



การศึกษาและพัฒนา KU - Piezometer โดยการประยุกต์ใช้ MEMS Pressure Sensor

STUDY AND DEVELOPMENT OF KU – PIEZOMETER BY MEMS PRESSURE SENSOR

วิษณุพงศ์ พอลิละ¹

สุทธิศักดิ์ ศรีถัมพ์²

¹นิสิตปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, porlila23@yahoo.com

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, fengsus@ku.ac.th

บทคัดย่อ : ความดันน้ำในดินมีความสำคัญในการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมปฐพี เช่น การไหลของน้ำผ่านเขื่อน ความดันน้ำได้คันดิน ความดันน้ำขณะอัดตัวคายน้ำ ดังนั้นวิศวกรจึงจำเป็นต้องทราบความดันน้ำในช่วงวิกฤติต่างๆ ในปัจจุบันเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดความดันน้ำในดินคือ Piezometer ซึ่งมักนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง การศึกษาจึงได้วิจัยและพัฒนาคุณสมบัติของ Piezometer เพื่อประดิษฐ์ KU-Piezometer ขึ้น โดยออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในดินหลายชนิด มีความไวต่อค่าความดันน้ำที่เปลี่ยนแปลง สะดวกในการติดตั้งและอ่านค่าความดันน้ำ มีความทนทานในการใช้งานในระยะยาว โดยประยุกต์ MEMS Pressure Sensor เพื่อใช้เป็นส่วนวัดความดันน้ำในดิน ในขั้นตอนการศึกษาได้มีการทดสอบและปรับเทียบในห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่ผลิตขึ้นกับความดันน้ำ จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถอ่านค่าความดันน้ำได้ตรงกับระดับน้ำที่กำหนด และ มีความสะดวกสำหรับการติดตั้งในสนาม และการอ่านค่าความดันน้ำ สามารถต่อสัญญาณเพื่อบันทึกค่าใน Data Logger ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการนำเข้า Piezometer จากต่างประเทศและส่งเสริมการพึ่งพาตนเองทางเทคโนโลยี

ABSTRACT: Pore water pressure is an important parameter in geotechnical engineering analysis, such problem as water seepage through earth dam, stability of embankment, rapid drawdown and consolidation settlement. Thus engineers need to obtain the pore water pressure parameter at the critical condition and this can be measured using the piezometer which is normally imported from outside Thailand and relatively costly. This study involves development of the KU Electric Type Piezometer which used MEMS Pressure Sensor and designed to be able to use in various types of soil, to be of high sensitivity, easy to install and suitable for long term monitoring. The developed instrument was tested and calibrated in laboratory at Kasetsart University.

The results from the laboratory show an accurate water pressure measurement and the trial installation in the field indicates satisfactory result. The Data Logger was also used for recording data automatically. The KU Electric Type Piezometer was found to be effective cost saving and also help promote self reliance for the economy of the country.

KEYWORDS : Piezometer, Pore Water Pressure, Geotechnical Instrument, MEMS Pressure Sensor

1. บทนำ

หน่วยแรงในเนื้อดินที่สำคัญคือ หน่วยแรงประสิทธิผล Effective Stress ซึ่งสัมพันธ์กับแรงที่ส่งผ่านระหว่างของแข็งในดิน อีกทั้งถ้าช่องว่างในดินเต็มไปด้วยน้ำความดันที่อยู่ในช่องว่างนี้ก็จะเรียกว่า ความดันน้ำในดิน (Pore Water Pressure) โดยผลรวมของความดันในช่องว่างรวมกับหน่วยแรงจากของแข็งนี้จะมีค่าเท่ากับ หน่วยแรง Total Stress

การวัดค่าความดันน้ำในดินเป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์สภาพดินในงานวิศวกรรมปฐพี เช่น การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อน การลดลงของความดันน้ำขณะอัดตัวคายน้ำ

Piezometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันน้ำในมวลดิน หรือเรียกว่า มาตรวัดความดันน้ำ การแบ่งชนิดของ Piezometer ด้วยลักษณะของตัวกลางที่ใช้ในการส่งถ่ายความดันในเครื่องมือวัดแบ่งได้เป็น

1. Hydraulic Type Piezometer อาศัยตัวส่งถ่ายแรงดันในการวัดค่าด้วยน้ำ
2. Pneumatic Type Piezometer ใช้ความดันลมเป็นตัวส่งถ่ายแรงดันในการวัด
3. Electric Type Piezometer ระบบนี้จะเปลี่ยนความดันน้ำเป็นสัญญาณไฟฟ้า

