

แบบจำลองการไหลซึมแบบ 3 มิติ เพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินไม่อิ่มน้ำ 3-D Seepage Modeling for Analyzing Unsaturated Slope Stability

ศุขทัต พุ่มชะเอม¹, บรรพต กุลสุวรรณ^{2*} และ วรกร ไม้เรียง³

Sukhathat Phumcha-em¹, Bunpoat Kunsuwan^{2*} and Warakorn Mairaing³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

*Corresponding author: fengbpk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ดินถล่มเป็นภัยธรรมชาติที่ก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างมากซึ่งส่วนใหญ่มักเกิดบริเวณลาดดินไม่อิ่มน้ำบนพื้นที่สูงชัน สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดดินถล่มคือการเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดินในขณะที่ฝนตกส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนของมวลดินลดต่ำลงจนกระทั่งเกิดการพังทลาย งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอิทธิพลของพายุฝนที่ส่งผลต่อค่าความชื้นและเสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่พร่อง – แม่พูล อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่มรุนแรงช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2549 โดยพิจารณารอบปีการเกิดซ้ำ ระยะเวลาการตก และรูปแบบการตกของฝน ด้วยแบบจำลองการไหลซึมแบบ 3 มิติในดินไม่อิ่มน้ำ มีการวิเคราะห์ 90 กรณี จากนั้นทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแบบลาดอนันต์ ผลการศึกษาพบว่าค่าความชื้นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ก่อนฝนตกเท่ากับ 75% (Degree of Saturation) และมีค่าสูงสุดจากทุกกรณีเท่ากับ 86% เมื่อรอบปีการเกิดซ้ำหรือระยะเวลาการตกเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นในมวลดินมีแนวโน้มสูงขึ้น และรูปแบบของฝนที่มีความเข้มสูงในช่วงท้าย ทำให้เกิดค่าความชื้นในมวลดินสูงที่สุด สำหรับอัตราส่วนปลอดภัย (F.S.) เฉลี่ยทั้งพื้นที่มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 3.55 และมีค่าต่ำสุดจากทุกกรณีเท่ากับ 1.85 ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดิน ทั้งนี้ผลการเปรียบเทียบพื้นที่ที่มีค่า F.S. น้อยกว่า 2.0 กับพื้นที่ดินถล่มพบว่ามีความสอดคล้องกัน 73.81%

คำสำคัญ: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, การวิเคราะห์การไหลซึม, เสถียรภาพของลาดดิน, ดินไม่อิ่มน้ำ

Abstract

Landslide problem due to heavy rainfall is one of the major natural disasters in Thailand. Most of landslides often occurred on unsaturated slope in the mountainous area. In general, main causal factor of landslide is the changing of moisture content in the soil mass while rainfall. Whenever rainfall occurring, soil moisture content increased, soil shear strength decreased affect to slope instability and possible failure. This research investigated the effect of rainstorms on moisture content and slope stability with 3-D numerical seepage model and Infinite slope stability model in unsaturated soil. There are 90 cases by considering return period, duration and pattern of rainfall in Mae Phrong – Mae Phun watershed, Uttaradit province, northern Thailand, This is the area where severe landslides occurred in May 2006. The result shown that, the average value of moisture content of whole area before rainfall is 75% (Degree of Saturation) and the highest value from all cases is 86%. Moreover, when return period and duration of rainfall are higher, moisture content is higher. For effect of rainfall pattern, the pattern has more intensity on last day cause moisture content to highest. Average factor of safety (F.S.) of the whole area before rainfall is 3.55. The highest F.S. from all cases is 1.85, which is related to moisture content change. Finally, the comparison of areas with F.S. less than 2.0 is correspond to the landslide area for 73.81%

Keywords: Numerical Model, Seepage Analysis, Slope Stability, Unsaturated Soil

1. คำนำ

ดินถล่มเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยประสบอย่างต่อเนื่อง การเกิดแต่ละครั้งนำมาซึ่งความสูญเสียทั้งชีวิต และทรัพย์สินของผู้อยู่อาศัยในพื้นที่ และยังส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ เนื่องจากภาครัฐต้องนำงบประมาณมาใช้จ่ายในการป้องกันการเกิดดินถล่ม และเยียวยาผู้ประสบภัย แต่ละปีประเทศไทยต้องสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจเป็นจำนวนเงินโดยเฉลี่ยกว่า 100 ล้านบาท และเหตุการณ์ดินถล่มขนาดใหญ่มักเกิดซ้ำทุก 3 – 5 ปี [1]

สาเหตุของการเกิดดินถล่มมักเกิดจากฝนตกหนักเกินปกติจากการรวบรวมข้อมูลดินถล่มในอดีต 13 เหตุการณ์ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ.2513 – 2547 [2] และข้อมูลเหตุการณ์ดินถล่มในเทศบาลเมืองป่าตอง จ.ภูเก็ต ตั้งแต่ พ.ศ.2544 - 2552 จำนวน 8 เหตุการณ์ [3] พบว่าทุกเหตุการณ์มีฝนเป็นปัจจัยกระตุ้นที่สำคัญ โดยพฤติกรรมสำคัญเกิดจากการลดลงของแรงดันน้ำด้านลบ เป็นผลให้เสถียรภาพของลาดดินต่ำลง พฤติกรรมดังกล่าวอธิบายได้ด้วยหลักของดินไม่อุ้มน้ำ ซึ่งเป็นสภาพโดยทั่วไปของลาดดินบนที่สูงชันตามธรรมชาติ

การศึกษาเพื่อลดผลกระทบจากภัยดินถล่มโดยการสร้างเกณฑ์การเตือนภัยในปัจจุบันจำแนกเป็น 2 วิธีคือเกณฑ์การเตือนภัยเชิงสถิติ (Empirical Thresholds หรือ Statistical Thresholds) ซึ่งได้จากการรวบรวมข้อมูลน้ำฝนเหตุการณ์ต่างๆที่ก่อให้เกิดดินถล่มในอดีตแล้วกำหนดเป็นเกณฑ์ในการเตือนภัย อีกประเภทคือเกณฑ์การเตือนภัยเชิงกายภาพ (Physical Thresholds) ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝน แรงดันน้ำในดิน และเสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งมีข้อดีคือสามารถทำการวิเคราะห์ความขึ้นและเสถียรภาพของลาดดินในกรณีโอกาสของฝนตกหนักที่อาจจะเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา การเตือนภัยดินถล่มเชิงกายภาพนั้นยังไม่ได้มีการพัฒนาอย่างกว้างขวาง เนื่องจากยังไม่ทราบตัวแปรบางอย่างของชั้นดินที่ชัดเจนทำให้ยังมีปัญหาในการสร้างแบบจำลอง [4]

งานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝน ค่าความชื้นในดิน และค่า F.S. ของลุ่มน้ำแม่พ่อง – แม่พูล โดยวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลซึมแบบ 3 มิติในดินไม่อุ้มน้ำ และวิเคราะห์ F.S. ด้วยแบบจำลองเสถียรภาพของลาดดินแบบลาดอนันต์ ซึ่งผลการวิจัยจะนำไปใช้ในการประเมินเกณฑ์การเตือนภัยที่เหมาะสมต่อไป

2. ข้อมูลทางกายภาพ

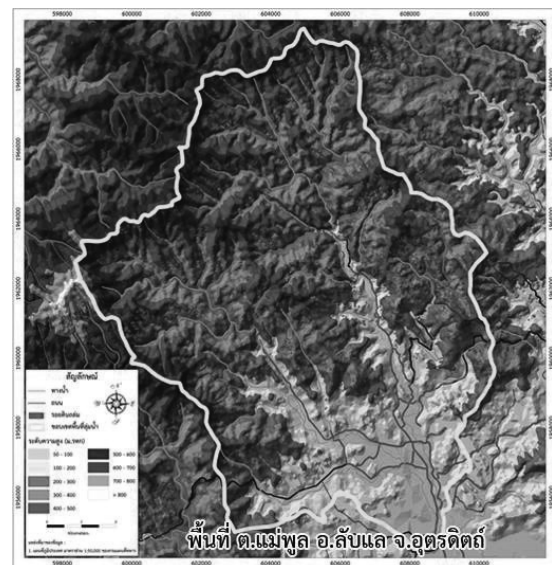
พื้นที่ลุ่มน้ำแม่พ่อง-แม่พูล ตั้งอยู่ใน ต.แม่พูล อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ มีพื้นที่ประมาณ 105.7 ตร.กม. และเป็นพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่มครั้งใหญ่ในปี 2549 จึงได้มีการศึกษาเพื่อลดผลกระทบจากดินถล่มในพื้นที่ดังกล่าว [5-7] มีข้อมูลทางกายภาพดังนี้

2.1 ลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่สูงชัน ระดับความสูงของพื้นที่ส่วนมากอยู่ในช่วง 100 - 500 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (รทก.) โดยยอดเขาที่สูงที่สุดมีความสูงประมาณ 857 ม.รทก. (รูปที่ 1) มีความลาดชันเฉลี่ยเท่ากับ 30.76° และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD.) เท่ากับ 6.39° สำหรับพื้นที่ราบระหว่างหุบเขาเป็นที่ยอยู่อาศัย [7]

