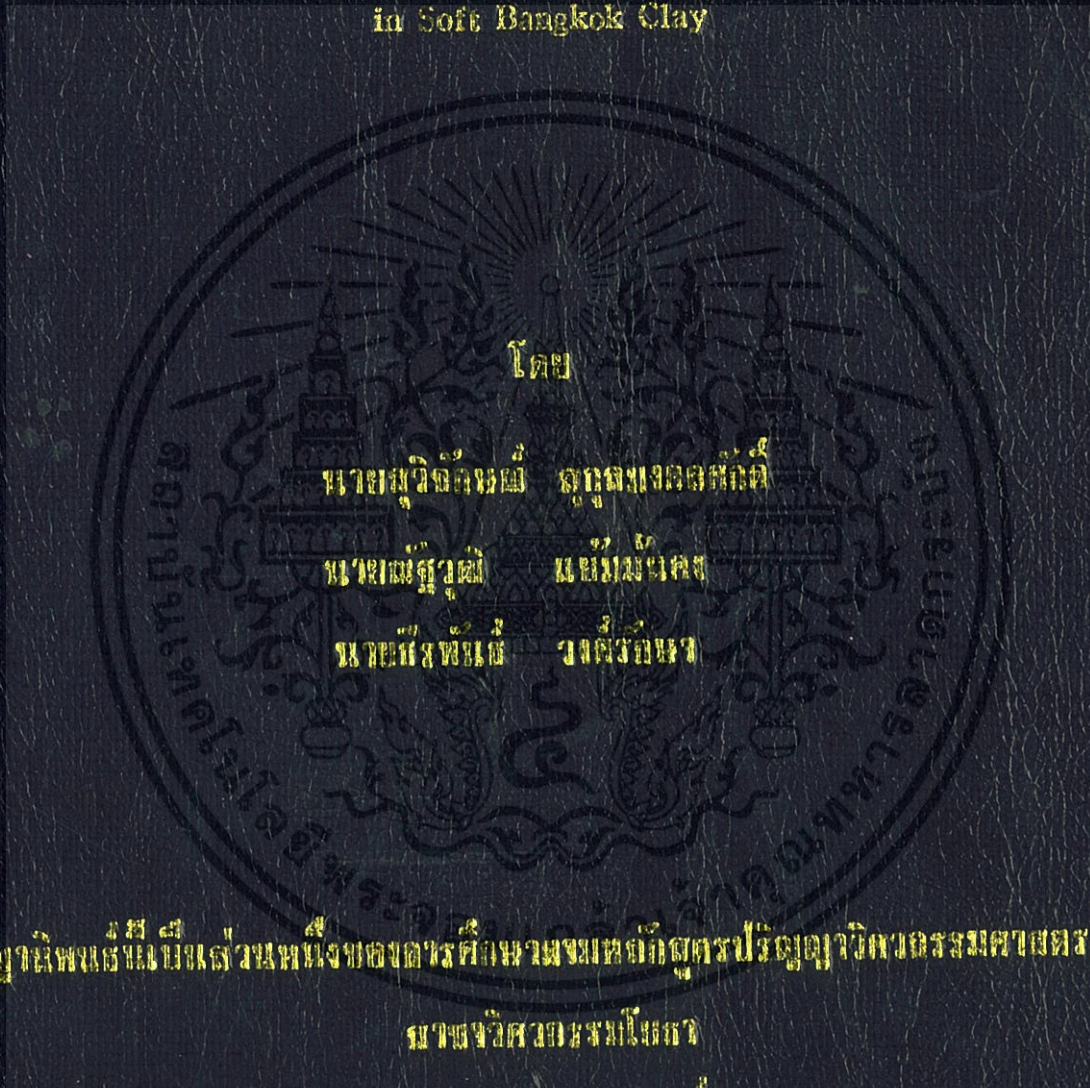


เครื่องทดสอบการยุบตัวความชื้นโดยวิธีสูญญากาศตามแนวอนในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

Consolidation Settlement Test Model Cooperated with Vacuum  
in Soft Bangkok Clay



โดย

นายวิจิตรพงษ์ สุทธิพงษ์อดิศักดิ์

นายสุวิทย์ นิชัยนาค

นายสุวิทย์ นิชัยนาค

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

นายวิศิษฐ์ อรรถนิก

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอน

ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

Consolidation Settlement Test Model Cooperated with Vacuum  
in Soft Bangkok Clay



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา

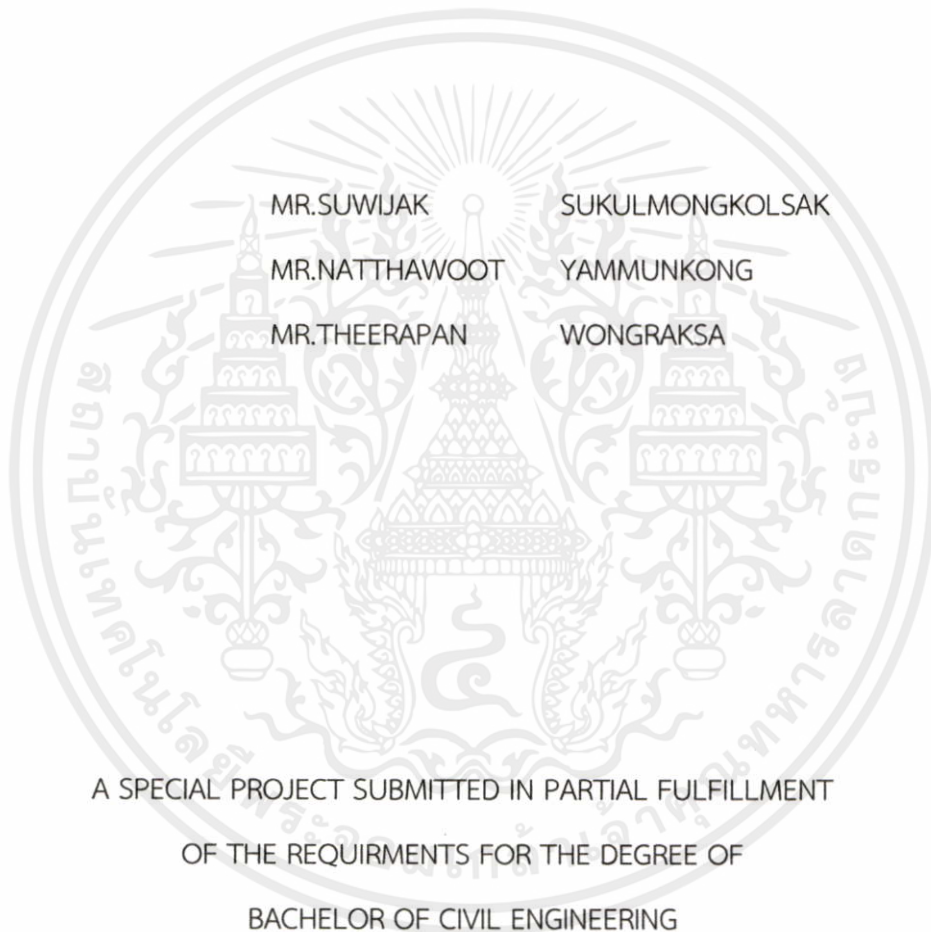
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Consolidation Settlement Test Model Cooperated With Vacuum  
in Soft Bangkok Clay



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING,FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONKUT'S INSTITUDE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**หัวข้อโครงการพิเศษ** เครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตาม  
 แนวอนในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ  
 Consolidation Settlement Test Model Cooperated with  
 Vacuum in Soft Bangkok Clay

**นักศึกษา**

|               |                 |              |          |
|---------------|-----------------|--------------|----------|
| นายสุวิจักขณ์ | สุกุลมงคลศักดิ์ | รหัสนักศึกษา | 53010374 |
| นายณัฐวุฒิ    | แย้มมั่นคง      | รหัสนักศึกษา | 53010519 |
| นายธีรพันธ์   | วงศ์รักษา       | รหัสนักศึกษา | 53010754 |

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.สุพจน์ ศรีนิล

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** อ.อุปะ ศิริแก้ว

**หลักสูตร** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

**สาขาวิชา** วิศวกรรมโยธา

| คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ | ลายมือชื่อ   |
|---------------------------------|--|
| รศ.ดร.สุกุล ท่อวโนทยาน          |  |
| ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์           |  |
| ผศ.สุพจน์ ศรีนิล                |  |
| ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์          |  |
| อ.ปรีชานันท์ ศรีแก้ว            |  |
| อ.อุปะ ศิริแก้ว                 |  |

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(..........)

(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น วันที่ 21 เดือน มีนาคม พ.ศ.2556 การค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ เครื่องทดสอบการอัดตัวคายนํ้าโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

Consolidation Settlement Test Model Cooperated With Vacuum in Soft Bangkok Clay

|          |                               |              |          |
|----------|-------------------------------|--------------|----------|
| นักศึกษา | นายสุวิจักขณ์ สุกุลมงคลศักดิ์ | รหัสนักศึกษา | 53010374 |
|          | นายณัฐวุฒิ แยมมันคง           | รหัสนักศึกษา | 53010519 |
|          | นายธีรพันธ์ วงศ์รักษา         | รหัสนักศึกษา | 53010754 |

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สุพจน์ ศรีนิล  
ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2556

### บทคัดย่อ

การเร่งการทรุดตัวในดินเหนียวอ่อนโดยใช้นํ้าหนักบรรทุกทุกกดทับเป็นวิธีการที่เคยนิยมปฏิบัติและเป็นที่ยอมรับว่าช่วยเร่งการทรุดตัวอย่างได้ผลทำให้การทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนเกิดได้เร็วกว่าสภาพธรรมชาติอย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวอาจเกิดปัญหาคือใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานการนำระบบสุญญากาศมาประยุกต์ใช้ร่วมจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้เร่งการระบายนํ้าออกจากดินได้เร็วขึ้นกว่าวิธีการใช้นํ้าหนักบรรทุกทุกกดทับโดยได้มีการนำไปทดลองใช้ในพื้นที่จริงอย่างได้ผลแต่จากการทดลองในแบบทดลองพบว่ายังขาดข้อมูลบางประการที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมทรุดตัวของดินที่จะทำให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำสูงขึ้นการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อสร้างเครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับจำลองสภาพการอัดตัวคายนํ้าโดยวิธีสุญญากาศเพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ที่แม่นยำต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Consolidation Settlement Test Model Cooperated With  
Vacuum in Soft Bangkok Clay

Name MR.SUWIJAK SUWIKULMONGKOLSAK  
MR.NATTHAWOOT YAMMUNKONG  
MR.THEERAPAN WONGRAKSA

Advisor ASST.SUPOJ SENIL

Field CIVIL ENGINEERING

Department CIVIL ENGINEERING

Faculty ENGINEERING

## ABSTRACT

In order to accelerate consolidation settlement in soft clay, surcharge load is accepted and likely to be used in Thailand. Therefore, stage of construction with slow increment of surcharge load is needed to avoid punching shear failure mode. Vacuum PVD is an alternative to accelerate consolidation settlement that faster than the surcharge load itself. This method has been effectively used in the field but some data are still required for accurate estimation. This research is to construct testing equipment and simulate the test situation in laboratory to obtain the accurate parameters needed for analysis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและแนะนำเป็นอย่างดีจากผศ.สุพจน์ ศรีนิลและอาจารย์อุษะ ศิริแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา วิชา SPECIAL PROJECT ที่ได้ให้ความดูแลเอาใจใส่ตลอดจนให้คำแนะนำปรึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆให้ลุล่วงด้วยดีเสมอมา

ในการทำการทดลองผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์เครื่องมือและให้คำแนะนำปรึกษาต่างๆ จากพี่ๆเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อแก้ไขปัญหาการใช้เครื่องมือต่างๆให้ลุล่วงด้วยดีเสมอมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับความกรุณาจากคุณฤทธิสร์ พอบาล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆจนทำให้โครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านดังที่กล่าวมาแล้วไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ประโยชน์และความดีทั้งหลายอันพึงจะได้รับในโครงการพิเศษเรื่องนี้ผู้วิจัยขอมอบให้แก่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านตลอดจนครูบาอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆแก่ผู้วิจัยจนทำให้โครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

สุวิจักขณ์

สุกุลมงคลศักดิ์

ณัฐวุฒิ

แย้มมั่นคง

ธีรพันธ์

วงศ์รักษา

ผู้จัดทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

| บทที่ | เรื่อง                             | หน้า |
|-------|------------------------------------|------|
|       | ปกใน (ภาษาไทย)                     | ก    |
|       | ปกใน (ภาษาอังกฤษ)                  | ข    |
|       | หน้าอนุมัติ                        | ค    |
|       | บทคัดย่อภาษาไทย                    | ง    |
|       | บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                 | จ    |
|       | กิตติกรรมประกาศ                    | ฉ    |
|       | สารบัญ                             | ช    |
| 1     | บทนำ                               | 1    |
|       | 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา      | 1    |
|       | 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา        | 1    |
|       | 1.3 ขอบเขตของการศึกษา              | 2    |
|       | 1.4 วิธีการศึกษา                   | 2    |
|       | 1.5 วิจัยการศึกษา                  | 2    |
| 2     | วรรณกรรมปริทัศน์                   | 3    |
|       | 2.1 ความหมายของดิน                 | 3    |
|       | 2.1.1 ส่วนประกอบของดิน             | 3    |
|       | 2.1.2 ความหมายดินในทางด้านวิศวกรรม | 4    |
|       | 2.2 ชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ      | 5    |
|       | 2.2.1 กำเนิดของชั้นดินในกรุงเทพฯ   | 5    |

## สารบัญ

| บทที่ | เรื่อง  | หน้า |
|-------|---|------|
|       | 2.3 ระบบสุญญากาศ  | 8    |
|       | 2.4 การบดอัดดิน   | 9    |
| 3     | ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน  | 12   |
|       | 3.1 การออกแบบและแบบขยายรายละเอียดแนวคิดที่เกี่ยวข้อง  | 12   |
|       | 3.1.1 การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์  | 16   |
|       | 3.1.2 วิธีการดำเนินงาน  | 18   |
|       | 3.2 การเตรียมตัวอย่างดิน  | 19   |
|       | 3.2.1 การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์  | 19   |
|       | 3.2.2 วิธีการดำเนินงาน  | 24   |
| 4     | ผลการศึกษา และการวิเคราะห์  | 27   |
|       | 4.1 การวิเคราะห์ตำแหน่งในการดูน้ำออกจากดินที่เหมาะสม<br>ด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิคร่วมกับการดูด้วยระบบสุญญากาศ   | 27   |
|       | 4.1.1 ผลการวัดระดับการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองโดยจะเปรียบเทียบระหว่างมีน้ำหนักกระทำ<br>และไม่มีน้ำหนักระทำ                          | 27   |
|       | 4.1.2 ผลการวัดระดับการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนเมื่อเปรียบเทียบกับ<br>ระยะเวลาการทดลองจากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย<br>เครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศ | 29   |
|       | 4.1.3 ผลการวัดปริมาณน้ำที่ได้จากการดูด้วยระบบสุญญากาศเมื่อ  | 36   |

เปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

| บทที่ เรื่อง   | หน้า |
|--|------|
| 4.2 การวิเคราะห์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความแข็งแรง<br>ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิกร่วมกับ<br>การดูดด้วยระบบสุญญากาศ | 38   |
| 4.2.1 ผลการวัดค่าแรงเฉือนบริเวณผิวหน้าของดินเหนียวอ่อนในแบบจำลอง   | 38   |
| 4.2.2 ผลการวัดค่าปริมาณความชื้นในดินเหนียวอ่อนในแบบทดลอง   | 39   |
| 4.3 วิเคราะห์ผล  | 41   |
| 5 <b>สรุปและวิจารณ์</b>  | 42   |
| 5.1 สรุป   | 42   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ   | 42   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

| บทที่ | เรื่อง  | หน้า |
|-------|---|------|
|       | รายการอ้างอิง                                   | 43   |
|       | บรรณานุกรม                                      | 44   |
|       | ภาคผนวก ก                                       |      |
|       | ตารางที่ ผก1.ตารางสรุปลักษณะชั้นดินก่อนการทดสอบ | ผก.1 |
|       | ตารางที่ ผก2.ตารางสรุปผลการทดสอบดินก่อนการทดสอบ | ผก.2 |
|       | ภาคผนวก ข                                       |      |
|       | รูปที่ผข1. บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างดิน         | ผข.1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

| รูปที่     | ชื่อรูป   | หน้า |
|------------|---|------|
| รูปที่2.1  | ผังแสดงส่วนประกอบของดิน   | 5    |
| รูปที่2.2  | รูปตัดแสดงชั้นดินกรุงเทพฯ จากทิศเหนือไปทิศใต้                       | 7    |
| รูปที่2.3  | รูปตัดแสดงชั้นดินบริเวณใกล้เคียงกรุงเทพฯ จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก | 8    |
| รูปที่2.4  | ลักษณะชั้นดินในพื้นที่กรุงเทพฯ                                      | 8    |
| รูปที่2.5  | ระบบสุญญากาศและให้น้ำหนักกดทับล่งหน้า                               | 9    |
| รูปที่2.6  | การבודัดและความหนาแน่นแห้งที่ได้หากใช้พลังงานในการבודัดค่าหนึ่ง     | 11   |
| รูปที่3.1  | ตำแหน่งการเจาะที่จุด A  | 12   |
| รูปที่3.2  | ตำแหน่งการเจาะที่จุด B  | 13   |
| รูปที่3.3  | ตำแหน่งการเจาะที่จุด C  | 13   |
| รูปที่3.4  | ตำแหน่งการเจาะที่จุด A และ B  | 13   |
| รูปที่3.5  | ตำแหน่งการเจาะที่จุด B และ C  | 14   |
| รูปที่3.6  | ตำแหน่งการเจาะที่จุด A B และ C                                      | 14   |
| รูปที่3.7  | รูปแบบของเครื่องทดสอบ   | 15   |
| รูปที่3.8  | ระยะห่างของเครื่องทดสอบ   | 15   |
| รูปที่3.9  | เครื่องมือ  | 16   |
| รูปที่3.10 | เครื่องชั่งน้ำหนัก  | 17   |
| รูปที่3.11 | ถ้วยเก็บตัวอย่างดิน   | 17   |
| รูปที่3.12 | กระบอกตวง   | 17   |
| รูปที่3.13 | ตุ้บดิน   | 18   |
| รูปที่3.14 | โครงเหล็กสำหรับการทดลอง   | 20   |
| รูปที่3.15 | ท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว ชนิด 13.5 ยาว 1 เมตร                            | 20   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในการนำกลับไปใช้

## สารบัญรูป

| รูปที่     | ชื่อรูป  | หน้า |
|------------|--|------|
| รูปที่3.16 | เครื่องสูบน้ำด้วยระบบสุญญากาศ  | 21   |
| รูปที่3.17 | เครื่องโหลดเซลล์รับแรงสูงสุด 10 ตัน  | 21   |
| รูปที่3.18 | เครื่องไฮดรอลิคแจ๊คแบบน้ำมัน   | 22   |
| รูปที่3.19 | แผ่นยางและแผ่นเหล็ก  | 22   |
| รูปที่3.20 | Venshear box   | 23   |
| รูปที่3.21 | เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์  | 23   |
| รูปที่3.22 | การเชื่อมโครงสร้างเหล็กยึดให้เกิดความแข็งแรง   | 24   |
| รูปที่3.23 | ติดตั้งเครื่องมือให้ครบพร้อมที่จะทำการทดลอง  | 25   |
| รูปที่3.24 | ความดันในถังอัดความดัน และ เครื่องวัดการยุบตัว   | 25   |
| รูปที่3.25 | การวัดปริมาณน้ำที่ได้จากการดูดด้วยระบบสุญญากาศ   | 26   |
| รูปที่4.1  | กราฟแสดงการวัดระดับการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน<br>เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองโดยจะเปรียบเทียบ<br>ระหว่างมีน้ำหนักกระทำและไม่มีน้ำหนักระทำ | 28   |
| รูปที่4.2  | เป็นปริมาณน้ำที่ได้จากการทดสอบการดูดน้ำด้วยระบบ<br>สุญญากาศมีน้ำหนักดทับกับแบบไม่มีน้ำหนักดทับ   | 28   |
| รูปที่4.3  | กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบ<br>กับระยะเวลาการทดลองที่จุด A   | 30   |
| รูปที่4.4  | กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบ<br>กับระยะเวลาการทดลองที่จุด B   | 31   |
| รูปที่4.5  | กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบ<br>กับระยะเวลาการทดลองที่จุด C   | 32   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

| รูปที่     | ชื่อรูป  | หน้า |
|------------|--|------|
| รูปที่4.6  | กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองที่จุด A และ B                         | 33   |
| รูปที่4.7  | กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองที่จุด B และ C                         | 34   |
| รูปที่4.8  | กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองที่จุด A B และ C                       | 35   |
| รูปที่4.9  | กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองของแต่ละแบบการทดลองมาเปรียบเทียบกับกัน | 36   |
| รูปที่4.10 | กราฟแสดงปริมาณน้ำที่ได้จากการดูดด้วยระบบสุญญากาศของแต่ละแบบการทดลองมาเปรียบเทียบกับกัน                       | 37   |
| รูปที่4.11 | กราฟแสดงปริมาณค่าแรงเฉือนของดินเหนียวเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดินที่ได้จากการทดลองที่ทุกตำแหน่ง      | 39   |
| รูปที่4.12 | กราฟแสดงค่าความต่างของการทรุดตัวบริเวณปากกระบอกทดลองเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดิน                     | 40   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่    | ชื่อตาราง  | หน้า |
|-------------|--|------|
| ตารางที่4.1 | บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะเวลาการทดลอง<br>ของการทดลองที่ จุด A  | 30   |
| ตารางที่4.2 | บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะเวลาการทดลอง<br>ของการทดลองที่ จุด B  | 31   |
| ตารางที่4.3 | บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะเวลาการทดลอง<br>ของการทดลองที่ จุด C  | 32   |
| ตารางที่4.4 | บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะเวลาการทดลอง<br>ของการทดลองที่ จุด A และ B  | 33   |
| ตารางที่4.5 | บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะเวลาการทดลอง<br>ของการทดลองที่ จุด B และ C  | 34   |
| ตารางที่4.6 | บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะเวลาการทดลอง<br>ของการทดลองที่ จุด A B และ C  | 35   |
| ตารางที่4.7 | บันทึกข้อมูลระยะเวลาและปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลอง<br>ที่ทุกตำแหน่ง   | 37   |
| ตารางที่4.8 | บันทึกข้อมูลปริมาณค่าแรงเฉือนของดินเหนียวเปรียบเทียบกับ<br>กับค่าปริมาณความชื้นในดินที่ได้จากการทดลองที่ทุกตำแหน่ง | 38   |
| ตารางที่4.9 | บันทึกข้อมูลค่าความต่างของการทรุดตัวบริเวณปากกระบอกทดลอง<br>เปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดิน                   | 40   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯเป็นดินที่มีปริมาณน้ำในดินสูง จึงเกิดการยุบอัดตัวคายน้ำของดินมาก กำลังรับน้ำหนักแบกทานต่ำทำให้สิ่งปลูกสร้างที่วางอยู่บนดินชนิดนี้อยู่ในสภาวะไม่เสถียรอาจจะได้รับความเสียหายในภายหลังได้ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง แนวทางหนึ่งที่สามารถลดผลกระทบดังกล่าวข้างต้นได้ คือ การปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อให้ดินมีคุณสมบัติเพียงพอต่อการรับน้ำหนักกดทับของโครงสร้างนั้นๆ โดยให้เกิดผลกระทบน้อยลง

การปรับปรุงคุณภาพดินได้มีการศึกษาและพัฒนาเทคนิคต่างๆมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้มีการศึกษาการปรับคุณภาพดินด้วยเทคนิค “การใช้สุญญากาศกำลังสูง(High Vacuum Method)” ในประเทศจีน และนำไปใช้ในโครงการขนาดใหญ่จนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ มีหลักการ คือ การใช้ระบบสุญญากาศเพื่อให้เกิดแรงดันน้ำเชิงลบในมวลดิน ผลทำให้เกิดการเร่งระบายน้ำออกจากมวลดิน ทำให้เกิดการทรุดตัวของดินบริเวณนั้นเร็วกว่าปกติ ซึ่งเทคนิคนี้มีความน่าสนใจที่จะนำมาทดลองใช้ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ดังนั้นในการศึกษาโครงการพิเศษนี้ จะทำแบบจำลองการทดลองเพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯโดยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกกับการใช้ระบบสุญญากาศ เพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลอง และสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อออกแบบการทดลองในพื้นที่จริงในอนาคตได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1 )เพื่อศึกษาดำเนินงานในการดูดนํ้าออกจากดินที่เหมาะสมด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกร่วมกับการดูดด้วยระบบสุญญากาศ

2 )เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

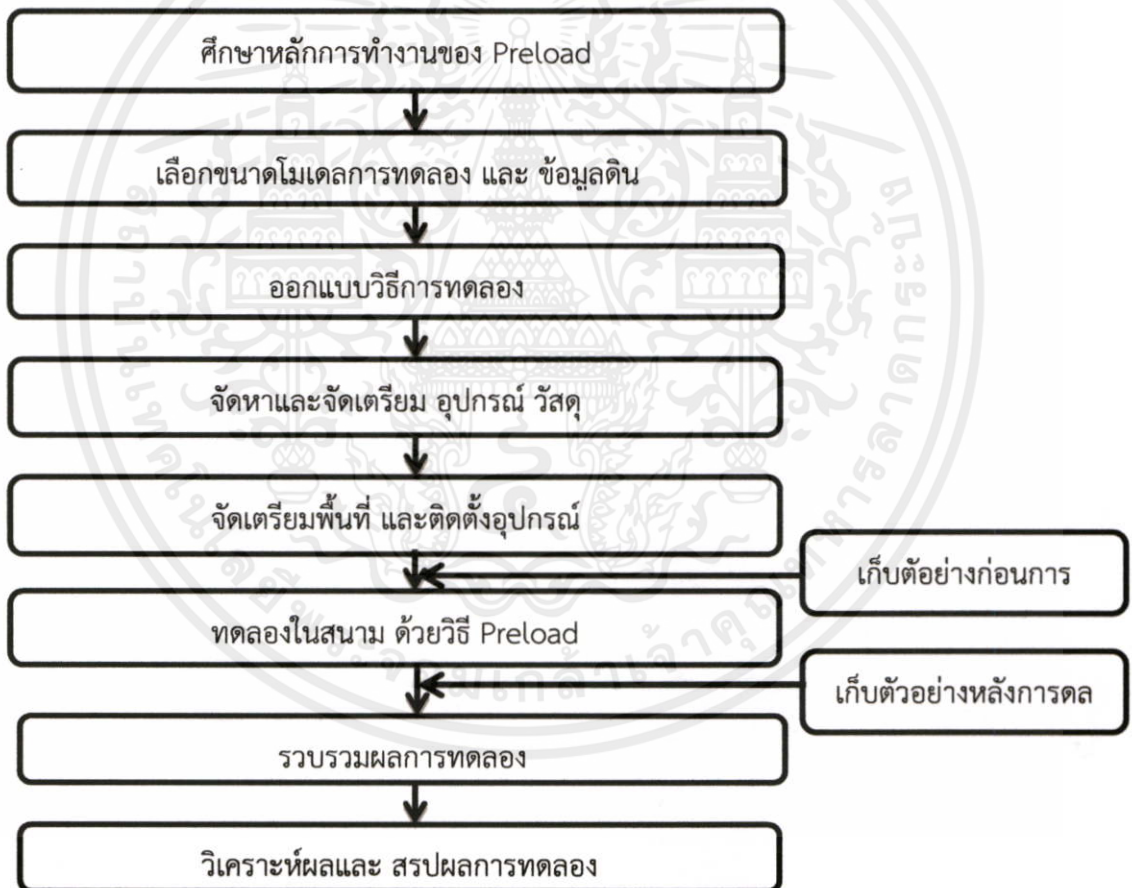
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกร่วมกับการดูดด้วยระบบสุญญากาศ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3ขอบเขตของการศึกษา

โครงการนี้เป็นการศึกษาและทดสอบดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯโดยนำดินภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเป็นการเก็บตัวอย่างดินแปลงสภาพ ( Disturb sample )ในบริเวณหน้าอาคารKMITL Convention Hall โดยมีรายละเอียดดังนี้ ตัวอย่างดินนำมาจากดินที่ตำแหน่งความลึก 2.00 – 4.00 เมตรและมีค่าความชื้นตามธรรมชาติของดินเฉลี่ยอยู่ที่140%

### 1.4 วิธีการศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 )ได้ทราบถึงตำแหน่งในการดูดน้ำออกจากดินที่เหมาะสม
- 2 )ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

#### 2.1 ความหมายของดิน

ดินเกิดจากการกัดกร่อน ผุพัง และแตกสลายของหินต่างๆ โดยธรรมชาติ ทั้งจากอิทธิพลของดินฟ้าอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ความกดดัน แรงดึงดูดของโลก และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี แล้วมีการเคลื่อนย้ายพัดพา โดยตัวกลางต่างๆ ไปตกตะกอนทับถมในที่ต่างๆ เป็นชั้นดินขึ้นมาทำให้คุณสมบัติของดินในแต่ละชั้นและแต่ละแห่งแตกต่างกันไป

##### 2.1.1 ส่วนประกอบของดิน

ดินประกอบด้วยเนื้อดินหรือเม็ดดินและช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งในช่องว่างอาจจะเต็มไปด้วยน้ำหรืออากาศ อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือมีทั้งน้ำและอากาศปนกัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าดินประกอบด้วย

- ของแข็ง คือ เนื้อดินหรือเม็ดดิน โดยปกติจะเป็นแร่ธาตุต่างๆ
- ของเหลว ซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยปกติจะเป็นน้ำ
- ก๊าซ ซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยปกติจะเป็นอากาศ

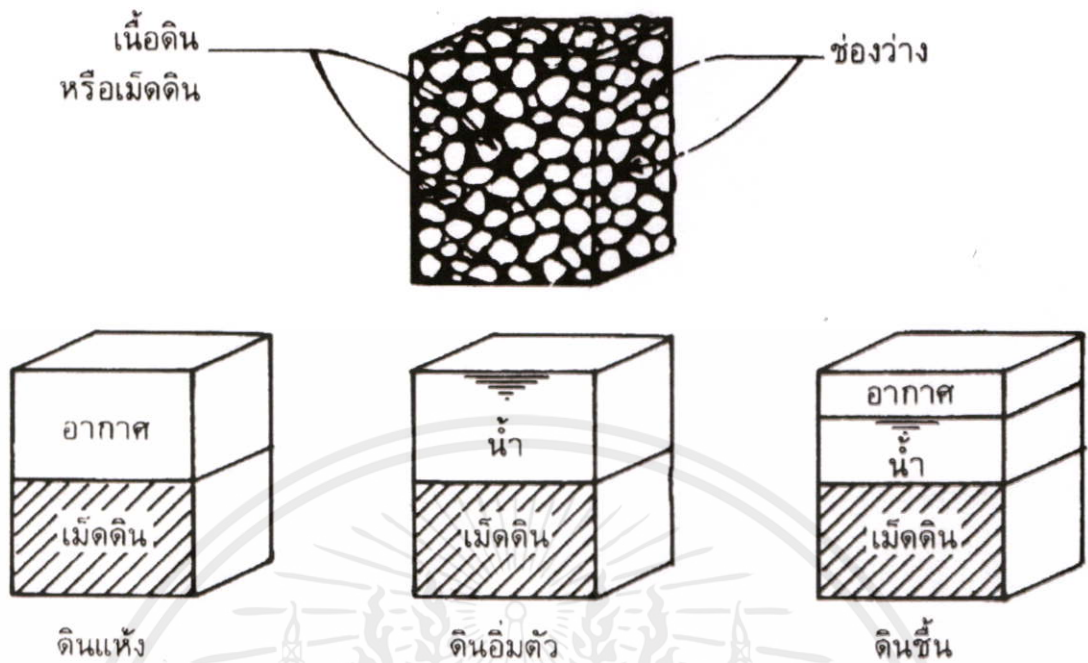
ถ้าช่องว่างเต็มไปด้วยอากาศ เรียกว่า ดินแห้ง (Dry soil)

ถ้าช่องว่างเต็มไปด้วยน้ำ เรียกว่า ดินอิ่มตัว (Saturated soil)

