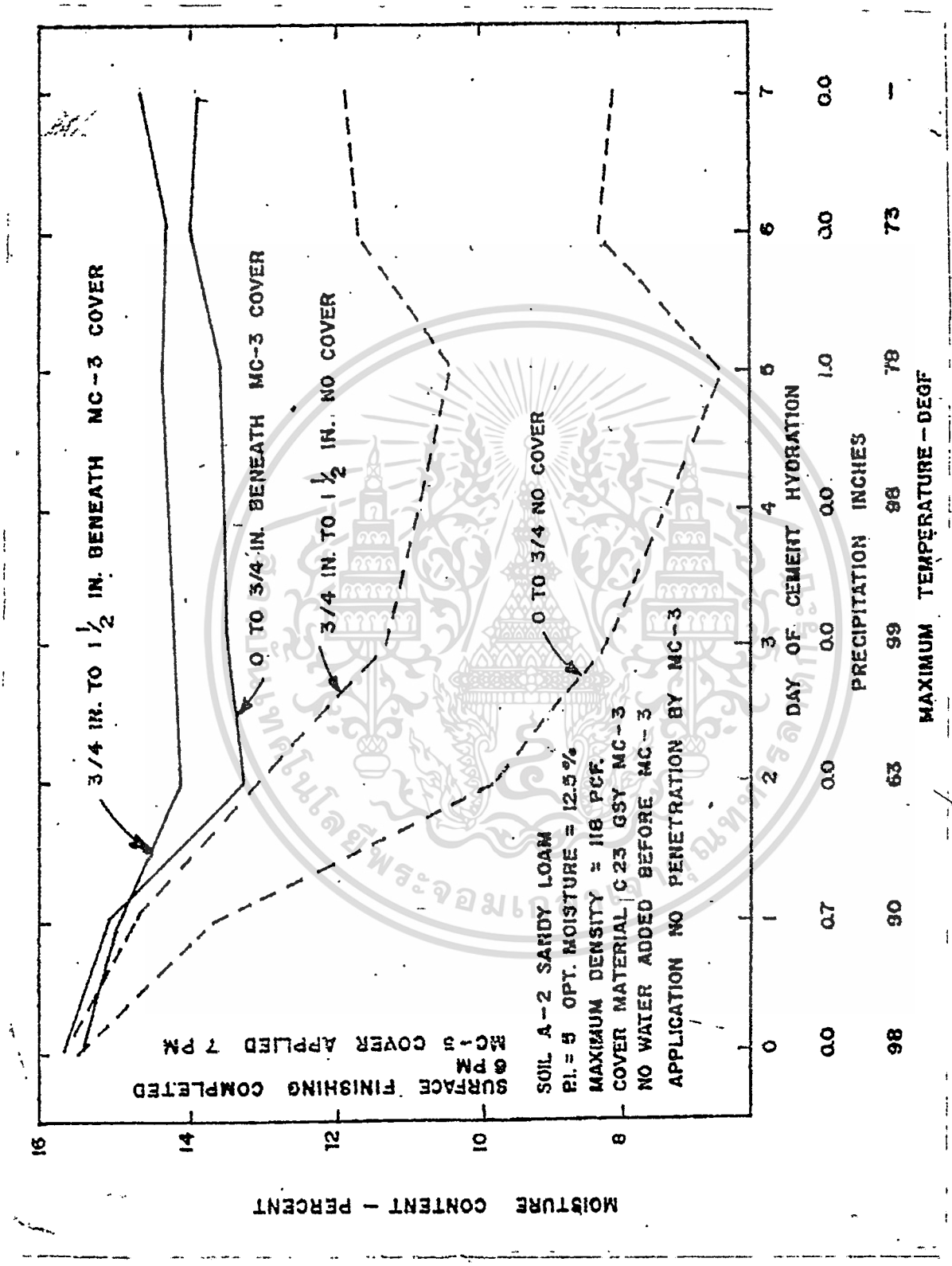
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 ผลกระทบของระยะเวลาในการผสม Cement-Soil ที่สูญเสียใน Intermittent Mixing

(FELT , 1955)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 ปริมาณความชื้นของ Soil-Cement ในระหว่างช่วงการบ่ม

(HIGHWAY RESEARCH BOARD , 1949)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในร้อยละในกลุ่ม A และ B โดยจำนวนวัน

PANEL NO.	COVER	MOISTURE CONTENT (%)					
		0-3/4-IN. DEPTH			3/4-1 1/2-IN. DEPTH		
		7-6-51	7-12-51	NOT LOSS	7-6-51	7-12-51	NOT LOSS
		(a) GROUP A					
1	NONE	15.8	5.4	10.4	13.7	9.2	4.5
2	MOIST SOIL	16.2	12.8	3.4	13.3	12.3	1.0
3	WATERPROOF PAPER	15.5	8.2	7.3	14.0	10.0	4.0
4	$CACL_e$	12.7	7.3	5.4	12.8	8.3	4.3
5	RC-2 ASPHALT	15.2	11.3	3.9	13.8	11.0	2.8
6	TAR RTCB-B	13.5	11.4	2.1	12.7	11.7	1.0
		(b) GROUP B					
10-FT	AE-2	10.3	8.8	1.5	11.0	9.1	1.0
1	NONE	12.1	4.7	7.4	12.0	7.3	4.7
2	MOIST SOIL	13.0	11.1	1.9	12.7	11.2	1.5
3	WATERPROFF PAPER	13.3	10.0	3.3	12.5	10.3	2.2
4	$CACL^2$	12.1	6.9	5.2	12.7	5.4	4.3
5	RC-2 ASPHALT	12.8	10.9	1.9	12.4	10.8	2.1
6	TAR RTCB-O	12.3	10.6	1.7	12.1	10.8	1.3

Waterproof paper destroyed on fifth day of Curing period.

Note: Soil Type-Group A-7-5 Clay, PI 15 to 25. Group A Watered Immediately Before Application of Curing.Group B Allowed to Dry Some What Before Curing. Except for One cloudy Day Weather was Clear and Hot (81 to 96 F at Noon). Relative Humidity at Noon Ranged from 41 Percent to 72 Percent.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.11.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการรับกำลังของดินซีเมนต์ Clare และ Pollard (1953) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังของดินซีเมนต์ซึ่งสรุปได้ดังนี้

ก. ในบริเวณที่ทดสอบมีอุณหภูมิ 25° ซ (77° ฟ) เมื่อบ่มดินซีเมนต์ให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 วัน จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2 ถึง 2.5 ต่อการเพิ่มอุณหภูมิ 1° ซ

ข. ดินซีเมนต์จะแข็งตัวในอากาศหนาว จึงควรป้องกันให้อุณหภูมิสูงกว่า 0° ซ (32° ฟ)

ค. ถ้าต้องการให้ค่ากำลังแรงอัดเป็นตัวกำหนดคุณภาพของดินซีเมนต์ในช่วงอากาศอบอุ่น ปริมาณซีเมนต์จะใช้น้อยกว่าช่วงอากาศหนาวเย็น

ง. เนื่องจากว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน งานก่อสร้างที่ใช้ดินซีเมนต์ในช่วงอากาศอบอุ่นจะให้กำลังมากกว่างานก่อสร้างในช่วงอากาศหนาวประมาณร้อยละ 50 ถึง 100 ในช่วงอายุการใช้งาน 3 เดือนแรก

Clare และ Pollard (1954) ได้ทดลองหากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 วัน ของดินเหนียวผสมซีเมนต์ อุณหภูมิของการบ่มเพิ่มขึ้นจาก 25° ซ เป็น 60° ซ ปรากฏว่า กำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า

NG (1966) ได้ทดลองดินลูกรังในประเทศไทยผสมซีเมนต์โดยใช้ดินลูกรัง 3 ชนิด และเพิ่มอุณหภูมิ
การบ่มจาก 70° ฟ. เป็น 100° ฟ. ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณร้อยละ 20

5.11.3 อายุการบ่ม

กำลังแรงอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม Leadabrand (1956) ได้ทดลองนำดิน 2 ชนิด คือ Clayey Sandy Soil และ Silty Soil มาผสมกับซีเมนต์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักดินแห้งแล้วทดสอบหากำลังรับแรงอัดที่มีอายุการบ่มตั้งแต่ 2 วันจนถึง 5 ปี โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งปรากฏว่า พฤติกรรมของดินซีเมนต์จะคล้ายกับคอนกรีต กล่าวคือกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นตามอายุของดินซีเมนต์ตามรูปที่ 5.19 ส่วนข้อมูลในงานสนามจริงได้ทำการเจาะตัดดินซีเมนต์จาก โครงการก่อสร้างของรัฐต่าง ๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีช่วงอายุตั้งแต่ 1 ถึง 20 ปี นำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด ซึ่งผลที่ได้รับได้แสดงในรูปที่ 5.20 ซึ่งจะเห็นได้ว่าดินซีเมนต์มีพฤติกรรมสอดคล้องกับผลในห้องปฏิบัติการ

5.12 <u>สารที่ใช้ผสมร่วม</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

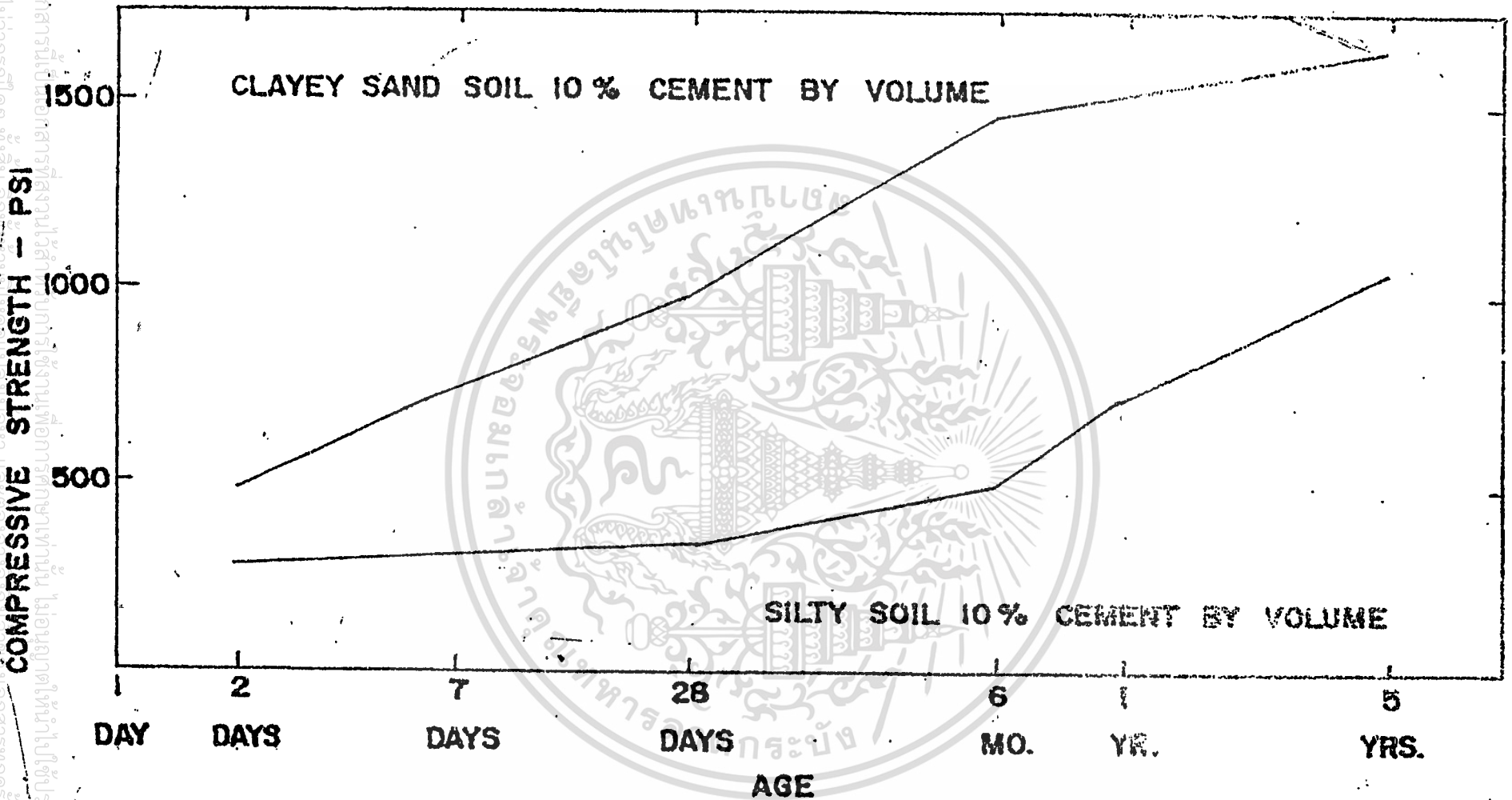
Hydrated Lime หรือ Quicklime Clareและ Pollard (1951) ได้ทำการทดสอบดินทรายที่มีสารอินทรีย์ผสมอยู่ร้อยละ 0.3 พบว่า Lime จะช่วยให้มีการแข็งตัวเร็วในระยะแรก ซึ่งดินชนิดนี้ผสมด้วยปอร์ตแลนด์ซีเมนต์อย่างเดียวจะมีการก่อตัวเมื่ออายุ 7 วัน ขึ้นไป แต่เมื่อเพิ่ม Hydrated Lime ประมาณร้อยละ 2 จะช่วยให้แข็งตัวเร็วขึ้น 2 วัน

Fuller และ Daabney (1952) ได้อธิบายว่า การใส่ปูนขาวกับดิน Plasticity ที่มีค่า Plasticity Index สูงจะทำให้การบดและการผสมง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ค่าการารับแรงอัดเพิ่มขึ้น และจากการทดสอบ Wet - Dry โดยใช้ Hydrated Lime ผสมลงไปร้อยละ 2 จะทำให้ Loss of Weight ลดลงดังแสดงในรูปที่ 5.21

Maclean,Robinson และ Webb (1952) ได้นำดินที่มีค่า Liquid Limit ระหว่าง 70 - 75 และค่า Plasticity Index ประมาณ 45 - 53 มาทดลอง โดยใช้ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 15-30 และเพิ่ม Lime ลงไปร้อยละ 2 ผลลัพท์ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.22 จะเห็นได้ว่า กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นและต้านทานการเสียกำลังเมื่อแช่น้ำได้ดียิ่งขึ้น แต่ถ้าผสม LIME เกินกว่าร้อยละ 2 ผลลัพท์อาจจะไม่ได้ตามนี้ก็ได้

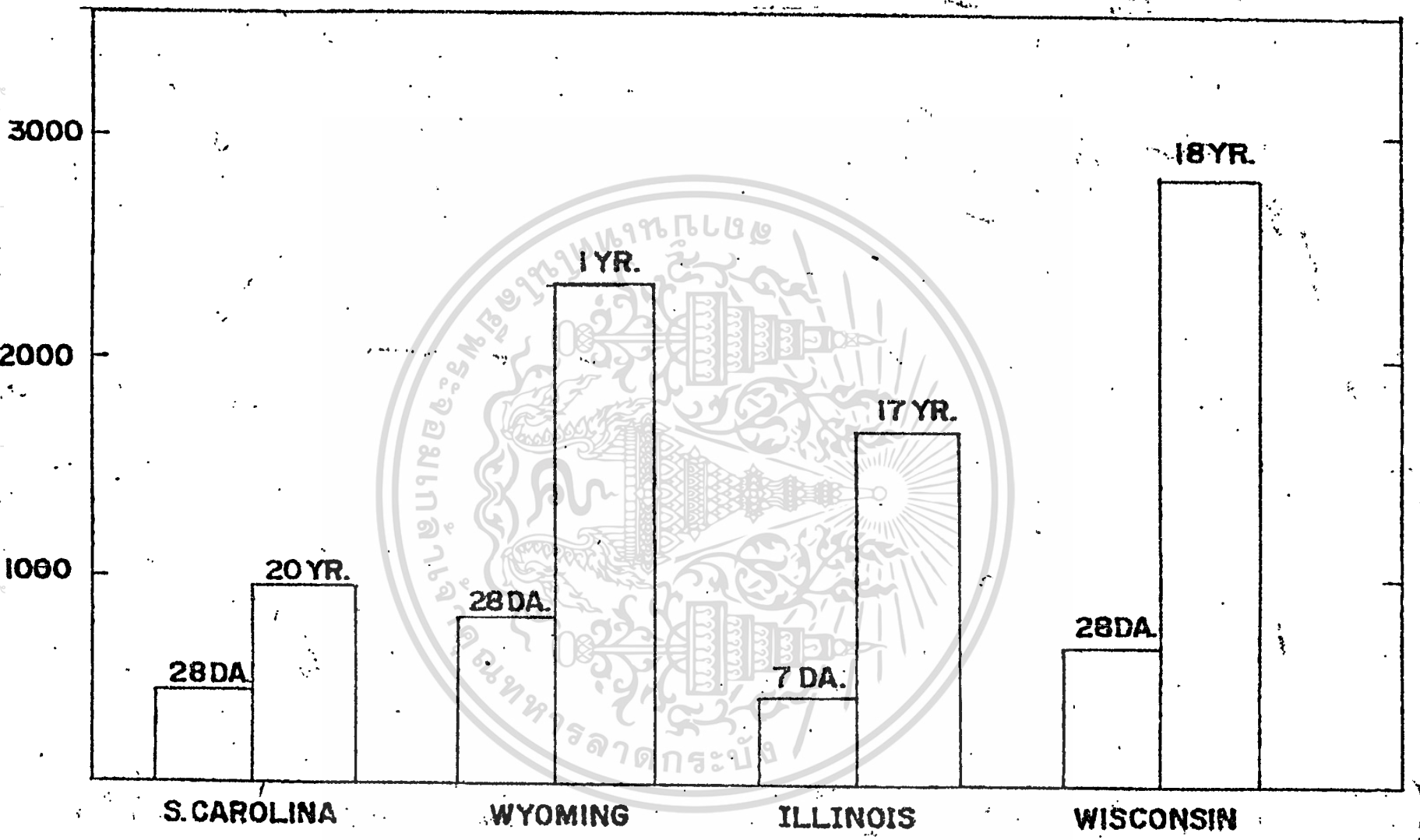
Ruenkrairergsa (1982) กล่าวว่าจำนวนปูนขาวเพียงเล็กน้อยที่เพิ่มเข้าไปในดินที่มี Plasticity Index สูงก่อนจะผสมซีเมนต์จะช่วยลดค่า Plasticity Index ของดินลงได้มากและทำให้ผสมดินกับซีเมนต์ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

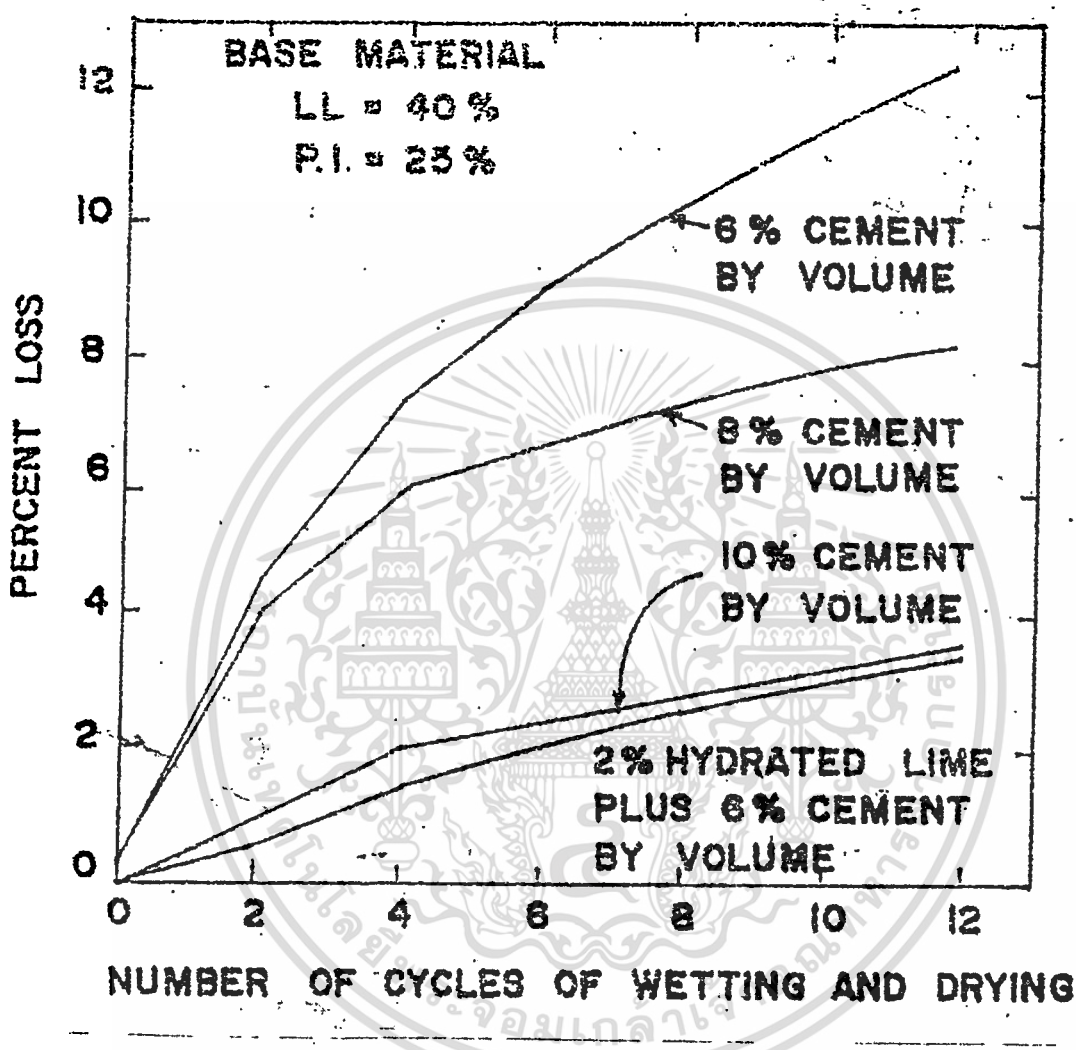


รูปที่ 5.19 กำลังรับแรงอัดของชิ้นตัวอย่างในห้องทดลองของ Soil-Cement

(LEADABRAND , 1956)



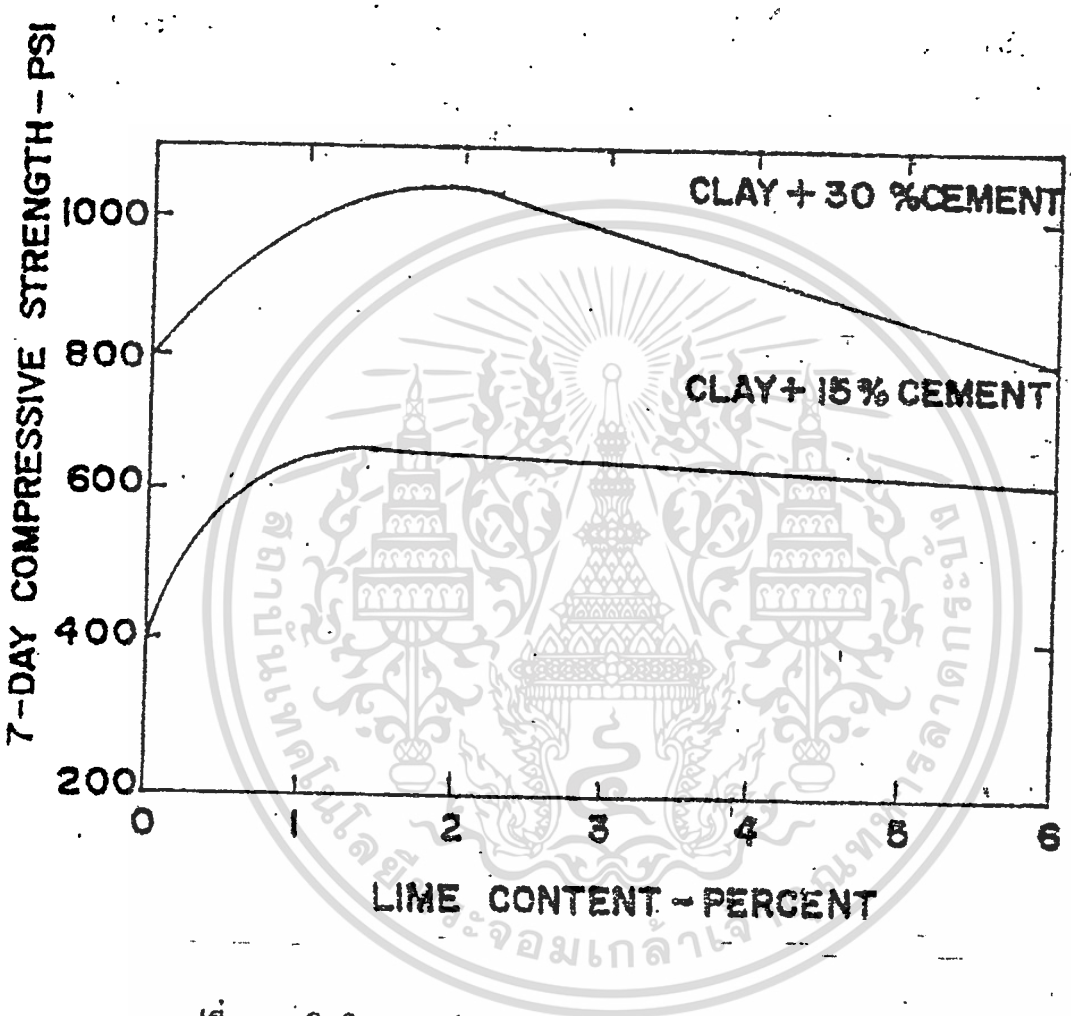
รูปที่ 5.20 การได้รับกำลังของ Soil-Cement กับอายุจาก Field Cores



รูปที่ 5.21 อิทธิพลของการผสมปูนขาวในการสูญเสียใน Wet-Dry Test

(FULLER and DABNEY , 1952)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 อิทธิพลของปูนขาวในการรับแรงอัดของ Clay-cement Mixture

(MACLEAN RIBINSON and WEBB , 1952)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษา
โครงการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทย
โดยวิธี CEMENT
STABILIZATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อสร้างทางหลวงโดยวิธี Soil Stabilization ในประเทศไทย

กรมทางหลวงได้นำเอาพื้นทางแบบ Soil-Cement Base มาใช้แทนหินคลุกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2509 โดยในช่วงปี 2509-2513 กรมทางหลวงได้ทำการก่อสร้างถนนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อพัฒนาระบบโครงข่ายการคมนาคมทางบกในภาคนี้ให้เจริญขึ้น แต่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือขาดแคลนหินไม่ที่จะนำมาใช้เป็นชั้นพื้นทางของถนน กรมทางหลวงจึงได้พิจารณาแก้ปัญหาโดยใช้ดินลูกรังผสมซีเมนต์ปริมาณร้อยละ 3-7 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะให้ความแข็งแรงสูง สามารถใช้เป็นพื้นทางของถนนของกรมทางหลวงได้ และได้พิจารณาก่อสร้างถนน Soil Cement ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นระยะทางยาวประมาณ 1500 กม. อย่างไรก็ตาม ถนน Soil Cement ที่ได้ก่อสร้างในช่วงเวลาดังกล่าวปรากฏรอบแตกผิวประเภท REFLECTED CRACK บนถนนหลายสาย สร้างปัญหาในการบำรุงทางเป็นอย่างมาก กรมทางหลวงจึงได้ระงับการก่อสร้างถนน Soil Cement ไว้และได้วางโครงการศึกษาวิจัยพฤติภาพของถนน Soil Cement ที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จในช่วงปี 2509-2513 ควบคู่กับการทดลองวิจัยในห้องปฏิบัติการและการทดลองวิจัยโดยการก่อสร้างถนนทดลองเพิ่มเติม โดยใช้ Soil Cement อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ผลการศึกษาวิจัยทั้งทางด้านทฤษฎีและการวิเคราะห์พฤติภาพของถนน Soil Cement และถนนทดลองที่ได้สร้างใหม่ ทำให้เกิดความมั่นใจว่าถนน Soil Cement สามารถจะแสดงพฤติภาพที่ดีหากมีการออกแบบส่วนผสม และก่อสร้างให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ ผลของการศึกษาวิจัย ถนน Soil Cement ทำให้กองวิเคราะห์และวิจัยจัดร่างมาตรฐานการก่อสร้างเกี่ยวกับ Soil Cement ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นหลักในการควบคุมงาน Soil Cement รวม 3 มาตรฐาน ในเวลาต่อมามาตรฐานทั้ง 3 เรื่องนี้ คือ มาตรฐานพื้นฐาน Soil Cement มาตรฐานรองพื้นทาง Soil Cement และมาตรฐานพื้นทาง Cement Modified Crushed Rock โดยมาตรฐานทั้ง 3 เรื่องนี้ ได้จัดทำขึ้นในปี 2531-2533 ปัจจุบันมาตรฐานทั้ง 3 เรื่องนี้ได้ใช้เป็นหลักในการควบคุมงานก่อสร้างชั้นทาง Soil Cement ของกรมทางหลวง โดยพื้นทางแบบ Soil Cement Base จะใช้เป็นพื้นทางของถนนที่มีประมาณการจราจรสูงปานกลาง และพื้นทางแบบ Cement Modified Crushed Rock จะใช้เป็นพื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงมากหรือถนนที่มีรถบรรทุกหนักผ่านมากเป็นประจำ ถนน Soil Cement ที่ได้จัดสร้างขึ้นในระยะหลังจะแสดงพฤติภาพที่ดีเป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY CONSTRUCTION

งานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (SOIL CEMENT SUBBASE)

หมายถึง การก่อสร้างชั้นรองพื้นทางบนชั้นวัสดุคัดเลือก หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้แล้ว ด้วยดินผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำ ที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด โดยการปูหรือเกลี่ยแต่ง และบดทับให้ได้แนวระดับ และรูปร่าง ตามที่แสดงไว้ในแบบ

1. วัสดุ

1.1 ดิน

ดินที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ต้องเป็นวัสดุที่ปราศจากหน้าดิน วัชพืช หรืออินทรีย์วัตถุอื่น ๆ และไม่มีสารอื่นที่อาจเป็นอันตรายต่อคุณภาพของดินซีเมนต์เจือปนอยู่

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติไว้เป็นอย่างอื่น ดินที่จะใช้ทำดินซีเมนต์ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร และส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร ไม่เกินร้อยละ 40

(2) มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน" ไม่เกินร้อยละ 20

(3) มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index" ไม่เกินร้อยละ 20

1.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 หรือปูนซีเมนต์ผสม มาตรฐาน มอก. 80 ปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจบรรจุอยู่ในไซโลหรือเป็นแบบบรรจุถุงก็ได้ ถ้าเป็นแบบบรรจุถุงผู้รับจ้างจะต้องจัดทำโรงเก็บปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์ชื้น ห้ามนำปูนซีเมนต์ที่จับตัวเป็นก้อนปนอยู่มาใช้งาน

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ตลอดงานตามสัญญาต้องเป็นตรา และประเภทเดียวกันเว้นแต่จะได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นอย่างอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 น้ำ

น้ำที่จะนำมาใช้ผสมหรือบ่มชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ จะต้องสะอาด ปราศจากสารต่าง ๆ เช่น เกลือ น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรีย์วัตถุ หรือสารอื่นใดที่จะเป็นอันตรายแก่ชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ ทั้งนี้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งาน ห้ามใช้น้ำทะเลในการผสมหรือบ่มชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์

2. เครื่องจักรและเครื่องมือ

ก่อนเริ่มงานผู้รับจ้างจะต้องเตรียมเครื่องจักรและเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นจะต้องใช้ในการดำเนินงานทางด้านวัสดุ และการก่อสร้างไว้ให้พร้อมที่หน้างาน ทั้งนี้ต้องเป็นแบบขนาด และอยู่ในสภาพที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

2.1 โรงผสมดินซีเมนต์

วัสดุต่าง ๆ ของส่วนผสมดินซีเมนต์ ให้จัดอัตราส่วนเป็นน้ำหนักทั้งหมด โดยวัสดุดินปูนซีเมนต์และน้ำ จะผสมรวมกันในโรงผสม การชั่งวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสมดินซีเมนต์จะต้องดำเนินการตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

ปริมาณของวัสดุที่ใส่เข้าไปในเครื่องผสมจะต้องไม่มากเกินไป จนทำให้ดินซีเมนต์ผสมไม่เข้ากัน และถ้าหากพบว่าดินซีเมนต์ผสมไม่เข้ากัน ผู้รับจ้างจะต้องลดอัตราการใส่วัสดุเข้าไปในเครื่องผสมลงตามสัดส่วนของวัสดุแต่ละอย่าง

ผู้รับจ้างอาจเลือกใช้โรงผสมแบบชุด (Batch Mixer) หรือโรงผสมแบบผสมต่อเนื่อง (Continuous Mixer) ก็ได้ โดยเครื่องจักรที่จะใช้งานจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน โรงผสมแบบชุดหรือแบบผสมต่อเนื่องต้องมีเครื่องป้อนวัสดุ และมาตรวัดปริมาณวัสดุที่ผ่านเข้าไปในเครื่องผสมตามปริมาณที่ได้กำหนดไว้จากการออกแบบ

(1) โรงผสมดินซีเมนต์แบบชุด

โรงผสมแบบชุดจะประกอบด้วย เครื่องผสมที่มีตัวผสมที่เหมาะสม ทำหน้าที่คลุกเคล้าดินซีเมนต์ให้เข้ากันดี จะต้องมีเครื่องจับเวลาของการผสมติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ผู้ควบคุมสามารถจะมองเห็นได้อย่างชัดเจน เครื่องจับเวลาจะต้องสามารถอ่านเวลาละเอียดถึง 2 วินาที นอกจากนี้โรงผสมจะต้องติดตั้งเครื่องนับจำนวนชุดที่ผสมแล้วเสร็จติดอยู่กับโม่ด้วย

เวลาของการผสม ให้เริ่มนับเมื่อวัสดุทุกอย่างถูกใส่ลงในห้องผสม จนถึงเวลาเมื่อดินซีเมนต์ถูกปล่อยออกจากห้องผสม การผสมจะต้องดำเนินต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งดินซีเมนต์มีลักษณะคลุกเคล้าเข้ากันอย่างดี โดยสังเกตจากสีและลักษณะของส่วนผสมที่ควรจะกลมกลืนกันดีโดยปกติเวลาของการผสมไม่ควรจะน้อยกว่า 30 วินาที

เครื่องชั่งที่ใช้ชั่งปูนซีเมนต์ในแต่ละชุด จะต้องอ่านได้ละเอียดกว่าเครื่องชั่งที่ใช้ชั่งดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) โรงผสมดินซีเมนต์แบบผสมต่อเนื่อง

โรงผสมแบบนี้จะจัดสัดส่วนของดิน ปูนซีเมนต์ โดยส่งจากยุ้งผ่านสายพาน หรือเครื่องป้อนอื่นใด ผ่านเข้าไปยังโรงผสมอย่างต่อเนื่อง ปริมาณของดิน ปูนซีเมนต์และน้ำ จะถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมอัตโนมัติ ระบบการป้อนดินเข้าสู่โรงผสมอาจจะเป็นระบบทางกลหรือทางไฟฟ้าก็ได้ แต่ควรเป็นระบบเดียวกันกับระบบการป้อนปูนซีเมนต์

ในการผสมดินซีเมนต์แบบผสมต่อเนื่อง ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมเครื่องชั่งสำหรับชั่งหามวลของดิน ปูนซีเมนต์และน้ำ เพื่อตรวจสอบส่วนผสมให้ถูกต้อง

2.2 โรงผสมแบบเคลื่อนที่ (Travelling Plant)

โรงผสมแบบเครื่อนที่ต้องสามารถผสมดินกับปูนซีเมนต์ และน้ำให้มีลักษณะคลุกเคล้า เข้ากันได้อย่างสม่ำเสมอ ระหว่างเคลื่อนที่ไปในหน้างานสนาม ต้องมีเครื่องป้อนตักวัสดุป้อนวัสดุเข้าห้องผสมโดยอัตโนมัติได้อย่างต่อเนื่อง และปล่อยวัสดุผสมออกจากโรงผสม มีท่อพ่นน้ำหรือสารชนิดอื่นใดเข้าผสมกับดินและปูนซีเมนต์ในห้องผสมได้ในปริมาณที่ต้องการ

ดินที่ถูกตักป้อนเข้าโรงผสมแบบเคลื่อนที่ จะต้องได้รับการคลุกเคล้าให้มีลักษณะสม่ำเสมอก่อนแล้วกองเรียง (Windrow) ตลอดช่วงที่ทำการผสมในแต่ละครั้ง ปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมกับดินจะต้องคำนวณปริมาณให้พอเหมาะกับปริมาณของดิน และใช้เครื่องโรยหรือกองเรียงกระจายไปบนชั้นของกองดินอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วง

โรงผสมแบบเคลื่อนที่ต้องสามารถตักป้อนวัสดุและปูนซีเมนต์เข้าผสมในห้องผสมได้หมดทั้งกองเรียงในแนวที่เคลื่อนที่ผ่านไป ส่วนผสมดิน ปูนซีเมนต์ปละน้ำ ที่ผสมเข้ากันดีและจะปล่อยออกรอการตีแผ่ เกลี่ยแต่ง บดทับ ในขั้นต่อไป

อัตราความเร็วของการผสมและการเคลื่อนที่ของโรงผสมให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

2.3 การผสมที่หน้างาน (Mix-in-Place)

เครื่องจักรที่ใช้สำหรับผสมดินกับปูนซีเมนต์ที่หน้างานต้องเป็นแบบที่มีใบมีดสำหรับผสมดินซีเมนต์ติดตั้งอยู่ และอาจมีท่อพ่นน้ำหรือท่อพ่นสารชนิดเหลวอื่นใดเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินต่อเข้ากับที่ผสมติดตั้งอยู่หรือไม่มีก็ได้ และต้องเป็นเครื่องจักรแบบที่ได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้วว่า สามารถผสมคลุกเคล้าดินกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอได้แผ่กระจายไปบนถนนตลอดช่วงที่ทำการผสมในแต่ละครั้ง ปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมกับดินจะต้องคำนวณปริมาณให้พอเหมาะกับปริมาณของดิน แล้วเกลี่ยกระจายอย่างสม่ำเสมอไปบนผิวหน้าของชั้นดินที่ได้เตรียมไว้แล้ว จำนวนเที่ยวของการผสมขึ้นอยู่กับชนิดและประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ใช้ผสม เช่น เครื่องจักรชนิดที่มีใบมีดแบบหลายแกนหมุน (Multi-Rotor-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type) ติดตั้งอยู่สามารถผสมดินซีเมนต์ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอเพียงการผสม 1-2 เที่ยว ส่วนเครื่องจักรชนิดที่มีใบมีดแบบแกนหมุนเดี่ยว (Single-Rotor-Type) ติดตั้งอยู่จะใช้จำนวนเที่ยวของการผสมหลายๆ เที่ยวจึงจะทำให้ดินซีเมนต์ผสมเข้ากัน จำนวนเที่ยวของการผสมไม่ว่าเครื่องจักรชนิดใดก็ตามให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

หากดินที่ได้เตรียมไว้ถูกอัดแน่น ซึ่งเครื่องจักรที่ใช้ผสมดินซีเมนต์ไม่สามารถผสมดินให้เข้ากับปูนซีเมนต์และน้ำได้ดีแล้ว ให้ทำการขุดคุ้ย (Scarify) ดินก่อนการผสม อาจใช้รถเกลี่ยช่วยในการเกลี่ยผสมได้บ้าง แต่ห้ามใช้รถเกลี่ยเป็นเครื่องจักรผสมดินซีเมนต์โดยตรง และห้ามทำการผสมดินซีเมนต์ที่หน้างาน หากไม่มีเครื่องจักรที่ใช้สำหรับผสมดินซีเมนต์

2.4 เครื่องชั่ง

เครื่องชั่งที่ใช้ในการชั่งหามวล ดิน ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และน้ำ จะต้องเป็นแบบดาน มีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของมวลที่ชั่ง ห้ามใช้เครื่องชั่งซึ่งเป็นแบบที่ใช้สปริง กรณีควบคุมปริมาณน้ำโดยใช้ปริมาตร เครื่องมือควบคุมจะต้องมีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของปริมาตรที่ตวง และผู้รับจ้างจะต้องจัดหาตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 25 กิโลกรัม อย่างน้อย 10 ตุ้ม ไว้ที่หน้างาน เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องชั่ง

การคิดน้ำหนักปูนซีเมนต์อาจจะใช้วิธีชั่งโดยตรง หรือจากการนับจำนวนถุงบรรจุมาตรฐานก็ได้ โดยทั่วไปปูนซีเมนต์บรรจุในถุงมาตรฐานจะหนัก 50 กิโลกรัม ถ้าใช้วิธีชั่งสำหรับเครื่องชั่งและถังสำหรับชั่งปูนซีเมนต์ต่างหาก พร้อมทั้งรางและเครื่องมืออื่น ๆ เพื่อใช้สำหรับปล่อยให้ปูนซีเมนต์ออกจากถังชั่งไปสู่ห้องผสม การดำเนินงานในเรื่องนี้จะต้องใช้วิธีการที่เหมาะสม และได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

3. ข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์

3.1 อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์และน้ำ ที่ใช้ผสมกับดินนั้น นายช่างผู้ควบคุมงานจะเป็นผู้กำหนดให้ที่หน้างาน และอาจจะสั่งเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับการทดลองหาความต้านแรงอัดของแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ ทั้งในห้องทดลองและจากการทำพื้นทางทดลองในสนาม

3.2 ในการออกแบบส่วนผสมของดินซีเมนต์ เพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะผสมกับดินและน้ำให้ถือเอาค่า Unconfined Compressive Strength ของแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ได้จากการทดลองตาม "วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน" โดยอนุโลม ซึ่งแท่งตัวอย่างทดสอบจะถูกบดอัดในแบบ "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อไม่ให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 690 กิโลพาสคัลหรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ เพื่อทดสอบหาความต้านแรงอัดตามข้อ 3.2 ให้ใช้ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content ซึ่งหาได้จากการทดลองการบดอัดดิน "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ปริมาณน้ำที่ได้นี้ใช้เป็นแนวทางในการควบคุมการบดทับในสนามขณะทำการก่อสร้างรองพื้นทางดินซีเมนต์

4. วิธีการก่อสร้าง

4.1 การทดลองในแปลงทดลองแปลงแรก

ก่อนดำเนินการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ ผู้รับจ้างจะต้องทำการทดลองก่อสร้างในแปลงทดลองแปลงแรก โดยปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะใช้เป็นส่วนผสมดินซีเมนต์ระหว่างการทดลองก่อสร้างแปลงแรกจะหาได้จากการทดลองผสมดินซีเมนต์ในห้องทดลอง โดยใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content ตามข้อ 3.3 แล้วเตรียมแท่งตัวอย่างทดสอบ และบ่มในถุงพลาสติด โดยไม่ให้ความชื้นเปลี่ยนแปลง ตามวิธีการต่าง ๆ เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในข้อ 3.2 และเลือกส่วนผสมทดลองที่ให้ค่าความต้านแรงอัดในช่วงร้อยละ 105 ถึง ร้อยละ 125 (โดยทั่วไปควรเลือกที่ประมาณค่าตัวกลาง คือร้อยละ 115) ของค่าความต้านแรงอัดที่ 690 กิโลพาสคัล หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบเป็นส่วนผสมที่จะใช้ในระหว่างก่อสร้างในแปลงทดลองแปลงแรก ซึ่งควรจะมีความยาวประมาณ 200-500 เมตร

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมในระหว่างการก่อสร้างแปลงต่อ ๆ ไป จะต้องคิดเผื่อประสิทธิภาพของการผสมด้วย เมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตามที่ได้เลือกไว้แล้วจากแปลงทดลองแปลงแรกประสิทธิภาพของการผสมสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

ประสิทธิภาพของการผสม = A/B

เมื่อ A = ความต้านแรงอัดของดินซีเมนต์จากการผสมด้วยเครื่องผสม หาได้จากการทดลองความต้านแรงอัดของแท่งตัวอย่างที่เตรียมจากเครื่องผสม

และ B = ความต้านแรงอัดของดินซีเมนต์จากากรผสมในห้องทดลอง คือค่าความต้านแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ได้เลือกไว้ของแปลงทดลองแปลงแรก

โดยทั่วไปเครื่องผสมจะมีประสิทธิภาพของการผสมน้อยกว่าการผสมในห้องทดลองกล่าวอีกนัยหนึ่ง แท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ที่เตรียมจากเครื่องผสมจะให้ค่าความต้านแรงอัดน้อยกว่าแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ที่เตรียมจากห้องทดลองเมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างจะต้องเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ค่าความต้านทางแรงอัดตามที่การปรับแก้ค่าความต้านแรงอัดตามข้อ 3.2 ด้วยประสิทธิภาพของการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเป็นแหล่งวัสดุ เครื่องจักร เครื่องมือ หรือสิ่งอื่นใดที่มีผลทำให้ประสิทธิภาพของการผสมเปลี่ยนแปลงไป จะต้องทำการตรวจสอบหาประสิทธิภาพของการผสมใหม่ทุกครั้ง เพื่อปรับส่วนผสมให้ถูกต้องอยู่เสมอ

การบดทับและปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการก่อสร้าง ก็มีผลทำให้ต้องมีการปรับปริมาณปูนซีเมนต์ให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงด้วย

4.2 การก่อสร้าง

ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้สำหรับแปลงก่อสร้างต่อ ๆ ไป ให้คิดเผื่อประสิทธิภาพของการผสมจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในแปลงทดลองแปลงแรก

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมดินซีเมนต์ในเครื่องผสม ให้ใช้ที่ Optimum Moisture Content +2% โดยประมาณ เพื่อเผื่อไว้สำหรับการสูญเสียความชื้นในขณะผสมและก่อนการบดทับ

กรณีโรงผสมแบบติดตั้งกับที่ ภายหลังที่ได้ผสมดินซีเมน๖เข้ากันดีแล้ว ให้ใช้เครื่องจักรที่เหมาะสมขนดินซีเมนต์จากโรงไปปูลงบนชั้นดินเดิม หรือชั้นทางอื่นใดที่ได้เตรียมไว้แล้ว ทำการบดทับให้แน่น โดยใช้เครื่องมือบดทับที่เหมาะสม ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนกระทั่งเสร็จการบดทับไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง

กรณีโรงผสมแบบเคลื่อนที่ ภายหลังจากที่ส่วนผสมดิน ปูนซีเมนต์ และน้ำที่ผสมเข้ากันดีแล้วถูกปล่อยออกไปเรียงไปบลนถนน ให้ใช้รถเกลี่ย ตีแผ่ เกลี่ยแต่ง แล้วทำการบดทับให้แน่น โดยใช้เครื่องมือบดทับที่เหมาะสม ระยะเวลาตั้งแต่ส่วนผสมถูกปล่อยออกกองเรียงไว้จนกระทั่งเสร็จการบดทับไม่ควรเกิน 2 ชั่งโมง

ควรทำการพ่นน้ำเลี้ยงผิวหน้าของรองพื้นทางดินซีเมนต์ในขณะบดทับ และภายหลังการบดทับให้ชื้นอยู่ตลอดเวลา น้ำที่พ่นลงไปนี้นอกจากจะช่วยให้เกิดปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์ดินและน้ำให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น อันจะมีผลทำให้ความต้านแรงอัดของดินซีเมนต์เพิ่มขึ้นแล้ว ยังจะช่วยลดรอยแตกผิวอันเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้นหลังการบดทับด้วย

ภายหลังการบดทับ ให้ทำการแต่งระดับขั้นสุดท้ายทันที และให้ทำการพ่นน้ำเลี้ยงผิวหน้าของรองพื้นทางดินซีเมนต์ติดต่อกันในช่วง 3 วันแรก เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้น

4.3 การควบคุมคุณภาพขณะก่อสร้าง

การก่อสร้างรองพื้นทางดินซีเมนต์ให้ก่อสร้างเป็นชั้น ๆ โดยให้มีความหนาหลังบดทับชั้นละไม่เกิน 150 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้รับจ้างอาจก่อสร้างชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ให้มีความหนาแต่ละชั้นเกินกว่า 150 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 200 มิลลิเมตร ก็ได้ทั้งนี้ต้องแสดงรายการเครื่องจักรและเครื่องมือที่เหมาะสม แสดงวิธีการปฏิบัติงานและต้องก่อสร้างแปลงทดลองยาวประมาณ 200 - 500 เมตร เพื่อตรวจสอบคุณภาพ หากพบว่าระหว่างการก่อสร้างมีปัญหาเกี่ยวกับความแน่นของรองพื้นทางดินซีเมนต์ส่วนบน และส่วนล่างหรือความต้านแรงอัดไม่ได้ตามข้อกำหนด นายช่างผู้ควบคุมงานอาจพิจารณาระงับการก่อสร้างพื้นทางดินซีเมนต์หนาชั้นละมากกว่า 150 มิลลิเมตร

4.4 การบ่มและการเปิดการจราจร

ให้ผู้รับจ้างบ่มดินซีเมนต์ทุกชั้น โดยพ่นน้ำลงไปบนผิวหน้าของดินซีเมนต์ที่ก่อสร้างเสร็จแล้วให้ผิวหน้าชุ่มชื้นตลอดเวลาติดต่อกันนานอย่างน้อยที่สุด 3 วัน และทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 7 วัน นับจากวันที่บดทับเสร็จ จึงจะก่อสร้างชั้นทางชั้นถัดไปได้ ในช่วงเวลาของการบ่มหากมีความจำเป็นให้เปิดการจราจรได้

4.5 การเจาะเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์

ผู้รับจ้างจะต้องจัดเตรียมเครื่องมือเจาะเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์ประจำไว้ที่หน้างานเมื่อมีความจำเป็นต้องเจาะเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์

5. การตรวจสอบ

5.1 การตรวจสอบค่าระดับ

งานรองพื้นทางดินซีเมนต์ที่ก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องมีรูปร่างราบเรียบตามแบบโดยเมื่อทำการตรวจสอบด้วยบรรทัดตรงยาว 3.00 เมตรทั้งตามแนวขนานและตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางทาง มีความแตกต่างได้ไม่เกิน 10 มิลลิเมตร และมีค่าระดับแตกต่างไปจากค่าระดับที่แสดงไว้ในแบบไม่เกิน 15 มิลลิเมตร การตรวจสอบค่าระดับที่ทำทุกระยะ 25 เมตร หรือ น้อยกว่าตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร ตอนใดที่ผิดไปจากนี้ให้แก้ไข โดยการปาดออก หรือรื้อแล้วก่อสร้างใหม่ให้แล้วเสร็จภายในเวลาที่กำหนดไว้สำหรับการบดทับหากพ้นกำหนดเวลาแล้วจะต้องรื้อออกทิ้งไปและก่อสร้างใหม่

5.2 การทดสอบความแน่นของการบดทับและการทดสอบความต้านทานแรงอัด

(1) การทดสอบความแน่นของการบดทับ

งานรองพื้นทางดินซีเมนต์จะต้องทำการบดทับให้ได้ความแน่นแห้งสม่ำเสมอไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุด ที่ได้จากการทดลองตัวอย่างดินซีเมนต์จากแหล่งผลิตตาม"วิธีทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความแน่นของการบดทับ ให้ดำเนินการทดสอบในวันเดียวกับที่การบดทับเสร็จตาม "วิธีการทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย " ทุกระยะประมาณ 100 เมตร ต่อ 1 ช่อง จราจร หรือประมาณพื้นที่ 500 ตารางเมตร ต่อ 1 หลุมตัวอย่าง

(2) การทดสอบความต้านแรงอัด

ให้เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยการเก็บตัวอย่าง 3 แท่ง (1 ชุด) ในช่องงานก่อสร้างแต่ละช่วง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของดินซีเมนต์หนาไม่เกิน 150 มิลลิเมตร พื้นที่ไม่เกิน 1,500 ตารางเมตร

ภายหลังการบดอัดให้ดันตัวอย่างดินซีเมนต์ออกจากแบบ และบ่มไว้ในถุงพลาสติกเพื่อป้องกันไม่ให้สูญเสียความชื้นเป็นระยะเวลานาน 7 วัน เมื่อครบ 7 วัน ให้นำตัวอย่างทดสอบแต่ละช่วงออกจากถุงพลาสติก แช่น้ำไว้นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างซีเมนต์ไปทดสอบหาความต้านแรงอัด ตาม "วิธีการทดลองหา Unconfined Compessive Strength ของดิน " โดยอนุโลม

ค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของดินซีเมนต์ในช่วงงานก่อสร้างแต่ละช่วงงานก่อสร้างแต่ละช่วงจะต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อนุญาตให้มีแท่งดินซีเมนต์ที่มีความต้านแรงอัดต่ำกว่าที่กำหนดได้ไม่เกิน 1 แท่ง แต่ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าที่กำหนด

(3) การทดสอบซ้ำ

ในกรณีที่ค่าความแน่นของการบดทับตามข้อ 5.2(1) หรือค่าความต้านแรงอัดตามข้อ 5.2(2) ต่ำกว่าที่กำหนด ผู้รับจ้างอาจขอให้เจาะเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์ช่วงที่เป็นปัญหา เพื่อนำตัวอย่างมาทดสอบความต้านแรงอัดใหม่ โดยดำเนินการในลักษณะเดียวกับข้อ 5.2(2) ผลการทดสอบค่าความต้านแรงอัดโดยเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบที่เจาะจากสนามจำนวน 3 แท่ง ที่อายุไม่เกิน 28 วัน จะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าความต้านแรงอัดที่กำหนด จึงจะถือว่าดินซีเมนต์ในช่วงนั้นใช้ได้

ถ้าผลการทดสอบไม่ได้ตามที่กำหนด ถือว่าใช้ไม่ได้ ผู้รับจ้างจะต้องรื้อเอาดินซีเมนต์ในช่วงนั้นออกทิ้งไป และให้ทำการก่อสร้างขึ้นใหม่ให้ได้ตามข้อกำหนด

ผู้รับจ้างจะต้องเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการทดสอบซ้ำ และค่าใช้จ่ายในการรื้อเอาดินซีเมนต์ที่ใช้ไม่ได้ออกทิ้งไปทั้งสิ้น

6 การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างาน

6.1 วิธีการวัดปริมาณงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดปริมาณงานรองพื้นทางดินซีเมนต์ ให้ทำการวัดเมื่อได้ทำการตรวจสอบค่าระดับและทดสอบความแน่นของการบดทับ และทดสอบความต้านแรงอัดถูกต้องตามที่กำหนดแล้ว โดยวัดเป็นปริมาตรบดอัดแน่น ตามที่ก่อสร้างจริงตามแบบ ปริมาณงานมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

