

พฤติกรรมของลาดดินและกำลังเฉือนของดินในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์

BEHAVIOUR OF SOIL SLOPE AND SHEAR STRENGTH PROPERTIES IN THE LANDSLIDE-PRONE AREA OF LAPLAE, UTTARADIT

จิติมา เทพพานิช (Jitima Tepparnich)¹

อภินิติ โชติสังกาศ (Apiniti Jotisankasa)²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (jitima_t@hotmail.com)

²อาจารย์, ศูนย์วิจัยวิศวกรรมปฐพีและฐานราก, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, (fengatj@ku.ac.th)

บทคัดย่อ : การพังทลายของลาดดินบริเวณพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ ในปี 2549 มีลักษณะการพังทลายในระดับตื้น โดยเกิดในพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินตะกอน ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการพังทลายเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่ตกหนักและติดต่อกันยาวนาน ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการเกิดการพังทลายของลาดดิน ทั้งจากข้อมูลการตรวจวัดพฤติกรรมของลาดดินในสนาม คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนทั้งที่อิ่มตัวด้วยน้ำและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนต่อจำนวนรอบของการเปียกสลับแห้งซึ่งบ่งชี้ถึงระดับการผุพัง เพื่อประเมินเสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ลาดดินอนันต์ พบว่า สาเหตุหลักของการพังทลายของลาดดินเกิดจากปัจจัยร่วมกันของการผุพังของชั้นดินและค่าแรงดันน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น

ABSTRACT : Numerous shallow slope failures took place in residual soils derived from sedimentary rock formation of Uttaradit province, in 2005 due to prolonged and intense rainfall. A representative slope in the landslide area has been instrumented for pore water pressure, rainfall intensity and slope movement for one rainy season in order to investigate the slope failure mechanism. Shear behaviour of this material has also been investigated in details. Fully saturated consolidated-drained (CD) as well as suction-monitored direct shear tests have been performed on undisturbed samples collected from depths of 0.3-1 m. In addition, influence of number of drying/wetting cycles on saturated/unsaturated shear strength is investigated. The results from a simple infinite slope analysis suggest that the major slope destabilization mechanism is a combination of material degradation and pore water pressure increase.

KEYWORDS : Landslide, Instrumentation, Shear strength, Suction, Pore water pressure, Weathering

1. บทนำ

กรณีพิบัติภัยดินถล่มและน้ำป่าไหลหลากครั้งรุนแรง ในพื้นที่หลายจังหวัดของภาคเหนือ รวมทั้งจังหวัดอุตรดิตถ์ เมื่อเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2549 ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างมาก ซึ่งลักษณะการพังทลายส่วนใหญ่ประมาณ

80% ของพื้นที่ที่เกิดดินถล่มมีลักษณะการพังทลายระดับตื้น โดยจากการสังเกตในสนามพบว่าระนาบการพังทลายเกิดขึ้นระหว่างชั้นดินผุพังอยู่ในที่ (Residual soil) กับชั้นหินดานซึ่งมีความลึกอยู่ในช่วง 40-100 เซนติเมตร



ภาพที่ 1 เหตุการณ์น้ำท่วม-ดินถล่มในพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ ปี 2549

จากการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก (2552) ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณที่เกิดการพิบัติ ในพื้นที่ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าพื้นที่ดินถล่มอยู่ในบริเวณหุบเขาที่เป็นแหล่งต้นน้ำ และเป็นพื้นที่การเกษตรของชุมชนซึ่งมีแหล่งเพาะปลูกบริเวณไหล่เขา นับว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินไปจากเดิมและก้าวเข้าสู่พื้นที่เสี่ยงภัยมากขึ้น จากการศึกษาในอดีต (อาทิ วรากร และบรรพต, 2548, สุทธิศักดิ์และคณะ, 2550, อภินิติและวิญญูพงษ์, 2551) พบว่ากลไกการพิบัติของลาดดินมีปัจจัยที่สำคัญคือปริมาณน้ำฝน ซึ่งเมื่อน้ำฝนซึมลงสู่ดิน จะส่งผลให้ค่าแรงดันน้ำในดินสูงขึ้น ค่ากำลังรับแรงเฉือนและเสถียรภาพของมวลดินมีค่าลดลง นำไปสู่การเคลื่อนตัวของมวลดินและเกิดการพิบัติของลาดในที่สุด การติดตามตรวจวัดพฤติกรรมของลาดดินในสนามนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อดินถล่มทั้งด้านปริมาณน้ำฝน แรงดันน้ำ และการเคลื่อนตัวของลาด นอกจากนี้พฤติกรรมทางกลศาสตร์ของลาดดินในสนามมักจะมีพฤติกรรมทั้งในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำและอิ่มตัวด้วยน้ำสลับกันไปตามฤดูกาล ซึ่งในประเทศไทยนับว่ายังขาดองค์ความรู้พื้นฐานด้านนี้อย่างมาก

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลการศึกษาพฤติกรรมทางกลศาสตร์ แรงดันน้ำในลาดดิน การเคลื่อนตัวในระหว่างฝนตก รวมไปถึงคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือน ความอิ่มน้ำ พฤติกรรมการไหลซึมในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ เพื่อประเมินปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อ

