



การทำนายค่าแรงดันน้ำช่องว่างดินจากปริมาณน้ำฝน  
กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1009 กม.42 ดอยอินทนนท์  
The Prediction of Pore-Water Pressure from Rainfall  
A Case Study of Highway No.1009, KM 42, Doi-intanon

ไกรโรจน์ มหรรณพกุล<sup>1\*</sup> และ อภินิติ โชติสังกาศ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพฯ

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการทำนายค่าแรงดันน้ำช่องว่างดินจากปริมาณน้ำฝน ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองในโปรแกรมวิเคราะห์การไหลซึมในดิน โดยใช้ข้อมูลแรงดันน้ำช่องว่างดิน กับปริมาณน้ำฝน เป็นตัวนำเข้าข้อมูล และใช้สมบัติกำลังรับแรงเทียบกับสมบัติความชื้นน้ำและการอุ้มน้ำในดิน เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม จากกรณีศึกษาในพื้นที่ทดสอบลาดชันทางหลวงหมายเลข 1009 กม.42 ดอยอินทนนท์ อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ซึ่งมีการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำช่องว่างดินชนิด KU-tensiometer ที่ระดับความลึก 0.5, 1, 2 และ 3 เมตร เพื่อประเมินแรงดันน้ำในช่องว่างทั้งค่าบวกและค่าลบ ผลการวิเคราะห์ทำให้สามารถทำนายค่าแรงดันน้ำช่องว่างดินจากปริมาณน้ำฝนได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของแรงดันช่องว่างดินที่ตรวจวัดจาก KU-tensiometer พบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยจากกรณีศึกษานี้พบว่า เมื่อมีความเข้มของปริมาณน้ำฝนมากหรือมีปริมาณน้ำฝนสูงในช่วงเวลาสั้นๆ จะทำให้แรงดันน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าความเข้มน้อยของปริมาณน้ำฝนน้อยหรือใช้เวลาดกนาน แม้ว่าจะมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายวันเท่ากันก็ตาม แต่จะส่งผลกระทบต่อแรงดันน้ำไม่เหมือนกัน

คำสำคัญ: แรงดันน้ำช่องว่างดิน, ปริมาณน้ำฝน, ดอยอินทนนท์

### Abstract

This paper reports on the prediction of pore-water pressure from rainfall, which was conducted by modeling seepage in the Finite Element program. The values of pore-water pressure and rainfall were used as input data. The permeability as well as soil-water characteristic curve were used in modeling seepage for a case study of Highway No.1009,

\* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)

E-mail address: krairoj@gmail.com

KM 42, Doi-intanon, Chom Thong district, Chiang Mai. In addition, the KU-tensiometers were installed at depth of 0.5, 1, 2 and 3 metres to monitor both positive and negative pore water pressure along the slope. This analysis was intended to predict variation of pore-water pressure from rainfall, and its accuracy was assessed by comparing prediction with field measurement of pore-water pressure from KU-tensiometer. This case study also indicates that the high intensity of rainfall tends to induce rapid increase in pore-water pressure, while low intensity of rainfall (with the same accumulated rainfall) tends to affect pore-water pressure variation in a different way.