6.2 วิธีการจ่ายค่างาน

การจ่ายค่างานตามรายการนี้ หมายรวมถึงค่าวัสดุ เช่น ดิน ปูนซีเมนต์ เป็นต้น ค่าเครื่องจักร ค่าแรงงาน และอื่น ๆ ที่จำเป็น เพื่อการก่อสร้างให้ถูกต้องเรียบร้อยตามข้อกำหนด โดยคิดจ่ายค่างานตามผลงานที่แล้วเสร็จแต่ละงวดในราคาต่อหน่วยตามสัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY CONSTRUCTION

งานพื้นทางดินซีเมนต์ (SOIL CEMENT BASE)

หมายถึง การก่อสร้างชั้นพื้นทางบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้แล้ว ด้วยดินผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำ ที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด โดยการปูหรือเกลี่ยแต่ง และบดทับให้ได้แนวระดับ และรูปร่าง ตามที่แสดงไว้ในแบบ ดินซีเมนต์นี้อาจมีปูนขาวผสมด้วยก็ได้

1. วัสดุ

1.1 ดิน

ดินที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ต้องเป็นวัสดุที่ปราศจากหน้าดิน วัชพืช หรืออินทรีย์วัตถุอื่น ๆ และไม่มีสารอื่นที่อาจเป็นอันตรายต่อคุณภาพของดินซีเมนต์เจือปนอยู่ วัสดุจำพวก Shale ห้ามนำมาใช้

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติไว้เป็นอย่างอื่น ดินที่จะใช้ทำดินซีเมนต์ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion" ไม่เกินร้อยละ 60

(2) มีขนาดคละที่ดี เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร มีส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร ไม่เกินร้อยละ 70 และส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร ไม่เกินร้อยละ 25

(3) มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน" ไม่เกินร้อยละ 40

(4) มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index" ไม่เกินร้อยละ 15

1.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 ปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจบรรจุอยู่ในไซโลหรือเป็นแบบบรรจุถุงก็ได้ ถ้าเป็นแบบบรรจุถุง ผู้รับจ้างจะต้องจัดทำโรงเก็บปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์ชื้น ห้ามนำปูนซีเมนต์ที่จับตัวเป็นก้อนปนอยู่มาใช้งาน

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ตลอดงานตามสัญญาต้องเป็นตรา และประเภทเดียวกันเว้นแต่จะได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นอย่างอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ปูนขาว

ในกรณีที่ดินมีค่า Liquid Limit หรือ Plasticity Index เกินกว่าค่าที่กำหนด ผู้รับจ้างจะต้องใช้ปูนขาวผสมกับดินเพื่อลดค่า Liquid Limit หรือ Plasticity Index ก่อนการผสมกับปูนซีเมนต์ ปูนขาวที่ใช้เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดะ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" ต้องมีส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 และปริมาณปูนขาวที่ใช้ผสมเพื่อลดค่าดังกล่าวให้อยู่ในกำหนดนี้ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 โดยมวลของดิน

1.4 น้ำ

น้ำที่จะนำมาใช้ผสมหรือบ่มชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ จะต้องสะอาด ปราศจากสารต่าง ๆ เช่น เกลือ น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรีย์วัตถุ หรือสารอื่นใดที่จะเป็นอันตรายแก่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ทั้งนี้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งาน ห้ามใช้น้ำทะเลในการผสมหรือบ่มชั้นพื้นทางดินซีเมนต์

2. เครื่องจักรและเครื่องมือ

ก่อนเริ่มงานผู้รับจ้างจะต้องเตรียมเครื่องจักรและเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นจะต้องใช้ในการดำเนินงานทางด้านวัสดุ และการก่อสร้างไว้ให้พร้อมที่หน้างาน ทั้งนี้ต้องเป็นแบบขนาด และอยู่ในสภาพที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

2.1 โรงผสมดินซีเมนต์

วัสดุต่าง ๆ ของส่วนผสมดินซีเมนต์ ให้จัดอัตราส่วนเป็นน้ำหนักทั้งหมด โดยวัสดุดินปูนซีเมนต์ ปูนขาว และน้ำ จะผสมรวมกันในโรงผสม การชั่งวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสมดินซีเมนต์จะต้องดำเนินการตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

ปริมาณของวัสดุที่ใส่เข้าไปในเครื่องผสมจะต้องไม่มากเกินไป จนทำให้ดินซีเมนต์ผสมไม่เข้ากัน และถ้าหากพบว่าดินซีเมนต์ผสมไม่เข้ากัน ผู้รับจ้างจะต้องลดอัตราการใส่วัสดุเข้าไปในเครื่องผสมลงตามสัดส่วนของวัสดุแต่ละอย่าง

ผู้รับจ้างอาจเลือกใช้โรงผสมแบบชุด (Batch Mixer) หรือโรงผสมแบบผสมต่อเนื่อง (Continuous Mixer) ก็ได้ โดยเครื่องจักรที่จะใช้งานจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน โรงผสมแบบชุดหรือแบบผสมต่อเนื่องต้องมีเครื่องป้อนวัสดุ และมาตรวัดปริมาณวัสดุที่ผ่านเข้าไปในเครื่องผสมตามปริมาณที่ได้กำหนดไว้จากการออกแบบ

(1) โรงผสมดินซีเมนต์แบบชุด

โรงผสมแบบชุดจะประกอบด้วย เครื่องผสมที่มีตัวผสมที่เหมาะสม ทำหน้าที่คลุกเคล้าดินซีเมนต์ให้เข้ากันดี จะต้องมีเครื่องจับเวลาของการผสมติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ผู้ควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุมสามารถจะมองเห็นได้อย่างชัดเจน เครื่องจับเวลาจะต้องสามารถอ่านเวลาละเอียดถึง 2 วินาที นอกจากนี้โรงผสมจะต้องติดตั้งเครื่องนับจำนวนชุดที่ผสมแล้วเสร็จติดอยู่กับโม่ด้วย

เวลาของการผสม ให้เริ่มนับเมื่อวัสดุทุกอย่างถูกใส่ลงในห้องผสม จนถึงเวลาเมื่อดินซีเมนต์ถูกปล่อยออกจากห้องผสม การผสมจะต้องดำเนินต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งดินซีเมนต์มีลักษณะคลุกเคล้าเข้ากันอย่างดี โดยสังเกตจากสีและลักษณะของส่วนผสมที่ควรจะกลมกลืนกันดีโดยปกติเวลาของการผสมไม่ควรจะน้อยกว่า 30 วินาที

เครื่องชั่งที่ใช้ชั่งปูนซีเมนต์ในแต่ละชุด จะต้องอ่านได้ละเอียดกว่าเครื่องชั่งที่ใช้ชั่งดิน

(2) โรงผสมดินซีเมนต์แบบผสมต่อเนื่อง

โรงผสมแบบนี้จะจัดสัดส่วนของดิน ปูนซีเมนต์ และปูนขาว โดยส่งจากยุ้งผ่านสายพานหรือเครื่องป้อนอื่นใด ผ่านเข้าไปยังโรงผสมอย่างต่อเนื่อง ปริมาณของดิน ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และน้ำ จะถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมอัตโนมัติ ระบบการป้อนดินเข้าสู่โรงผสมอาจจะเป็นระบบทางกลหรือทางไฟฟ้าก็ได้ แต่ควรเป็นระบบเดียวกันกับระบบการป้อนปูนซีเมนต์

ในการผสมดินซีเมนต์แบบผสมต่อเนื่อง ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมเครื่องชั่งสำหรับชั่งหามวลของดิน ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และน้ำ เพื่อตรวจสอบส่วนผสมให้ถูกต้อง

2.2 เครื่องชั่ง

เครื่องชั่งที่ใช้ในการชั่งหามวล ดิน ปูนซีเมนต์ ปูนขาว และน้ำ จะต้องเป็นแบบคาน มีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของมวลที่ชั่ง ห้ามใช้เครื่องชั่งซึ่งเป็นแบบที่ใช้สปริง กรณีควบคุมปริมาณน้ำโดยใช้ปริมาตร เครื่องมือควบคุมจะต้องมีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของปริมาตรที่ตวง และผู้รับจ้างจะต้องจัดหาตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 25 กิโลกรัม อย่างน้อย 10 ตุ้ม ไว้ที่หน้างาน เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องชั่ง

การคิดน้ำหนักปูนซีเมนต์อาจจะใช้วิธีชั่งโดยตรง หรือจากการนับจำนวนถุงบรรจุมาตรฐานก็ได้ โดยทั่วไปปูนซีเมนต์บรรจุในถุงมาตรฐานจะหนัก 50 กิโลกรัม ถ้าใช้วิธีชั่งสำหรับเครื่องชั่งและถังสำหรับชั่งปูนซีเมนต์ต่างหาก พร้อมทั้งรางและเครื่องมืออื่น ๆ เพื่อใช้สำหรับปล่อยให้ปูนซีเมนต์ออกจากถังชั่งไปสู่ห้องผสม การดำเนินงานในเรื่องนี้จะต้องใช้วิธีการที่เหมาะสม และได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

3. ข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์

3.1 อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปูนขาว และน้ำ ที่ใช้ผสมกับดินนั้น นายช่างผู้ควบคุมงานจะเป็นผู้กำหนดให้ที่หน้างาน และอาจจะสั่งเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับการทดลองหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านแรงอัดของแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ ทั้งในห้องทดลองและจากการทำพื้นทางทดลองในสนาม

3.2 ในการออกแบบส่วนผสมของดินซีเมนต์ เพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะผสมกับดินและน้ำให้ถือเอาค่า Unconfined Compressive Strength ของแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ได้จากการทดลองตาม "วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน" โดยอนุโลม ซึ่งแท่งตัวอย่างทดสอบจะถูกบดอัดในแบบ "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อไม่ให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1.7 เมกะพาสคัลหรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ

3.3 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ เพื่อทดสอบหาความต้านแรงอัด ตามข้อ 3.2 ให้ใช้ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content ซึ่งหาได้จากการทดลองการบดอัดดิน "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ปริมาณน้ำที่ได้นี้ใช้เป็นแนวทางในการควบคุมการบดทับในสนามขณะทำการก่อสร้างพื้นทางดินซีเมนต์

4. วิธีการก่อสร้าง

4.1 การทดลองในแปลงทดลองแปลงแรก

ก่อนดำเนินการก่อสร้างชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ผู้รับจ้างจะต้องทำการทดลองก่อสร้างในแปลงทดลองแปลงแรก โดยปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะใช้เป็นส่วนผสมดินซีเมนต์ระหว่างการทดลองก่อสร้างแปลงแรกจะหาได้จากการทดลองผสมดินซีเมนต์ในห้องทดลอง โดยใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content ตามข้อ 3.3 แล้วเตรียมแท่งตัวอย่างทดสอบ และบ่มในถุงพลาสติด โดยไม่ให้ความชื้นเปลี่ยนแปลง ตามวิธีการต่าง ๆ เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในข้อ 3.2 และเลือกส่วนผสมทดลองที่ให้ค่าความต้านแรงอัดในช่วงร้อยละ 105 ถึง ร้อยละ 125 (โดยทั่วไปควรเลือกที่ประมาณค่าตัวกลาง คือร้อยละ 115) ของค่าความต้านแรงอัดที่1.7 เมกะพาสคัล หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบเป็นส่วนผสมที่จะใช้ในระหว่างก่อสร้างในแปลงทดลองแปลงแรก ซึ่งควรจะมีความยาวประมาณ 200-500 เมตร

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมในระหว่างการก่อสร้างแปลงต่อ ๆ ไป จะต้องคิดเผื่อประสิทธิภาพของการผสมด้วย เมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตามที่ได้เลือกไว้แล้วจากแปลงทดลองแปลงแรกประสิทธิภาพของการผสมสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

ประสิทธิภาพของการผสม = A/B

เมื่อ A = ความต้านแรงอัดของดินซีเมนต์จากการผสมด้วยเครื่องผสม หาได้จากการทดลองความต้านแรงอัดของแท่งตัวอย่างที่เตรียมจากเครื่องผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ B = ความต้านแรงอัดของดินซีเมนต์จากกรผสมในห้องทดลอง คือ ค่าความต้านแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ได้เลือกไว้ของแปลงทดลองแปลงแรก

โดยทั่วไปเครื่องผสมจะมีประสิทธิภาพของการผสมน้อยกว่าการผสมในห้องทดลองกล่าวอีกนัยหนึ่ง แท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ที่เตรียมจากเครื่องผสมจะให้ค่าความต้านแรงอัดน้อยกว่าแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ที่เตรียมจากห้องทดลองเมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างจะต้องเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ค่าความต้านทางแรงอัดตามที่การปรับแก้ค่าความต้านแรงอัดตามข้อ 3.2 ด้วยประสิทธิภาพของการผสม

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเป็นแหล่งวัสดุ เครื่องจักร เครื่องมือ หรือสิ่งอื่นใดที่มีผลทำให้ประสิทธิภาพของการผสมเปลี่ยนแปลงไป จะต้องทำการตรวจสอบหาประสิทธิภาพของการผสมใหม่ทุกครั้ง เพื่อปรับส่วนผสมให้ถูกต้องอยู่เสมอ

การบดทับและปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการก่อสร้าง ก็มีผลทำให้ต้องมีการปรับปริมาณปูนซีเมนต์ให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงด้วย

4.2 การก่อสร้าง

ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้สำหรับแปลงก่อสร้างต่อ ๆ ไป ให้คิดเผื่อประสิทธิภาพของการผสมจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในแปลงทดลองแปลงแรก

ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมดินซีเมนต์ในเครื่องผสม ให้ใช้ที่ Optimum Moisture Content โดยประมาณ

ภายหลังที่ได้ผสมดินซีเมนต์เข้ากันดีแล้ว ให้ใช้เครื่องจักรที่เหมาะสมยกขนดินซีเมนต์จากโรงงานผสมไปปูลงบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นทางอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ แล้วทำการบดทับให้แน่นโดยใช้เครื่องมือบดทับที่เหมาะสม ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสม จนกระทั่งเสร็จการบดทับไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง

ควรทำการพ่นน้ำเลี้ยงผิวหน้าของพื้นทางดินซีเมนต์ในขณะบดทับ และภายหลังการบดทับให้ชื้นอยู่ตลอดเวลา น้ำที่พ่นลงไปนี้นอกจากจะช่วยให้เกิดปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์ดิน และน้ำให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น อันจะมีผลทำให้ความต้านแรงอัดของดินซีเมนต์เพิ่มขึ้นแล้ว ยังจะช่วยลดรอยแตกผิวอันเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้นหลังการบดทับด้วย

ภายหลังการบดทับ ให้ทำการแต่งระดับขั้นสุดท้ายทันที และให้ทำการพ่นน้ำเลี้ยงผิวหน้าของพื้นของพื้นทางดินซีเมนต์ติดต่อกันในช่วง 3 วันแรก เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้น

4.3 การควบคุมคุณภาพขณะก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อสร้างพื้นทางดินซีเมนต์ให้ก่อสร้างเป็นชั้น ๆ โดยให้มีความหนาหลังบดทับชั้นละไม่เกิน 150 มิลลิเมตร

ผู้รับจ้างอาจก่อสร้างพื้นทางดินซีเมนต์ให้มีความหนาแต่ละชั้นเกินกว่า 150 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 200 มิลลิเมตร ก็ได้ทั้งนี้ต้องแสดงรายการเครื่องจักรและเครื่องมือที่เหมาะสม แสดงวิธีการปฏิบัติงานและต้องก่อสร้างแปลงทดลองยาวประมาณ 200 - 500 เมตร เพื่อตรวจสอบคุณภาพ หากพบว่าระหว่างการก่อสร้างมีปัญหาเกี่ยวกับความแน่นของพื้นทางดินซีเมนต์ส่วนบน และส่วนล่างหรือความต้านแรงอัดไม่ได้ตามข้อกำหนด นายช่างผู้ควบคุมงานอาจพิจารณาระงับการก่อสร้างพื้นทางดินซีเมนต์หนาชั้นละมากกว่า 150 มิลลิเมตร

4.4 การบ่มและการเปิดการจราจร

หลังก่อสร้างเสร็จให้บ่มดินซีเมนต์ทุกชั้นโดยพ่นน้ำบาง ๆ ลงไปบนผิวหน้าของดินซีเมนต์ที่ก่อสร้างเสร็จแล้วให้ผิวหน้าชุ่มชื้นตลอดเวลา ติดต่อกันนานอย่างน้อยที่สุด 3 วันนับจากวันที่บดทับเสร็จ ในช่วงเวลาของการบ่มหากมีความจำเป็นให้เปิดการจราจรได้

ให้ผู้รับจ้างทำการลาดแอสฟัลต์ Prime Coat หรือก่อสร้างผิวทางชั้นถัดไปได้ภายหลังจากที่ได้ก่อสร้างชั้นพื้นทางดินซีเมนต์เสร็จเป็นระยะเวลานานไม่น้อยกว่า 15 วัน ทั้งนี้เพื่อให้พื้นทางดินซีเมนต์อยู่ตัว

4.5 การเจาะเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์

ผู้รับจ้างจะต้องจัดเตรียมเครื่องมือเจาะเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์ประจำไว้ที่หน้างานเมื่อมีความจำเป็นต้องเจาะเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์

5 การตรวจสอบ

5.1 การตรวจสอบค่าระดับ

งานพื้นทางดินซีเมนต์ที่ก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องมีรูปร่างราบเรียบตามแบบโดยเมื่อทำการตรวจสอบด้วยบรรทัดตรงยาว 3.00 เมตรทั้งตามแนวขนานและตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางทาง มีความแตกต่างได้ไม่เกิน 10 มิลลิเมตร และมีค่าระดับแตกต่างไปจากค่าระดับที่แสดงไว้ในแบบไม่เกิน 10 มิลลิเมตร การตรวจสอบค่าระดับที่ทำทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่าตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร ตอนใดที่ผิดไปจากนี้ให้แก้ไข โดยการปาดออกหรือรื้อแล้วก่อสร้างใหม่ให้แล้วเสร็จภายในเวลาที่กำหนดไว้สำหรับการบดทับ หากพ้นกำหนดเวลาแล้วจะต้องรื้อออกทิ้งไปและก่อสร้างใหม่

5.2 การทดสอบความแน่นของการบดทับและการทดสอบความต้านทานแรงอัด

(1) การทดสอบความแน่นของการบดทับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานพื้นทางดินซีเมนต์จะต้องทำการบดทับให้ได้ความแน่นแห้งสม่ำเสมอต่ำกว่าร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุด ที่ได้จากการทดลองตัวอย่างดินซีเมนต์จากแหล่งผลิตตาม "วิธีทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

การทดสอบความแน่นของการบดทับ ให้ดำเนินการทดสอบในวันเดียวกับที่การบดทับเสร็จตาม "วิธีการทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย " ทุกระยะประมาณ 100 เมตร ต่อ 1 ช่อง จราจร หรือประมาณพื้นที่ 500 ตารางเมตร ต่อ 1 หลุมตัวอย่าง

(2) การทดสอบความต้านแรงอัด

ให้เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยการเก็บตัวอย่าง 3 แท่ง (1 ชุด) ในช่องงานก่อสร้างแต่ละช่วง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของดินซีเมนต์หนาไม่เกิน 150 มิลลิเมตร พื้นที่ไม่เกิน 1.500 ตารางเมตร

ภายหลังการบดอัดให้ดันตัวอย่างดินซีเมนต์ออกจากแบบ และบ่มไว้ในถุงพลาสติกเพื่อป้องกันไม่ให้สูญเสียความชื้นเป็นระยะเวลานาน 7 วัน เมื่อครบ 7 วัน ให้นำตัวอย่างทดสอบแต่ละช่วงออกจากถุงพลาสติก แช่น้ำไว้นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างซีเมนต์ไปทดสอบหาความต้านแรงอัด ตาม "วิธีการทดลองหา Unconfined Compessive Strength ของดิน " โดยอนุโลม

ค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของดินซีเมนต์ในช่วงงานก่อสร้างแต่ละช่วงงานก่อสร้างแต่ละช่วงจะต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อนุญาตให้มีแท่งดินซีเมนต์ที่มีความต้านแรงอัดต่ำกว่าที่กำหนดได้ไม่เกิน 1 แท่ง แต่ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าที่กำหนด

(3) การทดสอบซ้ำ

ในกรณีที่ค่าความแน่นของการบดทับตามข้อ 3.2.4.5.2(1) หรือค่าความต้านแรงอัดตามข้อ 3.2.4.5.2(2) ต่ำกว่าที่กำหนด ผู้รับจ้างอาจขอให้เจาะเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์ช่วงที่เป็นปัญหา เพื่อนำตัวอย่างมาทดสอบความต้านแรงอัดใหม่ โดยดำเนินการในลักษณะเดียวกับข้อสนามจำนวน 3 แท่ง ที่อายุไม่เกิน 28 วัน จะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าความต้านแรงอัดที่กำหนด จึงจะถือว่าดินซีเมนต์ในช่วงนั้นใช้ได้

ถ้าผลการทดสอบไม่ได้ตามที่กำหนด ถือว่าใช้ไม่ได้ ผู้รับจ้างจะต้องรื้อเอาดินซีเมนต์ในช่วงนั้นออกทิ้งไป และให้ทำการก่อสร้างขึ้นใหม่ให้ได้ตามข้อกำหนด

ผู้รับจ้างจะต้องเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการทดสอบซ้ำ และค่าใช้จ่ายในการรื้อเอาดินซีเมนต์ที่ใช้ไม่ได้ออกทิ้งไปทั้งสิ้น

6 การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างาน

6.1 วิธีการวัดปริมาณงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดปริมาณงานพื้นทางดินซีเมนต์ ให้ทำการวัดเมื่อได้ทำการตรวจสอบค่าระดับและทดสอบความแน่นของการบดทับ และทดสอบความต้านแรงอัดถูกต้องตามที่กำหนดแล้ว โดยวัดเป็นปริมาตรบดอัดแน่น ตามที่ก่อสร้างจริงตามแบบ ปริมาณงานมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

6.2 วิธีการจ่ายค่างาน

การจ่ายค่างานตามรายการนี้ หมายรวมถึง หมายรวมถึง ค่าวัสดุ เช่น ดิน ปูน ซีเมนต์ รวมทั้งปูนขาวที่อาจต้องผสมด้วย เป็นต้น ค่าเครื่องจักร ค่าแรงงาน และอื่น ๆ ที่จำเป็นเพื่อการก่อสร้างให้ถูกต้องเรียบร้อยตามข้อกำหนด โดยคิดจ่ายค่างานตามผลงานที่แล้วเสร็จแต่ละงวดในราคาต่อหน่วยตามสัญญา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง

SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY CONSTRUCTION

งานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ (CEMENT MODIFIED CRUSHED ROCK BASE)

หมายถึง การก่อสร้างชั้นพื้นทางบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้แล้ว ด้วยดินผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำ ที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด โดยการปูหรือเกลี่ยแต่ง และบดทับให้ได้แนวระดับ และรูปร่าง ตามที่แสดงไว้ในแบบ

1. วัสดุ

1.1 หินคลุก

วัสดุหินคลุกต้องเป็นหินโม่มวลรวมที่มีเนื้อแข็ง เหนียว แข็ง สะอาด ไม่ผุ และปราศจากวัสดุอื่นเจือปน จากแหล่งที่ได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว วัสดุจำพวก Shale ห้ามนำมาใช้

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติไว้เป็นอย่างอื่น วัสดุที่จะใช้ทำหินคลุกผสมซีเมนต์ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion" ไม่เกินร้อยละ 40

(2) มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ของมวลรวมหยาบ เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาความคงทน(Soundness) ของมวลรวม" โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบแล้ว ไม่เกินร้อยละ 9

หินคลุกจากแหล่งเดิมที่มีหลักฐานแสดงผลการทดลองหาความคงทนว่าใช้ได้อาจจะยกเว้นไม่ต้องทดลองอีกก็ได้ ทั้งนี้อยู่ในดุลยพินิจของกรมทางหลวงที่ใช้ผลการทดลองเดิมที่มีอยู่

(3) ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นวัสดุชนิดและคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate)

หากมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

(4) มีขนาดคละที่ดี เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" ตามตาราง 1(3)

(5) ส่วนละเอียดที่ผ่านตระแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร ต้องไม่มากกว่าสองในสาม(2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร

(6) มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน" ไม่เกินร้อยละ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index" ไม่เกินร้อยละ6

(8) มีค่า CBR เมื่อทดลองตาม "วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR"ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ที่ความแน่นแห้งของการบดทับร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตาม "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

ตารางที่ 1(8) ขนาดคละของวัสดุหินคลุกที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์

ขนาดตะแกรง	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล		
มิลลิเมตร (นิ้ว)	B	C	D
50 (2)	100	-	-
25.0 (1)	75-95	100	100
9.5 (3/8)	40-75	50-85	60-100
4.75 (เบอร์ 4)	30-60	35-65	50-85
2.00 (เบอร์ 10)	20-45	25-50	40-70
0.425 (เบอร์ 40)	15-30	15-30	25-45
0.075 (เบอร์ 200)	5-20	5-15	5-20

1.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 ปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจบรรจุอยู่ในไซโลหรือเป็นแบบบรรจุถุงก็ได้ ถ้าเป็นแบบบรรจุถุง ผู้รับจ้างจะต้องจัดทำโรงเก็บปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์ชื้น ห้ามนำปูนซีเมนต์ที่จับตัวเป็นก้อนปนอยู่มาใช้งาน

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ตลอดงานตามสัญญาต้องเป็นตรา และประเภทเดียวกันเว้นแต่จะได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นอย่างอื่น

1.3 น้ำ

น้ำที่จะนำมาใช้ผสมหรือบ่มชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ จะต้องสะอาด ปราศจากสารต่าง ๆ เช่น เกลือ น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรีย์วัตถุ หรือสารอื่นใดที่จะเป็นอันตรายแก่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ทั้งนี้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งาน ห้ามใช้น้ำทะเลในการผสมหรือบ่มชั้นพื้นทางดินซีเมนต์

2. เครื่องจักรและเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนเริ่มงานผู้รับจ้างจะต้องเตรียมเครื่องจักรและเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นจะต้องใช้ในการดำเนินงานทางด้านวัสดุ และการก่อสร้างไว้ให้พร้อมที่หน้างาน ทั้งนี้ต้องเป็นแบบขนาด และอยู่ในสภาพที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

2.1 โรงผสมหินคลุกผสมซีเมนต์

วัสดุต่าง ๆ ของส่วนผสมดินซีเมนต์ ให้จัดอัตราส่วนเป็นน้ำหนักทั้งหมด โดยวัสดุดินปูนซีเมนต์และน้ำ จะผสมรวมกันในโรงผสม การชั่งวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสมดินซีเมนต์จะต้องดำเนินการตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

ปริมาณของวัสดุที่ใส่เข้าไปในเครื่องผสมจะต้องไม่มากเกินไป จนทำให้หินคลุกผสมซีเมนต์ไม่เข้ากัน และถ้าหากพบว่าหินคลุกและปูนซีเมนต์ผสมไม่เข้ากัน ผู้รับจ้างจะต้องลดอัตราการใส่วัสดุเข้าไปในเครื่องผสมลงตามสัดส่วนของวัสดุแต่ละอย่าง

ผู้รับจ้างอาจเลือกใช้โรงผสมแบบชุด (Batch Mixer) หรือโรงผสมแบบผสมต่อเนื่อง (Continuous Mixer) ก็ได้ โดยเครื่องจักรที่จะใช้งานจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน โรงผสมแบบชุดหรือแบบผสมต่อเนื่องต้องมีเครื่องป้อนวัสดุ และมาตรวัดปริมาณวัสดุที่ผ่านเข้าไปในเครื่องผสมตามปริมาณที่ได้กำหนดไว้จากการออกแบบ

(1) โรงผสมดินซีเมนต์แบบชุด

โรงผสมแบบชุดจะประกอบด้วย เครื่องผสมที่มีตัวผสมที่เหมาะสม ทำหน้าที่คลุกเคล้าหินคลุกผสมซีเมนต์ให้เข้ากันดี จะต้องมีเครื่องจับเวลาของการผสมติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ผู้ควบคุมสามารถจะมองเห็นได้อย่างชัดเจน เครื่องจับเวลาจะต้องสามารถอ่านเวลาละเอียดถึง 2 วินาที นอกจากนี้โรงผสมจะต้องติดตั้งเครื่องนับจำนวนชุดที่ผสมแล้วเสร็จติดอยู่กับไม่ด้วย

เวลาของการผสม ให้เริ่มนับเมื่อวัสดุทุกอย่างถูกใส่ลงในห้องผสม จนถึงเวลาเมื่อหินคลุกผสมซีเมนต์ถูกปล่อยออกจากห้องผสม การผสมจะต้องดำเนินต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งหินคลุกผสมซีเมนต์มีลักษณะคลุกเคล้าเข้ากันอย่างดี โดยสังเกตจากสีและลักษณะของส่วนผสมที่ควรจะกลมกลืนกันดีโดยปกติเวลาของการผสมไม่ควรจะน้อยกว่า 30 วินาที

เครื่องชั่งที่ใช้ชั่งปูนซีเมนต์ในแต่ละชุด จะต้องอ่านได้ละเอียดกว่าเครื่องชั่งที่ใช้ชั่งหินคลุก

(2) โรงผสมดินซีเมนต์แบบผสมต่อเนื่อง

โรงผสมแบบนี้จะจัดสัดส่วนของหินคลุกและปูนซีเมนต์ โดยส่งจากยุ้งผ่านสายพานหรือเครื่องป้อนอื่นใด ผ่านเข้าไปยังโรงผสมอย่างต่อเนื่อง ปริมาณของหิน ปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และน้ำ จะถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมอัตโนมัติ ระบบการป้อนหินคลุกเข้าสู่โรงผสมอาจจะเป็นระบบทางกลหรือทางไฟฟ้าก็ได้ แต่ควรเป็นระบบเดียวกันกับระบบการป้อนปูนซีเมนต์

ในการผสมหินคลุกซีเมนต์แบบผสมต่อเนื่อง ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมเครื่องชั่งสำหรับชั่งหามวลของหินคลุก ปูนซีเมนต์และน้ำ เพื่อตรวจสอบส่วนผสมให้ถูกต้อง

2.2 เครื่องชั่ง

เครื่องชั่งที่ใช้ในการชั่งหามวลของหินคลุก ปูนซีเมนต์และน้ำ จะต้องเป็นแบบคาน มีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของมวลที่ชั่ง ห้ามใช้เครื่องชั่งซึ่งเป็นแบบที่ใช้สปริง กรณีควบคุมปริมาณน้ำโดยใช้ปริมาตร เครื่องมือควบคุมจะต้องมีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของปริมาตรที่ตวง และผู้รับจ้างจะต้องจัดหาตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 25 กิโลกรัม อย่างน้อย 10 ตุ้ม ไว้ที่หน้างาน เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องชั่ง

การคิดน้ำหนักปูนซีเมนต์อาจจะใช้วิธีชั่งโดยตรง หรือจากการนับจำนวนถุงบรรจุมาตรฐานก็ได้ โดยทั่วไปปูนซีเมนต์บรรจุในถุงมาตรฐานจะหนัก 50 กิโลกรัม ถ้าใช้วิธีชั่งสำหรับเครื่องชั่งและถังสำหรับชั่งปูนซีเมนต์ต่างหาก พร้อมทั้งรางและเครื่องมืออื่น ๆ เพื่อใช้สำหรับปล่อยให้ปูนซีเมนต์ออกจากถังชั่งไปสู่ห้องผสม การดำเนินงานในเรื่องนี้จะต้องใช้วิธีการที่เหมาะสม และได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

3. ข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์

3.1 อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์และน้ำ ที่ใช้ผสมกับดินนั้น นายช่างผู้ควบคุมงานจะเป็นผู้กำหนดให้ที่หน้างาน และอาจจะสั่งเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับการทดลองหาความต้านแรงอัดของแท่งตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ ทั้งในห้องทดลองและจากการทำพื้นทางทดลองในสนาม

3.2ในการออกแบบหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะผสมของหินคลุกและน้ำ ให้ถือเอาค่าความต้านแรงอัดของแท่งตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ที่ได้จากการทดลอง "วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน" โดยอนุโลม ซึ่งแท่งตัวอย่างทดสอบจะถูกบดอัดในแบบ "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อไม่ให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.4 เมกะพาสคัลหรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ

3.3 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแท่งตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ เพื่อทดสอบหาความต้านแรงอัด ตามข้อ 3.2 ให้ใช้ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content ซึ่งหาได้จากการทดลองการบดอัดหินคลุก ตาม "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำที่ได้นี้ใช้เป็นแนวทางในการควบคุมการบดทับในสนามขณะทำการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์

3.4 วัสดุต่างๆของส่วนผสมคลุกหินผสมซีเมนต์ ได้แก่ หินคลุก ปูนซีเมนต์ และน้ำ ให้จัดอัตราส่วนเป็นน้ำหนักทั้งหมด ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 โดยมวลของหินคลุกหรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ

3.5 หินคลุกผสมซีเมนต์ ที่ได้จากการผสมทดลองของโรงผสมและการทำพื้นทางทดลองในสนามจะต้องมีคุณสมบัติสอดคล้องตามข้อกำหนดต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) การผสมทดลองทั้งในห้องทดลองและการทำพื้นทางทดลองในสนาม จะต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จก่อนเริ่มงานก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 30 วัน

(2) ส่วนผสมหินคลุกผสมซีเมนต์ จะต้องมีค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ย ไม่น้อยกว่า 2.4 เมกะพาสคาล หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ

(3) จำนวนแท่งตัวอย่างทดสอบ จากการผสมทดลองในห้องทดลอง และจากการทำพื้นทางทดลองในสนามแต่ละอย่างจะต้องไม่น้อยกว่า 27 แท่ง

4. วิธีการก่อสร้าง

4.1 การเตรียมการก่อนการก่อสร้าง

สถานที่ตั้งโรงผสมและกองวัสดุจะต้องเหมาะสม ไม่ห่างจากบริเวณก่อสร้าง มีบริเวณกว้างพอที่จะดำเนินการได้โดยสดวกและจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานโดยปราศจากสิ่งไม่พึงประสงค์ต่างๆ

หินคลุกที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เมื่อได้ผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้ว ให้กองไว้เป็นกองๆ ภายในบริเวณสถานที่ดังกล่าวข้างต้น ในปริมาณที่พอสมควร สำหรับหินคลุกที่จะนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ในโรงผสม จะต้องเป็นหินคลุกที่ได้จากการโม่ ห้ามนำหินหลายขนาดมาผสมกันเป็นหินคลุกทั้งในสถานที่ตั้งโรงผสมและบริเวณกองวัสดุ เว้นแต่โรงผสมจะเป็นแบบที่มียุ้งใส่วัสดุแต่ละขนาดแยกต่างหากและสามารถป้อนหินให้ผสมเข้าด้วยกันเป็นหินคลุกตามอัตราส่วนที่ต้องการได้โดยโรงผสมจะต้องสามารถผสมได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว

สำหรับหินคลุกที่ได้จากแหล่งผลิตหลายๆ แห่ง เมื่อได้ผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้วให้แยกกองวัสดุแต่ละแหล่งผลิตออกจากกัน หากไม่สดวกในการควบคุมคุณภาพจากแหล่งผลิตก็ให้กองวัสดุเป็นกองๆ แยกกันไปแต่ละแหล่งผลิต แล้วดำเนินการเก็บตัวอย่างทดสอบคุณภาพ เมื่อได้ผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้วจึงจะนำไปใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงผสมได้อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์และน้ำที่ใช้ผสมกับหินคลุกจากแหล่งผลิตแต่ละแห่ง หาได้จากการทดลองแบบส่วนผสม ตามข้อ 3 เป็นแต่ละแหล่งผลิตไป

ให้ระวังการเกิดการแยกตัวของส่วนหยาบและส่วนละเอียด ในกองวัสดุ ระหว่างการตักหินคลุกออกจากกอง ระหว่างการปล่อยหินคลุกผสมซีเมนต์จากห้องผสมลงสู่รถขนว่งวัสดุหรือระหว่างการขนส่งหินคลุกผสมซีเมนต์ไปยังหน้างานสนาม หากพิจารณาพบเห็นนายช่างผู้ควบคุม งานอาจจะเก็บตัวอย่างทดสอบคุณภาพใหม่ได้

เครื่องจักรเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็น จะต้องใช้ในงานก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ทุกชนิด ต้องมีสภาพใช้งานได้ดีโดยจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ทุกชนิดต้องมีจำนวนเพียงพอที่จะอำนวยให้การก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ดำเนินไปโดยต่อเนื่องไม่ติดขัดหรือหยุดชะงัก และในระหว่างการก่อสร้างจะต้องบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ

ชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่อใดที่รองรับพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์จะต้องเกลี่ยแต่งและบดทับให้ได้แนว ระดับ ความลาด ขนาด รูปร่าง และความแน่นตามที่แสดงไว้ในแบบ

4.2 การทำพื้นทางทดลองในสนาม

อัตราส่วนของปูนซีเมนต์และน้ำ ที่จะใช้ผสมกับหินคลุก เป็นส่วนผสมของหินคลุกผสมซีเมนต์ระหว่างการทดลองก่อสร้างพื้นทางทดลองในสนามแปลงแรก ให้ใช้ปริมาณปูนซีมเนต์ที่ได้จากการออกแบบและใช้ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content เป็นส่วนผสมที่จะก่อสร้างแปลงทดลองแปลงแรก ซึ่งควรจะมีความยาวประมาณ 200-500 เมตร ให้ดำเนินการเตรียมแท่งตัวอย่างทดสอบหาความต้านแรงอัดตามข้อ 3.5 ทันทีที่เริ่มงาน การเตรียมแท่งตัวอย่างให้เตรียมในสนามโดยเก็บตัวอย่างขณะทำการปูส่วนผสมพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์เพื่อที่จะได้แท่งตัวอย่างทดสอบที่มีคุณภาพคล้ายส่วนผสมหินคลุกผสมซีเมนต์ในสนามมากที่สุด ห้ามทำการผสมคลุกเคล้าตัวอย่างใหม่ ทั้งก่อนและขณะทำการบดอัดตัวอย่าง

4.3 การก่อสร้าง

เมื่อผลการตรวจสอบคุณภาพของพื้นทางทดลองแปลงแรกเป็นไปตามข้อกำหนด ตามข้อ 4.4 แล้ว ก็ให้ดำเนินการก่อสร้างแปลงต่อๆ ไปได้

หลังจากผสมหินคลุกผสมซีเมนต์เข้ากันดีแล้ว ให้ใช้เครื่องจักรที่เหมาะสมขนหินคลุกผสมซีเมนต์จากโรงผสมไปปูลงบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นทางอื่นใดที่ได้เตรียมไว้แล้ว โดยปูลงไปในที่ที่ได้จัดเตรียมไว้ ทำการบดทับให้แน่นโดยใช้เครื่องมือบดทับที่เหมาะสม ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนกระทั่งเสร็จการบดทับ ไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังการบดทับให้ทำการแต่งระดับขั้นสุดท้ายทันทีและให้ทำการพ่นน้ำเลี้ยงผิวหน้าของผิวทางหินคลุกผสมซีเมนต์ติดต่อกันในช่วง 3 วันแรก เพื่อให้ความต้านแรงอัดของหินคลุกผสมซีเมนต์เพิ่มขึ้น และยังช่วยลดรอยแตกผิวอันเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้นหลังการบดทับด้วย

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเป็นแหล่งวัสดุ เครื่องจักร เครื่องมือ หรือสิ่งอื่นใดที่มีผลทำให้คุณภาพของหินคลุกผสมซีเมนต์เปลี่ยนไปจะต้องทำการตรวจสอบหาอัตราส่วนผสมใหม่ทุกครั้ง เพื่อปรับส่วนผสมให้คุณภาพถูกต้องอยู่เสมอ

4.4 การควบคุมคุณภาพขณะก่อสร้าง

การก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซิเมนต์ ให้ก่อสร้างเป็นชั้นๆ โดยให้มีความหนาหลังบดทับชั้นละไม่เกิน 150 มิลลิเมตร

ผู้รับจ้างอาจก่อสร้างพื้นทางหินคลุกซีเมนต์ให้มีความหนาแต่ละชั้นเกินกว่า 150 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 200 มิลลิเมตร ก็ได้ ทั้งนี้ต้องแสดงรายการเครื่องจักรและเครื่องมือที่เหมาะสมแสดงวิธีปฏิบัติงาน และต้องก่อสร้างแปลงทดลองยาวประมาณ 200-500 เมตร เพื่อตรวจสอบคุณภาพ หากพบว่าระหว่างการก่อสร้างมีปัญหาเกี่ยวกับความแน่นของพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ส่วนบนและส่วนล่าง หรือความต้านแรงอัดไม่ได้ตามข้อกำหนด นายช่างผู้ควบคุมงานอาจพิจารณาระงับการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์หนา ชั้นละมากกว่า 150 มิลลิเมตร

4.5 การบ่มและการเปิดการจราจร

หลังการก่อสร้างเสร็จให้บ่มหินคลุกผสมซีเมนต์ทุกชั้น โดยพ่นน้ำบางๆ ลงไปบนผิวหน้าของหินคลุกผสมซีเมนต์ ที่ก่อสร้างเสร็จแล้วให้ผิวหน้าชุ่มชื้นตลอดเวลาติดต่อกันนานอย่างน้อยที่สุด 3 วัน นับจากวันที่บดทับเสร็จ ในช่วงเวลาของการบ่มหากมีความจำเป็น ให้เปิดการจราจรได้

ให้ผู้รับจ้างทำการลาดแอสฟัลต์ Prime Coat หรือก่อสร้างชั้นผิวทางชั้นถัดไปได้ ภายหลังจากที่ได้ทำการก่อสร้างทางหินคลุกผสมซีเมนต์ผสมเสร็จในเวลาอันสมควร

4.6 การเจาะเก็บตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์

ผู้รับจ้างจะต้องจัดเตรียมเครื่องเจาะเก็บตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ ประจำที่หน้างาน เมื่อมีความจำเป็นต้องเจาะเก็บตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์

5 การตรวจสอบ

5.1 การตรวจสอบค่าระดับ

งานพื้นทางดินซีเมนต์ที่ก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องมีรูปร่างราบเรียบตามแบบโดยเมื่อทำการตรวจสอบด้วยบรรทัดตรงยาว 3.00 เมตรทั้งตามแนวขนานและตั้งฉากกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวศูนย์กลางทาง มีความแตกต่างได้ไม่เกิน 10 มิลลิเมตร และมีค่าระดับแตกต่างไปจากค่าระดับที่แสดงไว้ในแบบไม่เกิน 10 มิลลิเมตร การตรวจสอบค่าระดับที่ทำทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่าตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร ตอนใดที่ผิดไปจากนี้ให้แก้ไข โดยการปาดออกหรือรื้อแล้วก่อสร้างใหม่ให้แล้วเสร็จภายในเวลาที่กำหนดไว้สำหรับการบดทับ หากพ้นกำหนดเวลาแล้วจะต้องรื้อออกทิ้งไปและก่อสร้างใหม่

5.2 การทดสอบความแน่นของการบดทับและการทดสอบความต้านทานแรงอัด

(1) การทดสอบความแน่นของการบดทับ

งานพื้นทางดินซีเมนต์จะต้องทำการบดทับให้ได้ความแน่นแห้งสม่ำเสมอต่ำกว่าร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุด ที่ได้จากการทดลองตัวอย่างดินซีเมนต์จากแหล่งผลิตตาม "วิธีทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

การทดสอบความแน่นของการบดทับ ให้ดำเนินการทดสอบในวันเดียวกับที่การบดทับเสร็จตาม "วิธีการทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย " ทุกระยะประมาณ 100 เมตร ต่อ 1 ช่อง จราจร หรือประมาณพื้นที่ 500 ตารางเมตร ต่อ 1 หลุมตัวอย่าง

(2) การทดสอบความต้านแรงอัด

ให้เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยการเก็บตัวอย่าง 3 แท่ง (1 ชุด) ในช่วงงานก่อสร้างแต่ละช่วง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของดินซีเมนต์หนาไม่เกิน 150 มิลลิเมตร พื้นที่ไม่เกิน 1,500 ตารางเมตร ภายหลังการบดอัดให้ดันตัวอย่างดินซีเมนต์ออกจากแบบ และบ่มไว้ในถุงพลาสติกเพื่อป้องกันไม่ให้สูญเสียความชื้นเป็นระยะเวลานาน 7 วัน เมื่อครบ 7 วัน ให้นำตัวอย่างทดสอบแต่ละช่วงออกจากถุงพลาสติก แช่น้ำไว้นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่าง ซีเมนต์ไปทดสอบหาความต้านแรงอัด ตาม "วิธีการทดลองหา Unconfined Compessive Strength ของดิน " โดยอนุโลม

ค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยของดินซีเมนต์ในช่วงงานก่อสร้างแต่ละช่วงงานก่อสร้างแต่ละช่วงจะต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อนุญาตให้มีแท่งดินซีเมนต์ที่มีความต้านแรงอัดต่ำกว่าที่กำหนดได้ไม่เกิน 1 แท่ง แต่ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าที่กำหนด

(3) การทดสอบซ้ำ

ในกรณีที่ค่าความแน่นของการบดทับตามข้อ 5.2(1) หรือค่าความต้านแรงอัดตามข้อ 5.2(2) ต่ำกว่าที่กำหนด ผู้รับจ้างอาจขอให้เจาะเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์ช่วงที่เป็นปัญหา เพื่อนำตัวอย่างมาทดสอบความต้านแรงอัดใหม่ โดยดำเนินการในลักษณะเดียวกับข้อสนามจำนวน 3 แท่ง ที่อายุไม่เกิน 28 วัน จะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าความต้านแรงอัดที่กำหนด จึงจะถือว่าดินซีเมนต์ในช่วงนั้นใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าผลการทดสอบไม่ได้ตามที่กำหนด ถือว่าใช้ไม่ได้ ผู้รับจ้างจะต้องรื้อเอาดินซีเมนต์ในช่วงนั้นออกทิ้งไป และให้ทำการก่อสร้างขึ้นใหม่ให้ได้ตามข้อกำหนด

ผู้รับจ้างจะต้องเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการทดสอบซ้ำ และค่าใช้จ่ายในการรื้อเอาดินซีเมนต์ที่ใช้ไม่ได้ออกทิ้งไปทั้งสิ้น

6 การวัดปริมาณงานและการจ่ายค่างาน

6.1 วิธีการวัดปริมาณงาน

การวัดปริมาณงานพื้นทางดินซีเมนต์ ให้ทำการวัดเมื่อได้ทำการตรวจสอบค่าระดับและทดสอบความแน่นของการบดทับ และทดสอบความต้านแรงอัดถูกต้องตามที่กำหนดแล้ว โดยวัดเป็นปริมาตรบดอัดแน่น ตามที่ก่อสร้างจริงตามแบบ ปริมาณงานมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

6.2 วิธีการจ่ายค่างาน

การจ่ายค่างานตามรายการนี้ หมายรวมถึง หมายรวมถึง ค่าวัสดุ เช่น ดิน ปูน ซีเมนต์ รวมทั้งปูนขาวที่อาจต้องผสมด้วย เป็นต้น ค่าเครื่องจักร ค่าแรงงาน และอื่น ๆ ที่จำเป็นเพื่อการก่อสร้างให้ถูกต้องเรียบร้อยตามข้อกำหนด โดยคิดจ่ายค่างานตามผลงานที่แล้วเสร็จแต่ละงวด ในราคาต่อหน่วยตามสัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจากถนน Soil-Cement ที่ได้ก่อสร้างในปี 2509-2513

- Soil Cement มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่า 250 ปอนด์/นิ้ว
- Soil Cement Cores มีกำลังรับแรงอัดสูงถึง 410-1400 ปอนด์/นิ้ว
- ถนน Soil Cement ทุกสายทางจะผสมปูนขาวร้อยละ 2 แสดงว่า Raw Soil น่าจะมี P.I สูงมาก
- ถนน Soil Cement ที่แตกเสียหายมักจะมีระดับไล่เลี่ยกับ Original Ground Level

แนวทางการก่อสร้างถนน Soil-Cement ให้ปลอดภัยจากรอยแตก

จากผลการประเมินพฤติภาพของถนน Soil Cement ในช่วงปี 2509-2513 ควบคู่กับผลการศึกษาในระยะหลัง ๆ สามารถจะกำหนดแนวทางการก่อสร้างถนน Soil Cement ให้ปลอดภัยจากการเกิดรอบแตก ดังต่อไปนี้

- ดินที่จะนำมาใช้ทำ Soil Cement ควรมีการคละขนาดดี มีค่า P.I ไม่สูงเกินไปและมีส่วนละเอียดพอควร
- ชั้นทาง Soil Cement ควรมีความหนาพอ โดยปกติไม่ควรน้อยกว่า 15 ซม.
- ถนน Soil Cement ควรวางอยู่บนคันทางที่สูงจากระดับดินเดิมไม่น้อยกว่า 1 เมตร เพื่อลดแนวโน้มของการเกิดรอยแตก อันเนื่องมาจากการแอ่นตัวในฤดูฝน
- กำลังรับแรงอัดของ Soil Cement ต้องไม่สูงเกินไป ควรออกแบบ Soil Cement ให้เป็น Soft Soil Cement ซึ่งมีค่า Elastic Modulus ต่ำ จะทำให้ Soil Cement สามารถแอ่นตัวได้โดยไม่แตก
- ในการปูผิวทางไปบนชั้น Soil Cement Base ควรยืดเวลาการลงผิงทางออกไปช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้ Soil Cement Base แตกจนเต็มที่ก่อนแล้วจึงลงผิวทางในภายหลัง เทคนิคดังกล่าวเรียกว่า Delayed Surface Pavement ซึ่งจะลดรอบแตกผิวลงได้มาก

ถนน Soil Cement ที่ก่อสร้างตั้งแต่ปี 2530 เป็นต้นมา

ตั้งแต่ปี 2530 เป็นต้นมา กรมทางหลวงได้ก่อสร้างถนน Soil Cement ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือหลายสาย ถนน Soil Cement ที่ได้จัดสร้างขึ้นในช่วงหลังนี้มีผิวทางแบบ DBST และแบบ AC ดังต่อไปนี้

1. ถนน Soil Cement ผิวทาง DBST

- เสลภูมิ-โพนทอง 30 กม.
- อำนาจเจริญ-หัวตะพาน-น้ำปลีก 37 กม.
- ศรีสงคราม-นาหว้า-บรรจบ 22 46 กม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กุสุมาลย์-ท่าอุเทน 40 กม.
- อากาศดอำนวย-เซกา 39 กม.
- ท่าตูม-รัตนบุรี 17 กม.
- แยกทางหลวงหมายเลข 2-บ้านโคกสี 23 กม.

2. ผิว ถนน Soil Cement ทาง AC

- กาฬสินธ์-สำชี 28 กม.
- สำชี-ร้อยเอ็ด 18 กม.
- กาฬสินธ์-สมเด็จ 36 กม.
- เลี่ยงเมืองกาฬสินธ์ 8 กม.
- สุรินทร์-จอมพระ 27 กม.
- แยกไป อ.ท่าตูม-อ.จอมพระ 24 กม.
- สังขระ-อ. ขุขันธ์ 37 กม.

นอกจากนี้กรมทางหลวงยังได้ก่อสร้างพื้นทางเป็น Cement Modified Crushed Rock และถนนคอนกรีตที่มีพื้นทางเป็น Soil-Cement อีกหลายสายดังต่อไปนี้

3. ถนนผิวทาง AC. พื้นทาง Cement Modified Crushed Rock

- ทางสายธนบุรี-ปากท่อ กม.28+400- กม.83+200
- ทางสาย อ.ปักธงชัย-นครราชสีมา กม. 101+645 - กม. 132+500

4. ถนนผิวทางคอนกรีต พื้นทาง Cement Modified Crushed Rock

- ทางสายรังสิต-สระบุรี กม.33+000 - กม. 105+650

5. ถนนที่ใช้ชั้นรองพื้นทางเป็น SoilCement Subbase

- ทางสายธนบุรี-ปากท่อ กม. 12+000- 72+400

ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ทำ Soil Cement ในทางสายต่าง ๆ ได้สรุปแสดงไว้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

6. ถนน Soil- Cement ที่อยู่ระหว่างการก่อสร้าง (พ.ศ.2538)

- หนองหาน-กุมภวาปี 36 กม.
- สนามชัย-กิ่ง อ.เจริญศิลป์-ท่าสีไคร 38 กม.
- มหาชนะชัย-ค้อวัง-ยางชุมน้อย ตอน1 24 กม.
- ศรีสะเกษ-กันทรลักษณ์ ตอน2 32 กม.
- พยุห์-ขุนหาญ 39 กม.
- โพนสำนัก-บ้านแก้ง 20 กม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กุฉินารายณ์-เขาวง-49สร้างค้อ	49	กม.
- เสลภูมิ-คำโพนสูง46	46	กม.
- พนมไพร-มหาชนะ25ชัย	25	กม.
- ขุขันธ์-โกกตาล	16	กม.
- อ.บรบือ-วาปีปทุม	38	กม.
- มีชัย-หนามแท่ง	19	กม.
- เลี่ยงเมืองนครพนม	9	กม.

จากตารางที่ 1 เป็นผลสรุปถนน Soil-Cement ผิวทาง DBST. ส่วนใหญ่อยู่ในสภาพดี ไม่มีรอยแตก ไม่มีรอยร่องล้อ จะมี Patching และ Pot Hole เป็นบางจุด ผิวทางที่ก่อสร้างบนถนน Soil-Cement จึงเหมาะสมที่จะเป็นผิวชนิด DBST.