2.2 ลักษณะทางธรณีวิทยา และความหนาชั้นดิน

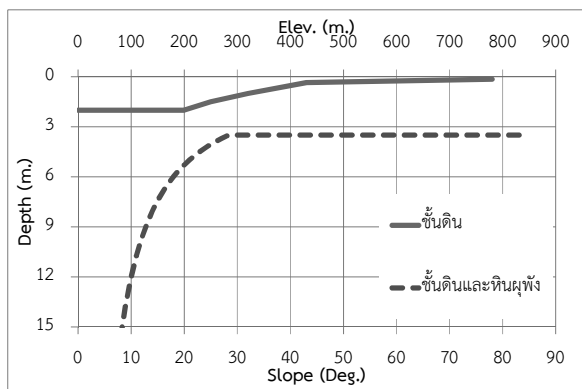
ลักษณะทางธรณีวิทยาในลุ่มน้ำถูกปกคลุมด้วยหมวดหินลึกลับตอนบน (P_{L2}) เป็นส่วนใหญ่ แทรกสลับกับหมวดหินลึกลับตอนล่าง (P_{L1}) ในบางจุด และบริเวณพื้นราบทางทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นตะกอนทางน้ำปัจจุบัน (Qa) [8]



2.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่แบ่งเป็น 23 แบบ [7] มีการใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุดคือการเพาะปลูกพืชสวนหรือพืชเศรษฐกิจ รองลงมาคือพื้นที่ป่า และพื้นที่อื่นๆ (แหล่งชุมชน วัด สถานที่ราชการ ถนน แม่น้ำ ฯลฯ) คิดเป็นร้อยละ 64.45, 32.43 และ 3.12 ตามลำดับ

การใช้ประโยชน์ที่ดินส่งผลต่อความเร็วการไหลของน้ำผิวดิน หากพืชมีความหนาแน่นมาก การไหลของน้ำผิวดินก็จะไหลได้ช้าส่งผลให้น้ำสามารถไหลซึมลงสู่ชั้นดินได้มาก ตรงกันข้ามหากพืชมีความหนาแน่นน้อยการไหลของน้ำผิวดินก็จะเร็วขึ้นและมวลน้ำส่วนใหญ่จะไหลไปตามผิวดินลงสู่แหล่งน้ำ กล่าวได้ว่าความเร็วการไหลของน้ำผิวดินซึ่งสัมพันธ์กับค่า Manning's n ส่งผลถึงความชันในมวลดินด้วยเช่นกัน สำหรับ Manning's n ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองได้ทำการสอบเทียบให้ผลการวิเคราะห์ความชันด้วยแบบจำลองมีความสอดคล้องกับผลการตรวจวัดความชันในสนาม และพิจารณาร่วมกับ Roughness Coefficients (Manning's n) for Sheet Flow [9] ซึ่งเป็นค่า Manning's n สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินรูปแบบต่างๆ พบว่าพื้นที่ป่าในพื้นที่ศึกษามีค่า Manning's n เท่ากับ 0.6 พื้นที่เกษตรกรรมมีค่าเท่ากับ 0.4 สำหรับทางน้ำที่มีน้ำไหลตลอดปีมีค่าเท่ากับ 0.1



รูปที่ 2 ความหนาของชั้นดินและชั้นหินผุพัง [7]

3. ร่องรอยดินถล่ม

ร่องรอยดินถล่ม (Scar) ในพื้นที่ศึกษา ภายหลังดินถล่มที่เกิดขึ้นมี Scar จำนวนทั้งสิ้น 461 รอย [10] และแปลผลเพิ่มเติมในส่วนที่ยังขาดไปโดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT 5 ในวันที่ 17 ธค. พ.ศ. 2549 และภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird ในวันที่ 5 ธค. พ.ศ. 2557 ทำให้ได้จำนวนรอยดินถล่ม (Scar) เพิ่มเป็น 792 รอย [7] มีพื้นที่ดินถล่มทั้งหมด 7.16 ตร.กม. ส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณพื้นที่ที่ความชันอยู่ในช่วง $31^\circ - 40^\circ$ คิดเป็นร้อยละ 51.40 (3.68 ตร.กม.)

ของพื้นที่ที่ปรากฏรอยดินถล่มทั้งหมด รองลงมาคือพื้นที่ที่มีความลาดชันในช่วง $21^\circ - 30^\circ$ คิดเป็นร้อยละ 29.61 (2.21 ตร.กม.) ของพื้นที่ที่ปรากฏรอยดินถล่มทั้งหมด

4. คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติการซึมน้ำ

คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติด้านการซึมน้ำจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความชื้นในมวลดิน และเสถียรภาพของลาดดิน มีคุณสมบัติที่จำเป็นเช่น หน่วยน้ำหนักของดิน ความถ่วงจำเพาะ อัตราส่วนช่องว่างในมวลดิน ความพรุน และค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำของดินเป็นต้น การศึกษาคุณสมบัติของดินพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของดินทั้งลุ่มน้ำมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยมีหน่วยน้ำหนักในสภาพอิ่มน้ำ (Saturated Density), หน่วยน้ำหนักแห้ง (Dry Density), ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และอัตราส่วนช่องว่างในมวลดิน (Void Ratio) เท่ากับ 15.79 kN/m^3 , 14.13 kN/m^3 , 2.60 และ 0.89 ตามลำดับ และคุณสมบัติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความชื้นในมวลดินพบว่า คุณสมบัติของดินในพื้นที่ขึ้นอยู่กัลักษณะทางธรณีวิทยา ซึ่งส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยหมวดหินลึกลับตอนบน มีคุณสมบัติการซึมน้ำ (Saturated Permeability, K_s) ในชั้นดิน และชั้นหินผุพังเท่ากับ $5.0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ และ $1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ ตามลำดับ และมีความพรุน (Porosity, n) เท่ากับ 0.46 [5,7]

4.2 กำลังรับแรงเฉือนของดินอิ่มน้ำ

กำลังรับแรงเฉือนของดินได้จากการทดสอบเฉือนตรง (Direct Shear Test) กับตัวอย่างดินคงสภาพในสถานะอิ่มน้ำ พบว่าความเชื่อมแน่นประสิทธิผลของดิน (Effective cohesion, c') เท่ากับ 12.75 kPa และมุมเสียดทานภายใน (Angle of Internal Friction, ϕ) เท่ากับ 20° [5,7]

4.3 คุณสมบัติของดินไม่อิ่มน้ำ

4.3.1 ทฤษฎีพื้นฐานของดินไม่อิ่มน้ำ

ลาดดินตามธรรมชาติบนที่สูงชันมักอยู่ในสถานะที่ไม่อิ่มน้ำ ซึ่งจะเกิดแรงดันน้ำด้านลบหรือแรงดูดเมทริกซ์ขึ้นในช่องว่างดิน พฤติกรรมนี้เกิดจากแรงตึงผิวของน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของเม็ดดิน [11] แรงดูดเมทริกซ์นี้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นในมวลดินหรือระดับความอิ่มน้ำ (Degree of Saturation) สามารถแสดงในรูปของเส้นอรรถลักษณะของดิน (Soil-Water Characteristic Curve; SWCC) ผลการทดสอบเพื่อประเมิน SWCC ของดินในพื้นที่ศึกษา [5] ได้ผลดังรูปที่ 3

ผลของแรงดันน้ำด้านลบนี้ทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเพิ่มสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อเกิดฝนตก น้ำฝนจะไหลซึมลงสู่มวล

ดินทำให้ความชื้นในมวลดินเพิ่มสูงขึ้น และแรงดูดเมทริกกลดลง เป็นผลให้กำลังรับแรงเฉือนของดินลดลงด้วย ซึ่งจากเหตุการณ์ ในอดีตพบว่าดินถล่มเกิดขึ้นเมื่อมวลดินใกล้เข้าสู่ภาวะอิ่มน้ำ [12] และพบว่าเมื่อระดับของความอิ่มน้ำเกิน 85% จะไม่ปรากฏค่าความเชื่อมแน่น (Cohesion) อย่างชัดเจนเนื่องจากการสลายตัวของ Contractile skin [11,13]

4.3.2 การไหลซึมในดินไม่อิ่มน้ำ

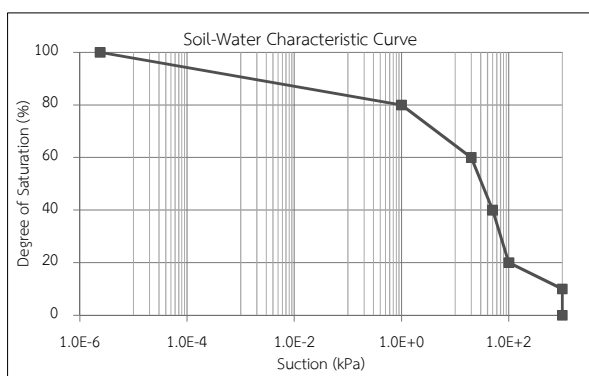
การวิเคราะห์การไหลซึมและความชื้นในมวลดินทำได้โดยการแก้สมการ Laplace's Equation มีรูปทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์การไหลซึมแบบ 3 มิติในดินไม่อิ่มน้ำดังสมการที่ 1

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e} \left(e \frac{\partial Sr}{\partial t} \right) \quad (1)$$

