เครื่องวัดความแข็งของดิน

ดร.กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย
รองศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นายเด่นพร อังสนันท์
นายประกาศิต เสนาวงศ์
นายสุชัย ชื่นสมานศรี
นักศึกษาชั้นปีที่ 4

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษา ออกแบบ และทดสอบเครื่องวัดความแข็งดินเพื่อใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับความลึกของดินโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าส่งกำลังผ่านชุดเฟืองหนอนเพื่อกดหัวกดทดสอบรูปกรวยที่มีขนาดมุมที่ยอดกรวยเป็น 30° ลงไปในดินเป็นแนวเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่โดยไม่ให้เกิดการหมุนของหัวกดทดสอบ จากนั้นทำการบันทึกค่าความเครียดที่เกิดจากภาระของแรงกด และความลึกในการเคลื่อนที่ของหัวกด จากข้อมูลที่ได้เราสามารถนำไปเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความลึก ที่ระยะต่างๆ ซึ่งทำให้เราทราบถึงลักษณะชั้นของดินที่ระดับต่างๆ ซึ่งเราสามารถนำเอาข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในงานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ต่อไปได้

Cone Penentrometer

Dr. Kittichai Triratanasirichai
Associate Professor
Mechanical Engineering Department
Faculty of Engineering Khon Kaen University

Mr.Denporn Angsanant
Mr.Prakasit Senawong
Mr.Suchai Chursmansri
Senior Student
Mechanical Engineering Department
Faculty of Engineering Khon Kaen University

Abstract

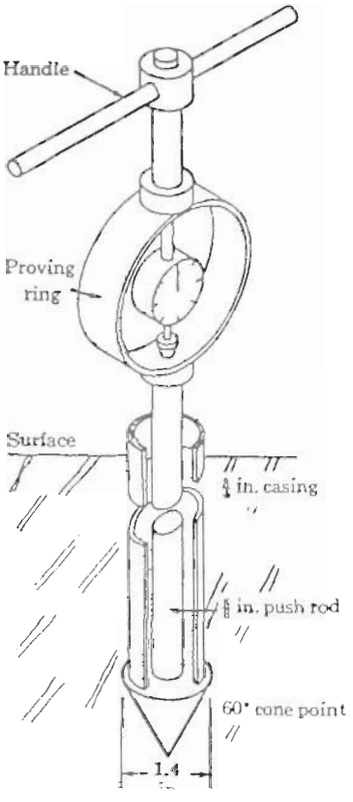
This research is to study, design, construct and test a cone penetrometer to determine the relation between cone resistance and cone depth. Electric motor transmits speed to worm gear to drive the cone penetrometer with 30°- cone into the soil linearly with constant velocity and without rotation. Input signal of strain from strain gage on the load cell is read from strain meter and the cone depth is simultaneously recorded by recording the time during push rod penetrate into the soil. As a result, cone resistance can be calculated and then plot curve between pressure on the soil and depth to determine the soil profile.

บทนำ

เครื่องวัดความแข็งดิน (cone penetrometer) เป็นเครื่องมือวัดแบบหนึ่งที่ใช้สำหรับทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็ง (penetration resistance) กับความลึกของดินเมื่อวัดจากผิวดินชั้นบนสุดโดยข้อมูลที่ได้จากการวัดแบบ penetration นี้จะให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำเพียงใดนั้นจะต้องคำนึงถึงความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือวัด และคุณสมบัติทางกายภาพของดินซึ่ง

ได้แก่ความชื้น ความหนาแน่น และชนิดของดินอีกด้วย เครื่องวัดความแข็งดิน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. Hand-Pushed Cone Penetrometer เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความแข็งดินโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานเพียงคนเดียวเท่านั้น ในการกดหัวกดทดสอบซึ่งมีลักษณะเป็นรูปกรวย (Cone Shaped) ลงไปในดิน การทดสอบจะต้องกดหัวกดทดสอบลงไปในดินลึกไม่น้อยกว่า 30 mm. ส่วนความเร็วที่ใช้สำหรับกดก็จะมีค่าอยู่ระหว่าง 10-30 mm/s. และในการกดทดสอบจะต้องกดด้วยความเร็วที่มีค่าคงที่ และสามารถอ่านค่าความแข็งของดินได้จากเข็มบนหน้าปัทม์ เครื่องมือวัดแบบนี้นิยมใช้กันมาก เพราะว่าเป็นเครื่องมือวัดที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกมีวิธีการใช้งานและขั้นตอนต่างๆ ไม่ยุ่งยากนัก และความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือวัดแบบนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Hand-Pushed Cone Penetrometer