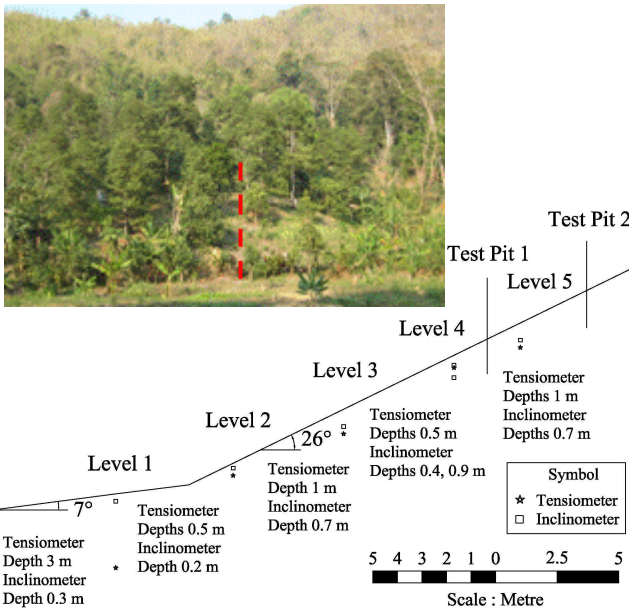
เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งความรู้นี้จะนำไปสู่การออกแบบแก้ไข ป้องกัน และการเตือนภัยดินถล่มที่มีประสิทธิภาพในที่สุด

2. พื้นที่ศึกษาและการปฏิบัติการในภาคสนาม

การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาสำหรับติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมและเก็บตัวอย่างดิน ได้พิจารณาความเหมาะสมทั้งในด้านผลกระทบจากการพิบัติและลักษณะการใช้ประโยชน์พื้นที่ ซึ่งต้องเป็นตัวแทนที่เหมาะสม จึงทำการเลือกพื้นที่สวนผลไม้บริเวณตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์เป็นพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นบริเวณดินลาดเขามีความชัน 26 องศา และลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินดินดานและหินโคลน

2.1 การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมของลาดดิน

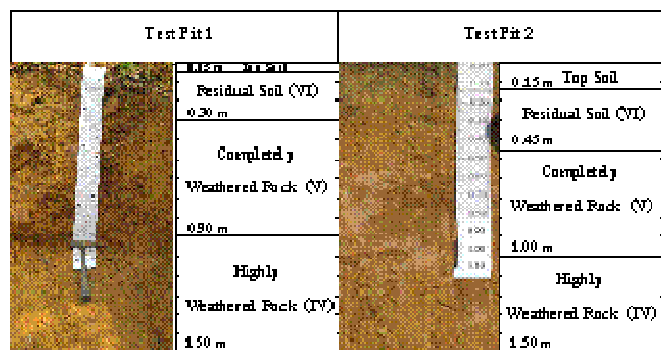
เครื่องมือวัดที่ทำการติดตั้งสามารถตรวจวัดตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการพิบัติของลาดดินดังได้กล่าวมาแล้ว ได้แก่ เครื่องวัดน้ำฝนซึ่งสามารถบันทึกค่าปริมาณน้ำฝนรายวันและรายนาที่ บ่อสังเกตการณ์เพื่อทราบระดับน้ำใต้ดิน เครื่องมือวัดศักย์แรงดันน้ำ/แรงดันน้ำในดินทั้งค่าบวกและลบ พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KU-Tensiometer) (อภินิติและวิญญูพงษ์, 2551ก) เพื่อเก็บข้อมูลค่าแรงดันน้ำทุก 30 นาที และเครื่องวัดมุมเอียง(Inclinometer) เพื่อวัดองศาการเอียงตัวของท่อพีวีซีซึ่งฝังลงในลาดดินถึงความลึก 0.50 ถึง 1.50 เมตร ดังได้อธิบายลักษณะของเครื่องมือไว้โดย อภินิติและวิญญูพงษ์ (2551ข) โดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดในพื้นที่ลาดชันเชิงเขาจำนวน 5 ระดับด้วยกัน และกำหนดความลึกของเครื่องมือวัดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมในสนาม

2.2 การสำรวจลักษณะชั้นดิน

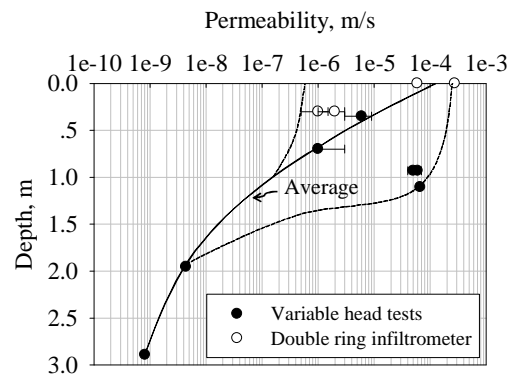
สำหรับการสำรวจลักษณะชั้นดินในพื้นที่ศึกษาได้ทำการขุดบ่อสำรวจ 2 ตำแหน่ง (Test Pit 1 & 2) ตามแนวลาดชันของการติดตั้งเครื่องมือดังภาพที่ 2 ลักษณะของชั้นดินและการจำแนกชั้นดินตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินและสี (Little, 1969) ของทั้ง 2 ตำแหน่งแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งสามารถจำแนกดินได้ 4 ชั้น ได้แก่ ชั้นผิวดิน ดินมีสีน้ำตาลเข้ม มีรากพืชปกคลุม ชั้นดินผุพังในชั้นหินที่ผุพังอย่างสมบูรณ์ เป็นชั้นดินที่มีหินที่ยังผุพังไม่สมบูรณ์ปนอยู่บ้าง และชั้นหินผุ ซึ่งมีร่องรอยของการเชื่อมประสานของเม็ดดินอยู่ค่อนข้างมาก



ภาพที่ 3 บ่อสำรวจลักษณะชั้นดินในพื้นที่ศึกษาเพื่อทำการจำแนกชั้นดินและเก็บตัวอย่าง