ถ้าช่องว่างมีทั้งน้ำและอากาศ เรียกว่า ดินชื้นหรือดินเปียก (Partially saturated soil หรือ Moist soil หรือ Wet soil) ส่วนต่างๆ ที่ประกอบเป็นดินนี้ สามารถเขียนเป็นรูปผังได้

ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ผังแสดงส่วนประกอบของดิน

### 2.1.2 ความหมายดินในทางด้านวิศวกรรม

วิศวกรได้แบ่งวัสดุที่ตกตะกอนทับถมกันเป็นผิวโลกออกเป็นดินและหิน ดินคือส่วนที่ตกตะกอนทับถมกันไม่แน่น สามารถแยกออกจากกันได้ง่ายๆ เช่น นำไปละลายน้ำ เป็นต้น หินคือส่วนที่แข็งและยึดจับตัวกันแน่นมาก ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ง่ายๆ เหมือนดิน

ดังนั้น ความหมายของดินในทางวิศวกรรมคือ วัสดุอะไรก็ตามที่ตกตะกอนและทับถมกันไม่แน่น เช่น กรวด (Gravel) ทราย (Sand) ตะกอนทราย (Silt) และดินเหนียว (Clay) หรือส่วนผสมของสิ่งเหล่านี้ ซึ่งอาจเป็นพวกที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesion) หรือไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesion less) ก็ได้

Residual soil คือ ดินส่วนที่ยังไม่ถูกเคลื่อนย้ายหรืออยู่ห่างจากตำแหน่งกำเนิด (Top soil) คือ ดินส่วนที่อยู่บนผิวซึ่งอาจจะเกิดการเนาเปื่อยผุพังและสลายตัวของพวกพืชและสัตว์ที่ล้มตายทับถมกันเป็นเวลานาน จะมีสารอินทรีย์ (Organic matter) สูงและมีหน่วยน้ำหนักต่ำ ดังนั้น โดยปกติจะต้องขุดออกหรือไม่นำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ

### 2.2.1 กำเนิดของชั้นดินในกรุงเทพฯ ฯ

ชั้นดินในกรุงเทพฯ ฯเป็นดินตะกอน (Transported soil) ชนิด Marine และ Alluvial ซึ่งเป็นแบบ การตกตะกอนจากน้ำหรือสิ่งพัดพาจากพื้นดิน(Terrestrial Deposit )มีความหนา มากกว่า 1,500 เมตร ชั้นล่างเป็นชั้นหินดานซึ่งอยู่ที่ความลึกไม่แน่นอน เชื่อว่าเกินกว่า 1,500 เมตร (ว.ส.ท. 2520)

ถัดจากชั้นหินดานขึ้นมาเป็นชั้นดินแยกออกเป็นชั้นๆ เป็นชั้นดินเหนียวแข็งสลับกับชั้นทรายและกรวดในสภาพที่อัดแน่นจนกระทั่งถึงความลึกประมาณ 14-20 เมตรจากผิวดิน จากนั้นดินตกตะกอนเป็นดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง

กลไกการกำหนดของชั้นดินเหนียวแข็งสลับกับชั้นทรายอัดแน่นใต้ชั้นดินอ่อนยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอน เชื่อกันว่าเป็นทั้ง Marine และ Terrestrial Deposit (ว.ส.ท. 2520) ข้อมูลจากคุณสมบัติของดินเหนียวแข็งชั้นแรกที่วัดได้ แสดงว่าดินชั้นนี้ต้องเกิดก่อนชั้นดินเหนียวเป็นเวลานาน เพราะข้อมูลแสดงผลของ การสึกกร่อน (weathering)และการกัดเซาะ (Erosion) ที่ทำให้ดินเหนียวอยู่ในสภาพอัดแน่นเกินตัว (Overconsolidated) ค่อนข้างมาก ดินเหนียวแข็งและทรายชั้นแรกเชื่อว่าเป็น (MarineDeposit)

ในเวลาต่อมาเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นและดินเหนียวอ่อนจึงตกตะกอน ด้วยเหตุมีหลักฐานที่เชื่อว่าดินเหนียวอ่อนเป็น (MarineDeposit)ดินเหนียวอ่อนนี้มักจะเริ่มจากระดับ MSL (Mean Sea Level) มีความหนา 14-18 เมตรบริเวณกรุงเทพฯ ฯ ในช่วง 2-3 เมตรสุดท้าย ดินเหนียวอยู่ในสภาพแข็งปานกลาง

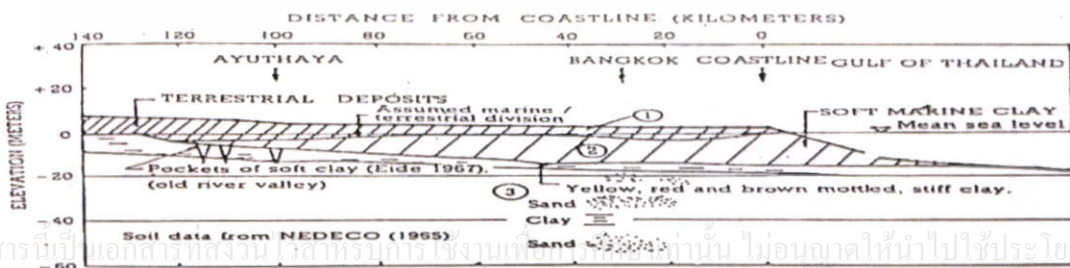
ดินเหนียวส่วนบนที่อยู่เหนือดินเหนียวอ่อนมักอยู่ในสภาพที่มีความแข็งปานกลางความหนาประมาณ 3-5 เมตร และมักเรียกว่า "Weathered Bangkok Clay" เพราะถูกแปรสภาพมาก ดินเหนียวส่วนนี้อาจเป็นไปได้ทั้ง Terrestrial และ MarineDeposit เชื่อว่าเป็น (Terrestrial Deposit เสียส่วนใหญ่) ในบริเวณใกล้ปากอ่าว เกือบจะไม่มีชั้นดินชั้นนี้

ดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวส่วนบนถูกชะล้าง (Leaching) ในเวลาต่อมา การชะล้างของดินเหนียวอ่อนที่เป็นMarineDepositทำให้เกลือในน้ำลดลงไปเป็นผลให้โครงสร้างของดินไม่เสถียรภาพ จึงมีพฤติกรรมที่มีความไวสูง ดินเหนียวส่วนบนก็มีความไวเช่นกันเว้นแต่น้อยกว่าดิน

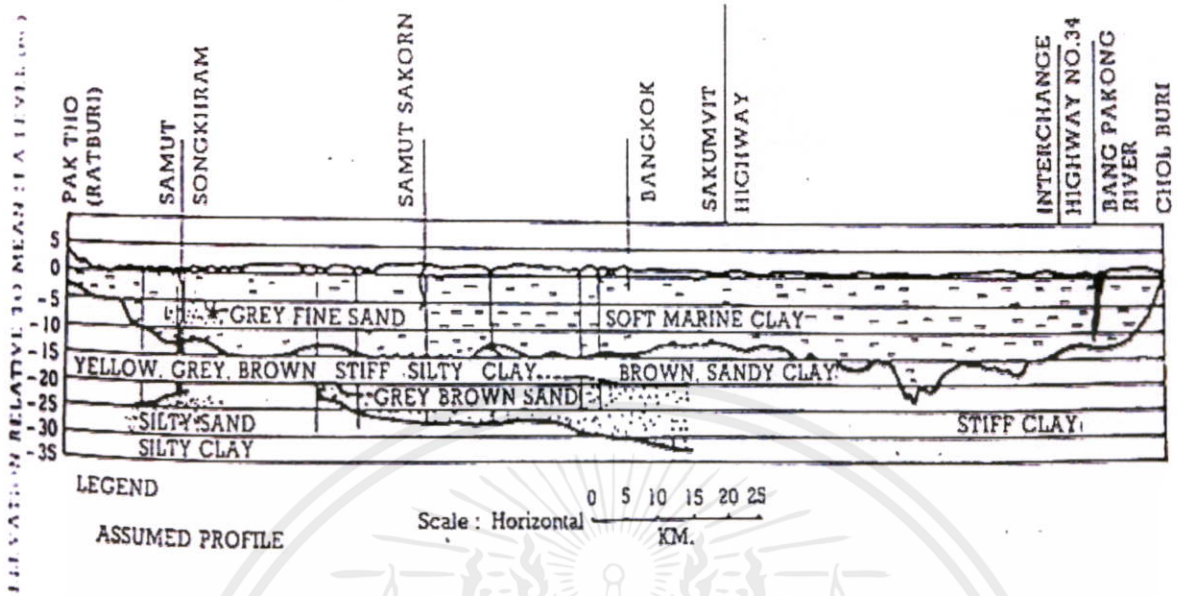
เหนียวอ่อนชั้นล่างมากดินเหนียวในช่วง Weathered Zone ซึ่งส่วนมากเป็น Terrestrial Deposit อยู่ในสภาพอัดแน่นเกินตัว สาเหตุส่วนใหญ่เชื่อว่ามาจากกระบวนการ Weathering โดยเฉพาะมาจากการผุร้อนทางเคมี Chemical Weathering และจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน และการระเหยของน้ำ Desiccation ส่วนผลของการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงเนื่องจากการสึกกร่อน (Erosion) เชื่อว่าไม่ใช่ส่วนประกอบที่สำคัญ

ดินเหนียวอ่อนที่เป็น Marine Deposit ก็อยู่ในสภาพอัดแน่นเกินตัวเช่นกัน กลไกของการเกิดการอัดแน่นเกินตัว เชื่อว่าส่วนใหญ่มาจาก การกลายสภาพเป็นทะเลสาบเก่า Aging อันเป็นผลของการอัดตัวครั้งที่สอง หรือ Drained Creep รูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 แสดงรูปตัดของชั้นดินบริเวณใกล้เคียงกรุงเทพฯ รูปที่ 2.2 แสดงรูปตัดจากอ่าวไทยไปยังอยุธยา (นั่นคือจากทิศใต้ไปทิศเหนือ) ความหนาของชั้นดินอ่อนที่เกิดจาก Marine Deposit เพิ่มขึ้นเมื่อใกล้อ่าวไทย และดินเหนียวบริเวณนั้นมีสมบัติทางวิศวกรรมค่อนข้างเหลว จากกรุงเทพฯ ไปยังอยุธยา ความหนาของชั้นดินอ่อนลดลง ความหนาของชั้นดินที่เป็น Terrestrial Deposit เพิ่มขึ้น จนกระทั่งเลยอยุธยาไป ชั้นดินอ่อนขาดหายไป โดยชั้นดินมีเพียง Terrestrial Deposit ซึ่งเป็นดินเหนียวแข็งปานกลางตั้งอยู่บนชั้นดินเหนียวแข็ง อายุของดินมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นจากอ่าวไทยไปยังอยุธยาเช่นกัน ดินเหนียวบริเวณที่บริเวณที่อยุธยาจะมีสภาพอัดแน่นเกินตัวมากกว่าดินบริเวณอ่าวไทย

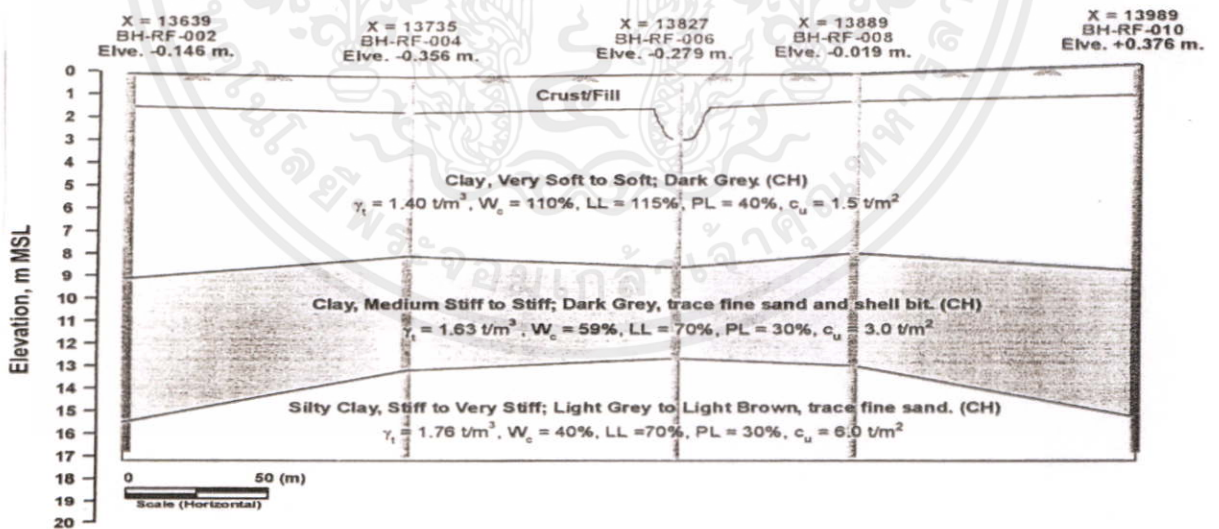
รูปที่ 2.3 แสดงรูปตัดของชั้นดินในบริเวณกรุงเทพฯ จากชลบุรีไปราชบุรี จะเห็นว่าดินอ่อนเป็นแอ่งอยู่ และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนมีความไม่แน่นอน ความหนาของดินอ่อนใกล้แม่น้ำบางปะกง มีถึง 20 เมตร ความหนาของดินอ่อนเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใกล้จังหวัดชลบุรีและจากสมุทรสงครามไปยังจังหวัดชลบุรีโดยทั่วไปอายุของดินอ่อนจะน้อยที่สุดบริเวณใกล้จังหวัดชลบุรี จากนั้นอายุของดินและสภาพอัดแน่นเกินตัวมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในทิศทางไปยังจังหวัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 2.2 รูปตัดแสดงชั้นดินกรุงเทพฯ จากทิศเหนือไปทิศใต้ (ว.ส.ท. 2520) ราชบุรี การนำไปใช้



รูปที่ 2.3 รูปตัดแสดงชั้นดินบริเวณใกล้เคียงกรุงเทพฯ จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก

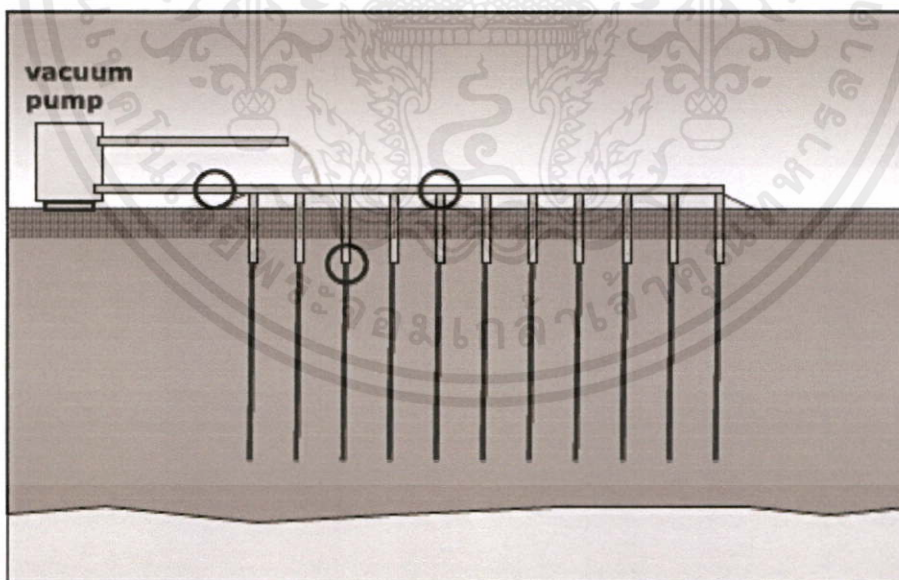


รูปที่ 2.4 ลักษณะชั้นดินในพื้นที่กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ระบบสุญญากาศ (Vacuum Method)