Keywords: pore-water pressure, rainfall, Doi-intanon

### 1. คำนำ

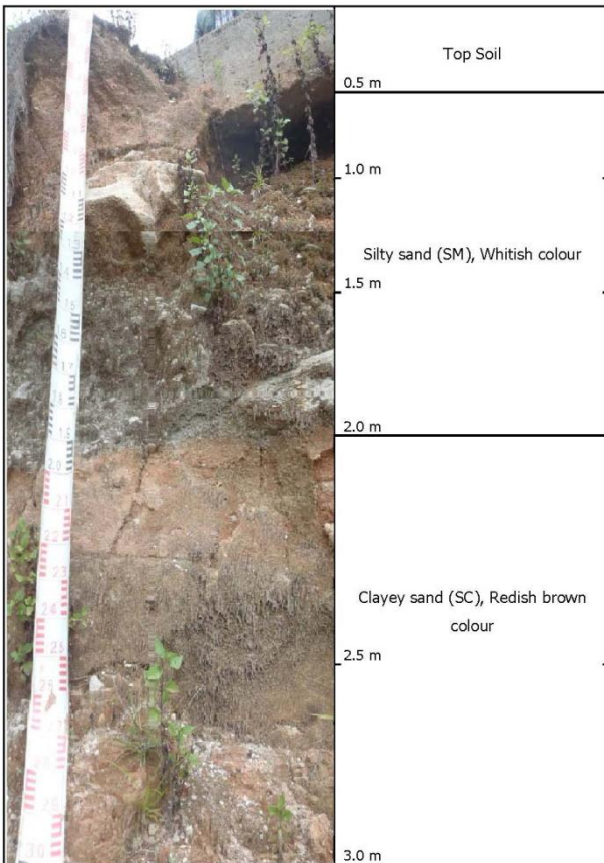
ในปัจจุบันเกณฑ์การเตือนภัยดินถล่มนิยมใช้ปริมาณน้ำฝนเป็นหลัก เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สื่อสารให้บุคคลทั่วไปเข้าใจได้ง่าย แต่ทั้งนี้ปัจจัยที่สำคัญในการเตือนภัยดินถล่มอีกประการหนึ่งก็คือ แรงดันน้ำช่องว่างดิน ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญ แม้ว่าวิศวกรส่วนใหญ่ยังไม่ได้ให้ความสำคัญและยังไม่เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำช่องว่างดินกับปริมาณน้ำฝนอย่างดีเพียงพอ

บทความนี้เป็นการนำเสนองานส่วนหนึ่งของ [1] ต่อเนื่องจาก [2] ซึ่งได้ทำการตรวจวัดแรงดันน้ำช่องว่างดินและปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ทดสอบลาดได้ค้นทางหลวงหมายเลข 1009 ช่วง กม.42 ดอยอินทนนท์ อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ โดยบทความนี้นำเสนอผลการทำนายค่าแรงดันน้ำช่องว่างดินจากปริมาณน้ำฝน โดยใช้แบบจำลองการไหลซึมในดิน ด้วยโปรแกรมไฟไนท์อีลิเมนต์ โดยใช้ข้อมูลแรงดันน้ำช่องว่างดิน กับปริมาณน้ำฝน เป็นตัวนำเข้าข้อมูล และใช้สมบัติความชื้นน้ำและการอุ้มน้ำในดิน

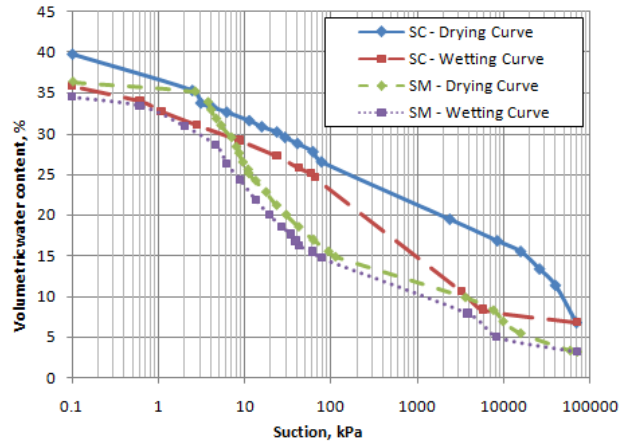
เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม ทำให้สามารถทำนายผลแรงดันน้ำในช่วงเวลาต่างๆที่ฝนปริมาณแตกต่างกัน

## 2. คุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา

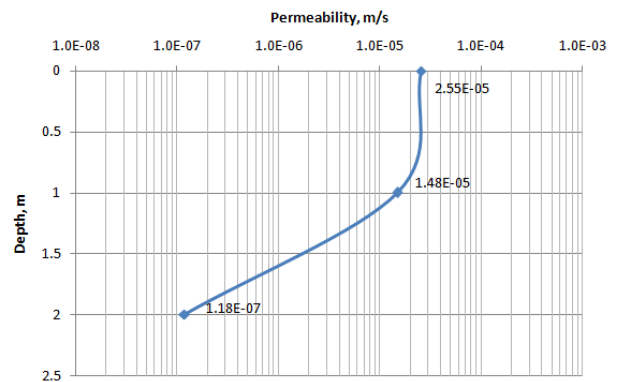
จากผลการศึกษาใน [2] ซึ่งได้แบ่งดินที่พบในสนามเป็น 2 กลุ่ม คือ ดิน Silty sand (SM) และ Clayey sand (SC) ดังรูปที่ 1 โดยดินทั้งสองตัวอย่างมีผลทดสอบเส้นอัตราลักษณ์ของน้ำในดิน (Soil-Water Characteristic Curve หรือ SWCC) ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยวิธี Point-Wise Measurement [3] จากกราฟจะเห็นได้ว่าดิน SC มีพฤติกรรมของ Drying Curve กับ Wetting Curve ที่แตกต่างกันมากซึ่งเป็นผลจากลักษณะของฮิสเตอร์เรซิส (Hysteresis) โดยดิน SC ที่มีปริมาณดินเหนียวที่มากกว่า จึงมีอิทธิพลจากฮิสเตอร์เรซิสที่มากกว่าดิน SM แต่ในส่วนของดิน SM กราฟ Drying Curve กับ Wetting Curve มีความแตกต่างกันอยู่เล็กน้อย เนื่องจากมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวที่น้อยกว่าดิน SC จึงมีอิทธิพลจากฮิสเตอร์เรซิสที่น้อยกว่า