จากตารางที่ 2 เป็นผลสรุปถนน Soil-Cement ที่มีผิวทางเป็น AC ในระยะแรกจะมีปัญหาบ้าง เช่น สายกาฬสินธ์-บ.ลำชี และ บ.ลำชี-ร้อยเอ็ด เมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จจะมีรอบแตกผิวเป็นจำนวนมาก แต่เป็นรอยแตกชนิด Narrow Crack ซึ่งทางโครงการได้แก้ไขโดยการหยอดยางลงไปในรอยแตก เพื่อป้องกันมิให้น้ำไหลซึมลงได้สะดวก เหตุที่ทำให้เกิดรอยแตกเป็นจำนวนมาก เพราะค่ากำลังรับแรงอัดของ Soil-Cement ค่อนข้างสูง (30-40 kg/cm^2) ต่อมาโครงการฯได้ลดกำลังรับแรงอัดลงมาเหลือประมาณ 22 kg/cm^2 ทำให้รอยแตกผิวลดลง ส่วนโครงการฯกาฬสินธ์-อ.สมเด็จ เมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จในช่วงฤดูแล้งไม่พบความเสียหายใดๆ เกิดขึ้น ไม่มีรอยแตกผิว แต่พอเริ่มเข้าฤดูฝนผิวทางเริ่มแตกร้าวและหลุดร่อนจนถึงชั้น Soil-Cement ต่อมาส่วนใหญ่จะอยู่สภาพดี ไม่มีรอยแตกผิว เพราะว่าพยายามควบคุมกำลังรับแรงอัดและวิธีการก่อสร้างให้ถูกต้องตามหลักวิชาการมากยิ่งขึ้น

จากการที่โครงการฯ กาฬสินธ์-บ.ลำชี, โครงการฯ บ.ลำชี-ร้อยเอ็ด เกิดรอยแตกผิว และโครงการฯ กาฬสินธ์-อ.สมเด็จ ได้ทำการ Patching ไว้นั้นกองวิเคราะห์และวิจัยได้ทำการสำรวจ Surfzace Condition โดยวิธี TPMS ของโครงการฯ ดังกล่าว ได้ค่ามาตรฐานความเรียบของทาง (IRI) ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ ค่ารอยร่องล้อที่ปรากฏมีค่าน้อยมาก (ตารางที่ 3 - ตารางที่ 4) แสดงให้เห็นว่าถนน Soil-Cement ที่ผิวทางเป็น AC เมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จเกิดรอยแตกผิว และ Patching เป็นจำนวนมากก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ ส่วนโครงการฯที่ไม่มีรอยแตกผิว แสดงว่าสามารถควบคุมรอยแตกผิวทาง Soil Cement ได้

การก่อสร้างถนนแบบ Soil Cement ในระยะหลังนี้พบว่าไม่ได้ใช้ปูนขาวผสม แสดงว่าดินที่นำมาใช้มีค่า PI ไม่สูงเกินไปทำให้ปลอดภัยจากการเกิดรอยแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับถนน Soil Cement (ผิว D.B.S.T)

ทางสาย	กม.	ก่อสร้างเสร็จ ปี	ปริมาณซีเมนต์ %	กำลังรับแรงอัด kg/cm^2	คุณสมบัติของดิน	สภาพทางและความเสียหาย
อ. เสลภูมิ - อ. โพนทอง	0+000-0+593	2530	3.70-5.10	17.5-23.0	No.200 10-30% L.L = 21-31% P.I = 4-9% C.B.R. = 24%	สภาพส่วนใหญ่ยังดี ไม่มีรอยแตก ไม่มีรอยร่องล้อ มี Patching และ Soft เป็นบางจุด (6 จุด)
อำนาจเจริญ - หัวตะพาน - น้ำปลีก	0+000-37+452	2530	4.60-4.80	18.0-23.6	Grade "B" L.L = 20-30% P.I. = 6-9%	สภาพส่วนใหญ่ยังดี มีรอยแตกเล็กน้อย มี Patching เล็กน้อย ไม่มีรอยร่องล้อ
อ. ศรีสงคราม - อ. นาหว้า - บรรจบทางหลวงหมายเลข 22	0+000-19+200 0+000-27+400	2532	3.80-4.50	19.0-23.0	Grade "B", "C" L.L 20-30% P.I. = 11-13% C.B.R. = 32-45% γ_{dry} = 2.145	สภาพส่วนใหญ่ยังดี ไม่มีรอยแตก มี Patching เล็กน้อย เนื่องจากผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

					- 2.224 gm/cc Abrasion = 40-46%	หลุด สภาพพื้น ทาง Soil Cement ยัง ดีไม่มีรอย ร่องล้อ
อ. กุสุมาลย์ - อ. ท่าอุเทน	0+000- 40+600	2535	4.00- 4.30	17.6- 21.1	Grade "C" L.L = 30-33% P.I. = 8-11% Abrasion = 41-49% γ_{dry} = 2.236 - 2.324 gm/cc	สภาพส่วน ใหญ่ยังดี ไม่มีรอย แตก ไม่มี รอยร่องล้อ มี soft ตรง รอยต่อ ระหว่าง Soil Cement ก็บ ไหล่เป็น บางจุดเล็ก น้อย มีผิว และ Soil Cement หลุดเป็น Pot Hole เล็กน้อย
อ. อากาศอำนวย - อ. เซกา	0+000- 39+020	2536	3.30- 4.40	17.7- 22.0	No.200 = 21- 24% L.L = 30-39% P.I. = 8-14% Abrasion = 36-47%	สภาพดี ไม่ มีรอยแตก ไม่มีร่องล้อ มีผิวและ Soil Cement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

					γ_{dry} 2.252 - 2.360 gm/cc	หลุดเป็น Pot Hole เล็กน้อย
อ.ท่าตูม - อ.รัตนบุรี	0+000-17+000	2536	3.70-4.40	18.0-21.0	Grade "D" L.L = 24-32% P.I. = 7-10% C.B.R = 24-35% Abrasion = 35%	สภาพดี ไม่มีรอยแตก ไม่มีรอยร่องล้อ
แยกทางหลวงหมายเลข 2 บ.โคกสี	0+000-33+631	2536	2.60	18.4-26.6	Grade "C", "D" L.L = 28-33% P.I. = 7-10% γ_{dry} = 2.178 gm/cc O.M.C. = 7.7% C.B.R. = 31.0%	สภาพดี ไม่มีรอยแตก ไม่มีรอยร่องล้อ

หมายเหตุ สำรวจเมื่อพฤษภาคม 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับถนน Soil Cement (ผิว Asphaltic Concrete)

ทางสาย	กม.	ก่อสร้างเสร็จ ปี	ปริมาณซีเมนต์ %	กำลังรับแรงอัด kg/cm^2	คุณสมบัติของดิน	สภาพทางและความเสียหาย
กาฬสินธ์ - บ.ลำชี	0+000-28+000	2532	2.70-3.00	30-40	(A-2-4) L.L = 19-27% P.I. = 4-8% γ_{dry} = 2.168-2.232 gm/cc O.M.C. = 8.0-11%	สภาพส่วนใหญ่ดี มีรอยแตกผิว Narrow Crack จำนวนมาก ไม่มีรอยร่องล้อ
บ.ลำชี-ร้องเอ็ด	28+000-46+300	2533	3.00	22-40	(A-2-4) L.L = 21-27% P.I. = 6-8% γ_{dry} = 2.189-2.217 gm/cc O.M.C. = 8-10%	สภาพส่วนใหญ่ยังดี มีรอยแตกผิว Narrow Crack จำนวนมาก ไม่มีรอยร่องล้อ
กาฬสินธ์ - อ.สมเด็จ	48+700-84+700	2534	3.80-4.24%	17.4-23.8	Grade "B" L.L = 25-27% P.I. = 8-10% γ_{dry} = 2.153-2.214 gm/cc Abrasion Test 41-43%	สภาพส่วนใหญ่ยังดีมีรอย Patching จำนวนมาก ไม่มีรอยร่องล้อ ไม่มี Narrow Crack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี่ยงเมืองกาฬสินธ์	0+000-8+100	2534	3.80-4.24% (ตราช้าง) 4.64-4.92% (จีนแดง)	17.5-20.1	Grade "B" L.L = 28-35% P.I. = 8-11% d = 2.153-2.214 gm/cc Abrasoin Test = 41.33%	สภาพส่วนใหญ่ดี ไม่มี Narrow Crack ไม่มีรอยร่องล้อ มี Patching เล็กน้อย
สุรินทร์ - จอมพระ	0+000+27+875	2533	4.20-4.50	18.2-21.3	Grade "D" L.L = 28-35% P.I = 8-11% C.B.R = 20-35%	สภาพดี มีรอยแตกที่ผิวทาง และไหล่ทางเล็กน้อย ไม่มีรอยร่องล้อ
แยกไป อ.ท่าตูม - อ.จอมพระ	27+875+51+683	2533	4.10-4.30	18.7-21.2	Grade "D" L.L = 28-35% P.I = 8-11% C.B.R = 20-35%	สภาพดี ไม่มีรอยแตก ไม่มีรอยร่องล้อ
อ.สังขระ - อ.ขุขันธ์	189+331-226+230	2536	5.00-5.50	17.8-21.1	- L.L = 34-35% P.I =10-13% C.B.R. = 20-24%	สภาพดี ไม่มีรอยแตกที่ผิว มีรอยแตกที่ไหล่เล็กน้อย ไม่มีรอยร่องล้อ

หมายเหตุ สำรวจเมื่อพฤษภาคม 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 Surface Condition

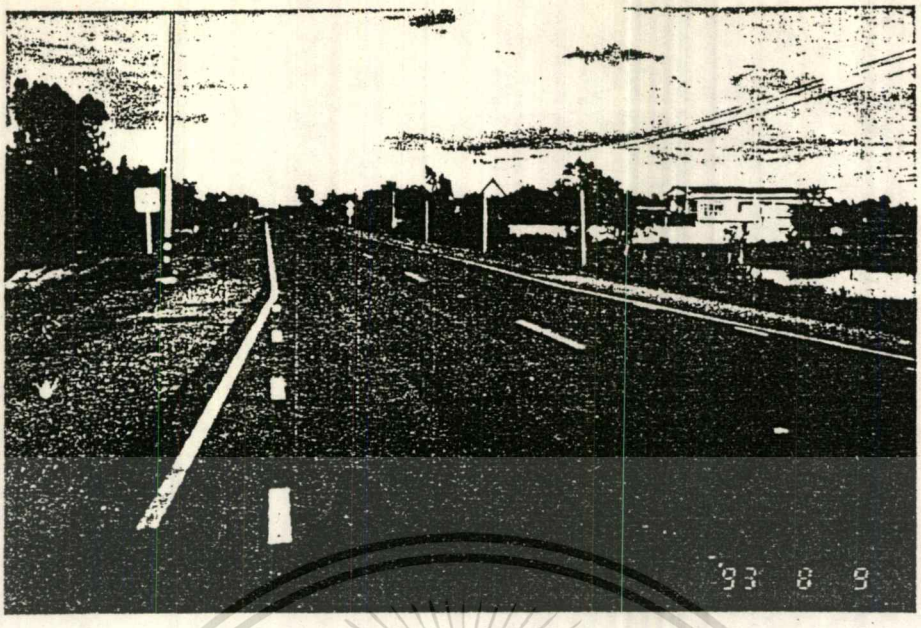
สายการสินธ์-ลำชี

กม.	IRI m/km			Rut(mm)		N.crack	Remark
	05-90	02-91	06-93	L	R		
1+000-2+00	2.18	2.59	2.70	2	2	0	
2+000-3+000	2.39	2.28	4.00	0	0	0.73	
3+000-4+000	2.20	2.36	3.05	0	0	0.05	
4+000-5+000	2.14	2.25	2.75	1	0	1.74	
5+000-6+000	2.30	2.22	2.55	1	0	0.52	
6+000-7+000	2.25	2.23	3.00	0	1	10.37	
7+000-8+000	2.20	2.30	2.95	0	1	15.44	
8+000-9+000	2.34	2.46	3.35	1	1	67.2	
9+000-10+000	2.52	2.41	2.30	1	1	79.0	
10+000-11+000	2.23	2.26	2.20	1	0	70.6	
11+000-12+000	2.39	2.20	2.25	0	0	31.8	
13+000-14+000	4.39	2.61	2.65	1	1	0	
14+000-15+000	4.85	2.50	2.35	1	2	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15+000-16+000	2.33	2.36	2.10	1	0	68.2
16+000-17+000	2.27	2.17	2.30	1	0	92.4
18+000-19+000	2.36	2.50	2.20	0	0	55.4
19+000-20+000	2.36	2.29	2.10	1	1	21.39
20+000-21+000	2.40	2.65	2.60	1	3	42.8
21+000-22+000	2.65	2.05	2.1	0	0	17.0
22+000-23+000	2.47	2.20	2.20	1	0	5.8
23+000-24+000	2.27	2.01	2.15	1	2	1.9
24+000-25+000	2.21	2.18	2.05	1	1	6.5
25+000-26+000	2.31	2.28	2.30	1	2	5.6
26+000-27+000	2.20	2.41	2.70	5	1	3.7
AVG	2.55	2.33	2.53			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

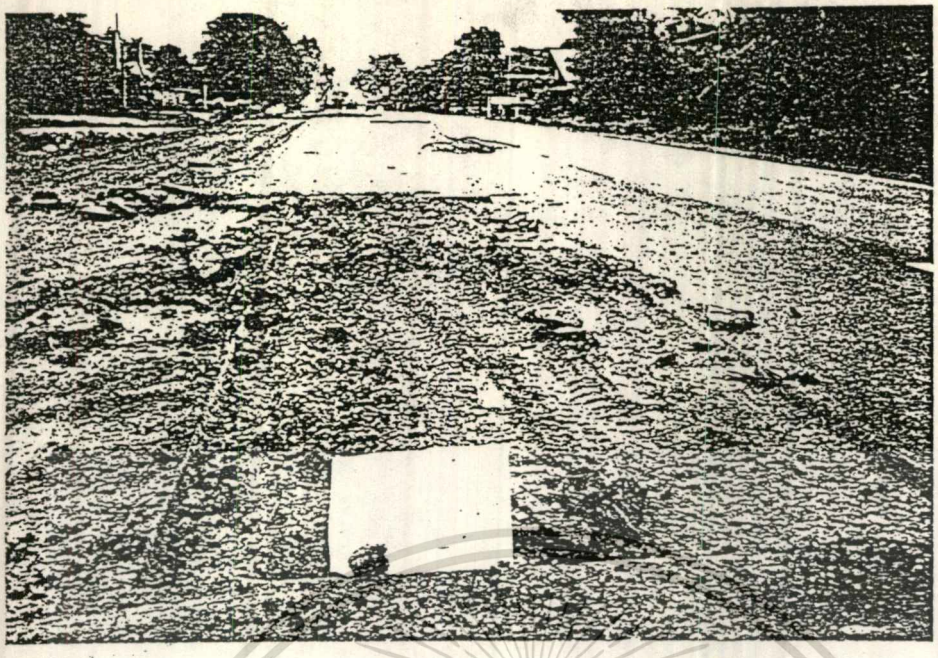


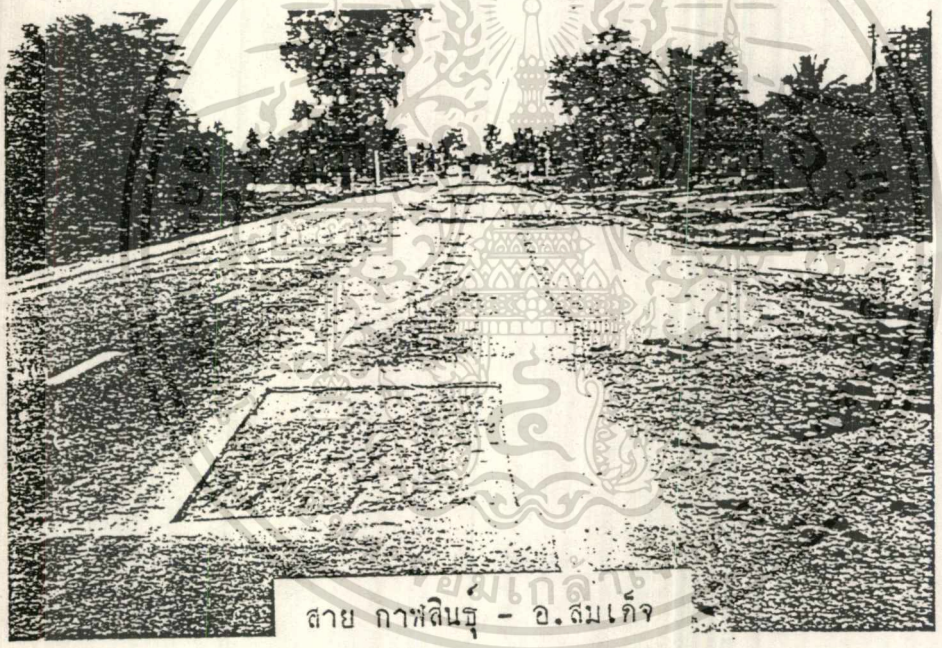


สาย เลี่ยงเมืองกาฬสินธุ์

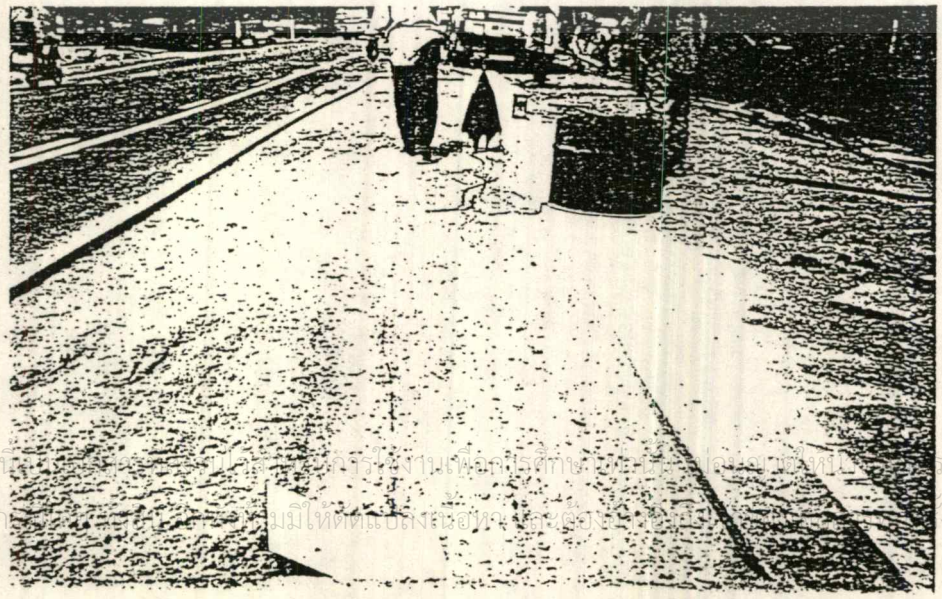


เอกสารนี้เป็นเ ชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด การนำไปใช้





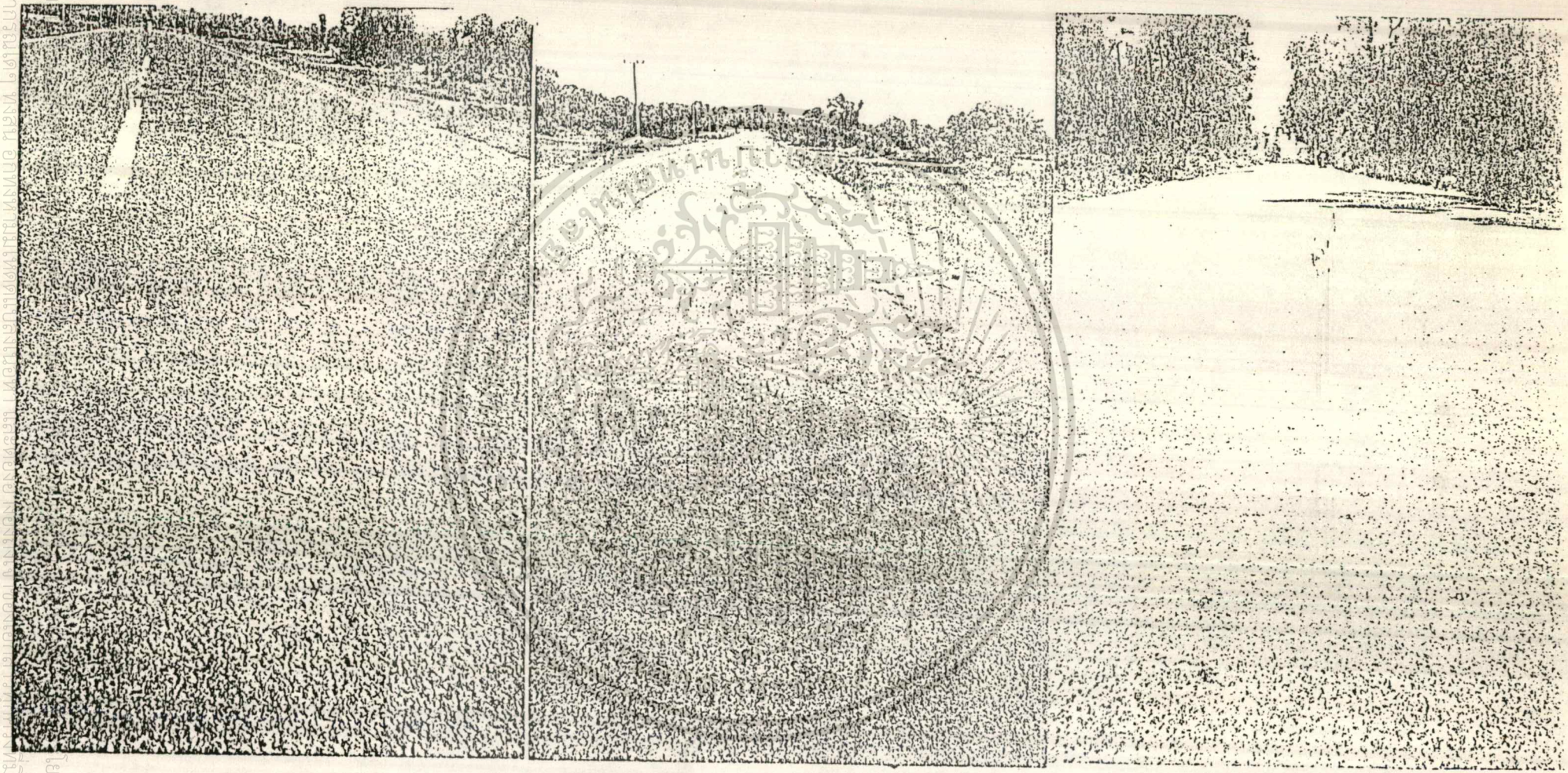
สาย กาฬสินธุ์ - อ.สมเด็จ



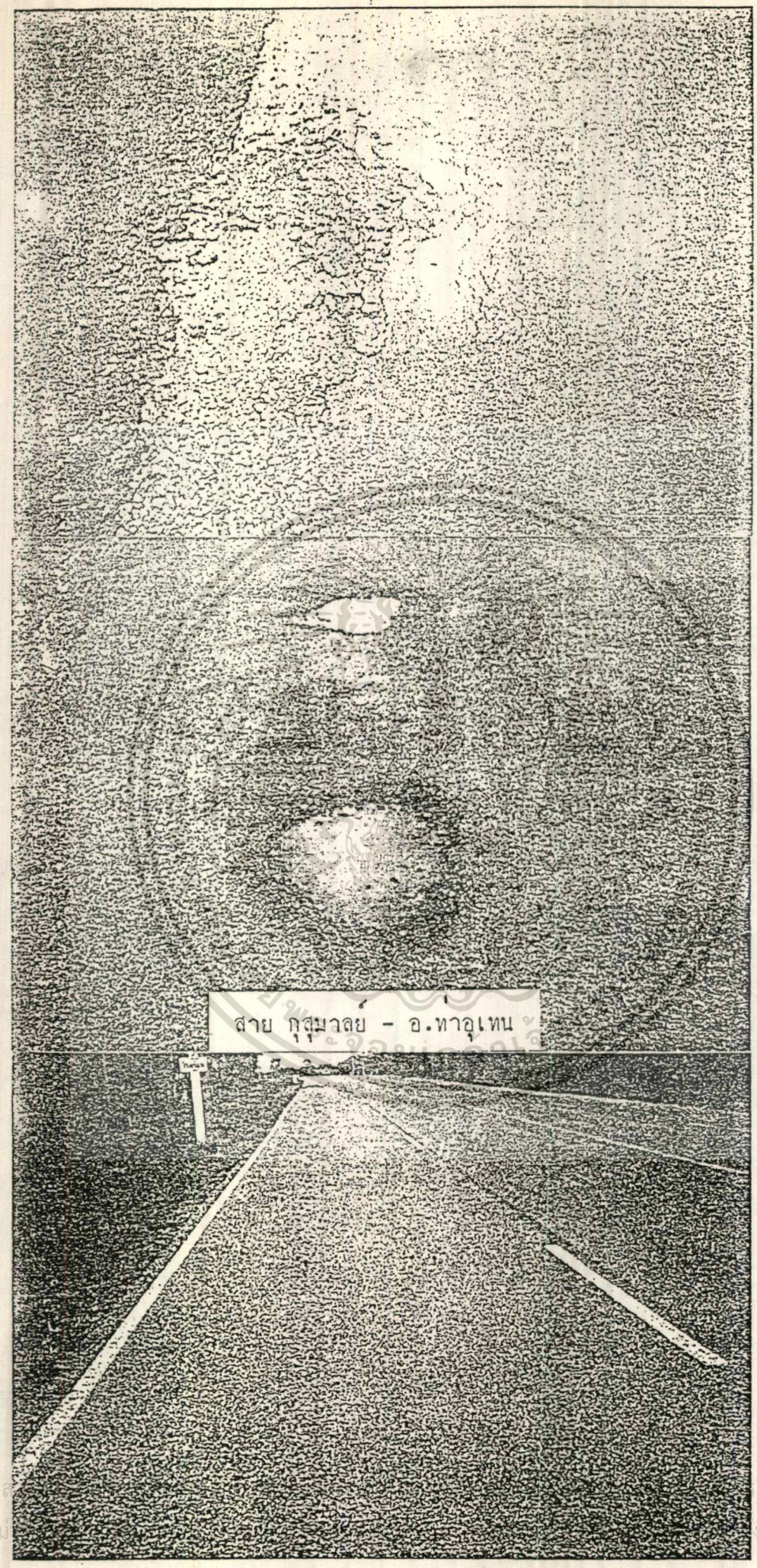
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาย กาฬสินธุ์ - ด่านซ้าย - รอยเลื่อน

เอกสาร ... ะโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่า ... ที่มีการนำไปใช้



สาย อำนาจเจริญ - หัวตะพาน - น้ำปลีก



สาย กุสุมาลย์ - อ.ทาอุเทน

เอกสาร ... ะโยชน์ด้านการค้า
ไม่ ... ที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษา Cement Stabilization ด้วย Cement Column

ข้อกำหนดพิเศษ

การก่อสร้าง Deep Stabilization

ทางสายองครักษ์-นครนายก ช่วงที่เกิด Slide Failure กม. 51-62

การก่อสร้าง Deep Stabilization เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของดินเหนียวซึ่งเป็นดินเดิม โดยการนำสารผสมจำพวกปูนขาวหรือปูนซีเมนต์ หรือปูนขาวและปูนซีเมนต์รวมกันผสมกับดินเดิม การก่อสร้าง Deep Stabilization นี้จะใช้วิธี Wet Mixing หรือ Dry Mixing ก็ได้ ทั้งนี้การกวนหรือผสมดินกับสารผสมที่ระดับต่าง ๆ ของดินจะต้องทำให้ดินเหนียวซึ่งเป็นดินเดิมเกิดเป็นแท่งดิน (Column) ที่มีความแข็งแรง มีขนาด และความลึกตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบและข้อกำหนดนี้

1. สารผสมที่ใช้ผสมกับดินเดิม

สารผสมที่ใช้ผสมกับดินเดิมจะเป็นปูนขาวหรือปูนซีเมนต์ หรือปูนขาวและปูนซีเมนต์รวมกันก็ได้ ปริมาณของสารผสมนี้จะต้องเป็นไปตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณสารผสมที่ใช้ในการทำ Deep Stabilization

สารผสม	ปริมาณที่ใช้ต่อลูกบาศก์เมตรของดินเดิม
ปูนขาว	100 - 250
ปูนซีเมนต์	150 - 300
ปูนขาว+ซีเมนต์	150 - 300

1.1 ปูนขาว

ปูนขาวที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

- ปริมาณ Calcium Oxide (CaO) และ Magnesium Oxide (MgO) รวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 85
- Ignition Loss ไม่มากกว่าร้อยละ 10
- ขนาดของเม็ดปูนขาวต้องผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มม. (# 40) ร้อยละ 100

1.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้จะต้องเป็นปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 ตามมาตรฐาน มอก. 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารผสมจะต้องเก็บไว้ในถังที่ปิดมิดชิด ความชื้นไม่สามารถเข้าไปทำให้สารผสมเสียหาย หรือเสื่อมสภาพหรือแข็งตัวก่อนที่จะใช้งาน

2. การเจาะสำรวจและการผสมทดลอง

ก่อนเริ่มลงมือก่อสร้างไม่น้อยกว่าหนึ่งเดือน ผู้รับจ้างจะต้องส่งรายงานผลการเจาะสำรวจชั้นดินเดิมจำนวนไม่น้อยกว่า 2 หลุม ต่อช่วงที่เกิดการ Slide ของคันทาง และรายงานผลการผสมทดลองให้ผู้ว่าจ้างพิจารณาเพื่ออนุมัติให้ดำเนินการต่อไปได้

2.1 การเจาะสำรวจชั้นดินเดิม

การเจาะสำรวจชั้นดินเดิมต้องเจาะสำรวจไม่น้อยกว่า 2 หลุม ต่อช่วงที่เกิดการ Slide ของคันทางซึ่งจะปรับปรุงคุณสมบัติของดินเดิมโดย Deep Stabilization แต่ละหลุมเจาะมีความลึกไม่น้อยกว่า 15 เมตร และลึกลงไปชั้นดินแข็ง (ดินเหนียวแข็งหรือชั้นทราย) ไม่น้อยกว่า 3 เมตร ทำการเก็บตัวอย่าง Undisturbed Sample โดยใช้ Piston Sampler ทุกระยะ 1.50 เมตร เมื่อดินเดิมเป็นชั้นดินอ่อน (Soft to Medium Clay) และเก็บตัวอย่างพร้อมทั้งหาค่า Standard Penetration Test (SPT) โดยใช้ Split Spoon Sampler ทุกระยะ 1.50 เมตร เมื่อดินเดิมเป็นดินแข็ง นอกจากนี้ในบริเวณที่เกิด Slide จะต้องทำการทดสอบ Dutch Cone Penetration Test ทุกระยะประมาณ 50 เมตร ตามแนวขนานกับถนนแต่อย่างน้อยต้องทำไม่น้อยกว่า 4 หลุม ในช่วงที่เกิดการ Slide หนึ่งช่วง และทดสอบที่ระยะ 10 และ 18 เมตร จากศูนย์กลางของถนนที่เสียหาย การทดสอบ Dutch Cone Penetration Test นี้ จะต้องหา Cone Resistance และ Local Friction ทุกความลึก 0.20 เมตร ความลึกในการทดสอบนั้นจะต้องทดสอบจนกว่า Cone Resistance มากกว่า 2000 กิโลปาสกาล ที่ 5 เมตร ความลึกติดต่อกันหรือจนกว่าจะไม่สามารถกด Cone ต่อไปได้ การเจาะสำรวจดินเดิมและ Dutch Cone Penetration Test นี้จะใช้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลในการพิจารณาหาความลึกของการทำ Deep Stabilization ด้วย

การทดสอบตัวอย่างดินในแต่ละหลุมเจาะ เป็นดังนี้

- หา Natural Moisture Content, Undrained Shear Strength จาก Pocket Penetrometer Test (เฉพาะดินเหนียว) และ Sieve Analysis สำหรับตัวอย่างดินทุกตัวอย่าง
- หา Undrained Shear Strength และ Modulus of Elasticity จาก Unconfined Compression Test รวมทั้ง Unit Weight ของตัวอย่างดินทุกตัวอย่างที่เก็บ แบบ Undisturbed Sample
- หา Liquid Limit, Plastic Limit และ Plasticity Index จำนวน 2 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดินที่เก็บแบบ Undisturbed Sample และ 1-2 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดินที่เป็นดินเหนียวแข็ง
- หาปริมาณ Sodium Chloride (NaCl) ของตัวอย่างดินจำนวน 2 ตัวอย่าง จากตัวอย่างที่เก็บแบบ Undisturbed Sample

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาปริมาณ Organic Content ในตัวอย่างดินจำนวน 2 ตัวอย่าง จากตัวอย่างที่เก็บแบบ Undisturbed Sample

การรายงานผลการเจาะสำรวจดินเดิม และ Dutch Cone Fenetration Test ให้แสดงไว้ในรูปของตารางและกราฟ การสำรวจดิจเดิมให้แสดงตารางสรุปผลของการเจาะและทดสอบดินและเป็น Boring Log ของชั้นดินซึ่งจะแสดงผลของค่าต่าง ๆ ในรูปกราฟของแต่ละหลุมเจาะพร้อมทั้งแนบผลการทดสอบมาไว้ในรายงานด้วย รายงานนี้จะต้องวิเคราะห์ความมั่นคงของคันทาง และคันคลองเมื่อยังมิได้ปรับปรุงคุณภาพของดินเดิม และเมื่อได้ปรับปรุงคุรภาพของดินเดิมโดย Deep Stabilization ตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบด้วย ให้ใช้รูปตัดในบริเวณที่ทำการเจาะสำรวจและทดสอบ Dutch Cone Penetration Test ในการวิเคราะห์ผล

2.2 การผสมทดลอง

รายงานการผสมทดลองประกอบด้วย การทดสอบเพื่อหา Undrained Shear Strength และ Modulus of Elasticity (ทดสอบแบบ Unconfined Compression Test) สำหรับของผสม (Mixture) ซึ่งได้จากดินเหนียวซึ่งเป็นดินเดิมผสมกับปูนขาว หรือปูนซีเมนต์ หรือปูนขาวและปูนซีเมนต์ รายงานนี้จะต้องอธิบายถึงสารผสมที่ใช้ผสมกับดินเดิม วิธีการผสม ปริมาณสารผสมที่ใช้ วิธีการบ่ม วิธีการทดสอบและให้แนบผลของการทดสอบมาในรายงานด้วย

ผลการทดลองจะต้องแสดงไว้ในตารางและรูปกราฟดังนี้

- ตารางสรุปผลการทดลองประกอบด้วย Natural Water Content ของดินเดิมก่อนทำการผสม Water Content หลังจากผสมกับสารผสม Undrained Shear Strength, Modulus of Elasticity และ Unit Weight ของตัวอย่างดินที่ผสมกับสารผสมแล้ว

- กราฟแสดงค่า Undrained Shear Strength ของของผสมกับปริมาณสารผสม กราฟแสดงค่า Undrained Shear Strength ของของผสมกับเวลาที่ใช้ในการบ่ม

ดินเดิมที่ใช้ผสมกับสารผสมจะต้องเป็นดินเหนียวซึ่งเป็นดินเดิมในสายทางนี้ มีสภาพเช่นเดียวกับในสนาม ให้นำดินเดิมที่เป็นดินอ่อน 2 ระดับความลึก และดินเหนียวแข็งที่อยู่ใต้ชั้นดินอ่อน 1 ระดับความลึก มาทำการผสมกับสารผสมเพื่อทดลองหาคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ

สารผสมจะต้องเป็นสารซึ่งผู้รับจ้างจะใช้ในการทำ Deep Stabilization ปริมาณสารผสมใช้ในการทำผสมทดลองเป็นดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ปริมาณของสารผสมที่ใช้ในการทำผสมทดลอง

สารผสม	ปริมาณสารผสมที่ใช้ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรของดินเดิม)
ปูนขาว	100 150 200 250
ปูนซีเมนต์	150 200 250 300
ปูนขาวและปูนซีเมนต์	150 200 250 300

ผู้รับจ้างจะทำการผสมทดลองโดยใช้ปริมาณสารผสมแตกต่างจากที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 2 ก็ได้ แต่อย่างน้อยจะต้องมีการทดลอง โดยใช้ปริมาณสารผสมตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2

การผสมทดลองให้ทำเป็นชุดตัวอย่างเป็นชุด ๆ สำหรับปริมาณที่ใช้สารผสมที่ต่างกัน แต่ละชุดตัวอย่างจะต้องไม่น้อยกว่า 15 ตัวอย่าง และนำมาทดสอบ Unconfined Compression Test เมื่อบ่มตัวอย่างไว้ 1 วัน 3 วัน 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ให้ทดสอบ Unconfined Compression Test ที่เวลาต่าง ๆ กัน ครั้งละไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง การทำผสมทดลองนี้จะต้องใช้ดินเดิมผสมกับสารผสม สารผสมจะต้องเป็นชนิดและลักษณะเดียวกับที่จะใช้ผสมจริงในสนามดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะของสารผสมที่จะใช้ทำผสมทดลอง

วิธีการก่อสร้างในสนาม	การทำตัวอย่างผสมทดลอง
Wet Mixing	นำ Slurry องสารผสมตามอัตราส่วนของน้ำต่อสารผสมที่จะใช้จริงในนามมาผสมกับดินเดิม
Dry Mixing	นำสารผสมมาผสมกับดินเดิม

การทดลองนี้เพื่อใช้ในการพิจารณาหาปริมาณของสารผสมที่ใช้ในสนาม ค่า Undrained Shear Strength ที่หาจาก Unconfined Compression Test ต้องไม่น้อยกว่า 900 กิโลปาสกาล ที่ 28 วัน อย่างไรก็ดีปริมาณสารผสมที่ใช้จริงในสนามจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1

วิธีการทดลอง Unconfined Compression Test ให้ทำตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 105/2515 หรือ ASTM D 2166-85 สำหรับการเตรียมตัวอย่างของการผสมทดลองจะต้องใช้แบบซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 30 มิลลิเมตร สูงไม่น้อยกว่า 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง แบบที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้จะต้องเป็นชนิดซึ่งสามารถถอดจากกันได้โดยที่ไม่รบกวนตัวอย่างดิน การบ่มตัวอย่างดินให้บ่มโดยการคลุมด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำออกจากดินตัวอย่าง

3. วิธีการก่อสร้าง

การก่อสร้าง Deep Stabilization จะต้องใช้เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เหมะสมเพื่อให้ได้ Column ที่ดีตามที่กำหนดไว้ในแบบ และข้อกำหนดจะต้องมี Computer ควบคุมการทำงานและจะต้องมีรายงานการทำ Column แต่ละต้นให้ทราบโดยต้องมี Printout จาก Computer ที่ใช้ควบคุม รายงานการทำ Column ที่ได้จาก Printout ในแต่ละต้นจะต้องได้ผลออกมาทันทีที่ทำต้นนั้น ๆ แล้วเสร็จและจะต้องแสดงความยาวหรือความลึกของ Column ปริมาณสารผสมที่ใช้จริงหรือปริมาณสารผสมที่เหลือในถังเก็บสารผสม กราฟแสดงปริมาณสารผสมที่ใช้ที่ความลึกต่าง ๆ ใน Printout ด้วย

ผู้รับจ้างจะต้องเสนอเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่จะใช้ในการทำ Deep Stabilization ตลอดจน อธิบายวิธีการทำงานของเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้กรมทางหลวงพิจารณาอนุมัติก่อนที่จะดำเนินการไม่น้อยกว่า 2 สัปดาห์ เมื่อผู้รับจ้างได้รับอนุมัติแล้วจะต้องทดลองทำการก่อสร้างในสนามจริงไม่น้อยกว่า 4 ต้นติดต่อกัน ขนาดและความลึกให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในแบบจำนวนไม่น้อยกว่า 3 ต้นเพื่อตรวจสอบความสามารถของเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งวิธีการก่อสร้างด้วย และอีกไม่น้อยกว่า 1 ต้น โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามแบบและความยาวไม่น้อยกว่า 8.0 เมตร ปริมาณสารผสมและชนิดของสารผสมที่ใช้จริงจะต้องได้รับอนุมัติให้ใช้ได้ก่อน ดำเนินการซึ่งอาจหาได้จากการทำผสมทดลอง อย่างไรก็ดีปริมาณสารผสมจะต้องไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 ให้ทำการทดสอบหาค่า Undrained Shear Strength ของ Column ที่ระดับต่าง ๆ เมื่ออายุครบ 3 วัน หรือ 14 วัน หรือ 28 วัน ค่า undrained Shear Strength ของ Column ทุกระดับจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 225 กิโลปาสกาล หรือ 300 กิโลปาสกาล หรือ 450 กิโลปาสกาล ตามลำดับ (กรณีใดกรณีหนึ่ง) ให้ถือว่าใช้ได้ นอกจากนี้จะต้องทดสอบหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกของ Column ว่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 95% ของที่กำหนดไว้ในแบบและความลึกหรือความยาวไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบจึงจะถือว่าใช้ได้

3.1 Wet Mixing

การทำ Deep Stabilization โดยวิธี Wet Mixing นั้นจะต้องมีถังสำหรับเก็บสารผสม ถังเก็บน้ำ ปั๊มน้ำ เครื่องผสมและเครื่องกวนสารผสมซึ่งผสมกับน้ำให้เป็น Slurry เครื่องเจาะและผสม Slurry ลงไปในดิน รวมทั้งอุปกรณ์วัดปริมาณสารผสมที่ใช้ และวัดความดันของ Slurry ที่ฉีดลงไปผสมในดิน นอกจากนี้จะต้องมีอุปกรณ์วัดอัตราความเร็วของการหมุนและการยกขึ้นของก้านเจาะหรือท่อเหล็กที่ใช้สำหรับสำเลียง Slurry ลงไปผสมในดินด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก้านเจาะ หรือท่อเหล็กที่ใช้สำเลียง Slurry ลงไปผสมในดินเดิมนี้จะต้องเป็นท่อยาวต่อเนื่องเป็นท่อนเดียว มีความยาวไม่น้อยกว่าความลึกของการทำ Deep Stabilization ที่กำหนดไว้ในแบบ อัตราความเร็วในการหมุนของก้านเจาะ อัตราการอัดฉีด Slurry และการยกขึ้นของก้านเจาะจะต้องกำหนดในระหว่างการทดลองก่อสร้างจริงในสนาม

สารผสมที่ผสมกับน้ำจะต้องถูกกวนตลอดเวลาเพื่อให้ได้ความข้นสม่ำเสมอ น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำสะอาดปราศจากสารอินทรีย์ ไขมัน และไม่เป็นอันตรายต่อสารผสมที่ใช้ ปริมาณสารผสมต่อน้ำต้องไม่เหลวเกินกว่า 1:1.5 และต้องเป็นอัตราส่วนที่ใช้ทำการผสมทดลองและได้รับอนุมัติให้ใช้ได้แล้วจากผู้ควบคุมงาน ผู้ควบคุมงานจะเก็บตัวอย่าง Slurry ของสารผสมเพื่อตรวจสอบอัตราส่วนของสารผสมกับน้ำเพื่อให้เป็นไปตามที่ได้อนุมัติให้ใช้ทำงานเมื่อใดก็ได้

สารผสมเมื่อผสมกับน้ำแล้วต้องใช้ให้หมดภายในสองชั่วโมง Slurry ของสารผสมที่ผสมไว้เกินกว่าที่กำหนดห้ามนำมาใช้ ยกเว้นจะใช้สารผสมเพิ่ม (Admixture) เพื่อหน่วงการ Set ตัวของสารผสม แต่ทั้งนี้ต้องได้รับอนุมัติจากผู้ควบคุมงานก่อน

ปั๊มสำหรับอัดฉีด Slurry ลงไปในดินจะต้องมีความดันสูงพอที่จะฉีด Slurry ลงไปในดินได้อย่างต่อเนื่อง อัตราการฉีด Slurry นี้ ต้องพอเหมาะที่จะฉีด Slurry ลงผสมกับดินเดิมได้เป็นอย่างดี

ถังเก็บสารผสมจะต้องเป็นถังที่มีฝาปิดมิดชิด เพื่อมิให้ความชื้นเข้าไปทำให้สารผสมเสื่อมคุณภาพก่อนที่จะนำไปใช้งาน

มาตรวัดสารผสมและปริมาณ Slurry ของสารผสมจะต้องมีความละเอียดอ่านได้ถึง 2 กิโลกรัม

3.2 Dry Mixing

การทำ Deep Stabilization โดยวิธี Dry Mixing นั้นจะต้องมีถังสำหรับเก็บสารผสม ปั๊มลม เครื่องจักรสำหรับหมุนแกนเหล็กที่มีใบผสมที่หลายรวมทั้งอุปกรณ์วัดปริมาณสารผสมที่ใช้อุปกรณ์วัดความดันลม อุปกรณ์วัดความเร็วของการหมุนแกนเหล็ก และใบผสมและอุปกรณ์วัดการยกขึ้นของแกนเหล็กด้วย

เครื่องจักรสำหรับหมุนแกนเหล็กและใบผสมจะต้องสามารถหมุนแกนเหล็กในขณะผสมสารผสมกับดินเดิมด้วยความเร็วพอเหมาะ ความเร็วของการหมุนใบผสม และอัตราการยกขึ้นของแกนเหล็กและใบผสมจะต้องกำหนดในระหว่างการทดลองก่อสร้างจริงในสนาม

ใบผสมจะต้องเป็นแบบซึ่งสามารถผสมและกวนดินกับสารผสมให้เข้ากันได้อย่างดี แกนเหล็กซึ่งมีใบผสมอยู่ที่ปลายจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่าขนาดของ Column ที่กำหนดไว้ในแบบ ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบผสมจะต้องไม่มากกว่า 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถังเก็บสารผสมจะต้องปิดมิดชิดเพื่อป้องกันความชื้นเข้าไปทำให้สารผสมเสื่อมคุณภาพก่อนที่จะใช้งาน ถังเก็บสารผสมจะต้องมีมาตรวัดปริมาณสารผสมที่เหลืออยู่ในถัง และสามารถอ่านได้ละเอียดถึง 2 กิโลกรัม

4. <u>การทดสอบในสนาม</u>

การทดสอบในสนามประกอบด้วยการทดสอบหาค่า Undrainde Shear Strength ของ Column ที่ระดับต่าง ๆ และหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของ Column

4.1 การทดสอบหา Undrained Shear Strength ของ Column

การทดสอบหา Undrained Shear Strength ของ Column กระทำโดยทดสอบทุกระยะไม่มากกว่า 1.0 เมตร ตามความลึกของ Column การทดสอบหา Undrained Shear Strength นี้ ให้ทำเมื่อ Column มีอายุครบ 3 วัน หรือ 14 วัน หรือ 28 วัน Undrained Shear Strength ของ Column จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 225 กิโลปาสกาล หรือ 300 กิโลปาสกาล หรือ 450 กิโลปาสกาล ตามลำดับ (กรณีในกรณีหนึ่ง) ให้ถือว่าใช้ได้ อย่างไรก็ดี Column ที่ทำการทดลองก่อสร้างในสนามจำนวน 1 ต้น เพื่อทดสอบหา Undrained Shear Strength นั้น จะต้องทำการหาที่ 3 วัน 14 วัน และ 28 วัน โดยค่า Undrained Shear Strength ที่ 28 วัน จะต้องไม่น้อยกว่า 450 กิโลปาสกาลจึงจะถือว่าใช้ได้ เกณฑ์ในการปฏิบัติงานกรณีที่มีปัญหา กรมทางหลวงจะเป็นผู้พิจารณาตัดสิน

4.2 การทดสอบหาขนาดของ Column

การทดสอบหาขนาดของ Column จะเป็นการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกหรือความยาวของ Column ที่ทำขึ้นในสนาม เพื่อให้ได้ขนาดตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบ

ผู้รับจ้างจะต้องเสนอวิธีการทดสอบหา Undrained Shear Strength เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวหรือความลดกของ Column มาให้กรมทางหลวง พิจารณาอนุมัติก่อนที่จะเริ่มก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายสำหรับการทดสอบนี้เป็นภาระของผู้รับจ้าง

ในการหา Undrained Strength ของ Column นั้นอาจใช้วิธีต่าง ๆ อาทิ การ Coring เก็บตัวอย่างของผสมขึ้นมาและทดลองหา Undrained Shear Strength จากการทำ Unconfined Compression Test การใช้แผ่นโลหะเพื่อเฉือน Column ให้ขาดตามแนวยาวของ Column และหา Undrained Shear Strength การใช้ Non-Destructive Test เช่น การใช้ Sonic Pulse เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของ Column ซึ่งจำเป็นต้องมี Correlation ระหว่างค่าที่วัดได้จากเครื่องมือกับ Undrained Shear Strength เป็นต้น สำหรับการหาขนาดของ Column อาจใช้วิธีการต่าง ๆ อาทิ การ Coring เก็บตัวอย่างตลอดความลึกจำนวนไม่น้อยกว่า 4 จุด ใน Column ต้นใดต้นหนึ่ง การดึง Column ขึ้นมาทั้งต้นเพื่อตรวจสอบ การใช้ Non-Destructive Test เช่น Sonic Pulse เพื่อหาขนาดของ Column เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการหา Undrained Shear Strength และขนาดของ Column นั้นจะใช้วิธีอื่นอีกก็ได้ แต่ทั้งนี้จะต้องเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือว่าสามารถนำมาใช้กับ Deep Stabilization และได้รับอนุมัติจากกรมทางหลวงให้ใช้ได้

ผู้ควบคุมงานมีสิทธิ์ที่จะให้ทดสอบหา Undrained Shear Strength และขนาดของ Column ต้นใดก็ได้ตามที่จะเห็นสมควร

4.3 การตรวจสอบ Column ทดลอง

การทดสอบต่าง ๆ ใน Column ทดลองที่ได้ทำในสนามเป็นดังนี้

- ทดสอบหาขนาดของ Column จำนวน 1 ต้น ตามวิธีการที่ผู้รับจ้างเสนอ
- ทดสอบหาค่า Undrained Shear Strength โดยวิธีการที่ผู้รับจ้างเสนอจำนวนไม่น้อยกว่า 1 ต้น
- ทดสอบ Pile Load Test จำนวน 1 ต้น
- ตรวจสอบความสม่ำเสมอในการผสม ขนาดและรูปร่างของ Column ทดลองซึ่งก่อสร้างไว้ยาวไม่น้อยกว่า 8.0 เมตร จำนวน 1 ต้น โดยการดึง Column ขึ้นมาทั้งต้น

การดึง Column ขึ้นมาทั้งต้นตามที่กล่าวมาข้างต้นจะต้องไม่ทำให้ Column เกิดการแตกหักหรือเสียหาย ให้ผู้รับจ้างทำการตัด Column ที่ดึงขึ้นออกเป็นชิ้น ๆ ตามขวาง ชิ้นละยาวไม่มากกว่า 0.50 เมตร ตรวจสอบขนาด รูปร่างก่อนตัด และความสม่ำเสมอในการผสมตลอดตามความยาวของ Column ผู้รับจ้างจะต้องเสนอวิธีการอื่น เช่น การขุดรอบ Column เพื่อลงไปดูขนาด รูปร่างและตัดขึ้นมาเป็นชิ้น ๆ หรือวิธีการอื่นใดก็ได้เพื่อให้ผู้ควบคุมงานสามารถตรวจสอบ ขนาด รูปร่างและความสม่ำเสมอในการผสมแต่ทั้งนี้ต้องได้รับอนุมัติจากผู้ควบคุมงานก่อน

4.4 การทดสอบ Column ที่ก่อสร้าง

การทดสอบ Column ที่ก่อสร้างเป็นดังนี้

- ทดสอบหาค่า Undrained Shear Strength ของ Column จำนวน 1 ต้น ต่อ Column ทุก ๆ สามพันต้น
- ทดสอบหาขนาดของ Column จำนวน 1 ต้น ต่อ Column ทุก ๆ สามกันต้น

5. <u>ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้</u>

ผู้รับจ้างจะต้องก่อสร้าง Column ให้ได้ขนาด ความลึก ระยะห่าง แนวดิ่ง ตำแหน่ง และมี Undrained Shear Strength ตามที่กำหนดในแบบและข้อกำหนดนี้ ในกรณีที่พบว่า Column มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าหรือมีค่า Shear Strength ต่ำกว่าที่กำหนด ผู้ควบคุมงานมีสิทธิ์ที่จะให้ผู้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้างทำการเสริม Column เพิ่มเติมตามตำแหน่งที่จะกำหนดให้ หรือก่อสร้าง Column ต้น นั้นใหม่ โดยภาระค่าใช้จ่ายเป็นของผู้รับจ้างทั้งสิ้น

ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เป็นดังนี้

- เส้นผ่านศูนย์กลางของ Column ต้องไม่น้อยกว่า 95% ของที่ได้ออกแบบไว้
- Undrained Shear Strength ไม่น้อยกว่าที่กำหนด
- ความเบี่ยงเบนจากแนวดิ่งของ Column ต้องไม่มากกว่า 1%
- ตำแหน่งและระยะห่างระหว่าง Column เบี่ยงเบนไปจากที่แบบกำหนดไม่เกินกว่า 100 มิลลิเมตร ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

Bituminous Stabilization

การปรับปรุงเสถียรภาพดินด้วยแอสฟัลต์ก็เป็นการปรับปรุงเสถียรภาพดินอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งแอสฟัสต์จะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเชื่อมและเป็นตัวป้องกันน้ำ วิธีนี้จะทำให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวหรือกำลังรับแรงดึงเป็นเสมือนวัสดุเม็ดเหลี่ยมขัดกัน และจะลดอัตราส่วนของความชื้นเปลี่ยนเป็นเสมือนดินเหนียวหรือดินตะกอนสำหรับวัสดุที่ใช้ทำพื้นทาง อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้แอสฟัลต์เพียงอย่างเดียวจะไม่เพิ่มความแข็งแรงมากนัก ดังนั้นจึงใช้วิธีการผสมอีมัลชั่นกับปูนขาวหรือกับซีเมนต์ ซึ่งจะทำให้ดินมีคุณสมบัติดีขึ้น

6.1 วัสดุบิทูมินัส

วัสดุบิทูมินัส (หรือบิทูเมน) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่สามารถละลายได้ในคาร์บอนไดซัลเฟต มีลักษณะค่อนข้างแข็งที่อุณหภูมิปกติ เมื่อให้ความร้อนจะมีลักษณะอ่อนและไหลได้ และเมื่อนำมาผสมกับมวลรวมที่สถานะของเหลวแล้วปล่อยให้เย็นตัวลง จะมีลักษณะแข็งและยึดมวลรวมไว้ด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นชั้นผิวจราจรของผิวทาง ดังนั้นจึงนิยมใช้แอสฟัลต์เป็นวัสดุปูผิวทาง (paving materials)

ชนิดของบิทูเมนมีดังนี้

1. แอสฟัลต์ตามธรรมชาติ (Native Asphalts) ได้จากทะเลสาบแอสฟัลต์ในตรินิแดด และบริเวณอื่น ๆ ของแคริเบียน แอสฟัลต์ชนิดนี้มีการนำมาใช้ในผิวทางรุ่นแรก ๆ ของอเมริกาเหนือ

2. แอสฟัลต์จากหิน (Rock Asphalts) เป็นการทับถมของหินที่มีวัสดุบิทูมินัสจะนำไปใช้กับผิวของถนนที่อยู่ในบริเวณที่มีหินชนิดนี้

3. ทาร์ (Tars) เป็นวัสดุบิทูมินัสที่ได้จากการกลั่นถ่านหิน

4. แอสฟัลต์จากปิโตรเลียม (Petroleum Asphalts) เป็นผลิตผลที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ แอสฟัลต์ชนิดนี้นำมาใช้เป็นวัสดุปูผิวบิทูมินัสมากที่สุด และเป็นชนิดที่จะกล่าวถึงในที่นี้

เกรดของวัสดุแอสฟัลต์และอุณหภูมิที่ใช้ ขึ้นกับความหนืด (viscosity) ของแอสฟัลต์

ความหนืดของแอสฟัลต์แปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิเป็นอย่างมาก โดยมีค่าเป็นช่วงจากของแข็งไปจนถึงของเหลวที่ค่อนข้างใส ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิมีความสำคัญมากต่อการออกแบบและการใช้วัสดุเหล่านี้