2.3 การทดสอบค่าความชื้นน้ำในสนาม

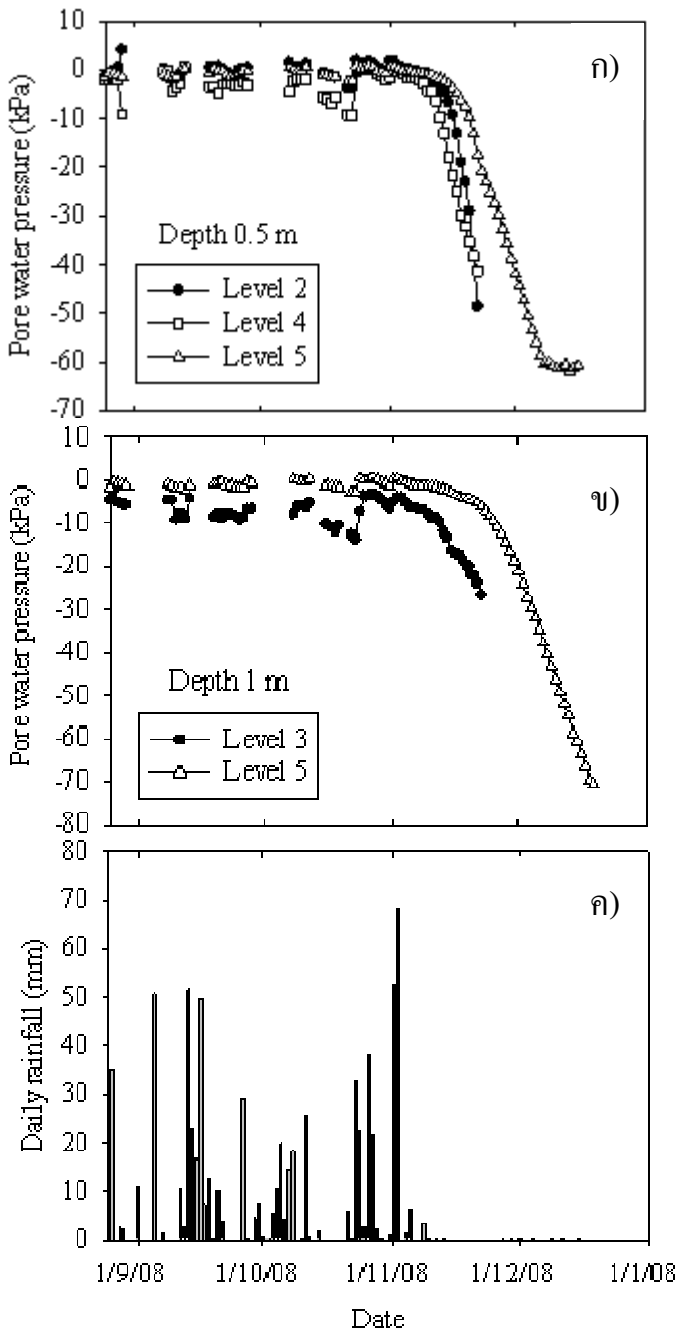
สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมในสนามได้ทำการทดสอบ โดยใช้วิธี Double ring infiltrometer ที่ระดับผิวดินและ Borehole test ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0.3 – 3 เมตร แสดงผลการทดสอบดังภาพที่ 4 พบว่าที่อัตราการไหลซึมที่ผิวดินจะมีค่ามากและลดลงตามความลึก โดยที่ความลึกประมาณ 3 เมตร จะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมน้อยกว่าค่าบริเวณผิวดินถึง 1,000 ถึง 100,000 เท่า ทั้งนี้ลักษณะการลดลงของสัมประสิทธิ์การไหลซึมลงตามความลึกนี้ ได้มีนักวิจัยจากนานาประเทศ อาทิ Vaughan (1985) และ Jotisankasa et al. (2008) พบว่าเป็นลักษณะที่ก่อให้เกิดระดับน้ำใต้ดินเสมือน Perched water table หรือแรงดันน้ำด้านบวกขึ้นได้ อันเป็นตัวการทำให้ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลและกำลังเฉือนลดลงบริเวณรอยต่อระหว่างดินและหินนั่นเอง



ภาพที่ 4 ผลการทดสอบหาอัตราการไหลซึมในสนามตามระดับติดตั้งเครื่องมือวัด

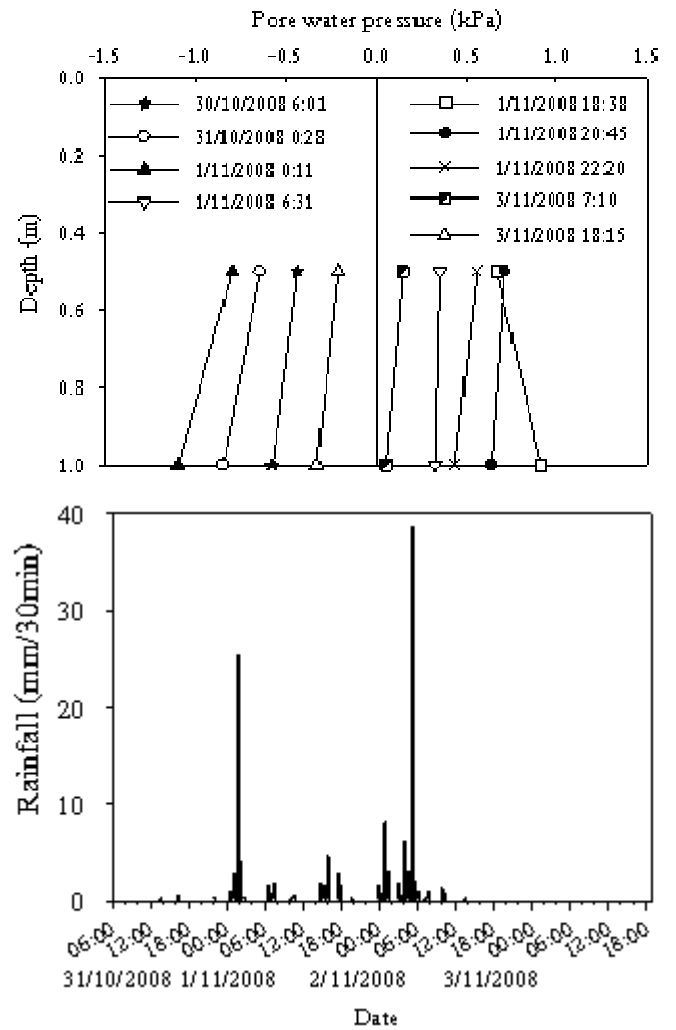
2.4 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมในสนาม

จากผลข้อมูลการตรวจวัดค่าแรงดันน้ำของลาดดินดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าค่าแรงดันน้ำที่ตรวจวัดได้ในลาดดินมีค่าในช่วงลบ คือ อยู่ภายใต้สภาวะแรงดูด โดยค่าแรงดันน้ำที่สูงที่สุดมีค่าประมาณศูนย์ในช่วงฤดูฝน การเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณน้ำฝนและระดับความลึกของชั้นดินนั้นๆ ซึ่งค่าแรงดันน้ำที่ระดับต่างๆ จะเริ่มมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่ฤดูฝน เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ซึมลงสู่ดิน และค่าแรงดันน้ำเริ่มเป็นลบมากขึ้นเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง นอกจากนั้นยังไม่พบการเคลื่อนตัวจากเครื่องวัดมุมเอียง ในระหว่างช่วงการตรวจวัดนี้



ภาพที่ 5 ผลการตรวจวัดค่าแรงดันน้ำและปริมาณน้ำฝนในสนามเป็นเวลา 4 เดือน

เมื่อพิจารณาค่าแรงดันน้ำตามความลึก ในช่วงความเข้มของน้ำฝนสูงสุด ระหว่างวันที่ 30/10/2008-3/11/2008 ดังภาพที่ 6 พบว่า แรงดันน้ำเริ่มเปลี่ยนแปลงจากค่าแรงดันเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าเป็นบวกและอยู่ในช่วง 1 กิโลปาสกาล ซึ่งเป็นค่าขอบเขตบนของการเก็บข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในสนาม

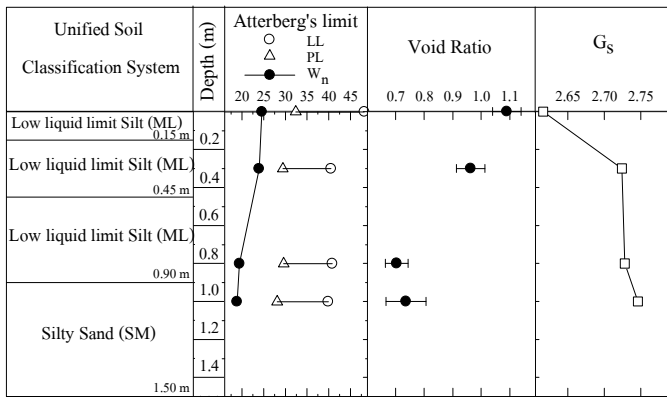


ภาพที่ 6 ค่าแรงดันน้ำตามความลึก ที่ระดับติดตั้งที่ 5 และปริมาณน้ำฝนราย 30 นาที ระหว่างวันที่ 30/10/2008-3/11/2008

3. ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

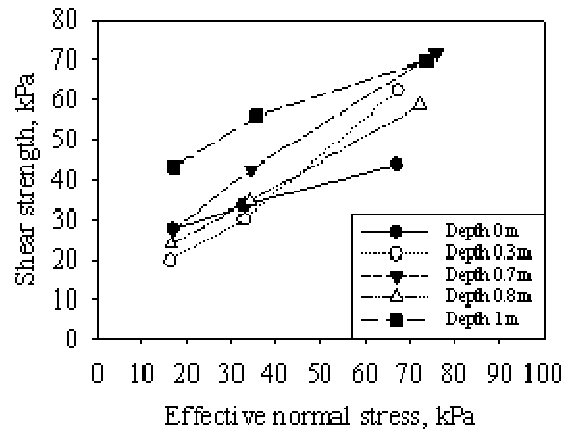
จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่บริเวณบ่อสำรวจที่ 2 เพื่อนำมาหาคูณสมบัติพื้นฐานของชั้นดินที่ระดับความลึกผิวดิน 0.3, 0.8, 1 เมตร มีรายละเอียดของผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 7 และเมื่อพิจารณาค่า Plastic Index (P.I.) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความเหนียวหรือความเป็นพลาสติกของดิน พบว่า ที่ระดับผิวดินมีค่ามากที่สุด และในระดับนี้ดินก็มีค่าอัตราส่วนช่องว่างมากที่สุดเช่นกัน



ภาพที่ 7 คุณสมบัติพื้นฐานของชั้นดินตามความลึก

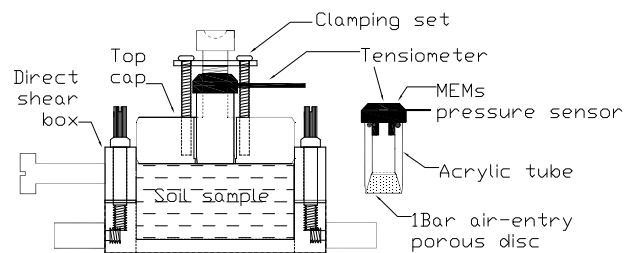
3.2 ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