แบ่งตามลักษณะการติดตั้งจะแบ่งได้ 3 ลักษณะคือ

1. ติดตั้งในหลุมเจาะ (Boring) ซึ่งจะต้องเจาะหลุมก่อนการติดตั้ง โดยเจาะไปถึงตำแหน่งที่ต้องการวัดจากนั้นจึงติดตั้ง Piezometer นิยมใช้ในชั้นดินแข็ง

2. การติดตั้งด้วยการดันลงในชั้นดิน (Pushing) วิธีนี้เหมาะสำหรับชั้นดินเหนียวอ่อน เช่น ชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ โดยใช้ Piezometer ที่มีปลายแหลมเพื่อลดแรงที่ต้องใช้ในการกด

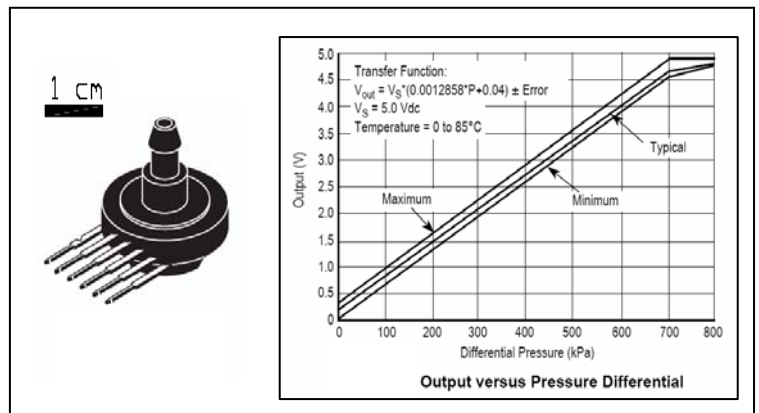
3. การติดตั้งโดยการวางลงในชั้นดิน (Placing) เช่น ชั้นดินที่บดอัดทำถนน หรือเขื่อนดิน โดยวางในตำแหน่งที่ต้องการ จากนั้นจึงบดอัดดินทับจุดที่ติดตั้ง

ปัจจุบันเครื่องมือวัดความดันน้ำในดินส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงดังนั้นการติดตั้งเพื่อวัดความดันน้ำในดินในงานวิศวกรรมปฐพีในประเทศไทยจึงมีจำนวนน้อยส่งผลให้การวิเคราะห์และติดตามผลจึงมีข้อมูลที่ไม่ละเอียด

จุดประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อจะประดิษฐ์ Piezometer ที่สามารถใช้งานได้จริง มีราคาประหยัด มีความสะดวกในการติดตั้ง การอ่านค่า มีความเที่ยงตรงสูงและมีความทนทาน ซึ่งจะสนับสนุนให้งานวิศวกรรมปฐพีที่มีเครื่องมือวัดความดันน้ำที่สามารถผลิตได้ในประเทศ และลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้

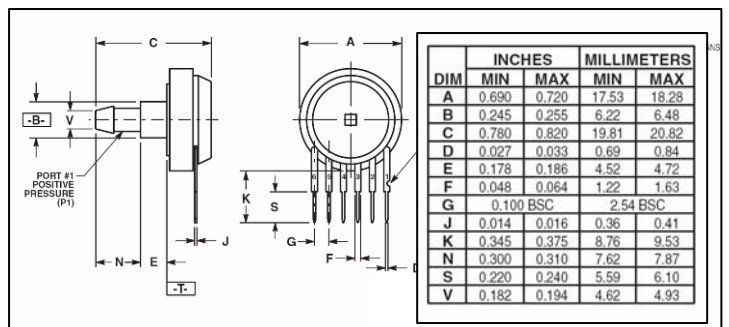
2. การวัดค่าความดันน้ำด้วย MEMS Pressure Sensor

Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) เป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่อาศัยความรู้ด้านเครื่องกลและด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์และการแพทย์ สามารถสร้างเครื่องมือวัดที่มีขนาดเล็ก ใช้งานได้สะดวก ซึ่ง MEMS Pressure Sensor สามารถนำมาใช้ในการวัดความดันของน้ำในดินได้และมีความเสถียรในการใช้งานในช่วงอุณหภูมิ-40 ถึง+120 องศาเซลเซียส สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการใช้ MEMS Pressure Sensor ในการวัดค่าความดันของน้ำ เมื่อต่อไฟเลี้ยงให้กับ Sensor สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ Output Signal เป็นไฟตรงที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 5 โวลต์ โดยแปรผันแบบเส้นตรงกับความดันที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1 และแสดงขนาดของ Sensor ในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ลักษณะภายนอกและสัญญาณ