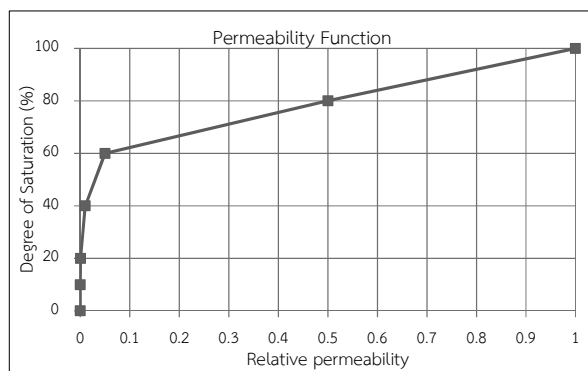
เมื่อ k_x , k_y และ k_z คือค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำในแนวแกน x, y และ z ซึ่งจะแปรผันตามค่าแรงดันน้ำ (u_w), h คือศักย์รวมของน้ำ (Total head), e คืออัตราส่วนช่องว่างในมวลดิน และ Sr คือระดับความอิ่มน้ำของมวลดิน (Degree of Saturation) โดยวัตถุประสงค์สำคัญในการแก้สมการที่ 1 เพื่อให้ทราบค่า Sr สำหรับการคำนวณหน่วยแรงประสิทธิผล σ' ในการคำนวณเสถียรภาพของลาดดิน

ทั้งนี้คุณสมบัติการซึมน้ำ (k_x , k_y และ k_z) ของดินไม่อิ่มน้ำมีค่าแปรผันไปตามแรงดันน้ำในดิน แต่ไม่เกินค่าการซึมน้ำที่สภาวะอิ่มน้ำ ความสัมพันธ์นี้เรียกว่าฟังก์ชันสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำ (Hydraulic Conductivity Function, k-Function)

การทดสอบตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษาเพื่อหา k-Function ได้ผลแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระดับความอิ่มน้ำกับค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำสัมพัทธ์ (Relative Permeability) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 1 (0 คือสภาวะที่สัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินเข้าใกล้ศูนย์ และ 1 คือมีค่าเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำในสภาวะอิ่มน้ำ) [5] ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 Soil-Water Characteristic Curve (SWCC) [5]



รูปที่ 4 Hydraulic Conductivity (k-function) [5]

4.3.1 กำลังรับแรงเฉือนของดินไม่อิ่มน้ำ

สมการหน่วยแรงเฉือนของดินไม่อิ่มน้ำซึ่งได้ปรับปรุงจาก Mohr-Coulomb's Equation [14] ดังสมการที่ 2

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (2)$$

เมื่อ c' คือค่าแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล (Effective cohesion) ในสภาวะที่แรงดูดเมทริกเท่ากับศูนย์, $(\sigma_n - u_a)$ คือหน่วยแรงกระทำตั้งฉากสุทธิบนระนาบการพัง, ϕ' คือมุมของกำลังเฉือนเนื่องจากหน่วยแรงตั้งฉากสุทธิ, $(u_a - u_w)$ คือแรงดูดเมทริก และ ϕ^b คือมุมเสียดทานภายในที่สัมพันธ์กับแรงดูดเมทริก โดย $\phi^b = \tan^{-1}(s_r \cdot \tan \phi')$ ได้จากการเปรียบเทียบสมการที่ 2 และ 3 [14-16] (สมการที่ 3 มีนิยามของตัวแปรต่างๆเช่นเดียวกับสมการที่ 1 และ 2)

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + Sr \cdot (u_a - u_w) \tan \phi' \quad (3)$$

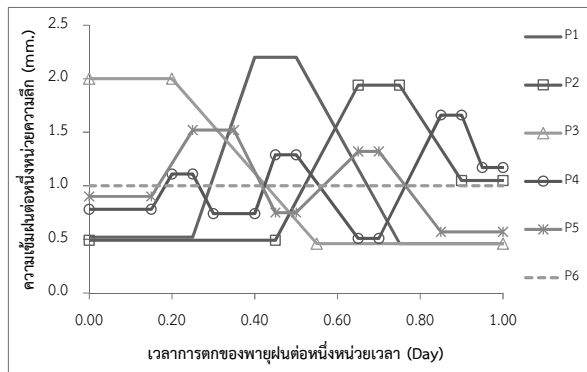
5. ข้อมูลพายุฝน

ปริมาณหรือความเข้มข้นน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ศึกษาใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนหรือความลึกน้ำฝน จากสถานี 351005 สำนักงานเกษตร อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 4.02 mm/day [7] โดยปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีจะนำมาใช้วิเคราะห์การไหลซึมและความชื้นในสภาวะเริ่มต้นของแบบจำลอง

5.1 รูปแบบการตกของฝนหนัก

รูปแบบการตกของฝนตกหนัก คือลักษณะการแจกแจงการตกของปริมาณฝนตามเวลา (Time Distribution of Rainfall) ที่มากกว่า 90 มม. ซึ่งเป็นเกณฑ์ของปริมาณฝนตกหนัก [17] และใช้เป็นเกณฑ์ในการเตือนภัยดินถล่ม [18] รูปแบบการตกของฝนตกทำให้ทราบถึงลักษณะการตกหรือความเข้ม ในแต่ละช่วงเวลาของพายุฝน ทั้งนี้รูปแบบฝนหนักในพื้นที่ศึกษาได้ใช้ข้อมูลฝนหนักจากสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่รอบบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำจำนวน 1,771 ลูก นำมาจัดเป็นกลุ่มตามความหนัก เบาของฝนในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้ได้ตัวแทนลักษณะการตกของฝนใน

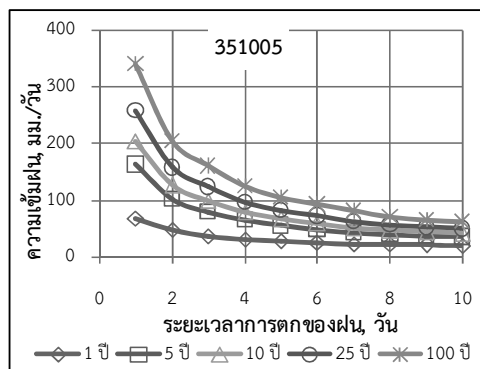
พื้นที่ศึกษา [7] โดยพบว่ารูปแบบการตกของฝนหนักในพื้นที่ศึกษามี 6 รูปแบบ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 รูปแบบการตกของฝน [7]

5.2 ระยะเวลาการตกของฝนหนักและรอบปีการเกิดซ้ำ

นอกจากรูปแบบการตกของฝน ระยะเวลาการตกของฝนและรอบปีการเกิดซ้ำได้นำมาพิจารณา เพื่อกำหนดกรณีการวิเคราะห์ในการหาความชื้นวิกฤตในพื้นที่ศึกษา พบว่าพายุฝนส่วนใหญ่จะมีระยะเวลาการตกอยู่ในช่วง 1 – 7 วัน และที่คาบความถี่ของการเกิด 1 - 100 ปี โดยวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ด้วยวิธีกัมเบล [7] ปริมาณฝนสูงสุดที่คาบความถี่ของการเกิดต่างๆของสถานี 351005 แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 IDF-Curve ของสถานี 351005 [7]

5.3 กรณีการวิเคราะห์ความชื้นในกรณีฝนตกหนัก

ความชื้นในดินวิกฤตในพื้นที่ศึกษาเป็นการประเมินหาความชื้นในพื้นที่จากฝนตกหนักหรือพายุฝนที่อาจจะเกิดขึ้น โดยพิจารณาจากข้อมูลสถิติการตกของฝนที่ตรวจวัดได้ แบ่งเป็นกรณีในการวิเคราะห์ คือ รูปแบบการตกที่ 1 (P1) ถึงรูปแบบการตกที่ 6 (P6) โอกาสการเกิดพายุที่ระยะเวลาการตกของฝน 1 วัน (D1) ถึง 7 วัน (D7) และปริมาณน้ำฝนที่น้ำจะเกิดที่ความถี่การเกิดหรือรอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี (R5) 25 ปี (R25) และ 100 ปี (R100) กรณีการวิเคราะห์หาความชื้นในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 90 กรณี ดังตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ในแต่ละกรณีเหมือนการจำลองการเกิดพายุฝนที่อาจจะเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 1 กรณีการวิเคราะห์การไหลซึม 90 กรณี [7]

เวลา (D) (วัน)	รูปแบบการตกของฝน (P)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1 (D1)	-	-	-	-	-	✓
2 (D2)	-	✓	✓	-	-	✓
3 (D3)	✓	✓	✓	-	-	✓
4 (D4)	✓	✓	✓	-	✓	✓
5 (D5)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6 (D6)	✓	✓	-	✓	✓	✓
7 (D7)	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ: แต่ละกรณีจะวิเคราะห์ที่ R5, R25 และ R100

6. การวิเคราะห์แบบจำลอง

การวิเคราะห์หา F.S. ในพื้นที่ลุ่มน้ำจำเป็นต้องพิจารณาแบบจำลองเป็นสองส่วน คือการวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำฝนที่ซึมลงไปในดิน (Seepage Analysis) ซึ่งทำให้แรงดันน้ำในดินเปลี่ยนไปในขณะเดียวกันก็ทำให้ความแข็งแรงของดินก็เปลี่ยนไปตามความชื้นที่เกิดขึ้น อีกส่วนหนึ่งคือการนำผลของส่วนแรกไปวิเคราะห์หาความมั่นคงของลาดดิน (Stability Analysis) ในสภาวะการไหลซึมต่าง ๆ ที่นำไปสู่ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย [12] มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