สำหรับการประเมินพฤติกรรมด้านกำลังเฉือนของดิน ได้เลือกใช้วิธีการทดสอบเฉือนตรง ซึ่งมีความสะดวกในการเก็บตัวอย่างโดยกระบอกเปลือกบางและสอดคล้องกับลักษณะของการบีบอัดของมวลดินในพื้นที่ (วารสารและบรรพต, 2548) โดยได้ทำการทดสอบกับตัวอย่างดินที่เก็บแบบไม่ถูกรบกวน จากบ่อสำรวจที่ 1 ที่ระดับความลึก 0.7 เมตร และจากบ่อสำรวจที่ 2 ที่ระดับความลึกผิวดิน, 0.3, 0.8, 1 เมตร โดยทดสอบแบบ Consolidated-Drained (Slow) มีอัตราการเฉือนตัวอย่างเท่ากับ 0.05 มิลลิเมตรฟนาที่ ทั้งกับดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ใช้การเฉือนแบบ Multistage ที่หน่วยแรงตั้งฉาก 16, 32, 64 กิโลปาสกาล จากผลการทดสอบ ดังภาพที่ 8 และตารางที่ 1 พบว่า ค่ากำลังของดินที่ระดับความลึก 1 เมตรมีค่ามากที่สุด เนื่องมาจากชั้นดินระดับนี้ มีลักษณะเป็นหินผุ ซึ่งมีค่าความเชื่อมประสานระหว่างเม็ดดินอยู่สูง



ภาพที่ 8 เส้นการบีบอัดของตัวอย่างดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินไม่อิ่มน้ำ โดยใช้อุปกรณ์เฉือนตรงแบบตัดแปลงร่วมกับ KU-Tensiometer ดังภาพที่ 9 เพื่อสามารถวัดค่าแรงเฉือนในระหว่างการเฉือนได้ (Jotisankasa & Maraing, 2010) โดยทำการเฉือนตัวอย่างที่หน่วยแรงตั้งฉาก 16 กิโลปาสกาลหน่วยแรงเดียว เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักกดทับจากสภาพจริงในสนาม และทดสอบกับตัวอย่างดินจากบ่อสำรวจที่ 1 ที่ระดับความลึก 0.7 เมตร โดยเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดทับกับตัวอย่างดินด้วยวิธีพรมน้ำหรือตากตัวอย่างให้แห้งก่อนทดสอบในอุปกรณ์เฉือนตรง ซึ่งช่วงของค่าแรงเฉือนที่ใช้ในการทดสอบนั้น พิจารณาจากช่วงของค่าแรงเฉือนที่ตรวจวัดได้ในสนาม คือ ที่ค่าแรงเฉือน 3, 13, 31, 64 กิโลปาสกาล



ภาพที่ 9 อุปกรณ์เฉือนตรงแบบวัดค่าแรงเฉือนและ KU-Tensiometer

(Jotisankasa and Maraing, 2010) [4]

จากผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 10 พบว่า ตัวอย่างดินที่มีค่าแรงเฉือนมาก จะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินมีค่ามากขึ้นเช่นกัน โดยช่วงแรกเมื่อเริ่มการเฉือนตัวอย่างดินจะทรุดตัวลงก่อน โดยค่าแรงเฉือนจะลดลงเล็กน้อย จากนั้นตัวอย่างดินจะเริ่มขยายมากขึ้นและค่าแรงเฉือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างดินเฉือนผ่านช่วงค่ากำลังสูงสุด ดังภาพที่ 10ข) และ 10ค) ซึ่งได้พารามิเตอร์มุมเฉือนกำลังของดินไม่อิ่มน้ำ (ϕ^b) เท่ากับ 27.72 °

ดังตารางที่ 1 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือน แรงดัด และหน่วยแรงตั้งฉาก ของดินในสภาวะไม่อิ่มน้ำ สามารถแสดง ดังสมการที่ 1 (Fredlund & Rahardjo, 1993)

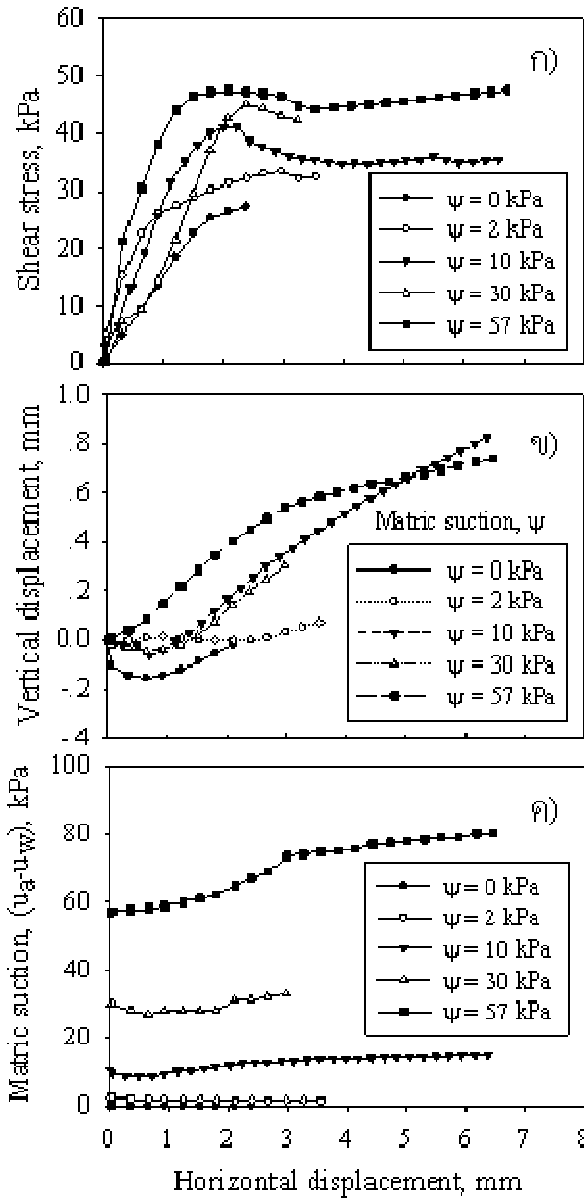
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือน

ความลึก (เมตร)	c' (กิโลปาสคาล)	ϕ' องศา	ϕ^b องศา
0	22.8	17.6	-
0.3	4.6	40.4	-
0.7	15.9	36.6	27.7
0.8	13.7	32	-
1.0	37.2	24.5	-

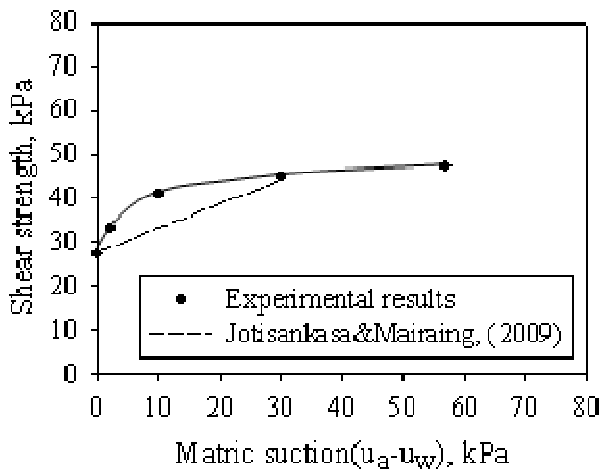
ความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับแรงเฉือนและค่าแรงดัดของ ตัวอย่างที่ความลึก 0.7 เมตร สามารถคำนวณได้จาก ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือน แรงดัด และหน่วยแรง ตั้งฉาก ของดินในสภาวะไม่อิ่มน้ำ แสดงดังสมการที่ 1 (Fredlund & Rahardjo, 1993)

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (1)$$

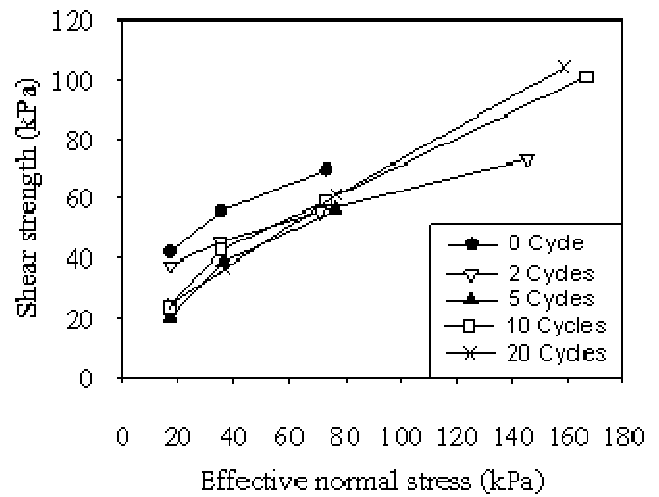
โดย c' คือ ความเชื่อมแน่นประสิทธิผล, σ คือ หน่วยแรง รวมตั้งฉาก, u_a คือ ความดันอากาศในช่องว่าง (สำหรับการ ทดสอบเฉือนตรงนี้ความดันอากาศเท่ากับสภาวะบรรยากาศ $u_a = 0$), u_w คือ แรงดันน้ำในช่องว่าง (ค่าติดลบ), ϕ' คือ มุมของกำลัง เฉือนเนื่องจากหน่วยแรงตั้งฉากประสิทธิผล, ϕ^b คือ มุมของ กำลังเฉือนเนื่องจากแรงดัด จากภาพที่ 11 พบว่า ความสัมพันธ์ ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนและค่าแรงดัดที่ทดสอบได้มีลักษณะ เป็นเส้นโค้งซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต อาทิ Vanapalli et al., (1996) นอกจากนี้ ยังได้ทำการพล็อตผลการทดสอบ เปรียบเทียบกับผลจากสมการทำนายค่ากำลังเฉือนโดยใช้ค่า Field capacity (θ_{33}) ที่เสนอโดย Jotisankasa & Maraing (2010) ซึ่งพบว่าให้ค่าที่ต่ำกว่าผลจากการทดสอบไม่เกินประมาณ 20% ในช่วงแรงดัดน้อยกว่า 30 kPa



ภาพที่ 10 พฤติกรรมรับแรงเฉือนของตัวอย่างดิน ที่ระดับความลึก 0.7 เมตร ที่มีค่าแรงดัดที่แตกต่างกัน ในการทดสอบการเฉือนตรง แบบวัดค่าแรงดัด ที่หน่วยแรงตั้งฉาก 16 กิโลปาสคาล



ภาพที่ 11 ค่ากำลังรับแรงเฉือนและค่าแรงดูดของตัวอย่างดินที่ความลึก 0.7 เมตร ทดสอบที่ค่าหน่วยแรงตั้งฉากเท่ากับ 16 kPa