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของแอสฟัลต์จะมีค่าลดลงและกลายเป็นของเหลวมากขึ้น ของเหลวที่มีความหนืดมาก จะมีลักษณะ "หนา" มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดสัมบูรณ์ (absolute viscosity) หรือ ความหนืดไดนามิก (dynamic viscosity) วัดในหน่วย ปาสคาล.วินาที (Pa.s) เป็นหน่วยเอสไอ และ พอยส์ (poises) เป็นหน่วยที่นิยมใช้ ความหนืดคิเนแมติก (kinematic viscosity) วัดในหน่วย cm^2/s เป็นหน่วยเอสไอ และสโตค (stokes) หรือ เซ็นติสโตค (centistokes) เป็นหน่วยที่นิยมใช้ ค่า 1 สโตค = 100 เซ็นติสโตค = 1 cm^2/s เนื่องจากความหนืดคิเนแมติกมีค่าเท่ากับความหนืดสัมบูรณ์หารด้วยความหนาแน่น (ประมาณ 1 g/ cm^3 สำหรับแอสฟัลต์) ทั้งความหนืดสัมบูรณ์และคิเนแมติกมีค่าที่เป็นตัวเลขเท่ากันโดยประมาณ ในหน่วย พอยส์ และ สโตค

ความหนืดมักจะวัดโดยใช้เครื่องวัดความหนืดเซย์โบลต์ฟูรอล (saybolt furol apparatus) โดยเป็นเวลาที่ใช้ในหน่วยวินาทีของการไหลของของเหลวที่มีปริมาตรตามที่กำหนด การแปลงหน่วยโดยประมาณ คือ 1 วินาที, เซย์โบลต์ฟูรอล (SSF) = 2 เซ็นติสโตค = 0.02 สโตค

แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) เป็นเกรดของแอสฟัลต์ตามค่าของเพนิเทรชัน (penetration value) ซึ่งเป็นความลึกที่ได้จากการทดสอบ โดยใช้เข็มแทงลงในตัวอย่างแอสฟัลต์ที่เตรียมไว้เป็นเวลา 5 วินาทีค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็นหนึ่งในสิบส่วนของมิลลิเมตรภายใต้สภาวะมาตรฐาน เช่น ถ้าเข็มแทงลงไปได้ 9.8 มิลลิเมตร หรือ 98 ส่วนสิบของมิลลิเมตร ค่าเพนิเทรชันจะเป็น 98

รูปที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ แลความหนืด สำหรับแอสฟัลต์ โดยปกติ AC 10 แข็งกว่า AC 5 ดังนั้นถ้าจะลดค่าความหนืดลง ตัวอย่างเช่น ให้มีค่าความหนืดเพียง 1.5 cm^2/s (150 เซ็นติสโตค) จะต้องให้ความร้อนแอสฟัลต์ A ถึง 167° C แต่จะให้ความร้อนแอสฟัลต์ B เพียง 163° C

แอสฟัลต์ C มีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ-ความหนืดที่แตกต่างออกไป ซึ่งเป็นผลจากแหล่งของน้ำมันดิบหรือกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมวัสดุแอสฟัลต์ในการปูผิว จะกำหนดโดยใช้ค่าของความหนืด ซึ่งเป็นการบอกถึงความสามารถในการไหลได้ของวัสดุ และการที่แอสฟัลต์จะไปเคลือบวัสดุมวลรวมโดยไม่เกิดความร้อนที่สูงมากเกินไปได้ดีแค่ไหนในบางครั้งก็มีการกำหนดอุณหภูมิไว้ในช่วงความหนืด 1.5 ถึง 3.0 cm^2/s (150 ถึง 300 เซ็นติสโตค) เช่น แอสฟัลต์ A จาก**รูปที่ 6.2** อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมจะอยู่ระหว่าง 153° C และ 167° C

อุณหภูมิต่ำสุดที่ใช้ในการพ่น ดังตัวอย่างที่ใช้ในการทำผิวแบบซีลโคท ก็จะกำหนดตามค่าของความหนืด 2.0 cm^2/s (200 เซ็นติสโตค) สำหรับแอสฟัลต์ B มีค่าเป็น 156° C

รูปที่ 6.3 แสดงแผนภูมิของปิโตรเลียมแอสฟัลต์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการปูผิวที่สำคัญคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement)
- แอสฟัลต์เหลว (Liquid Asphalt)
- แอสฟัลต์อีมัลชั่น (Asphalt Emulsion)

แอสฟัลต์ซีเมนต์ เป็นผลิตภัณฑ์พื้นฐานที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยมีการผลิตเป็นเกรดของความหนืดต่าง ๆ กัน เกรดที่ใช้กันมาก คือ AC 2.5 AC 5 AC 10 AC 20 และ AC 40 ซึ่งสอดคล้องกับเกรดของ เพนิเทรชัน 200-300 120-150 85-100 60-70 และ 40-50 ตามลำดับ เกรดของความหนืดเป็นความหนืดที่วัดในหน่วย 1 ใน 100 ส่วนของพอยส์ ±50 และ AC 40 จะมีค่าความหนืดเป็น 4000 พอยส์ ±800 เป็นต้น

แอสฟัลต์เหลว คือ คัทแบคแอสฟัลต์ (Cutback Asphalts) เป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับตัวทำละลาย (solvent) เพื่อลดความหนืด ซึ่งจะทำให้การใช้งานได้ง่ายขึ้นที่อุณหภูมิปกติในการพ่นบนวัสดุมวลรวมอาจจะมีการให้ความร้อน (ถ้าต้องการ) เมื่อตัวทำละลายระเหยไป จะมีการบ่มตัวมีลักษณะแข็งขึ้น (cure หรือ harden) และจะยึดกันแน่นกับอนุภาคของมวลรวม

ชนิดและเกรดขึ้นกับชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งจะควบคุมความหนืด และอัตราของการระเหยและการแห้งตัว ชนิด RC (Rapid Curing, บ่มตัวเร็ว) ใช้แก๊สโซลีนเป็นตัวทำละลาย ชนิด MC (Medium Curing) บ่มตัวปากกลาง) ใช้คีโรซีนเป็นตัวทำละลาย และชนิด SC (Slow Curing, บ่มตัวช้า) ใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลาย หรืออาจจะผลิตได้โดยตรงจากการกลั่นน้ำมัน ปริมาณตัวทำละลายโดยทั่วไปใช้ประมาณ 15% ถึง 40% ของทั้งหมด เกรดของแอสฟัลต์เหลวจะมีการควบคุมด้วยค่าความหนืด ดังแสดงในรูปที่ 6.4

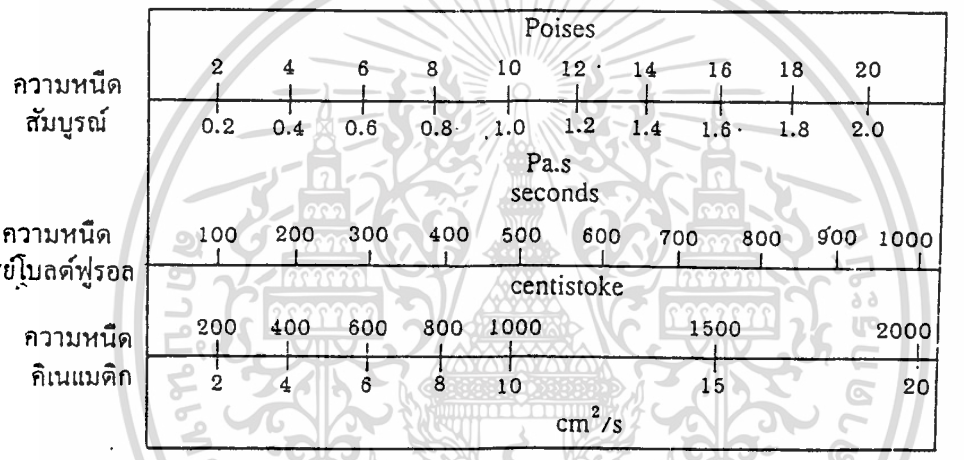
แอสฟัลต์อีมัลชั่น เป็นส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำแต่เนื่องจากองค์ประกอบทั้งสองไม่สามารถรวมกันได้โดยตรง จะต้องมีการเติมสารอีมัลซิไฟด์ (emulsifying agent) (เป็นชนิดหนึ่งของสบู่) ลงไปในส่วนผสม ส่วนของอีมัลซิไฟด์จะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์มีการแตกตัว (break) ออก และกระจายออกในรูปของหยด (droplets) ที่มีขนาดเล็กมากในน้ำ เมื่อใช้งานอีมัลชั่นจะมีการก่อตัว (set) เมื่อน้ำระเหยไป โดยทั่วไปอีมัลชั่นประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 55% -75% และสารอีมัลซิไฟด์ 3% เป็นอย่างมาก แล้วเติมน้ำให้ครบส่วน

โดยทั่วไป แอสฟัลต์อีมัลชั่นมีการผลิตเป็น 2 ประเภท ขึ้นกับชนิดของสารอีมัลซิไฟด์ที่ใช้ คือ

- แคทไอออนิกอีมัลชั่น (Cationic Emulsion) อนุภาคของแอสฟัลต์จะมีประจุบวก
- แอนไอออนิกอีมัลชั่น (Anionic Emulsion) อนุภาคของแอสฟัลต์จะมีประจุลบ

แอนไอออนิกอีมัลชั่น มีการเกาะติดกับอนุภาคของวัสดุมวลรวมที่เปียกและในสภาพอากาศที่หนาวเย็นกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

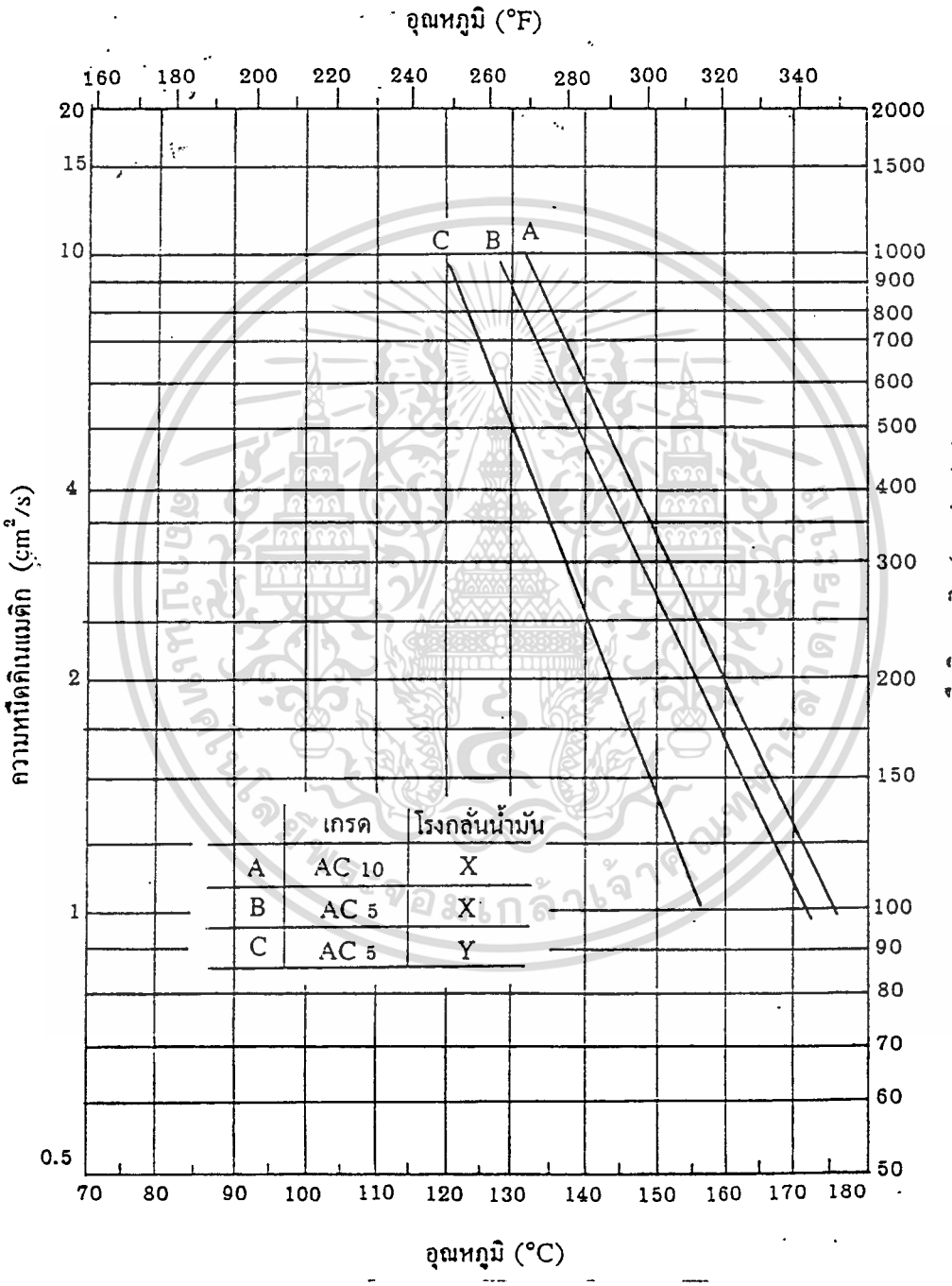


หมายเหตุ : ใช้แนวเส้นดิ่งเพื่อหาค่าแปลงโดยประมาณ

รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยของการวัดความหนืดของแอสฟัลต์ในหน่วยต่างๆ

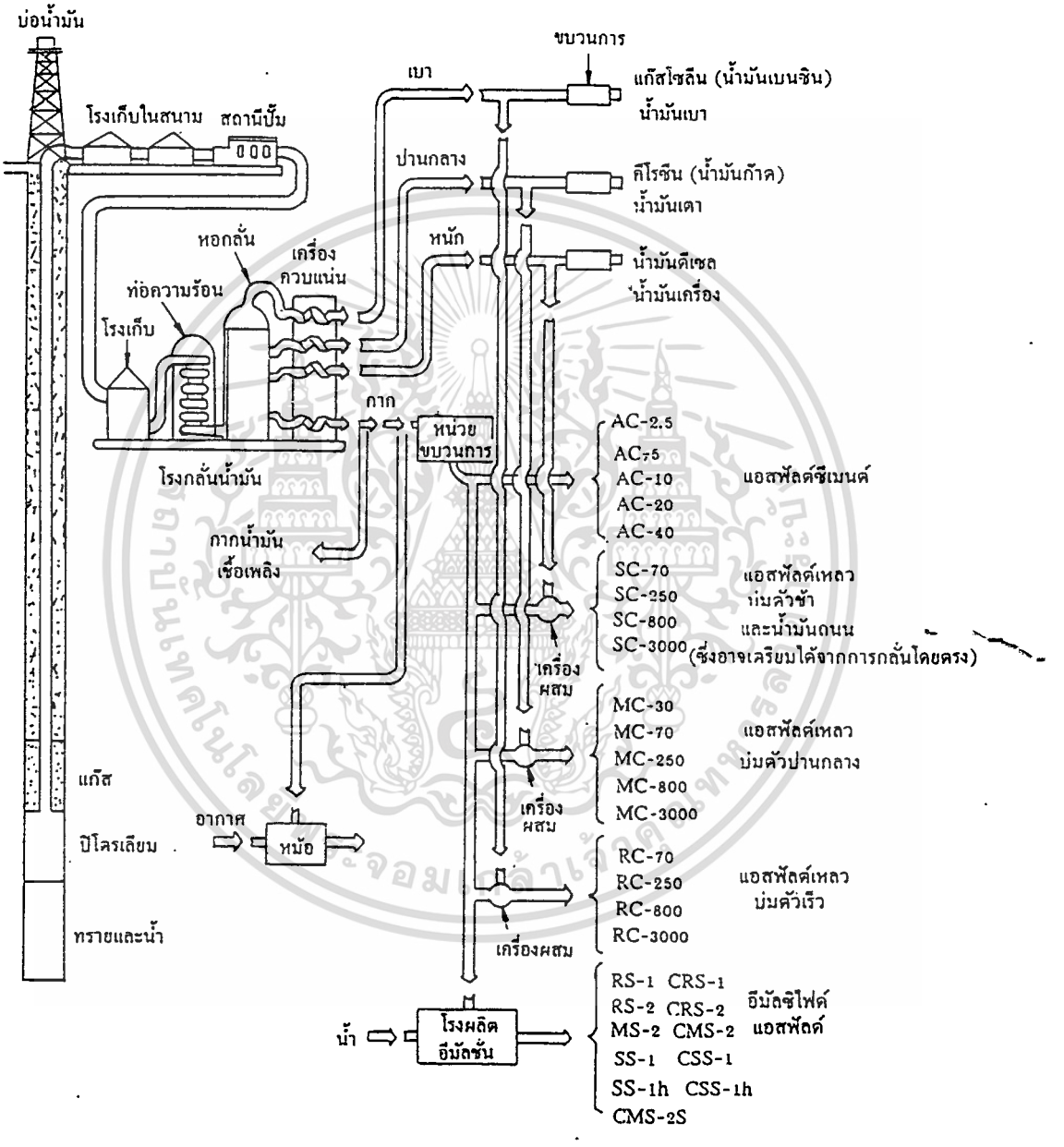
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.2 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิ-ความหนืดสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์



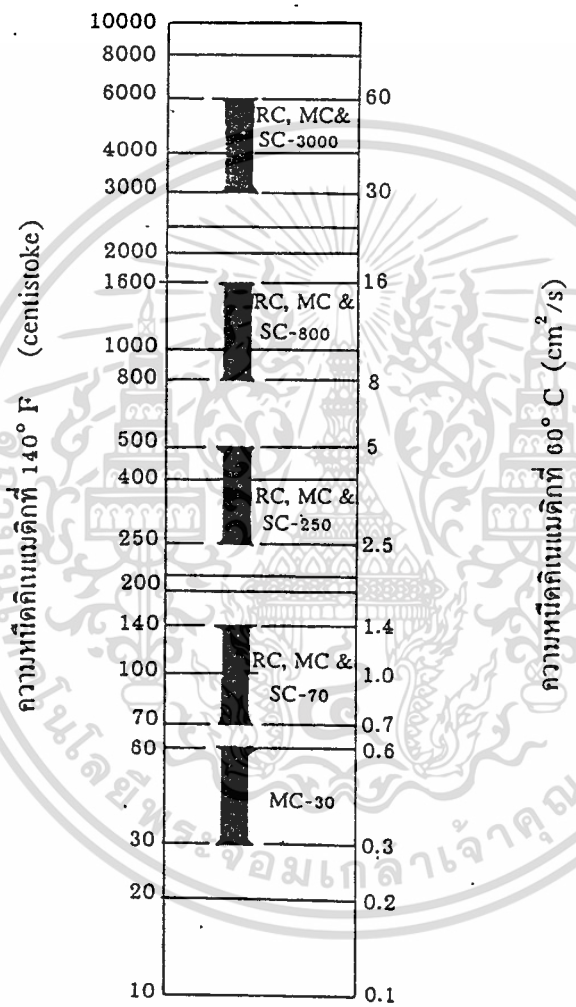
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.3 แผนภูมิของผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.4 เกรดของแอสฟัลต์เหลว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการแข็งตัวของอีมัลชั่น (หรือ การแตกตัว) ขึ้นกับจำนวนและชนิดของสารที่ใช้ ซึ่งมีอยู่ 3 เกรด สำหรับแอสฟัลต์อีมัลชั่นทั้ง 2 ประเภท คือ

1. ชนิดก่อตัวเร็ว (Repid Setting, RS หรือ CRS)
2. ชนิดก่อตัวปานกลาง (Medium Setting, MS หรือ CMS)
3. ชนิดก่อตัวช้า (Slow Setting, SS หรือ CSS)

อักษร C ข้างหน้าแต่ละชนิด หมายถึง ประเภท แคทไอออนิกอีมัลชั่น

แอสฟัลต์ซีเมนต์ประกอบด้วย 3 ส่วนของสารไฮโดรคาร์บอน คือแอสฟัลต์ทีน (asphaltenes) เรซิน (resins) และน้ำมัน (oils)

แอสฟัลต์ทีนเป็นวัสดุผง มีสีดำ และแข็ง ล้อมรอบด้วยเรซิน ซึ่งให้คุณสมบัติการยืดตัว (ductility) และการยึดเกาะ (adhesiveness) แก่แอสฟัลต์ อนุภาคเหล่านี้จะแขวนลอยอยู่ในวัสดุที่เป็นน้ำมัน ซึ่งทำให้แอสฟัลต์ไหลได้ ความข้นเหลว (consistency) หรือ ความแข็งของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ขึ้นกับสัดส่วนของวัสดุทั้งสามในองค์ประกอบนั้น

6.2 <u>การควบคุมคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์</u> มีดังนี้

6.2.1. ความหนืด

มีหลายวิธีที่ใช้วัดความหนืดดังได้กล่าวแล้ว คือ

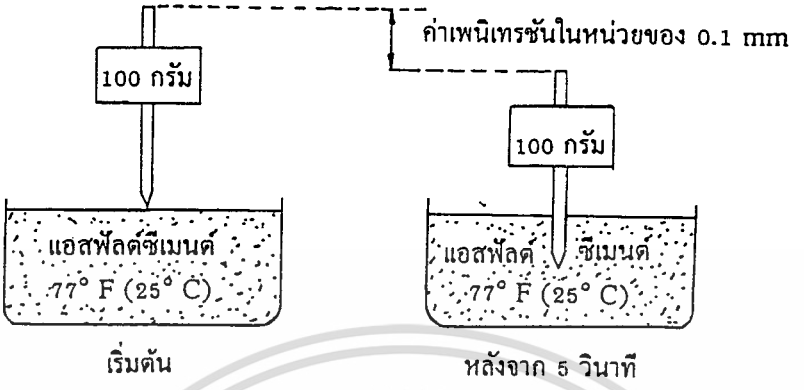
- ความหนืดสัมบูรณ์ วัดโดยใช้หลอดแก้วคะปิลลารีวัดความหนืดแบบสุญญากาศ (Vacumm capillary viscometer) (ตามวิธีทดสอบใน ASTM D 2171)
- ความหนืดคิเนแมติก โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบคิเนแมติก (kinematic viscometer) (ตามวิธีทดสอบใน ASTM D 2170)
- ความหนืดเป็นวินาทีของเซย์โบลต์ฟูรอล วัดโดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ฟูรอล (saybolt furol apparatus) (ตามวิธีทดสอบใน ASTM E 102)
- ค่าเพนิเทรชัน ความลึกที่เข็มมาตรฐานจมตัวลงไปในแอสฟัลต์ซีเมนต์ ได้จากการใช้เครื่องวัดเพนิเทรชัน (penetration apparatus) (ตามวิธีทดสอบใน ASTM D 5) (**รูปที่ 6.5**)

6.2.2. การยืดตัว (ตามวิธีทดสอบใน ASTM D 113)

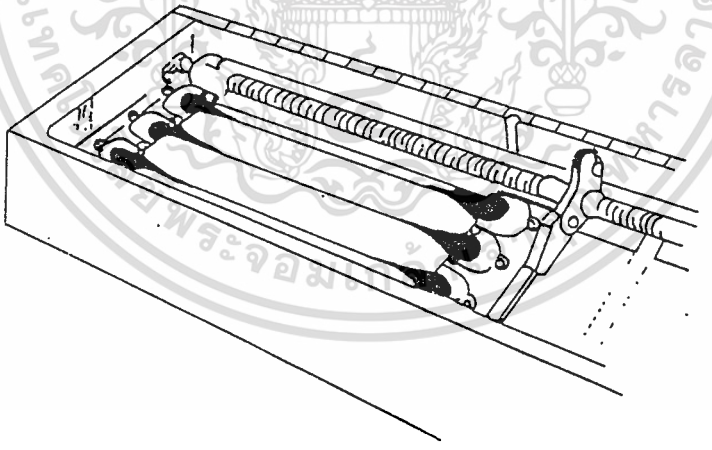
หล่อตัวอย่างแอสฟัลต์ในแบบที่มีลักษณะเป็นก้าม 2 อันประกบกัน แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ทำการดึงตัวอย่างจากก้ามหนึ่งไปยังอีกก้ามหนึ่งด้วยอัตราคงที่มาตรฐาน ระยะที่ดึงตัวอย่างได้เป็นเส้นก่อนที่ตัวอย่างจะขาดออกจากกันในหน่วยเซนติเมตร จะเป็นค่าการยืดตัว (**รูปที่ 6.6**)

6.2.3. การทดสอบอบฟิล์มบาง (ตามวิธีทดสอบใน ASTM D 1754)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 การทดสอบเพนิเทรชั่นของแอสฟัลต์ซีเมนต์



รูปที่ 6.6 การทดสอบการยืดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุแอสฟัลต์ที่ใช้ในการปูผิวทาง จะมีลักษณะเป็นชั้นผิวที่บางมาก และเชื่อมอนุภาคของมวลรวมไว้ด้วยกัน คุณสมบัติของส่วนผสมโดยเฉพาะความคงทนจะขึ้นกับคุณสมบัติของฟิล์ม ที่บางของแอสฟัลต์เป็นอย่างมาก การทดสอบอบฟิล์มบาง (thin film oven test) จะทำโดย นำตัวอย่างที่บางมาให้ความร้อนในตู้อบเป็นระยะเวลาหนึ่ง หลังจากอบแล้ว จะนำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อหาอัตราการแข็งตัวตามอายุของแอสฟัลต์

6.2.4. ความสามารถในการละลาย (ตามวิธีทดสอบใน ASTM D 2042)

เป็นการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของแอสฟัลต์

6.2.5. จุดวาบไฟ (ตามวิธีทดสอบใน ASTM D 92)

การทดสอบจุดวาบไฟ (flash point) นี้เป็นการหาอุณหภูมิที่จะให้ความร้อนวัสดุแอสฟัลต์โดยปลอดภัย

เกรดและข้อกำหนดของแอสฟัลต์มักจะยึดตามเกรดของเพนนิเตรชั่น แต่ก็มีหลายหน่วยงานที่เปลี่ยนไปใช้ระบบเกรดของความหนืด (viscosity grading system) ซึ่งมีความเป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์มากกว่า ข้อกำหนด ASTM ที่ยึดตามระบบเหล่านี้มีแสดงในตารางที่ 6.1 และ 6.2 ในตารางที่ 6.2 มีทั้งหมด 3 ข้อกำหนด โดยทั่วไป จะใช้ตารางที่ 1 นอกจากจะมีการกำหนดเป็นอย่างอื่นโดยผู้ซื้อ หน่วยงานที่กำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมากยึดถือตามคุณสมบัติของกากที่เหลือ (Residue) จากการทดสอบของการอบฟิล์มบาง จะใช้เกรด AR-1000 ถึง AR-16000 ข้อกำหนดแสดงในตารางที่ 3 ของตารางที่ 6.2

ข้อกำหนดของแอสฟัลต์เหลวและแอสฟัลต์อีมัลชั่นมีอยู่ในมาตรฐานของ ASTM และ AASHTO เช่นเดียวกับในหนังสือของสถาบันแอสฟัลต์ (Asphalt Institute)

6.3 <u>ดินที่สามารถปรับปรุงโดยใช้แอสฟัลต์</u> (Asphalt Stabilization)

การปรับปรุงดินด้วยวัสดุแอสพัลต์ เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นทาง (Base Course) และผิวทาง (Surface Course) ของถนนนับได้ว่าเป็นที่นิยมแพร่หลายกันมาก ที่ถูกนำมาใช้ในงานปรับปรุงดิน มีด้วยกัน 3 ชนิด คือ Asphalt Cement, Cutback Asphalt และ Emulsified Asphalt นอกจากนี้ วัสดุดิน (Soil) หรือมวลรวม (Aggregate) ที่จะนำมาใช้ในงานนี้ เพื่อให้เกิดประสิทธิผลที่ดี จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมขนาดหรือปริมาณให้เพียงพอ Winterkorn ทำการทดลอง และสรุปขนาดของมวลรวมที่เหมาะสมในการนำมาปรับปรุงด้วยแอสพัลต์ ดังตารางที่ 6.3 อีกทั้งทางสถาบัน The American Road Builder ได้ทำการสรุปขนาดของดินที่เหมาะสมในการทำงการปรับปรุงด้วย Asphalt ดังตารางที่ 6.4 นอกจากนี้ทางสถาบัน The Asphalt Institute ซึ่งทำงานเกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมการทางมาโดยตลอด ได้ทำการรวบรวมข้อมูลของการปรับปรุงดินด้วย Asphalt เพื่อให้ได้ชั้นพื้นทางที่ดี โดยกำหนดคุณสมบัติไว้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ข้อกำหนดสำหรับเพนิเทรชั่นเกรดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ (ASTM D946)

ค่าจากการทดสอบ	เพนิเทรชันเกรด									
	40–50		60–70		85–100		120–150		200–300	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
ค่าเพนิเทรชันที่ 77° F (25° C) 100 g, 5 s	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
จุดวาบไฟ, °F (Cleveland Open Cup)	450	.....	450	.....	450	.....	425	.....	350	.....
ค่าการยืดตัวที่ 77° F (25° C) 5 cm/min, cm	100	.....	100	.....	100	.....	100	.....	100	.....
ค่าเพนิเทรชัน ที่เหลือหลังการทดสอบอบฟิล์มบาง, %	55+	.....	52+	.....	47+	.....	42+	.....	37+	.....
ค่าการยืดตัว ที่ 77° F (25° C) 5 cm/min, cm หลังการทดสอบอบฟิล์มบาง	.....	.....	50	.....	75	.....	100	.....	100	.....
การละลายในไตรคลอโรเอทธิลีน, %	99.0	.....	99.0	.....	99.0	.....	99.0	.....	99.0	.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2

มาตรฐานสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามเกรดของความหนืด (มาตรฐาน ASTM D 3381)*

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามเกรดของความหนืด
ที่อุณหภูมิ 140° F (60° C)
หมายเหตุ : เป็นเกรดที่ยืดตามแอสฟัลต์เดิม

การทดสอบ	เกรดของความหนืด				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
ความหนืด, 140° F (60° C), P	250±50	500±100	1000±200	2000±400	4000±800
ความหนืด, 275° F (135° C), ค่าต่ำสุด, cSt	80	110	150	210	300
ค่าเพนิเทรชัน, 77° F (25° C), 100 g, 5 s, ค่าต่ำสุด	200	120	70	40	20
จุดวาบไฟ (Cleveland Open Cup), ค่าต่ำสุด, °F (°C)	325(163)	350(177)	425(219)	450(232)	450(232)
การละลายในไตรคลอโร-เอทธิลีน, ค่าต่ำสุด, %	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
การทดสอบกากที่ได้จากการทดสอบอบฟิล์มบาง :					
- ความหนืด, 140° F (60° C), ค่าสูงสุด, P	1250	2500	5000	10,000	20,000
- การยืดตัว, 77° F (25° C), 5 cm/min ค่าต่ำสุด, cm	100[n]	100[n]	50	20	10

[n] ถ้าการยืดตัวมีค่าน้อยกว่า 100 cm วัสดุจะใช้ได้ถ้าการยืดตัวที่ 60° F (15.5° C) มีค่าต่ำสุดเป็น 100 cm ที่อัตราการดึง 5 cm/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 (ต่อ)

มาตรฐานสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามเกรดของความหนืด (มาตรฐาน ASTM D 3381)*

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามเกรดของความหนืด
ที่อุณหภูมิ 140° F (60° C)

หมายเหตุ : เป็นเกรดที่ยึดตามแอสฟัลต์เดิม

การทดสอบ	เกรดของความหนืด				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
ความหนืด, 140° F (60° C), P	250±50	500±100	1000±200	2000±400	4000±800
ความหนืด, 275° F (135° C), ค่าต่ำสุด, cSt	125	175	250	230	400
ค่าเพนิเทรชัน, 77° F (25° C), 100 กรัม, 5 วินาที, ค่าต่ำสุด	220	140	80	60	40
จุดวาบไฟ (Cleveland Open Cup), ค่าต่ำสุด, °F (°C)	325(163)	350(177)	425(219)	450(232)	450(232)
การละลายในไตรคลอโร-เอทธิลีน, ค่าต่ำสุด, %	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
การทดสอบกากที่ได้จากการทดสอบอบฟิล์มบาง :					
- ความหนืด, 140° F (60° C), ค่าสูงสุด, P	1250	2500	5000	10,000	20,000
- การยืดตัว, 77° F (25° C), 5 cm/min ค่าต่ำสุด, cm	100[n]	100[n]	75	50	25

[n] ถ้าการยืดตัวมีค่าน้อยกว่า 100 cm วัสดุจะใช้ได้ถ้าการยืดตัวที่ 60° F (15.5° C) มีค่าต่ำสุดเป็น 100 cm ที่อัตราการดึง 5 cm/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 (ต่อ)

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามเกรดของความหนืด
ที่อุณหภูมิ 140° F (60° C)

หมายเหตุ : เป็นเกรดที่ยึดตามกากที่เหลือที่ได้จากการทดสอบอบฟิล์มบางแบบหมุน

การทดสอบกากที่ได้จากการทดสอบอบฟิล์มบางแบบหมุน[ก]	เกรดของความหนืด				
	AR-1000	AR-2000	AR-4000	AR-8000	AR-16000
ความหนืด, 140° F (60° C), P	1000±250	2000±500	4000±1000	8000±2000	16000±4000
ความหนืด, 275° F (135° C), ค่าต่ำสุด, cSt	140	200	275	400	550
ค่าเพนิเทรชัน 77° F (25° C), 100 g, 5 s, ค่าต่ำสุด	65	40	25	20	20
% ของค่าเพนิเทรชันเดิม, 77° F (25° C), ค่าต่ำสุด	.....	40	45	50	52
การยืดตัว, 77° F (25° C), 5 cm/min, ค่าต่ำสุด, cm	100[ข]	100[ข]	75	75	75
การทดสอบกากที่ได้จากการทดสอบอบฟิล์มบาง :					
- จุดวาบไฟ (Cleveland Open Cup), ค่าต่ำสุด, °F (°C)	400(205)	425(219)	440(227)	450(232)	460(238)
- การละลายในไตรคลอโรเอทธิลีน, ค่าต่ำสุด, %	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

[ก] อาจจะใช้การทดสอบอบฟิล์มบาง แต่การทดสอบอบฟิล์มบางแบบหมุนจะใช้เป็นวิธีอ้างอิง

[ข] ถ้าการยืดตัวมีค่าน้อยกว่า 100 cm วัสดุจะใช้ได้ถ้าการยืดตัวที่ 60° F (15.5 ° C) มีค่าต่ำสุดเป็น 100 cm ที่อัตราการดึง 5 cm/min

* พิมพ์ซ้ำโดยได้รับอนุญาตจาก The American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 แสดงคุณลักษณะของดินชนิดต่างๆที่เหมาะสำหรับการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์

TYPES OF SOIL BITUMEN AND CHARACTERISTICS OF SOILS
EMPIRICALLY FOUND SUITABLE FOR MANUFACTURE

มองไม่เห็น	Soil Bitumen.	+ Sand Bitumen.	Waterproofed Granular Stabilization, %		
Passing			A	B	C
1 1/2	...	...	100		
1	...	+-	80-100	100	
3/4 in	...	...	65-85	80-100	100
NO.4	>50	100	40-65	50-75	80-100
NO.10	...	...	25-35	40-60	60-80
NO.40	35-100	...	15-30	20-35	30-35
NO.100	...	...	10-20	13-23	13-30
NO.200	10-50	<12;<25	8-12	10-16	13-30
	Characteristics of Fraction Passing no.40 Sieve				
Liquid limit	<40	...	...	...	...
Plasticity Index	<18	...	10;<15	<10;15	<10;15
Field moisture equiv.		...	<20%	...	...
Linear shrinkage		...	<5%	...	...

- Proper or general.

+- Maximum size not larger than 1/3 of layer thickness; if compacted in several layers, nol larger thickess of one layer.

- Lower values for wide and higher values for narrow gradation band of sand. If more than half passes, restrictions are placed as indicated on field moisture equivalem and linear shrinkage.

A certain percentage of-200 or filler material is indirectly requires to pass supplementary stability test.

Values between 10 and 15 permitted in certain cases.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 แสดงขนาดและปริมาณของดินพร้อมค่า PI ที่เหมาะสำหรับดินที่ปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์ (American Road Builders Association, 1953)

GRADING AND PLASTICITY REQUIREMENTS

FOR SOIL-BITUMEN MIXTURES

Sieve Size	Percent Passing
No. 40	50 - 100
No. 200	0 - 35
Atterberg Limits	**Maximum Value**
Liquid limit	30
Plasticity index	10

ตารางที่ 6.5 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินที่เหมาะสมในการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์ (Herrin, 1960)

ENGINEERING PROPERTIES OF MATERIALS

SUITABLE FOR BITUMINOUS STABILIZATION

% Passing Sieve	Sand-Bitumen	Soil-Bitumen	Sand-Gravel-Bitumen
1-1/2"			100
1"	100		
3/4"			60-100
No. 4	50-100	50-100	35-100
10	40-100		
40		35-100	13-50
100			8-35
200	5-12	good - 3-20 fair - 0-3 and 20-30 poor - > 30	0-12
Liquid Limit		good - < 20 fair - 20-30 poor - 30-40 unusable - > 40	
Plasticity Index	< 10	good - 5 fair - 5-9 poor - 9-15 unusable - > 12-15	<10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ต้องมีปริมาณของขนาดเม็ดดินที่ลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานหมายเลข 200 ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนักทั้งหมด

ข. ค่า Sand Equivalent ต้องน้อยกว่า 25

ค. ค่า Plasticity Index ต้องไม่เกิน 6

จากผลการทดลองในทำนองเดียวกันของ Inc. of Ockland, California, และ Chevron Asphalt Company ได้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงแต่ยังให้ข้อแตกต่างที่ว่าค่า Sand Equivalent อนุญาติให้สูงได้ถึง 30 และค่า Iiquid Limit ต้องไม่เกิน 35 ด้วย Herrin ได้แสดงผลงานของเขาไว้ ดังตารางที่ 6.5 โดยสรุปข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับที่กล่าวไว้ข้างต้นทั้งหมด

ดังนั้น ดินที่สามารถที่จะนำมาทำการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์ จึงได้แก่ดินประเภท A-1-a, A-1-b, A-2-4M A-2-6, A3, A4 และ low plasticity A6 ตามการแบ่งชนิดดินของ AASHTO และหากจะแบ่งชนิดของดินจากวิธีของ Unified Classification System ได้แก่ SW, SP, SE-SM, SE-SC, SM, SC, SM-SC, GW, GP, CW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, GM, GC และ GM-GC โดยค่า Plastic Index และขนาดของเม็ดวัสดุจะเป็นไปตามที่กำหนด

6.4 <u>บรรทัดฐานในการปรับปรุงดินด้วยแอสฟัลต์</u>

ประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ

ก. การเลือกประเภทของแอสพัลต์

ข. การหาปริมาณแอสพัลต์ที่ต้องใช้

ค. การทำการประเมินผลที่ได้จากการปรับปรุงดิน

6.4.1การเลือกประเภทของแอสฟัลต์

มีความสำคัญมากเนื่องจากจะช่วยให้ความสะดวกและง่ายในการทำงาน นอกจากนั้นยังช่วยให้ราคาถูกลงและเกิดประสิทธิผลในการทำงานด้วย ที่ประเทศสหรัฐอเมริกามีการประเมินผลอย่างคร่าว ๆ ได้ว่า มีอยู่ถึงร้อยละ 71 ของการปรับปรุงดินด้วยแอสพัลต์ทั้งหมดที่เป็นการปรับปรุงด้วยแอสพัลต์ซีเมนต์ การเลือกชนิดของแอสพัลต์มาใช้งาน มักจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินและคุณสมบัติเฉพาะของดินเป็นสำคัญ ดังตัวอย่างการสรุปการจัดขนาดของดินเพื่อนำมาปรับปรุงด้วยแอสพัลต์ซีเมนต์เพื่อนำมาทำเป็นวัสดุชั้นพื้นทาง โดยสถาบันของรัฐแคลิฟฟอร์เนีย (California) และเท็กซัส (Texas) ดังตารางที่ 6.6 ส่วนขนาดของเม็ดวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงด้วยแอสพัลต์ประเภท Cutback Asphalt ดังตารางที่ 6.7 สรุปโดย U.A. Navy และการสรุปคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวมเพื่อใช้ Emulsified Asphalt ในการปรับปรุง นำมาใช้ทำวัสดุพื้นทาง ดังตารางที่ 6.8 ซึ่งเป็นการรวบรวมโดยสถาบัน The Asphalt Institute และตารางที่ 6.9 เป็นการรวบรวมโดย Chevron Asphalt Company เพื่อหาขนาดคละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของดินในการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์ นอกจากนี้ยังได้แสดงเป็นแผนภาพในการเลือกของ Cutback Asphalt โดยอาศัยคุณสมบัติของเม็ดดินที่ลอดผ่านตะแกรงหมายเลข 200 และอุณหภูมิของดินมาช่วยการพิจารณา ในการใช้แอสพัลต์ประเภท Emulsified Asphalt ค่อนข้างจะมีความยุ่งยากและซับซ้อนกว่า การใช้แอสพัลต์ประเภทอื่นในการปรับปรุงคุณภาพของดิน แต่สามารถที่จะนำมาใช้กับดินที่มีความละเอียดมากได้ด้วย คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องถึงการเลือกใช้ Emulsified Asphalt คือ ประจุที่ผิวของเม็ดดิน เพื่อที่จะเลือกใช้ Emulsified Asphalt ประเภท Cation หรือ Anion นอกจากนี้ยังจะต้องคำนึงถึงปริมาณของดินที่ร่อนผ่านตะแกรงหมายเลข 200 และปริมาณของน้ำในดินอีกด้วย สถาบัน Asphalt Institute ได้ทำการสรุปความเหมาะสมในการเลือกใช้ Liquid Asphalt ให้เหมาะสมกับประเภทของดินอย่างคร่าว ๆ ดังตารางที่ 6.10 Herrin ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยของเขา อีกทั้งยังได้อ้างอิงถึงผลการทดลองของ The Asphalt Institute และ Illinois Division of Highway และได้สรุปไว้ด้วยตารางที่ 6.11 จากที่ได้กล่าวแล้วว่า จากคุณสมบัติของประจุที่ผิวของเม็ดดินมาเกี่ยวข้องกับการเลือกประเภทของ Emulsified Asphalt องค์ประกอบที่จะทำให้เกิดประจุที่ผิวของเม็ดดินที่สำคัญก็คือ Silica และ Alkaline ดังนั้น Mertins และ Wright จึงได้ทำการสรุปงานวิจัยของเขาทั้งสองเป็นการหาความสัมพันธ์ในการเลือกประเภทของ Emulsified Asphalt จากสัดส่วนโดยน้ำหนักขององค์ประกอบทั้งสอง ดังรูปที่ 6.7 นอกจากนี้ยังได้สรุปถึงอัตราส่วนที่คิดเป็นร้อยละของ ธาตุ Silica และ Alkaline โดยน้ำหนักรวมของธาตุทั้งสองชนิดในมวลรวมชนิดต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 6.8 และจากการรวบรวมข้อมูลจากสถาบันต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมการทาง ทำให้สามารถสรุปเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของแอสพัลต์ทั้งสามชนิด ดังตารางที่ 6.12, 6.13 และ 6.14

6.4.2 การหาปริมาณของแอสฟัลต์

การหาปริมาณของแอสฟัลต์ที่ใช้ในการปรับปรุงมวลรวม อาจทำได้ด้วยกันหลายวิธีแต่หากจะทำการแบ่งตามกระบวนการทั่ว ๆ ไป จะกระทำได้ถึงสองวิธีด้วยกันคือ

ก. ประเมินหาปริมาณแอสฟัลต์จากวิธีการทดลองที่คำนึงถึงคุณสมบัติของดินเป็นหลัก จุดประสงค์ของการหาปริมาณแอสฟัลต์วิธีนี้ คำนึงถึงปริมาณแอสพัลต์ที่จะต้องเคลือบผิวของเม็ดวัสดุ จากการทดลองของ %he Asphalt Institute, Oklahoma Depeartment of Highway, Mokesson และ Bird ได้ทำการสรุปสมการหาปริมาณของแอสพัลต์ได้ดังสมการ

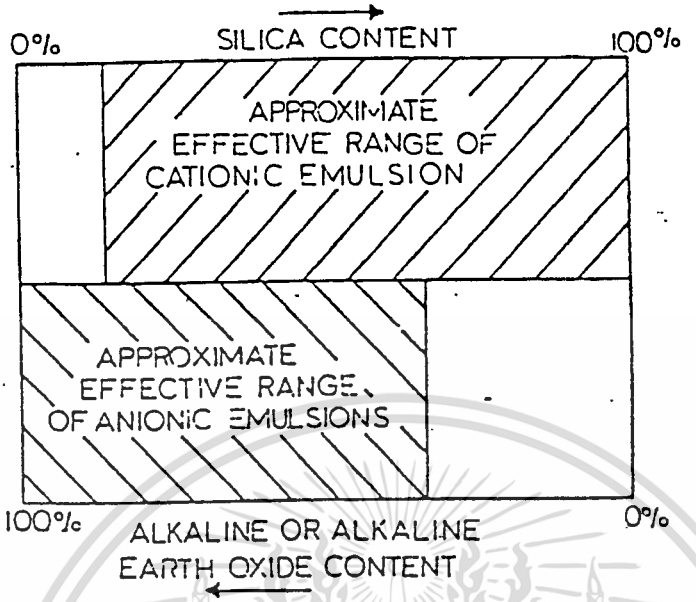
$$A = SA \times t \times r \quad \text{.....6.1}$$

โดยที่ A = Percent Asphalt

t = Asphalt film thickness

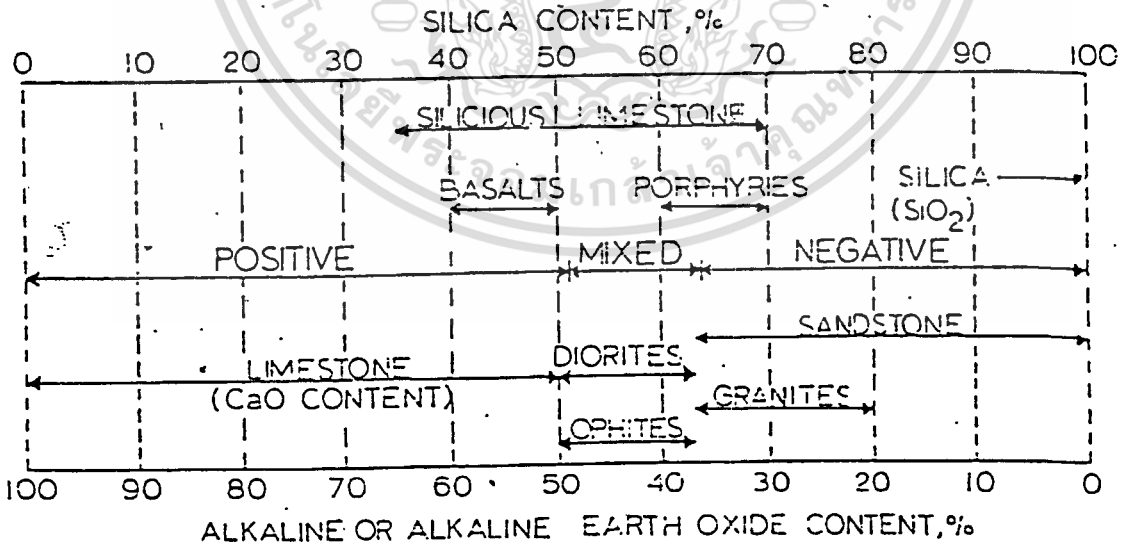
SA = Surface area of Soil or aggregate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 แสดงความเหมาะสมในการเลือกอิมัลชั่นประเภทแคทอิออนหรือแอนอิออน

(Mertens and Wright, 1959)



รูปที่ 6.8 แสดงปริมาณธาตุซิลิก้า และสารอัลคาไลน์ของมวลรวมชนิดต่างๆ

(Mertens and Wright, 1959)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 ขนาดของดินที่เหมาะสมในการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์เพื่อเป็นชั้นพื้นทาง

(California Division of Highway, 1969)

TYPICAL ASPHALT CEMENT TREATED BASE COURSE REQUIREMENT

Sieve Size	Percent Passing by Weight	
	California	Texas
1 3/4 inch		97-100
1 1/4 inch	100	
1 inch	95-100	
3/4 inch	80-95	
3/8 inch	50-65	
No. 4	35-50	
No. 10		30-55
No. 30	12-25	
No. 200	2-7	

ตารางที่ 6.7 แสดงขนาดของดินทรายประเภทต่างๆ ที่เหมาะสำหรับการปรับปรุงด้วยแอสฟัลต์

(U.S. Army, 1968)

Sieve Size	Percent passing sieve for soils that are:			
	Poorly-graded sands	Well-graded sands	Silty sands	Semi-processed*
1 1/2"	--	--	--	100
1"	--	--	--	80 - 100
3/4"	--	--	--	--
1/2"	100	100	100	--
#4	75 - 100	75 - 100	75 - 100	25 - 85
#16	--	35 - 75	--	--
#50	--	15 - 30	--	--
#100	--	--	15 - 65	--
#200	0 - 25	5 - 12	12 - 25	3 - 15

*Semi-processed crusher, pit, or bank-run aggregates.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 แสดงค่าขนาดคละ PI และค่าการทนต่อการขัดสีของดินที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงด้วยอีมัลชั่น เพื่อใช้ทำวัสดุชั้นพื้นทางของถนน

(The Asphalt Institute, 1958)

Sieve Size	Percent Passing by Weight		
	2 inch maximum	1-1/2 inch maximum	3/4 inch maximum
2-1/2 inch	100		
2 inch	90-100	100	
1-1/2 inch		90-100	
1 inch			100
3/4 inch	50-80	50-80	80-100
No. 4	25-50	25-50	25-50
No. 200	3-15	3-15	3-15

Other Requirements

a. Plasticity Index 6 maximum
b. Resistance Value 75 minimum
c. Loss in Los Angeles Abrasion Machine 50 percent maximum
d. Product of Plasticity Index and the percent passing the No. 200 sieve shall not exceed 60.

ตารางที่ 6.9 ขนาดคละของดินที่เหมาะกับการปรับปรุงด้วยอีมัลชั่น

(Chevron Asphalt Co, 1969)

TYPICAL AGGREGATES SUITABLE FOR TREATMENT WITH EMULSIFIED ASPHALTS

Category	ASTM Test Method	Processed Dense Graded Aggregates	SANDS			Semi-Processed Crusher, Pit or Bank Run Aggregates
			Poorly Graded	Well Graded	Silty Sands	
Gradation: 1½"		100				100
% Passing 1"		90-100				80-100
¾"		65-90				—
½"		—	100	100	100	—
# 4		30-60	75-100	75-100	75-100	25-85
16	C-136	15-30	—	35-75	—	—
50		7-25	—	15-30	—	—
100		5-16	—	—	15-55	—
200		4-12	0-12	5-12	12-25	3-15
Sand Equivalent, %	D-2419	30 Min.	30 Min.	30 Min.	30 Min.	30 Min.
Plasticity Index	D-424	—	NP	NP	—	—
Untreated Resistance R Value		78 Min.	60 Min.	60 Min.	60 Min.	60 Min.
Loss in Los Angeles Rattler (after 500 revolutions)	C-131	50 Max.*	—	—	—	60 Max.

*Must have at least 25% Crush Count
*See AASHO T-174, T-175, and T-176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.10 ประเภทของคัทแบคและอิมัลชั่นที่เหมาะกับดินบางประเภท

SUITAABLE TYPES OF BITUMEN FOR STABILIZTION

Type of Soils	Cutback Asphalts	Emulsions
Open-graded aggregate	RC-250,RC-800	MS-2
Well-graded aggregate with little or no fine aggregate and material Passing the no. 200 sieve	RC-250,RC-800	MS-2
	MC-250,MC-800	SM-K
	SC-250,SC-800	SS-1,SS-K
Aggregate containing a considerable percentage of fine aggregate and material passing No. 200 sieve		SS-1,SS-1h
		SS-K,SS-Kh
	SC-250,SC-800	MS-2
	SC-250,SC-800	CM-K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.11 การเลือกชนิดของแอสฟัลต์ให้เหมาะกับชนิดของมวลรวม

(Herrin, 1960)

SUITABLE TYPES OF BITUMINOUS MATERIALS

Sand-Bitumen	Soil-Bitumen	Crushed Stones and Sand-Gravel-Bitumen
Hot Mix:	Cold Mix:	Hot Mix:
(a)		(a)
AC-85-100	RC-70,250,800	AC-85-100
100-150		
	(a) (b) MC-70,250,800	
(b)		(b)
85-100		85-100
100-120	SC-70,250,800	100-120
120-150		120-150
Cold Mix:		Cold Mix:
(a) (b) RC-70,250,800		(a) (b) RC-70,250,800
MC-250,800		MC-250,800
Emulsions	Emulsions	Emulsions
(a) (b)	(a) (b)	(a) (b)
SS-1	SS-1	SS-1
		MS-2
(a)	(a)	(a)
SS-LH	SS-LH	CM-K
SS-K	SS-K	
SS-KH	SS-KH	
SM-K	SM-K	

(a) Refers to Institue Nomenclature.

(b) Refers to illinois Division of Highways Nomenclature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Penetration Grade, Designation	Penetration 50-60 AP-6	60-70 AP-5	70-85 AP-4	85-100 AP-3	100-200 AP-2	120-150 AP-1
Water*	The material shall be free from water					
Specific gravity, 77°/77°F**	------	------	------	------	------	------
Flash point (Cleveland Open Cup) °F	347+	347+	347+	347+	347+	347+
Softening point, °F**	104-140	104-140	104-140	104-140	95-131	95-131
Penetration 77°F, 100 gm., 5 sec.	50-60	60-70	70-85	85-100	100-120	120-150
Ductility, 77°F, cm.	40+	40+	40+	-------	-------	-------
Loss on heating, 325°F, 5 hr., Percent	1-	1-	1-	1-	1-	1-
Penetration of residue, 77°F, 100 gm., 5 sec., % of original	60+	60+	60+	60+	60+	60+
Solubility in carbon disulfide, Percent	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+
Insoluble organic matter, Percent	0.2-	0.2-	0.2-	0.2-	0.2-	0.2-
Spot test, standard naptha solvent†	Negative for all grades of petroleum asphalt					
Application Temperature, °F	250-325	250-325	250-325	250-325	250-325	250-325

* General requirement. The material shall be homogeneous, free from water, and shall not foam when heated to 346°F.

** Uniformity. The material furnished under Fed. Spec. SS-A-706b for a given contract, type, and grade shall be uniform in character, and samples from deliveries shall not vary more than + 41°F in softening point, within the limits specified above, nor more than ± 0.010 in specific gravity, from the results of tests on a representative sample furnished by the contractor prior to delivery.

† Not a part of specification SS-A-706b.