Output ของ MEMS Pressure Sensor



รูปที่ 2 ลักษณะของ MEMS Pressure Sensor

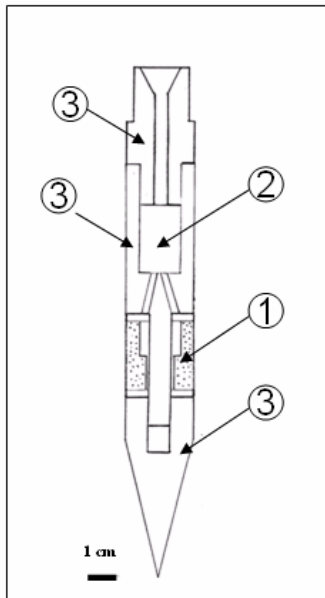
3. วิธีการออกแบบเครื่องมือ

ส่วนประกอบของ KU - Piezometer ประกอบด้วยส่วนหัวที่เป็นโลหะปลายแหลมเพื่อลดแรงกดขณะติดตั้ง, ส่วนหินพรุนรับน้ำ ที่มีค่า Air-Entry Pressure ต่ำ, ส่วนช่องเก็บน้ำ, ส่วนวัดความดันน้ำที่เป็น Electronics และส่วนก้านเหล็กที่ใช้กดขณะติดตั้ง

การออกแบบเครื่องมือวัดได้พิจารณาเป็นส่วนๆ ดังนี้ ส่วนที่เป็นงานกล งานไฟฟ้า การออกแบบวิธีติดตั้ง และการอ่านค่าความดัน โดยคำนึงถึงความแข็งแรงทนทานและความสะดวกในการใช้งาน ดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 ลักษณะภายนอกของ KU - Piezometer



KU Electric Type Piezometer

1. Low Air entry Porous Stone
2. Pressure Sensor Chamber
3. Stainless Steel

รูปที่ 4 ส่วนประกอบภายในของ KU - Piezometer

การออกแบบส่วนที่เป็นงานกล มีส่วนประกอบดังนี้ ส่วนที่เป็นหัววัดได้เลือกใช้โลหะทองเหลืองหรือสแตนเลสเพื่อไม่ให้เกิดสนิมและสามารถขึ้นรูปได้สะดวก โดยได้ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดของหินพรุนและออกแบบให้มีเนื้อโลหะมากเพียงพอกับกำลังรับแรงกดจากการติดตั้ง Piezometer

การออกแบบส่วนรับน้ำได้เลือกใช้หินพรุนที่เป็นทรงกระบอกเพื่อใช้เป็นส่วนที่รับน้ำจากเนื้อดินโดยได้มีการทดสอบความแข็งแรงในการรับแรงกด ซึ่งมีค่ารับแรงกด 165 ก.ก./ตร.ซม. และทดสอบค่าความชื้นน้ำมีค่าความชื้นน้ำ 0.03 ซม./วินาที ในส่วนของท่อที่ใช้เป็นส่วนกด KU - Piezometer นั้นได้เลือกเป็นท่อเหล็กชุบกันสนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อให้เล็กกว่าขนาดของ KU - Piezometer เพื่อลดแรงเสียดทานขณะติดตั้ง แต่ในขณะเดียวกันต้องมีความแข็งแรงเพียงพอในการรับแรงกดขณะติดตั้งดังแสดง ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงการประกอบ KU - Piezometer เข้ากับระบบท่อ

การออกแบบระบบไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนที่อยู่ใต้ดินคือ MEMS Pressure Sensor ซึ่งใช้ทั่วไปในงานอุตสาหกรรม และสามารถหาซื้อได้ภายในประเทศโดยลักษณะของ MEMS Pressure Sensor สามารถประยุกต์ในการใช้งานติดตั้งในระบบท่อวัดเพื่อวัดความดันของระดับน้ำ ซึ่งสามารถวัดความดันได้ 0 - 7 ksc และให้ค่าความดันในรูปสัญญาณไฟฟ้า 0 - 5 โวลต์

