

## การพัฒนาระบบทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบอัตโนมัติ Development of Automatic Consolidation Testing System

ทรงกรต โรจนโมลิก<sup>1</sup> และ สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

E-mail: <sup>1</sup>songkrot@soiltest.co.th, <sup>2</sup>fengsus@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวมีความจำเป็นอย่างสูงเพื่อหาค่าตัวแปรสำหรับประเมินค่าการทรุดตัวของดินเหนียว อย่างไรก็ตามการทดสอบแบบดั้งเดิมใช้เวลาและใช้แรงงานคนเพื่อเพิ่มแรงกระทำแต่ละช่วงของการทดสอบ บทความนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องมือสำหรับลดระยะเวลาในการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ เครื่องมือนี้นำความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และระบบควบคุมมาใช้ สามารถวัดการยุบอัดตัวของดินโดยใช้อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนระยะแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Displacement Transducer) เปลี่ยนน้ำหนักแต่ละช่วงโดยใช้อุปกรณ์ปรับแรงดันลมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electro-Pneumatic Regulator) ใช้โปรแกรม LabVIEW บันทึกค่าการยุบอัดตัวและควบคุมการจ่ายไฟแบบอัตโนมัติ ซึ่งการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแต่ละช่วงน้ำหนักเมื่อการยุบตัวถึงระดับ 100% primary consolidation โปรแกรมจะไปสั่งงานแหล่งจ่ายไฟให้จ่ายไฟไปยังอุปกรณ์ปรับแรงดันลมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ โดยแรงดันไฟที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ปรับแรงดันลมด้วยอิเล็กทรอนิกส์มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับแรงดันที่ทดสอบดิน ทำให้สามารถควบคุมกระบวนการการให้แรงดันกับดินแต่ละช่วงได้ จึงสามารถลดเวลาทดสอบลงได้อย่างมากและลดความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่า

**คำสำคัญ:** การอัดตัวคายน้ำ, การยุบอัดตัว, อัดโนมมิ

### Abstract

Consolidation test is one of the vital experimental works for obtaining parameters to calculate settlement of structures on soft clay. However, the conventional test is time consuming which takes at least 7 days and manual record. This paper describes the development of automatic consolidometer system. Electronic and control system is used for development. Axial deformation is measured by displacement transducer. Step load increment is applied by Electro-Pneumatic Regulator and measured by load cell. LabVIEW is used for data recorder and voltage control. Increment of loading is control by LabVIEW. Data Logger supplied the Voltage after 100% primary consolidation. The output pressure is proportional to the input Voltage. Under this relationship, it can significantly reduce test time and minimize the error of the readings.

**Keywords:** consolidation, settlement, LabVIEW, electronic regulator, oedometer

### 1. คำนำ

การทดสอบเพื่อหาค่าการอัดตัวคายน้ำจากอดีตมาจนถึงปัจจุบันสามารถทดสอบได้หลายวิธีด้วยกันเช่น การทดสอบแบบดั้งเดิม (Conventional Oedometer Test), การทดสอบ Rowe Cell และการทดสอบ CRS (Constant Rate of Strain) แต่วิธีการที่ยังคงเป็นที่นิยมและเป็นที่ยอมรับกันคือ การทดสอบแบบดั้งเดิม เนื่องจากวิธีการทดสอบทำได้ง่าย วิธีการวิเคราะห์ไม่ยุ่งยากและเครื่องมือราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น อีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับทั่วโลก วิธีการทดสอบสามารถปฏิบัติได้สองลักษณะด้วยกันคือวิธีการเปลี่ยนน้ำหนักกดทับครั้งต่อไปเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงและวิธีการเปลี่ยนน้ำหนักกดทับเมื่อการทรุดตัวคายน้ำขั้นแรกเสร็จสิ้นลง ซึ่งแต่ละตัวอย่างที่นำมาทดสอบต้องใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์และต้องใช้อุปกรณ์ในการเพิ่มน้ำหนักและจดบันทึกค่าในแต่ละช่วง

บทความนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยในการเพิ่มน้ำหนักกดทับและบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติเพื่อลดการใช้แรงงานและความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการใช้คน รวมถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด

### 2. หลักการ

เครื่องมือทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบดั้งเดิมมีใช้แพร่หลายกันมาเป็นเวลานาน กระบวนการทดสอบยังใช้แรงงานคนในหลายขั้นตอนทั้งในการเพิ่มน้ำหนักและการจดบันทึกการยุบตัว ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการวัดและการควบคุมพัฒนาไปมาก ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในด้านอุตสาหกรรม เครื่องมือนี้ได้นำเทคโนโลยีระบบการวัดและควบคุมที่มีอยู่ในประเทศมาประยุกต์ใช้กับการทดสอบโดยสามารถแบ่งระบบที่นำมาใช้งานได้ดังนี้

#### 2.1 ระบบการให้น้ำหนัก

น้ำหนักกดทับที่กระทำกับตัวอย่างได้จากการแปลงแรงดันลมมาเป็นแรงกดทับ โดยใช้นิวเมติกไฟฟ้าเป็นหลัก ระบบนิวเมติกเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม ใช้อากาศเป็นสื่อกลางในการส่งกำลัง โดยใช้ลิ้นควบคุม (Valve) เป็นตัวกำหนดค่าความดัน ซึ่งลิ้นควบคุมความดันมีด้วยกันหลายลักษณะทั้งลักษณะใช้มือหมุนและลักษณะควบคุมอัตโนมัติโดยใช้แรงดันไฟฟ้า ซึ่งในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยที่ค่าทางไฟฟ้าที่ใช้เป็นตัวควบคุมการจ่ายแรงดันมักจะเป็นรูปแบบของมิลลิแอมป์ (mA) หรือ โวลต์ (Vdc)

## 2.2 ระบบการตรวจวัดค่า

การตรวจวัดในการทดสอบการยุบตัวของดินเหนียวคือการตรวจวัดปริมาณการทรุดตัวของตัวอย่างที่เวลาต่างๆโดยการกำหนดน้ำหนักที่กระทำที่แต่ละช่วงเวลาของการทดสอบ ซึ่งปกติใช้การอ่านมาตรวัดการเคลื่อนตัวแบบเข็มด้วยสายตาและอ่านแรงกระทำโดยคำนวณจากน้ำหนักที่วางแต่ละช่วงของการทดสอบคูณด้วยแขนโมเมนต์ของเครื่องมือทดสอบ เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นใหม่ใช้การอ่านการยุบตัวแบบทรานสดิวเซอร์ (Displacement Transducer, LVDT) อ่านน้ำหนักกระทำด้วยโหลดเซลล์ (Load Cell)

## 2.3 ระบบควบคุมและบันทึกผล

เครื่องมืออ่านค่าและบันทึกค่าทางไฟฟ้ามีช่วงรับสัญญาณจากเครื่องมือวัดที่ใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรม โดยทั่วไปเครื่องมือวัดจะให้สัญญาณตั้งแต่  $\pm 20$  mV ไปจนถึง  $\pm 10$  V สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งแบบคงที่เพื่อเลี้ยงเครื่องมือวัดและแบบเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขเพื่อควบคุมการจ่ายแรงดัน

## 3. วิธีการศึกษาวิจัย

การพัฒนาเครื่องมือทดสอบการยุบตัวของดินเหนียวได้แสดงไว้ดังภาพที่ 1 ซึ่งการวิจัยได้แบ่งขั้นตอนสำคัญไว้ตามลำดับดังนี้

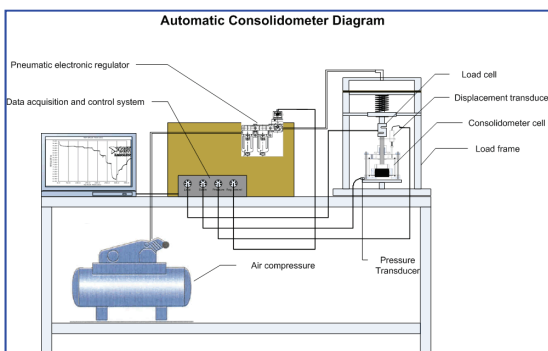
### 3.1 การออกแบบและจัดทำเครื่องมือกล

#### 3.1.1 เครื่องมือสำหรับเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ถูกออกแบบตามมาตรฐาน ASTM D2435 เพื่อให้ตัวอย่างดินที่ทดสอบเหมือนกับการเตรียมตัวอย่างดินแบบวิธีธรรมดา

#### 3.1.2 เครื่องมือให้แรงกับตัวอย่างดิน

ถูกออกแบบให้สามารถส่งแรงกระทำไปยังตัวอย่างทดสอบได้ไม่น้อยกว่า 2.5 ตัน (โดยทั่วไปเครื่องมือถูกออกแบบใช้งาน 1 ตัน)