2. Mechanical Cone Penetrometer เป็นเครื่องมือวัดความแข็งดินอีกแบบหนึ่งที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก โดยทั่วไปจะติดตั้งอยู่บริเวณด้านหลังของรถแทรคเตอร์ส่วนแรงกดทดสอบจะได้จากระบบไฮดรอลิก หรือการส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านชุดเฟืองทด ทำให้แรงกดทดสอบมีค่าเพิ่มมากขึ้น เครื่องมือวัดแบบนี้จะมีค่าแรงกดทดสอบอยู่ระหว่าง 20-40 kN. นอกจากนั้นความเร็วในการกดทดสอบสามารถควบคุมได้แม่นยำกว่าเครื่องมือวัดแบบแรก ในส่วนของการเก็บข้อมูล (ความแข็งและความลึกของดิน) อาจจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือไมโครโพรเซสเซอร์จะได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากขึ้น

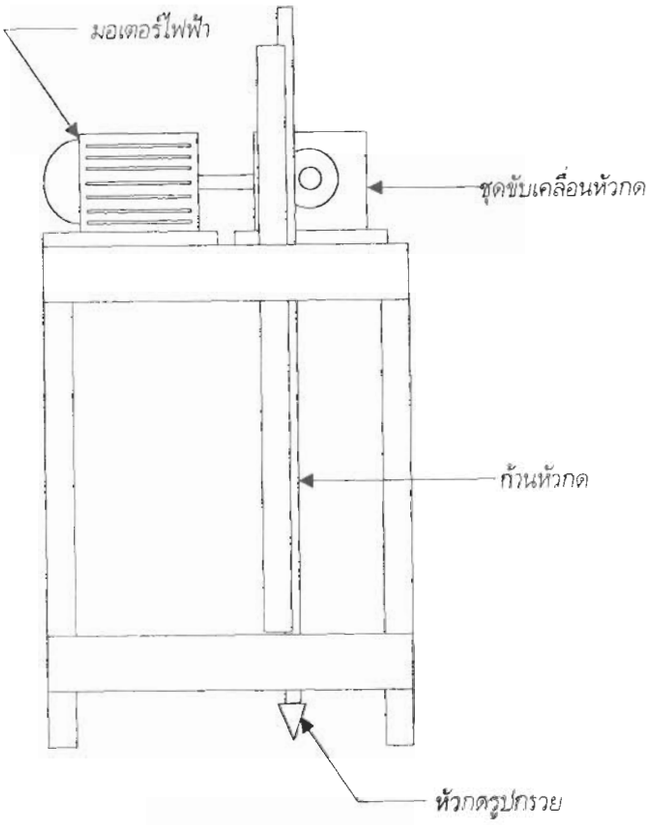
การออกแบบ

เกจวัดความเครียด (Strain Gage)

เกจวัดความเครียด หรือ electrical resistance strain gages มีลักษณะเป็น metal-foil-grids จะนำไปติดบนผิวของเครื่องมือวัด (อาจจะเป็น แรง หรือความดัน) เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัสดุ หรืออุปกรณ์ของเครื่องวัดนั้นจะเกิดความเครียด (strain) ขึ้นซึ่งค่าความเครียดที่เกิดขึ้นที่วัสดุนั้นจะถ่ายทอดมายัง foil grid และค่าความต้านทานของ foil grid จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของความเครียดที่เกิดขึ้นเนื่องจากภาระที่มากระทำต่อเครื่องวัดนั้น

วิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานของเกจวัดความเครียด (เมื่อเราติด strain gage บน elastic member) เนื่องจากมีภาระมากระทำบน elastic member นั้นโดยการต่อเกจวัดความเครียดให้เป็นวงจร wheastone bridge

เครื่องวัดความแข็งดินของโครงการที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นจะเป็นแบบ Mechanical Cone Penetrometer ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบเฟสเดียวส่งกำลังผ่านชุดเฟืองทด ซึ่งประกอบด้วยเฟืองตรง และชุดเฟืองหนอน และใช้เฟืองสะพานในการกดก้านหัวกด ดังรูปที่ 2 ลงไปในดินหัวกดทดสอบมีลักษณะเป็นรูปกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 25.4 มิลลิเมตร และมีพื้นที่ฐานกรวย 5.07 ตารางเซ็นติเมตร ดังรูปที่ 3 ส่วนรายละเอียดอื่นๆ สามารถดูได้จากตารางที่ 1