การเลือกใช้พลังงานจากระบบสุญญากาศในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเทคนิค HVDM อาจจะไม่มีการคำนวณในการนำไปใช้ที่ชัดเจน แต่การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกรณีศึกษาในพื้นที่ทดลองจริงที่ผ่านมาพบว่า ความดันสุญญากาศที่ทำให้ความดันน้ำในดินมีค่าเท่ากับหนึ่งความดันบรรยากาศ(100 กิโลปาสคาล)หรือ 760 mmhg โดยไม่คำนึงถึงปรากฏการณ์ Cavitationsที่มีโอกาสเกิดขึ้น(Liang and Xu, 2012) ทำให้ค่ากำลังแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน(Undrain Shear Strength) ที่มีการยุบอัดคายน้ำปกติ(Normalconsolidation) เพิ่มจากประมาณ 50 ไปถึง 80 กิโลปาสคาล และกำลังรับน้ำหนักของดินเพิ่มขึ้นจากประมาณ 15 ไปถึง 25 กิโลปาสคาล อีกกรณีศึกษาที่เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกความดันของสุญญากาศคือ การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้แถบระบายน้ำแนวตั้งแบบสังเคราะห์ร่วมกับระบบสุญญากาศและให้น้ำหนักกดทับล่วงหน้า(PVD + Vacuum + Preloading) โดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย(AIT) ในพื้นที่สนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งได้แนะนำค่าเฉลี่ยความดันสุญญากาศ 50 ถึง 60 กิโลปาสคาล ที่วัดได้ใน PVD และ 70 ถึง 90 กิโลปาสคาลที่ปัมสุญญากาศ (Bergado et al, 2006) เมื่อ PVD เทียบเท่ากับท่อระบายน้ำแนวตั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ รูปที่ 2.5 ระบบสุญญากาศและให้น้ำหนักกดทับล่วงหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การบดอัดดิน ( Soil compaction )

การบดอัดดินเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติดินทางด้านวิศวกรรมของดิน โดยใช้พลังงานกลทำให้อนุภาคของเม็ดดินถูกจัดเรียงตัวแน่นขึ้นและเคลื่อนตัวเข้าใกล้กันมากขึ้น หรือเป็นการลดช่องว่างอากาศนั่นเอง ทำให้ดินมีความหนาแน่นแห้งมากขึ้นซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดีขึ้นได้แก่ กำลังเฉือนเพิ่มขึ้น การทรุดตัวลดลง และความชื้นน้ำของดินลดลง เป็นต้น

หลักการในการบดอัดดินจะสัมพันธ์กับปริมาณในดิน พลังงานในการบดอัดและลักษณะของดิน การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน หรือพลังงานในการบดอัดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นแห้งของ

ดินบดอัด พรอคเตอร์ (Procter,1963) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินที่ใช้ในการบดอัด และความหนาแน่นแห้งที่ได้หากใช้พลังงานในการบดอัดค่าหนึ่ง แสดงในรูปที่ 2.6 เส้นกราฟในรูปที่ 2.6 เส้นกราฟการบดอัด (Compaction curve) จุดสูงสุดของกราฟเรียกว่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด(Maximum dry density) ปริมาณน้ำในการบดอัดที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุดเรียกว่าปริมาณความชื้นเหมาะสม(Optimum moisture content )

การคำนวณการบดอัดดินจำเป็นต้องทราบความหนาแน่นแห้งของดินในการบดอัด ซึ่งโดยทั่วไปจะหาจากความหนาแน่นรวมของดิน ซึ่งความหนาแน่นจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นแห้งของดินซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\gamma_d = \frac{\gamma_1}{(1 + m)}$$

โดยที่

$$\gamma_d = \text{ความหนาแน่นแห้งของดิน}$$

$$\gamma_t = \text{ความหนาแน่นรวมของดิน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลที่ **m = ปริมาณความชื้นในภาคดิน** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นดินอิมตัว เส้นดินอิมตัวหรือเส้นช่องว่างอากาศเป็นศูนย์ ( Saturation curve or Zero air void ) ที่แสดงในรูป 2.6 เป็นเส้นทางทฤษฎีที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน และความหนาแน่นแห้งของดินมีตึกรึความอิมตัวเท่ากับร้อยเปอร์เซ็นต์โดยได้จากสมการดังนี้

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{(1 + m G_s / S)}$$

โดยที่

$\gamma_d$  = ความหนาแน่นแห้งของดิน

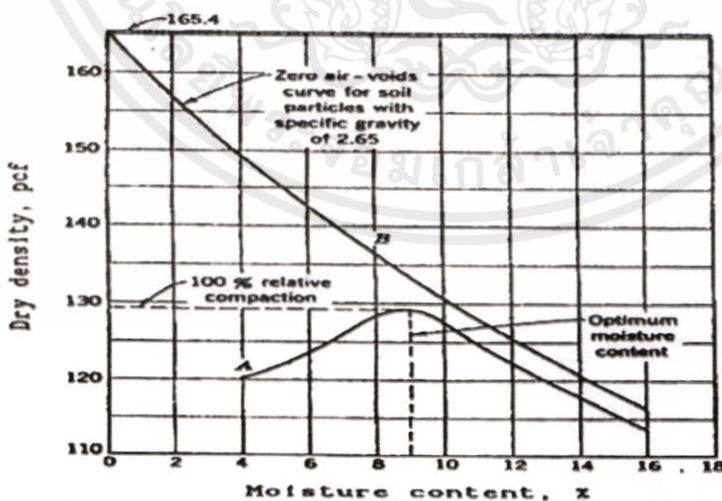
$\gamma_w$  = หน่วยน้ำหนักของน้ำ

$G_s$  = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

$m$  = ปริมาณความชื้น

$S$  = ตึกรึความอิมตัว

ในทางปฏิบัติแล้วดินที่ได้รับการบดอัดจะมีตึกรึความอิมตัวไม่ถึงร้อยเปอร์เซ็นต์เส้นอิมตัวจึงเป็นเหมือนเส้นขอบเขตของการบดอัดดินที่ไม่ว่าจะใช้พลังงานการบดอัดเท่าไร ก็จะได้เส้นกราฟในการบดอัดที่อยู่ในตำแหน่งไม่เกินเส้นนี้

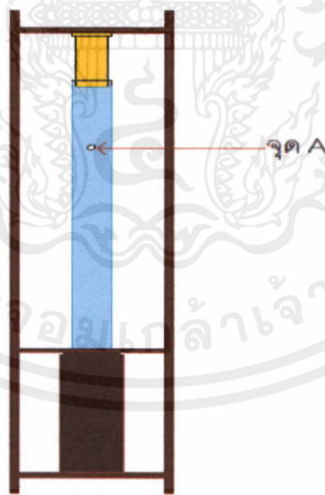


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.6 การบดอัด และความหนาแน่นแห้งที่ได้หากใช้พลังงานในการบดอัดค่าหนึ่ง

### บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

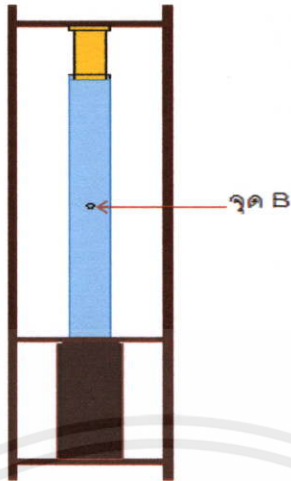
#### 3.1 การออกแบบและแบบขยายรายละเอียดแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการปรับปรุงดินด้วยวิธีน้ำหนักกดทับล่วงหน้า (pre-load) ทำให้เราทราบว่า การกระจายน้ำหนักของวัตุนั้นจะกระจายแรงลงสู่บริเวณที่ใกล้แรงมากกว่าบริเวณไกลแรงซึ่งจากหลักการนี้ทำให้นำมาออกแบบการทดลองเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอน โดยการทดลองของเราจะทำการเจาะตำแหน่งการดูดน้ำ ดังรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.6

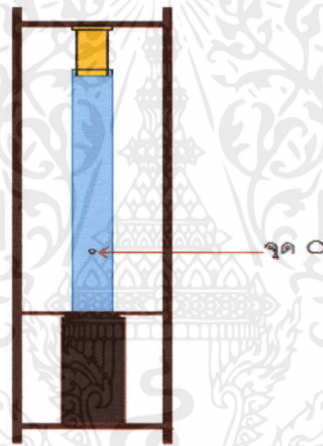


รูปที่ 3.1 ตำแหน่งการเจาะที่จุด A

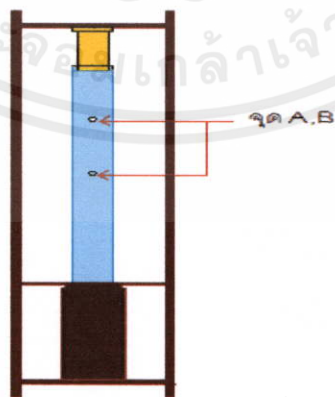
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการเจาะที่จุด B

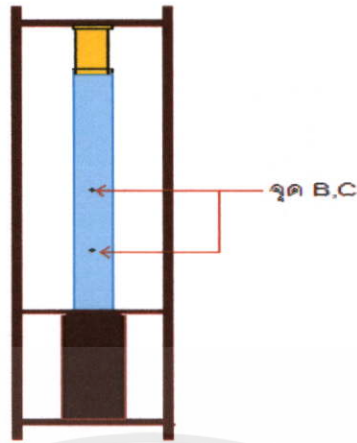


รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการเจาะที่จุด C

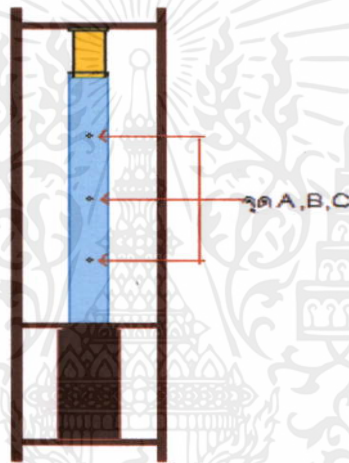


รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการเจาะที่จุด A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



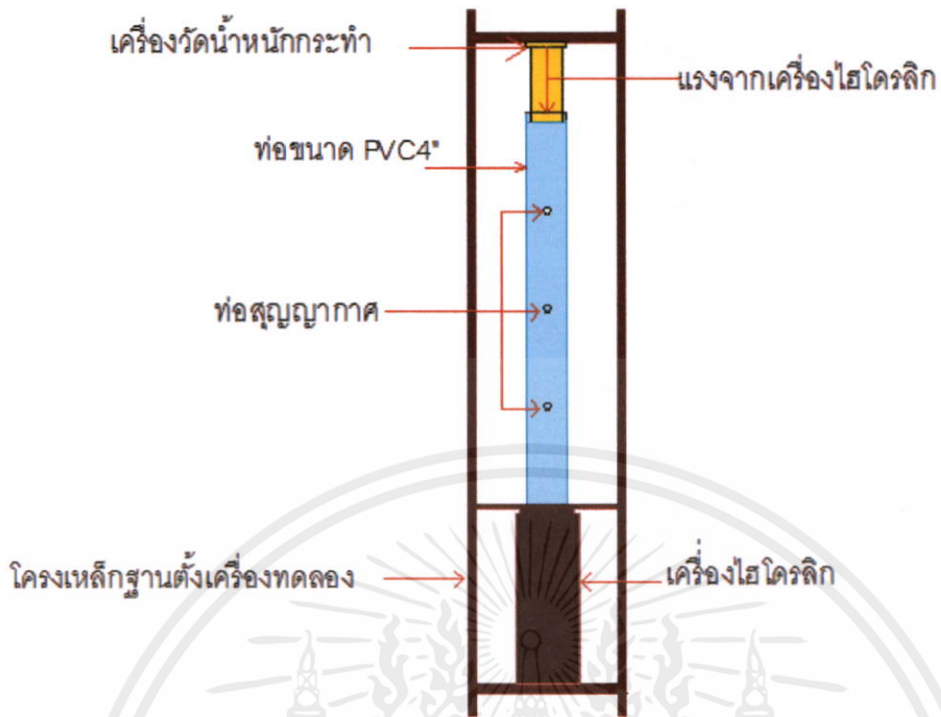
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการเจาะที่จุด B และ C



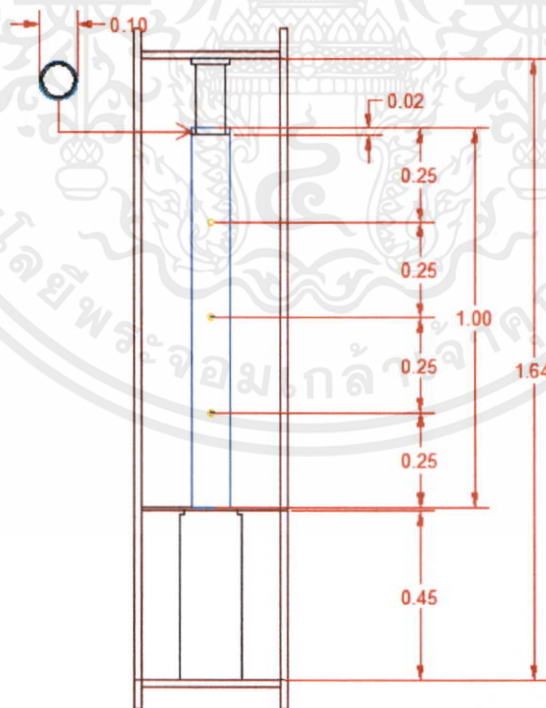
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งการเจาะที่จุด A B และ C

โดยรูปแบบของ เครื่องทดสอบการอัดตัวคายนํ้าโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนคือการให้นํ้าหนักเพื่อเร่งการคายน้ำโดยใช้ทั้งน้ำหนักกดทับและความดันสุญญากาศร่วมกันน้ำหนักกดทับจะมีทิศทางการกระทำผ่านปากท่อที่เตรียมฝาปิดมีลักษณะเป็นกระบอกสูบ โดยใช้แผ่นยางเป็นตัวอัดดินและนํ้าแผ่นเหล็กมาวางปิดเพื่อกระจายแรงสู่มวลดินให้เท่ากันทั้งผิวหน้า จากนั้นกดเครื่องไฮดรอลิกให้ดันแผ่นเหล็กด้านล่างเพื่อให้แท่งเหล็กด้านบนกดลงกระทำกับมวลดิน ส่วนความดันสุญญากาศมาจากเครื่องสูบน้ำด้วยระบบสุญญากาศ ซึ่งจะเดินเครื่องให้ในถึงลดความดันมีค่าความดันเท่ากับ 760 mmHg ซึ่งเราจะรักษาความดันนี้ไว้แล้ว เริ่มทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปแบบของเครื่องทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.8 ระยะห่างของเครื่องทดสอบ**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

#### 3.1.1 การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ดินเหนียวอ่อนจากด้านหน้าของห้องประชุมKMITL Convention Hall
2. เครื่องโม่
3. น้ำประปา
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก
5. กระบอกลดแรง
6. ตู้อบดิน
7. ถ้วยเก็บตัวอย่าง

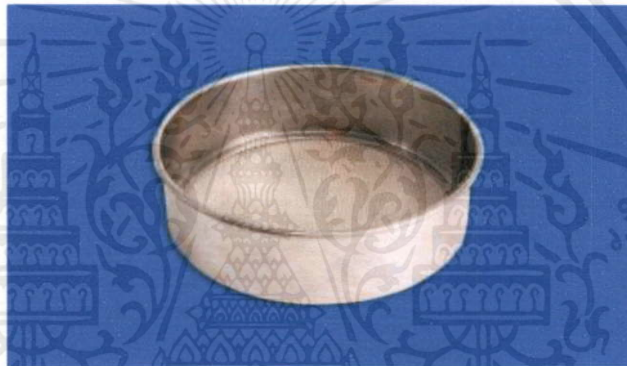


รูปที่ 3.9 เครื่องโม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.11 ถ้วยเก็บตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.12 กระบอกตวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ตู้อบดิน

### 3.1.2 วิธีการดำเนินงาน

1. ทำการหาปริมาณ water content ในดินตัวอย่างดินที่ได้จาก หน้าห้องประชุม KMITL Convention Hall เป็นการเก็บตัวอย่างแบบแปลสภาพ โดยใช้แรงงานคน เก็บตัวอย่างที่ระดับ ความลึก ที่ 1.5 – 2 เมตร
2. คำนวณหา ปริมาณน้ำที่ จะทำให้ตัวอย่างดินในการทดลอง มีปริมาณ water content เท่ากับ 140 % จาก สมการ

$$W = \frac{140 \times S_d - Z \times S_d}{100}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  $S_d = A - \frac{Z \times A}{100 + Z}$  นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