ตารางที่ 6.12 แสดงมาตรฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์

(Federal Specification SS-A-706b)

Grades	Rapid Curing RC-0	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5	Medium Curing MC-0	MC-1	MC-2	MC-3	MC-4	MC-5
Water	The material shall be free from water						The material shall be free from water					
Flash point (Tag. open cup), °F	------	------	80+	80+	80+	80+	100+	100+	150+	150+	150+	150+
Furol viscosity at:												
77°F	75-150	------	------	------	------	------	75-100	------	------	------	------	------
122°F	------	75-150	------	------	------	------	------	75-100	------	------	------	------
140°F	------	------	100-200	250-500	------	------	------	------	100-120	250-500	------	------
180°F	------	------	------	------	125-250	300-600	------	------	------	------	125-250	300-600
Distillation:												
Distillate (% total distillate to 680°F)												
To 374°F	15+	10+	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------
To 437°F	55+	50+	40+	25+	8+	------	25-	20-	10-	5-	0	0
To 500°F	75+	70+	65+	55+	40+	25+	40-70	25-65	15-55	5-40	30-	20-
To 600°F	90+	88+	87+	83+	80+	70+	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80	20-75
Residue from distillation to 600°F, volume, % of sample, by difference	50+	60+	67+	73+	78+	82+	50+	60+	67+	73+	78+	82+
Tests on residue from distillation:												
Penetration 77°F, 100 gm., 5 sec.	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductility 77°F, 5 cm. per sec., cm.*	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Percent soluble in carbon tetrachloride	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+
Spot test, standard naptha solvent**	Negative for all grades						Negative for all grades					

Grades	Slow Curing SC-0	SC-1	SC-2	SC-3	SC-4	SC-5
Water, %	0.5-	0.5-	0	0	0	0
Flash point (Cleveland open cup), °F	150+	150+	175+	200+	225+	250+
Furol viscosity at:						
77°F	75-150	------	------	------	------	------
122°F	------	75-150	------	------	------	------
140°F	------	------	100-200	250-500	------	------
180°F	------	------	------	------	125-250	300-600
Asphalt residue of 100 penetration, percent	40+	50+	60+	70+	75+	80+
Distillation:						
Total distillate to 680°F, percent by volume	15-40	10-30	5-25	2-15	10	5-
Tests on residue from distillation:						
Float test at 122°F, sec.	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150	75-200
Ductility at 77°F, cm.	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Percent soluble in carbon tetrachloride***	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+
Application temperatures, °F	50-120	80-125	150-200	175-250	175-250	200-275

* For medium curing cutbacks, if penetration of residue is more than 200 and its ductility at 77°F is less than 100, the material will be acceptable if its ductility at 60°F is 100+.

** Not part of specification

*** If the material fails to meet the requirement for solubility, it will be acceptable if its solubility in CS_2 is 99% and the proportion of bitumen soluble in CCl_4 is 99.5%+.

[taken from Federal Specifications SS-A 671a]

ตารางที่ 6.13 แสดงมาตรฐานของคัทแบคแอสฟัลต์

(Federal Specification SS-A-671a)

ตารางที่ 6.14 แสดงมาตรฐานของอีมัลชั่น

(Federal Specification SS-A-0074c)

Tests	ANIONIC					
	Rapid Setting		Medium Setting		Slow Setting	
	RS-1	RS-2	MS-1	MS-2	SS-1	SS-1h
TESTS ON EMULSION						
Viscosity, Furol, 60 ml., 77°F, sec.	20-100	--	--	100-700	20-100	20-100
Viscosity, Furol, 60 ml., 122°F., sec.	--	75-400	50-500	--	--	--
Residue by distillation, percent	57-62	62-69	60-67	62-69	57-62	57-62
Settlement, 7 day, maximum, difference	3	3	3	3	3	3
Demulsibility:						
50 ml. 0.10 N $CaCl_2$, percent	--	--	--	0-30	--	--
35 ml. 0.02 N $CaCl_2$, percent	60+	60+	--	--	--	--
Sieve test, maximum, percent	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibility with water, hours	--	--	--	2	--	--
Aggregate Coating-Water Resistance test	--	--	Pass	--	--	--
Cement mixing test, maximum percent	--	--	--	--	2.0	2.0
Oil Distillate, percent by volume, max.	--	--	12	--	--	--
TESTS ON RESIDUE FROM DISTILLATION TEST						
Penetration, 77°F., 100 gm., 5 sec.	100-200	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Soluble in CCl_4, minimum percent	97	97	97	97	97	97
Ash, maximum, percent	2	2	2	2	2	2
Ductility at 77°F, minimum, cm.	40	40	40	40	40	40

Tests	CATIONIC					
	Rapid Setting		Medium Setting		Slow Setting	
	RS-2K	RS-3K	SM-K	CM-K	SS-K	SS-Kh
TESTS ON EMULSION						
Viscosity, Furol, 60 ml., 77°F, sec.	--	--	--	--	20-100	20-100
Viscosity, Furol, 60 ml., 122°F, sec.	20-100	100-400	50-500	50-500	--	--
Residue by distillation, percent	60-65	65-72	60-65	65-72	57-62	57-62
Settlement, 7 day, max., difference	3	3	3	3	3	3
Sieve test, maximum, percent	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Aggregate Coating-Water Resistance test						
Dry Aggregate (Job), min. pct. coated	--	--	80	80	--	--
Wet Aggregate (Job), min. pct. coated	--	--	60	60	--	--
Cement mixing test, maximum percent	--	--	--	--	2	2
Particle Charge test	Positive	Positive	Positive	Positive	--	--
pH, maximum	--	--	--	--	6.5	6.5
Oil Distillate, percent by volume, max.	5	5	20	12	--	--
TESTS ON RESIDUE FROM DISTILLATION TEST						
Penetration, 77°F., 100 gm., 5 sec.	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Soluble in CCl_4, minimum, percent	98	98	98	98	97	97
Ductility at 77°F., minimum, cm.	40	40	40	40	40	40

[taken from Federal Specification SS-A-00674C]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r = Unit weight of asphalt

ทาง Oklahoma Department of Highway ยังได้สรุปการหาปริมาณของแอสพัลต์เป็นกรณีเฉพาะของ Cutback Asphalt ดังสมการ

$$p = k + 0.005\,a + 0.01\,b + 0.06\,c \quad \text{.....6.2}$$

โดยที่ p = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของเนื้อวัสดุแอสพัลต์โดยคิดเทียบน้ำหนักของมวลรวมแห้ง

a = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของ Mineral Aggregate ที่ลอดผ่านตระแกรงมาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 10

b = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของ Mineral Aggregate ที่ลอดผ่านตระแกรงมาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 40

c = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของ Mineral Aggregate ที่ลอดผ่านตระแกรงมาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 200

k = 1.5 เมื่อค่า Plasticity Index < 8 และเท่ากับ2.0 เมื่อค่า

Plasticity Index $> b$

The Asphalt Institute ได้ทำการแยกสมการการหาปริมาณของแอสพัลต์เหลวออกได้ 2 สมการ ตามประเภทของ Asphalt โดยที่สมการที่ 6.3 ใช้กับแอสพัลต์ประเภทคัทแบคแอสพัลต์ (Cutback Asphalt) และสมการที่ 6.4 จะใช้กับแอสพัลต์ประเภทอีมัลชั่นแอสพัลต์ (Emulsion Asphalt)

$$p = 0.02\,(a)+0.07(b)+0.15(c)+0.20(d) \quad \text{.....6.3}$$

p = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของเนื้อวัสดุแอสพัลต์ โดยคิดเทียบน้ำหนัก ของมวลรวมแห้ง

a = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของ Mineral Aggregate ที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 50

b = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของ Mineral Aggregate ที่ผ่านบนตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 50 และค้างบนตะแกรงหมายเลข 100

c = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของ Mineral Aggregate ที่ผ่านบนตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 100 และค้างบนตะแกรงหมายเลข 200

d = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของ Mineral Aggregate ที่ผ่านบนตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

p = 0.05 (a)+0.1 (b)+0.5 (c).....6.4

โดยที่ p = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของอีมัลชั่นแอสพัลต์ โดยคิดเทียบน้ำหนักจากมวลรวมแห้ง

a = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของ Mineral Aggregate ที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 8

b = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของ Mineral Aggregate ที่ผ่านบนตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 8 และค้างบนตะแกรงมาตรฐานหมายเลข 200

c = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของ Mineral Aggregate ที่ลอดผ่านตะแกรง มาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 200

Mckesson ได้ทำการสรุปการหาปริมาณแอสพัลต์ที่คล้ายคลึงกับสมการของ The Asphalt Institute อย่างมาก โดยสรุปไว้ด้วยสมการ

p = 0.15 (0.09+0.010B+0.50C).....6.5

โดยที่ p = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของอีมัลชั่นแอสพัลต์ โดยน้ำหนักของทรายแห้ง

A = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของทราย ที่ค้างตะแกรงมาตรฐานอเมริกันหมายเลข 10

B = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของทราย ที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันหมายเลข 10 และค้างบนตะแกรงมาตรฐานหมายเลข 200

C = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของทราย ที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันหมายเลข 200

Bird ได้ทำการศึกษาถึงการประเมินหาปริมาณของแอสพัลต์ประเภทอีมัลชั่นที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณดิน เป็นเปอร์เซนต์ที่ลอดผ่านตะแกรงหมายเลข 200 โดยกำหนดถึงสองสมการ ดังสมการที่ 6.6 จะใช้กับดินที่มีปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของเม็ดดินที่ลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน หมายเลข 10 ไม่เกิน 50 เปอร์เซนต์ และมีปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ของดินที่ลอดผ่านตะแกรงมาตรฐาน หมายเลข 200 ไม่เกิน 12 เปอร์เซนต์ แต่ถ้าหากมีปริมาณดินที่ลอดผ่านตะแกรงมาตรฐาน หมายเลข 200 มากกว่า 12 เปอร์เซนต์ จะใช้สมการที่ 6.7 เพื่อหาปริมาณของแอสพัลต์

T = 0.02F+0.1C+4.....6.6

T = 0.2F+01d+4.....6.7

T = ปริมาณเป็นปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ของอีมัลชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันหมายเลข 10

C = ปริมาณเป็นเปอร์เซนต์ของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันหมายเลข 200

D = ปริมาณความแตกต่างระหว่างค่า 24 กับค่า C

การประเมินหาค่าปริมาณแอสพัลต์ที่เหมาะสมอีกวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมมากก็คือการประเมินจากวิธี The California Centrifuge Kerosene Equivalent (CKE) ซึ่งเป็นแบบมาตรฐานการทดลองที่ Californai Test Method 303

ข. ประเมินหาปริมาณแอสพัลต์จากวิธีการทดลองที่คำนึงถึงคุณสมบัติของมาลรวมที่ผสมแอสพัลต์

การประเมินหาปริมาณแอสพัลต์จากมวลรวมที่ผสมแอสพัลต์ อาจสรุปได้ถึง 2 วิธีการใหญ่ ๆ จากวิธีการทดลองเพื่อความสะดวกในการประเมินหาปริมาณแอสพัลต์สรุปได้ดังนี้

1. ประเมินหาปริมาณแอสพัลต์ซีเมนต์ จากกระบวนวิธีการออกแบบส่วนผสมร้อนของแอสพัลต์ (Hot-mix asphalt)

2. ประเมินหาปริมาณ Liquid Asphalt (Cutback Asphalt และ Emulsions)

ทางสถาบันวิจัยค้นคว้า Research Board Committee ทำการสรุปเป็นบรรทัดฐานในการออกแบบส่วนผสมของแอสพัลต์ ทั้งโดยวิธีของ marshall, Hveem Method และ Unconfined Compressive Strength ดังตารางที่ 6.15 ทางสถาบัน U.S. Air force ได้ทำการสรุปปริมาณของแอสพัลต์แต่ละชนิดที่เหมาะสมในการสร้างชั้นพื้นทางและพิจารณาแอสพัลต์คอนกรีต ดังตารางที่ 6.16 และที่สำคัญ ตารางที่ 6.17 สรุปการออกแบบส่วนผสมร้อนแอสพัลต์เพื่อใช้ทำชั้นพื้นทาง ตารางนี้เป็นการรวบรวมโดยสถาบัน The Asphalt Institute เพื่อให้เหมาะสมกับปริมาณการจราจรและสภาพแวดล้อมนอกจากนี้ Warden ยังได้ทำการสรุปบรรทัดฐานของวิธีมาร์แชล (Marshall) ในประเทศเยอรมันตะวันตก สรุปได้ดังตารางที่ 6.18

ส่วนการประเมินหาปริมาณแอสพัลต์ประเภทคัทแบคแอสพัลต์ (Cutback) และอีมัลชั่น (Emulsion) จะขึ้นอยู่กับกระบวนวิธีการทดลอง ซึ่งการทดลองมีอยู่หลายวิธีด้วยกันดังนี้

ก. Habbare-Field Test (มาตรฐาน ASTM D 1138-52)

ข. Hveem Stability (มาตรฐาน ASTM D. 1560-65)

ค. Marshall Stability (มาตรฐาน ASTM D. 1559-65)

ง. Florida Bearing Test

จ. Extrution Test (มาตรฐาน ASTM D. 915-61)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ. Unconfined Compression Test

ช. Triaxial Compression Test

ซ. "R" Value Test

ฌ. Elastic Modulus

สิ่งที่ทำการควบคุมการก่อสร้างชั้นพื้นทางถนนจะขึ้นกับ วิธีการผสม (Mixing Methods) สภาพของการบ่ม (Curing Condition) อัตราการให้น้ำหนัก (Rate of loading) และอุณหภูมิ วิธีการนี้นิยมใช้มากที่สุด ในการประเมินหาเริมาณของคัทแบคแอสพัลต์และอีมัลชั่น ได้แก่ วิธีการของมาร์แชล (Marshall), ฮวีม (Hveem) และการทดลองหาค่า Extrusinon **ตารางที่ 6.19 และ 6.20** เป็นการสรุปเป็นค่าที่ประเมินไว้ สำหรับการหาปริมาณคัทแบคแอสพัลต์และอีมัลชั่น โดยวิธีการของมาร์แชล (Marshall) และฮวีม (Hveem) ส่วนในกระบวนวิธีการของ Extrusino Test จะขึ้นกับข้อกำหนดสามชุดด้วยกัน คือ

ก. ค่า Extrusion Value ก่อนที่จะทำการซับน้ำ จะต้องให้ค่า > 1000 ปอนด์

ข. ค่า Extrusion Value ก่อนที่จะทำการซับน้ำ จะต้องให้ค่า > 400 ปอนด์

ค. ค่าการขยายตัว (Expansion) ไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์

การทดลองที่ดีควรที่จะทำการประเมินประกอบกัน ทั้งการประเมินหาปริมาณแอสพัลต์ โดยอาศัยคุณสมบัติของดิน และคุณสมบัติของผสมของแอสพัลต์ วิธีการทำการประสมประสานของทั้งสองกระบวนการ ได้แก่ วิธีการของฮวีม (Hveem Test) ของสถาบัน California ประกอบด้วยการทำการทดลอง Centrifuge Kersene Equivalent (CKE) และการประเมินหาค่า Relative Stability โดยควบคุมปริมาณของช่องว่างอากาศ (Air Void) ด้วย

6.5 <u>คุณลักษณะของความแข็งแรงของ Soil-Aggregate Mixture</u>

จากความต้องการที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของดินในทางกายภาพ (Physical Properties) ของดิน โดยเฉพาะความต้องการความสามารถในการรับน้ำหนักที่สูงขึ้น วิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เป็นการผสมดินต่างชนิดกัน เพื่อสร้างความแข็งแรงให้สูงขึ้นเป็นวิธีการง่าย ๆ และราคาถูก แต่มีปัญหาที่ว่าสัดส่วนในการผสมผสานนั้นควรจะประมาณสักเท่าใด ดังนั้นทั้ง Eugene A Miller และ George F. Sowers จึงพยายามศึกษาคุณลักษณะที่เกิดขึ้นภายหลังการผสมผสานระหว่าง Course และ Fine Grained Soil ที่สัดส่วนต่าง ๆ

คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องถึงความแข็งแรงเห็นจะได้แก่ คุณสมบัติความแน่นของดิน (Density) พบว่าความแข็งแรงของดินจะสูงขึ้น เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความสามารถในการอัดตัวลดลง และช่องว่างภายใน (Void) ลดลงด้วย จากการควบคุมวิธีการบดอัดให้เหมือนเดิม ความแข็งแรงของดินจะใช้ค่าความหนาแน่นเป็นการเปรียบเทียบช่วย วิธีการที่จะทำให้ได้ค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.15 แสดงถึงข้อกำหนด ในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นพื้นทางถนน

(Marshell, Hveem และ Unconfined Copressive Strength)

A. Hveem Method

State	Stability	Percent Air Voids	Percent Voids Filled With Asphalt	Cohesiometer
California	35 minimum	4-6		
Colorado	30-45	3-5	80-85	
Hawaii	35 minimum	5-10	75	300 minimum
Nevada	30-37 min.	3-5		
Oklahoma	35 minfmum	8 maximum		
Oregon	30 minimum	10 maximum		150 minimum
Texas	30 minimum			
Washington	20 minimum			50 minimum

B. Marshall Method

State	Stability lbs.	Flow Value 0.001 in.	Percent Air Voids	Percent Voids Filled With Asphalt
District of Columbia	750 minimum	8-16	3-8	65-67
Georgia	1800 minimum	8-16	3-6	65-75
Kansas	800-3000	5-15	1-5	70-85
Kentucky	1100-1500	12-15	4-6	
Mississippi	1600	16 maximum.	5-7	50-70
New Jersey	1100-1500	6-18.	3-7	
N. Carolina	800	7-14	3-8	
N. Dakota	400 minimum	8-18	3-5	
Pennsylvania	700 minimum	6-16		60-85
Rhode Island	750 minimum		3-8	
S. Carolina	1200-3000	6-12		
S. Dakota		8-18	3-5	
Wyoming	100 minimum			

C. Unconfined Compressive Strength

State	Load, psi	Percent Air Voids	Percent Voids Filled With Asphalt
Colorado	200-400	3-5	80-85
Oregon	150 minimum		

(Highway Research Board, 1970)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pavement Temp. Index	Asphalt Pen. Grade	Bitumen Content by Traffic Areas: Type A Traffic Areas — Light Load Pavements	Type A Traffic Areas — Intermediate Load Pavements (1)	Type A Traffic Areas — Heavy Load Pavements	Types B and C Traffic Areas — Light Load Pavements	Types B and C Traffic Areas — Intermediate Load Pavements	Types B and C Traffic Areas — Heavy Load Pavements	Type D Traffic Areas (2) — Light Load Pavements	Type D Traffic Areas (2) — Intermediate Load Pavements	Type D Traffic Areas (2) — Heavy Load Pavements
Negative	120-150	---	Optimum	(3)	Opt. +10%	Opt. +10%	Optimum	---	Opt. +10%	Opt. +10%
0-40	100-120	---	Optimum	(3)	Optimum	Optimum	Opt. -10%	---	Opt. +10%	Opt. +10%
40-100	85-100	---	Opt. -10%	(3)	Optimum	Optimum	Opt. -20%	---	Opt. +10%	Optimum
Above 100	60-70	---	Opt. -20%	(3)	Optimum	Opt. -10%	(3)	---	Optimum	Optimum

(1) Intermediate load pavements, for the purposes of this tabulation, include those for the twin bicycle, twin tricycle, and twin-tandem tricycle gear configurations for which design criteria are included in this manual.
(2) Blast zones within overrun areas are included with type D traffic areas.
(3) Design bitumen content to be furnished by OCE at time of airfield design.

PAVEMENT TEMPERATURE INDEX:

The sum, for a one-year period, of the increments above 75°F of monthly averages of the daily maximum temperatures. Average daily maximum temperatures for the period of record should be used where 10 or more years of record are available. For records of less than 10-year duration the record for the hottest year should be used. A negative index results when no monthly average exceeds 75°F. Negative indices are evaluated merely by subtracting the largest monthly average from 75°F.

ตารางที่ 6.16 แสดงปริมาณของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรดต่างๆ ที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรต่างๆ

(U.S. Air Force, 1966)

ตารางที่ 6.17 แสดงข้อกำหนดของการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับชั้นพื้นของถนนโดยวิธี Marshall, Hveem และ Habbard Field ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพการจราจร

(The Asphalt Institute, 1958)

A. Marshall Design Criteria

Trafide Category / Tesp Property	Heavy Min.	Heavy Max.	Medium Min.	Medium Max.	Light Min.	Light Max.
No. of compaction Blows Each End of Specimen	75		50		35	
Stability, all mixture	750	- - -	500	- - -	500	- - -
Flow, all mixture	8	16	8	18	8	20
Percent Air Voids						
Surfacing or leveling	3	5	3	5	3	5
base	3	8	3	8	3	5

B. Hveem Design Criteria

Trafide Category / Test Property	Heavy Min.	Heavy Max.	Medium Min.	Medium Max.	Light Min.	Light Max.
Stability Value	37	- - -	35	- - -	30	- - -
Cohesiometer Value	50	- - -	50	- - -	50	- - -
Swell			Less than 0.030 inch			

C. Hubbard-Field Design Criteria

Trafide Category	Heavy		Medium and Light	
Test Property	Min.	Max.	Min.	Max.
Stability-pounds	2,000	- - -	1,200	2,000
Percent Air Voids	2%	5%	2%	5%

Hot-mix asphalt bases, which do not meet the above criteria when tested at 140 °F should be satisfactory if they meet the criteria when tested at 100 °F and are placed 4 inches or more below the surface. This recommendation applies only to regions having climatic conditions similar to those prevaling throughout most of the United States. Guidelines for applying for the lower test temperature in regions having more extreme climatic conditions are being studied.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.18 ข้อกำหนดในการออกแบบพื้นทางถนนโดยวิธีมาร์แชล

(Warden, 1961)

MARSHALL MIX DESIGN CRITERIA

FOR ASPHALT CEMENT TREATED BASE COURSE

Marshall Requirement at 140°F	Traffic, Vehicles per day			
	Light (less than 1000)	Medium (1000-3000)	Heavy (3000-6000)	Extra Heavy (greater than 6000)
Stability, min.	330	440	550	660
Flow (0.01 in.).	4-20	4-18	4-16	4-14
Percent air voids	2-15	2-15	3-12	3-10

ตารางที่ 6.19 แสดงข้อกำหนดของการออกแบบชั้นพื้นทางถนนโดยดินที่ปรับปรุงด้วยคัทแบคแอสฟัลต์และอิมัลชั่นตามวิธีมาร์แชล

(Lefebvre, 1966)

Marshall Test	Criteria for a Test Temperature of 77°F	
	Minimum	Maximum
Stability, lbs.	750	---
Flow, (0.01 in.)	7	16
Percent air voids	3	5

ตารางที่6.20 แสดงข้อกำหนดของการออกแบบชั้นพื้นทางถนนโดยดินที่ปรับปรุงด้วยอิมัลชั่นโดยวิธีของฮวีม

(The Asphalt Institute, 1969)

Reference	Criteria		
	Resistance Value		Moisture Pickup
	Before MVS*	After MVS*	During MVS, per cent
Asphalt Institute (19)	70 min.	60 min.	---
Chevron Asphalt Company (20)	---	70**, 78***	5.0 max.
Finn, et al. (57)	---	70**, 73***	5.0 max.

*Moisture Vapor Susceptibility

**Light Traffic

***Heavy Traffic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นสูงสุด มีด้วยกันสองวิธี โดยวิธีการแรกคือการะบวนการจัดคละของวัสดุ ทั้งนี้จะทำการจัดขนาดต่าง ๆ ของวัสดุให้มีปริมาณเพียงพอเพื่อจัดตัวให้เข้ากันได้พอดี และให้มีช่องว่างน้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษา
โครงงานวิจัย
การปรับปรุงเสถียรภาพของดิน
ด้วย BITUMINOUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงดินชนิดดินตะกอนปนทราย โดยการใช้ยางน้ำกับปูนขาวหรือกับซีเมนต์

ในที่นี้จะกล่าวถึงการปรับปรุงด้วยวัสดุบิทูมินัส โดยใช้ยางน้ำหรืออีมัลซิไฟด์แอสฟัลต์ ซึ่งเหมาะสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดินประเภททรายปนดินตะกอน (silty sand) ที่มีอยู่มากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย สามารถปรับปรุงคุณภาพดินได้โดยใช้อีมัลซิไฟด์แอสฟัลต์ 5% ทำให้สามารถนำมาใช้ทำพื้นทางสำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อยถึงปานกลางได้ ถ้าปริมาณการจราจรสูง จะเพิ่มซีเมนต์เข้าไปเพื่อให้ได้กำลังสูงขึ้น สำหรับประเทศไทยราคาของอีมัลซิไฟด์แอสฟัลต์จะมีราคาแพงกว่าซีเมนต์ประมาณ 5 เท่า ดังนั้นจึงเป็นการประหวัด เมื่อใช้ทั้งอีมัลซิไฟด์แอสฟัลต์และซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพของดินประเภททรายปนดินตะกอน สัดส่วนที่เหมาะสมคือ ใช้ซีเมนต์ 3% และอีมัลซิไฟด์แอสฟัลต์ 3% นอกจากนี้ยังใช้ปูนขาวแทนซีเมนต์ได้ด้วย แต่ถ้าใช้ปูนขาวจะต้องใช้เวลาในการเพิ่มกำลังนานกว่าการปรับปรุงดินชนิดดินตะกอนปนทราย โดยการใช้ยางน้ำกับปูนขาวหรือกับซีเมนต์

ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีปริมาณของดินตะกอนหรือดินทรายเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีคุณสมบัติในทางวิศวกรรมไม่ดี จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพของดินซึ่งจะกล่าวต่อไป การปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยซีเมนต์และปูนขาวเป็นวิธีที่ทำกันโดยทั่วไปเพื่อป้องกันการเปลี่ยนรูปสภาพพลาสติกและเพื่อเพิ่มกำลังแต่ยังไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพที่ไม่ดีของดินได้ทั้งหมด

การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยแอสฟัลต์ก็เป็นการปรับปรุงคุณภาพดินอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งแอสฟัสต์จะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเชื่อมและเป็นตัวป้องกันน้ำ วิธีนี้จะทำให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวหรือกำลังรับแรงดึงเป็นเสมือนวัสดุเม็ดเหลี่ยมขัดกัน และจะลดอัตราส่วนของความชื้นเปลี่ยนเป็นเสมือนดินเหนียวหรือดินตะกอนสำหรับวัสดุที่ใช้ทำพื้นทาง อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้แอสฟัลต์เพียงอย่างเดียวจะไม่เพิ่มความแข็งแรงมากนัก ดังนั้นจึงใช้วิธีการผสมอีมัลชั่นกับปูนขาวหรือกับซีเมนต์ ซึ่งจะทำให้ดินมีคุณสมบัติดีขึ้น

1.วัสดุ

ดิน

ดินเป็นดินชนิดดินตะกอนปนทราย (sandy silt) ซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1

ปูนขาว

ปูนขาวที่ใช้ประกอบด้วย $Ca(OH)_2$ 98.8% และผ่านตะแกรงเบอร์ 200 94.7%

ซีเมนต์

ใช้ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (ชนิดที่ 1)

แอสฟัลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1

คุณสมบัติของดิน

คุณสมบัติ	ค่า
ส่วนประกอบ:	
ทราย 2.000 - 0.074 mm, %	35
ดินตะกอน 0.074 - 0.005 mm, %	49
ดินเหนียว 0.005 mm, %	16
0.001 mm, %	13
คุณสมบัติทางกายภาพ:	
ขีดจำกัดเหลว, %	20.8
ขีดจำกัดพลาสติก, %	17.4
ดัชนีสภาพพลาสติก, %	3.4
ขีดจำกัดหดตัว, %	16.1
ค่าเทียบเท่าทราย, %	3.2
ความถ่วงจำเพาะ	2.65
คุณสมบัติทางวิศวกรรม:	
ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม, %	9.6
หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด, lb/ft^3	129.0
ความทนทานส่วนละเอียด	72.9
การจำแนก:	
U.S. Bureau of Public Roads	โลม
Mississippi River Commission	ดินตะกอนปนทราย
AASHO	A-4 (7)
ส่วนประกอบทางเคมี:	
SiO_2	83.30
Al_2O_3	10.67
MgO	2.39
Fe_2O_3	1.63
CaO	0.95
คุณสมบัติทางเคมี:	
pH	5.3
ปริมาณสารอินทรีย์	0.26
เกลือสารละลาย	0.059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้แคทไอออนิคอีมัลซิไฟค์แอสฟัลต์ชนิดก่อตัวช้า (CSS) ซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2

ในกรณีของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอีมัลชั่น ปริมาณน้ำผสมต่ำสุดเพียงเพื่อทำให้ดินชื้น แล้วก็เลือกปริมาณต่าง ๆ กันของอีมัลชั่นผสมกับดินตัวอย่างที่ชื้น ใช้เครื่องผสมโฮเบิร์ตก่อนผสม เพื่อให้ได้ส่วนผสมเนื้อสม่ำเสมอ คุณภาพของส่วนผสมที่ผสมเสร็จแล้วจะดูได้จากจุดสีบนเนื้อของส่วนผสม ถ้าสังเกตเห็นการหลุดลอกและก้อนกลม แสดงว่ายังผสมกันไม่ดีพอ ถ้าผสมไม่ดีต้องเตรียมตัวอย่างใหม่ โดยเพิ่มความชื้นให้แก่ดินอีก ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดจะแสดงในเทอมของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักดินแห้งจากเตาอบ ซึ่งจะเป็นค่าปริมาณน้ำต่ำสุดที่ต้องการสำหรับผสมดินซึ่งจะได้ตัวอย่างที่พร้อมสำหรับการบดอัด

ในกรณีของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอีมัลชั่นและซีเมนต์และมีเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เป็นแฟคเตอร์ควบคุมในขบวนการการปฏิบัติจะต้องทำทุกอย่างให้เสร็จสิ้นก่อนที่ซีเมนต์จะก่อตัว วิธีการนี้ก็คือ ใส่ซีเมนต์ลงในดินผสมอีมัลชั่น ที่เตรียมไว้แล้วดังกล่าวข้างต้น ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินซีเมนต์ก็หาค่าได้และบันทึกเอาไว้ ใช้ซีเมนต์ 3 % ผสมกับค่าต่าง ๆ ของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอีมัลชั่น

สำหรับกรณีของการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยอีมัลชั่นกับปูนขาว ขบวนการจะเหมือนกันกับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอีมัลชั่นกับซีเมนต์ เว้นแต่ว่าจะต้องผสมปูนขาวกับดินก่อนแล้วจึงเพิ่มเปอร์เซ็นต์ค่าต่าง ๆ ของอีมัลชั่นทีหลัง

ก่อนที่จะใส่ตัวอย่างลงในแบบเพื่อบดอัด จะต้องเอาตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 60°C เพื่อลดค่าปริมาณความชื้นให้ได้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) ของดิน ดิน + ซีเมนต์ 3 % และดิน + ปูนขาว 3 % ใส่ตัวอย่างในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ใช้วิธีการบดนวดแบบแคลิฟอร์เนีย (California kneading compaction method) ตามวิธีของ California Testing method Calif" 304 D ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30° C) ในการทดลองนี้ใช้การกระทุ้ง 150 ครั้ง ที่ 500 psi (ตาม Chevron Asphalt Company Test Method) สำหรับแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 2.5 นิ้ว เอาไปทดลองทันทีจะได้ค่า "R" และ "C" จากเครื่องวัดเสถียรภาพ สำหรับตัวอย่างที่เหลือซึ่งบ่มโดยมีถุงพลาสติกปิดไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน

เพื่อที่จะได้ค่า "R" และ "C" มีวิธีการดังต่อไปนี้ :

1. หาความไวต่อการระเหยของความชื้น (Determination of Moisture Vapour Susceptibility)

2. หาค่า "R" ของเครื่องวัดเสถียรภาพแบบฮวีม (Determination of Hveem Stabilometer "R" Value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาค่าจากเครื่องวัดการยึดเหนี่ยว (Determination of Cohesiometer Value) (Chevron Asphalt Co. Method # 67B-307)

2.ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมให้แอสฟัลต์เคลือบได้อย่างสม่ำเสมอ

จำนวนของดินตัวอย่างนำมาทดลอง โดยวิธีลองผิดลองถูกเพื่อหาค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมต่ำสุด เพื่อให้ได้ส่วนผสมเนื้อสม่ำเสมอ ดังแสดงในตารางที่ 3

สำหรับส่วนผสมดินกับอีมัลชั่นประกอบด้วยแอสฟัลต์และน้ำ ดังนั้นน้ำที่เพิ่มเข้าไปเพื่อเคลือบเม็ดดินในการผสมจะน้อยลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของอีมัลชั่นสูงขึ้น ดินชนิดละเอียดต้องการปริมาณความชื้นเคลือบน้อยที่สุดก่อนที่จะผสมกับอีมัลชั่น เพื่อที่จะป้องกันปฏิกิริยาเคมีระหว่างประจุลบที่ผิวของเม็ดดินและประจุบวกของอีมัลชั่น และยังเป็นการหน่วงเหนี่ยวเวลาในการผสม ในกรณีของดินผสมปูนขาว ค่าปริมาณต่ำสุดของน้ำที่ใช้ผสมจะสูงขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์ที่แน่นอน ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่น

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นของดิน ดิน+ปูนขาว 3 % และดิน+ซีเมนต์ 3% จะได้ว่าการเพิ่มปูนขาวหรือซีเมนต์จะไม่ทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้จากหลักความจริงคือ ในขณะที่ผสมดิน ซีเมนต์ และน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นอีกเล็กน้อย สำหรับกรณีของดิน ปูนขาว และน้ำเปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่แน่นอนจำเป็นต้องใช้ในการรวมตัวกันเป็นก้อนและการแลกเปลี่ยนประจุ

3.ความแข็งแรงกับปริมาณความชื้น

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าจากเครื่องวัดเสถียรภาพ "R" ของดิน ดิน+ปูนขาว 3 % และ ดิน+ซีเมนต์ 3 % จะได้ว่าเสถียรภาพแห้งสูงสุดจะไม่ใช่ที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณความชื้นจะมีผลต่อเสถียรภาพ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์เดียวกันของปริมาณความชื้น ดิน + ซีเมนต์ 3% จะให้ค่าเสถียรภาพที่สูงกว่าดินอย่างเดียว ในขณะที่ ดิน+ปูนขาว จะให้ค่าเสถียรภาพที่สูงกว่าดินและดินซีเมนต์

4.ค่าปริมาณอีมัลชั่นที่มีผลต่อค่า "R" และค่า "C"

อีมัลชั่นเองมีผลในการหล่อลื่นเช่นเดียวกับน้ำ ดังนั้น ปริมาณความชื้นที่ต้องการที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม จะประกอบด้วยอีมัลชั่นบวกกับน้ำ

ส่วนผสมดินกับอีมัลชั่นมีแนวโน้มที่จะหาค่า R และ C ต่ำ เมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ ส่วนผสมดินกับปูนขาวให้ค่า R สูง และจะเพิ่มขึ้นทีละน้อยเมื่อให้อีมัลชั่นเป็น 2, 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปรากฏการณ์เช่นนี้จะเป็นเช่นเดียวกันในกรณีของซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2

คุณสมบัติของอีมัลซิไฟด์แอสฟัลต์

คุณสมบัติ	ค่า
ความหนืดแบบฟูรอลที่ 77° F (วินาที)	37.0
ส่วนที่เหลือจากการกลั่น (% น้ำหนัก)	65.0
การตกตะกอน 7 วัน (% น้ำหนัก)	0.6
การร่อนผ่านตะแกรง (ค้างบนตะแกรงเบอร์ 20) (% น้ำหนัก)	0.028
การผสมซีเมนต์ (% น้ำหนัก)	0.02
ประจุอนุภาค	บวก
น้ำมันจากการกลั่น (% ปริมาตร)	1.0
เพนิเทรชั่น, 77° F, 100 กรัม, 5 วินาที	113
การละลายใน CCl_4 (% น้ำหนัก)	99.9
การยืดดึงที่ 77° F (เซนติเมตร)	มากกว่า 40

ตารางที่ 3

เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ต้องการเพื่อทำให้แอสฟัลต์เคลือบอย่างสม่ำเสมอ

ดิน	ปูนขาว, %	ซีเมนต์, %	อีมัลชั่น, %	น้ำผสม, %
100	-	-	2	16
100	-	-	4	16
100	-	-	6	16
100	-	-	8	14
100	-	-	10	14
100	3	-	2	22
100	3	-	3	22
100	3	-	4	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่า C ที่ปรากฏในกรณีที่เพิ่มซีเมนต์หรือปูนขาว ค่ากำลังยึดเหนี่ยวจะเพิ่มขึ้นทั้งโดยซีเมนต์และปูนขาว และโดยอีมัลชั่น ค่า C ของส่วนผสมดินกับอีมัลชั่นจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่น ๆ ส่วนผสมดินปูนขาวอีมัลชั่นและดินซีเมนต์อีมัลชั่นจะให้ค่า C สูงสุด ที่เปอร์เซ็นต์อีมัลชั่นที่เหมาะสม ในการออกแบบที่ประหยัดจะไม่ใช้อีมัลชั่นมากกว่า 4 % ดินผสมเข้ากันได้ดีกับปูนขาว และเกิดปฏิกิริยาเคมีทันทีที่ใส่น้ำ การจับตัวกันเป็นก้อนและการเปลี่ยนแปลงพื้นฐานจะค่อย ๆ เกิดขึ้น ทำให้อนุภาคเล็ก ๆ จับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น แอสฟัลต์ที่ใส่เข้าไปจะกระจายออกและเคลือบบางส่วนของก้อนหยาบ เมื่อนำมาใส่แบบและบดอัด ช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินจะลดลง และอนุภาคที่กระจายไปจะแทรกซ้อนเข้าไป ดังนั้นกำลังของก้อนเม็ดดินในขั้นนี้ส่วนหนึ่งมาจากแรงเสียดทานภายใน ระหว่างเม็ดดินที่จับกันเป็นก้อนและอีกส่วนหนึ่งมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนเม็ดดินผสมปูนขาว กับอีมัลชั่น ปฏิกิริยาปอซโซลานิคจะเกิดขึ้นในส่วนผสมอย่างช้า ๆ และแอสฟัลต์จากอีมัลชั่นในส่วนผสมซึ่งส่วนผสมซึ่งส่วนหนึ่งที่เคลือบเม็ดดินจะช่วยกำจัดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นที่ไม่ต้องการออกไป ปฏิกิริยาปอซโซลานิคเป็นองค์ประกอบที่สำคัญทำให้เกิดความแข็งแรงตลอดช่วงเวลา เมื่อส่วนผสมแห้งการหดตัวของส่วนผสมอาจเป็นสาเหตุให้มีการเพิ่มขึ้นของการกระจายของอีมัลชั่น ถึงแม้ว่าความหนืดของแอสฟัลต์ในอีมัลชั่นจะสูงหลังจากแตกตัวตะต่อต้านการกระจายตัวอีกครั้งหนึ่ง ค่าร้อยละที่ถูกต้องของอีมัลชั่นจะให้ค่า R และ C ที่สูงกว่า แต่ถ้าเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของอีมัลชั่นมากเกินไปการกระจายตัวของแอสฟัลต์จะไปขัดขวางการยึดเหนี่ยว เนื่องจากปฏิกิริยาของดินผสมปูนขาวเป็นสาเหตุให้กำลังลดลงโดยเฉพาะกำลังการยึดเหนี่ยว

ในกรณีของปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์และอีมัลชั่นที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เริ่มแรกด้วยดินผสมกับอีมัลชั่นแล้วใส่ซีเมนต์ตามหลัง ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ที่สูงของอีมัลชั่น บางส่วนจะถูกป้องกันโดยการเคลือบของอีมัลชั่น และจะเกิดการหลุดลอกอย่างเห็นเด่นชัดมีสาเหตุมาจากค่า C ลดลงขณะที่ค่า R หรือกำลังจากการขัดเหลี่ยมกันจะไม่แสดงการสูญเสียเนื่องจากเหตุผลนี้

ถ้าดินตัวอย่างมีค่าระดับของการดูดซึมความชื้นต่ำ ก็จะมีค่าสูงขึ้นได้ โดยใช้อีมัลชั้นเป็นตัวปรับปรุงเสถียรภาพ ดินซีเมนต์ผสมอีมัลชั่นรวมทั้งดินผสมปูนขาวกับอีมัลชั่น ทดสอบแล้วได้ค่าต่ำ ค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ถูกดูดซึมของตัวอย่าง ดินซีเมนต์ผสมอีมัลชั่นหรือดินผสมปูนขาวกับอีมัลชั่นจะแสดงค่าอยู่ในช่วง 0-1% ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดี

5.การหดตัวของส่วนผสม

การทดสอบการหดตัวของดิน ดินผสมอีมัลชั่น การปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาวกับอีมัลชั่น และการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์กับอีมัลชั่น หลังจากทดสอบตามวิธีแคลิฟอร์เนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(California Testing Method Calif. 288-A) สำหรับการเปรียบเทียบเลือกใช้ปริมาณความชื้น 25 % จะได้ว่า

ดินอย่างเดียวมีการหดตัวประมาณ 5 % เมื่อเพิ่มอีมัลชั่นค่าการหดตัวจะลดลง ซึ่งอาจจะเป็นเพราะความหนืดของแอสฟัลต์สำหรับดินผสมปูนขาวกับอีมัลชั่นจะแสดงพฤติกรรมเช่นเดียวกับดินผสมอีมัลชั่น แต่มีค่าต่ำกว่าเมื่อเพิ่มอีมัลชั่นเท่ากัน โดยที่ปูนขาวจะเปลี่ยนอนุภาคดินเม็ดเล็กให้ใหญ่ขึ้น ดังนั้นจึงเป็นการลดของการหดตัวของดิน Land และ Ramsey ได้เขียนรายงานไว้ว่า ปูนขาว 3 % จะให้ผลที่สูงที่สุด ปูนขาว 3% ทำให้การหดตัวลดลงประมาณ 1 % ต่ำกว่าดินเดิมการใส่อีมัลชั่นมีผลในการลดการหดตัวเพียงเล็กน้อย และที่เป็นเช่นนี้ก็เป็นเหมือนกับความต้านทานความหนืดของแอสฟัลต์ดังกล่าวแล้วข้างต้น พูดอีกนัยหนึ่งคือเป็นผลเนื่องมาจากผลของแรงประกอบ ระหว่างปูนขาวและอีมัลชั่นในดิน+ซีเมนต์ 3 % จะให้ค่าการหดตัวน้อยกว่าดิน+ปูนขาว 3% ประมาณ 1 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

GEOTEXTILE

geotextile และ geomembrames จะอ้างถึง Labrics และ Membranes ที่นำไปใช้ในเทคนิคทางธรณีวิทยาด้านวิศวกรรม ซึ่งจะอ้างอิงจาก ASTM (Americam Society for Testing and Materials) ในทางวิศวกรรมธรณีวิทยาจะกล่าวถึงสาขาด้าน Soil mechanics , Rock Mechanics, และในสาขาต่างๆ ที่ศึกษาทางด้าน geology , geophysics , hydrology , และ related seienees

Geotextile มีโครงสร้างที่ทำให้เกิดความสามารถในการซึมผ่านได้ ส่วน geomembranes จะถูกออกแบบให้ทางโครงสร้างไม่ให้เกิดการซึมผ่านได้เท่าที่จะเป็นไปได้อาจกล่าวได้ว่าสิ่งนี้คือค่าสภาพตัวนำของน้ำในวัสดุนั้นๆ เรียกว่า Coefficient of permeability ซึ่งสามารถที่จะแยกประเภทของค่าสภาพตัวนำของน้ำได้ดังนี้

geotextile มีค่า 10e-5 ถึง 10 m/s (10e-3 ถึง 10e2 m/s) (หรือผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกรณีเดียวกันที่มีลักษณะเป็นเปิดแบบ nets หรือ grids)

geomembranes มีค่า

สภาพการเป็นตัวนำของน้ำของ geotextile มีลักษณคล้ายกับพวกที่มีค่าการให้น้ำซึมผ่านได้สูง เช่น พวกทรายและกรวด ส่วน geomimbrames จะมีลักษณะคล้ายกับพวกดินเหนียว ซึ่งมีค่าของการซึมผ่านได้ต่ำ

7.1 ผลิตภัณฑ์ของ Geotextile

จากมาตรฐาน ASTM geotextile และ การประยุกต์ใช้งาน gdotextile , geotextileเป็นวัสดุที่มีลักษณะคล้ายสิ่งถักทอที่ยอมให้มีการซึมผ่านได้ จะใช้ในงานฐานราก งานดิน งานหิน งานพื้ผิวทั่วไป หรือในงานทางธรณีวิทยาอื่นๆ ซึ่งมนุษย์พัฒนาทางด้านระบบและโครงสร้างต่างๆ ชนิดของ geotextile โดยนิยามแบ่งได้เป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

Knitted , woven และ nonwoven fabrics และผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น webs , mats, nets, grids และ formed plastic sheets ซึ่งมีการพัฒนาใช้กับสิ่งอื่นๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์ต่างๆ เหล่านี้ไม่ได้มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดของ ATSM ที่ว่าด้วยเรื่องของ geotextile เนื่องจากสิ่งเหล่านี้ได้ทำจากวัสดุ textile แต่ที่เห็นใช้บ่อยๆ เนื่องจากมันมีลักษณะและรูปร่างคล้ายคลึงกัน

geotextile และผลิตภัณฑ์ของ geotextile ได้ถูกไมาใช้ในงานถนน , เขื่อนกันน้ำ, การระบายน้ำ, ระบบควบคุมการกัดเซาะ และงานโครงสร้างต่างๆ ที่เกี่ยวกับดิน geotextile และผลิตภัณฑ์ของ geotextile มีหน้าที่ต่างๆ เช่น การแยกตัว (sepatation) ,
การกรอง(filtration) ปละการเสริมกำลัง (reinforement) ประโยชน์หรือผลต่างๆ ที่ได้จาก geotextile ได้รวมถึง การพัฒนาทางด้านโครงสร้างต่างๆ ในการก่อสร้าง และ การรักษาวัสดุทางโครงสร้าง เช่น กรวด ทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ส่วนประกอบของ geotextiles และ geotextile relatex products

geotextile และ geotextile related product เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ polymer (synthfic polymers) ลักษณะของ polymers ที่ใช้ทำ geotextile จะเป็นแบบ polypropylene, polyester , polyethylene, polyamide ซึ่งโพลิเมอร์เหล่านี้เป็นโพลิเมอร์ที่มีความเฉื่อยสูงในทางชีวภาพและเคมีภาพ แต่มี geotextile ซึ่งจะนำมาเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้เชื่อมต่อ เพื่อเป็นการเพิ่มความพิเศษของผลิตภัณฑ์ geotextile

สำหรับใยธรรมชาติ(wood, cotton, acetate) นานๆ ครั้งที่จะถูกนำมาใช้ทำ geotextile เนื่องจากว่ามีคุณสมบัติทางชีวภาพต่ำ และน่าเบื่อเมืออยู่ในดิน ผลิตภัณฑ์ของ textile ที่ได้มาจากใยธรรมชาติ อาจจะถูกนำมาใช้ในงานชั่วคราวในที่ที่มีลักษณะทางชีวภาพเหมาะสม (temporary erosion control)

7.3 ส่วนสำคัญของ geltextile หรือ geotextile related product

ขบวนการทางการผลิต geotextile มีทั้งหมด 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรก ประกอบด้วยการทำ fiber และ yarns ให้เป็นเส้นตรง ขั้นที่สอง เป็นการรวมชิ้นส่วนแต่ละชนิดต่าง ให้เป็นโครงสร้างที่เรียกว่า fabric

ชิ้นส่วนพื้นฐานของ geotextile คือ fibers ซึ่งใยสังเคราะห์นี้มี 3 ชนิด คือ fitaments , staple fibrt , slit silms

- filaments ผลัตโดยการอัดโพลิเมอร์ที่หลอมละลายเข้าไปในแม่พิมพ์ หรือ spennerets ขบวนการขั้นตอนที่จะทำอย่างต่อเนื่อง ซึ่ง filaments บางที่จะถูกเรียกว่า " continuous filaments " หลังจากที่โดนอัด filamint จะถูกดึงไปตามแนวแกนยาว จัดให้โมเลกุลอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม เป็นผลให้ filament มีความสามารถในการรับกำลังได้

- staple fibers ได้มาโดยการตัด fiaments ออกเป็นชิ้นพสั้นๆ ยาวประมาณ 2-10 cm

-slit films มีลักษณะเป็นใยแบนยาว (flat tapilike fibers) มีขนาดประมาณ 1-3 mm(40-120 mils) ผลิตโดยการตัด plastic film ด้วยใบมีดตามแนวยาวหลังจากนั้น tapelile fiber จะถูกดึง และจากการดึงนี้ โมเลกุลจะถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ทำให้ความสามารถในการรับกำลังของ fiber เพิ่มขึ้น

Nonwoven qeotextile ทำมาจาก filaments และ Staple fibers ส่วน Woven และ Rnitted geotextile ทำมาจาก yarn ซึ่ง yarn นี้ก็ได้มาจากลักษณะต่างๆ ของ yarn ที่ถูกใช้ในการทำ woven geotextiles

-A monofilament yarn ทำจาก Single filament

-A multi filament yarn ทำจาก fine filament

-A spun yarn ทำจากการสาน Staple fiber และฝั่นเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-A slit film yarn ทำจาก film ซึ่งมีรอยหยักและแตกของ fibrous strand(อีกนัยหนึ่งเป็นการห่อ tapelike fiber ทำให้ติดแน่นเป็นส่วนเดียวกัน)

fiber และ yarn เป็นชิ้นส่วนที่เป็นเส้นตรง ซึ่งเกี่ยวพันกับขบวนการผลิตที่มี 2 ขั้นตอน เป็นผลิตภัณฑ์ของ textiles รวมถึง geotextile ด้วย 2 ขั้นตอนของขบวนการผลิตนั้นจะใช้ในการผลิต geotextile related products เช่นพวก webs, mats , nets:

-Plastic strips มีขนาดกว้าง 2-10 cm ใช้ทำ coarse woren fabrics ที่รู้จักคือ webs หรือ webbings

-Coarse และ rigid filaments ใช้ทำ coarse nonwoven fabrics ที่รู้จักคือ mats

-Coarse strandw มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-5 mm ได้มาโดยการไสหรืออัด และนำมาทำ nets

ขบวนการผลิต 2 ขั้นตอนนี้ ไม่ได้ใช้ในการทำ grids และ formed plastic sheets ซึ่งพวกนี้มีขั้นตอนทำเพียงขั้นตอนเดียวส่วนที่เป็นเส้นตรงของ geotextiles หรือ geotextiles related product (filaments,fibers,yarns,strands,strips) ซึ่งสามารถบอกลักษณะได้โดยความหนาแน่นของเส้น(นน./ความยาว) หน่วยที่ใช้คือ kg/m หรือเพื่อความสะดวกอาจเขียนเป็น 10e-6 kg/m

7.4 ชนิดของ geotextiles และ geotextile related products

geotextiles และ geotextile related products สามารถจำแนกจำพวกความขบวนการผลิต แบ่งได้เป็น 10 ชนิด โดย 4 ชนิดแรกของ geotextile จะถูกควบคุมตามข้อกำหนดของ ATSM และ 6 ชนิดที่เหลือ คือ geotextile related products

1. knitted geotextiles ถูกจัดในรูปที่เกี่ยวซ้อนติดกันเป็นอนุกรมเป็นวงรอบหนึ่งรอบหรือมากกว่า ลักษณะการล็อกของ knit คล้ายกับ jersey knitted geotextiles จะได้จาก monofilament, multi lilament , spun และ fibrillated yarns

ในปัจจุบันนี้ knitted fabrics นานๆ ครั้งจะถูกนำมาใช้

2. Woven geotextiles จะประกอบด้วย 2 ส่วน (warp และ filling) จาก pavallel yarns แบบไข้วสานกันเมื่ออยู่ในฟอร์มของ plamar structure จะมีการทำให้สองส่วนนี้ยึดเกาะเข้าด้วยกันแบบ weave pattern โดยใช้พื้นฐาน 3 ประการในการในทิศทางที่ตั้งฉากกัน แต่ถ้าจะทำให้มีลักษณะพิเศษตัดเป็นลายเฉียง

บางที woven geotextile จะถูกทำขึ้นโดยการผ่าน fabric เข้าไปใน neated rolls yarns จะอ่อนตัวอละเข้ารูป ยึดเหนี่ยวกันทางคลไกแบบ Interlock ซึ่งจะทำให้ Fabric มีความมั่นคงมากขึ้น

woven geotextiles เป็นโครงสร้างจากอย่างเดียวหรือหลายอย่างขึ้นไปตามลักษณะของ yarn สำหรับ monefilament และ slit film woven geotextile หรือ fibrillated สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

monefilament ,spun และ fibrillated woven geotextile มีลักษณะที่หนากว่าโดยทั่วไปหนาประมาณ 3-5 mm และอาจจะมีความหนาถึง 10 mm ในบางประเภท

woven geotextile ได้ถูกนำมาปนะยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง

3. nonwoven geotextiles จะอยู่ในรูปของ การจัดเรียว fibers จะอยู่ในแบบที่ไม่เหมาะสมหรือไม่อยู่ในรูปแบบการจัดเรียงที่ดีใน planar structure พันธะของ fibers มีขนาดการดังนี้

- chemical bonding (พันธะทางเคมี) มีการเชื่อมตัดปานกลาง มีลักษณะคล้ายกาว (glue ,rubber, latex, cellulose detivative) จะใช้ systhetic resin เพื่อเพิ่มการยุดตัดของ fibers ให้แข็งแรงขึ้น

- thermal bonding (พันธะทางอุณหภูมิ) ความร้อนที่หลอมละลาย fiber จะทำให้เกิดการเชื่อมแน่นกัน ประสานกันเป็นจุดๆ ในอีกทางหนึ่ง heatbond nonwoven geotextile นี้จะมีความสัมพันธ์กับความบางของ geotextile ซึ่งโดยทั่วไปหนา 0.5-1.0 mm

- mechanical bonding (พันธะทางกลศาสตร์) โดย needle punching : จะประกอบด้วยส่วนเล็กๆ ของ barbed needles ส่วนของชิ้นส่วนจะมีลักษณะเป็นคล้ายเปีด neelepunched nonwoven geotextile นี้มีความสัมพันกับความหนา โดยทั่วไปหนาประมาณ 1-5 mmหรือมากกว่า

fiber ที่ใช้ในการผลิต nonwoven geotextiles คือ staple fibers หรือ filaments nonwoven geotextiles จะถูกผลิตขึ้นด้วยขบวนการที่ต่อเนื่องเป็นไปในลักษณะที่ filaments ถูกบีบ รัด(extrude,duawn)ให้อยู่ในรูปแบบของ loose web และ bonded ที่เรียกว่า spun bonded

nonwoven geotextile ที่ถูกใช้จะมีขนากของความกว้างที่ต่างๆ กันออกไป

4. composite geotextiles เป็นการออกแบบมาใช้สำหรับหน้าที่พิเศษ composite geotextiles ผลิตโดยการจัด knitted หรือ woven ,nonwoven fabries เป็นชั้นหลายๆ ชั้น และแต่ละชั้นจะยึดเกาะด้วยพันธะจากขบวนการ stitching หรือ needlepunching