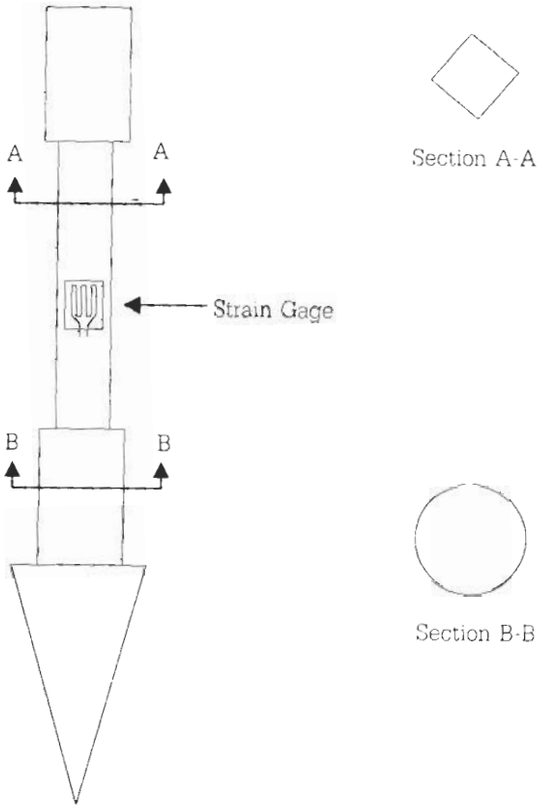


รูปที่ 2 เครื่องมือวัดความแข็งของดิน

ตารางที่ 1

รายละเอียดของเครื่องมือวัดความแข็งของดิน.

Length	800	mm.
Width	500	mm.
Height	1800	mm.
Mass	100	Kg.
Penetration rate	21	mm/s.
Penetration force	3500	N.
Maximum stroke	700	mm.
Circular Cone	30^{o}	

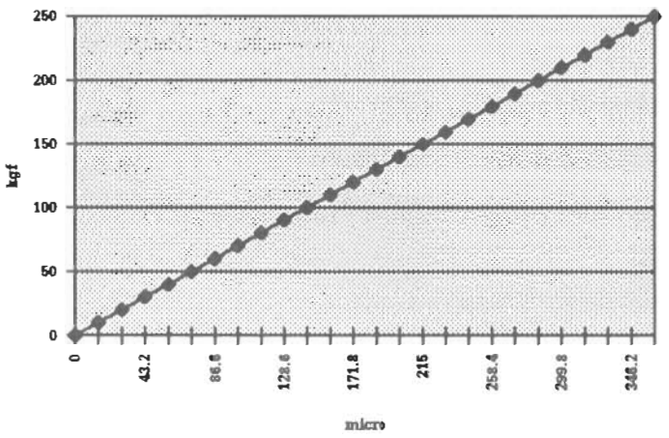


รูปที่ 3 หัวกดรูปกรวย

การปรับเทียบเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดทุกประเภทที่สร้างขึ้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการปรับเทียบกับเครื่องมือที่ได้มาตรฐานเพื่อจะได้ทราบว่าเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นมานั้นมีความถูกต้องมากน้อยเท่าใดและเมื่อใช้ทำการวัดจริงก็จะได้ทราบว่าข้อมูลที่วัดได้โดยใช้เครื่องมือนั้นมีค่าผิดพลาดไปจากความเป็นจริงเพียงใด สำหรับเครื่องวัดความแข็งดินได้มีการนำไปปรับเทียบโดยการกดด้วยน้ำหนักมาตรฐานที่มีขนาดตั้งแต่ 0-250 kgf แล้วอ่านค่าความเครียดได้จากเครื่องวัดความเครียด ดังผลการทดสอบในรูปที่ 4 และมีสมการดังนี้