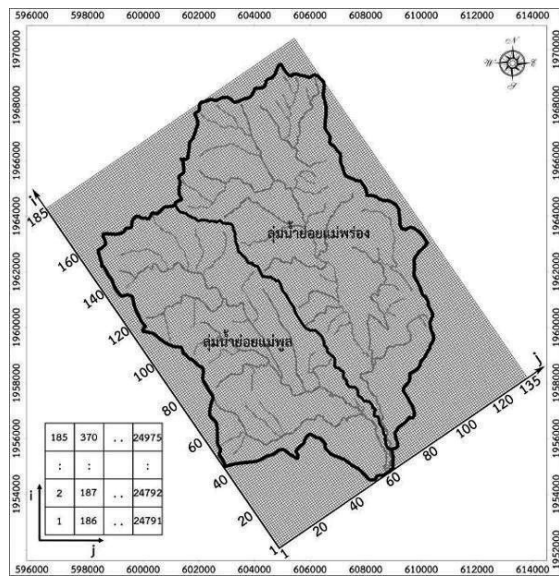
6.1 แบบจำลองการไหลซึมและความชื้นในมวลดิน

การไหลซึมและความชื้นในมวลดินแบบ 3 มิติ จะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม GETFLOWS ซึ่งมีศักยภาพในการสร้างแบบจำลองทั้งชั้นบรรยากาศ ผิวดิน และน้ำใต้ดิน การวิเคราะห์เพื่อหาความชื้นในสภาวะเริ่มต้น จะใช้ข้อมูลน้ำฝนคงที่ 4.02 mm/day สำหรับการวิเคราะห์ความชื้นในกรณีฝนหนักจะใช้ข้อมูลฝนหนักทั้ง 90 กรณี เพื่อหาความชื้นวิกฤตที่จะเกิดขึ้น

6.1.1 จำนวนกริดที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง

ขนาดของกริดได้จากการวิเคราะห์ลักษณะรูปทรงของร่องรอยดินถล่ม (Landslide scars) จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรอยดินถล่มที่เกิดขึ้นในอดีตกับลักษณะภูมิประเทศเพื่อประเมินขนาดที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในแบบจำลอง พบว่ากริดขนาด 80x80 ตร.ม. เป็นขนาดใหญ่ที่สุดที่เหมาะสมและสามารถทำการวิเคราะห์ได้ [7] โดยมีจำนวนกริดที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด $135 \times 185 = 24,975$ กริด อยู่ในพื้นที่ศึกษาจำนวน 16,507 กริด แต่เนื่องจากจำนวนกริดที่ใช้วิเคราะห์มีจำนวนเกินจำนวนสูงสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ต่อครั้งเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่

ใช้ในการวิเคราะห์ จึงได้แบ่งพื้นที่ออกเป็นสองส่วนตามแนวสันปันน้ำเพื่อแยกวิเคราะห์เป็นสองครั้งดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กริดสำหรับการวิเคราะห์

6.1.2 การกำหนด Boundary Condition

กริดในพื้นที่ลุ่มน้ำจะถูกกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น k-function, SWCC และคุณสมบัติทางกายภาพตามหัวข้อที่ 4 และกำหนดค่า manning's n ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินตามหัวข้อที่ 2.3 กริดที่อยู่ปลายสุดของลำน้ำกำหนดให้เป็นกริดสำหรับให้น้ำที่อยู่ในแบบจำลองสามารถไหลออกไปจากกลุ่มน้ำได้โดยอิสระ สำหรับกริดที่อยู่นอกกลุ่มน้ำจะกำหนดให้ไม่มีการไหลในทุกทิศทาง

6.2 แบบจำลองเสถียรภาพของลาดดิน

ในการศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลองเสถียรภาพของลาดดินแบบลาดอนันต์ (Infinite Slope) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของการพิบัติในพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นการเคลื่อนพังพังแนวระนาบ (Translational Slide)

สมมติฐานการพิบัติแบบลาดอนันต์เหมาะสมกับการพิบัติที่มีความลึกน้อยเมื่อเทียบกับความยาว ($<1/10$) หรือ Shallow slope failure ซึ่งสอดคล้องกับการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ศึกษา [15] โดยสมการสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินไม่อิ่มน้ำแบบลาดอนันต์ (Infinite Slope) เพื่อหาค่า F.S. แสดงดังสมการที่ 4

$$F.S. = \frac{c' + (\gamma \cdot z \cos^2 \beta) \tan \phi' - u_w \cdot \tan \phi''}{\gamma \cdot z \sin \beta \cdot \cos \beta} \quad (4)$$

c' คือความเชื่อมแน่นประสิทธิผล (kPa), γ คือน้ำหนักของดิน (kN/m^3), z คือความหนาชั้นดินตามแนวตั้งตั้งแต่ผิวดินถึงระนาบการพิบัติ (m), β คือมุมของลาดชัน

(องศา), u_w คือแรงดันน้ำติดลบในช่องว่าง (kPa), ϕ' คือมุมของกำลังเฉือนเนื่องจากหน่วยแรงตั้งฉากสุทธิ ($\sigma - u_a$) และ ϕ'' คือมุมของกำลังเฉือนเนื่องจากแรงดูด (องศา) โดย $\phi'' = \phi'$ เมื่อ $u_w > 0$ และ $\phi'' = \phi^b$ เมื่อ $u_w \leq 0$

ทั้งนี้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในหัวข้อที่ 4 จะถูกลดค่าความเชื่อมแน่นประสิทธิผล (c') ก่อนวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเพื่อการจำลองสภาพการผุพังของดิน และเนื่องจากการเลือกเก็บตัวอย่างดินในสนามอาจสุ่มเก็บเฉพาะตัวอย่างดินที่มีคุณสมบัติดีเพราะขั้นตอนการเก็บจะพิจารณาความสมบูรณ์ของตัวอย่างส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยโดยรวมทั้งพื้นที่ โดยผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินจะสอดคล้องกับการพิบัติในพื้นที่ศึกษาเมื่อลดค่าความเชื่อมแน่นประสิทธิผล (c') ลง 50% [5]

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินที่อยู่ในรูปของ F.S. แสดงให้เห็นถึงระดับความเสี่ยงภัยในแต่ละพื้นที่ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงภัยดินถล่มกับ F.S. แสดงดังตารางที่ 2 ได้จากการศึกษาความมั่นคงของลาดดินและโอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่ Tegucigalpa ประเทศ Honduras [19]

ตารางที่ 2 การแบ่งระดับความเสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม [19]

Hazard Category	F.S.	Landslide Prob. (%)
Very High	0.0 - 1.0	1.03
High	1.0 - 1.5	0.31
Moderately High	1.5 - 2.0	0.13
Moderate	2.0 - 3.0	0.07
Low	> 3.0	0.03

7. ผลการวิเคราะห์

7.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้นในมวลดิน

ความชื้นในมวลดินซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อจากนี้จะแสดงในรูปของระดับความอิ่มน้ำ (Degree of Saturation) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0% (มวลดินแห้ง) ถึง 100% (มวลดินอิ่มน้ำ)

7.1.1 ความชื้นในมวลดินในสภาวะเริ่มต้น

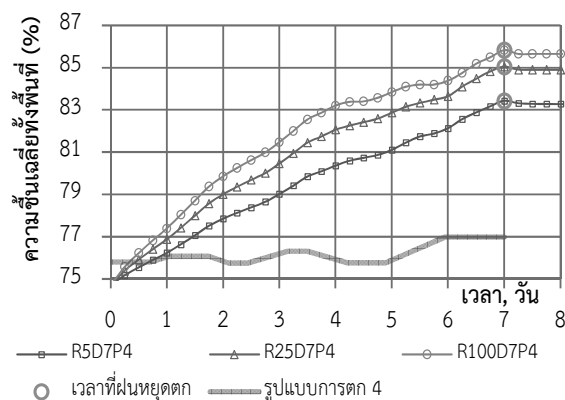
ผลการวิเคราะห์ความชื้นในมวลดินจากน้ำฝนคงที่ (4.02 mm/day) ก่อนฝนตกหนักพบว่าความชื้นในมวลดินทั้งพื้นที่มีค่าเท่ากับ 74.7% โดยมีค่าสูงที่บริเวณแนวลำน้ำ และมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีระยะห่างจากแนวลำน้ำมากขึ้นจนถึงบริเวณยอดเขาจะเป็นบริเวณที่มีความชื้นต่ำที่สุดแสดงดังรูปที่ 11(ก) พบว่าพื้นที่ร้อยละ 37.67 (39.82 ตร.กม.) มีความชื้นอยู่

ในช่วง 75% - 80% รองลงมาร้อยละ 30.14 (31.86 ตร.กม.) มีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 70% - 75%