การออกแบบระบบสายไฟและจุดต่อสายไฟ ออกแบบไม่ให้สัมผัสกับน้ำโดยตรงเพื่อป้องกันการลัดวงจร สายไฟเลือกใช้สายไฟที่มีความแข็งแรง ไม่หดหรือเสียรูปเมื่อใช้งานในอุณหภูมิสูง เป็นสายที่ป้องกันสัญญาณรบกวน และส่วนที่อยู่บนดินคือส่วนของชุดไฟเลี้ยง วงจรป้องกันสัญญาณรบกวน วงจรอ่านค่าความดันน้ำ โดยออกแบบให้ทนกับสภาพความร้อนสูง กันฝน และมีความแข็งแรง ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ชุดในการจ่ายไฟเลี้ยงและอ่านค่า Output Signal

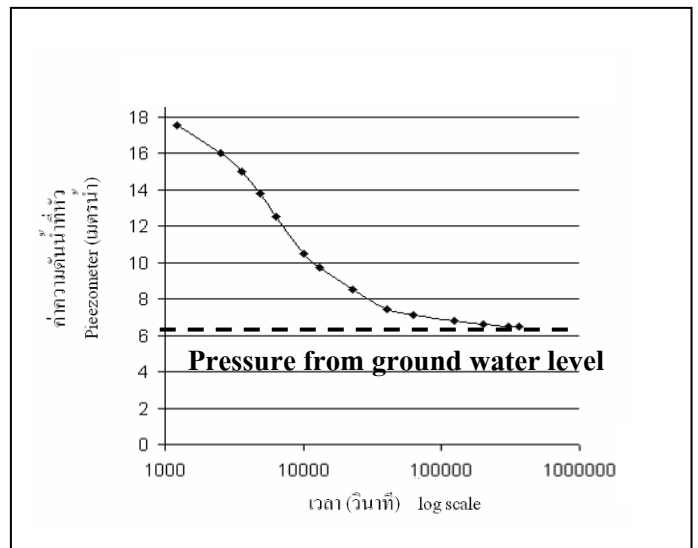
การออกแบบวิธีการติดตั้ง ได้ออกแบบให้สามารถติดตั้งได้สะดวกโดยการเจาะนำ สามารถใช้ผู้ติดตั้ง 2-3 คน ซึ่งประกอบด้วยท่อเหล็กที่ใช้กดและสายไฟที่ร้อยอยู่ภายในท่อเหล็ก โดยออกแบบความยาวของท่อเหล็กแต่ละท่อนมีความยาวประมาณ 1 เมตร เพื่อให้สะดวกในการประกอบขณะติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงการติดตั้ง KU - Piezometer โดยการกด

4. การทดสอบและผลการทดสอบเครื่องมือ

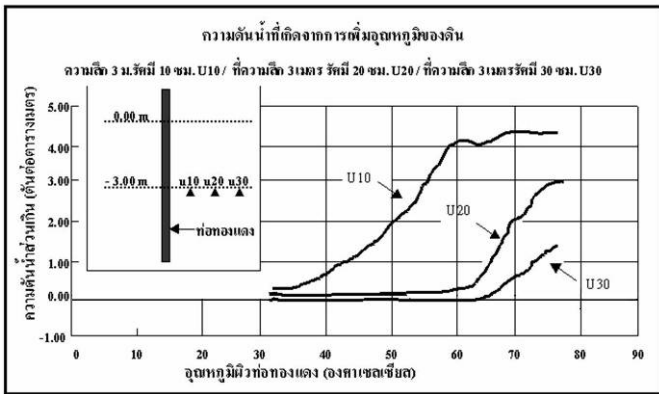
การทดสอบในสนามในช่วงแรกได้ติดตั้งในสนาม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 3 จุด ระดับลึก 3 เมตร, 7.5 เมตร และ 13 เมตร เป็นการทดสอบเพื่อประเมินวิธีการติดตั้งและค่าความดันน้ำที่เกิดขึ้นหลังการติดตั้งด้วยการกด ซึ่งพบว่าค่าความดันน้ำส่วนเกินที่เกิดจากการกดติดตั้งในระดับความลึก 7.50 เมตร ในชั้นดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ มีค่าลดลงเข้าสู่ระดับความดันน้ำปกติ ดังรูปที่ 8 และการทดสอบการดึงขึ้นด้วยรถยกไฮโดรลิก การทดสอบการป้องกันน้ำของกาวซิลิโคนที่หุ้มจุดต่อสายไฟ ทดสอบความทนทานของสายไฟ ทดสอบการอ่านค่าขณะกำลังติดตั้ง และหลังการติดตั้งเสร็จ ทดสอบการบันทึกค่าด้วย Data Logger จากการทดสอบต้นแบบในครั้งนี้ได้ใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนา โดยออกแบบให้ขนาดของหัววัดมีขนาดเล็กลง จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร เป็น 25 มิลลิเมตร ทำให้การติดตั้งสะดวกมากขึ้น โดยติดตั้งในบริเวณใกล้เคียงกัน