5. webs or webbings มีลักษณคล้าย woven fabric ที่ทำมาจาก strips ขนาดความกว้างน้อยๆ ซึ่ง webs จะดูคล้าย slip film wovenfabric ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการควบคุมการกัดเซาะ เสริมกำลังดิน ป้องกันการพังของตลิ่ง

6. mats ทำมาจาก coarse และ rigid filaments ที่มรูปร่างที่คดเคี้ยวการยึดเกาะจะเป็นแบบ intersections โครงสร้างจะมีลักษณะเป็นช่องเปิด และมีความหนาประมาณ 1-2 cm บางที่ mats นี้จะดูคล้าย coarse และ open nonwoven fabric mats นี้จะถูกนำมาใช้ในงานในด้านการควบคุมการกัดเซาะ ซึ่งจะรวมถึงการกรองด้วย

7. nets ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนของ coarse parallel ที่จะจับกันเป็นเกลี่ยวเป็นมุม (โดยทั่วไปจะทำมุม 60-90 องศา) เกลี่ยวจะหน่วยหนึ่งจะเชือมต่อกับเกลียวอีกหน่วยหนึ่ง โดยการหลวมเหลวรวมเข้าด้วยกันโดยทั่วไปขนากของเกลียวนี้จะประมาณ 1-5 mm และขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องเปิดจะมีขนาดเป็นช่องเล็กๆ ซึ่งวัดได้เป็นค่า mm ถึง cm nets นี้จะใช้ในงานเสริมกำลังของดินและบังเกอร์หลุมหลบภัย

8. grids ("geogrids") จะทำจากการลากทอ ในแนวหนึ่งหรือสองในที่ทิศทางที่ตั้วฉากกัน ซึ่งจะทำจาก โพลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็น polyethylene หรือ polypropylene, grids นี้จะใช้ในงานเสริมความแข็งแรงให้แก่ดิน

9 formed plastic sheets รวมถึง corrugated,wafiled, alveolate ets. เทคนิคในการผลิตนี้จะมีทั้งการหลอม,การดันการใช้แรงอัด ซึ่งจะถูดนำมาใช้เป็นตัวกรองจากการระบายน้ำจากโครงสร้าง

10. prefabticated composite structure ซึ่งเป็นการรวมกันของ geotextile และ geotextile related products ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ ก็คือ mats,nets หรือ formed plastic sheets ซึ่งจะใช้ในงานกรอง และระบายน้ำ

7.5 ชนิดของ geotextile

geotextile ถือว่าเป็นสิ่งทอที่ใช้ในงานด้านเทคนิคธรณีวิทยา ความแตกต่างของ geotextile ขึ้นอยู่กับลักษณะทางโครงสร้างของ fabric และชนิดของ โพลิเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบของ fibers

7.6 โครงสร้างของ fabrics

สำหรับ fabrics นี้มี 3 ชนิด

1. woven meterials ที่คุณเคยโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 2 ซีรี่ส์ที่อยู่ในแนวตั้งฉากกันโดยมีการจัดวางตัวกันอย่างเป็นระเบียบ(โดยการบีบ filamint แบบครึ่งวงกลม หรือ ribbons โดยการตัด plastic film เป็นส่วน

2. knitted meterials ประกอบด้วย single strand ที่มีการจัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ โดยการบิดเป็นเกลียว

3. nonwoven meterials ประกอบด้วย fibers ที่มีการจัดเรียงกันอย่างเป็นระเกะระกะ

ซึ่ง nonwoven meterials นี้จะไม่เป็นที่รู้จักกันกว้างขวาง ซึ่งพอจะอธิบายอย่างคราวๆ ดังนี้ ขั้นแรกในขบวนการผลิตจะประกอบด้วย fiber ที่จัดว่างกันอย่างไม่เป็นระเบียบ และประกอบด้วย web ที่ไม่มีกำลัง ในขั้นที่สองจะเป็นการทำให้มีกำลังเพิ่งขึ้นโดยการผ่านขบวนการ 3 อย่าง คือ

1. chemical bonding : เป็นการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว web ของ fibers เข้าด้วยกัน

2. thrmal bonding : web จะได้รับความร้อนและแรงดันทำให้ fibers หลอมละลายและทำให้เกิดความเชื่อมแน่นเพิ่มขึ้น

3. mechanicl bonding โดย needle puneling webs จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ของ needles ที่มีลักษณะแหลม ทำให้เกิดการเกะเกี่ยวเป็น fibers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ nonwoven meedoepunhed geotextile เป็นแบบหนา โดยทั่วไปหนาประมาณ 2-5 mm ส่วน heatbonded geotextiles จะเป็นการแบบบางซึ่งหนาประมาณ 0.5-1.0 mm

compound fabrics นี้จะประกอบด้วย fabrics อย่างน้อย 2 ชนิด

โพลิเมอร์

geotextiles มีความแตกต่างโดย โพลิเมอร์(polymer) ที่เป็นส่วนประกอบของ fibers สำหรับโพลิเมอร์ ที่ถูกใช้อยู่โดยทั่วไปนั้นจะมี polyester,polypropylene,polyethylene และ polyamide ซึ่งสารโพลิเมอร์เหล่านี้จะมีความแข็งแรงและกำลังทางด้านกลศาสตร์สูง ถ้าจะพิจารณาถึงลักษณะทางชีวภาพและเคมีของดิน ในช่วงเวลา 12 ปีสารเหล่านี้สามารถทนในสภาวะของธรรมชาติทั่วไป น้ำมันดีเซล กรดเข้มข้นสูง เป็นตัวต้นเหตุที่ทำให้โพลิเมอร์นี้เสื่อมสภาพ การเก็บรักษา geotextile โดยทั่วไปจะถูกละเลยให้ตากแดด ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง เนื่องจากในแสงแดดมีรังสังอุลตร้าไวโอเวต ซึ่งสารโพลิเมอร์บางชนิด จะไม่คงทนในที่ที่มีแสงแดดดังนั้นควรป้องกัน geotextile ไม่ให้ถูกแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 หน้าที่ของ Geotextile

โดยทั่วไปมี 16 อย่าง

1. Drain : geotextiles ที่ใช้ในดินที่มีค่าการซึมผ่านได้ต่ำ ซึ่งน้ำจะซึมผ่านได้ช้า ซึ่ง geotextiles นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรวบรวมน้ำเหล่านี้และหาทางระบายออก ตัวอย่าง Chimney drain ใน earth dam (1a)

2. Waterproof membrane (or geomembrane) : geotextile จะมีหน้าที่ทำให้ชุ่ม หรือ/และ เคลือบเป็นวัสดุที่ซามผ่านไม่ได้ เหมือนกับ Asphalt หรือ plastics มีหน้าที่หยุดของเหลวและก๊าซ ตัวอย่างเช่น pond lining (1b)

3. Solid filter : geotextiles จะคั่นระหว่างดินละเอียด (fine soil) และดินหยาบ (coarse soil) มีหน้าที่คือ ให้น้ำระบายออกได้แต่ไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลดิน

-One way steady flow : ตัวอย่างใน trench drain (1c)

-Two-way dynamics flow : ตัวอย่างใน bank protection with rocks (1d)

4. Liquid filter : ใช้ในการผ่านข้ามในของเหลวที่มีส่วนละเอียดรวมอยู่ หน้าที่คือ หยุดมวลละเอียดในขณะที่น้ำผ่านออกไป ตัวอย่าง setting pond for ground water recharge (1e)

5. Support : geotextile จะอยู่ระหว่าง waterproofmembrane เข้าไปในรอยแยก ตัวอย่าง lining of an old cracked canal parement (1f)

6. Separator : geotextile จะคั่นอยู่ระหว่างดิน 2 อย่าง ที่ถูกใส่ load ลงไป หน้าที่ คือ รักษาชิ้นส่วนต่างๆของดิน 2 อย่างนี้ ตัวอย่าง Railroad track structure (1g)

7. Surtacing : geotextile จะถูกปูบนพื้น มีหน้าที่ทำให้พื้นเรียบและรักษาผิวหน้าการจราจร ตัวอย่าง helicopter pad (1h)

8. Curtain : geotextile จะถูกแขวนตามแนวยาวด้านข้างของดินหรือหินมีแน้าที่ ป้องกันการพังหรือถล่มของหินหรือดิน ตัวอย่าง rock fall net (2a)

9. Membrane (or mechanical membrane) : geotextile จะคั่นระหว่างวัสดุ 2 ชนิด ที่มีความแตกต่างทางความดัน มีหน้าที่จำกัดกองวัสดุที่มีความดันสูง ตัวอย่าง geotextile ที่ใช้ไม่ได้ทำหน้าที่ในการป้องกันการเคลื่อนตัวของชั้นดินอ่อนระหว่างล้อรถ (2b)

10. Tie : geotextile จะทำให้ชั้นดิน 2 ชั้น ดึงดูดกันแน่นขึ้น มวลหินหรือคอนกรีต ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนตัว นี่ก็เป็นอีกหน้าที่หนึ่งของ geotextile ตัวอย่าง สมอยึดกำแพง (2c)

11. Binder : geotextile จะใช้คลุมดินที่มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนตัวเมื่อถูกอนุภาคเล็กๆ กระทำ ตัวดย่าง ใช้ป้องกันการกัดเซาะหน้าดินที่เป็นแนวเอียง (2d)

12. Reinforcement : geotextile จะใช้หุ้มดินที่ไม่สามารถคงสภาพอยู่ได้ เมื่อได้รับผลของแรงหรือน้ำหนักที่กดทำ เป็นผลให้เกิดแรงดึง ตัวอย่าง ใช้ห่อหุ้มดินเป็นชั้นๆ หลายๆ ชั้น (2e)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. Absorber : geotextile จะใช้ปูในดินที่มีการสั่นสะเทือนจะมาจากภายนอก ซึ่งแผ่น geotextile นี้ จะลดการสั่นสะเทือนเหล่านี้ลง ตัวอย่าง geotextile จะถูกปูระหว่างชั้นของผิวถนน (2f)

14. Crack barrier : geotextile จะปูระหว่างชั้นวัสดุที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการร้าว แผ่น geotextile จะป้องกันการแตกร้าวในวัสดุที่เกิดการขยายตัวออกจากวัสดุอีกชนิดหนึ่ง ตัวอย่าง geotextiles จะป้องกันผลกระทบของรอยร้าวของผิวถนน (2g)

15. Bord : geotextile จะถูกปูระหว่างชั้นวัสดุ 2 ชนิด ที่ไม่ต้องการให้เกิดความแตกต่างทางการเคลื่อนตัว ซึ่งจะทำหน้าที่เพิ่มแรงเสียดทานและการยึดเกาะระหว่างชั้นของวัสดุ ตัวอย่าง แผ่น geotextile ที่ปูระหว่างชั้นของถนน (2h)

16. Lubrication : แผ่น geotextile จะใช้ปูระหว่างชั้นของวัสดุ 2 ชนิด ที่มีการเคลื่อนที่เนื่องจากวัสดุชนิดหนึ่ง แย่นนี้จะทำหน้าที่ลดแรงเสียดทานหรือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นของวัสดุ 2 ชนิดนี้ ตัวอย่าง จะใช้ปูในคลองส่งน้ำที่มีความแตกต่างทางด้านการเคลื่อนตัว (2I)

7.8 Geotextile และ Geomembranes ใน งานวิศวกรรมโยธา

หลักการประยุกต์ใช้

1. ใช้เป็นตัวคั่นกลางระหว่างเม็ด 2 ชนิด

สำหรับวัตถุประสงค์นี้ ขนาดร่องของ geotextiles จะต้องไม่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดกลางของเม็ดส่นที่ใหญ่ที่สุด ในบางครั้งส่วนเม็ดละเอียดจะสามารถผ่านโครงสร้างของ geotextile ได้บ้าง ซึ่งสามารถยอมรับได้ เม็ดส่วนที่สามารถเข้ามาจะเป็นเสมือนส่วนกรองอีกชั้นหนึ่ง (ดังรูป 7.1) ขึ้นอยู่กับสภาพทางกายภาพของเม็ดตัวกลาง เราสามารถกำจัดเศษของเม็ดตัวกลางโดยการใช้ loading กระทำซ้ำกันหลายๆ ครั้ง หรือ ใช้ขนาดร่องเล็กกว่าที่ควรจะเป็นก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้

geotextile สามารถรองรับผลของการเปลี่ยนรูปหรือแรงจาก dynamics loads ได้ เช่น การเทหินลงบนแผ่น geotextile ที่จากเป็นแนวป้องกัน (รูป 7.2) หรือ การบดดินหรือหินเป็นชิ้นเหนือแผ่น geotextiles (รูป 7.3) จากผลอันนี้เองทำให้เกิดแรงดึงระหว่างเม็ดด้านล่างกับเม็ดด้านบน เกิดเป็นแรงเสียดทางขึ้นระหว่างเม็ดตัวกลางกับตัวโครงของ geotextile

ในพื้นที่ไม่เรียบ (ไม่สม่ำเสมอ,เป็นคลื่น) ถูกทำให้เชื่อมต่อกันโดยโครงของ geotextiles (รูป 7.4) เป็นการลดความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว

จากรูป 7.2 เมื่อมีการเทหินลงบนแผ่น geotextile จะเกิดความเค้นขึ้น ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ ขึ้นอยู่กับความแข็งแรง, ความยืดหยุ่น ซึ่งเป็นคุณสมบัติของ geotextile ซึ่งปัญหานี้เราสามารถป้องกันได้โดยการปูแผ่น geotextile ทีละส่วนแยกเป็นส่วนๆ ถ้าเราสามารถลดแรงดึงของโครงสร้าง geotextiles ได้ ก็จะไม่ทำให้เกิดการฉีกขาดขึ้นบนโครง geotextiles หรือเป็นการลดการฉีกขาดลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้การรับ load ที่มีการเปลี่ยนแปลง อาจทำให้โครงสร้างของ geotextile เกิดการโค้งงอขึ้น (fabric flapping) ได้ (รูป 7.5) เราสามารถลดการโค้งงอของโครง geotextiles โดยการจัดตัวกลางที่มีขนาดใกล้เคียงกันไว้ด้วยกัน

2. การแยกเม็ดตัวกลางจากส่วนของของเหลว

เม็ดกรวดหรือดินที่ต้องแยกส่วนที่เป็นของเหลว เช่น น้ำเราใช้โครง geotextiles ในการป้องกันกรวดหรือดินเหล่านี้ออกจากของเหลว (รูป 7.6) เมื่อแยกสองส่วนออกจากกันแล้ว ด้านที่เป็นของเหลวจะมีแรงดันที่เกิดจากของเหลวขึ้น ในส่วนของดินอาจเกิดการอิ่มตัวเนื่องจากของเหลวที่ซึมผ่านตัว geotextile เข้าไป ทำให้โครงสร้างของเม็ดดินเกิดการเชื่อมติดกัน

การแยกตัวกลาง 2 ชนิดนี้ออกจากกันเป็นสิ่งที่จำเป็นเนื่องจากจะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของโครงสร้าง ดันนั้น geomembrane ควรจะถูกนำมาใช้เพื่อไม่ให้เกิดการซึมผ่านได้ของของเหลว เป็นการป้องกันความเสียหาย อัตราการไหลซึมผ่านจะแปรผันโดยตรงกับ geotextiles ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความซึมซาบ (permeability) และค่า head loss ของ geotextiles อันเนื่องมาจากการไหลของน้ำใต้ดิน

กรณีพิเศษในการแยกตัวกลางออกจากของเหลว เกิดขึ้น เมื่อนำ geotextiles ขนาดหนาๆ มาใช้ เช่น ตาข่าย โครงสร้างของตัวกลางจะถูกจัดเป็น geotextiles-net ขนาดร่องของ geotextiles-net สามารถประมาณให้เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดินหรือกรวด ปริมาณของเม็ดดินที่หลุดออกมาจาก net ทำให้ลดลงได้โดยความคดและความหนาของ textiles ซึ่งเป็นคุณสมบัติเดียวที่ออกแบบป้องกันการหลุดออกของเม็ดดินตัวกลาง เนื่องจากเศษของเม็ดดินตัวกลางที่ติดกับ textiles เป็นโครงที่แยกออกมาขึ้นอยู่กับขนาดของร่องในชั้นของ textiles-net

เศษของเม็ดดินตัวกลาง ถูกทำให้แข็งแรงขึ้น โดยใช้ geotextiles-net เป็นแบบตาข่าย หรือเป็นเส้นต่อกันหลวมๆ (รูป 7.7) การประยุกต์ใช้งานนี้เป็นหลักการผสมเส้นใยอย่างหลวมๆ เข้ากับตัวดินเอง (รูป 7.8) ซึ่งสิ่งนี้ไม่ใช่เทคโนโลยีใหม่อะไร เพราะเมื่อหลายพันปีก่อนมีการผสมเส้นฟางลงในดินเหนียวเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของอิฐที่ใช้ในการสร้างบ้าน

7.9 <u>โครงสร้างของถนน (A Road Construction)</u>

หน้าที่ที่ต้องการ (Functional Requirements)

ระบบถนนของประเทศ ไม่ได้ประกอบด้วยทางด่วน (motorways) สำหรับให้รถวิ่งเร็วๆ และคล่องตัวเท่านั้น แต่โดยส่วนใหญ่จะเป็นถนนธรรมดา (roads) เช่น ถนนในชนบทและถนนเข้าสู่เมือง ซึ่งมีหน้าที่หลักในการนำไปสู่ชนบท ความหนาแน่นของการจราจร และน้ำหนักของรถจะต้องถูกจำกัด โครงสร้างของถนนจะต้องสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักรถที่หนักได้ เช่นในเนเธอร์แลนด์มีการวางชั้น unbound aggregate หนา 0.4 ถึง 0.8 ม. ภายใต้โครงสร้างเดิม หรือ ใน cunet ตื้นๆ รากฐานนี้สามารถสร้างด้วยชั้น bituminous pavement หนาประมาณ 0.06 ม. ถึง 0.08 ม. (ดังรูปที่ 7.9) อย่างไรก็ตามการวางโครงสร้างของถนนบนพื้นที่อ่อนซึ่งสามารถรองรับได้เพียงโหลดเบาๆ จะทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ซึ่ง Subgrade ที่อ่อนนี้ ไม่สามารถที่จะสร้างรากฐานที่มั่นคงแข็งแรงโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปราศจากวัสดุรากฐานราคาแพงใน Subgrade วัสดุรากฐานที่หยาบมักจะถูกอัดลงไปใน Subgrade ที่อ่อนโดยใช้รถบรรทุกซึ่งจะกระจายวัสดุครอบคลุมส่วนสมบูรณ์ใหม่และเครื่องจักรที่กระจายมัน นอกจากนี้ วัสดุรากฐานจะต้องถูกดัมพ์ จากรถบรรทุกเพื่อจะรักษาให้มันผ่านไปได้

ในอดีตเราใช้ฟาง, branches, woven rushes, และ even hides ในการปรับปรุงให้โครงสร้างแข็งแรงขึ้น จากนั้นก็มีคำถามว่าเมื่อไม่กี่ปีแล้วนี้มีวิธีไหนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประสบความสำเร็จ การพัฒนา geotextiles (ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถใช้งานได้หลายทาง) เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงดินเนื่องมาจากคุณสมบัติพื้นฐานของมัน เช่น tensile strength, การกรอง (filtering) และการซึมผ่านของน้ำ (waterpermeability) geotextile จะถูกแทรกเข้าไประหว่างวัสดุรากฐานกับ Subgrade ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำให้แข็งแรง, เป็นตัวกลางในการกรอง, เป็นชั้นที่ใช้แบ่งแยก, เป็นตัวกลางในการระบาย และเป็นชั้น sealing

1. หน้าที่ในการแบ่งกั้น (separation function)

ในการใช้งานเป็นชั้นแบ่งกั้น geotextile จะป้องกันเม็ดหยาบที่จะไหลออกจากฐานรากหรือใต้ฐานรากหยาบ ลงสู่ส่วน subgrade เข้าสู่ชั้นรากฐาน จากอิทธิพลของน้ำหนักของจราจร (ดังรูปที่ 7.11) ชั้นรากฐานที่ไม่มีขอบเขตจะกระจายต่อเมื่อมีโหลดเนื่องมาจากพิกัดแรงเค้นต้องรับมีขีดจำกัด ด้วยผลนี้ช่องว่างระหว่างเม็ด (grains) จะเพิ่มขึ้นและทำให้วัสดุ Subgrade ส่วนที่อ่อนมีโอกาสเข้าไปสู่วัสดุรากฐานที่หยาบได้ geotextile จะทำหน้าที่ป้องกันเหตุการณ์นี้ ผลของการทำชั้นแบ่งกั้นนี้จะทำให้มั่นใจว่า ชั้นรากฐานหรือใต้รากฐานหยาบ สามารถทำหน้าที่ของมันได้ตั้งแต่เริ่มก่อสร้างและต่อไปจนตลอดช่วงอายุของถนน

การใช้ geotextiles เป็นชั้นแบ่งกั้นระหว่างวัสดุที่หยาบกับวัสดุที่ละเอียดนี้ จะยังคงให้ผลกำไรในกรณีที่สร้างถนนใช้ชั่วคราว เนื่องจาก geotextile สามารถรื้อถอนออกจากโครงสร้างของถนนได้โดยสะดวก วัสดุรากฐานสามารถป้องกันคุณสมบัติดั้งเดิมของมัน (สะอาด) และสามารถนำกลับมาใช้ได้

ในกรณีที่ใช้การผสมกันระหว่างรากฐานกับ Subgrade ก็สามารถใช้ได้และขนาดของส่วนผสมไม่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า ในกรณีนี้เราไม่มีข้อมูลเพียงพอเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของ Subgrade และวัสดุฐานราก ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะทำนายผลได้ใกล้ความจริง เมื่อนำ geotextile มาใช้การป้องกัน Subgrade มีองค์ประกอบที่สำคัญมากคือ ขนาดของเมล็ด Subsoil และการแบ่งขนาดของเม็ด, ความชื้นที่มีอยู่ใน subsoil ที่จะเข้าสู่พลาสติกจะต้องถูกจำกัดและความแข็งแรงด้านข้าง (shear strength) ความชื้นจะอยู่ใน subsoil หรือ การเกิดของน้ำจะมี ผลต่อพฤติกรรมของ Subgrade ในกรณีที่มีการแบ่งแยกโดยใช้ geotextile จะทำให้ระยะระหว่างโครงสร้างดีขึ้นถ้า Subgrade มีความแห้งขึ้น ด้วยการใช้ geotextile ทำหน้าที่ในการแบ่งกั้น ทำให้บรรลุความต้องการดังต่อไปนี้

-*Soil tightness* ŴCT. Ðr d ภษาไทย - RO ŒDŒ ที่ทำให้อนุภาคของ Subsoil ไม่สามารถผ่านเข้าไปส่วนชั้นโครงสร้างที่หยาบและไม่ไหลไปรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Water Permeability : ถ้าระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น แรงดันของน้ำจะต้องอยู่ภายใต้ชั้นแบ่งคั่น เพื่อที่จะรักษาโครงสร้างให้มีเสถียรภาพไม่เป็นอันตราย น้ำที่อยู่ในชั้นรากฐานจะไม่เสถียร ดังนั้น คุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำของ geotextile จะต้องเท่ากับหรือมากกว่าของ Subgrade คุณสมบัตินี้ ต้องมีตั้งในระยะสั้นและระยะยาว และจะต้องกระทำตั้งแต่การออกแบบ หรือไม่ก็ใช้ geotextile เป็น blocked

-Puncture Strength : เมื่อชั้นรากฐานที่หยาบได้รับโหลดการไหลไปรวมกันจะกระทำต่อ geotextile ดังนั้น geotextile จะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะทนต่อการพังทลาย

-Tearing strength : ถ้า geotextile ถูกทำลายหรือฉีกขาด รอยฉีกขาดจะต้องไม่เพิ่มขึ้นอีก ภายใต้การรับโหลดปกติ

-Breaking strength, breaking strain, stress-strain relation : เพื่อที่จะทำหน้าที่เป็นชั้นแบ่งคั่นได้อย่างต่อเนื่องจะมีข้อสำคัญพื้นฐานคือ geotextile จะต้องยังคงสมบูรณ์อยู่ โดยเฉพาะในกรณีที่ Subgrade และรากฐานที่หยาบถูกเปลี่ยนแปลงรูปร่างในระหว่างการก่อสร้าง (รูปที่ 0.4) ถ้าใช้ geotextile ที่ไม่แข็งแรง และ Subgrade มีพิกัดการรองรับต่ำแล้ว การเสียรูปจะเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่องภายใต้โหลดโดยตรง Subgrade จะยุบและถูกกดไปอีกทางหนึ่ง โดยทั่วไป ดินที่อยู่ใกล้ชิดจะถูกทำให้เสียรูปน้อยกว่าส่วนที่กระจายออกไป ดังนั้น geotextile จะต้องสามารถปรับตัวเองไปตามการเสียรูป โดยไม่ทำให้เกิด breaking strain เนื่องจาก ไม่มี geotextile เดี่ยวๆ ที่สามารถรองรับ ความเค้นสูงๆ ที่เกิดขึ้นเป็นระยะทางสั้นๆ ได้ มันจะต้องสามารถยืดหยุ่นได้เพียงพอต่อการเสียรูปร่าง และจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ

2. หน้าที่ในการกรอง (The filter function)

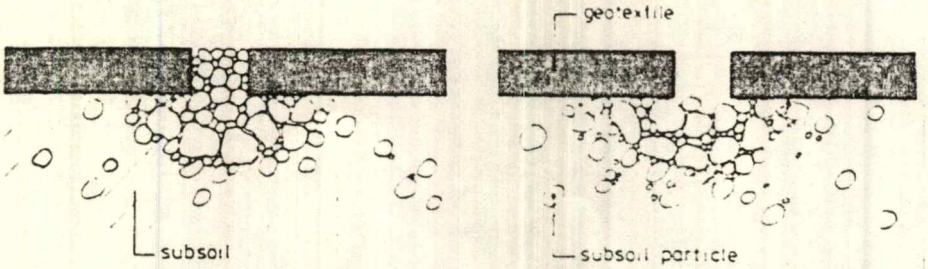
หน้าที่ในการกรองนั้น เป็นหน้าที่ที่ใกล้เคียงกับหน้าที่ในการแบ่งคั่น (separation function)

ป้องกันเม็ดดินที่ละเอียดจาก Subgrade เข้าไปปนในชั้นวัสดุพื้นทางที่เกิดขึ้นภายใต้น้ำหนักกระทำเป็นจุด (ไม่ใช่แรงกระจาย) การป้องกันเม็ดที่ไหลตามการไหลของน้ำ การไหลของน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจาก การเกิดขึ้นของแรงภายนอกอย่างทันทีทันใด โดยปกติแล้วจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงจากน้ำหนักรถที่กระทำ กระบวนการของชั้นดินและการเคลื่อนไหวของเม็ดดิน โดยการไหลของน้ำภายใต้การกระทำของแรงจากน้ำหนักรถเป็นเที่ยวๆ ไป

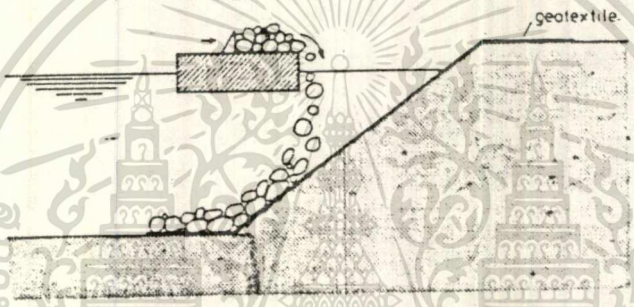
3. หน้าที่ในการเสริมกำลัง (The reinforcing function)

ในการเสริมกำลังจะใช้พื้นฐานของแรงดึงและการรับแรงได้ของ membrane ซึ่งขึ้นกับความสามารถของการกระจายแรงที่กระทำลงเป็นจุดเนื่อชั้น Subgrade และการหลีกเลี่ยงน้ำหนักที่กระทำเกินแบบ bearing การเสริมกำลังในการรับแรงนั้น geotextile จะถูกปูระหว่างชั้น base course และชั้น Subgrade เป็นการเสริมกำลังในการรับแรงทางด้านข้างด้วย เนื่องจากแผ่น geotextile จะถูกวางในแนวนอน ซึ่งทำให้เกิดการตัดกันระหว่าง base และ subbase ทำให้ค่าของแรงเสียดทานตรงรอยต่อระหว่างชั้นนี้เพิ่มขึ้น

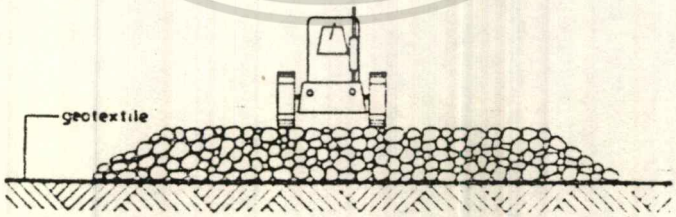
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



7.1 Development of a granular skeleton around the openings in the geotextile fabric.

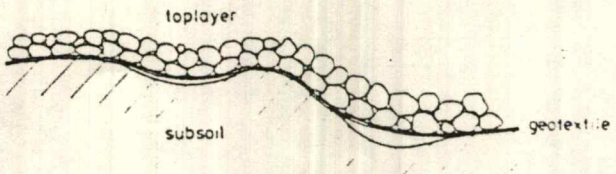


7.2 Dumping of stones onto a geotextile sheet.



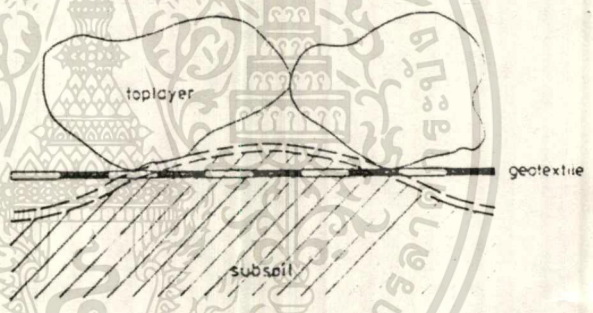
7.3 Compaction of stones lying on a geotextile fabric.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

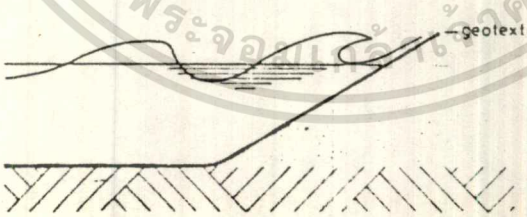


7.4 Geotextile lying on an irregular bed.

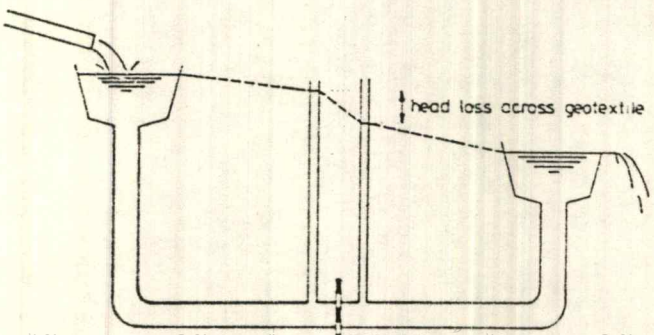




7.5 Fabric flapping.

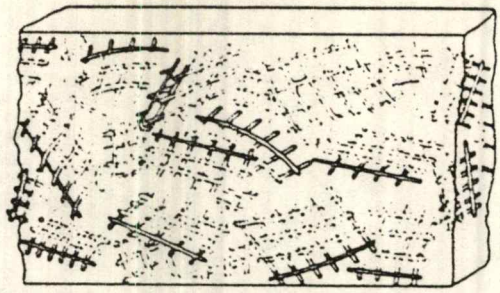


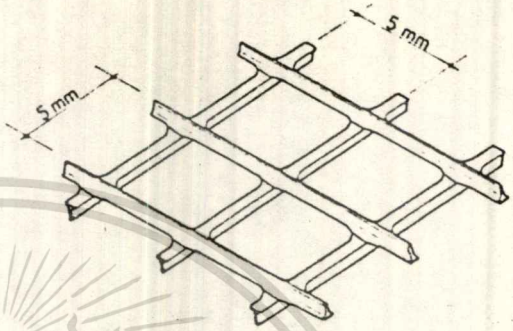
7.6 . Wave attack on a geotextile covered slope.



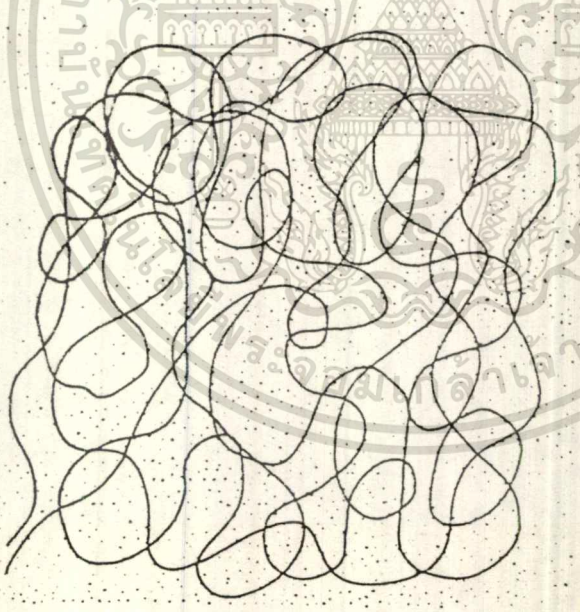
Determination of the headloss across a geotextile.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

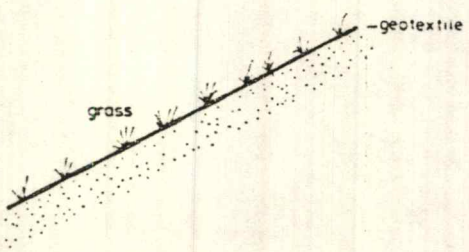




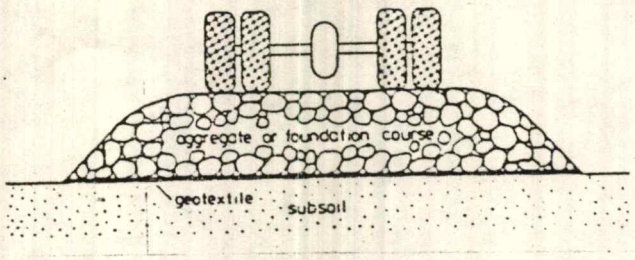
7.7 The principle of a geotextile-
oct.



7.8 An example of soil strengthening.



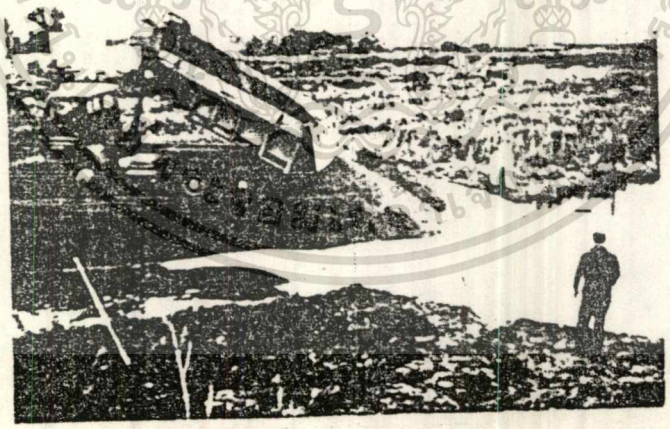
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



7.9 Cross-section showing road construction.

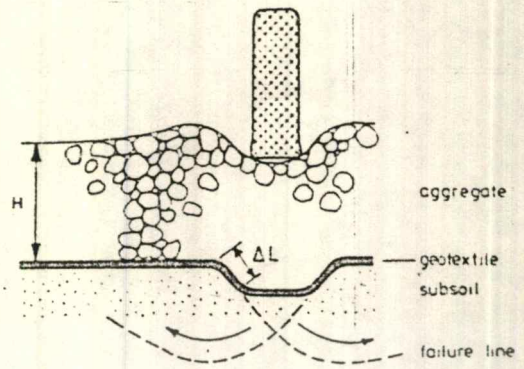


7.10 Separation function.



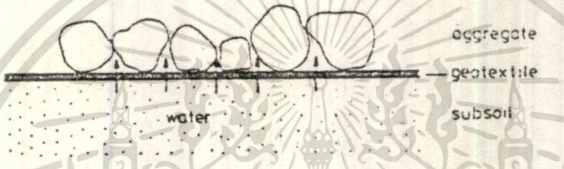
7.11 Separation function.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

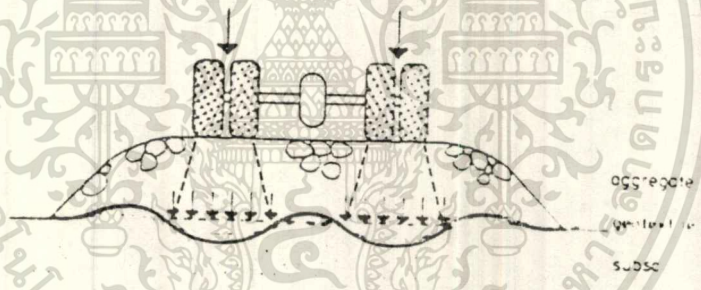


ΔL = required local elongation

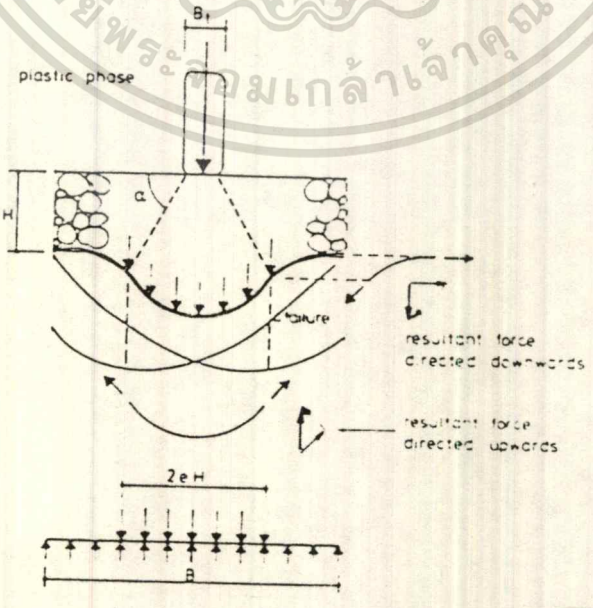
7.12 Local differences in settlement and geotextile elongation.



Filter function.

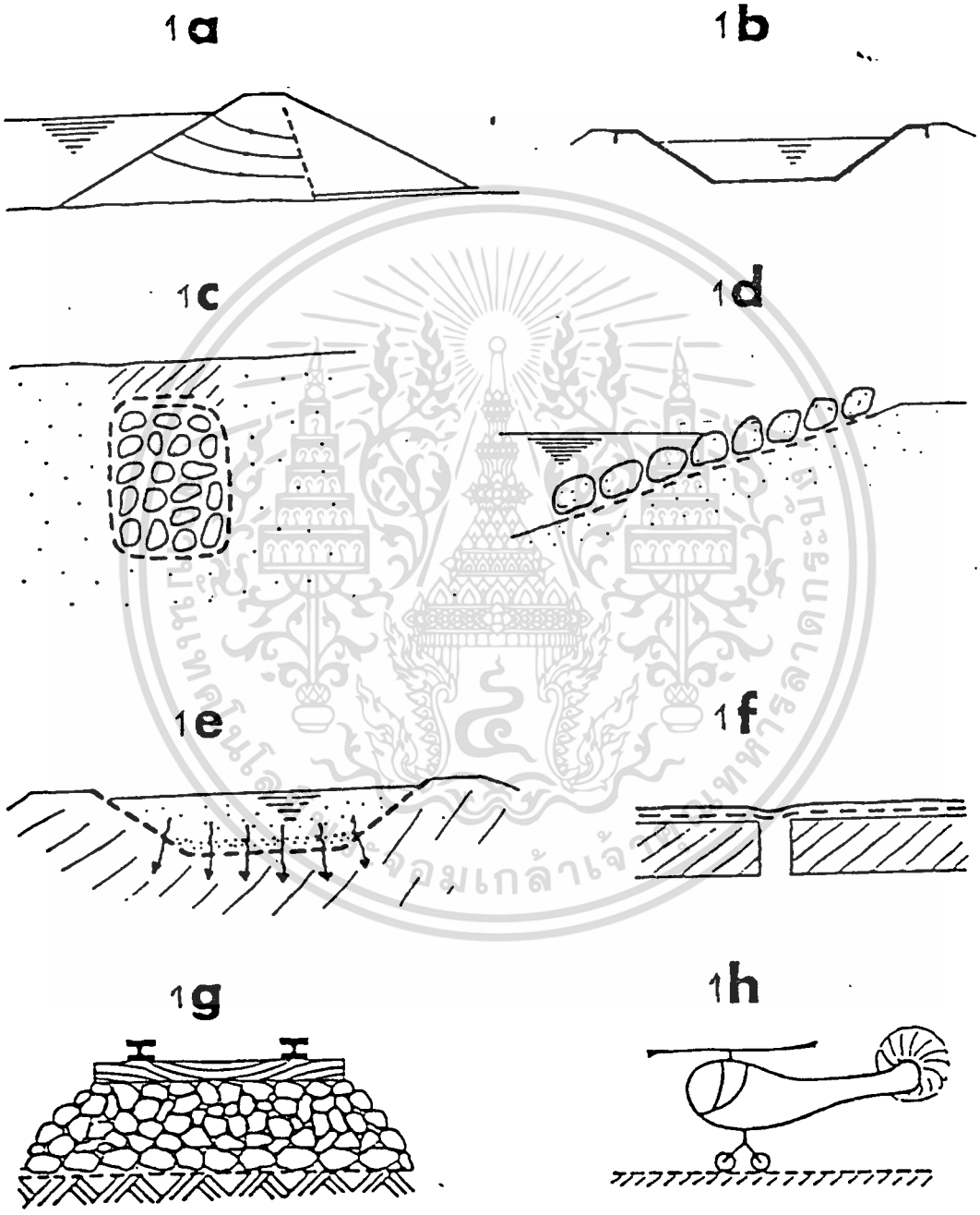


7.13 Membrane reinforcement.



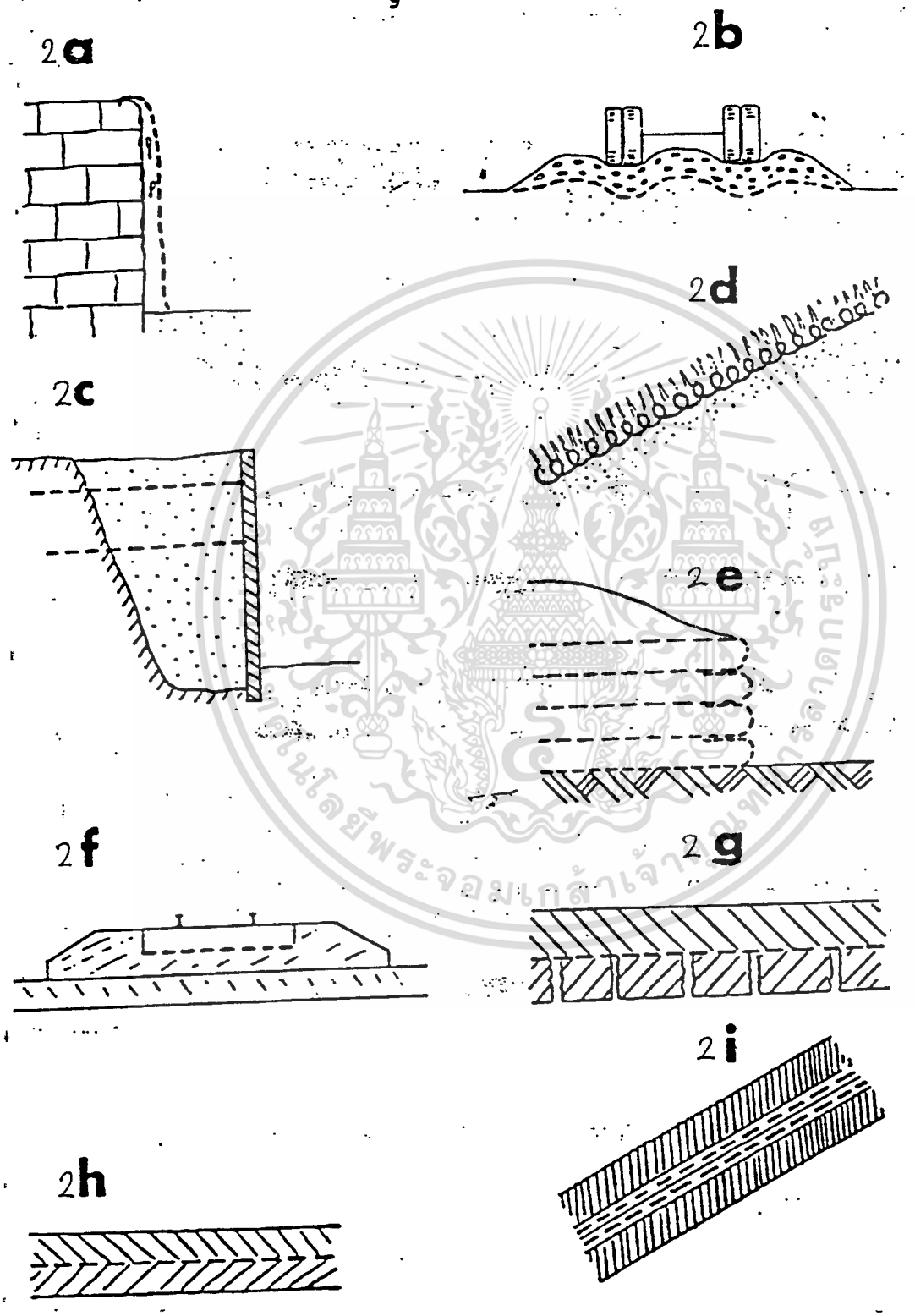
Membrane reinforcement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของ Geotextile



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษา
โครงการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทย
โดยใช้วัสดุ GEOTEXTILE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษกรุงเทพฯ-ชลบุรี สายใหม่

ความเป็นมาของโครงการ

โครงการนี้เป็นโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษ เชื่อมระหว่างกรุงเทพฯ (บริเวณถนนศรีนครินทร์) และจังหวัดชลบุรีมีระยะทางทั้งสิ้นตลอดโครงการประมาณ 79 กิโลเมตร ถนนสายนี้จะมีทางแยกต่างระดับที่จุดตัดกับถนนซึ่งมันตัดผ่านเป็นแห่ง ๆ โครงการนี้เป็นงานของกรมทางหลวง แบ่งงานออกเป็น 21 สัญญา ประกอบด้วยงานถนน 14 สัญญาและทางแยกต่างระดับ 7 สัญญา งานถนนในแต่ละสัญญาจะมีความยาวประมาณ 5 กิโลเมตร

สภาพดินบริเวณที่จะก่อสร้างถนนสายนี้ มีชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ซึ่งมีความหนาประมาณ 12-15 เมตร กำลังรับน้ำหนักของชั้นดินอ่อนน้อย และมีการทรุดตัวสูงแต่ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในชั้นดินอ่อน (Permeability) จะน้อยมาก ทำให้การทรุดตัวของชั้นดินเดิมเมื่อมีการทำคันทาง หรือ Pre Loading กินระยะเวลานานมาก ดังนั้นจึงใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างมาก นอกจากนี้ในขณะก่อสร้างการยกคันทางให้สูง จะมีผลต่อเสถียรภาพของคันทางอีกด้วย

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว กรมทางหลวงจึงได้ออกแบบให้มีการปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน (Foundation Treatment) โดยใช้ Prefabricated Vertical Drian (PVD.) เพื่อเร่งการระบายน้ำออกจากชั้นดินเหนียวอ่อน และอ่อนมาก ทำให้อัตราการทรุดตัวในขณะก่อสร้างรวดเร็วยิ่งขึ้น การปรับปรุงคุณภาพดินเดิมโดยใช้ Structure ทั้งนี้เพื่อให้การทรุดตัวหลังจากทำถนนเสร็จแล้วมีน้อยที่สุด นอกจากนี้การใช้ PVD. จะช่วยให้ดินอ่อนมีอัตราการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักสูงขึ้นอีกด้วย รายละเอียดและวิธีการทำ PVD. จะได้กล่าวต่อไป

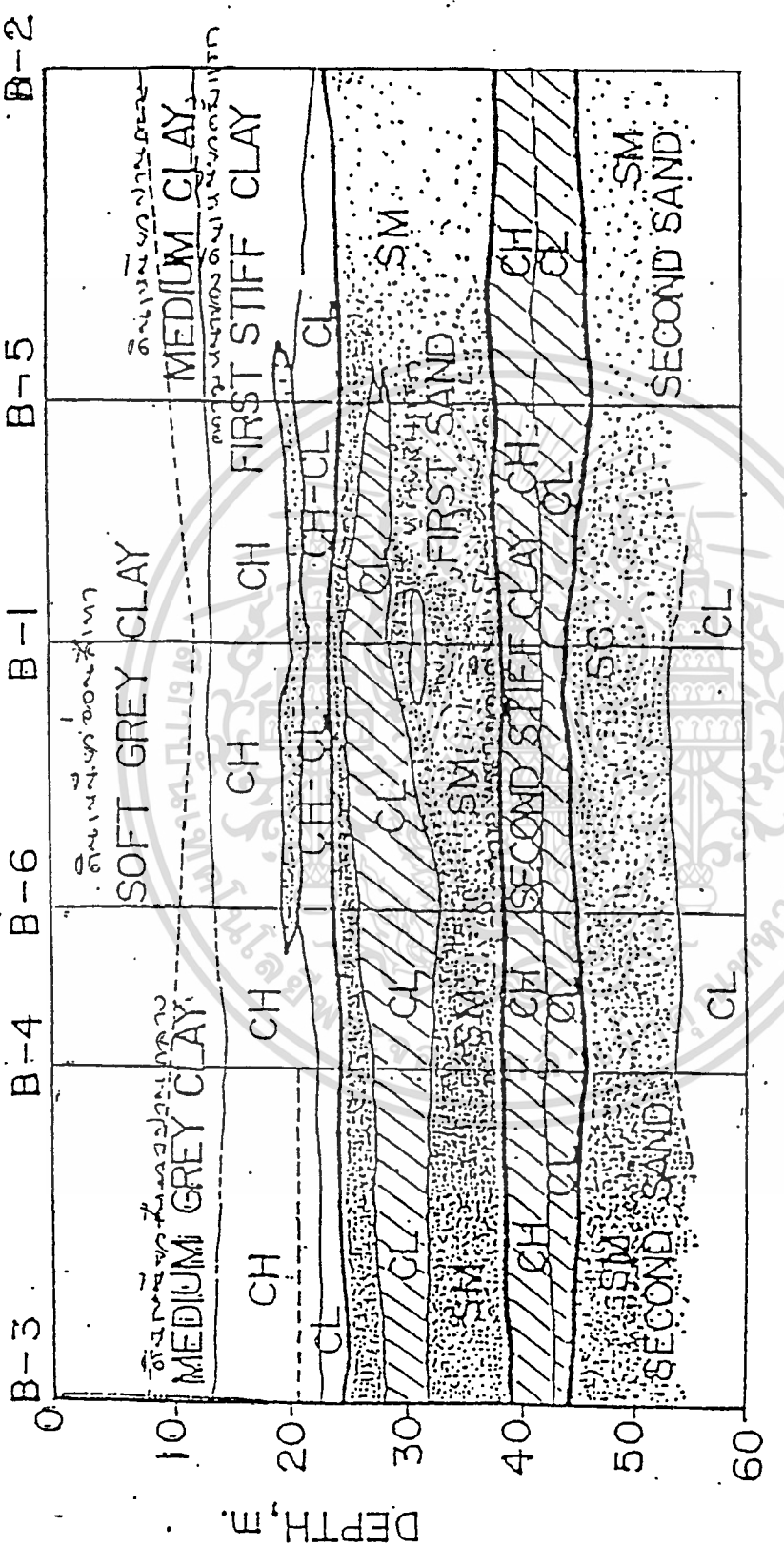
แถบใยสังเคราะห์ระบายน้ำในแนวดิ่ง

Prefabricated Vertical Geotextile Drains

1. บทนำ (Introduction)

การก่อสร้างถนนบนดินเหนียวอ่อนในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างอันประกอบด้วยดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมากหนา 13.0-14.0 เมตรตอนบนถัดลงไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรกหนา 5-8 เมตร แทรกด้วยชั้นดินทรายชั้นแรกซึ่งมีความหนาไม่สม่ำเสมอจาก 1.0-5.0 เมตร สลับไปมาด้วยชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมากและชั้นทรายแน่นแทรกตัวไปมาจนถึงระดับความลึก 50 เมตรจากระดับดิน ดังแสดงในรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงสภาพชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพโดยทั่วไป (Typical Bangkok Subsoil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะที่กล่าวมาข้างต้น ดินเหนียวอ่อนตอนบนจะมีผลกระทบต่อปัญหาในการก่อสร้างถนนบนชั้นดินอ่อนนี้เป็นอย่างมาก เนื่องจากคุณสมบัติในการยุบตัว (Compressibility) ได้ง่ายเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกและมีค่าความซึมน้ำ (Permeability) ต่ำมาก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาด้านการทรุดตัวและระยะเวลาที่ยาวนานในการสิ้นสุดการทรุดตัว เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การใช้แถบใยสังเคราะห์ระบายน้ำในแนวดิ่ง (Prefabricated Vertical Geotextile Drain หรือ PVD) ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงสภาพดินวิธีหนึ่งในหลาย ๆ วิธีได้ถูกนำมาทดลองใช้ในงานของกรมทางหลวงแผ่นดินเป็นครั้งแรก (อย่างเป็นทางการ) ในปี พ.ศ. 2536 ในโครงการก่อสร้างถนนวงแหวนรอบนอกฝั่งตะวันออก (OBRR) ที่จะดำเนินการในระยะเวลาอันใกล้นี้ ดังนั้นบทความนี้จึงได้จัดทำขึ้นสำหรับบุคคลและผู้ที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไป เพื่อเป็นการแนะนำผลิตภัณฑ์แถบใยสังเคราะห์ระบายน้ำ PVD โดยจะกล่าวถึงเฉพาะที่มาของหลักการ ลักษณะการติดตั้ง การใช้งานและหลักเกณฑ์ในการควบคุมงานอย่างคร่าว ๆ โดยจะไม่เน้นหนักในด้านทฤษฎีการออกแบบ