A คือ มวลดินทั้งหมดที่ต้องการใช้ หน่วย g

$S_d$  คือ มวลดินแห้งจากมวลดินที่เราต้องการใช้ หน่วย g

Z คือ เปอร์เซ็นต์ Water content จากตัวอย่าง

W คือ ปริมาณน้ำที่ต้องเติมเพิ่มไป หน่วย g

3. นำดิน มาผสมกับน้ำ แล้วจึงนำไปกวนใน เครื่องไม่จนทำให้เป็นเนื้อเดียวกันใช้ เวลาประมาณ 5 นาที

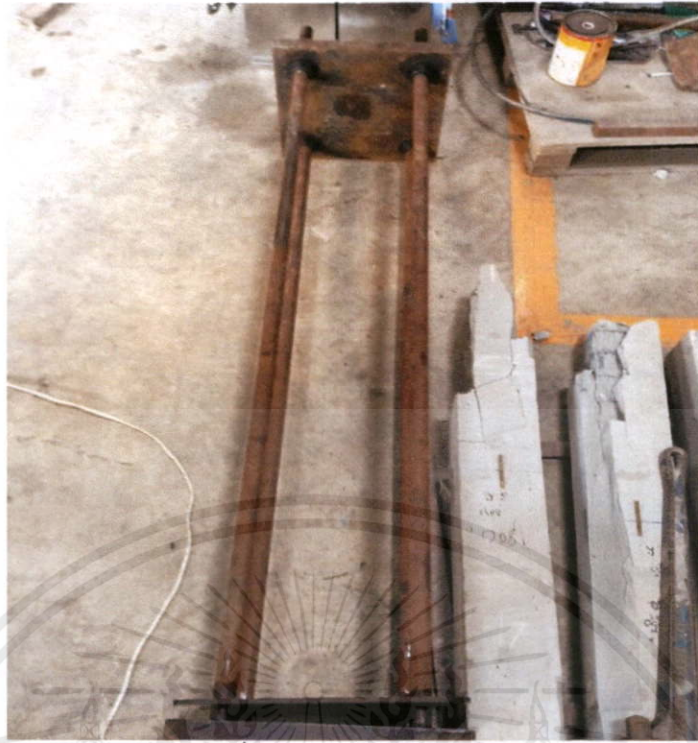
### 3.2 การเตรียมเครื่องมือและการทดสอบ

#### 3.2.1 การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โครงเหล็กสำหรับการทดลอง
2. ท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว ชนิด 13.5 ยาว 1 เมตร
3. เครื่องไฮดรอลิกแจ๊ค แบบน้ำมัน
4. เครื่องสูบน้ำด้วยระบบสุญญากาศ
5. โทลด์เซลล์ รับแรงขนาด 10 ตัน
6. แผ่นยางและแผ่นเหล็ก
7. เครื่องวัดการยุบตัว (Dial gauge)
8. เวอร์เนียคาลิเปอร์
9. เครื่อง Venshear box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

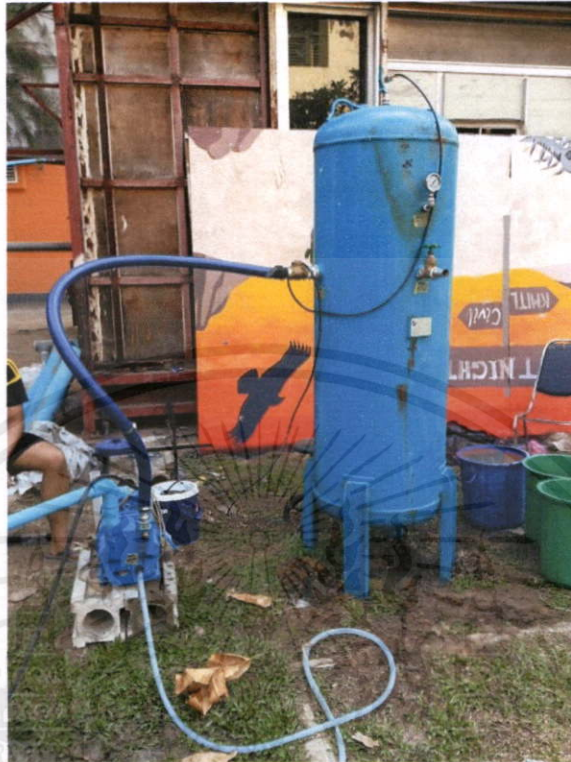


รูปที่ 3.14 โครงเหล็กสำหรับการทดลอง



รูปที่ 3.15 ท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว ชนิด 13.5 ยาว 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

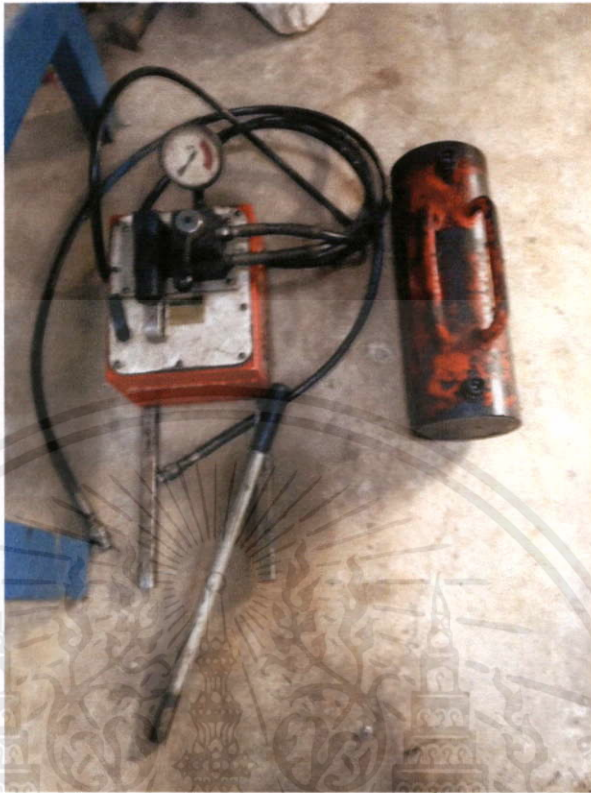


รูปที่ 3.16 เครื่องสูบน้ำด้วยระบบสูญญากาศ



รูปที่ 3.17 เครื่องโพลตเซลล์รับแรงสูงสุด 10 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 เครื่องไฮดรอลิกแจ๊คแบบน้ำมัน



รูปที่ 3.19 แผ่นยางและแผ่นเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 Venshear box



รูปที่ 3.21 เวอร์เนียคาลิปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 วิธีการดำเนินงาน

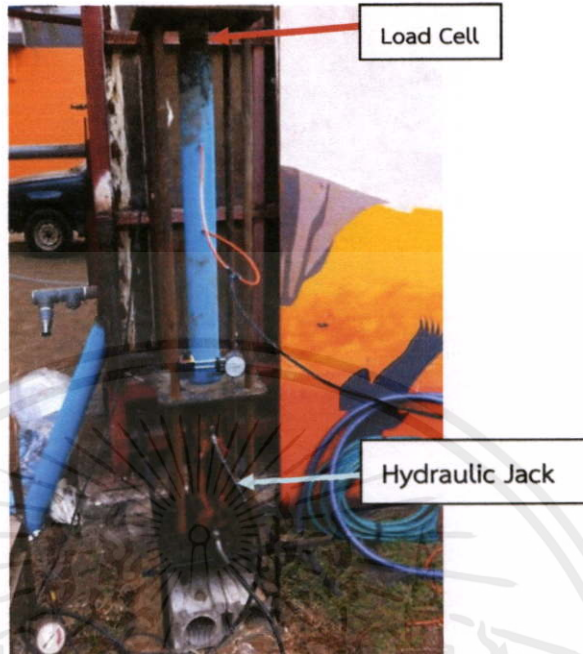
1. นำดินที่ทำการกวนเสร็จแล้วมาใส่ ในกระบอกทดลอง โดยเป็นการใส่ดินแบบอัดแน่น และให้เหลือที่ระยะจากปากท่อลงไป 2 เซนติเมตร
2. เตรียมพื้นที่ ในการวางโครงสร้างเหล็กไว้ระดับในแนวราบในแนวตั้ง และทำการเชื่อมโครงสร้างเหล็กโดยให้เกิดความสมดุล และมีความแข็งแรง



รูปที่ 3.22 การเชื่อมโครงสร้างเหล็กยึดให้เกิดความแข็งแรง

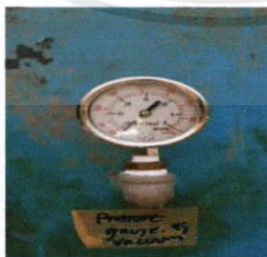
3. ติดตั้ง เครื่องไฮดรอลิกแจ๊คพร้อมวัดระดับในแนวราบในแนวตั้ง และนำกระบอกทดลองขึ้นไปวางต่อมาใช้แผ่นยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.25 เซนติเมตรหนา 1 มิลลิเมตร วางทับดินในกระบอกทดลอง 3 ชั้นและใช้แผ่นเหล็ก ขนาดเท่ากับกระบอกทดลองวางปิดลงบนแผ่นยาง จากนั้น

ติดตั้งเครื่อง Load cell ที่รับน้ำหนักได้ 10 ตันพร้อมกับปรับสมดุล ให้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
กระบอกทดลองวางอยู่ใน ฐานะโดยตรง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ติดตั้งเครื่องมือให้ครบพร้อมที่จะทำการทดลอง

4. เปิดเครื่องสูบน้ำด้วยระบบสุญญากาศ ทำให้ภายในถังมีความดันถึง 760 มิลลิเมตรปรอท
5. เดินเครื่อง ไฮดรอลิกแจ๊คจนกระทั่งด้านบนของเครื่อง Load cell สัมผัสกับแผ่นเหล็กของโครงเหล็กหลังจากนั้นติดตั้งเครื่องมือวัดการยุบ(Dial gauge) รวมทั้งปรับเข็มของสเกลเครื่องวัดการยุบตัวเป็นศูนย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.24 ความดันในถังอัดความดัน และ เครื่องวัดการยุบตัว

6. กดเครื่องไฮดรอลิกแจ๊ค ให้ Load Cell อ่านค่าได้ 8 ตัน พร้อมรักษาระดับไฮดรอลิกแจ๊ค เพื่อให้แรงในการกดเท่ากับ 8 ตันตลอดการทดลอง พร้อมกับเปิดวาล์วที่ถึงสุญญากาศและจับเวลา
7. จับเวลาในการทดลอง 15 นาที โดยอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงทุกทุก 3 นาที โดยอ่านค่า การทรุดตัวจากเครื่องวัดการยุบตัว(Dial gauge)
8. หลังจากครบ 15 นาทีปิดวาล์วที่ถึงสุญญากาศพร้อมทั้งคลายเครื่องไฮดรอลิกแจ๊ค และทำการวัดปริมาณน้ำที่ได้จากการดูด ด้วยระบบสุญญากาศ



รูปที่ 3.25 การวัดปริมาณน้ำที่ได้จากการดูดด้วยระบบสุญญากาศ

9. วัดค่าการทรุดตัว จากปากกระบอกด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์และวัดค่าความแข็งแรงของดินบริเวณผิวหน้า ด้วยเครื่อง Venshear box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

การนำเสนอผลการศึกษาค้นคว้าได้ทำการทดลองในแบบจำลองโดยแบ่งหัวข้อการศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือเพื่อศึกษาดำเน่งในการดูดน้ำออกจากดินที่เหมาะสมด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกร่วมกับการดูดด้วยระบบสุญญากาศ และ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกร่วมกับการดูดด้วยระบบสุญญากาศ

#### 4.1 ผลการศึกษาดำเน่งในการดูดน้ำออกจากดินที่เหมาะสมด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกร่วมกับการดูดด้วยระบบสุญญากาศ

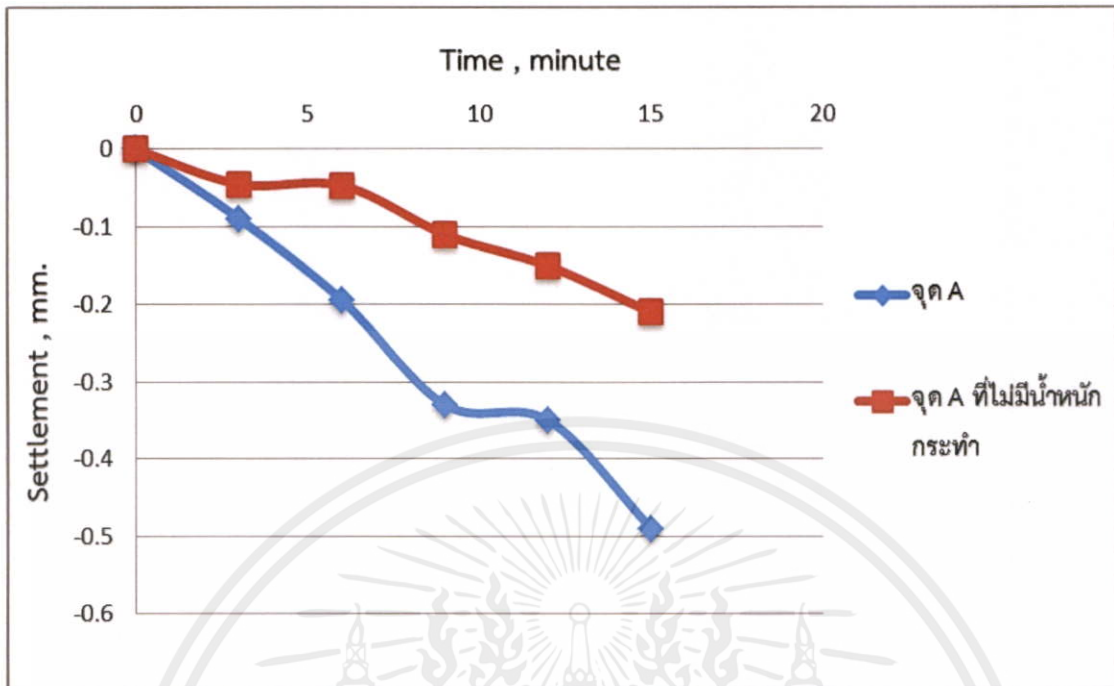
ผลการศึกษาดำเน่งในการดูดน้ำออกจากดินที่เหมาะสมด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกร่วมกับการดูดด้วยระบบสุญญากาศ ประกอบด้วย ผลการวัดระดับการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองโดยจะเปรียบเทียบระหว่างมีน้ำหนักกระทำและไม่มีน้ำหนักกระทำ ผลการวัดระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองผลการวัดปริมาณน้ำที่ได้จากการดูดด้วยระบบสุญญากาศเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลอง ผลการวัดความแข็งแรงของดิน โดยมีรายละเอียดของแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการวัดระดับการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองโดยจะเปรียบเทียบระหว่างมีน้ำหนักกระทำและไม่มีน้ำหนักกระทำ

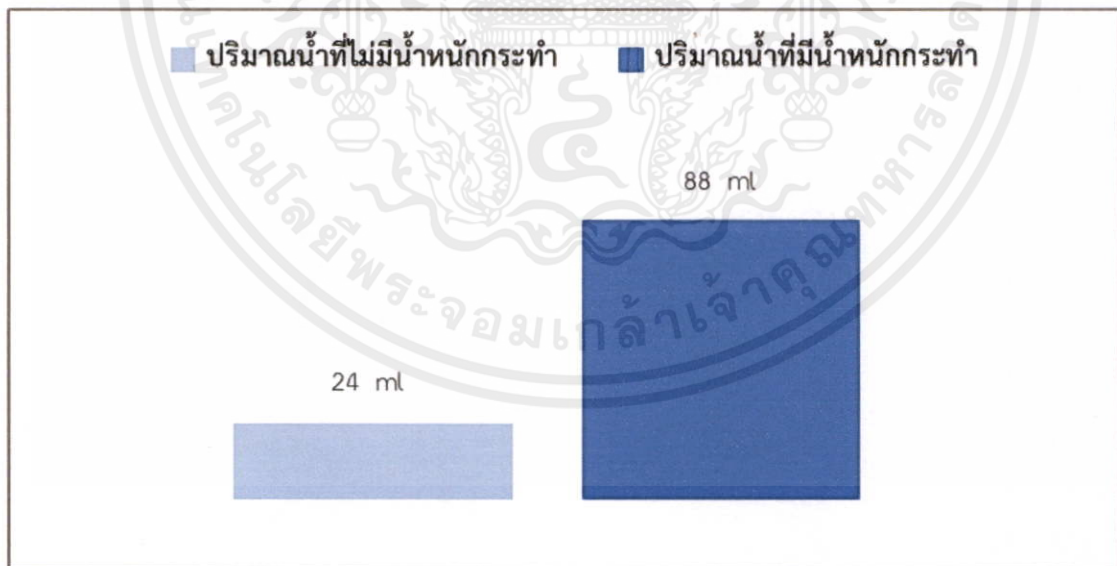
จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อน โดยเราจะแบ่งการทดสอบเป็นการทดสอบแบบมีน้ำหนักร่วมกับการดูดน้ำด้วยระบบสุญญากาศและแบบไม่มีน้ำหนักร่วมกับแต่ดูดน้ำด้วยระบบสุญญากาศเพียงอย่างเดียวแล้วมาเปรียบเทียบกันโดยจะเปรียบเทียบที่ระยะการทรุดตัวเทียบกับระยะเวลา แบบดัง

รูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการวัดระดับการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองโดยจะเปรียบเทียบระหว่างมีน้ำหนักกระทำและไม่มีน้ำหนักกระทำ



รูปที่ 4.2 เป็นปริมาณน้ำที่ได้จากการทดสอบการดูดน้ำด้วยระบบสุญญากาศมีน้ำหนักกดทับกับแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานโดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 สรุปได้ว่าทดสอบแบบมีน้ำหนักกดทับร่วมกับการดูตื้น้ำด้วยระบบสุญญากาศจะทีระยะการทรุดตัวและปริมาณน้ำทีได้จากการดูตื้น้ำมากกว่าแบบไม่มีน้ำหนักกดทับ แต่ดูตื้น้ำด้วยระบบสุญญากาศเพียงอย่างเดียนั้นแสดงให้เห็นว่าการทีเราใช้น้ำหนักกดทับร่วมกับการดูตื้น้ำด้วยระบบสุญญากาศมีอิทธิพลต่อการทรุดตัวทีกว่าและสมควรนำมาทำร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

#### 4.1.2 ผลการวัดระดับการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลอง

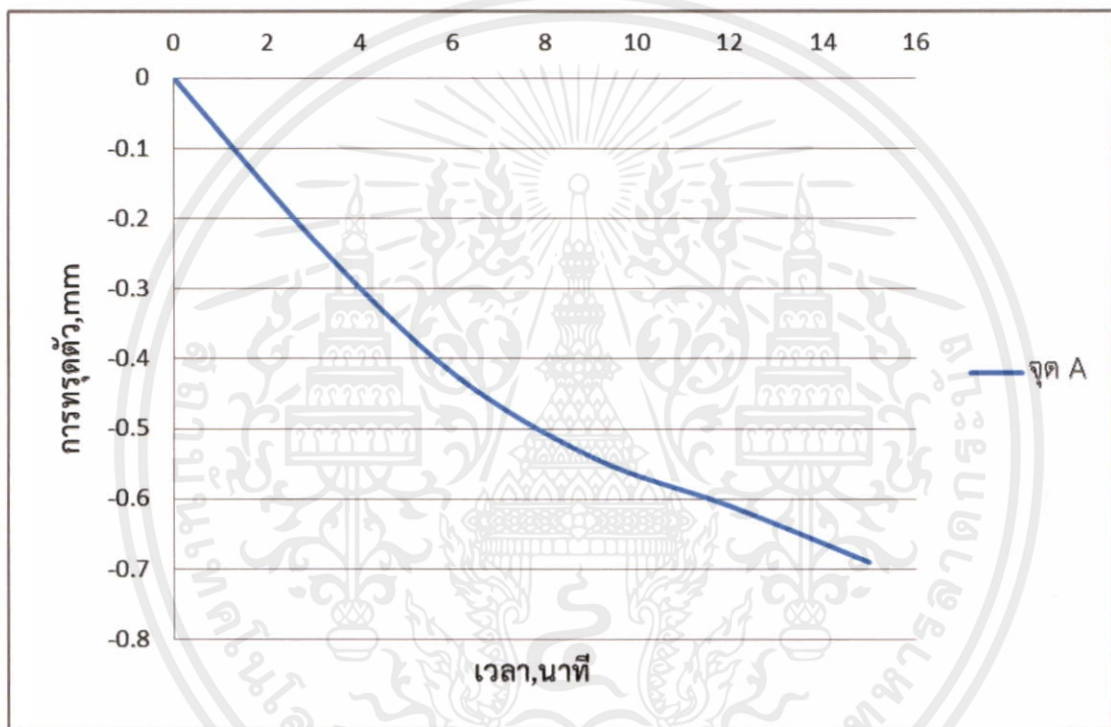
จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อนโดยให้แรงกระทำกับเครื่องทดสอบขนาด 8 kNแบ่งเป็นแบบจำลองทีมีการกำหนดจุดการไหลของน้ำทีแตกต่างกัน 6 แบบดังรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.6 พบว่าเมื่อมีการทดสอบดินเหนียวอ่อนทำให้เกิดการทรุดตัวเมื่อมีการบดอัดและดูตื้น้ำในระบบสุญญากาศไปด้วย โดยแต่ละแบบจะได้ค่าระดับการทรุดตัวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา ดังรูปที่ 4.3 ถึง รูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารทีสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ จุด A

ตารางที่ 4.1 บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะการทดลองของการทดลองที่ จุด A

|                    |   |       |       |       |       |       |
|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| เวลา,นาทึ          | 0 | 3     | 6     | 9     | 12    | 15    |
| ระดับการทรุดตัว,mm | 0 | -0.23 | -0.42 | -0.54 | -0.61 | -0.69 |



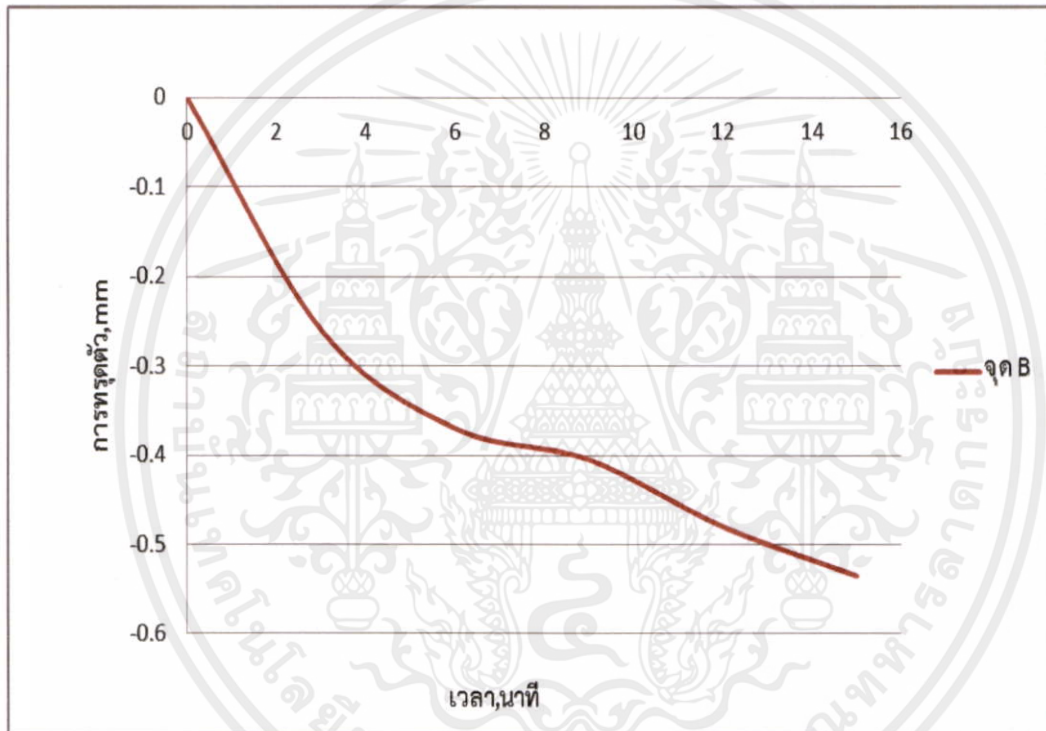
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองที่จุด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองที่ จุด B

ตารางที่ 4.2 บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะการทดลองของการทดลองที่ จุด B

| เวลา,นาที่         | 0 | 3     | 6     | 9      | 12    | 15     |
|--------------------|---|-------|-------|--------|-------|--------|
| ระดับการทรุดตัว,mm | 0 | -0.26 | -0.37 | -0.405 | -0.48 | -0.535 |



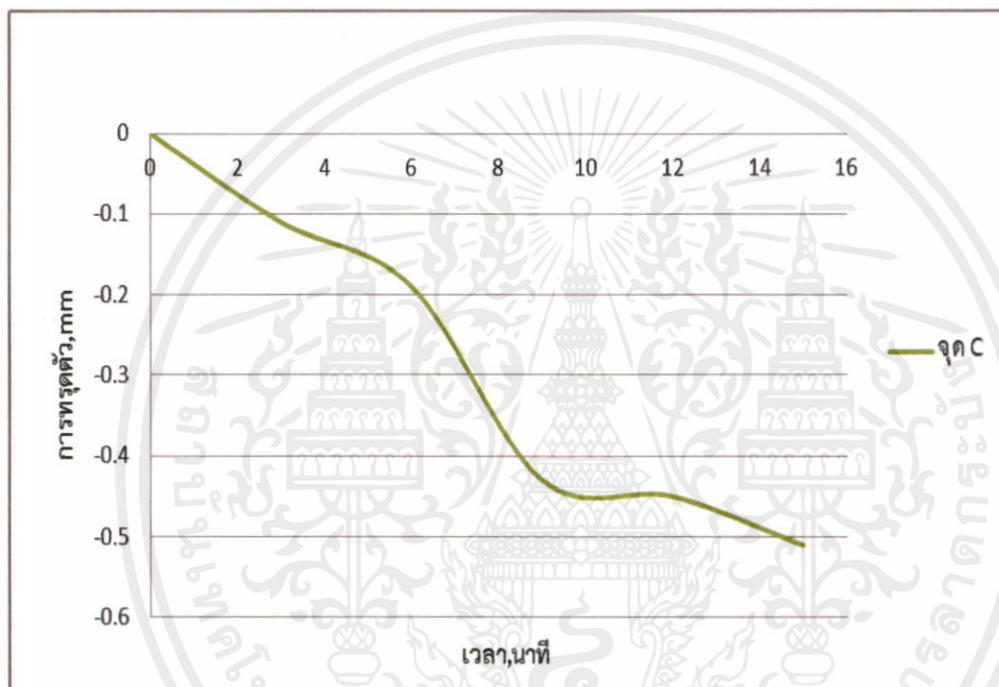
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองที่จุด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองที่จุด C

ตารางที่ 4.3 บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะการทดลองของการทดลองที่ จุด C

| เวลา,นาที่         | 0 | 3     | 6     | 9     | 12    | 15    |
|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| ระดับการทรุดตัว,mm | 0 | -0.11 | -0.19 | -0.43 | -0.45 | -0.51 |



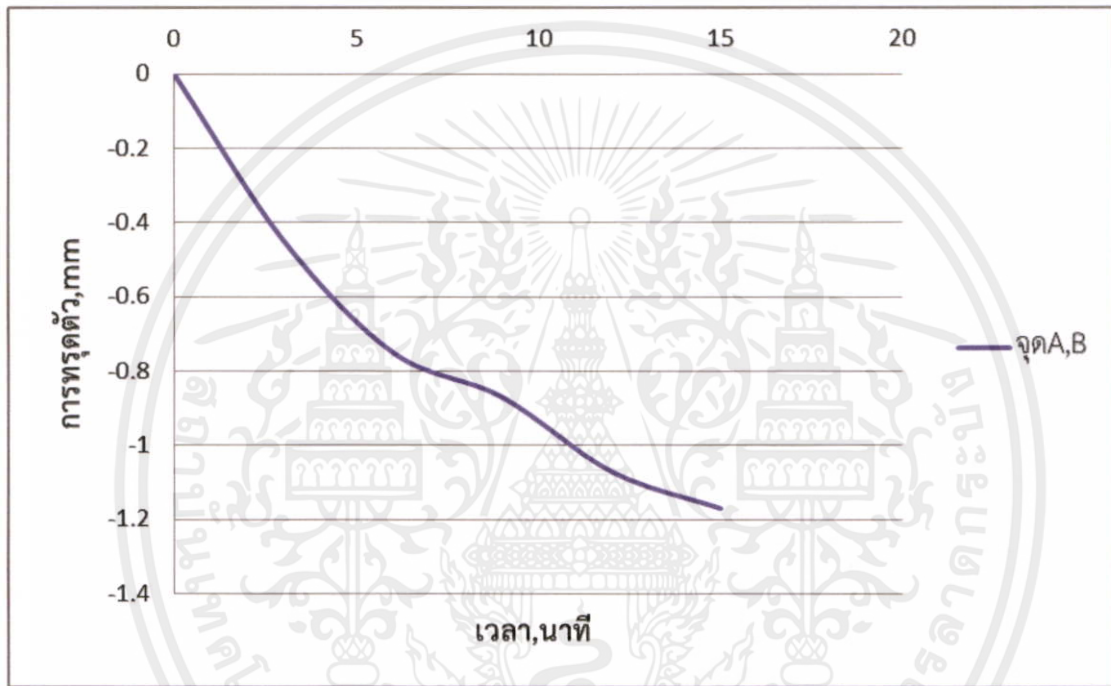
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองที่จุด C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองที่ จุด A และ B

ตารางที่ 4.4 บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะการทดลองของการทดลองที่ จุด A และ B

| เวลา,นาทื          | 0 | 3     | 6     | 9     | 12    | 15    |
|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| ระดับการทรุดตัว,mm | 0 | -0.11 | -0.19 | -0.43 | -0.45 | -0.51 |



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองที่

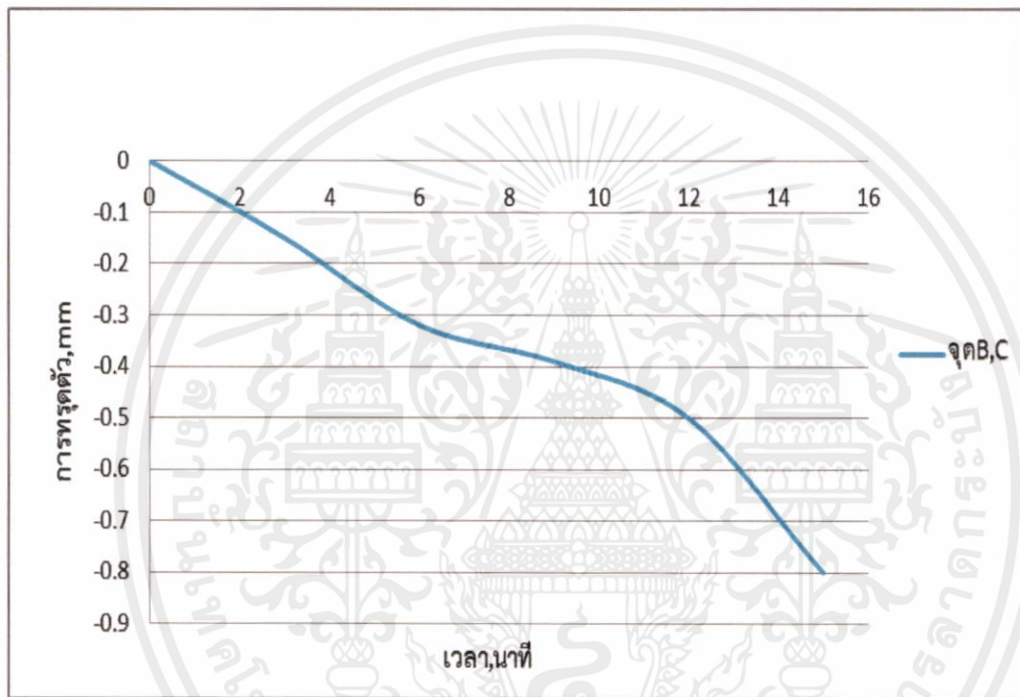
จุด A และ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ จุด B และ C

ตารางที่ 4.5 บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะการทดลองของการทดลองที่ จุด B และ C

| เวลา,นาทื          | 0 | 3     | 6     | 9     | 12    | 15   |
|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|------|
| ระดับการทรุดตัว,mm | 0 | -0.15 | -0.32 | -0.39 | -0.65 | -0.8 |