รูปที่ 8 ค่าความดันน้ำที่เกิดขึ้นหลังการติดตั้งที่ระดับ -7.50 เมตร ที่สนามทดสอบ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลังจากทดสอบในพื้นที่ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้มีการใช้งาน KU - Piezometer ในงานวิจัย การปรับปรุงฐานรากดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ – การทดสอบในสนาม โดยวัดค่าความดันน้ำส่วนเกินที่เกิดจากการเพิ่มความร้อนให้กับเนื้อดิน ซึ่งทดสอบในสนามทดสอบ Asian Institute of Technology (AIT)

พบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนให้กับดินความดันน้ำในดินจะเพิ่มขึ้นซึ่งในระยะเวลาที่อยู่ใกล้ที่น้ำร้อนทองแดงจะมีการเพิ่มของความดันน้ำส่วนเกินมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร ที่รัศมีต่างๆ กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ผิวท่อทองแดง

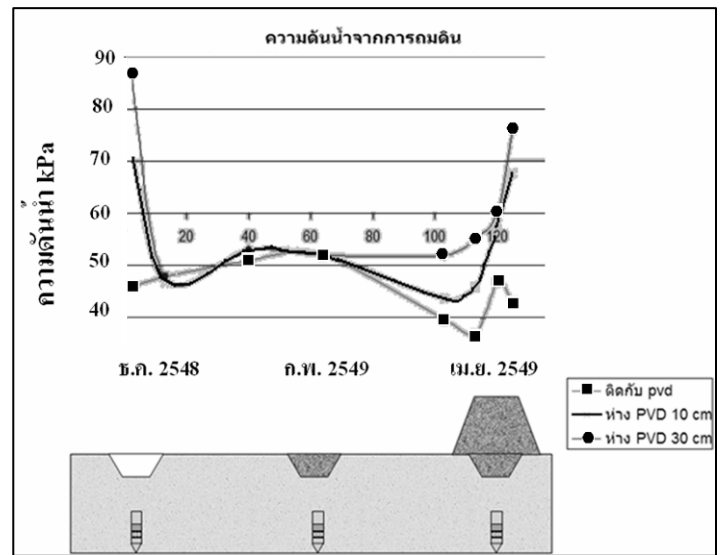
ในงานวิจัยเรื่อง Thermal Consolidation ที่ AIT มีการติดตั้ง KU - Piezometer รวมทั้งหมด 13 จุด ซึ่งติดตั้งที่ระดับลึก 2, 3, 4 และ 6 เมตร และมีการติดตั้ง AIT Type Piezometer (Stand Pipe) เพื่อเทียบค่าที่วัดได้ ในรูปที่ 10 มีการถมดินสูงระดับ 5 เมตร หลังจากติดตั้ง KU - Piezometer รวมทั้งหมด 8 ตำแหน่ง เพื่อวัดค่าความดันน้ำที่เกิดขึ้นขณะถมดินและขณะให้ความร้อนกับเนื้อดิน

รูปแบบการติดตั้งในตำแหน่งที่มีดินแข็งอยู่ส่วนบนติดตั้งด้วยเครื่องกดไฮดรอลิก และในตำแหน่งที่ขุดเปิดหน้าดินลึก 1.5 เมตรเพื่อนำส่วนที่แข็งออก สามารถติดตั้งด้วยการกดด้วยแรงคน 2-3 คน



รูปที่ 10 พื้นที่ทดสอบ Thermal Consolidation ในสนามทดสอบ AIT

ในการศึกษาค่าความดันน้ำหลังการติดตั้งที่ระดับลึก 6 เมตรพบว่าในช่วงแรกยังมีค่าความดันน้ำส่วนเกินที่เกิดจากเนื้อดินถูกเบียดจากการกด KU - Piezometer แต่ในตำแหน่งที่ติดตั้งใกล้กับ PVD มีค่าความดันน้ำส่วนเกินน้อยกว่าตำแหน่งที่อยู่ห่างออกไป และเริ่มถมดิน สูง 5 เมตร หลังจากติดตั้ง 100 วัน ทำให้ค่าความดันน้ำในดินมีค่าสูงขึ้นจากปกติ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ค่าความดันน้ำหลังการติดตั้ง KU Piezometer ในสนามทดสอบ AIT