รูปที่ 1 การแบ่งลักษณะชั้นดินที่พบในสนาม



รูปที่ 2 เส้นโค้งอัตราลักษณ์ของน้ำในดิน (SWCC)



รูปที่ 3 ค่าความซึมน้ำที่ได้จากในสนาม

สำหรับผลการทดสอบความซึมน้ำจากการศึกษาใน [1] ซึ่งเป็นการทดสอบความซึมน้ำในสนามที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำด้วยวิธี Double Ring Infiltrometer ได้ผลดังรูปที่ 3 จากกราฟเห็นได้ว่าที่ระดับผิวดินกับระดับความลึก 1 เมตรจากผิวดิน มีค่าความซึมน้ำที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นเพราะเป็นกลุ่มดินชนิดเดียวกันคือ SM ตามรูปที่ 1 แต่ในส่วนระดับความลึก 2 เมตรจากผิวดินจะมีค่าความซึมน้ำที่ลดลงต่ำเกือบถึง  $10^{-7}$  m/s ซึ่งจัดว่าเป็นดินที่มีลักษณะค่อนข้างทึบน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียวที่มีพลาสติกค่า (CL) [4] โดยลักษณะค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมที่ลดลงตามความลึกนี้เป็นลักษณะที่ก่อให้เกิดระดับน้ำใต้ดินเสมือน (Perched water table) หรือแรงดันน้ำด้านบวกขึ้นได้ [5,6]

โดยลักษณะของพฤติกรรมต่างๆ ที่กล่าวมานี้จะนำมาใช้ในการพิจารณากำหนดแบบจำลองเพื่อทำนายค่าแรงดันน้ำดินน้ำในหัวข้อต่อไป

## 3. การกำหนดขอบเขตแบบจำลอง

การกำหนดขอบเขตแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายค่าแรงดันน้ำจากปริมาณน้ำฝนนี้ ได้กำหนดจากคุณสมบัติของดินดังที่กล่าวมาข้างต้น มาสร้างแบบจำลองในโปรแกรมวิเคราะห์การไหลซึม Seep/W โดยเลือกใช้ค่าความซึมน้ำในสนาม ที่ระดับความลึก 1 เมตร ซึ่งมีค่า  $1.482 \times 10^{-5}$  เมตร/วินาที กำหนดให้เป็นตัวแทนค่าความซึมน้ำของชั้นดินที่ความลึก 0 ถึง 2 เมตร ซึ่งเป็นดิน SM (Silty sand) สำหรับค่าความซึมน้ำที่ระดับความลึก 2

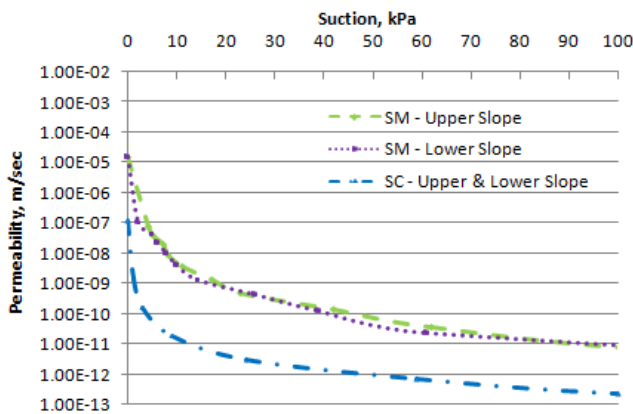
เมตร มีค่า  $1.176 \times 10^{-7}$  เมตร/วินาทีที่กำหนดให้เป็นตัวแทนค่าความชื้นน้ำที่ระดับความลึก 2 ถึง 3 เมตร และเป็นดิน SC (Clayey sand) เนื่องจากค่าความชื้นน้ำที่ระดับความลึก 2 เมตรจากผิวดินมีความที่บ้น้ำค่อนข้างมาก