$$\text{kgf} = 0.698(\text{strain}) - 0.1 \qquad (1)$$



รูปที่ 4 กราฟแสดงการปรับเทียบค่าแรงและความเครียดที่อ่านได้จากเครื่องมือ

การทดลองและผลการทดลอง

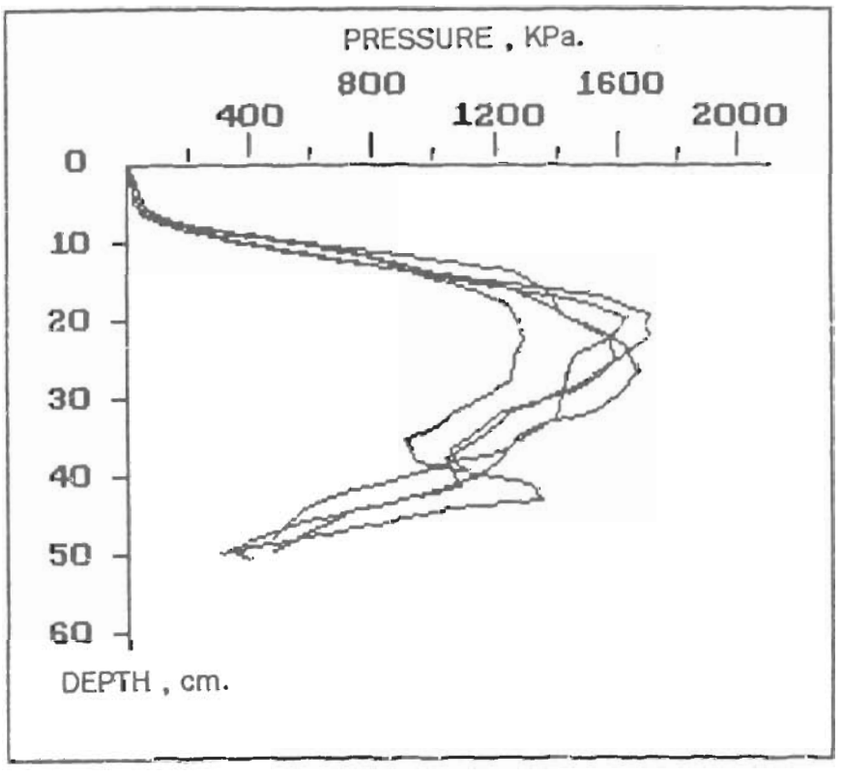
เครื่องวัดความแข็งดินที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็ง (cone resistance) กับความลึกของดินซึ่งจะแสดงผลการทดลองในลักษณะของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่กระทำบนดิน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อตารางเมตร (kN/m^2) หรือกิโลปาสคาล กับความลึกของดินมีหน่วยเป็นเซ็นติเมตร (cm.) เมื่อวัดเทียบจากผิวดินชั้นบนสุดในบริเวณที่ทำการทดลอง สาเหตุที่ต้องแสดงค่าความแข็งดินในรูปของความดันที่กระทำบนดินนั้นก็เพราะว่าการทดลองของ cone penetrometer นั้นจะใช้หัวกดรูปกรวยซึ่งเครื่องมือวัดแบบนี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฐานกรวยไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับขอบเขตของการทดลองว่าต้องการทดลองกับดินที่มีความแข็งมากน้อยเพียงใดเช่นถ้าต้องการทดลองกับดินที่มีความแข็งมากเส้นผ่าศูนย์กลางของฐานกรวยก็จะมีขนาดใหญ่ และแรงกดที่ใช้ทดสอบก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่ง push rod จะต้องมีค่าน้อยกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฐานกรวยเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นด้านข้างของแท่ง push rod โดยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของแท่ง push rod จะต้องสามารถรับแรงกดทดสอบได้โดยที่แท่ง push rod จะไม่เกิดการโค้งงอเนื่องจากแรงกดทดสอบ

สถานที่ทำการทดสอบเป็นสถานที่ในแปลงทดลองของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

ผลการทดลอง

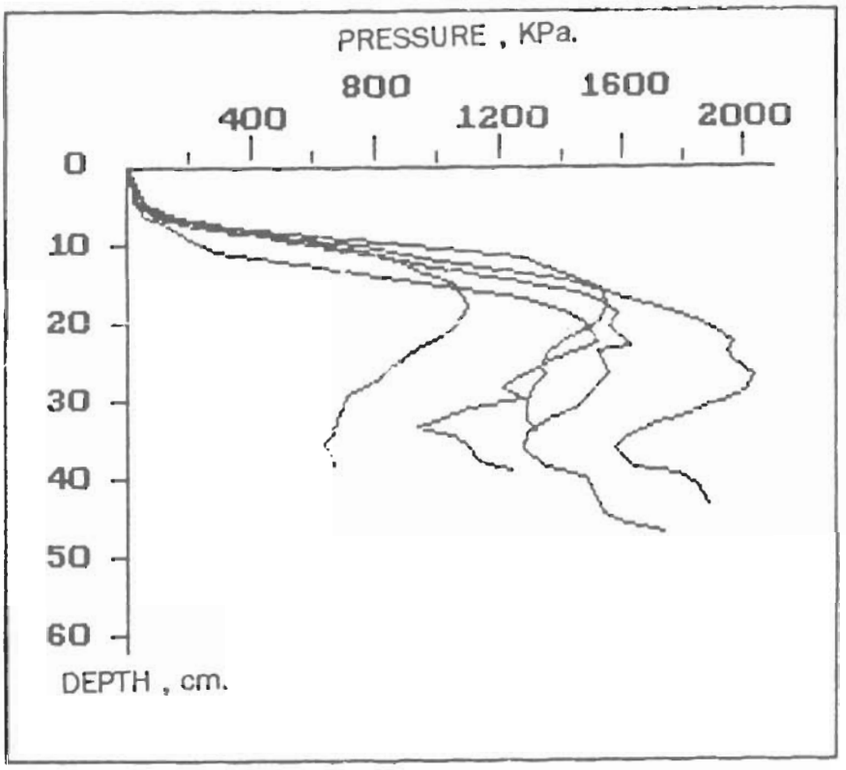
เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองคือ ความเครียดกับเวลา ซึ่งยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งดินกับความลึก ดังนั้นจึงต้องแปลงค่าความเครียดให้อยู่ในรูปของแรง หรือความดันแทนซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สมการที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องมือวัดจากสมการที่ (1)

สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับความลึกของดินโดยใช้เครื่องวัดความแข็งดินของโครงการที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอนซึ่งการทดลองแต่ละตอนจะมีข้อมูลมากถึง 18 ชุด



รูปที่ 5 ผลการทดลองการวัดความแข็งของดิน

จากกราฟระหว่างความดันที่กระทำบนดินซึ่งสุ่มมาจากการทดลองทั้งหมด 18 ชุด (ดูรูปที่ 5 และ 6) จะเห็นว่าในขณะเริ่มต้นนั้นความดันที่กระทำบนดินจะมีค่าเป็น 0 kPa. และเพิ่มขึ้นเป็น 600 kPa. ที่ความลึก 10 เซ็นติเมตร และมีค่าประมาณ 1400 kPa. ที่ความลึก 20 เซ็นติเมตร ความดันจะมีค่ามากที่สุดประมาณ 1500 kPa. ที่ความลึก 25 เซ็นติเมตร และจะเริ่มลดลงเป็น 1300 kPa. ที่ความลึก 35 เซ็นติเมตร และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเป็น 1400 kPa. ที่ระดับความลึก 40 เซ็นติเมตร จึงพอจะสรุปได้ว่าช่วงชั้นบนสุดของชั้นดินนั้นดินยังมีความแข็งไม่มากนักเนื่องจากว่าความดันยังมีค่าน้อยอยู่ (ความชันของเส้นกราฟมีค่าน้อย) และความแข็งบริเวณด้านบนของชั้นดินเกือบทุกการทดลองจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันสังเกตจากเส้นกราฟทั้ง 5 เส้นทับกันเกือบจะสนิท และความดันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความลึกมีค่ามากขึ้นจนกระทั่งถึงระยะประมาณ 25 เซ็นติเมตร ทรายจะมีความแข็งมากที่สุดเพียงช่วงหนึ่ง และเมื่อผ่านชั้นนี้ไปแล้วความแข็งก็จะลดลงจนกระทั่งไปถึงผิวดินข้างล่างความแข็งจึงเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ระยะประมาณ 40 เซ็นติเมตร



รูปที่ 6 ผลการทดลองการวัดความแข็งของดิน

สรุปและวิจารณ์

เครื่องมือวัดความแข็งของดินแบบใช้มอเตอร์นี้จะช่วยให้การทำงานในการวัดความแข็งของดินมีความแม่นยำและสะดวกในการอ่านทำงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งค่าที่ได้จากการวัดสามารถที่จะบันทึกผลการทำงานโดยใช้เครื่องมืออัตโนมัติมาต่อพ่วงเข้าไปแล้วนำเอาข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลภายหลังได้ นอกจากนี้ในอนาคตอุปกรณ์ดังกล่าวยังสามารถที่จะทำการปรับปรุงเพื่อให้แสดงผลออกมาทันทีณ จุดที่ทำการทดลอง เพื่อที่จะนำเอาผลของการวัดไปใช้งานได้ในเวลาเดียวกัน ค่าของความแข็งของดินที่ได้ออกมามีความน่าเชื่อถือสูงมากทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์วัดแรงที่ใช้มีความไวและความแม่นยำสูงในการจับสัญญาณและการแปลงผล

บรรณานุกรม

1. H.J. Olsen., "***Technology Showcase Electronics Penetrometer for Field Tests***", Journal of Terramechanics, vol.25 no.4, 287-293, 1998.
2. ASTM Standards, "***American Society for Testing and Materials***", Philadelphia, American Society for Testing Materials, 1979.