จากข้อมูลหลังการติดตั้งซึ่งยังไม่ได้มีการเพิ่มอุณหภูมิให้กับดิน พบว่าความดันน้ำที่วัดได้จากหัววัดที่ติดตั้งระดับ 6 เมตร มีค่าใกล้เคียงกับ AIT Type Piezometer ค่าความดันน้ำจากหัววัดที่ระดับ 4 และ 3 เมตร มีค่าต่ำกว่า และค่าที่ระดับลึก 2 เมตร ค่าต่ำกว่ามาก เมื่อใช้ AIT Type Piezometer เป็นค่าอ้างอิงโดยสรุปจำนวนและลักษณะการใช้งานแสดงไว้ในตารางที่ 1

จากการทดลองในงานวิจัย Thermal Consolidation ซึ่งมีการเพิ่มอุณหภูมิให้กับดินในขณะเดียวกันได้วัดความดันน้ำที่เกิดขึ้น พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม-ลดของอุณหภูมิของดิน ความดันน้ำที่วัดได้จะมีการเพิ่ม-ลด ตามความร้อนที่เกิดขึ้นในดิน

| พื้นที่ทดสอบ / ระยะเวลาการวิจัย | จำนวน (หัววัด) | ระดับ (เมตร) | ลักษณะ การใช้งาน |
|--|-------------------|-----------------|-------------------------|
| AIT ธ.ค. 2548 ถึง ม.ค.2550 | 8 | 3, 6 | งานวิจัย 25 – 90 ° C |
| AIT มี.ค. 2548 ถึง มี.ค.2549 | 5 | 2, 3, 4 | งานวิจัย 25 – 70 ° C |
| มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ก.พ. 2548 ถึง ก.พ.2550 | 3 | 3, 7.5, 13 | งานวิจัย 26 ° C |

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนและ
ลักษณะการใช้งาน KU Piezometer

5. สรุป

จากการศึกษาสามารถประดิษฐ์ KU - Piezometer เพื่อวัดความดันน้ำด้านบวกในดินได้ มีความไวในการอ่านค่าความดันน้ำเร็วกว่าแบบ Open Stand Pipe Piezometer โดยสามารถติดตั้งด้วยวิธีการกดในการติดตั้งในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ และ สามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ 10 – 80 องศาเซลเซียส

การอ่านค่าความดันน้ำสามารถอ่านค่าได้สะดวกด้วยการวัดความดันไฟฟ้าจากสายสัญญาณไฟฟ้า และสามารถต่อสัญญาณไฟฟ้าเข้ากับ Data Logger เพื่อบันทึกค่าได้

จากการพัฒนา KU - Piezometer ทำให้การตรวจวัดค่าความดันน้ำในดิน ในงานสนามมีความสะดวกมากขึ้น ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อ Piezometer จากต่างประเทศได้มาก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ตรวจวัดความดันน้ำ
และเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์จาก

Asian Technology and Testing (ATT)

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรากร ไม้เรียง ,2538.คู่มือการวัดพฤติกรรมเขื่อนดิน.
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- [2] สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ ,สมศักดิ์ เลิศประเสริฐพันธ์, 2549. การปรับปรุงฐานรากดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ – การทดสอบในสนาม. Proceeding of the 6th Symposium on Soil/Ground Improvement and Geosynthetics : 176 หน้า, กรุงเทพฯ
- [3] Karl Terzaghi, Ralph B.Peck 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons , New York, USA
- [4] Lambe Whitman 1969. Soil Mechanics, John Wiley & Sons.Inc , New York , USA
- [5] Roy E. Hunt 1984. Geototechnical Engineering Investigation Manual , McGRAW-HILL.Inc, USA
- [6] Warakorn Mairaing 1973 . Response of Some Field Piezometer Systems Under Undrained Loading in Clay . MEng Thesis , Asian Institute of Technology , Bangkok, Thailand

เกี่ยวกับผู้เขียน

ว่าที่ ร.ต.วิญญพงศ์ พอลิละ

ความสนใจ

Soil Behaviors, Soil Investigation, Geotechnical Instrument,
Geo - Environment Sensor Technology

ผศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์

ความสนใจ

Ground improvement techniques, Risk assessment and analysis of dams,Dam engineering, Probabilistic analysis in geotechnical engineering,Geotechnical laboratory testing