นอกจากนี้แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณนี้ต้องมีข้อมูลความชื้นน้ำในสถานะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำด้วย งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดสมบัติความชื้นน้ำของดินในสถานะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำของทั้งดินสองกลุ่มจากการคำนวณเพื่อทำนายค่า k-function (ความสัมพันธ์ของค่าการไหลซึมของน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามค่าแรงดูด) จากเส้นอัตรลักษณ์ (SWCC) ของดินในรูปแบบที่ 2 โดยใช้วิธีของ Jackson [7] ดังสมการที่ (1)

$$K_i = K_s \left( \frac{\theta_i}{\theta_s} \right)^c \cdot \frac{\sum_{j=i}^m [(2j+1-2i) \cdot \psi_j^{-2}]}{\sum_{j=1}^m [(2j-1) \cdot \psi_j^{-2}]} \quad (1)$$

- เมื่อ  $K_i$  คือค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำที่ความชื้น  $\theta_i$   
 $K_s$  คือค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำที่สถานะอิ่มตัว  
 $m$  คือจำนวน increment ของ  $\theta$  โดยแบ่งตั้งแต่สถานะอิ่มตัว  $\theta_s = n$  จนถึงสถานะแห้งสนิท  
 $\psi_j$  คือค่า suction head (m, cm) ที่จุดกึ่งกลางของ  $\theta$ -increment  
 $i$  คือดัชนีบ่งชี้ถึงขนาดของช่องว่าง (pore size class)  
 $j$  คือดัชนีสำหรับคำนวณอนุกรม  
 $c$  คือค่าแฟกเตอร์ปรับแก้ 0-4/3 (ทั่วไปใช้ = 1)

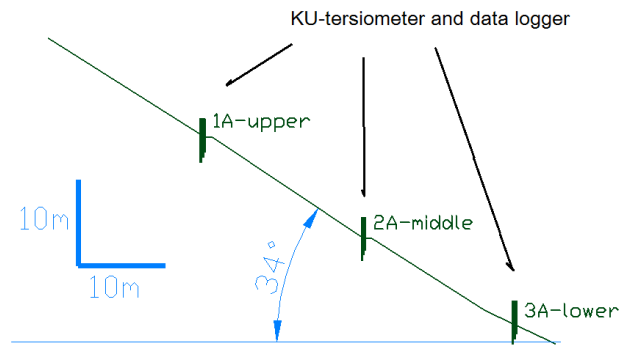
จากการคำนวณตามสมการข้างต้นจะได้ผลความชื้นน้ำดังรูปที่ 4



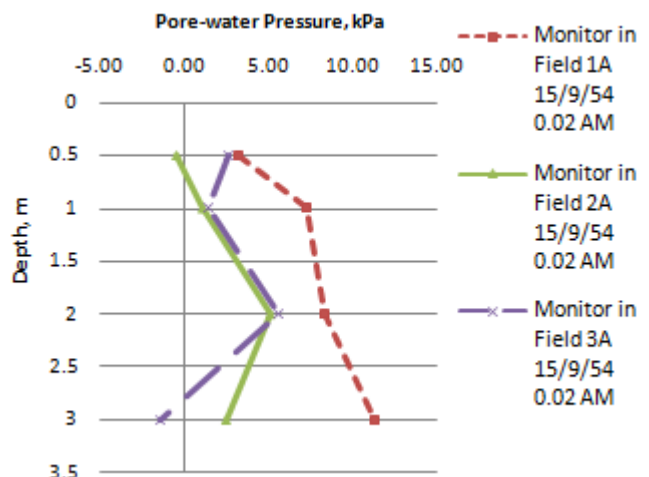
รูปที่ 4 ค่าความชื้นน้ำในสถานะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