7.1.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นตามเวลา

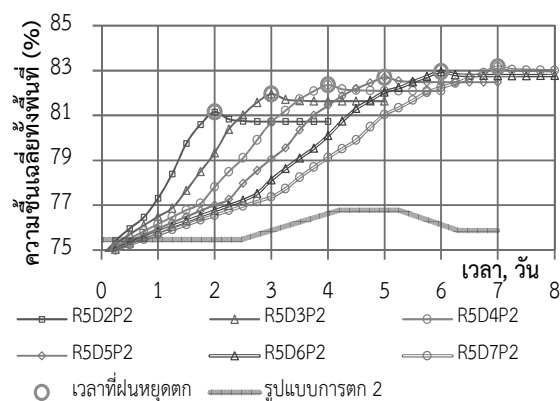
การประเมินค่าความชื้นในมวลดินของพื้นที่ศึกษาทั้ง 90 กรณี จะคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยของทุกกริดในพื้นที่ โดยพิจารณาเป็น 3 กรณีได้แก่ กรณีการตกของฝนที่มีรอบปีการเกิดซ้ำต่างกัน กรณีที่มีระยะเวลาการตกของฝนต่างกัน และกรณีที่รูปแบบการตกของฝนต่างกันได้ผลดังนี้

พิจารณาการรอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี ถึง 100 ปี พบว่าเมื่อรอบปีการเกิดซ้ำสูงขึ้น ทำให้ค่าความชื้นเฉลี่ยทั้งพื้นที่เพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างของกรณี D7-P4 เนื่องจากเป็นกรณีที่เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าความชื้นสูงสุดที่เกิดในแต่ละรอบปีการเกิดซ้ำคือ R5, R25 และ R100 มีค่าสูงสุดในวันที่ 7 เท่ากับ 83%, 85% และ 86% ตามลำดับ



รูปที่ 8 ความชื้นเฉลี่ยกรณี R(5, 25, 100)-D7-P4

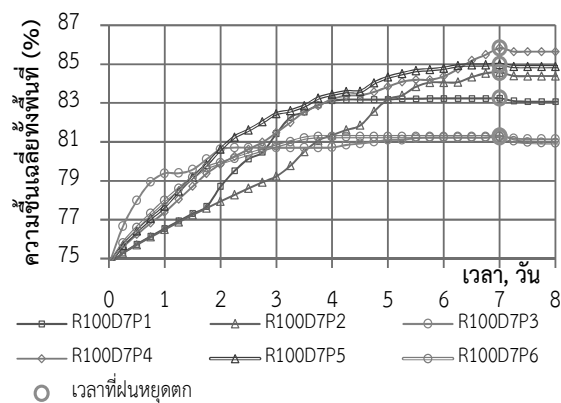
กรณีระยะเวลาการตกของฝน 1 - 7 วัน พบว่าค่าความชื้นทั้งพื้นที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการตกของฝนนานขึ้น และอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะแปรผันตามความเข้มฝน ดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นกรณีการตก R5-P2 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81% สำหรับระยะเวลาการตก 2 วัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 83% ที่ระยะเวลาการตก 7 วัน โดยค่าความชื้นเฉลี่ยทั้งพื้นที่สูงสุดจะเกิดหลังฝนหยุดตกเล็กน้อยแล้วจึงปรับลดลง



รูปที่ 9 ความชื้นเฉลี่ยกรณี R5-D(2-7)-P2

สำหรับกรณีที่รูปแบบของฝน 6 รูปแบบ พบว่ารูปแบบการตกของฝนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในมวลดินดังรูปที่ 10 โดยความชื้นเฉลี่ยทั้งพื้นที่สูงที่สุดเกิดจากรูปแบบการตกของฝนแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่ากับ 86% รองลงมาคือรูปแบบที่ 5 และรูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85% และ 84% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการตกของฝนรูปแบบที่ 4 และ 5 เป็นการตกหนักสลับเบาและมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงท้าย และสำหรับรูปแบบที่ 2 มีความเข้มฝนน้อยในระยะแรกและมีค่าสูงในช่วงท้าย แต่สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสูงสุดในช่วงต้น เกิดจากรูปแบบการตกของฝนแบบที่ 3 ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีปริมาณฝนสูงในช่วงแรก มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 79% ในวันที่ 1 และเพิ่มขึ้นถึง 81% ในวันที่ 2

จากผลดังกล่าวพบว่ารอบปีการเกิดซ้ำ ระยะเวลาการตก และรูปแบบของฝนมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดินคือ ความชื้นจะมีค่าสูงเมื่อรอบปีการเกิดซ้ำสูงขึ้น (ความเข้มฝนสูง) และ/หรือ ระยะเวลาในการตกของฝนนานขึ้น เนื่องจากกรณิดังกล่าวทำให้มีปริมาณน้ำสะสมในมวลดินมากขึ้น สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสูงจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีความเข้มฝนมาก เช่นกรณีสวนปีการเกิดซ้ำสูง หรือระยะเวลาการตกของฝนสั้นเนื่องจากการตกของฝนสั้นจะมีความเข้มฝนสูงกว่าฝนที่ตกเป็นเวลานาน (รูปที่ 6) สำหรับรูปแบบการตกของฝนพบว่าความชื้นสูงสุดในมวลดินเกิดจากฝนที่มีระยะเวลาการตกนาน และมีความเข้มฝนสูงสุดในช่วงท้าย เช่นรูปแบบที่ 2, 4 และ 5 เนื่องจากช่วงแรกความเข้มฝนน้อยส่งผลให้ความชื้นเพิ่มสูงขึ้นหรือค่าความชื้นน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มฝนช่วงหลังเพิ่มขึ้นจึงทำให้น้ำซึมลงดินได้มากขึ้น ทำให้ความชื้นเพิ่มสูงขึ้น แต่รูปแบบของฝนที่มีความเข้มสูงในช่วงแรกเช่นรูปแบบที่ 3 ทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจทำให้เกิดการบีบอัดได้เช่นกันหากมีความเข้มฝนสูงพอ



รูปที่ 10 ความชื้นเฉลี่ยกรณี R100-D7-P(1-6)

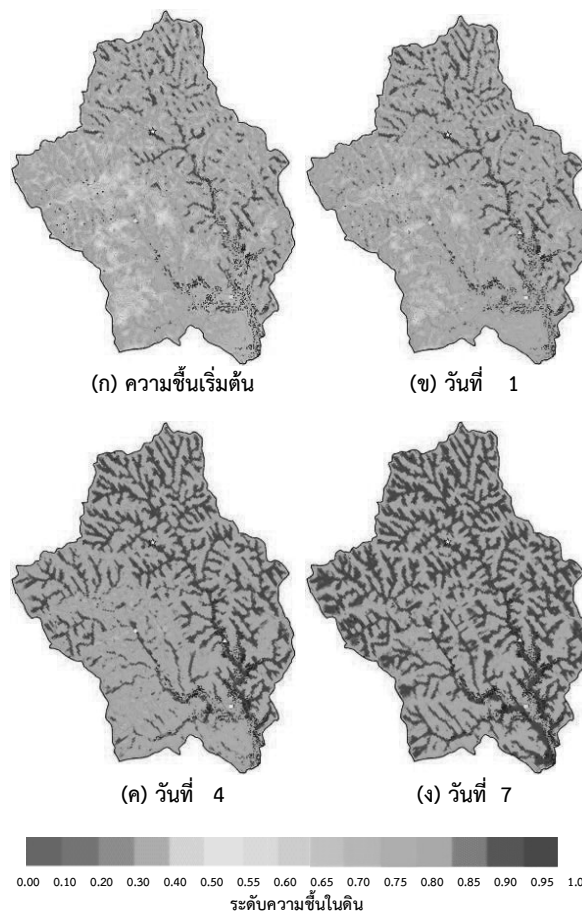
7.1.3 การแบ่งขอบเขตของลาดดินจากค่าความชื้น

การพิจารณาขอบเขตของลาดดินจากผลการวิเคราะห์ความชื้นที่มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันจะอ้างอิงจากระยะห่างของกริดจากแนวลำน้ำที่ปรากฏชัดจากการสำรวจในสนาม และข้อมูลจากระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยสร้างเส้นขอบเขตจากลำน้ำลำดับที่ 4 (Order 4) ออกไปทุก 50 ม. จนครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด มีพื้นที่ในช่วงลาดชันตอนล่าง (Lower Slope) คือ 0 – 50 ม. จากแนวลำน้ำร้อยละ 47.18 อยู่ในช่วงลาดชันตอนกลาง (Middle Slope) คือ 50 – 100 ม. จากแนวลำน้ำ ร้อยละ 34.60 และลาดชันตอนบน (Upper Slope) คือมากกว่า 100 ม. จากแนวลำน้ำ ร้อยละ 18.22

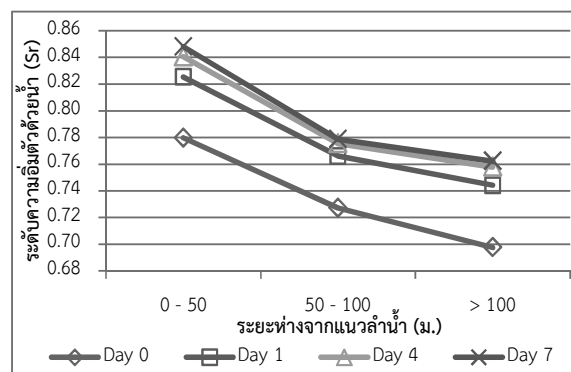
ความชื้นในมวลดินจากฝนหนักกรณี R100-D7-P4 แสดงดังรูปที่ 11 เป็นกรณีที่เกิดค่าความชื้นเฉลี่ยทั้งพื้นที่สูงสุด แต่ละช่วงมีความชื้นเฉลี่ยเริ่มต้น 78%, 73% และ 70% ตามลำดับ ดังรูปที่ 11(ก) และ 12 (เส้นกราฟ 0 Day คือความชื้นเริ่มต้นก่อนฝนตก) โดยลาดชันตอนล่างจะมีความชื้นสูงที่สุด