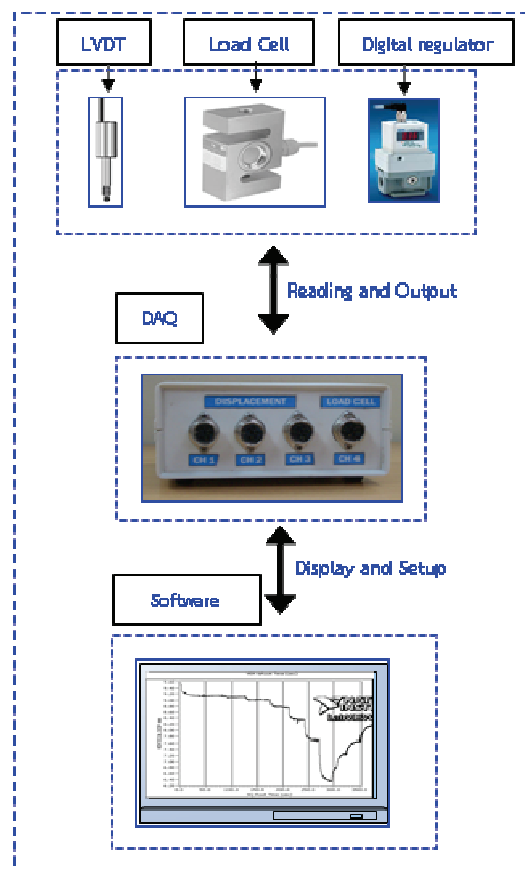


รูปที่ 1 แบบระบบการทดสอบ Automatic Consolidometer

## 3.2 การออกแบบและจัดหาเครื่องมือทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

### 3.2.1 ระบบควบคุมและบันทึกผลการทดสอบ

ในการวิจัยใช้ NI USB-6009 (DAQ) เนื่องจากมีราคาต่ำ ความละเอียดในการใช้งานสามารถยอมรับได้ มีความละเอียดของการนำสัญญาณเข้า 14 bit มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่ 5 V (200 mA) แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบควบคุมด้วยโปรแกรมขนาด 0-5 V, 2 ช่องสัญญาณ ช่วงสัญญาณใช้งาน  $\pm 1$  V ถึง  $\pm 20$  V มีอุปกรณ์ขยายสัญญาณ 1 ช่องสำหรับโหลดเซลล์มีขนาดการขยายตั้งแต่ 1.5-150 เท่า ปรับได้ตามขนาดของสัญญาณ ใช้โปรแกรม LabVIEW Student Edition แสดงค่าและควบคุมการทำงานทั้งระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมและบันทึกผล

### 3.2.2 เครื่องมือควบคุมการจ่ายลมแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Pneumatic Regulator)

เลือกใช้ ITV2051-21 ของบริษัท SMC ให้แรงดันสูงสุด 900 kPa ต้องการไฟเลี้ยงขนาด 12-15 V สามารถควบคุมการจ่ายแรงดันด้วยไฟฟ้าขนาด 0-5 V ในช่วง 5-900 kPa

### 3.2.3 อุปกรณ์วัดการยุบตัว (Displacement Transducer) และแรงกระทำ (Load Cell)

อุปกรณ์วัดการยุบตัวและแรงกระทำแสดงในตารางที่ 1 จัดหาจากบริษัทผู้ผลิตที่มีราคาต่ำ

ตารางที่ 1 รายละเอียดเครื่องมือวัดสัญญาณแบบไฟฟ้า

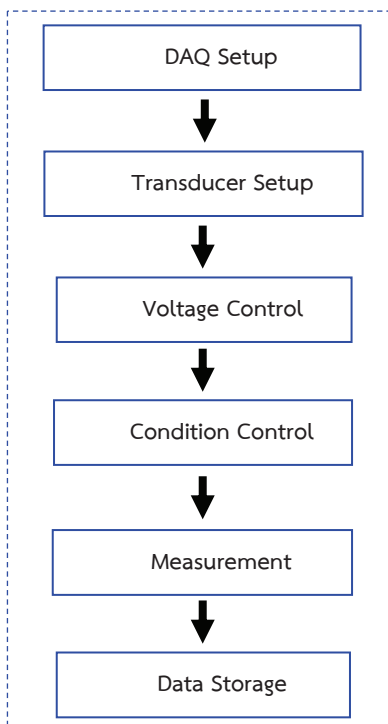
Channel	Transducer	Capacity	Excitation voltage	Output voltage
1	LVDT	10 mm.	5 V	$\pm 1$ V
2	-	-	-	
3	-	-	-	
4	Load Cell	1000 kg.	5 V	0 to 1.5 V*