จากรูปที่ 4 เป็นค่าความชื้นน้ำที่คำนวณจากความชื้นน้ำที่สถานะอิ่มตัวด้วยน้ำและเส้นอัตรลักษณ์ของดิน (SWCC) โดยได้ทำการแบ่งออกเป็น ส่วนคือ Upper Slope และ Lower Slope เนื่องจากมีพฤติกรรมของแรงดันน้ำที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวไว้ [2] กล่าวคือที่ตำแหน่ง 1A มีลักษณะแรงดันเพิ่มขึ้นตามความลึก แต่ที่ตำแหน่ง 2A และ 3A มีลักษณะลดลงเมื่อความลึกมากกว่า 2 เมตร (ดูรูปที่ 5 และ 6) ดังนั้นในการกำหนดคุณสมบัติของดินในแบบจำลองจึงแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ Upper Slope และ Lower Slope โดยค่าความชื้นน้ำของดิน SM - Upper Slope คำนวณจาก

SWCC – Drying Curve และ ค่าความชื้นน้ำของ ดิน SM – Lower Slope คำนวณจาก SWCC – Wetting Curve แต่สำหรับดิน SC Upper Slope และ Lower Slope ทั้งสองส่วนคำนวณจาก SWCC – Wetting Curve เนื่องจากเป็นชั้นที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินเสมือน หลังจากกำหนดคุณสมบัติได้ครบ จึงทำการวิเคราะห์การไหลแบบคงที่ (Steady state) โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างแรงดันน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับแรงดันน้ำที่ได้จาก KU-Tensiometer เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองและพารามิเตอร์ k-function และ SWCC ที่เลือกใช้



รูปที่ 5 ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำ [8]

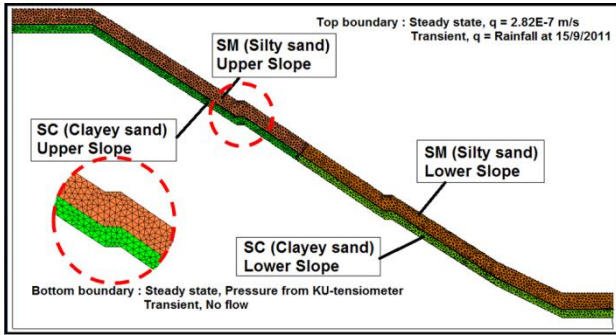


รูปที่ 6 ค่าแรงดันน้ำช่องว่างดินที่ตรวจวัดในวันที่ 15 กันยายน 2554

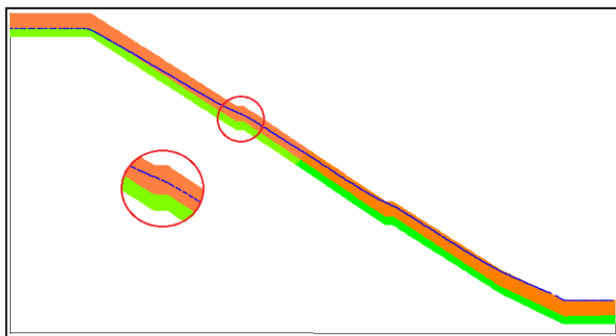
สำหรับรูปแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลแบบคงที่ (Steady state) เพื่อใช้กำหนดเป็นสถานะเริ่มต้น (Initial condition) มีดังนี้

- กำหนดขอบเขตผิวบนสุด (Top boundary conditions) ให้มีการไหลซึมลงที่อัตราคงที่ (Unit flux,  $q$ ) โดยกำหนดจากน้ำฝนเดือน กันยายน 2554 มีค่า 731 มิลลิเมตร/เดือน ( $q = 2.82 \times 10^{-7}$  m/s) [8]
- กำหนดค่าให้การไหลเป็นแบบหนึ่งมิติ จึงให้ลักษณะ boundary ของด้านหน้าตัดดินเป็นลักษณะ boundary ของด้านข้างหน้าตัดดินเป็นลักษณะที่บ้น้ำ (No flow)
- กำหนดขอบเขตล่าง (Bottom boundary conditions) เป็นค่า head ที่ด้านล่างสุด (ระดับความลึก 3 เมตรจากผิวลาด) ที่สามารถหาได้จากแรงดูดที่วัดได้จริงในสนามโดย KU-Tensiometer ที่ตำแหน่ง 1A, 2A และ 3A โดย

แบบจำลองที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 7 ซึ่งได้แบ่งชั้นดินเป็นสองชั้นคือ ชั้น SM หนา 2 เมตร และชั้น SC หนา 1 เมตร โดยในแบบจำลองได้กำหนดขอบเขตระยะความสูงจากผิวบนสุดถึงล่างสุด 40 เมตร ระยะทางราบจากซ้ายสุดถึงขวาสุด 58 เมตร และมีความชันของลาด 34 องศา