ภาพที่ 12 ผลการทดสอบการเฉือนตรงจากตัวอย่างดินที่ผ่านการเปียกสลับแห้ง

3.3 ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในสถานะแห้งสลับเปียก

สำหรับการทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในสถานะแห้งสลับเปียก มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสภาพการผุพังของชั้นหินผุเมื่อมีการเปิดหน้าดินเพื่อทำการก่อสร้าง เช่น การตัดถนนผ่านบริเวณภูเขา ทำให้ชั้นหินบริเวณนั้นถูกเปิดและได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศ ในกรณีนี้จำลองสภาพรุนแรงที่สุดของสภาพความชื้นและอุณหภูมิที่มีผลต่อการผุพัง โดยใช้ตัวอย่างดินชั้นหินผุที่ระดับความลึก 1 เมตร นำมาแช่น้ำประมาณ 2-3 วันโดยมีน้ำหนักกดทับที่ 1 กิโลปาสคาล จนกระทั่งดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากนั้นนำดินเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศา เป็นเวลา 1 วัน ถือเป็น 1 รอบของการเปียกสลับแห้ง ซึ่งทำการทดสอบที่ 2, 5, 10, 20 รอบโดยเปรียบเทียบผลการทดสอบการเฉือนตรงกับตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน

จากภาพที่ 12 พบว่า เมื่อตัวอย่างดินผ่านการเปียกสลับแห้ง จะส่งผลให้ค่าความเชื่อมั่นของดินลดลง และเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการเปียกสลับแห้ง เป็น 5, 10, 20 ครั้ง พบว่า ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจะมีลักษณะคล้ายกับค่ากำลังรับแรงเฉือนคงค้าง (Residual strength) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อจำนวนรอบของการเปียกสลับแห้งเพิ่มขึ้น แสดงค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนของการทดสอบเปียกสลับแห้ง

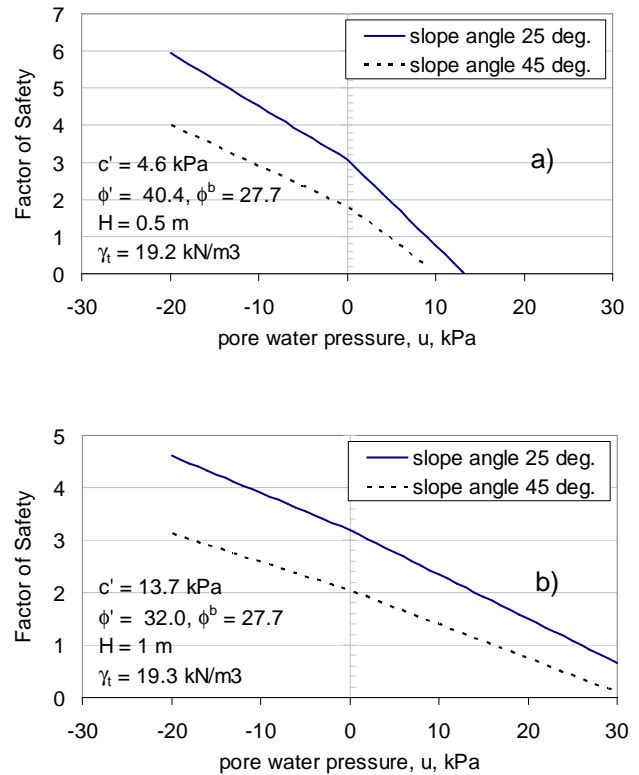
จำนวนรอบของการเปียกสลับแห้ง	c' (กิโลปาสคาล)	ϕ' (องศา)
0	37.2	24.5
2	34.9	15.1
5	13.5	29.9
10	20.9	26.0
20	15.9	29.3

3.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชัน

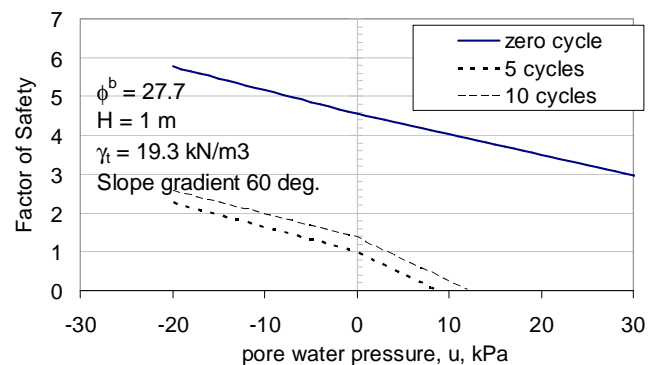
ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบลาดอนันต์ (Infinite Slope) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการพิบัติในพื้นที่ลาดชันแฉกจังหวัดอุดรดิตถ์ เป็นการพังแบบการเคลื่อนแนวระนาบ (Translational Slides) โดยพิจารณาค่าสัดส่วนความปลอดภัยดังสมการที่ 2

$$F = \frac{c' + (\gamma \cdot z \cos^2 \beta) \cdot \tan \phi' - u_w \cdot \tan \phi''}{\gamma \cdot z \sin \beta \cdot \cos \beta} \quad (2)$$