\*โหลดเซลล์ให้สัญญาณไฟฟ้าที่น้ำหนักใช้งานสูงสุดเท่ากับ 10 mV เมื่อต่อผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณ 150 เท่า จะให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 1.5 V

### 3.3 การเขียนโปรแกรมแสดงผลและควบคุมการทำงาน

โปรแกรม LabVIEW Student Edition สามารถเขียนให้สามารถใช้งานในส่วนที่จำเป็นสำหรับการทดสอบเนื่องจากกระบวนการทำงานไม่สลับซับซ้อนมาก ฟังก์ชันต่างๆ ที่มีในโปรแกรมจึงสามารถใช้ได้ รวมทั้งเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมจะถูกสร้างเป็นกล่อง (tool box) ทำให้ลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมีลำดับขั้นของการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานผ่านโปรแกรม LabVIEW

### 3.4 การติดตั้งและปรับเทียบเครื่องมือ

#### 3.4.1 การติดตั้งเครื่องมือ

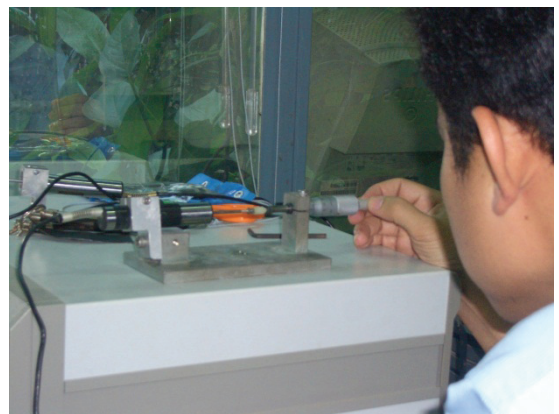
เมื่ออุปกรณ์ทุกชิ้นถูกจัดหามาครบตามที่ได้ออกแบบไว้ จึงนำมาประกอบกันตามรูปที่ 4



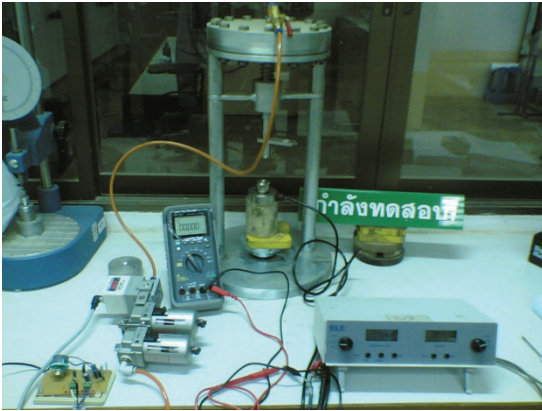
รูปที่ 4 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ

#### 3.4.2 การปรับเทียบเครื่องมือ

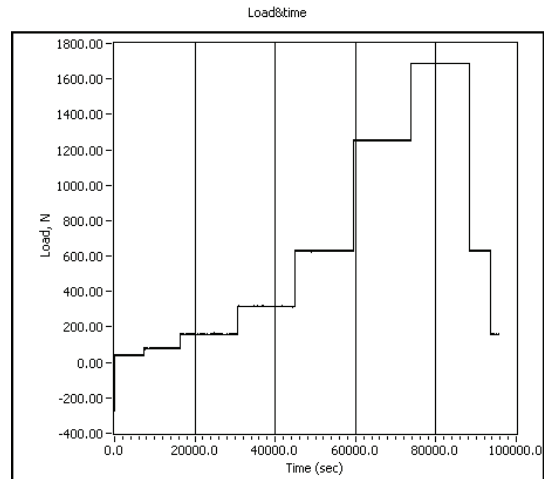
การปรับเทียบเครื่องมือเป็นขั้นตอนที่สำคัญ อุปกรณ์ที่ต้องปรับเทียบได้แก่ อุปกรณ์วัดการยุบตัว อุปกรณ์วัดแรงและอุปกรณ์ปรับแรงดันลมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6



รูปที่ 5 การปรับเทียบเครื่องมือวัดการยุบตัว



รูปที่ 6 การปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงและอุปกรณ์ปรับแรงต้นลมด้วยอิเล็กทรอนิกส์