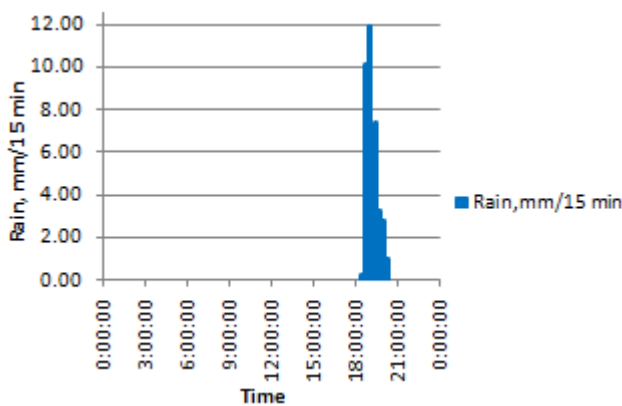
รูปที่ 7 แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์การคำนวณค่าแรงดันน้ำ



รูปที่ 8 ผลระดับน้ำใต้ดินจากช่วง Steady state

จากแบบจำลองในรูปที่ 7 ได้ผลการวิเคราะห์แสดงด้วยระดับน้ำใต้ดินในช่วง Steady state ดังรูปที่ 8 ซึ่งจะได้นำผลระดับน้ำใต้ดินนี้มาใช้ในการวิเคราะห์แบบไม่คงที่ (Transient analysis) เพื่อใช้ในการประเมินแรงดันน้ำที่สถานะฝนตกที่ความเข้มต่างๆกันต่อไปโดยการวิเคราะห์แบบไม่คงที่ (Transient analysis) นี้ มีการกำหนดสถานะดังนี้

1. สภาพขอบเขตบน (Top boundary conditions) ของการวิเคราะห์แบบ Transient กำหนดให้มีฝนตกที่ความเข้มฝนตามที่วัดได้จาก Rain Gauge ในวันที่ 15 กันยายน 2554 ที่มีปริมาณน้ำฝนรวมเท่ากับ 42.672 มิลลิเมตรต่อวัน ดังรูปที่ 9



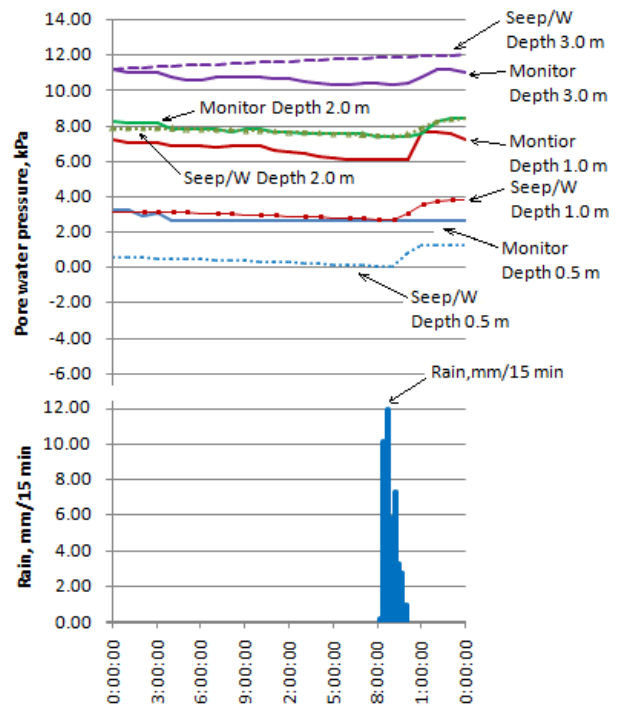
รูปที่ 9 ปริมาณฝนราย 15 นาที ที่ตกในวันที่ 15 กันยายน 2554

2. สภาพขอบเขตล่าง (Bottom boundary conditions) ที่ระดับความลึก 3 เมตรจากผิวลาด กำหนดให้เป็นสภาวะที่บัพน้ำ (No flow) เนื่องจากมีลักษณะค่อนข้างที่บัพน้ำมาก