2. วัตถุประสงค์และหลักการโดยทั่วไป (Objective & General Concept)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การติดตั้ง PVD ควบคู่กับการเพิ่มน้ำหนัก (Surcharge) บนดินเหนียวอ่อนเรียกว่า วิธีการ "Preloading" (ดังแสดงในรูปที่ 2) ก็เพื่อจุดประสงค์ในการเร่งระยะเวลาในการยุบตัวของดินเหนียวอ่อนใต้ดันทางให้เร็วขึ้น ทั้งยังช่วยป้องกันการวิบัติหรือเคลื่อนตัวของดินในระหว่างการ Preloading อีกประการหนึ่งด้วย โดยมีหลักการดังนี้คือ จะทำการไล่น้ำหรือระบายน้ำออกจากมวลดินเหนียวอ่อนที่มีปริมาณน้ำตามธรรมชาติค่อนข้างสูง (ในช่วง 80-120%) และมีคุณสมบัติในด้านการซึมน้ำในแนวดิ่ง (k) ต่ำกว่าในแนวราบ (k_h) การใช้แถบ PVD นี้ ก็เพื่อลดความยาว Drainage path ของการระบายน้ำในมวลดิน ทำให้ระยะเวลาในการทรุดตัวเร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเพิ่มน้ำหนักบรรทุก (Preloading) จะกล่าวอีกแง่หนึ่งก็คือ เป็นการเร่งปริมาณการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ (Primary Conslidation) ให้เกิดขึ้นมากที่สุดในช่วง Waiting Period

ดังนั้นจุดประสงค์หลักที่สำคัญอาจกล่าวสรุปได้ 2 ประการสำหรับการใช้แถบใยสังเคราะห์ระบายน้ำแนวดิ่ง (PVD) คือ

1. เป็นการเร่งขบวนการอัดตัวของดินเหนียวอ่อนใต้ดันทาง

2. เพื่อให้ดินเหนียวใต้ดันทางมีกำลังรับแรงเฉือน (Undrained Shear Strength, S_u) เพิ่มมากขึ้นหลังจากระบายน้ำออกจากมวลดินแล้ว อันจะเป็นการเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อนตอนล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.วัสดุที่ใช้ (Material)

วัสดุที่ใช้จะประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบใหญ่ ๆ คือ แกนกลาง (Core) ที่มีลักษณะเป็นแถบทำด้วยพลาสติก ขนาดโดยทั่ว ๆ ไปกว้างประมาณ 100 มิลลิเมตร บรรจุอยู่ในซองใยสังเคราะห์ (Geotextile) หนาประมาณ 3-5 มิลลิเมตร (อัตราส่วนของความกว้างต่อความหนาของ PVD ไม่ควรเกิน 50)

3.1 แกน (Core) จะเป็นวัสดุประเภทพลาสติกที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ประเภท Polyethylene (PE) หรือ Polypropylene (PP) ที่ต้องมีความยาวต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อจุดประสงค์ในการให้น้ำสามารถระบายออกได้อย่างสะดวกตามแกนในแนวระนาบดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3

3.2 แผ่นใยสังเคราะห์หุ้มด้านนอก (Filter/Jacket) จะเป็นวัสดุใยสังเคราะห์ (Synthetic Geotextile) ที่จะสามารถต้านทานแรงกระทำในลักษณะต่าง ๆ เช่น แรงดัด แรงทะลุทะลวง (Punching) และแรงดึงที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการติดตั้งและตลอดอายุการใช้งานของ PVD ที่จะต้องฝังตัวในดินตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยวัสดุดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก. ต้องแข็งแรงเพียงพอและสามารถต้านทานความเสียหาย อันจะเกิดจากการทะลุทะลวง (Punching Resistance) ผ่านแผ่นใยสังเคราะห์ด้านนอก (Filter) จากวัสดุกรวดและทรายภายนอก

ข. ต้องแข็งแรงเพียงพอและสามารถต้านทานต่อแรงดันดินด้านข้างจากน้ำหนักกดทับด้านบน (Surcharge) ในขณะที่ PVD ฝังตัวอยู่ในดิน ซึ่งจะไม่ทำให้ PVD เสียรูปร่างไปจนไม่สามารถระบายน้ำใต้ดินได้ในแนวดิ่ง

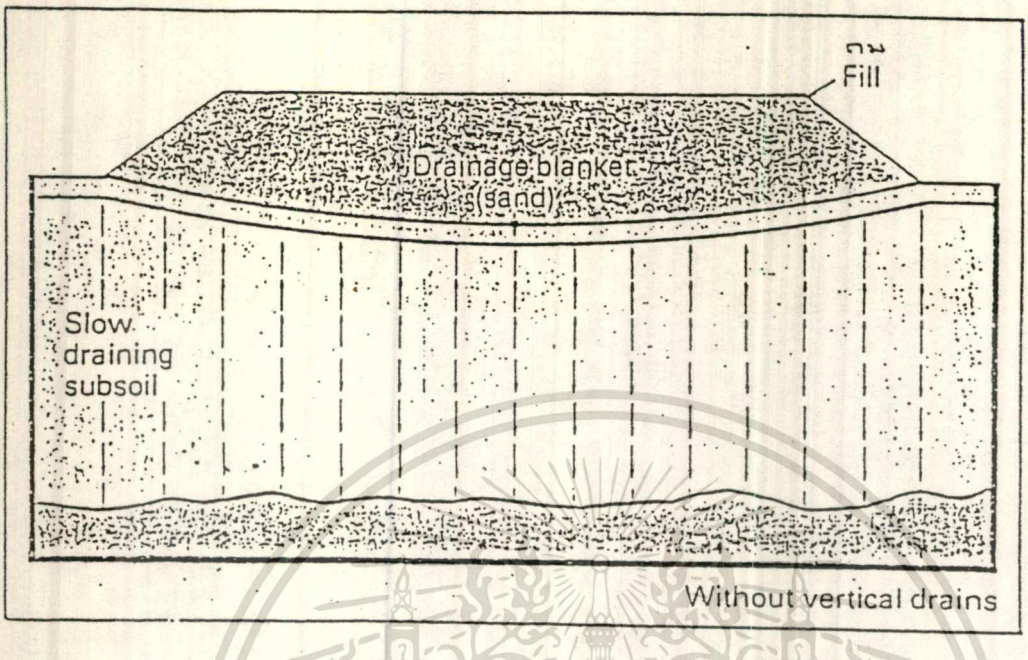
ค. ต้องมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นตัวได้อย่างสม่ำเสมอในระหว่างการติดตั้ง และในช่วงเกิดการทรุดตัวโดยปราศจากความเสียหายของ PVD

ง. ต้องไม่เกิดการแตกร้าวหรือการลอกตัวของวัสดุในระหว่างการติดตั้ง

จ. ต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรม ดังต่อไปนี้

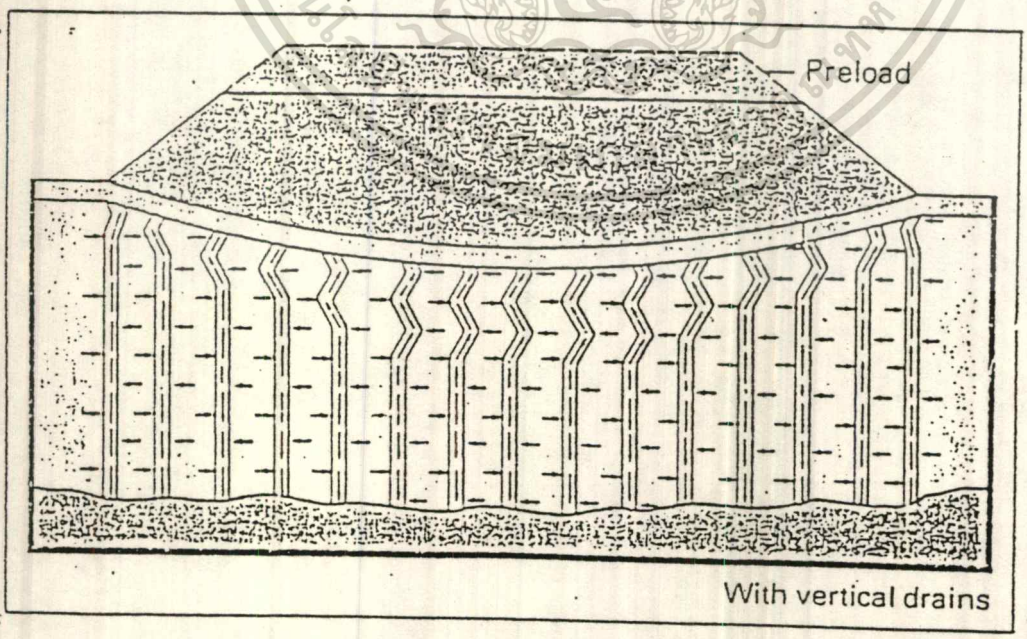
หมายเหตุ : - เป็นตัวอย่างข้อมูลของคุณสมบัติ PVD Jacket ที่ใช้ในโครงการกรุงเทพ - ชลบุรีสายใหม่และถนนวงแหวนรอบนอกฝั่งตะวันออกเท่านั้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพชั้นดินและการใช้งานอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



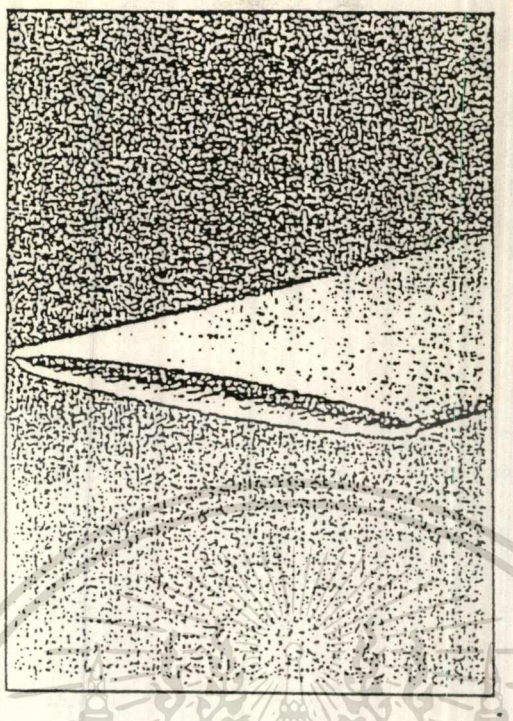
(ก) เมื่อไม่ติดตั้งแถบ PVD, การระบายออกของน้ำในมวลดินเป็นไปอย่างช้าๆ

(ข) เมื่อไม่ติดตั้งแถบ PVD, การระบายออกของน้ำรวดเร็วขึ้น, กำลังของดิน(S_u)เพิ่มขึ้นช่วยในแง่เสถียรภาพของคันทาง

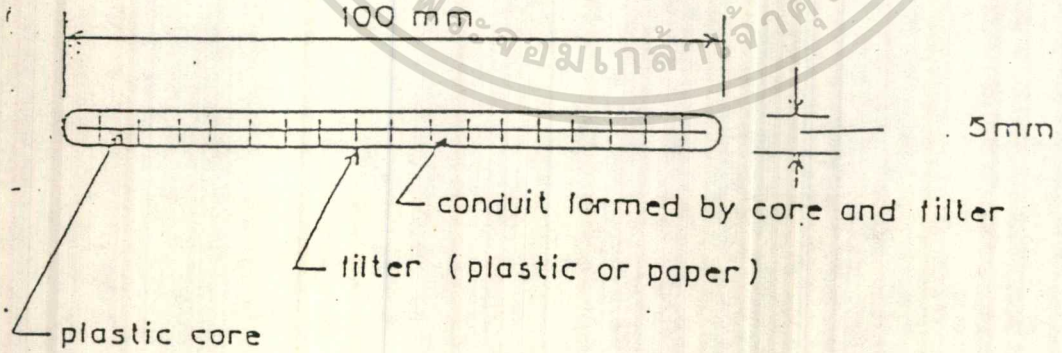


รูปที่ 2 (ก,ข) แสดงการ Preload บนชั้นดินเหนียวอ่อน เปรียบเทียบเมื่อใช้ Vertical Drain (วิธีทั่วๆไป) และใช้แถบใยสังเคราะห์ระบายน้ำในแผ่น PVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แสดงแถบ PVD (แกนกลางของแผ่นใยสังเคราะห์หุ้มด้านนอก)



(ข) แสดงรูปตัดขวางของแถบวัสดุสังเคราะห์ (PVD)

รูปที่ 8 (ก,ข) แสดงวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นแถบวัสดุสังเคราะห์(PVD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของ PVD Jacket	หน่วย	มาตรฐานการทดสอบ	ค่าที่ยอมรับ
1. Apparent Opening Size ; AOS	μm	ASTM D 4751-87	น้อยกว่า 90
2. Grab Tensile Strength	KN	ASTM D 4632-91	มากกว่า 0.35
3. Trapezoidal Tear Strength	KN	ASTM D 4533-91	มากกว่า 0.10
4. Puncture Resistance	KN	ASTM D 4833-88	มากกว่า 0.20
5. Burst Strength	KPa	ASTM D 3786-80a	มากกว่า 900
6. Discharge Capacity at 7 days 200 KN/m^2 hydraulic gradient 1	$m^3/_{year}$	ASTM D 4716-87	มากกว่า 500

4. วัสดุและอุปกรณ์ในการติดตั้ง PVD (PVD Installation Equipment)

4.1 เครื่องจักรและเครื่องมือ (Drain Placer)

เครื่องจักรและเครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้ง PVD (ตามรูปที่ 4) ประกอบด้วย เครื่องปั้นจั่นที่สามารถแล่นด้วยตัวเองได้ (Self-movable installation rig) พร้อมแกนเหล็กนำร่อง (Steel mandrel) ที่มีลักษณะแบน แต่กว้างเพียงพอที่ PVD จะใส่เข้าไปในด้านในได้ ตามรายละเอียดในรูปที่ 4 (C) ซึ่งแกนเหล็กนำร่องนี้จะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถกดลงไปในดินที่ตำแหน่งตามที่ต้องการและสามารถที่จะป้องกันไม่ให้ PVD ฉีกขาด หรือถูกเสียดสีให้เสียหายในระหว่างการติดตั้ง

อนึ่ง ปั้นจั่นที่ใช้ในการติดตั้งจะต้องไม่ก่อให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อดินรอบข้างใต้ดันทางหรือเกิดขึ้นให้น้อยที่สุดในระหว่างการทำการติดตั้ง และต้องสามารถรักษาความดิ่งของแกนเหล็กนำร่อง (Mandrel) ได้ตลอดเวลาในขณะทำการติดตั้ง PVD

4.2 ขนาดของแกนเหล็กนำร่อง (Mandrdl/Sleeve)

จะต้องมีขนาดเหมาะสมที่จะไม่ทำให้ดินถูกกระทบกระเทือน หรือเกิดการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด ซึ่งจะต้องมีพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน 70 ตารางเซนติเมตร อีกทั้งแกนเหล็กนำร่องดังกล่าวจะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะป้องกันการเสียรูปทรงของ PVD ขณะทำการติดตั้งในสนาม

4.3 แผ่นหรือแกนเหล็กยึดรั้งปลายสุดของแกนนำร่อง (Achorage at tip of mandrel)

ดังแสดงในรูปที่ 7 เพื่อป้องกันดินไม่ให้เข้าไปบริเวณปลายของแกนนำร่องในระหว่างการติดตั้งแผ่น PVD และเป็นการยึดรั้งปลายแผ่น PVD ให้อยู่ในระดับความลึกที่ต้องการขณะที่ชักแกนนำร่องออก ขนาดของแผ่นยึดรั้ง (Anchor plate) จะต้องมีขนาดเท่าหรือใกล้เคียงกับขนาดของแกนนำร่อง (Mandrel) เพื่อไม่ให้ดินถูกกระทบกระเทือนหรือให้เกิดน้อยที่สุด

5. วิธีการติดตั้ง PVD (Method of PVD Installation) ดังแสดงในรูปที่ 6

5.1 ขั้นตอนการติดตั้ง (Sequence of Installation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ปูแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งชั้นวัสดุ หรือ Separator (ถ้าปรากฏในแบบ) ในการป้องกันมิให้วัสดุถมคันทางผสมกับดินเดิม เพื่อลดการสูญเสียของวัสดุถมคันทาง

ข. ถมชั้นทรายระบายน้ำ (Drainage Blanket) หนาประมาณ 30-50 เซนติเมตร ซึ่งวัสดุที่ใช้จะต้องมีสัดส่วนมวลคละ (Gradation) ที่จะสามารถระบายน้ำออกได้อย่างรวดเร็ว โดยปกติควรจะมี % Finer than sieve #200 (by weight) ไม่เกิน 6% อนึ่ง ชั้นทรายระบายน้ำไม่ควรใช้วัสดุหินคลุก เพราะจะเป็นการลำบากต่อการกดแถบ PVD ลงในดิน โดยใช้แกนนำร่อง (Mandrel)

ค. ติดตั้งแถบ PVD ตามขั้นตอนดังนี้

1. ใช้เครื่องปั้นจั่น (ตามรูปที่ 4 และ 5) เคลื่อนเข้าไปในตำแหน่งที่จะติดตั้งที่ได้ทำการกำหนดตำแหน่งด้วยหมุดตามรายละเอียดในแบบก่อสร้างแล้ว

2. ทำการประกอบแผ่นยึดรั้ง (Anchor plate) บริเวณปลายสุดของแถบ PVD ดังแสดงในรูปที่ 7

3. กดเหล็กนำร่อง (Mandrel) ลงไปในดินด้วยอัตรา 15-60 เซนติเมตรต่อวินาที ลงไปที่ระดับความลึกที่ต้องการตามแบบ

4. ถอนเหล็กนำร่องออก แถบ PVD จะฝังตัวอยู่ในดินที่ระดับตามต้องการ

5. ทำการตัดแถบ PVD โดยใช้กรรไกรเหนือระดับชั้นทรายระบายน้ำ

ง. ในกรณีที่วัสดุคันทางเป็นดินถมเม็ดละเอียด (Fine-grained material) อาจจำเป็นต้องใช้แผ่นใยสังเคราะห์ปูเป็น Separator อีกชั้น แต่ถ้าวัสดุคันทางเป็นวัสดุเม็ดหยาบ (Coarse-grained material) ก็ไม่จำเป็นต้องปู Geotextile อีก

จ. ทำการถมวัสดุดินถมคันทางตามแบบจนได้ระดับ Preloading ที่ต้องการตามแบบ

6. ข้อควรคำนึงในการติดตั้ง PVD

6.1 ในการกำหนดตำแหน่ง จำนวนของแถบ PVD ในโครงการควรจะกำหนดโดยใช้การกำหนดแนวหรือวาง Baseline และหมุดหลักฐาน (Bench mark) ตามหลักการของงานสำรวจทั่วไป เพื่อป้องกันความผิดพลาดและยังง่ายต่อการตรวจสอบในครั้งต่อ ๆ ไป โดยตำแหน่งของ PVD ไม่ควรคลาดเคลื่อนจากที่กำหนดในแบบเกิน 15 เซนติเมตร

6.2 ก่อนการติดตั้งแถบ PVD เพื่อให้ระดับความลึกของ PVD ถูกต้องตามแบบก่อสร้างควรตรวจสอบระดับดินเดิม Working Platform ให้ถูกต้องเสียก่อนในแต่ละตอนของการก่อสร้าง (Section) แล้วทำการบันทึกความยาวของแถบ PVD ที่ใช้ก่อนและหลังติดตั้งในแต่ละวัน แล้วตรวจ

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ที่ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอบกับจำนวนหลุมที่ฝังแถบ PVD ที่ทำได้ทั้งหมดในแต่ละวัน ซึ่งไม่ควรจะแตกต่างกันเกิน 5-10 เซนติเมตร ในแต่ละตอน (Section) ที่ติดตั้ง

6.3 เครื่องปั้นจั่นสำหรับติดตั้งแถบ PVD จะต้องทำการตรวจสอบความดิ่งของทั้งตัวเครื่องและตัวแกนเหล็กนำร่องให้ได้ดิ่งเสมอตลอดระยะเวลาที่ทำการกดแถบ PVD ลงในดิน โดยที่ความคลาดเคลื่อนต้องไม่เกิน 1:50 (แนวราบ : แนวดิ่ง) ในระหว่างการติดตั้งแถบ PVD ทุกหลุม

6.4 การติดตั้งแถบ PVD ควรจะกระทำด้วยการกด โดยใช้น้ำหนักกดหรือโดยใช้การสั่นสะเทือนในอัตราความเร็วที่คงที่และราบเรียบสม่ำเสมออย่างต่อเนื่อง ส่วนการใช้วิธีการฉีดน้ำอัด (Jetting) อนุญาตให้ใช้ได้ในกรณีที่ดินแข็งมากอยู่ตอนบน แต่ทั้งนี้ควรได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรผู้ควบคุมงานก่อนไม่ควรใช้วิธีการตอก (Driving) เพื่อกดแถบ PVD ลงในดิน

6.5 อัตราการกดของแกนเหล็กนำร่อง ในการฝังแถบ PVD ควรอยู่ในช่วงอัตรา 15-60 เซนติเมตรต่อวินาที เพื่อป้องกันการบิด (Bending) และเสียรูปร่าง (Deflection) ของแถบ PVD

6.6 แผ่น PVD ที่ติดตั้งลงในตำแหน่งและความลึกตามแบบเรียบร้อยแล้ว จะต้องตัดเหนือระดับชั้นทางระบายน้ำประมาณ 25 เซนติเมตร ในลักษณะปลายเรียบเสมอกัน โดยใช้กรรไกร

6.7 การต่อปลายแถบ PVD โดยวิธีการทาบ (Splice) จะต้องต่ออย่างประณีต เพื่อไม่ให้โครงสร้างและคุณสมบัติด้านการระบายน้ำเสียไป โดยปกติควรจะมีระยะทาบ (Overlap) อย่างน้อย 15-20 เซนติเมตร และไม่ควรจะมีการต่อปลายแถบเกิน 1 จุดต่อ 1 ม้วนของแถบ PVD ที่ใช้

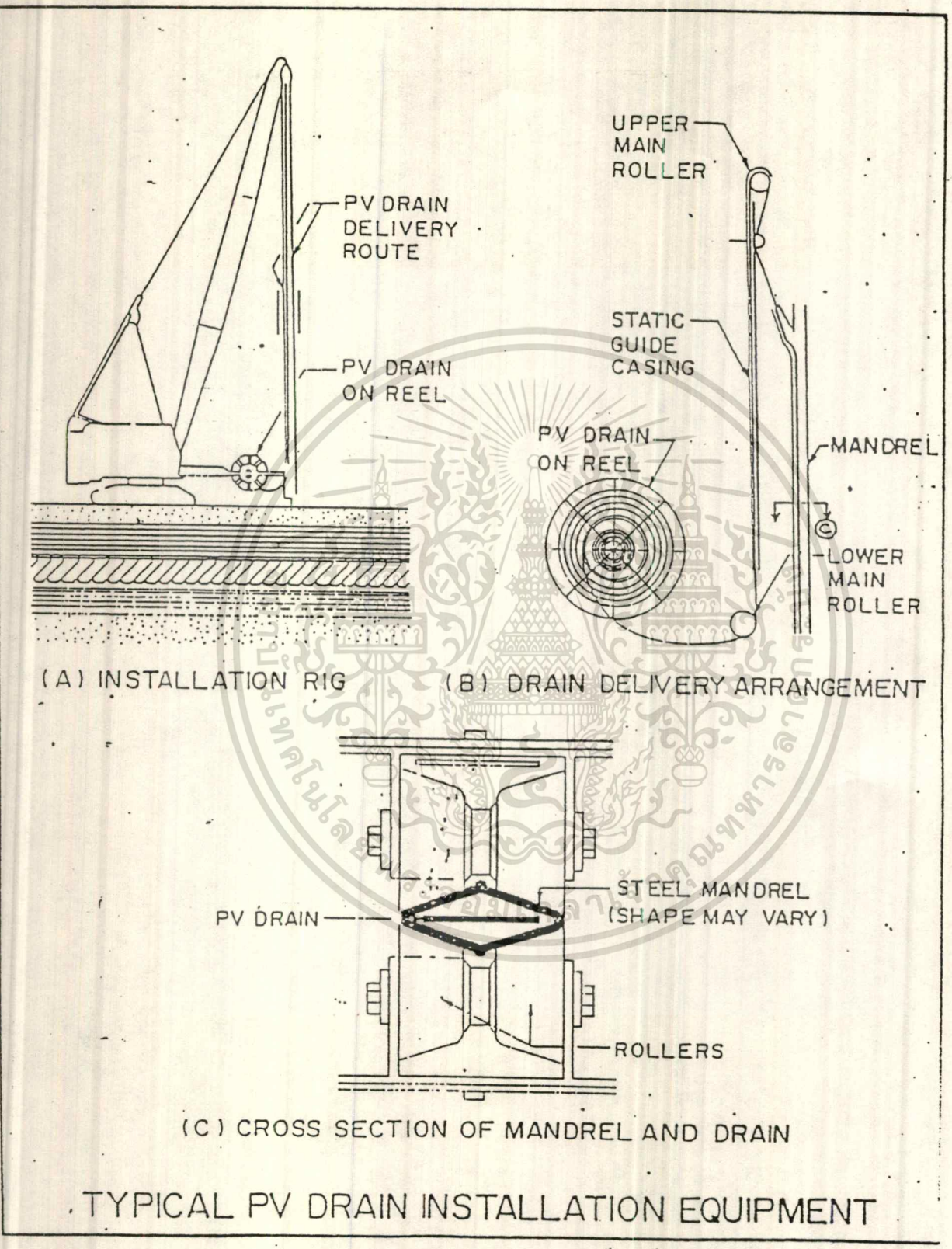
7. การควบคุมคุณภาพ PVD

จุดประสงค์ :- เพื่อควบคุมคุณภาพของแถบ PVD ที่จะนำมาใช้งานให้ได้คุณภาพและมีคุณสมบัติสอดคล้องตามรายละเอียดข้อกำหนดประกอบแบบก่อสร้างทุกประการ โดยมีหลักปฏิบัติโดยทั่วไปเป็นข้อ ๆ ดังต่อไปนี้

7.1 ผู้รับจ้างจะต้องส่งรายละเอียดคุณสมบัติทางด้านกายภาพและวิศวกรรมของวัสดุ PVD จากผู้ผลิตที่จะใช้ติดตั้งในโครงการอย่างน้อย 2-3 สัปดาห์ก่อนการติดตั้ง รวมทั้งประวัติการใช้งานของผลิตภัณฑ์ PVD ที่ผ่านมาแล้วในอดีต เพื่อให้วิศวกรผู้ควบคุมงานได้ประกอบการพิจารณาอนุมัติ โดยวิศวกรผู้ควบคุมงานจะพิจารณาและแจ้งผลให้ผู้รับจ้างทราบถึงผลการอนุมัติก่อนการติดตั้งอย่างน้อย 7 วันก่อนเริ่มงานติดตั้งในสนาม

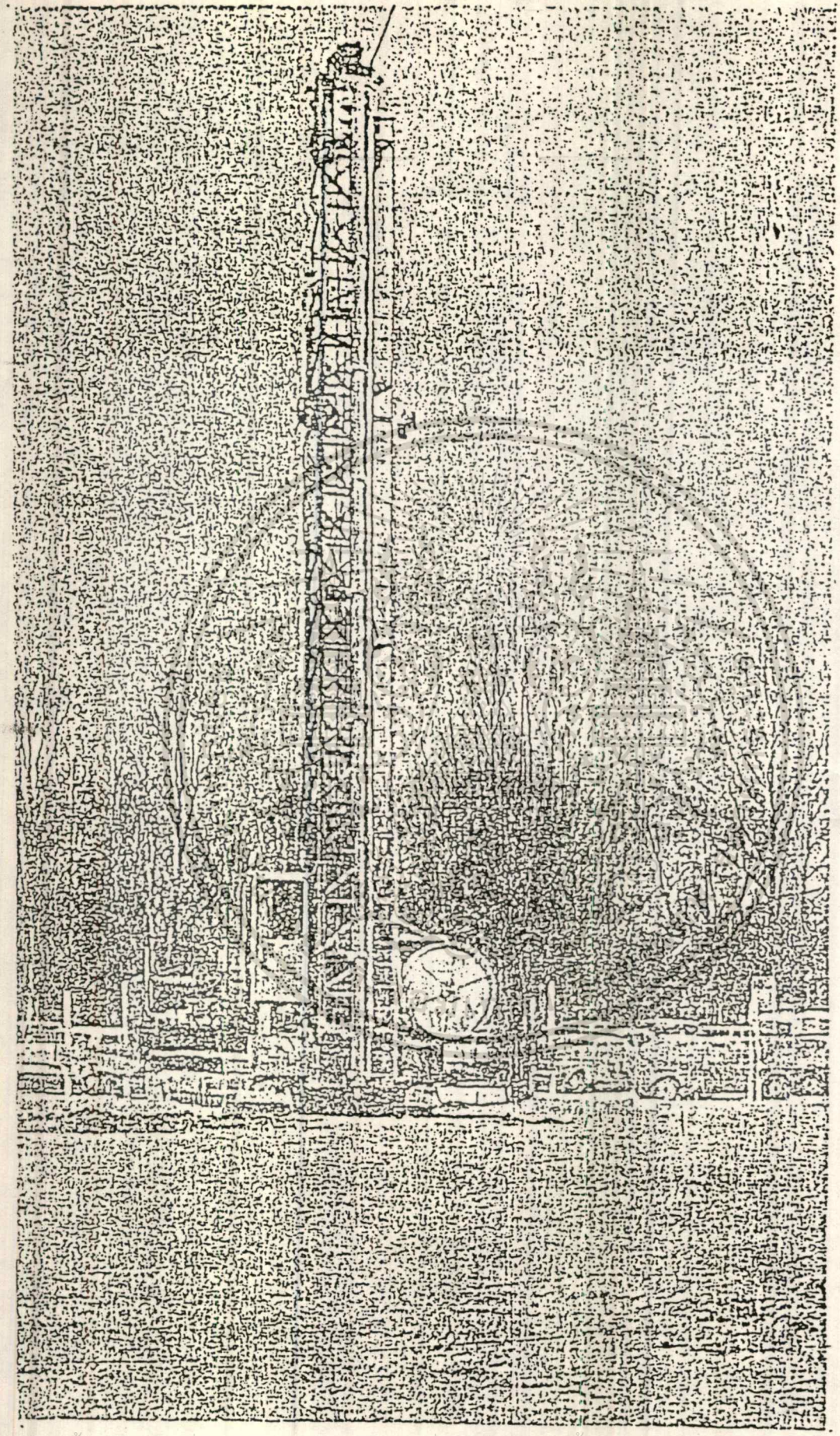
7.2 ผู้รับจ้างต้องกำหนดหรือแจ้งแหล่งที่มาหรือแหล่งผลิตของผลิตภัณฑ์ PVD ที่จะใช้ในโครงการแก่วิศวกรผู้ควบคุมงานก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะถูกนำเข้ามาใช้ติดตั้งในสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



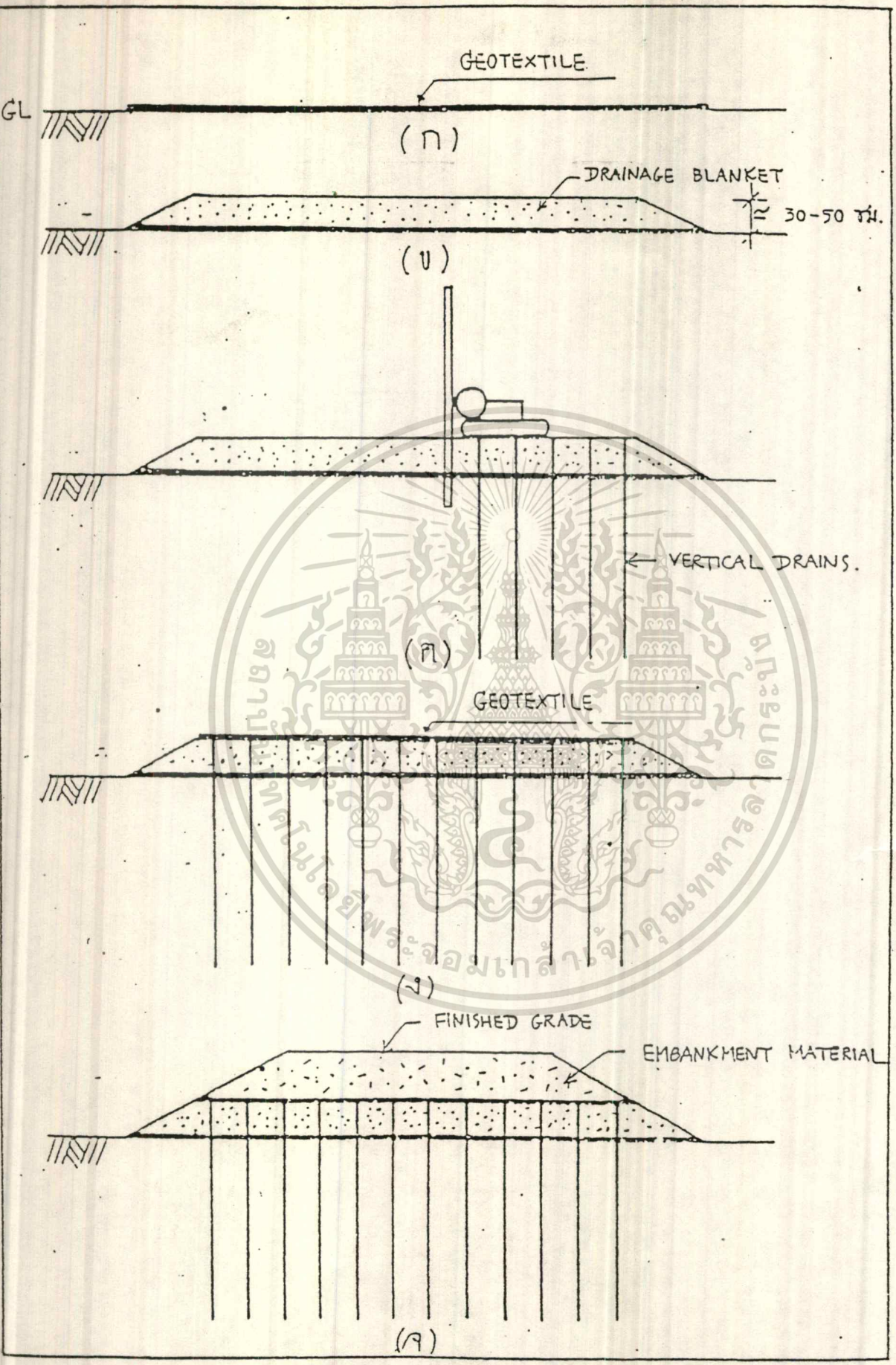
รูปที่ 4 แสดงเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการติดตั้ง PVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



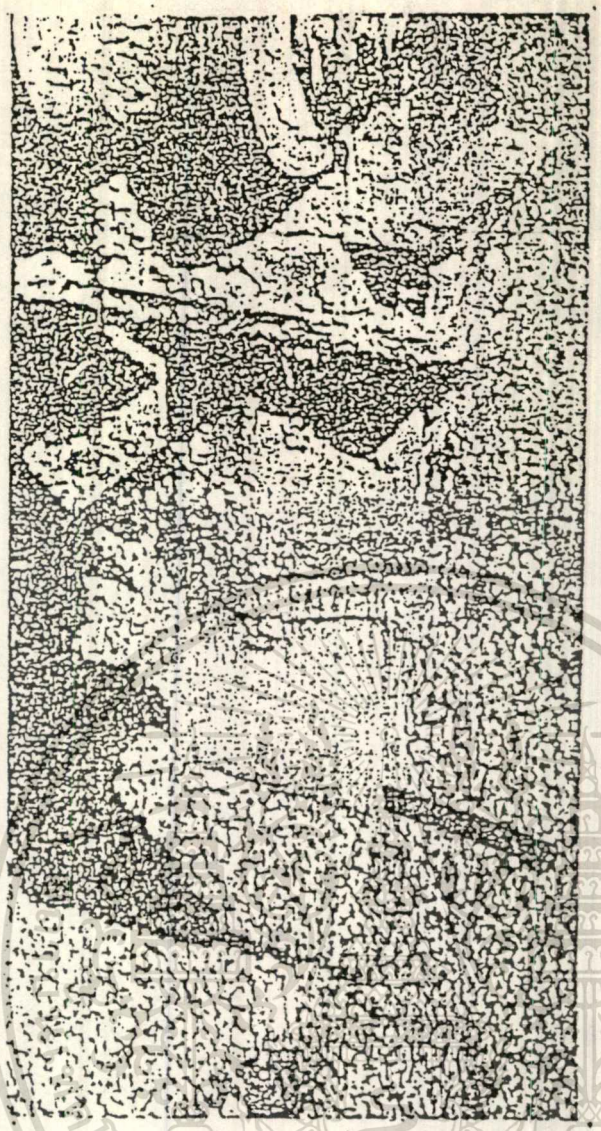
รูปที่ 5 แสดงเครื่องปั้นจั่นพร้อมทั้งอุปกรณ์ครบชุดในขณะทำการติดตั้งแถบ PVD

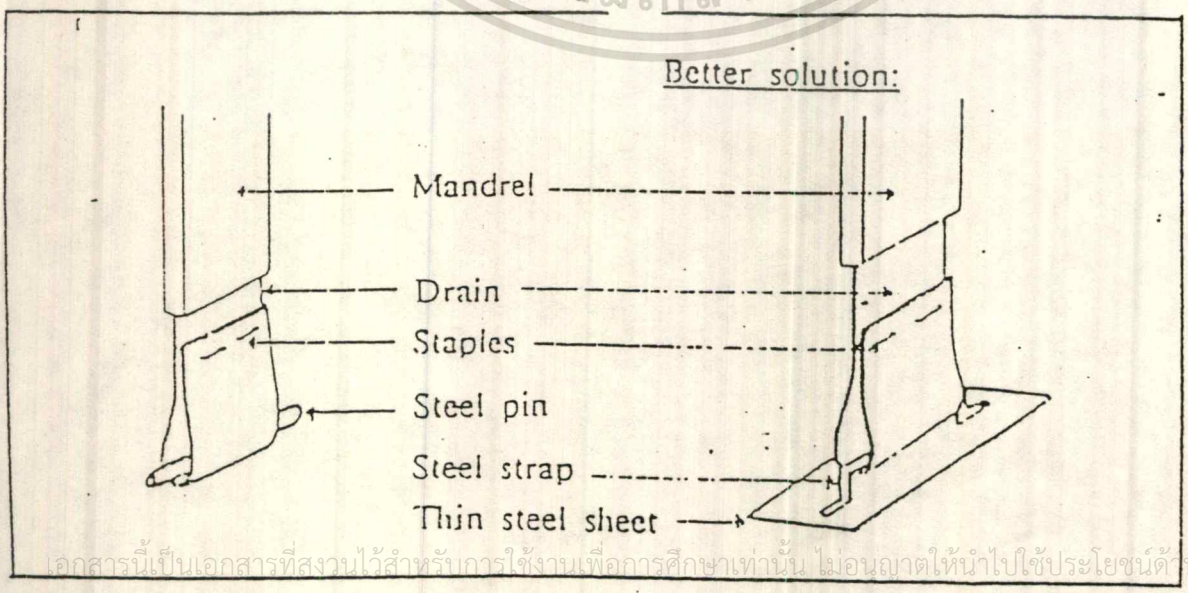
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนและการติดตั้งแถบ PVD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การละเมิดลิขสิทธิ์ต้องได้รับโทษตามกฎหมาย และต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7 แสดงรายละเอียดการติดตั้งแผ่นหรือแกนเหล็กยึดครั้ง (Anchorge) ที่ปลายสุดของแกนนำล่อง

7.3 ในระหว่างการก่อสร้างวิศวกรผู้ควบคุมงาน จะสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ PVD ที่จะใช้ในโครงการฯ เพื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนด โดยจะสุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 1 ม้วนทุก ๆ การนำเข้าสินค้าในแต่ละ lot (each shipment) หรือทุก ๆ ความยาว PVD 150,000 เมตร ต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วแต่ว่าปริมาณใดจะน้อยกว่า ตัวอย่างที่สุ่มจะต้องยาวไม่น้อยกว่า 3 เมตร ต่อ 1 ตัวอย่าง และมีความกว้างเต็มขนาด (Full width) ของแถบ PVD ที่จะใช้

ถ้าตัวอย่างที่สุ่มมาทดสอบไม่ผ่านข้อกำหนดในแบบก่อสร้าง จะทำการสุ่มตัวอย่างใหม่เพิ่มเติมอีก 2 ตัวอย่างจาก 2 ม้วนใหญ่ในสินค้า lot นั้น หรือจากความยาวผลิตภัณฑ์ PVD ทุก 150,000 เมตร แล้วแต่ว่าปริมาณใดจะน้อยกว่า ถ้ายังไม่ผ่านอีกก็จะไม่อนุญาตให้ใช้ PVD ใน lot นั้นทั้งหมด

7.4 ในการควบคุมคุณภาพ PVD ในสนามก่อนการติดตั้งอาจจะสุ่มตัวอย่างอีกครั้งจากผลิตภัณฑ์ PVD ที่ได้อนุมัติให้ใช้ตามข้อ 7.3 แล้ว อย่างน้อย 3 ตัวอย่างต่อผลิตภัณฑ์ 100 ม้วน หรือแถบ PVD แต่ละ lot ที่นำเข้าในไซต์งาน แล้วแต่ปริมาณใดจะน้อยกว่า โดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของแถบ PVD ต่อหน่วยความยาว (หน่วยกรัมต่อเมตร) ทุก ๆ ตัวอย่าง โดยจะต้องมีน้ำหนักต่อหน่วยความยาวแตกต่างกันไม่เกิน 5% จึงจะอนุญาตให้ทำการติดตั้งได้

8. เครื่องมือเทคนิคธรณี (Instrumentation)

การทำ Instrumentation จะประกอบด้วยการติดตั้งเครื่องมือเทคนิคธรณี (Geotechnical Instrument) และอ่านค่าครั้งแรกที่ติดตั้งเครื่องมือเสร็จ การติดตั้งเครื่องมือจะต้องดำเนินการก่อนที่จะติดตั้ง PVD ในบริเวณนั้น และพื้นที่ใกล้เคียง (ประมาณว่าจะไม่สามารถทำ PVD ในรัศมี 100 เมตร จากจุดที่ต้องการติดตั้งเครื่องมือเทคนิคธรณี)

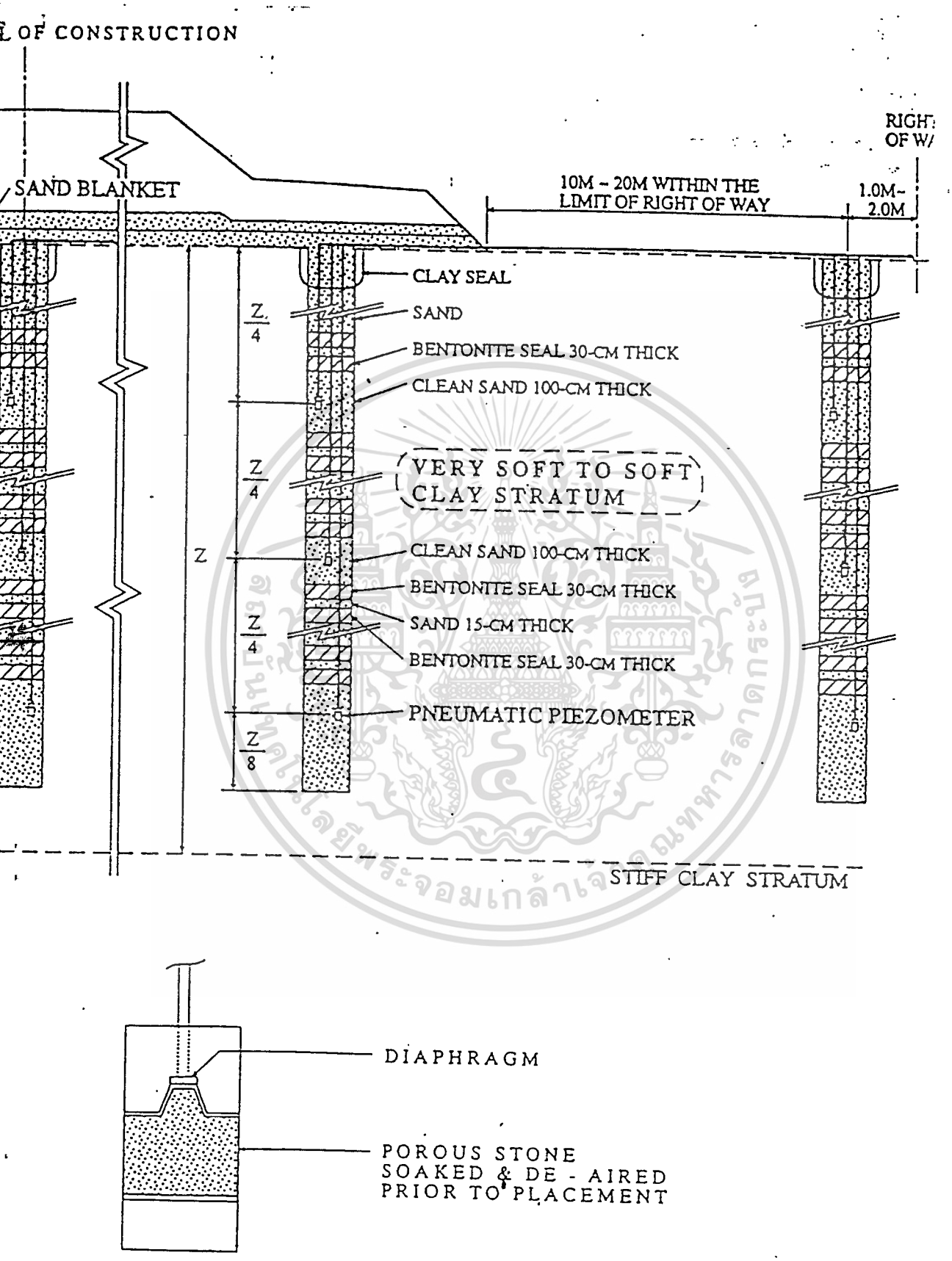
เครื่องมือเทคนิคธรณีในสายทาง กรุงเทพฯ-ชลบุรี และวงแหวนรอบนอกด้านตะวันออก มีดังนี้

ก. Piezometer ซึ่งเป็นชนิด Pneumatic (ใช้ลมวัด) ตัว Piezometer จะมีหัวซึ่งเป็นวัสดุที่มีความพรุน และมีสายต่อขึ้นมาที่ผิวดิน (ดูรูปที่ 8) ส่วนของสายที่ต้องโค้งงอให้มีรัศมีเพียงพอ เพื่อมิให้สายหัก และมีท่อเหล็ก (Conduit) หุ้มไว้ในส่วนที่อยู่ผิวดิน

ข. Inclinometer เป็นการติดตั้งท่อซึ่งมีร่องอยู่ด้านใน 4 ร่อง สำหรับให้หัววัด (Probe) หย่อนลงไปในท่อ (ดูรูปที่ 9)

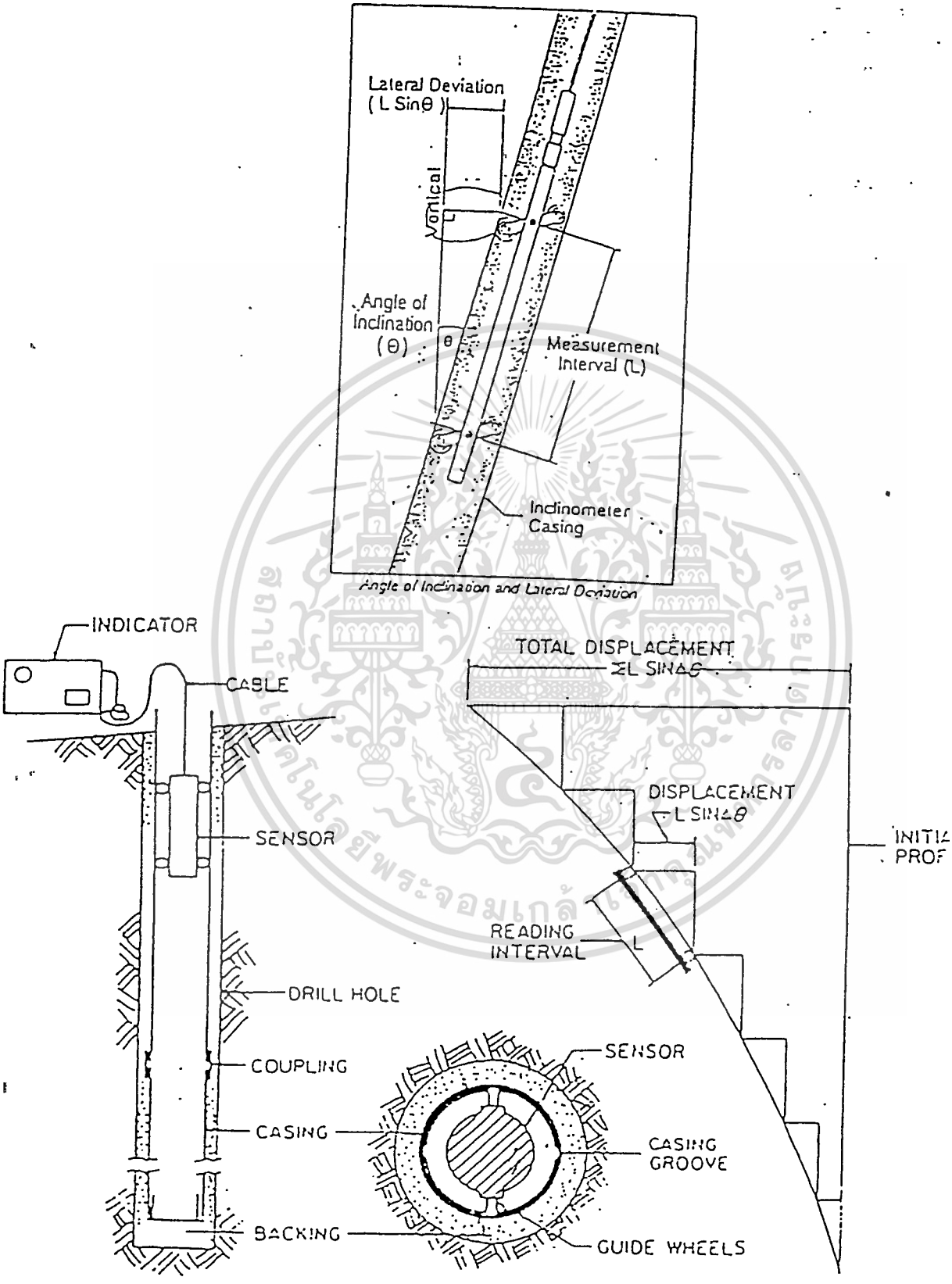
ค. surface Settlement Plate เป็นแผ่นเหล็ก หรือแผ่นไม้ และมีแกนเหล็กยึดในแนวตั้งฉากกับแผ่นเหล็ก หรือแผ่นไม้ ตัวแผ่นจะวางไว้บนทราย หรือดินเดิมเพื่อวัดการทรุดตัว (ดูรูปที่ 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 แสดง PIEZOMETER

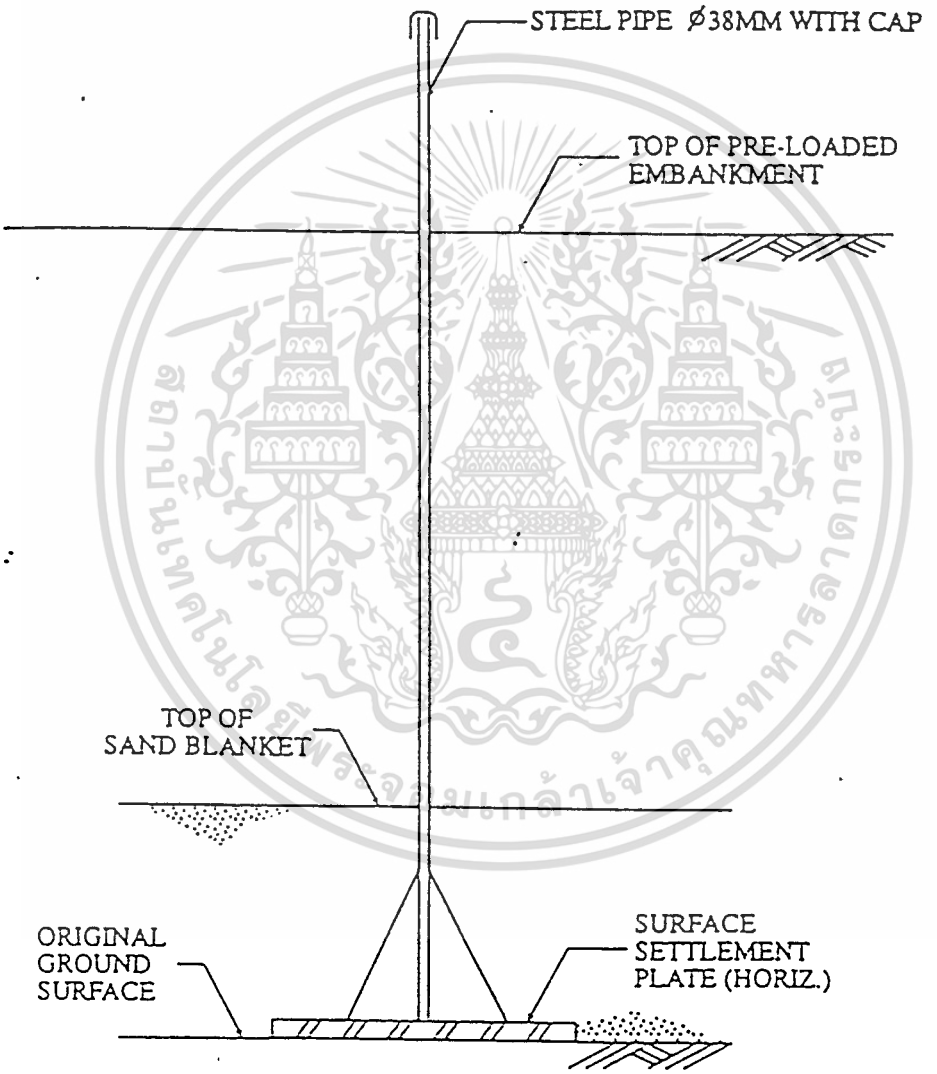
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 แสดง INCLINOMETER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSTALLED SCHEMATIC PROFILE



รูปที่ 10 แสดง SURFACE SETTLEMENT PLATE (SSP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. Deep Settlement Plate เป็นแผ่นวัดการทรุดตัวที่ติดตั้งอยู่ในระดับความลึก 20 เมตร (ตามแบบ) และมีท่อนอก และแกนเหล็กโผล่ขึ้นมาบนผิวดิน (ดู รูปที่ 11)

จ. Alignment Stake เป็นท่อนไม้ที่ตอกไว้บนผิวดินเดิม ซึ่งจะอยู่ด้านข้างของถนนทั้งสองด้าน ท่อนไม้จะตอกเป็นหลักไว้ และมีหัวตะปูตอกไว้เป็นจุดสำหรับการวัดผล หลักไม้นี้จะมีอยู่หลายหลัก แต่ละหลักห่างกันประมาณ 5 เมตร (ดูรูปที่ 12)

ฉ. Observation Well เป็นท่อสำหรับวัดระดับน้ำผิวดิน (ดูรูปที่ 13)

รูปแบบของการติดตั้งได้แสดงไว้ในรูปที่ 14 ในการติดตั้งจะต้องเตรียมเครื่องมือดังกล่าวให้พร้อม ซึ่งจะมี 2 ส่วนคือ ส่วนที่จะต้องสั่งมาจากต่างประเทศ และส่วนที่สามารถทำภายในประเทศ สำหรับเครื่องมือที่จะต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศจะใช้เวลาไม่น้อยกว่า 2 เดือน และเครื่องมือที่ทำภายในประเทศ จะใช้เวลาประมาณ 30 วัน ในการเตรียมการ

การติดตั้งเครื่องมือเทคนิคธรณีนี้จะต้องใช้ความละเอียดรอบคอบพิเศษ เนื่องจากเครื่องมือเหล่านี้จะต้องใช้วัดผลจนกว่าการก่อสร้างถนนจะแล้วเสร็จ และจะต้องใช้ได้เมื่อก่อสร้างถนนแล้ว ดังนั้นจึงต้องดำเนินการให้เป็นไปตามข้อกำหนด และวิธีการติดตั้งของบริษัทผู้ผลิตเครื่องมืออย่างเคร่งครัด ก่อนเริ่มการติดตั้งจะต้องเตรียมสถานที่ ทำ Shop Drawing หา Reference Point หรือ Reference Line เพื่อให้การติดตั้งไม่ผิดตำแหน่ง และไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการทำ PVD นอกจากนี้ ก่อนทำ PVD ท่อหรือสายต่าง ๆ ที่ติดตั้งได้ Sand Blanket จะต้องทำเครื่องหมายโดยใช้เหล็ก 200 มม. ยาว 1.6 ม. ปักไว้ให้อยู่ในดิน 0.90 ม. เพื่อแสดงแนวของท่อ หรือสายนั้นและให้ทาสีเหล็กนี้ให้เห็นได้อย่างชัดเจน เพื่อป้องกันมิให้เสียหายจากการถม Sand Blanket และทำ PVD

การดำเนินการติดตั้งเครื่องมือต่าง ๆ จะดำเนินการโดยบริษัทผู้รับเหมาช่วงอีกทอดหนึ่ง เครื่องมือซึ่งได้ว่าจ้างผู้รับเหมาช่วงในการติดตั้งคือ

- Piezometer
- Inclinometer Casing
- Deep Settlement Plate
- Observation Well

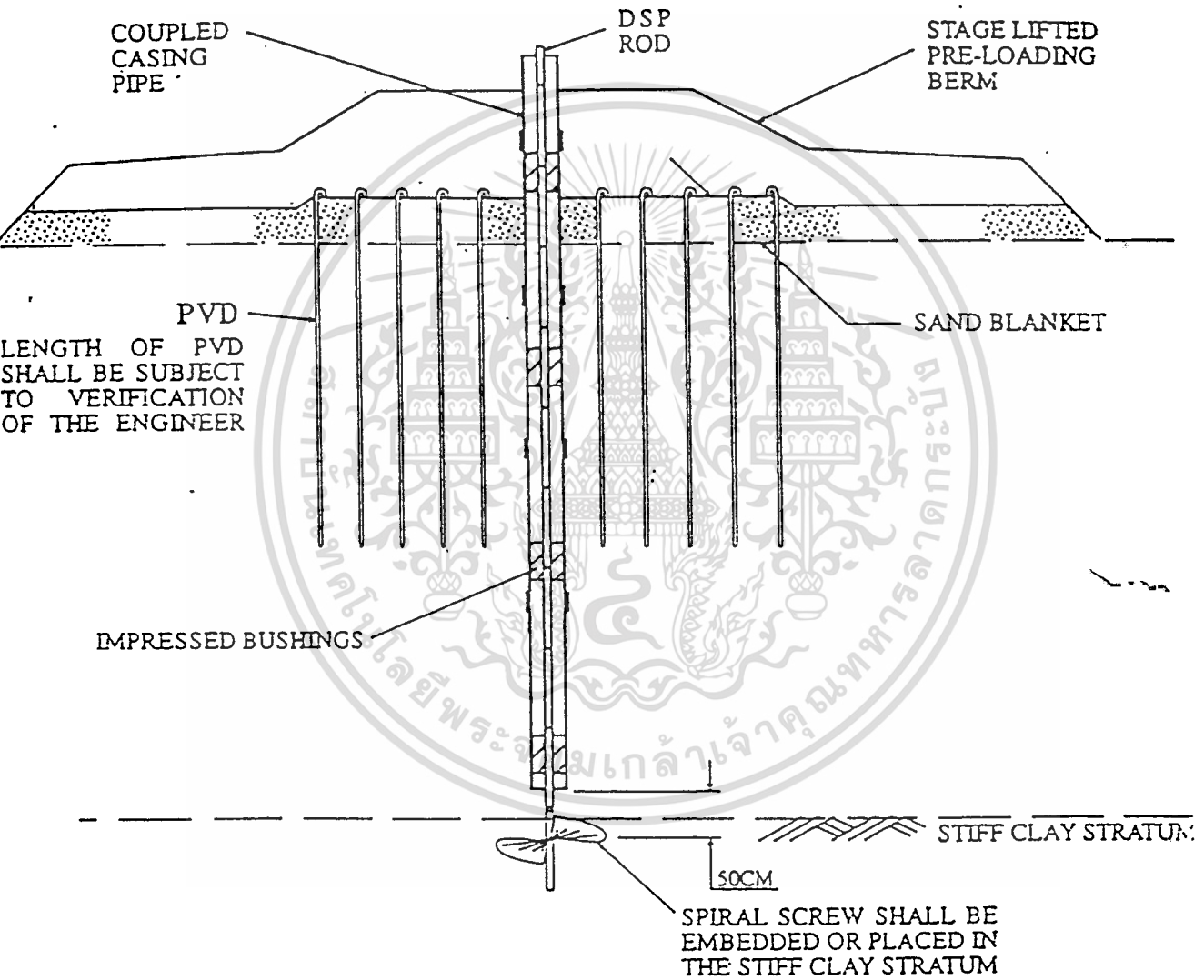
ส่วน Surface Settlement Plate และ Alignment Stake ผู้รับเหมาใหญ่จะดำเนินการเองเป็นส่วนใหญ่ซึ่งผู้รับเหมาช่วง ต้องแจ้งให้ผู้รับเหมาใหญ่เอาเครื่องมือมาติดตั้ง

ดังนั้นการดำเนินการจะประกอบด้วย

1. ทำ Shop Drawing ของ Instrument เพื่อขอความเห็นชอบจาก กรมทางหลวง ซึ่งต้องกล่าวถึงวิธีการเจาะด้วย และต้องส่งให้ผู้ควบคุมงานก่อนการติดตั้งเครื่องมือไม่น้อยกว่า 1 สัปดาห์

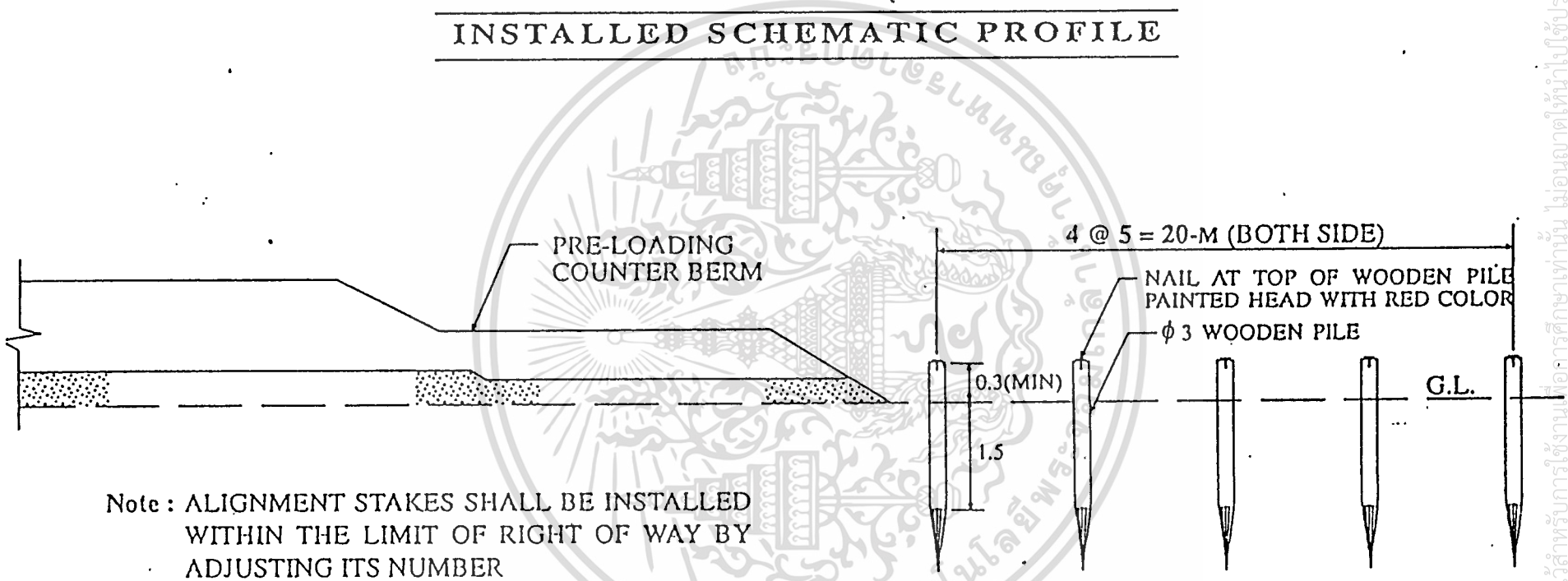
ลิขสิทธิ์เป็นของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSTALLED SCHEMATIC PROFILE



รูปที่ 11 แสดง DEEP SETTLEMENT PLATE (DSP)

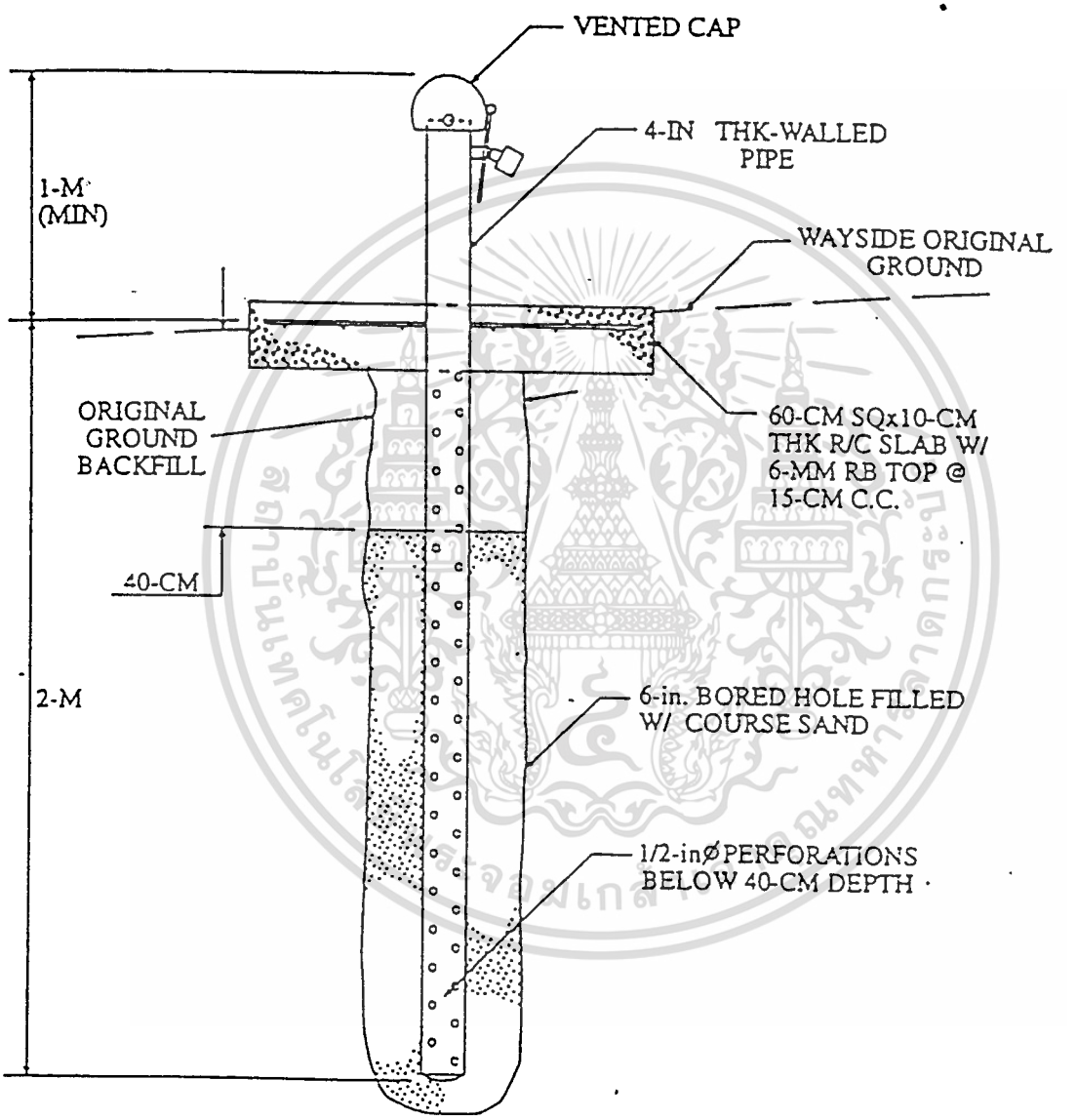
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แสดง ALIGNMENT STAKE LAYOUT (AS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSTALLED SCHEMATIC PROFILE



รูปที่ 13 แสดง OBSERVATION WALL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

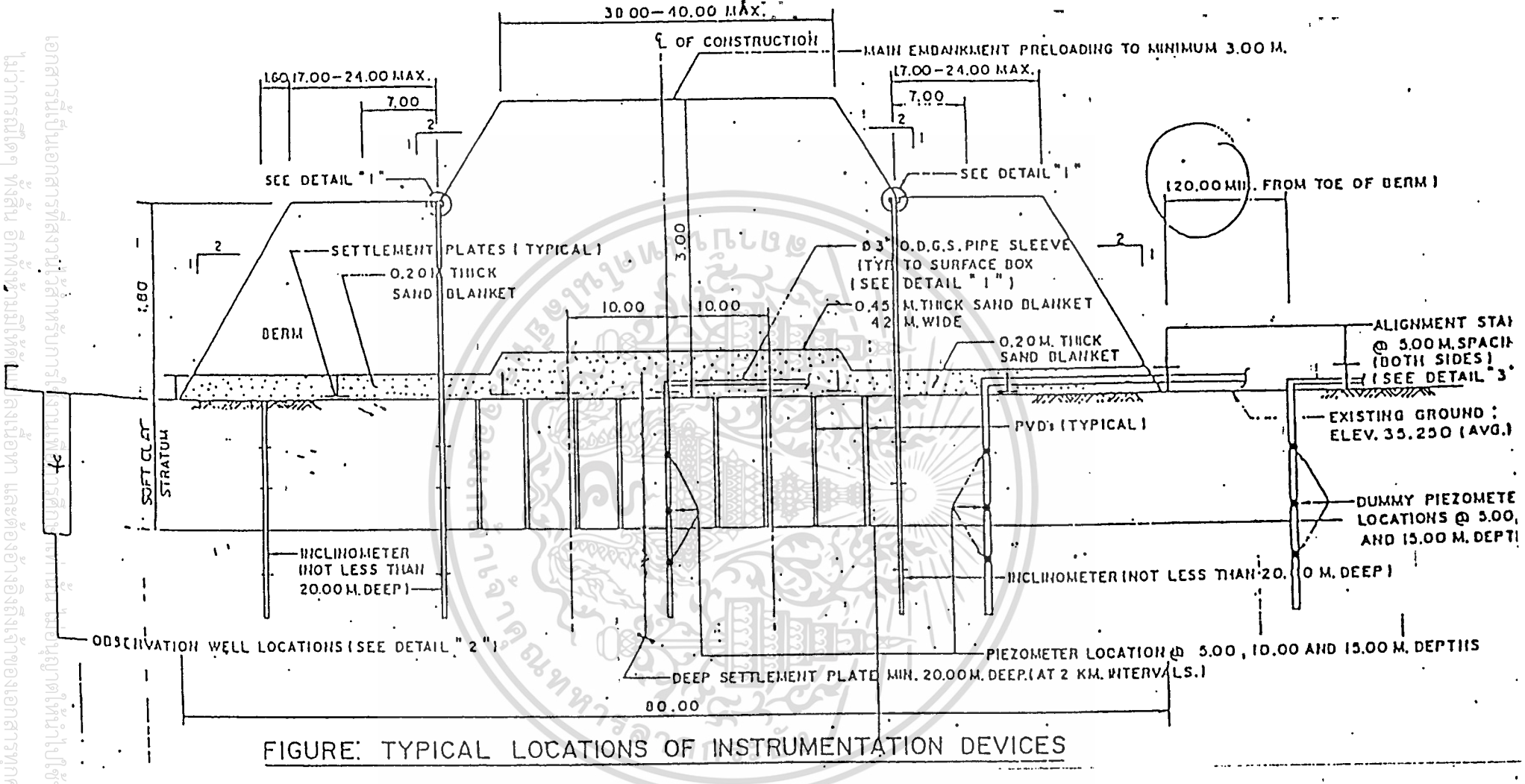


FIGURE: TYPICAL LOCATIONS OF INSTRUMENTATION DEVICES

รูปที่ 14 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมดิน

2. Calibrate เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับวัดเครื่องมือ

3. แจ้งให้กรมทางหลวงทราบก่อนเข้าดำเนินการติดตั้งเครื่องมือไม่น้อยกว่า 2 วัน

4. จัดทำ Report การติดตั้งเครื่องมือพร้อมการวัดผลครั้งแรก ของเครื่องมือที่ติดตั้งไปทั้งหมด

8.1 วิธีการติดตั้งเครื่องมือเทคนิคธรณี

ก. Piezometer การติดตั้ง กระทำโดยการเจาะหมุนให้ได้ระดับที่ต้องการ (ความลึก 5.0, 10.0 และ 15.0 เมตร จากระดับดินเดิม) และมีชั้นทรายหุ้มรอบหัว Piezometer ความสูงของชั้นทรายทั้งหมดประมาณ 1.0 ม. พร้อมกับ Grout ปิดหลุมเจาะจนถึงผิวดิน การ Grout นี้ก็เพื่อมิให้น้ำผิวดินลงในหลุมเจาะ (ดูรูปแบบของการติดตั้ง Piezometer ในรูปที่ 15) วิธีการ Grout จะได้กล่าวต่อไป Piezometer แต่ละตัวจะต้องทำเครื่องหมายไว้ที่สายททุกระยะ เพื่อมิให้ผิดพลาดในการติดตั้งและการวัด

ข. Inclinometer Casing เป็นการติดตั้งท่อซึ่งมีร่อง 4 ร่อง ให้ถึงความลึก ไม่น้อยกว่า 20 เมตร จากระดับดินเดิม กระทำโดยการเจาะหลุม ลงในดินตามตำแหน่งที่ระบุไว้ในแบบ และฝังท่อ ในแนวดิ่ง ร่องทั้ง 4 ร่องจะต้องจัดให้อยู่ในแนวขนานและตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางของถนน ดังในรูปที่ 15 เมื่อฝังท่อแล้ว จะต้อง Grout รอบนอกของท่อด้วยวิธีการ Grout จะได้กล่าวต่อไป

ค. Surface Settlement Plate ติดตั้งโดยการวางไว้ในตำแหน่งที่ระบุไว้ในแบบ

ง. Deep Settlement Plate ติดตั้งโดยการหมุน Casing ซึ่งเป็นท่อปลอกมี key ที่ปลายสวมเข้ากับหัว Deep Settlement Plate ลงไปในดินจนได้ระดับที่ต้องการ (20.0 ม. จากระดับดินเดิม ซึ่งอาจหมุนลงในชั้นดินแข็งไม่ได้) การติดตั้งระบุไว้ให้ติดตั้งทุกระยะ 2 กิโลเมตร

จ. Alignment Stake ติดตั้งโดยการตอกหลักไม้ลงบนดินเดิม เริ่มจากบริเวณ Toe Slope ของคันทางไปทุกระยะ 5.0 ม. ด้านบนของหลักจะมีหัวตะปูตอกอยู่ เพื่อใช้ในการวัดด้วยเทปวัดระยะ แนวของหลักไม้นี้จะถูกตอกอยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางถนน และหลักไม้นี้มีทั้งสองข้างของตัวคันทาง

ฉ. Observation Well ติดตั้งโดยการเจาะหลุมลงในดินลึก 2.0 เมตร ใส่ท่อซึ่งเจาะรูพรุนที่ปลาย มี Terram หุ้มส่วนที่มีรูพรุน กลบทรายให้รอบท่อ ส่วนที่มีรูพรุน และเอาดินเดิมปิดไว้บนทราย และเทคอนกรีตยึดท่อ ส่วนที่อยู่ผิวดิน

หมายเหตุ ระดับดินเดิมของแต่ละ Section ไม่เท่ากัน ให้ตรวจสอบก่อนดำเนินการ

การเจาะเหลุมเพื่อติดตั้งเครื่องมือเทคนิคธรณี ต้องเจาะให้มีขนาดเพียงพอ และมี Casing ตลอดความลึก ยกเว้นในกรณีที่เป็นดินแข็ง และหลุมเจาะไม่พัง การเจาะหลุมสำหรับติดตั้ง Piezometer ห้ามใช้น้ำโคลน (Drilling Mud) ให้ใช้น้ำสะอาดในการเจาะได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Grout หลุมเจาะ เมื่อติดตั้งเครื่องมือแล้วต้องใช้ Bentonite ผสมกับ Cement และน้ำซึ่งความเหลวให้เพียงพอที่จะเทได้ กำลังรับน้ำหนัก (Strength) และความข้นเหลว (Consisteney) ของส่วนผสมใกล้เคียงกับดินในธรรมชาติที่บริเวณนั้น ดังนั้นจึงต้องมีการทำ Trial Mix ของส่วนผสม Bentonite : Cement จากอัตราส่วน 4:1 ถึง 8:1 และการทดลองนี้จะต้องบ่มและทดลอง Unconfined Compressive Strength ที่เวลา 1 วัน, 2 วัน, 7 วัน, 14 วัน, 1 เดือน และ 3 เดือน ในการทดลองแต่ละครั้งจะต้องทำตัวอย่างไม่น้อยกว่า 3 แท่ง การใช้ Bentonite และ Cement จะต้องระบุแหล่ง หรือเครื่องหมายการค้าด้วย ส่วนผสมที่ใช้ Grout จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อนว่าจะใช้ส่วนผสมใด

การ Grout จะต้อง Grout โดยใช้ Tremie Pipe

8.2 การวัดค่าครั้งแรก (Initial Reading)

เมื่อทำการติดตั้ง Instrument เสร็จให้ทำการวัดผลโดยใช้เครื่องมือวัด (Readout Unit) หรือใช้เครื่องมือสำรวจ (Surveying Instrument) แล้วแต่กรณีทันที 3 ครั้ง โดยให้คนควบคุมงานมาร่วมตรวจสอบด้วย ถ้าค่าที่วัด 3 ครั้งนี้มีความแตกต่างกันไม่มาก ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของ 3 ค่านั้นเป็น Base Reading หรือ Initial Reading

8.3 การทำ Report

การทำ Report จะต้องลงรายละเอียดให้มากที่สุด และมีขั้นตอนดังนี้

- เมื่อติดตั้งเครื่องมือเทคนิคธรณีตัวใดเสร็จให้ส่งรายงานเฉพาะตัวนั้น รวมทั้ง Base Reading หรือ Initial Reading ให้กรมทางหลวงทราบภายใน 3 วัน
- เมื่อติดตั้งเครื่องมือเทคนิคธรณีทั้งหมดแล้วเสร็จให้ส่งรายงานให้กรมทางหลวงทราบภายใน 4 สัปดาห์

การทำรายงานรวมนี้จะต้องมีรายละเอียดดังนี้

- ข้อความบรรยายถึงขอบข่ายของงาน และเครื่องมือที่ติดตั้ง
- บันทึกของการดำเนินงานในระหว่างการติดตั้ง
- แปลน และรูปตัด ซึ่งใช้ Scale 1:20 อธิบายถึงตำแหน่งระดับ และรายละเอียดของเครื่องมือ
- ภาพถ่ายของเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ ที่ใช้ในการติดตั้ง วิธีการติดตั้ง และวิธีการอ่านค่า
- ค่าที่วัดได้จาก Base Reading (Initial Reading) รวมทั้งค่าที่วัดต่อ ๆ มาจนถึงวันที่ส่งรายงาน

Form สำหรับการบันทึกของเครื่องมือแต่ละชนิดได้แสดงไว้ใน Appendix A

8.4 บุคลากร

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งเครื่องมือ จะต้องมี

- Instrumentation Engineer ซึ่งมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งเครื่องมือเทคนิคธรณี ไม่น้อยกว่า 3 ปี และต้องอยู่ที่ Site ตลอดเวลา

- Senior Instrumention Techinician ซึ่งประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งเครื่องมือเทคนิคธรณีไม่น้อยกว่า 2 ปี

9. การวัดค่าจากเครื่องมือเทคนิคธรณี (Monitoring)

การวัดค่าจากเครื่องมือเทคนิคธรณี จะใช้เครื่องมือวัดซึ่งจะอ่านค่าจากอุปกรณ์วัดได้ โดยตรง (Readout Unit) และเครื่องมือสำรวจ (Surveying Instrument) เช่น เทปวัดระยะ กล้องระดับ เป็นต้น

9.1 การใช้เครื่องมือวัด Reading Unit

Readout Unit เป็นเครื่องวัดซึ่งใช้ไฟฟ้ามีความละเอียดสูง ดังนั้น จึงต้องให้อยู่ในที่ร่มอย่าให้ถูกแสดงแดดโดยตรง Probe ซึ่งใช้กับ Inclinometer ใช้หย่อนลงในท่อ และต้องให้มันปรับอุณหภูมิประมาณ 10 นาที การใช้ Readout Unit จะต้องมีการตรวจสอบแรงดันลม แบตเตอรี่ และการปรับเข้าหาศูนย์ก่อนอ่าน เมื่อได้อ่านค่าแล้ว ควรตรวจสอบแบตเตอรี่ว่ายังพอใช้ต่อไปได้หรือไม่ เพราะการชาร์จแบตเตอรี่จะเสียเวลามาก และหากไฟไม่เพียงพอจะทำให้ข้อมูลผิดพลาดได้

9.2 การใช้เครื่องมือสำรวจ

กล้องระดับ และเทปวัดระยะ เป็นเครื่องมือจำเป็นต่อการวัดค่าจากเครื่องมือเทคนิคธรณี ซึ่งต้องอาศัยช่างสำรวจในการเก็บข้อมูล

ข้อควรระวังในการวัดผลจากเครื่องมือเทคนิคธรณีทุกตัวนั้นจะต้องบันทึกลงในสมุด หรือ Form สำหรับบันทึกตัวใครตัวมัน ทั้งนี้เพื่อจะได้ดูความแตกต่าง หรือการเปลี่ยนแปลงจากการวัดครั้งก่อน ๆ หากมีข้อมูลของวันใดที่ผิดแผกไป ควรทำการวัดใหม่อีกครั้งหนึ่งทันที หรือหาเหตุผลมาประกอบสำหรับการวัดครั้งที่แตกต่างกัน

9.3 การวัดค่า

Form สำหรับบันทึกข้อมูลเครื่องมือเทคนิคแต่ละตัวจะต้องส่งให้กรมทางหลวงอนุมัติก่อนไม่น้อยกว่า 1 สัปดาห์ ถ้าใช้เครื่องอ่านซึ่งเก็บข้อมูลไว้ในเครื่อง (Data Loggers) จะต้องมีคอมพิวเตอร์ Inter face, Plotter, Printer และ Sofeware เพื่อใช้ในการเขียนข้อมูล ออกมาสำหรับวิธีการ Plot กราฟจะต้องส่งให้กรมทางหลวงอนุมัติก่อน

เมื่ออ่านและบันทึกค่าไว้แล้ว จะต้องส่งค่าที่บันทึกไปให้กรมทางหลวงพิจารณา (รวมทั้งกราฟด้วย ถ้ามี) ภายใน 3 วัน เป็นจำนวน 4 ชุด

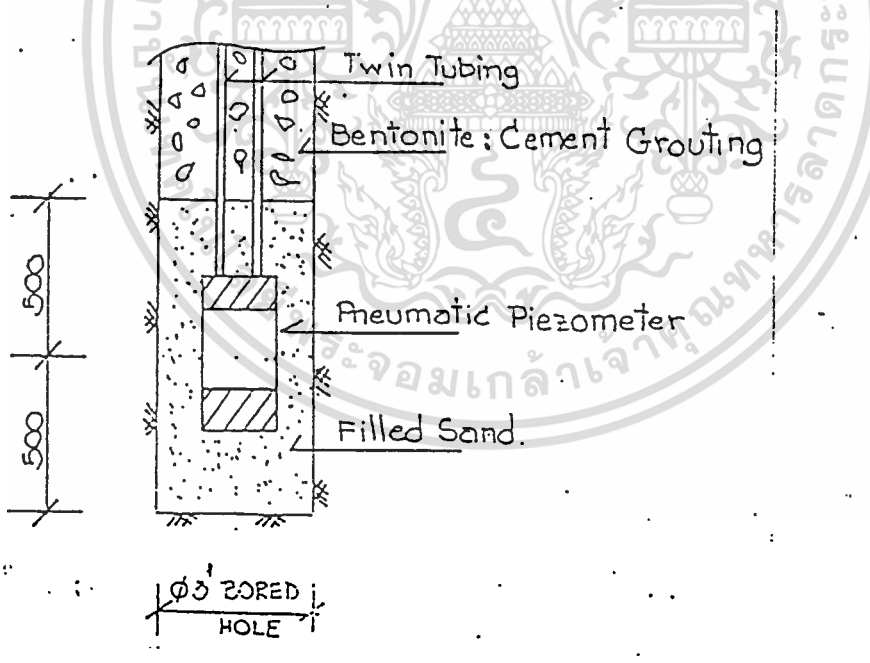
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาของการผ่านจากเครื่องมือนั้น จะต้องอ่านทันทีที่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักดิน ถม การเปลี่ยนแปลงของความสูงชั้นวัสดุที่ถม) แต่ต้องไม่เกินทุก 3 วัน ในระยะ 12 วันหลังจากที่มี การเปลี่ยนแปลงของชั้นวัสดุถม และทุก 7 วันหลังจากนั้น ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่อ่านหรือ ค่าที่อ่านได้ผิดพลาดมากจะต้องแจ้งให้กรมทางหลวงทราบ

สำหรับ Dummy Piezometer (Piezometer ตัวซึ่งมิได้ ฝังอยู่ใต้ดินถม) ให้ทำการวัดทุกวัน ใน 7 วันแรก หลังจากติดตั้งเสร็จ และหลังจากนั้นให้วัดทุก 7 วัน ถ้าหากมีฝนตกจะต้องทำการวัดทุก ๆ วัน

9.4 การรายงาน

ให้ทำรายงานส่งทุกสิ้นเดือน Form ของการบันทึก Graph ที่จะแสดงผลจะต้องส่งให้กรม ทางหลวงอนุมัติก่อน 1 เดือน และรายงานประจำเดือน ต้องส่งให้กรมทางหลวง 4 ชุด ภายในวันที่ 10 ของเดือนถัดไป



รูปที่ 15 แสดงการติดตั้ง PNEUMATIC PIEZOMETER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
การวิเคราะห์และเปรียบเทียบ

8.1 คุณสมบัติของดินในทางวิศวกรรมการทาง

จากการศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพของดินที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า คุณสมบัติของดินในทางวิศวกรรมการทาง ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

8.1.1 ความแข็งแรง

โดยทั่วไปความแข็งแรงของดินมักจะขึ้นกับความสามารถในการรับน้ำหนัก โดยการรับการบดอัด หากจะมองอีกแง่จะเห็นได้ว่าสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ การถูกทำลายให้เสียรูปร่างไป ซึ่งอาจเกิดจากการรับน้ำหนักภายนอก หรือการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของมวลดิน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นก็ได้ ความเสียหายที่เกิดจากการสูญเสียความสามารถรับน้ำหนักได้แก่ การเคลื่อนตัวของดิน หรือเกิดรอยแตกแยกขึ้น สาเหตุ อาจเกิดจากการระบายน้ำ (Drainage) การมีขนาดคละ (Gradation) ที่ไม่เหมาะสมหรือภัยธรรมชาติ จากการทดสอบความแข็งแกร่งของดิน โดยทั่วไปจะพบว่าดินอ่อนมักจะมีปัญหาในการรับน้ำหนัก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและดินที่เป็นเม็ดเมื่อแข็งมักจะเปราะและขาดการยึดเหนี่ยว ดังนั้นการทดสอบความแข็งแรงจึงประกอบด้วยค่าการทดสอบแรงเฉือน (Shearing Strength) หรือค่าความยึดเหนี่ยว (Cohesion) และค่าความสามารถรับน้ำหนักกด (Bearing Capacity) หรือค่าเสถียรภาพ (Stability)

การปรับปรุงดินเพื่อให้ได้ความแข็งแรงและลดการเสียรูปร่างอาจกระทำได้หลายวิธี ได้แก่ การขจัดชั้นที่มีองค์ประกอบสารประกอบอินทรีย์มากออก การเพิ่มความหนาแน่นของดินโดยการบดอัด และการจัดขนาดคละของดินต่างก็เป็นการเพิ่มความแข็งแรงแก่ดิน

การสร้างความแข็งแรงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้วัสดุที่มีลักษณะคล้ายก้อนแข็ง (Rigid) ทั้งนี้เพื่อให้อยู่ในสภาพที่มีเสถียรภาพของปริมาตร (Volume Stability) อาจกระทำโดยการปรับปรุงดินโดยปูนขาว (Lime) หรือปูนซิเมนต์ (Cement) และอีกวิธีหนึ่งที่มักจะใช้กับวัสดุเม็ดเล็กก็คือการปรับปรุง โดยการเพิ่มการยึดเหนี่ยว (Cohesion) ด้วยวัสดุยางมะตอย แต่ถึงอย่างไรก็จะต้องประกอบด้วยการปรับปรุงดิน โดยทางกลศาสตร์ร่วมด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีราคาถูกและสะดวกในการทำงานด้วย

8.1.2 เสถียรภาพทางปริมาตร

ดินมักจะมีการขยายและหดตัวเมื่อมีการเปลี่ยนปริมาณน้ำ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลฤดูกาลจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณน้ำในดิน ก่อให้เกิดปัญหาการถูกทำลายของดิน การซึมของน้ำและแรงดันของน้ำ ทำให้เกิดรอยแตกในมวลดิน การวัดการเคลื่อนตัวของดินโดยเฉพาะที่ผิวอาจกระทำได้ในสนาม ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำกระทำได้ยาก ทั้งนี้นอกจากจะขึ้นกับชนิด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของดินแล้วยังขึ้นกับค่าความชื้นได้ของดินนั้น ๆ แต่หากมีการเปลี่ยนแปลงมาก ๆ ก็จะแสดงให้เห็นโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อมา

ในปัจจุบันวิศวกรได้หาแนวทางเพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางปริมาตร วิธีการมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การให้น้ำหนักกดทับแก่ดิน เพื่อให้เกิดการทรุดจนปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง การสร้างชั้นฐานรองรับโครงสร้างอื่น ๆ บนชั้นดิน หรือการสร้างชั้นที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impervious Membrane) รวมความพยายามทำให้ดินจับตัวกันเป็นก้อนแข็ง (Rigid) โดยเฉพาะดินเหนียว (Clay) ที่มักจะมีปัญหาการยืดและหดตัวของมวลดิน ดังนั้นทำการปรับปรุงดิน

8.1.3 ความซึมผ่าน (Permeability)

คุณสมบัตินี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำ (Water Movement) ในดิน ทั้งนี้ค่าความซึมผ่านยังขึ้นกับค่าแรงดันน้ำในดิน (Pore Water Pressure), ปริมาตร (Volume) และขนาดคละของดิน (Gradation) โดยดินที่มีลักษณะเป็น Open-Textured จะให้ค่าความซึมผ่านสูงมาก ส่วนดินเหนียวจะให้ค่าความซึมผ่านที่ต่ำมาก คือประมาณ 10^{-12} เซนติเมตรต่อวินาที นอกจากนี้ยังพบว่าดินที่มีค่าแรงดันน้ำภายในดินสูง มักจะก่อให้เกิดรอยแตกแยกได้มาก และการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินอาจทำให้เกิดอุโมงค์หรือร่องน้ำขึ้นได้

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว อาจสรุปได้ว่า หากค่าความซึมผ่านในดินสูง อาจทำการลดได้โดยการลดอัดหรือทำการอุดช่องว่าง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการไหลเข้าของน้ำในดิน ซึ่งจะส่งผลถึงเสถียรภาพของมวลดิน ฉะนั้นการปรับปรุงดินจึงต้องกระทำทั้งทางกลศาสตร์หรือทางเคมีและวิธีการอื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของดิน และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ประกอบกัน

8.1.4 ความทนทาน (Durability)

คุณสมบัติของความทนทาน เกี่ยวข้องต่อการทำลายจากสภาพดินฟ้าอากาศ การกัดเซาะจากน้ำ ตลอดจนสภาพแวดล้อม เช่น การจราจร เป็นต้น หากคุณสมบัติข้อนี้บกพร่องจะก่อให้เกิดการสูญเสียในการบำรุงซ่อมแซมอย่างมาก

การปรับปรุงดินเพื่อให้เกิดคุณสมบัตินี้ อาจกระทำได้หลายวิธี วิธีการที่นิยมคือ การปรับปรุงทางเคมี (Chemical Stabilization) ส่วนการตรวจสอบที่จะช่วยให้คุณสมบัตินี้ดีขึ้น คือการตรวจสอบขนาดคละของดิน การทดสอบการให้น้ำหนักซ้ำ (Repeated Load) ซึ่งเป็นการจำลองสภาพการจราจร การทดสอบความทนทานต่อน้ำ การทดสอบการหลุดร่อน ซึ่งสำคัญมาก เนื่องจากเป็นต้นเหตุของการทำลายต่อไป ดังนั้นการปรับปรุงโดยวิธีการทางเคมี หรือการปรับปรุงด้วยวัสดุแอสฟัลต์จึงเหมาะสมมาก เพราะจะช่วยให้การยึดเกาะและความแข็งแรงดีขึ้นด้วย

8.2 <u>การจำแนกการปรับปรุงเสถียรภาพของดินจากการศึกษาโครงงานพิเศษนี้</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาโครงงานการปรับปรุงเสถียรภาพของดินสำหรับงานทางหลวงตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่กำหนดไว้ ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทนำ สามารถจำแนกการปรับปรุงเสถียรภาพของดินสำหรับงานทางหลวงได้ดังนี้

1. Shallow Stabilization สามารถจำแนกได้เป็น

- Lime Stabilization
- Cement Stabilization
- Bituminous

2. Deep Stabilization สามารถจำแนกได้เป็น

- Geotextile
- Lime/Cement Column

การศึกษาวิธีการที่กล่าวมาข้างต้นนี้ได้มุ่งเน้นถึงโครงการก่อสร้างทางหลวงที่ดำเนินการก่อสร้างในประเทศไทยเท่านั้น ซึ่งการทำ Shallow Stabilization นั้นมีการใช้ในประเทศไทยอย่างเป็นทางการเมื่อ 30 ปีที่ผ่านมา (เฉพาะโดย Cement Stabilization) ส่วนแบบ Deep Stabilization นั้นสำหรับประเทศไทยนับได้ว่าเป็นการปรับปรุงเสถียรภาพที่พึ่งได้นำมาใช้ในงานทางหลวง

8.3 Shallow Stabilization

Shallow Stabilization เป็นการปรับปรุงดินในชั้นของโครงสร้างถนน ได้แก่ ชั้นรองพื้นทาง พื้นทาง ซึ่งจะนำดินที่ได้จากการสำรวจและตรวจสอบแล้วว่า คุณสมบัติของดินนั้นไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาก่อสร้างเป็นโครงสร้างของถนน ประกอบกับแหล่งของดินที่เหมาะสมอยู่ห่างไกลไม่คุ้มค่าในการดำเนินงาน

8.3.1 Lime Stabilization

จากการศึกษาและวิเคราะห์การปรับปรุงเสถียรภาพของดินด้วยปูนขาวนั้นสามารถสรุปถึง คุณสมบัติของดินที่ได้รับการปรับปรุง ข้อดีข้อเสียของการใช้การปรับปรุงดินด้วยปูนขาว ตลอดจนการเปรียบเทียบด้วยวิธีอื่น สามารถกล่าวโดยรวมได้ดังต่อไปนี้

-เมื่อผสมปูนขาวลงในดินจะทำให้ค่า Plastic Limit ของดินเพิ่มขึ้น แต่ค่า Liquid Limit ลดลง ทำให้ Plasticity ลดลงด้วย โดยค่า Plastic Limit จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่งก็จะหยุด ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุด Lime Fixation อย่างสมบูรณ์ เมื่อเพิ่มปูนขาวจนเกินกว่าค่า Lime Fixation แล้ว ค่า Plastic Limit จะมีแนวโน้มคงที่ซึ่งในขระเดียวกันค่า Unconfined Compressive Strength จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทันที

-เมื่อปูนขาวคลุกเคล้าให้เข้ากับดินเหนียวเปียก จะทำให้ดินเหนียวนั้นร่วนขึ้น สามารถที่จะแยกออกมาเป็นเม็ดง่ายทำให้ค่า Plasticity ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ปฏิกิริยาของปูนขาวกับดินจะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ถ้ามีสารอินทรีย์และสารซัลเฟตปนอยู่ในดิน

-ปูนขาวจะไม่เกิดปฏิกิริยากับวัสดุที่มีขนาดโตเกินกว่า Silt Size

-ถ้าใช้ปริมาณปูนขาวมากเกินกว่าปริมาณที่พอเหมาะ จะทำให้ความแข็งแรงของดินลดต่ำลง

-กำลังของดินที่ปรับปรุงจะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ชนิดของปูนขาว ปริมาณปูนขาว ปริมาณน้ำ อุณหภูมิการบ่มและพลังงานที่ใช้ในการบดอัด

-ปริมาณปูนขาว 3%-5% จะเหมาะสมกับการปรับปรุงดินถ้าเกินกว่านี้ Strength จะไม่เพิ่ม

-การใช้อุณหภูมิสูงบ่มทำให้เร่งดินพัฒนาความแข็งแรงเร็ว

-ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเชื่อมยึดปูนขาวกับดินนี้ จะเกิดขึ้นช้ากว่าการเกิดสารเชื่อมยึดที่เกิดจากปฏิกิริยา Hydration ของซีเมนต์

-ใช้ปริมาณน้อยกว่าซีเมนต์ในดินชนิดเดียวกัน

-ซีเมนต์และแอสฟัลต์จะปรับปรุงได้ดี ถ้าสามารถเคลือบห่อหุ้มเม็ดดินได้มากที่สุดจะใช้ปูนขาวผสมก่อนเพื่อให้เม็ดดินร่วน

8.3.2 Cement Stabilization

ตามที่ได้กล่าวถึงการปรับปรุงเสถียรภาพของดินในบทที่ 5 นั้น และจากการศึกษาและติดตามผลการก่อสร้างทางหลวงโดยใช้ Soil Cement ซึ่งนับได้ว่าเป็นการปรับปรุงดิน แบบ Shallow Stabilization ที่มีใช้กันในการก่อสร้างทางในประเทศไทย สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบมีสาระสำคัญดังต่อไปนี้

-ปริมาณซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามค่า Liquid Limit และPlasticity Indexจนปริมาณซีเมนต์ปริมาณ 17% ของน้ำหนักดิน ค่า Liquid Limit และ Plasticity Index จะไม่มีผลต่อปริมาณซีเมนต์

-กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่จะมีการรับแรงอัดสูงกว่าดินที่มีขนาดเม็ดเล็ก และดินที่มีปริมาณดินเหนียวผสมอยู่สูงจะรับกำลังน้อยกว่าดินที่มีปริมาณดินเหนียวต่ำกว่า ความคงทนของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์

-ดินที่มีพื้นที่ผิวมากจะทำให้สิ้นเปลืองปริมาณซีเมนต์สูง

-ระยะเวลาในการผสมและบดอัดช้าในดินทรายจะมีผลเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนดินตะกอนและดินเหนียวจะมีผลต่อกำลังการรับแรงอย่างมาก

-ถ้าผสมปูนขาวในดินที่มี Plasticity สูงจะมีผลให้การบดอัดและผสมสะดวกยิ่งขึ้น

-ถ้าผสมปูนขาว 2% จะทำให้การแข็งตัวเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นตามอายุของดินซีเมนต์

-ความชื้นที่ค้างต้องพอดีสำหรับการบ่มตลอด 7 วันจะเก็บความโดยฉาบผิวหน้าด้วย Bituminous Material

8.3.3 Bituminous Stabilization

การปรับปรุงเสถียรภาพดินด้วยแอสฟัลต์ก็เป็นการปรับปรุงเสถียรภาพดินอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งแอสฟัสต์จะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเชื่อมและเป็นตัวป้องกันน้ำ วิธีนี้จะทำให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวหรือกำลังรับแรงดึงเป็นเสมือนวัสดุเม็ดเหลี่ยมขัดกัน และจะลดอัตราส่วนของความชื้นเปลี่ยนเป็นเสมือนดินเหนียวหรือดินตะกอนสำหรับวัสดุที่ใช้ทำพื้นทาง อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้แอสฟัลต์เพียงอย่างเดียวจะไม่เพิ่มความแข็งแรงมากนัก ดังนั้นจึงใช้วิธีการผสมอีมัลชั่นกับปูนขาวหรือกับซีเมนต์ ซึ่งจะทำให้ดินมีคุณสมบัติดีขึ้น

The Asphalt Institute ซึ่งทำงานเกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมการทางมาโดยตลอด ได้ทำการรวบรวมข้อมูลของการปรับปรุงดินด้วย Asphalt เพื่อให้ได้ชั้นพื้นทางที่ดี โดยกำหนดคุณสมบัติไว้ว่า

-ต้องมีปริมาณของขนาดเม็ดดินที่ลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานหมายเลข 200 ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนักทั้งหมด

-ค่า Sand Equivalent ต้องน้อยกว่า 25

-ค่า Plasticity Index ต้องไม่เกิน 6

8.4 Deep Stabilization

การปรับปรุงดินด้วย Deep stabilization เป็นการแก้ไขปัญหาการก่อสร้างถนนบนพื้นที่ ที่มีสภาพไม่เหมาะสม เช่น มีอัตราการทรุดตัวสูง สภาพใต้ดินเป็นดินอ่อน เป็นต้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้การปรับปรุงสภาพดินใต้คันทาง จากการศึกษาและรวบรวมการปรับปรุงดินด้วยวิธีดังกล่าวนี้ ตามขอบเขตของโครงงานพิเศษมีรายละเอียดดังนี้

8.4.1 Geotextile

Geotextile จัดเป็นวัสดุที่ทำจากสารโพลิเมอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานดิน มีคุณสมบัติในการเสริมกำลังดิน ป้องกันการกัดเซาะ การระบายน้ำ การกรอง จากคุณสมบัติดังกล่าวได้มีการนำมาใช้ในการทำ Deep Stabilization วิธีการที่นำมาใช้กับการปรับปรุงสภาพดินอ่อน ในการช่วยระบายน้ำในดินให้เร็วขึ้นโดยอาศัยการทำควบคู่กับ Preload วิธีการนี้เป็นที่นิยมอีกวิธีหนึ่งในการปรับปรุงดินคือ Prefabricate Vertical Drain (PVD) โดยวัสดุที่ใช้ในวิธีดังกล่าวเป็นวัสดุ Geotextile

Prefabricate Vertical Drain (PVD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้ง PVD ควบคู่กับการเพิ่มน้ำหนัก บนดินเหนียวอ่อนเรียกว่า วิธีการ Preloading ก็เพื่อจุดประสงค์ในการเร่งระยะเวลาในการยุบตัวของดินเหนียวอ่อนได้คันทางให้เร็ว

ขึ้น ทั้งยังช่วยป้องกันการวิบัติหรือเคลื่อนตัวของดินในระหว่างการ Preloading อีกประการหนึ่งด้วย โดยมีหลักการดังนี้คือ จะทำการไล่น้ำหรือระบายน้ำออกจากมวลดินเหนียวอ่อนที่มีปริมาณน้ำตามธรรมชาติสูง และมีคุณสมบัติในด้านการซึมน้ำในแนวดิ่ง ต่ำกว่าในแนวราบการใช้แถบ PVD นี้ ก็เพื่อลดความยาว Drainage path ของการระบายน้ำในมวลดิน ทำให้ระยะเวลาในการทรุดตัวเร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเพิ่มน้ำหนักบรรทุก จะกล่าวอีกแง่หนึ่งก็คือ เป็นการเร่งปริมาณการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ ให้เกิดขึ้นมากที่สุดในช่วง Waiting Period

ดังนั้นจุดประสงค์หลักที่สำคัญอาจกล่าวสรุปได้ 2 ประการสำหรับการใช้แถบใยสังเคราะห์ระบายน้ำแนวดิ่ง (PVD) คือ

1. เป็นการเร่งขบวนการอัดตัวของดินเหนียวอ่อนใต้คันทาง

2. เพื่อให้ดินเหนียวใต้คันทางมีกำลังรับแรงเฉือน เพิ่มมากขึ้นหลังจากระบายน้ำออกจากมวลดินแล้ว อันจะเป็นการเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างถนนบนชั้นดินเหนียวอ่อน

ในการใช้ PVD ในการปรับปรุงดินตามที่กล่าวมาแล้วนั้นยังมีขอบเขตที่เป็นตัวกำหนดการก่อสร้างตามวิธี PVD คือ

-ดินที่ใช้ปรับปรุงไม่ลึกเกิน 15 เมตร เป็นสภาพดินเหนียวอ่อน

-มีพื้นที่มากพอในการทำ Preload

-อาศัยระยะเวลาในการระบายน้ำออกจากใต้ดิน 6-7 เดือน โดยต้องดูจากปริมาณน้ำใต้ดิน การทรุดตัว

-ระยะห่างระหว่าง PVD อยู่ระหว่าง 0.6-2 เมตร

8.4.2 Lime/Cement Column

วิธีการปรับปรุงดินชนิดนี้ก็จัดได้ว่าเป็นวิธีการใหม่อีกวิธีในเมืองไทย โดยคุณสมบัติต่างๆทางเคมีของ ปูนขาวและซีเมนต์จะเหมือนกับปฏิกิริยาเคมีของ Shallow Stabilization โดย Lime/Cement Column เป็นการปั่นผสมซีเมนต์หรือปูนขาวกับดินโดยตรง ซึ่งจะได้ลักษณะเป็นเสาเข็มดินผสมซีเมนต์หรือปูนขาว เพื่อช่วยรับน้ำหนักของคันทางที่วางอยู่บนชั้นดินอ่อน อีกทั้งเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพของดิน เปลี่ยนแปลงค่าความซึมได้ของน้ำ และช่วยลดค่าการทรุดตัว

สำหรับในประเทศไทยปูนขาวไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปั่นผสมทำ Column เนื่องจากขาดการควบคุมคุณภาพมาตรฐานต่ำ และแหล่งผลิตน้อย จึงมีใช้เฉพาะ Cement Column แต่หลังการในการก่อสร้างจะเหมือนกัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบ Cement Column กับ คอนกรีตจะใช้ปริมาณซีเมนต์ที่ผสมกับดินุ่ 150-200 Kg./m^3 และกำลังที่ได้จะเป็น 1/5 เท่าของกำลังคอนกรีต ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน

กรรมวิธีการในการทำ Cement Column สามารถแบ่งได้เป็น

1. Wet Process เป็นการผสมซีเมนต์กับดินโดยซีเมนต์ที่ปล่อยผสมจะมีลักษณะเป็น Slurry ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.75:1 ถึง 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การทำงานจะทำให้หน้างานสกปรก ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการปรับแต่ง

-ใช้เวลาก่อสร้างต่อ 1 ต้นประมาณ 40 นาที

-ราคาเมตรละ 100 บาท (เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm.)

2. Dry Process เป็นการผสมซีเมนต์กับดินโดยซีเมนต์ที่ปล่อยผสมจะมีลักษณะเป็นผง

-หน้างานสะอาดไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการปรับแต่ง

-ใช้เวลาก่อสร้างต่อ 1 ต้นประมาณ 20 นาที

-ราคาเมตรละ 350 บาท (เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. มานะ อภิพัฒนะมนตรี (2535). วิศวกรรมปฐพีและฐานราก, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
2. มณเฑียร กังศศิเทียม (2535). กลศาสตร์ของดินและวิศวกรรม, สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
3. ดร. วรากร ไม้เรียง และคณะ (2525). ปฐพีกลศาสตร์ทฤษฎีและการปฏิบัติการ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4. รศ. วัชรินทร์ วิทยกุล (2537). วัสดุการทาง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5. รศ. วัชรินทร์ วิทยกุล (2537). วัสดุการทางชั้นสูง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6. รศ. วัชรินทร์ วิทยกุล (2535). การออกแบบและวางแนวเส้นทาง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. รศ. จิรพัฒน์ โชติกไกร (2531). วิศวกรรมการทาง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. สง่า ตั้งชวาล (2537). ธรณีวิศวกรรมขั้นพื้นฐาน, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. กรมทางหลวง (2528). รายละเอียดควบคุมการก่อสร้าง, กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม
10. กองวิเคราะห์วิจัย (2537). บทความวิเคราะห์วิจัย 2537, กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม
11. กองวิเคราะห์วิจัย (2538). บทความวิเคราะห์วิจัย 2538, กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม
12. Tsytovi h,N. (1981). Soil Mechanics, Afanasyev Mascow
13. Liu,Cheng. (1992). Soil and Foundations, Prentice Hall
14. Jean-Pierre Giroud. (1984). Geotextiles and Geomembrances
15. Bergado,D.T. and others. (1992) Improvement Technique of Soft Ground in Subsiding and LowLand Environment, AIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้