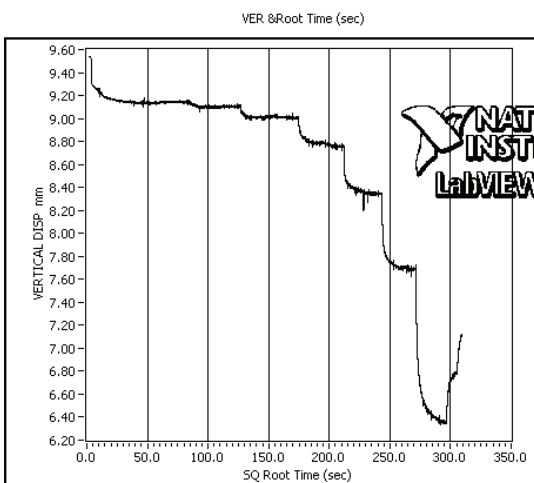
รูปที่ 8 คำน้หนักที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาโดยอัตโนมัติ

### 3.5 ทดสอบตัวอย่างดินตามมาตรฐาน

ขั้นตอนและวิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2435 โดยที่ระยะเวลาของการเพิ่มน้ำหนักมาจากการความชันของกราฟการยุบตัวเทียบกับเวลา เมื่อความชันของกราฟเข้าใกล้ศูนย์ โปรแกรมจะสั่งการให้ระบบควบคุมและบันทึกผล จ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ปรับแรงต้นลมด้วยอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเพิ่มแรงต้นลมไปกระทำกับตัวอย่างทดสอบ

### 4. ผลการวิจัย

จากการทดสอบเมื่อใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ให้ผลดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 กราฟที่ได้แสดงการยุบตัวเทียบกับเวลาและน้ำหนักกระทำในแต่ละช่วงเวลาของการทดสอบเทียบกับเวลา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่แสดงให้เห็นการรับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดมาแสดงในรูปของกราฟแบบทันทีทันใดขณะเดียวกันเมื่อเวลาผ่านไปการยุบตัวถึงระดับ 100% primary consolidation โปรแกรมจะทำการตรวจสอบความชันของกราฟและเมื่อความชันเข้าใกล้ 0 จะทำการเพิ่มน้ำหนักโดยอัตโนมัติ และสามารถตรวจสอบได้จากกราฟการเพิ่มของน้ำหนักในช่วงต่างๆ



รูปที่ 7 ค่าการยุบตัวเทียบกับเวลาในแต่ละช่วงของการเพิ่มน้ำหนัก

### 5. สรุปผล

จากผลที่ได้สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

- 5.1 สามารถลดระยะเวลาการทดสอบลงมาได้มากเมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม โดยใช้เวลาการทดสอบทั้งหมด 3 วัน ซึ่งถ้าทดสอบแบบดั้งเดิมใช้เวลา 10 วัน
- 5.2 เครื่องมือทดสอบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่สามารถบันทึกผลและควบคุมการเพิ่มน้ำหนักได้เป็นอย่างดีโดยอัตโนมัติ
- 5.3 เครื่องมือทดสอบที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ซึ่งงบประมาณน้อยกว่าเครื่องมือที่สั่งซื้อโดยตรงจากต่างประเทศ
- 5.4 โปรแกรมที่ใช้งานมีความยืดหยุ่นมากกว่าโปรแกรมที่มากับเครื่องมือที่สั่งซื้อจากผู้ผลิตโดยตรงเนื่องจากสามารถเข้าไปแก้ไขโปรแกรมและสามารถเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานได้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] National Instruments Corporation, LabVIEW Manual, April 2003 Edition, Part Number 320999E-01
- [2] ASTM (2004), "Standard Method Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils" D2435-03, Annual Book of Standard, Vol. 04.08, ASTM, Philadelphia, PA.
- [3] ASTM (2004), "Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Controlled-Strain Loading" D4186-89(1998) e1, Annual Book of Standard, Vol. 04.08, ASTM, Philadelphia, PA.
- [4] K.H. Head, "Volume 2 : Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests, Manual of Soil Laboratory Testing", 1986
- [5] K.H. Head, "Volume 3 : Effective Stress Tests, Manual of Soil Laboratory Testing", 1986
- [6] วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติภัก, ประทีป ดวงเดือน, "ปฐพีกลศาสตร์ ทฤษฎีและปฏิบัติการ" พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์ หจก.สำนักพิมพ์พิสิทธ์เซ็นเตอร์, กรุงเทพมหานคร, 2525