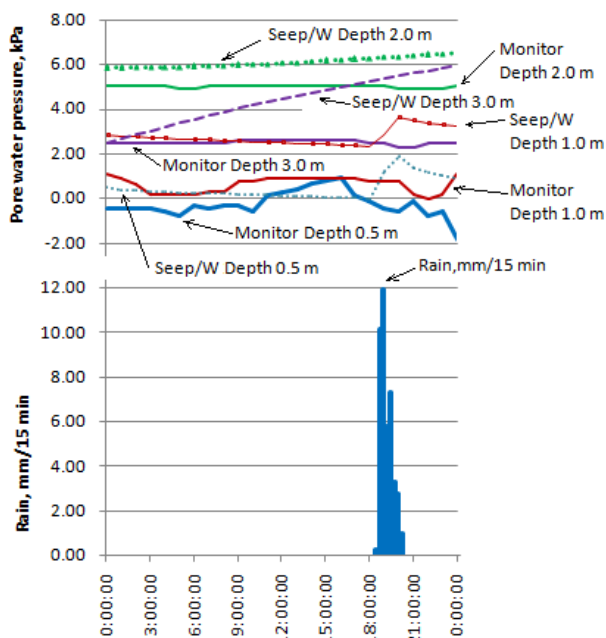
สำหรับการวิเคราะห์แบบ Transient นี้ ต้องใช้ข้อมูลเส้นอัตราค้ำยของดิน (SWCC) ในการวิเคราะห์ด้วย โดยได้เลือกใช้เส้นอัตราค้ำยของดินจากการทดสอบคุณสมบัติความชื้นน้ำของดินไม่อุ้มตัวด้วยน้ำในช่วงกราฟ Wetting Curve จากรูปที่ 2 ดังที่กล่าวไปแล้วนั้น

#### 4. ผลการทำนายค่าแรงดันน้ำ

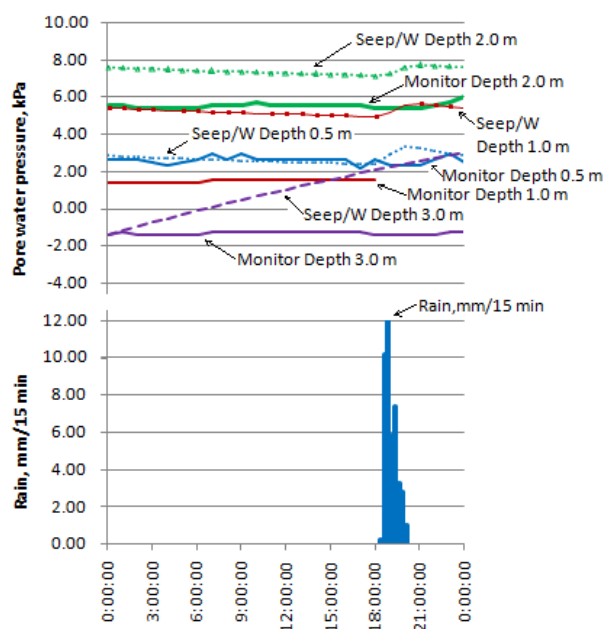
จากแบบจำลองในรูปที่ 7 สำหรับการวิเคราะห์แบบ Transient ซึ่งจะสามารถทำนายค่าแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำฝนที่ตกในวันที่ 15 กันยายน 2554 โดยผลสามารถพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าแรงดันน้ำที่วัดได้จากในสนามดังรูปที่ 10 ถึง 12



รูปที่ 10 ผลการทำนายค่าแรงดันน้ำเปรียบเทียบกับการตรวจวัดในสนามที่ตำแหน่ง 1A ของวันที่ 15 กันยายน 2554



รูปที่ 11 ผลการทำนายค่าแรงดันน้ำเปรียบเทียบกับตรวจวัดในสนาม ที่ตำแหน่ง 2A ของวันที่ 15 กันยายน 2554



รูปที่ 12 ผลการทำนายค่าแรงดันน้ำเปรียบเทียบกับตรวจวัดในสนาม ที่ตำแหน่ง 3A ของวันที่ 15 กันยายน 2554

จากรูปที่ 10 ถึง 12 เห็นได้ว่าที่ระดับความลึก 1 เมตร และ 2 เมตรค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัดมากที่สุด ส่วนที่ระดับความลึก 3 เมตร ค่าที่ได้จากแบบจำลองค่อนข้างแตกต่างกันมาก ซึ่งเกิดจากความแปรปรวนของดินในสนามที่มีความแปรปรวนสูง แต่ในแบบจำลองกำหนดให้ดินมีแค่สองชั้น และนอกจากนี้ในแบบจำลองกำหนดให้ที่ระดับความลึกมากกว่า 3 เมตร เป็นชั้นที่บดน้ำ ฉะนั้นที่ระดับความลึกที่มากจึงมีความคลาดเคลื่อนสูง และอาจเกิดจากอิทธิพลของ Horizontal drain ซึ่งติดตั้งในสนาม [8] แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับความลึก

0.5 เมตร ก็มีความคลาดเคลื่อนสูงเพราะอยู่ใกล้ผิวดิน (top soil) ซึ่งอาจจากเกิดอิทธิพลจากพืชคลุมผิวดินที่ดูดซับน้ำเอาไว้จึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูงนั้นเองอย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้มีแนวโน้มในการประเมินค่าแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามน้ำฝนได้

## 5. บทสรุป

ผลการทำนายค่าแรงดันน้ำในวันที่ 15 ก.ย.54 ทำให้สามารถทราบว่าแรงดันน้ำมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ตรวจวัด โดยที่ระดับความลึก 1-2 เมตร ค่าทำนายใกล้เคียงกับค่าตรวจวัด เป็นการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองนี้ได้ อย่างไรก็ตามการทำนายค่าแรงดันน้ำที่ระดับลึก 3 เมตรยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างทั้งนี้อาจเนื่องจากการเป็นตำแหน่งติดตั้งของ Horizontal drain เพราะค่าที่วัดได้ต่ำกว่าแบบจำลองเนื่องจากการระบายออกและการวิเคราะห์ที่เป็น 2 มิติ ซึ่งแตกต่างจากสภาวะจริงในสนาม ส่วนในระดับความลึก 0.5 เมตร เป็นระดับที่ใกล้ผิวดินทำให้ผลกระทบจากพืชคลุมดินที่มีการดูดน้ำไปใช้ และมีการระเหยน้ำจากผิวดินด้วย โดยผลกระทบดังกล่าวนี้เป็นงานวิจัยในอนาคตต่อไปรวมทั้งจะได้นำไปวิเคราะห์ในพื้นที่ศึกษาอื่นๆ อีกด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และการสนับสนุนจากกรมทางหลวง รวมทั้งคณะนักวิจัยและนิสิตที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ทุกท่าน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ไกรโรจน์ มหรรณพกุล, “พฤติกรรมทางกลศาสตร์และแรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณฝน ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพของลาดดิน” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2556.
- [2] ไกรโรจน์ มหรรณพกุล และ อภินิติ โชติสังกาศ, “การประเมินเสถียรภาพของลาดโดยพิจารณาแรงดันน้ำและแรงดูดที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณฝน กรณีศึกษาทางหลวงหมายเลข 1009 กม.42 คอยอินทนนท์”, *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18*, พ.ศ. 2556, หน้า GTE123-130.
- [3] อภินิติ โชติสังกาศ และ วิชญพงศ์ ฟอร์ดิยะ, “การพัฒนาเครื่องมือวัดศักย์แรงดูดน้ำในดิน”, *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการครั้งที่ 46 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, พ.ศ. 2551, จำนวน 8 หน้า.
- [4] C.W.W. Ng, A.K. Leung, “In-situ and laboratory investigations of stress-dependent permeability function and SDSWCC from an unsaturated soil slope”, *5th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils*, 2011, pp. 75-92.
- [5] P.R. Vaughan, “Pore pressures due to infiltration into partly saturated slopes”, *1st International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic soils*, 1985, Vol. 2, pp. 61-71.

- [6] A. Jotisankasa, B. Kulsuwan, D. Toll, and H. Rahardjo, "Studies of rainfall-induced landslide in Thailand and Singapore" *1st European Conference on Unsaturated Soils*, 2008, pp. 901-907.
- [7] R.A. Jackson, "On the calculation of hydraulic conductivity". *Soil Science Society of American Proceedings*, 36, pp. 380-383, 1972.
- [8] อภินิติ โชติสังกัส, อัครพัฒน์ สว่างสุริย์, จิรโรจน์ ศุภรัตน์, เอกนรินทร์ จินะวงศ์, กุศลภัทร์พิสิษฐ์กุล และนรินทร์ ทรราชย์นันท์, "พฤติกรรมกักตุนและแรงดันน้ำในลาดดินชันทางกรณีศึกษา: ทางหลวงหมายเลข 1009 กม.42 คอยอินทนนท์", *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17*, พ.ศ. 2555, หน้า GTE002-1-11.