โดย c' คือ ความเชื่อมแน่นประสิทธิผล, γ คือ ความหนาแน่นของดิน, β คือ มุมของลาดชัน, u_w คือ แรงดันน้ำในช่องว่าง (ค่าติดลบ), ϕ' คือ มุมของกำลังเฉือนเนื่องจากหน่วยแรงตั้งฉากสุทธิ ($\sigma - u_a$), ϕ'' คือ มุมของกำลังเฉือนเนื่องจากแรงคูด (โดย $\phi'' = \phi'$ ถ้า $u_w > 0$, และ $\phi'' = \phi^b$ ถ้า $u_w \leq 0$) ในการวิเคราะห์ครั้งนี้จะใช้ความลึกของการพิบัติเท่ากับ 0.5 และ 1 เมตรซึ่งมีค่าความชัน 25, 45 และ 60 องศาโดยพิจารณาว่าเป็นตัวแทนของสภาพภูมิประเทศที่สูงชันในพื้นที่จังหวัดอุดรดิตถ์ซึ่งเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมดินถล่ม และใช้พารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนจากตารางที่ 1 และภาพที่ 12 จากผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 13 แสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าสัดส่วนความปลอดภัยและค่าแรงดันน้ำ สำหรับลาดดินที่มีแนวการพิบัติที่ความลึก 0.5 และ 1 เมตร ที่ความชัน 25 และ 45 องศาพบว่า ที่ค่าสัดส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1 ค่าแรงดันน้ำมีค่าเป็นบวกในลาดดินทั้งสองความชัน ซึ่งเป็นแรงดันน้ำที่ก่อให้เกิดการพิบัติของลาดนั่นเอง และเมื่อพิจารณาผลกระทบของการเปียกสลับแห้งต่อเสถียรภาพของลาด ดังภาพที่ 14 โดยพิจารณาลาดที่มีความชัน 60 องศาพบว่า ค่าแรงดันน้ำที่ส่งผลให้เกิดการพิบัติหรือเมื่อค่าสัดส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1 มีค่าเข้าใกล้ค่า 0 หรือน้อยกว่านั้น ซึ่งแสดงถึงเสถียรภาพของลาดดินที่ลดลงเมื่อดินเกิดการเปียกสลับแห้งและสูญเสียความเชื่อมประสานนั่นเอง อาจกล่าวได้ว่าที่จุดพิบัติของลาดดินซึ่งผุพังอย่างมากจากภาวะเปียกสลับแห้ง และมีความลาดชันมาก (> 60 องศา) แรงดันน้ำในลาดนั้นอาจไม่จำเป็นต้องมีค่าเกินศูนย์ ลาดดินก็อาจจะเกิดการพิบัติได้แม้มีแรงดันน้ำค่าลบหรือดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำนั่นเอง



ภาพที่ 13 ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปลอดภัยและค่าแรงดันน้ำ ของตัวอย่างดินที่ระดับความลึกและความชันต่างๆ



ภาพที่ 14 ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปลอดภัยและค่าแรงดันน้ำ ของตัวอย่างดินที่ผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้ง 5 และ 10 ครั้ง

4. สรุป

บทความนี้ได้อธิบายถึงพฤติกรรมทางกลศาสตร์ที่สำคัญของดินที่มีอิทธิพลต่อการพิบัติในระดับตื้นของดินที่ผุพังจากหินตะกอนในพื้นที่จังหวัดอุดรดิตถ์ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยดินที่ความลึก 1 เมตรจะมีค่าความเชื่อมแน่นมากที่สุด เนื่องจากค่า cementation ของชั้นหินผุ ซึ่งค่าความเชื่อมแน่นของตัวอย่างดินจะมีค่าลดลงเมื่อดินผ่านสภาวะเปียก



สลับแห้ง และจากการวิเคราะห์แบบลาดอนันต์ในเบื้องต้น พบว่าสาเหตุหลักของการพิบัติของลาดดิน เกิดเนื่องมาจากการผุพังของชั้นดินและค่าแรงดันน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นในมวลดิน

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสภากิจแห่งชาติ ข้อมูลพื้นฐานจากศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอขอบคุณนายรินทร์ ทรัพย์ชัยนันท์ นายวสันต์ สุทธิบูรณ์ นาย วุฑฒาธิ วิชาโชค นาย วิษณุพงศ์ ฟอร์ดิยะ ซึ่งเป็นคณะวิจัยในการปฏิบัติงานภาคสนามในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วรากร ไม้เรียง และ บรรพต กุลสุวรรณ. 2548. สถานการณ์และปัญหาแผ่นดินถล่มในประเทศไทย Proceedings of EIT-JAPAN-AIT Joint Seminar 2005 Geo-Risk Engineering & Management, Engineering Institute of Thailand
- [2] สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์, วรวัชร ตอวิวัฒน์ และ วรากร ไม้เรียง. 2550. การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเพื่อสนับสนุนการเตือนภัยดินถล่มจากฝนตกหนัก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12, พิชญโลก, ประเทศไทย, 2-4 พฤษภาคม 2550.
- [3] อภินิติ โชติสังกัส และ วิษณุพงศ์ ฟอร์ดิยะ. 2551ก. การพัฒนาเครื่องมือวัดศักยภาพแรงดันน้ำในดิน. การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 46 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, จัดโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บางเขน
- [4] อภินิติ โชติสังกัส และ วิษณุพงศ์ ฟอร์ดิยะ, 2551ข. การพัฒนาระบบตรวจวัดพฤติกรรมดินถล่ม. การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน, จัดโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 28-29 มกราคม 2551
- [5] ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมและฐานราก. 2552. รายงานวิจัยฉบับสุดท้ายโครงการการศึกษาพฤติกรรมน้ำท่วม-ดินถล่มในพื้นที่ต้นแบบเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับกำหนดเกณฑ์และวิธีการในการเตือนภัย นำเสนอต่อสภากิจแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บางเขน
- [6] Fredlund, D.G. and Morgenstern, N.R. 1993. Soil Mechanics for Unsaturated Soil. John Wiley & Sons.
- [7] Jotisankasa, A. and Mairaing, W. 2010. Suction-monitored direct shear testing of residual soils from landslide-prone areas, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 136, No. 3, March 1, 2010.

- [6] Jotisankasa, A., Kulsuwan, B., Toll, D., and Rahardjo, H. 2008. Studies of rainfall-induced landslide in Thailand and Singapore, The First European Conference on Unsaturated Soils (E-UNSAT) , Organized by Durham University and University of Glasgow, 2-4 July, 2008, Durham, UK, pp 901-907
- [8] Vaughan, P.R. (1985) Pore pressures due to infiltration into partly saturated slopes. Proc. 1st International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic soils. Vol 2 Brazil.