พิจารณาพื้นที่ในแต่ละช่วงโดยเลือกกริดหมายเลข 4536 (I=96, J=25), 8818 (I=123, J=48) และ 8621 (I=111, J=47) ซึ่งอยู่ในช่วงลาดชันตอนล่าง ลาดชันตอนกลาง และลาดชันตอนบน ตามลำดับ พบว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นและระดับความชื้นสูงสุดต่างกันดังรูปที่ 13 พื้นที่ซึ่งเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดฝนตกหนักคือบริเวณลาดชันตอนล่างจนกระทั่งอิ่มน้ำที่เวลา 3 วัน ในส่วนของพื้นที่ในช่วงลาดชันตอนกลาง และลาดชันตอนบน ความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการตกของฝนโดยมีค่าความชื้นสูงสุดในวันสุดท้าย 97% และ 79% ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ความชื้นกรณี R100-D7-P6 (รูปที่ 14) พบว่าพื้นที่ลาดชันตอนล่าง มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสูงกว่ากรณี R100-D7-P4 และมวลดินอิ่มน้ำในวันที่ 2 สำหรับลาดชัน

ตอนกลาง และลาดชันตอนบนก็มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นสูงกว่าเช่นกัน แต่ค่าความชื้นสูงสุดเท่ากับ 80% และ 76% ในวันสุดท้ายซึ่งต่ำกว่ากรณี R100-D7-P4



รูปที่ 11 แผนที่ความชื้นตามเวลกรณี R100-D7-P4

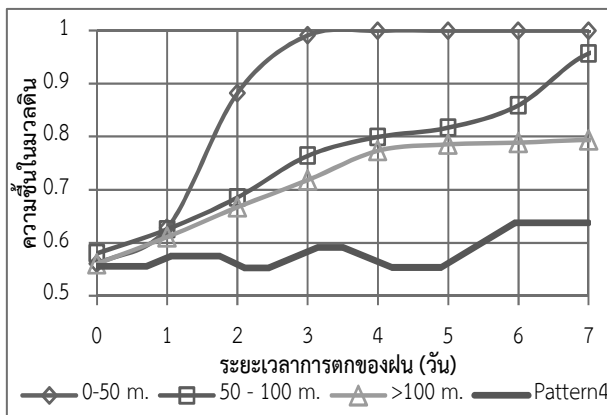


รูปที่ 12 ความชื้นเฉลี่ยในแต่ละช่วงกรณี R100-D7-P4

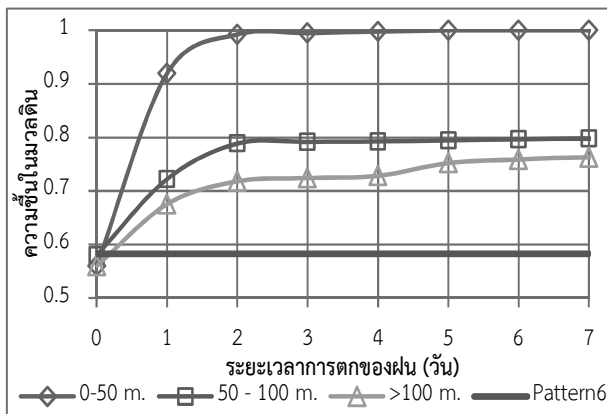
การเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดินที่เกิดขึ้นในขณะฝนตก จะเริ่มจากพื้นที่ที่ลำน้ำและบริเวณใกล้เคียง (ลาดชันตอนล่าง) ซึ่ง มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความชื้นสูงตั้งแต่ฝนเริ่มตกจนกระทั่ง อิ่มน้ำ แล้วจึงขยายออกไปสู่พื้นที่อื่นที่ห่างออกไป สำหรับลาดชันตอนกลาง พบว่าความชื้นในมวลดินสามารถเพิ่มขึ้นได้จนถึงระดับอิ่มน้ำ โดยขึ้นอยู่กับความเข้ม และรูปแบบการตกของฝน

เมื่อพิจารณาค่าความชื้นในมวลดินบริเวณลาดชันตอนบน พบว่าความชื้นจะสูงสุดที่ค่าหนึ่ง แต่ไม่ถึงระดับอิ่มน้ำ

สาเหตุที่ลาดชันตอนล่างมีความชื้นสูงกว่าพื้นที่อื่นเนื่องจากแนวลำน้ำเป็นจุดรวมน้ำโดยธรรมชาติดังนั้นปริมาณน้ำที่ซึมลงสู่มวลดินในบริเวณดังกล่าวจึงมีปริมาณมากกว่าปกติ ประกอบกับการไหลของน้ำใต้ดินที่จะไหลจากที่สูงลงสู่ลำน้ำหรือแหล่งน้ำเช่นเดียวกัน สำหรับพื้นที่ที่ห่างออกไปได้แก่ ลาดชันตอนกลาง และลาดชันตอนบน เมื่อฝนตกน้ำส่วนหนึ่งจะซึมลงสู่ชั้นดินในขณะเดียวกันก็มีน้ำอีกส่วนหนึ่งที่ไหลไปตามผิวดินลงสู่ลำน้ำดังนั้นบริเวณดังกล่าวจึงมีความชื้นต่ำ เป็นผลให้ค่าเฉลี่ยความชื้นในแต่ละช่วงที่ระยะเวลาต่างๆมีผลปรากฏดังรูปที่ 12



รูปที่ 13 ความชื้นในมวลดินรายกิริตรณ R100-D7-P4



รูปที่ 14 ความชื้นในมวลดินรายกิริตรณ R100-D7-P6

7.1.4 ความชื้นในมวลดินสูงสุดจากทุกกรณี

จากผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นในมวลดินกรณีต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากฝนตกหนักในพื้นที่ศึกษาทั้ง 90 กรณี ได้นำมาพิจารณาโอกาสเกิดค่าความชื้นสูงสุดในแต่ละกิริตรจากผลการวิเคราะห์ทุกกรณีดังรูปที่ 15 มีค่าเฉลี่ยของความชื้นทั้งพื้นที่เท่ากับ 86% ค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงระยะห่างจากลำน้ำคือ ลาดชันตอนล่าง ลาดชันตอนกลาง และลาดชันตอนบน เท่ากับ 91%, 81% และ 78% ตามลำดับ มีพื้นที่ที่มีค่าความชื้นสูงสุดที่อยู่ในช่วง 90% - 100% อยู่ร้อยละ 35.38 ของพื้นที่

ความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความแข็งแรงของมวลดินลดลง ส่งผลให้ความมั่นคงของลาดดินลดลงจนถึงจุดวิกฤติ

7.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

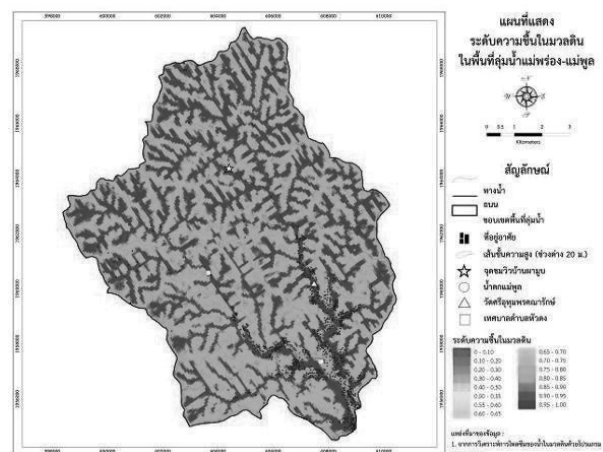
7.2.1 เสถียรภาพของลาดดินในสภาวะเริ่มต้น

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินที่มีกำลังรับแรงเฉือนเปลี่ยนแปลง เนื่องจากค่าความชื้นในมวลดิน ที่ใช้ค่าความชื้นในดินจากน้ำฝนคงที่หรือสภาวะเริ่มต้น (Initial condition) ได้ค่า F.S. ในพื้นที่ศึกษา ดังรูปที่ 16(ก) โดยพบว่า F.S. ซึ่งได้วิเคราะห์โดยลดค่าความเชื่อมั่นของดิน 50% มีค่าเฉลี่ยที่พิจารณาพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 5 องศาเท่ากับ 3.55 ในจำนวนนี้มีพื้นที่ที่มีค่า F.S. น้อยกว่า 1 อยู่ 1.68% บริเวณลาดชันตอนล่าง แสดงให้เห็นว่าแม้ว่าจะยังไม่เกิดฝนตกหนักในพื้นที่ก็มีพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม

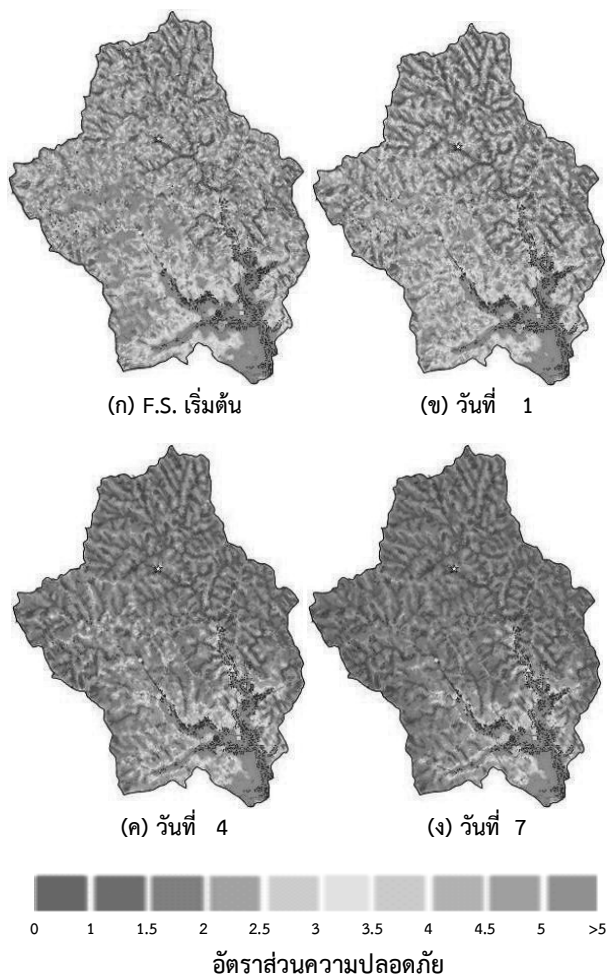
7.2.2 เสถียรภาพของลาดดินเมื่อเกิดฝนตกหนัก

ค่า F.S. ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นในมวลดินกรณี R100-D7-P4 ดังรูปที่ 16 พื้นที่ที่มีค่า F.S. ต่ำเริ่มปรากฏที่บริเวณลาดชันตอนล่าง ก่อนแล้วจึงขยายไปสู่พื้นที่อื่น โดยค่า F.S. เฉลี่ยทั้งพื้นที่ที่มีค่าเท่ากับ 3.55, 2.99, 2.10 และ 1.88 ที่เวลา 0 วัน (ก่อนฝนตก) 1 วัน 4 วัน และ 7 วันตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงระยะห่างจากลำน้ำพบว่าค่า F.S. ของทุกช่วงลดลงตลอดการตกของฝนดังรูปที่ 17 ค่า F.S. ที่เปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะเริ่มต้นเกิดจากการลดลงของแรงดึงดูดเมทริกเนื่องจากความชื้นในมวลดินเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เสถียรภาพของลาดดินต่ำลงจนกระทั่งเกิดการพิบัติ

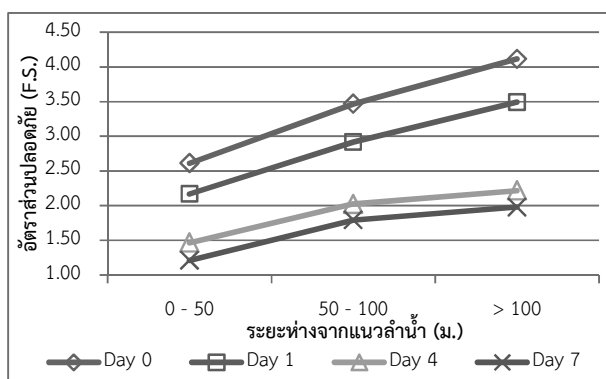
การเปรียบเทียบค่า F.S. เฉลี่ยในแต่ละช่วงกับเกณฑ์การแบ่งระดับความเสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม (ตารางที่ 2) พบว่าลาดชันตอนล่าง มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มอยู่ในระดับสูง (High) สำหรับลาดชันตอนกลาง และลาดชันตอนบน มีความเสี่ยงค่อนข้างสูง (Moderately High) ดังตารางที่ 3



รูปที่ 15 ความชื้นสูงสุดจากทุกกรณี



รูปที่ 16 แผนที่ F.S. ตามเวลากฎ R100-D7-P4



รูปที่ 17 F.S. เฉลี่ยในแต่ละช่วงกรณี R100-D7-P4

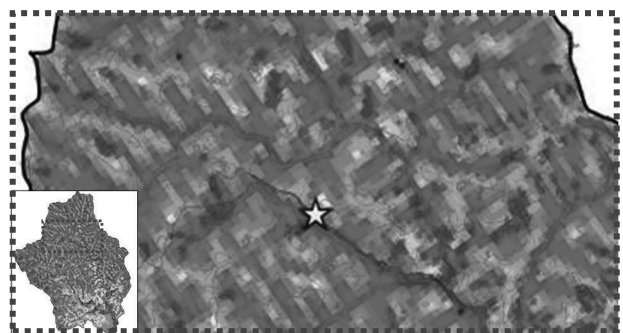
ตารางที่ 3 ความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มกรณี R100-D7-P4

ระยะจากลำน้ำ (ม.)		0-50	50-100	> 100	ALL
พื้นที่ที่มีค่า F.S. ในแต่ละระดับความเสี่ยง (ตร.กม.)	<1	9.6	0.9	0	10.6
	1.0-1.5	13.4	2.7	0.1	16.2
	1.5-2.0	13.6	16	4.9	34.5
	2.0-3.0	5.5	13.4	13.2	32.1
	>3.0	2.1	2.3	0.8	5.2

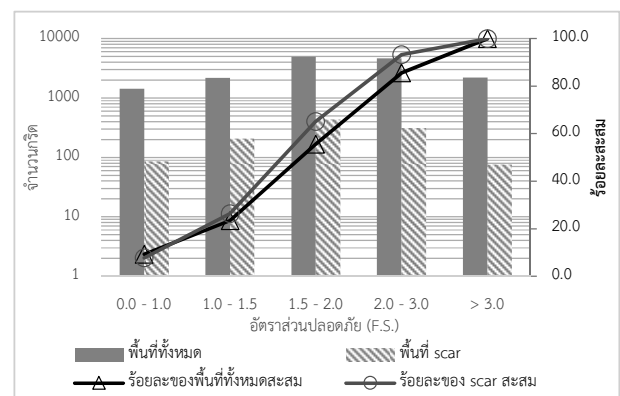
7.2.1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับรอยดินถล่ม

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินทั้ง 90 กรณีได้นำมาสรุปค่า F.S. ที่ต่ำที่สุดที่เกิดขึ้นในแต่ละกริดและเปรียบเทียบกับรอยดินถล่มในอดีตดังรูปที่ 18 จะเห็นได้ว่าร่องรอยดินถล่มมีแนวโน้มอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีค่า F.S. ต่ำ เมื่อพิจารณาเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ตำแหน่งเดียวกับรอยดินถล่มพบว่ามีจำนวนทั้งสิ้น 1,111 กริด หากพิจารณาพื้นที่ที่มีค่า F.S. น้อยกว่า 2.0 ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงค่อนข้างสูง (Moderately High) พบว่าสอดคล้องกับรอยดินถล่มร้อยละ 73.81 ของพื้นที่ทั้งหมดที่ปรากฏรอยดินถล่ม โดยในจำนวนนี้มีพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงมากอยู่ร้อยละ 8.28 แสดงดังรูปที่ 19

อย่างไรก็ตามยังมีหลายจุดในพื้นที่ที่ผลการวิเคราะห์ไม่ตรงกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ ปัจจัยที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่ตรงกับตำแหน่งที่เกิดอาจเกิดได้จากความแปรปรวนของคุณสมบัติดินในพื้นที่ขนาดใหญ่ และการแปลผลรอยดินถล่มจากภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งการเกิดดินถล่มนั้นนอกจากจะเกิดร่องรอยที่แหล่งกำเนิดแล้ว มวลดินที่พิบัตียังสามารถเคลื่อนตัวไปยังพื้นที่ด้านล่างได้ ดังนั้นรอยการเกิดดินถล่มจากการแปลภาพถ่ายทางอากาศอาจรวมขอบเขตของการไหลลงมากองกันบริเวณพื้นที่ด้านล่างด้วยจึงเห็นเป็นรอยใหญ่กว่าความเป็นจริงได้ [6]



รูปที่ 18 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับรอยดินถล่ม



รูปที่ 19 ช่วงของค่าอัตราส่วนปลอดภัยของพื้นที่ศึกษา

8. สรุป

การวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองการไหลซึมในดินไม่อิ่มน้ำแบบ 3 มิติเพื่ออธิบายพฤติกรรมของการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่พร่อง-แม่พูล และใช้แบบจำลองเสถียรภาพของลาดดินแบบลาดอนันต์ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน มีจำนวนการวิเคราะห์ 90 กรณี สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. แบบจำลองการไหลซึมแบบ 3 มิติ เป็นแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับสภาพจริงตามธรรมชาติที่สุด โดยผลการวิเคราะห์พบว่าความชื้นเฉลี่ยเริ่มต้นทั้งพื้นที่ที่มีค่าเท่ากับ 75% และมีความชื้นเฉลี่ยในมวลดินสูงสุดจากทุกกรณีเท่ากับ 86%