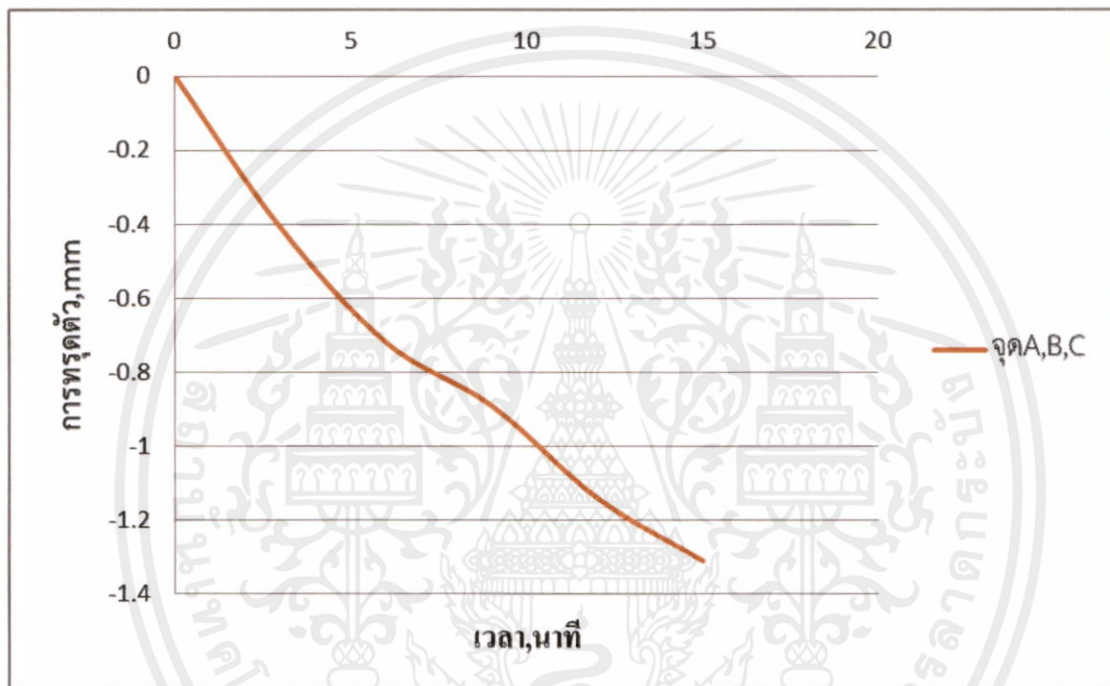
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองที่ จุด B และ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ จุด A,B และ C

ตารางที่ 4.6 บันทึกข้อมูลระยะเวลาและระยะการทดลองของการทดลองที่ จุด A,B และC

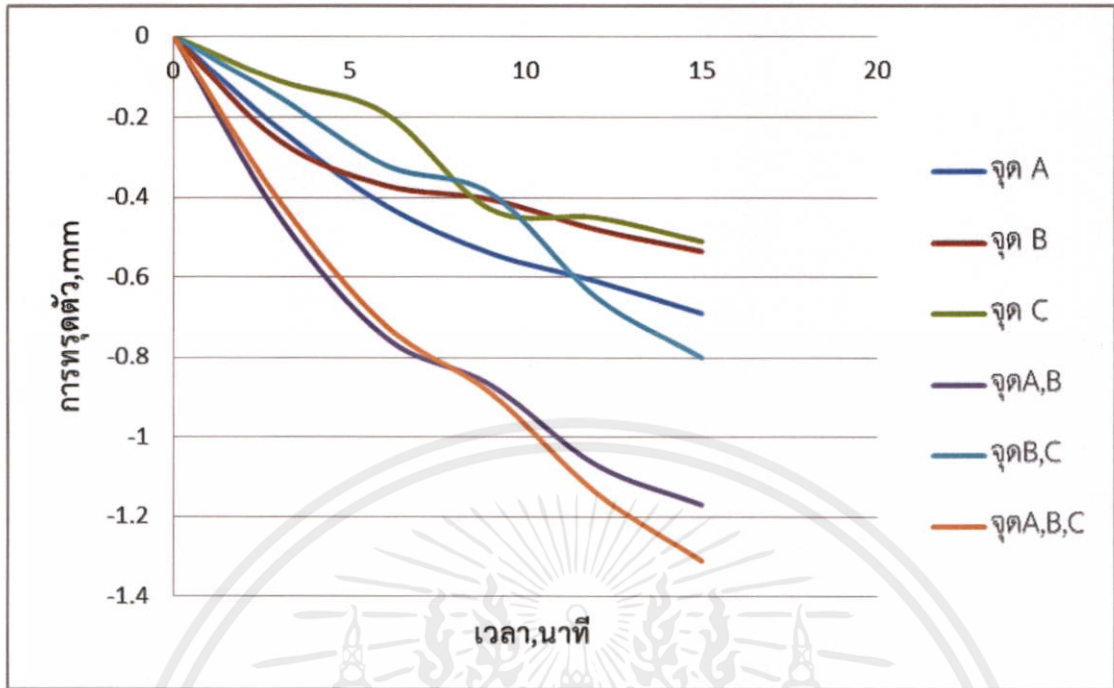
|                    |   |       |       |       |       |      |
|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|------|
| เวลา,นาทึ          | 0 | 3     | 6     | 9     | 12    | 15   |
| ระดับการทรุดตัว,mm | 0 | -0.15 | -0.32 | -0.39 | -0.65 | -0.8 |



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองที่จุด AB C

จากการทดสอบแบบจำลองที่มีการกำหนดจุดการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน 6 แบบดังรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.8 เราสามารถนำกราฟที่ได้จากแบบต่างๆมาเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงระดับการทรุดตัวของดินเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลองของแต่ละแบบการทดลองมาเปรียบเทียบกัน

จากรูปที่ 4.9 สรุปได้ว่าเมื่อมีจุดน้ำด้วยระบบสุญญากาศตามแบบ A,B และ C และรองลงมาคือแบบ A และ C จะทำให้เกิดการทรุดตัวที่มากอาจเกิดมาได้จากกรณีที่แรงกระทำมีผลต่อบริเวณใกล้แรงกระทำและอาจเกิดขึ้นจากการดูดน้ำที่ได้ปริมาณที่มาก

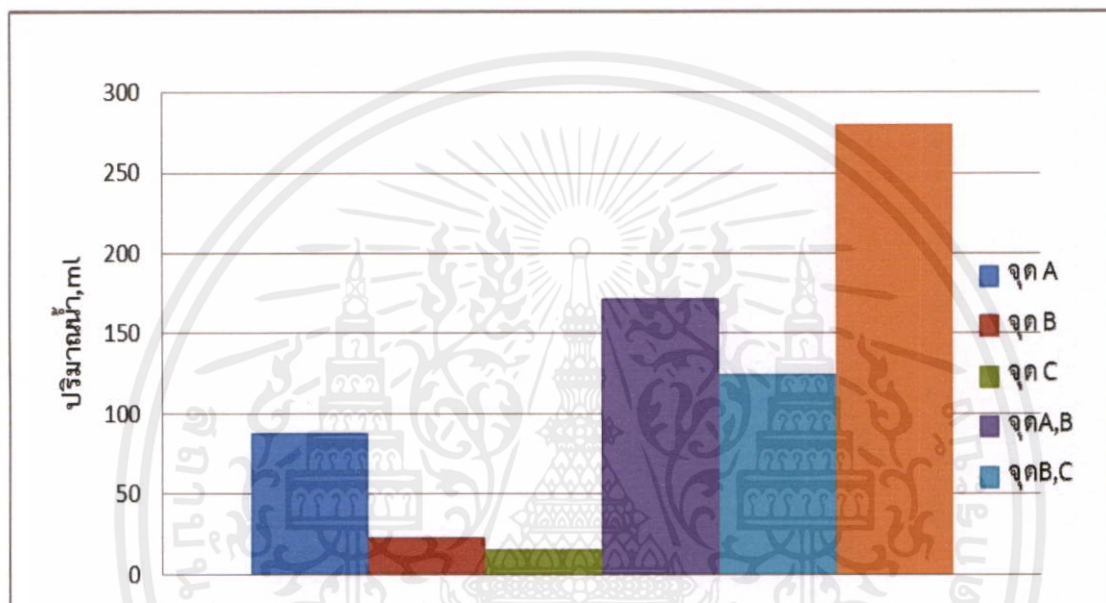
#### 4.1.3 ผลการวัดปริมาณน้ำที่ได้จากการดูดด้วยระบบสุญญากาศเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทดลอง

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อนโดยให้แรงกระทำกับเครื่องทดสอบขนาด 8 kN แบ่งเป็นแบบจำลองที่มีการกำหนดจุดการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน 6 แบบดังรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.6 และมีการดูดน้ำที่ความดันบรรยากาศพบว่าเมื่อมีปริมาณน้ำที่ได้จากการบดอัดและดูดน้ำในระบบสุญญากาศไปด้วย โดยแต่ละแบบจะได้ค่าปริมาณน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา ดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 บันทึกข้อมูลระยะเวลาและปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองที่ทุกตำแหน่ง

|                                   |    |    |    |     |     |       |
|-----------------------------------|----|----|----|-----|-----|-------|
| จุดที่ทำการดูน้ำ                  | A  | B  | C  | A,B | B,C | A,B,C |
| ปริมาณน้ำที่ได้ในเวลา 15 นาที ,ml | 88 | 23 | 16 | 172 | 125 | 280   |



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงปริมาณน้ำที่ได้จากการดูด้วยระบบสุญญากาศของแต่ละแบบการทดลองมาเปรียบเทียบกัน

จากรูปที่ 4.10 สรุปได้ว่าเมื่อมีดูน้ำด้วยระบบสุญญากาศตามแบบ A,B และ C และรองลงมาคือแบบ A และ C จะมีปริมาณน้ำในปริมาณที่มากซึ่งนั้นสอดคล้องกับการหลุดตัวที่มากด้วยซึ่งสามารถสรุปได้ว่าถ้ามีปริมาณน้ำที่หายไปมากก็จะทำให้ดินมีการขยับช่องว่างและเกิดการหลุดตัวที่มากเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ ด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกร่วมกับการดัดด้วยระบบสุญญากาศ

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกร่วมกับการดัดด้วยระบบสุญญากาศ ประกอบด้วยผลการวัดปริมาณค่าแรงเฉือนของดินเหนียวเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดิน ผลการวัดค่าความต่างของการทรุดตัวบริเวณปากกระบอกทดลองเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดินโดยมีรายละเอียดของแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

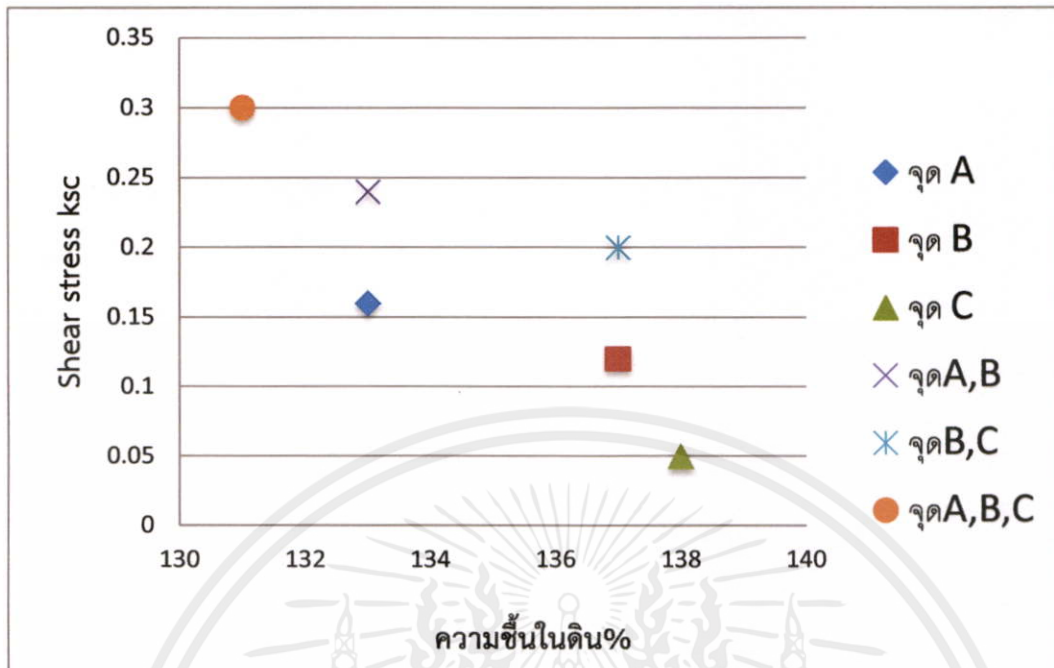
### 4.2.1 ผลการวัดปริมาณค่าแรงเฉือนของดินเหนียวเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดิน

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อน โดยจากการทดลองทำให้เราทราบค่าแรงเฉือนของดินเหนียวเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดินในแบบทดลองต่างๆดังรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.8 บันทึกข้อมูลปริมาณค่าแรงเฉือนของดินเหนียวเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดินที่ได้จากการทดลองที่ทุกตำแหน่ง

| จุดที่ทำการดัดน้ำ       | A     | B     | C     | A,B   | B,C   | A,B,C |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ปริมาณน้ำในดิน,%        | 133.5 | 137.4 | 138.3 | 133.4 | 137.3 | 131.4 |
| แรงเฉือนที่เกิดขึ้น,ksc | 0.16  | 0.12  | 0.05  | 0.24  | 0.2   | 0.3   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป

ที่ 4.11 กราฟแสดงปริมาณค่าแรงเฉือนของดินเหนียวเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดินที่ได้จากการทดลองที่ทุกตำแหน่ง

จากรูปที่ 4.11สรุปได้ว่าเมื่อทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อน เราสามารถวิเคราะห์ตามแผนภูมิได้ว่าเมื่อมีปริมาณน้ำที่ได้จากการดูดด้วยระบบสุญญากาศแปรผันตรงกับค่าแรงเฉือนที่ได้จากการวัดที่ผิวดิน

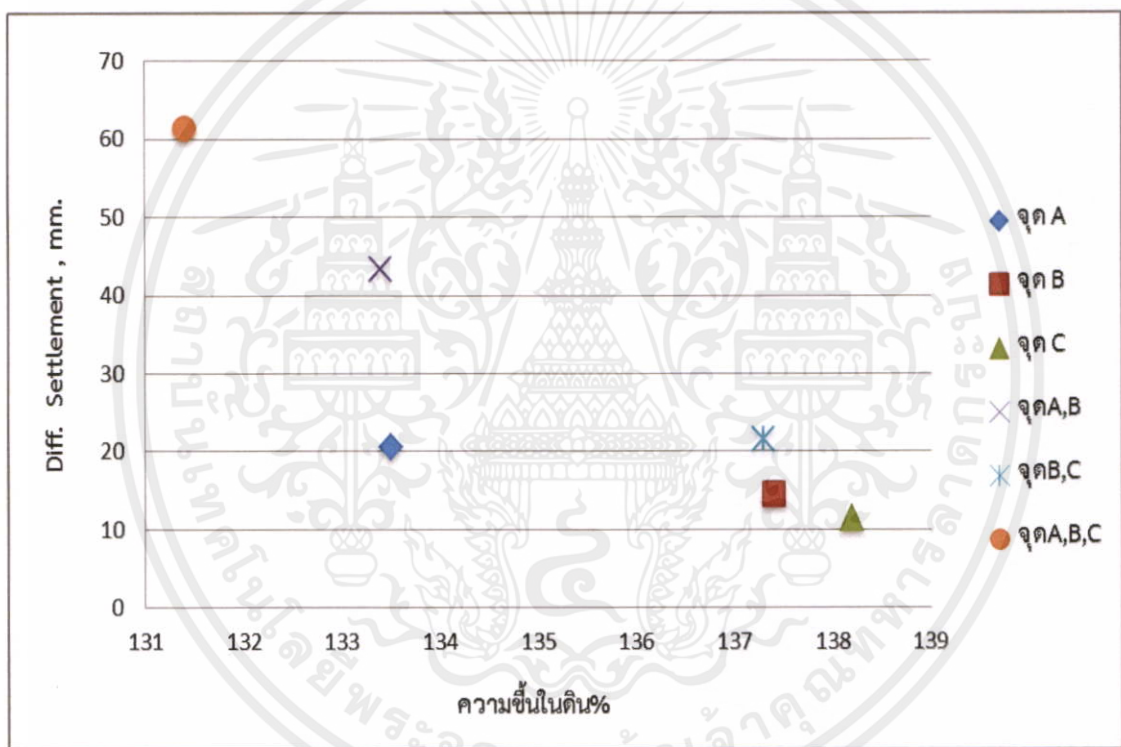
4.2.2 ผลการวัดค่าความต่างของการทรุดตัวบริเวณปากกระบอกทดลองเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดิน

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อน โดยจากการทดลองทำให้เราทราบค่าความต่างของการทรุดตัวบริเวณปากกระบอกทดลองเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดิน ดังรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 บันทึกข้อมูลค่าความต่างของการทรุดตัวบริเวณปากกระบอกทดลองเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดิน

| จุดที่ทำการดูหน้า   | A     | B     | C     | A,B   | B,C   | A,B,C |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ปริมาณน้ำในดิน,%    | 133.5 | 137.4 | 138.3 | 133.4 | 137.3 | 131.4 |
| Diff.Settlement,mm. | 20.5  | 14.5  | 11.4  | 43.3  | 21.5  | 61.4  |



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความต่างของการทรุดตัวบริเวณปากกระบอกทดลองเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในดิน

จากรูปที่ 4.12สรุปได้ว่าเมื่อทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อน เราสามารถวิเคราะห์ตามแผนภูมิได้ว่าเมื่อมีปริมาณน้ำที่ได้จากการดูด้วยระบบสุญญากาศแปรผันตรงกับค่าระยะการทรุดตัวที่แตกต่างกันได้จากการวัดที่ปากกระบอกการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 วิเคราะห์ผล

จากการวิเคราะห์ผลตำแหน่งในการดูดน้ำออกจากดินด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อนที่ตำแหน่งต่างๆตามแบบ รวมถึงผลการศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน ค่าปริมาณน้ำที่ได้จากการดูดด้วยระบบสุญญากาศ และค่าความแข็งแรงของดินที่ได้จากการทำการศึกษาค้นคว้าและมีข้อวิจารณ์ถึงผลที่ได้วิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

4.3.1 การวิเคราะห์การหาตำแหน่งในการดูดน้ำออกจากดินที่เหมาะสมด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิกร่วมกับการดูดด้วยระบบสุญญากาศ

ผลการวิเคราะห์หาตำแหน่งการดูดน้ำด้วยระบบสุญญากาศในทุกๆแบบพบว่าที่ตำแหน่ง A,B และ C นั้นมีการทรุดตัวที่มากที่สุดซึ่งแสดงว่าที่ตำแหน่ง A,B และ C มีความเหมาะสมที่สุดในการดูดน้ำและรองลงมาก็คือ ตำแหน่ง A และ B แต่ถ้าเป็นที่การเจาะที่ตำแหน่งเดียวนั้น ตำแหน่ง A เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้แรงกระทำมากที่สุด

4.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิกร่วมกับการดูดด้วยระบบสุญญากาศ

ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าปริมาณน้ำกับค่าความแข็งแรงของดินนั้นเราพบว่าปริมาณน้ำที่ได้จากการดูดด้วยระบบสุญญากาศนั้นจะมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่ง A,B และ C และรองลงมาคือ ตำแหน่ง A และ B ,B และ C,A,B,C ตามลำดับเช่นเดียวกับค่าของความแข็งแรงของดินจะมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่ง A,B และ C และรองลงมาคือ ตำแหน่ง AและB ,BและC,A,B,C ตามลำดับเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1สรุป

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาหาผลตำแหน่งในการดูดน้ำออกจากดินด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อน กับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯด้วยวิธีการบดอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิกร่วมกับการดูดด้วยระบบสุญญากาศ โดยสามารถสรุปประเด็นที่สำคัญที่ได้จากการศึกษาดังนี้

- 1) จากผลการทดลองทำให้เราสามารถสรุปได้ว่าตำแหน่งที่มีความเหมาะสมที่สุดในการดูดน้ำคือตำแหน่ง A เพราะสามารถดูดน้ำได้มากที่สุดและมีระยะเวลาทรุดตัวที่มากที่สุดด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่ง B และ ตำแหน่ง C แต่ถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการทรุดตัวมากขึ้นอาจมีการดูดน้ำที่ตำแหน่ง A และ B หรือ ถ้าต้องการให้มีการดูดน้ำที่ดีที่สุดคือตำแหน่ง A,BและC
- 2) จากผลการทดลองทำให้เราสามารถสรุปได้ว่าค่าความแข็งแรงของดินจะมีค่าแปรผันตรงกับค่าปริมาณน้ำที่ได้จากการทดลองโดยทั้งสองค่านี้จะได้ ดังรูปที่ 4.11

#### 5.2ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษาในการทดลองนี้ เป็นการทำเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยวิธีสุญญากาศตามแนวนอนในดินเหนียวอ่อน ซึ่งขนาดของแบบทดสอบมีขนาดเล็กคือประมาณ4นิ้ว ซึ่งอาจส่งผลให้แบบจำลองนั้นไม่ได้ผลดีเท่าที่ควรซึ่งถ้ามีโอกาสนำโครงการไปพัฒนาอาจเพิ่มขนาดของแบบจำลองให้สมจริงยิ่งขึ้น และการทำในแบบจำลองของเรานั้นทำในทิศทางแนวนอนซึ่งถ้าจะนำไปปรับใช้ในแนวตั้งก็ต้องคำนึงถึงปัจจัยในส่วนๆอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อ้างอิง

1. มณเฑียร กังศศิเทียม.กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม.พิมพ์ครั้งที่10 .กรุงเทพฯ : บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน) , 2547
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ ศรีนิล , รองผู้ช่วยศาสตราจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร และอาจารย์ชลธิ เร่บ้านเกาะ.คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์.พิมพ์ครั้งที่ 3.กรุงเทพฯ : มิน เซอร์วิส ซัพพลาย , 2555
3. Robert Y.Liang Distinguished Professor, Department of Civil Engineering, University of Akron, Akron,
4. B. Indraratna, C. Rujikiatkamjorn, X. Geng, R. Kelly, G. McIntosh, and H. Buys. 2010. Performance monitoring of vacuum preloading for stabilizing soft foundations for transportation and port infrastructure, *Proc. Indian Geotechnical conference-2010*, GEOTrendz, Vol. III, Invited Paper, IIT Bombay, India, 27-37.
5. W. Kjellman. 1952. Consolidation of Clay Soil by Means of Atmosphere pressure, *Proc. Conf. on Soil Stabilization*, MIT, Cambridge, 258-263.
6. ผศ.ดร. สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ การพัฒนาฐานข้อมูลดินทางวิศวกรรมเพื่อ สนับสนุนการพัฒนาและบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานกรณีศึกษาพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานการ  
[http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Paper/Paper\\_Other/Soralump/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%92%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%90%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%B9%E0%B8%A5%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%A8%E0%B8%A7%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%AF\\_Yotasarn.pdf](http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Paper/Paper_Other/Soralump/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%92%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%90%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%B9%E0%B8%A5%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%A8%E0%B8%A7%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%AF_Yotasarn.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

### หนังสือ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ ศรีนิล , รองผู้ช่วยศาสตราจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร และอาจารย์ชลธิ เร่บ้านเกาะ.คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์.พิมพ์ครั้งที่ 3.กรุงเทพฯ : มิน เซอร์วิส ซัพพลาย , 2555
2. มณเฑียร กังคศิเทียม.กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม.พิมพ์ครั้งที่10 .กรุงเทพฯ : บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน) , 2547
3. ผศ.ดร.สันชัย อินทพิชัย , ผศ.ดร. พานิชวุฒิพฤกษ์ , ปฐพีกลศาสตร์
4. กำธร เชิดจิระพงษ์. 2529. แผนภูมิชั้นดินกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
5. กวีวงศ์ คุสุวรรณ. 2530. การประเมินค่าทางสถิติของสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ

### Text book

1. ASTM. 1997 . Soil , Annual Book of ASTM Standard.

### วารสาร

- 1 .ศุนยวิจับและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ตารางที่ ผก1. ตารางสรุปลักษณะขั้นดินก่อนการทดสอบ

ตารางที่ ผก2. ตารางสรุปผลการทดสอบดินก่อนการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ความลึก, เมตร | ชนิดของดิน  | ค่า SPT N Value,<br>ครั้ง/ฟุต |
|---------------|---|-------------------------------|
| 0.00 - 0.40   | ดินแข็งปนหิน, กรวด                                  | 5                             |
| 0.40 - 2.00   | ดินเหนียว, ตะกอน, ทรายละเอียดสีน้ำตาล               | 3                             |
| 2.00 - 10.00  | ดินเหนียวอ่อนมาก สีเทา                              | -                             |
| 10.00 - 14.60 | ตะกอน มีความเหนียว สีเทา                            | 1 - 7                         |
| 14.60 - 18.05 | ดินเหนียวปนตะกอน ปนทรายละเอียด สีน้ำตาลปน<br>เหลือง | 7 - 41                        |
| 18.05 - 20.45 | ตะกอนปนทรายละเอียดมีความเหนียวสีน้ำตาล              | 41 - 46                       |

ตารางที่ ผก.1. ตารางสรุปลักษณะชั้นดินก่อนการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| SUMMARY OF TEST RESULTS |           |       |                   |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     |                    |
|-------------------------|-----------|-------|-------------------|----------------------|--------|--------|-------------------------------------|-----------------------|-------|--------|--------|---------|----------------|-------------------------------------|--------------------|
| PROJECT :               |           |       | HVDM              |                      |        |        | LOCATION :                          |                       |       |        |        |         |                |                                     |                    |
| DATE                    |           |       | BORING NO. BH-1   |                      |        |        | OBSERVED WL. -8.00 m.               |                       |       |        |        |         |                |                                     |                    |
| SAMPLE No.              | DEPTH (m) |       | WATER CONTENT (%) | ATTERBERG LIMITS (%) |        |        | WET UNIT WEIGHT (t/m <sup>3</sup> ) | SIEVE ANALYSIS %FINER |       |        |        |         | CLASSIFICATION | UNCONFINED SHEAR STRENGTH (t/sq.m.) | SPT (N) (blows/ft) |
|                         | FROM      | TO    |                   | LL                   | PL     | PI     |                                     | NO. 3/8"              | NO. 4 | NO. 10 | NO. 40 | NO. 200 |                |                                     |                    |
| SS-01                   | 0.00      | 1.00  | 23.51             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 5                  |
| SS-02                   | 1.00      | 2.00  | 51.53             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 3                  |
| ST-03                   | 2.00      | 3.00  | 113.16            | 53.473               | 32.537 | 20.936 | 1.469                               |                       |       |        |        |         | MH-OH          |                                     | -                  |
| ST-04                   | 3.00      | 4.00  | 111.50            | 67.964               | 23.012 | 44.952 |                                     |                       |       |        |        |         | CH-OH          |                                     | -                  |
| ST-05                   | 4.00      | 5.00  | 114.25            | 59.295               | 34.533 | 24.762 | 1.458                               |                       |       |        |        |         | MH-OH          |                                     | -                  |
| ST-06                   | 5.00      | 6.00  |                   | 63.778               | 40.954 | 22.824 |                                     |                       |       |        |        |         | MH-OH          |                                     | -                  |
| ST-07                   | 6.00      | 7.00  | 118.44            | 55.903               | 39.060 | 16.843 | 1.444                               |                       |       |        |        |         | MH-OH          |                                     | -                  |
| ST-08                   | 7.00      | 8.00  | 107.01            | 53.184               | 29.308 | 23.876 |                                     |                       |       |        |        |         | MH-OH          |                                     | -                  |
| ST-09                   | 8.00      | 9.00  |                   | 50.885               | 31.946 | 18.939 | 1.564                               |                       |       |        |        |         | MH-OH          |                                     | -                  |
| ST-10                   | 9.00      | 10.00 | 71.04             | 58.588               | 23.466 | 35.122 |                                     |                       |       |        |        |         | CH-OH          |                                     | -                  |
| SS-11                   | 10.00     | 11.00 | 100.84            |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 1                  |
| SS-12                   | 11.00     | 12.00 | 75.75             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 2                  |
| SS-13                   | 12.00     | 13.00 | 73.93             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 4                  |
| SS-14                   | 13.00     | 14.00 | 68.83             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 5                  |
| SS-15                   | 14.00     | 15.00 | 63.20             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 7                  |
| SS-16                   | 15.00     | 16.00 | 33.47             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 18                 |
| SS-17                   | 16.00     | 17.00 | 27.41             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 32                 |
| SS-18                   | 17.00     | 18.00 | 21.22             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 37                 |
| SS-19                   | 18.00     | 19.00 | 20.43             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 41                 |
| SS-20                   | 19.00     | 20.00 | 19.94             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 43                 |
| SS-21                   | 20.00     | 21.00 | 17.42             |                      |        |        |                                     |                       |       |        |        |         |                |                                     | 46                 |

ตารางที่ ผก2.ตารางสรุปผลการทดสอบดินก่อนการทดสอบ

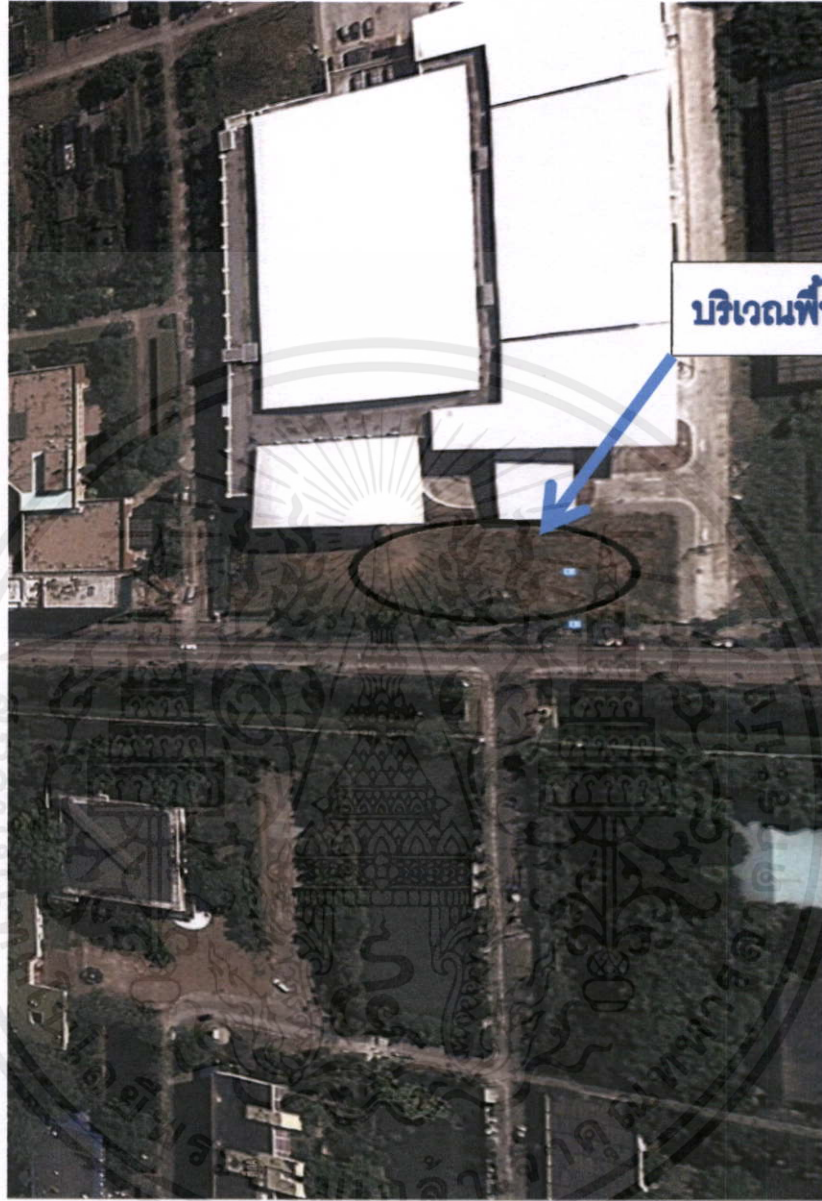
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

รูปที่ ผข1. บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข.1. บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