2. การประเมินค่าความชื้นเฉลี่ยในมวลดินจะแบ่งเป็น 3 กรณีได้แก่ กรณีการตกของฝนที่มีรอบปีการเกิดซ้ำต่างกัน กรณีที่มีระยะเวลาการตกของฝนต่างกัน และกรณีที่รูปแบบการตกของฝนต่างกัน

- กรณีรอบปีการเกิดซ้ำ 5 – 100 ปี พบว่าเมื่อรอบปีการเกิดซ้ำสูงขึ้น ค่าความชื้นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ก็มีค่ามากขึ้นด้วย เนื่องจากรอบปีการเกิดซ้ำที่สูงขึ้นจะมีความชื้นฝนมากขึ้น

- กรณีที่ระยะเวลาการตกของฝน 1 – 7 วัน พบว่า ระยะเวลาการตกของฝนที่นานขึ้นทำให้ความชื้นเฉลี่ยทั้งพื้นที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำฝนสะสมในมวลดินจะมีปริมาณมากขึ้นตามระยะเวลาที่ฝนตก

- กรณีที่รูปแบบการตกของฝน 6 รูปแบบแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการตกของฝนก็มีผลต่อค่าความชื้นในมวลดินเช่นกัน โดยรูปแบบที่ก่อให้เกิดค่าความชื้นเฉลี่ยสูงสุดคือรูปแบบที่ 4 มีค่าความชื้นสูงสุดเท่ากับ 86% เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ค่าความชื้นน้ำในดินมีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาต่างๆ แต่รูปแบบที่ 3 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสูงสุดเนื่องจากเป็นรูปแบบที่ความชื้นฝนสูงในช่วงแรกที่ยังไม่เริ่มตกดังอธิบายในหัวข้อ 7.1.2

3. จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงระดับความชื้นในแต่ละช่วงระยะห่างจากลำน้ำโดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วงได้แก่ ลาดชันตอนล่าง (0 – 50 ม.), ลาดชันตอนกลาง (50 – 100 ม.) และ ลาดชันตอนบน (มากกว่า 100 ม.) ซึ่งพบว่าบริเวณลาดชันตอนล่างเป็นพื้นที่ที่มีค่าความชื้นในสภาวะเริ่มต้นและการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในมวลดินสูงสุด รองลงมาคือพื้นที่ในช่วงลาดชันตอนกลาง และลาดชันตอนบน

4. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแสดงในรูปของค่า F.S. มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 3.55 ภายหลังการวิเคราะห์ความชื้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา พบว่าค่า F.S. ภายหลังการตกของฝนหนักในกรณี R100-D7-P4 มีค่าเท่ากับ 1.88 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง

กับค่า F.S. ต่ำสุดจากทุกกรณีมีค่าเท่ากับ 1.85 จึงกล่าวได้ว่าผลการวิเคราะห์จากรูปแบบการตกกรณี R100-D7-P4 สามารถเป็นตัวแทนของกรณีความชื้นที่วิกฤติที่สุดได้

5. พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำที่สุดคือบริเวณลาดชันตอนล่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีค่า F.S. เฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 1.21 และเมื่อพิจารณาเป็นระดับความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม พบว่าพื้นที่บริเวณลาดชันตอนล่าง มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มอยู่ในระดับสูง (High) สำหรับลาดชันตอนกลาง และลาดชันตอนบน มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มค่อนข้างสูง (Moderately High) แต่ทั้งนี้หากพิจารณาเป็นรายกรณีจะพบว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงมาก (Very High) อยู่ 10.7%

6. การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินกับรอยดินถล่มพบว่าผลการวิเคราะห์ (F.S. < 1.0) กับรอยดินถล่มมีความสอดคล้องกันร้อยละ 8.28 หากพิจารณาที่ค่า F.S. น้อยกว่า 2.0 ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงค่อนข้างสูง (Moderately High) จะมีความสอดคล้องกันร้อยละ 73.81 สำหรับจุดที่ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินไม่ตรงกับตำแหน่งที่เกิด สามารถปรับแก้ได้ด้วยการลดค่ากำลังของดินให้สอดคล้องกับสภาพจริงในสนามด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 6.2 นอกจากนี้การกำหนดขนาดกริดที่ใช้ในการวิเคราะห์ก็ส่งผลต่อผลการวิเคราะห์เช่นกัน จากการกำหนดกริดที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มีขนาดใหญ่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ ทำให้ความลาดชันของพื้นที่ในแบบจำลองไม่สอดคล้องกับความลาดชันในพื้นที่จริงเท่าที่ควร การกำหนดกริดให้มีความละเอียดมากขึ้นจึงเป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองให้ผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับสภาพการณ์จริง

9. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาการแก้ไขปัญหาดินถล่มบนที่สูงชันตามแนวพระราชดำริ (มูลนิธิชัยพัฒนา)

ขอขอบคุณ บริษัท Geosphere Environmental Technology, Japan. ที่ได้สนับสนุนโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 3 มิติ GETFLOWS

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] Asian Disaster Preparedness Center (ADPC), Department of Mineral Resources (DMR), & Geotechnical Engineering Research and Development Center (GERD). (2008). *Landslide Mitigation Demonstration Project for Patong*

- City: Carried act as a Part of the Asian Program for Regional Capacity Enhancement for Landslide Impact Mitigation (RECLAIM II). Retrieved from http://www.adpc.net/v2007/Programs/UDRM/PROGRAMS_PROJECTS/RECLAIMIII/Downloads/RECLAIM-Thailand%20LMDP%20Report.pdf
- [2] Mairaing, W., & Kunsuwan, B. (2005). Landslide Condition and Problems in Thailand. Paper presented at the EIT-JAPAN-AIT Join Workshop 2005, Geo-Risk Engineering and Management, Bangkok, Thailand. [in Thai]
- [3] Soralump, S., Pungsuwan, D., Chantasorn, M., & Inmala, N. (2010). Landslide Hazard Management in Patong Municipality Using Geotechnical Engineering Method. Paper presented at the 15th National Convention on Civil Engineering, Ubon Ratchathani, Thailand. [in Thai]
- [4] Soralump, S., & Nuimak, T. (2013). Estimation of Statistical Critical Rainfall Envelope for Landslide Warning. Paper presented at the 18th National Convention on Civil Engineering, Chiang Mai, Thailand. [in Thai]
- [5] Tepparnich, J. (2010). Mechanical Behaviour of Soil in Laplae Area of Uttaradit Province with Applications to Landslide. (Master's Thesis), Kasetsart University, Thailand. [in Thai]
- [6] Thaiyuenwong, S. & Soralump, S. (2012). Rain-Infiltration Model for Landslide Hazard Assessment. Paper presented at the 17th National Convention on Civil Engineering, Udon Thani, Thailand. [in Thai]
- [7] The Chaipattana Foundation. (2016). Research and Development for Landslide Protection on Highland Slope:Geotechnical Engineering Modelling for Prediction of Landslide Prone Area (Subproject 7). Bangkok, Thailand. [in Thai]
- [8] Department of Mineral Resources (DMR) (Cartographer). (1985). Geological Map of Thailand 1:250,000. Retrieved from http://www.dmr.go.th/dmr_data/downloadmap/geologicmap/NE47-11.zip [in Thai]
- [9] Engman, E. T. (1986). Roughness coefficients for routing surface runoff. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112(1), 39-53.
- [10] Department of Mineral Resources (DMR). (2006). Map of areas affected by landslide in Ban Pha Mub Uttaradit Province. Bangkok, Thailand. [in Thai]
- [11] Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). *Soil mechanics for unsaturated soils*: John Wiley & Sons.
- [12] Mairaing, W. (2008). *Landslide problems and warning by geotechnical methods*. Paper presented at the 26th Conference of the ASEAN Federation of Engineering Organization, Bangkok, Thailand.
- [13] Mairaing, W. & Thaijeamaree, N. (2004). Unsaturated Soil Strength for Mountain Slope Stability Analysis. Paper presented at the 9th National Convention on Civil Engineering, Phetchaburi, Thailand. [in Thai]
- [14] Fredlund, D. G., & Morgenstern, N. R. (1977). Stress state variables for unsaturated soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 103(ASCE 12919).
- [15] Jotisankasa, A. (2012). *Unsaturated Soil Mechanics* (1 ed.). Bangkok: Pre-One. [in Thai]
- [16] Bishop, A. W. (1959). The principle of effective stress. *Teknisk ukeblad*, 39, 859-863.
- [17] Thai Meteorological Department (TMD). (n.d.). Season of Thailand. Retrieved from <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=53> [in Thai]
- [18] Department of Mineral Resources (DMR). (2010). Knowledge of Landslides. Retrieved from http://www.dmr.go.th/download/Landslide/what_landslide1.htm [in Thai]
- [19] Harp, E. L., Held, M. D., Castañeda, M. R., McKenna, J. P., & Jibson, R. (2002). Landslide hazard map of Tegucigalpa, Honduras. *US Geological survey open-file report*, 02-219.

11. ชีวประวัติ



นายศุขทัต พุ่มชะเอม (Mr.Sukhathat Phumcha-em)

นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน



นายบรรพต กุลสุวรรณ (Mr.Bunpoat Kunsuwan)

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน



รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ไม่เรียง
(Assoc.Prof.Warakorn Mairaing)

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน