

การเตือนภัยดินถล่มจากการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ภูเขาทางภาคเหนือของประเทศไทย Landslide Warning by Rainfall Monitoring on Mountainous Area in Northern Thailand

สันติ ไทยยืนวงศ์^{1*}, ภูเบศร หนูทิมทอง², วิทวัส เดชมา³, สุทธิศักดิ์ ศรีลัมภ์⁴

^{1, 2, 3} สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา

⁴ รองศาสตราจารย์ หน่วยวิจัยวิศวกรรมดินถล่ม ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: ¹ Santi.tha@rmutr.ac.th, santtha@yahoo.com, ⁴ soralump_s@yahoo.com

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีประสบปัญหาอันเนื่องมาจากพิบัติภัยดินถล่มมานานแล้ว โดยเฉพาะในภาคเหนือ และภาคใต้ของประเทศ โดยมีแนวโน้มที่จะมีความถี่และความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเกิดดินถล่มจะสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพื่อสร้างขอบเขตปริมาณน้ำฝนวิกฤตสำหรับพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยจะทำการคัดเลือกคาบเวลาที่สอดคล้องกับการเกิดดินถล่มมากที่สุด และกำหนดขอบเขตน้ำฝนโดยแบ่งออกเป็นช่วงก่อนเกิดดินถล่มและในช่วงเกิดดินถล่ม จากผลการวิจัยพบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมคือ 4 วัน และแบ่งคาบเวลาก่อนเกิดดินถล่ม 3 วัน และช่วงเวลาเกิดดินถล่ม 1 วัน ซึ่งในพื้นที่ภาคเหนือนี้สามารถกำหนดขอบเขตน้ำฝนวิกฤตได้ 2 พื้นที่ ได้แก่ กลุ่มของพื้นที่เสี่ยงภัยในจังหวัด แม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง และตาก จะใช้ขอบเขตวิกฤตล่าง ส่วนกลุ่มจังหวัด แพร่ น่าน อุตรดิตถ์ สุโขทัย ใช้ขอบเขตวิกฤตบน

คำสำคัญ: ดินถล่ม, ปริมาณฝนวิกฤต, น้ำฝนก่อนหน้า, พื้นที่เสี่ยงภัย, ดินที่ไม่อิ่มตัว

Abstract

Thailand is one of many countries that were damaged from landslide disaster for long time, especially northern and southern. This problem remain occur and tend to more seriously in the future. Cause of Landslide related to rainfall, the study for critical rainfall boundary was performed for monitoring and warning on the northern Thailand. In this research, appropriate rainfall duration was performed first and followed by antecedent rainfall and critical rainfall assignment. From the result, the appropriate duration is 4 days for study area, 3 days antecedent rainfall and critical daily rainfall were defined for critical rainfall boundary. Moreover, this area can be divided into 2 zone of critical rainfall, first is landslide risk area of Mae Hong Son, Chiang Rai, Chiang Mai, Lampang and Tak for lower boundary. The second is landslide risk area of Phre, Nan, Uttaradit and Sukhothai for upper boundary.

Keyword: Landslide, Critical Rainfall, Antecedent Rainfall, Risk Area, Unsaturated Soil

1. คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีประสบปัญหาอันเนื่องมาจากพิบัติภัยดินถล่มมายาวนาน เหตุการณ์ดินถล่มที่ทำให้เกิดความสูญเสียมากที่สุด ครั้งหนึ่งที่มีการบันทึกไว้เกิดเมื่อปี พ.ศ. 2531 ที่อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช และหลังจากนั้นก็ยังคงมี เหตุการณ์ดินถล่มซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในพื้นที่ลาดชันบริเวณเชิงเขา โดยเกิดขึ้นทั้งในภาคเหนือ และภาคใต้ของประเทศ โดยมีแนวโน้มที่จะมีความถี่และความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น

จากผลกระทบของพิบัติภัยดังกล่าว จึงได้มีการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มทั่วประเทศโดยกรมทรัพยากรธรณี โดยพิจารณาจากปัจจัยทางด้านสภาพพื้นที่ เช่น ความลาดชัน ลักษณะทางธรณีวิทยา และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น เพื่อประเมินพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากดินถล่ม ซึ่งเป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการลดความเสี่ยงนั้น อย่างไรก็ตาม ความเสี่ยงที่ประเมินขึ้นนั้นไม่คงที่เท่ากันตลอดเวลา การเกิดดินถล่มนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านสภาพพื้นที่ดังกล่าวแล้ว ยังแปรผันไปตามปริมาณความชื้นในดินซึ่งไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำฝน ดังนั้นเพื่อให้สามารถรู้พื้นที่ใดอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัย จึงจำเป็นต้องมีระบบการเตือนภัยดินถล่ม เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่รับรู้ข่าวสาร และสามารถอพยพได้ทัน

เนื่องจากการเกิดดินถล่มจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน ดังนั้นการเตือนภัยจึงสามารถกระทำได้โดยติดตามจากปริมาณน้ำฝนที่ตก ซึ่งในปัจจุบัน ในประเทศไทยได้มีแนวทางการดำเนินการได้ 2 แนวทาง ได้แก่ การประเมินโดยการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมปฐพี และการประเมินโดยใช้ข้อมูลเชิงสถิติซึ่งเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนกับเหตุการณ์ดินถล่มในอดีต

สำหรับบทความวิจัยในครั้งนี้ ได้นำเสนอผลการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ของ ปริมาณน้ำฝนกับเหตุการณ์ดินถล่มในอดีต โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างขอบเขตปริมาณน้ำฝนวิกฤตสำหรับพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ในการดำเนินการนั้น จะรวบรวมจากข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากแหล่งรวบรวมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากข้อมูลของศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ทำการศึกษาด้านดินถล่มมาอย่างต่อเนื่อง ส่วนข้อมูลปริมาณน้ำฝนนั้น ได้นำข้อมูลจากการตรวจโดยสถานีภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยา มาหาค่าความสัมพันธ์

2. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษารังนี้ ได้แก่พื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทย (รูปที่ 1) ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบ สลับกับพื้นที่เขา ซึ่งมีความลาดชันสูง ซึ่งมักจะเกิดดินถล่มอยู่เป็นประจำโดยเฉพาะในฤดูฝนที่มีฝนตกหนัก



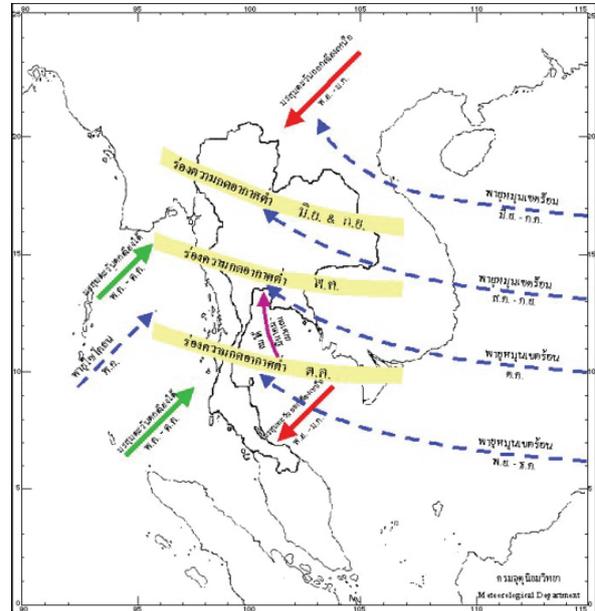
รูปที่ 1 พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

สำหรับประเทศไทย ฤดูฝนจะเริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคม ถึงกลางเดือนตุลาคม มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมชื้นพัดปกคลุมประเทศไทย ขณะที่ร่องความกดอากาศต่ำ ซึ่งเป็นแนวร่องที่ก่อให้เกิดฝน พาดผ่านประเทศไทยทำให้มีฝนชุกทั่วไป ร่องความกดอากาศต่ำนี้ปกติจะเริ่มพาดผ่านภาคใต้ในเดือนเมษายน แล้วจึงเลื่อนขึ้นไปพาดผ่านภาคกลางและภาคตะวันออก ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือเหนือ ในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายนตามลำดับ ประมาณปลายเดือนมิถุนายนจะเลื่อนขึ้นไปพาดผ่านบริเวณประเทศจีนตอนใต้ ประมาณเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายนร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนกลับลงมาพาดผ่านบริเวณประเทศไทยอีกครั้งจากภาคเหนือลงไปภาคใต้ ทำให้มีฝนชุกต่อเนื่อง โดยตอนบนของประเทศจะตกชุกช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน และภาคใต้จะตกชุกช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน (รูปที่ 2)

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดินถล่มเป็นพฤติกรรมของลาดดินที่กำลังรับแรงเฉือนลดลงจนสูญเสียเสถียรภาพ ลาดดินเกิดการพิบัติและเคลื่อนตัวลงสู่พื้นที่ด้านล่าง ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่มจึงสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพพื้นที่ ได้แก่ ความลาดชัน ธรณีวิทยา และการใช้ประโยชน์ที่ดิน และอีกปัจจัยหนึ่งคือ น้ำฝนพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะมีโอกาสเกิดดินถล่มสูงกว่า หินที่ผุพังจะให้ดินที่มีคุณสมบัติต่างกัน ดินที่เกิดจากหินแกรนิต จะเป็นดินจำพวกดินทรายจะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินต่ำ และมีความสามารถในการซึมน้ำสูง ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินจะมีผลต่อการซึมน้ำที่ผิวดินและเสถียรภาพของลาดดิน ลาดดินที่เกิดจากหินแกรนิต มีความลาดชันสูง

และไม่มีพืชปกคลุมดิน ก็จะมีแนวโน้มที่จะเกิดดินถล่มได้มากกว่า แต่ดินถล่มจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีน้ำฝนซึมผ่านชั้นดินลงมา



รูปที่ 2 ทิศทางมรสุมที่พัดผ่านประเทศไทย

ทั้งนี้ลาดดินในธรรมชาติเป็นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ปริมาณน้ำในดินสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมผ่านลงมา เมื่อฝนตกลงสู่พื้นดิน ปริมาณน้ำฝนส่วนหนึ่งจะไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดิน (Infiltration) น้ำฝนส่วนที่ซึมลงไปชั้นใต้ดินจะไหลไปยังชั้นน้ำใต้ดิน โดยผ่านชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวที่อยู่ด้านบน ซึ่งการที่จะผ่านชั้นนี้ลงไปได้ปริมาณน้ำต้องมีมากเพียงพอที่จะลดแรงดึงน้ำ (Capillary) ที่จะกักไม่ให้น้ำไหลผ่าน ซึ่งการไหลซึมผ่านนี้จะมีผลทำให้ความชื้นในดินที่ไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดึงน้ำในมวลดินลดลงมีผลทำให้หน่วยแรงประสิทธิผลลดลงและกำลังรับแรงเฉือนลดลง และอาจทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เสถียรภาพของดินลดลง [1]

การกำหนดเกณฑ์การเตือนภัยโดยใช้ปริมาณน้ำฝนวิกฤตเชิงสถิติ โดยใช้ข้อมูลการเกิดดินถล่มในอดีต และปริมาณน้ำฝนที่สัมพันธ์กัน มีการพัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยหลายท่าน ซึ่งสามารถจำแนกวิธีการออกเป็น 2 กลุ่มหลัก [2] คือ การกำหนดเกณฑ์จากความสัมพันธ์น้ำฝนกับคาบเวลา (Intensity-Duration Threshold) และการกำหนดเกณฑ์โดยพิจารณาถึงอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาก่อนหน้า (Antecedent Rainfall)

กลุ่มแรกเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของน้ำฝน (Rainfall Intensity) กับคาบการเกิดฝนตก (Duration) โดยสร้างเป็นแบบจำลอง หรือสมการเชิงประจักษ์ (Empirical Model) เช่น งานวิจัย [3] และ [4] ส่วนกลุ่มที่สองได้พิจารณาถึงความชื้นในดินเริ่มต้น (Initial Water Content) โดยแบ่งปริมาณน้ำฝนออกเป็น 2 ส่วนตามคาบเวลา โดยในส่วนแรกเป็นส่วนที่เกิดขึ้นก่อนเกิดดินถล่ม เรียกว่าปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า (Antecedent Rainfall) ซึ่งเป็นส่วนที่มีอิทธิพลต่อความชื้นในดินเริ่มต้น และส่วนที่สองเป็นส่วนที่เกิดขึ้นในช่วงที่เกิดดินถล่มซึ่งกำหนดเป็นความชื้นในช่วงเวลาที่สนใจ เช่น ฝนรายวัน

เป็นต้น เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนวิกฤต คือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนทั้งสองที่ทำให้เกิดดินถล่ม

[5] ได้กำหนดเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนวิกฤตสำหรับเดือนกุมภาพันธ์ในแอ่งกึ่ง โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนรายวัน และปริมาณน้ำฝนสะสมในอดีต 15 วัน [6] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับการเกิดดินถล่มโดยพบว่ามีความแตกต่างกัน 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ที่ความเข้มข้นน้ำฝนรายวันมากในคาบเวลาสั้น ดินถล่มที่เกิดขึ้นเป็นแบบตื้น (Shallow Landslide) ส่วนกลุ่มที่ 2 ที่คาบเวลายาวแต่มีความเข้มข้นน้ำฝนรายวันต่ำ จะเกิดดินถล่มแบบลึก (Deep Landslide) [7] ได้เสนอเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนวิกฤตในพื้นที่เมือง Seattle, Washington โดยใช้ข้อมูลดินถล่มในช่วงปี 1933-1997 ซึ่งค่าที่เหมาะสมใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำฝนราย 3 วัน (3-Days Intensity) กับปริมาณน้ำฝนในอดีต 15 วัน [8] ได้พัฒนาการกำหนดปริมาณน้ำฝนในอดีตโดยพิจารณาให้อัตราส่วนของปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นก่อนมีผลต่อความชื้นในดินเริ่มต้นน้อยกว่าที่เกิดขึ้นใกล้วันที่เกิดดินถล่ม

สำหรับในประเทศไทยนั้น ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังเช่น ผลงานวิจัยของ [9] ได้สร้างความสัมพันธ์ของค่าปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วง 3 วันก่อน (3-day accumulated rainfall) กับปริมาณฝนรายวัน (Daily rainfall) จากข้อมูลดินถล่มที่เกิดขึ้นในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชเมื่อปี พ.ศ. 2531 ซึ่งมีผู้เสียชีวิตหลายร้อยคน เพื่อมาใช้เป็นขอบเขตน้ำฝนวิกฤตสำหรับการเตือนภัยดินถล่ม ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และจังหวัดข้างเคียง โดยในเหตุการณ์ดินถล่มที่อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่ ในปี พ.ศ. 2554 ได้มีการนำผลงานวิจัยดังกล่าวมาทดสอบ [10] และพบว่าปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดดินถล่มสอดคล้องกับขอบเขตปริมาณน้ำฝนวิกฤต นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มีลักษณะเดียวกันแต่พิจารณาขอบเขตวิกฤตจากความชื้นในดิน เรียกว่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินวิกฤต (Antecedent Precipitation Index, API) [11] ซึ่งเป็นความชื้นในดินเนื่องจากฝนตกที่ทำให้เกิดดินถล่ม ผลงานวิจัยดังกล่าวได้นำมาใช้ในการประเมินพื้นที่มีโอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต [12] โดยแสดงในลักษณะเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

4. ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินงานในครั้งนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ 1) การเก็บรวบรวมข้อมูล 2) การเลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการประเมิน และ 3) การกำหนดขอบเขตปริมาณน้ำฝนวิกฤต โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลสองส่วน ได้แก่ ข้อมูลการเกิดดินถล่ม และข้อมูลปริมาณน้ำฝน โดยข้อมูลการเกิดดินถล่มในอดีตที่เกิดขึ้นในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้จะใช้ข้อมูลที่รวบรวมโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ส่วนข้อมูลปริมาณน้ำฝน ได้รวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน จัดทำพื้นที่รับน้ำฝนโดยวิธี Thiessen Polygon เพื่อหาสถานีน้ำฝนที่สัมพันธ์กับบริเวณที่เกิดดินถล่ม

4.2 การเลือกคาบเวลาที่เหมาะสม

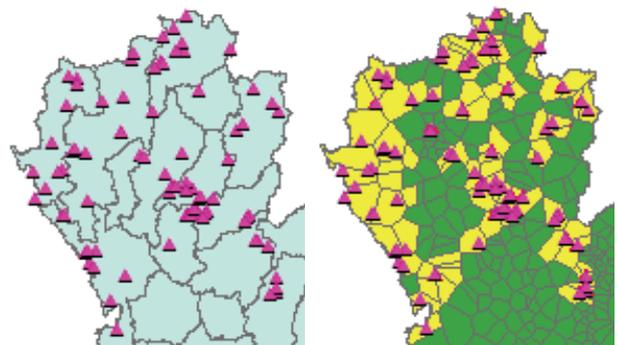
จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ทำการคำนวณเป็นน้ำฝนที่คาบเวลาต่างๆ ตั้งแต่ 1, 2, 3 จนถึง 7 วัน หาจำนวนครั้งของฝนตกที่มีปริมาณน้ำฝนที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าปริมาณน้ำฝนในวันที่เกิดดินถล่ม เปรียบเทียบอัตราส่วนการเกิดดินถล่มในแต่ละคาบเวลาเลือกคาบเวลาที่มีอัตราส่วนการเกิดมากที่สุด เป็นคาบเวลาที่เหมาะสม

4.3 การกำหนดขอบเขตน้ำฝนวิกฤต

พิจารณาจากคาบเวลาฝนตกจากขั้นตอนที่ 2 แบ่งปริมาณน้ำฝนออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า (Antecedent Rainfall, Ra) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำฝนที่ทำให้ชั้นดินมีความชื้นเพิ่มขึ้นก่อนที่จะเกิดดินถล่ม และปริมาณน้ำฝนรายวันวิกฤต (Critical Daily Rainfall) เป็นน้ำฝน 24 ชั่วโมงสุดท้ายที่ครอบคลุมช่วงเวลาที่เกิดดินถล่ม

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากข้อมูลดินถล่มที่รวบรวมได้ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย มีทั้งสิ้น 54 กรณีดังแสดงในรูปที่ 4ก เมื่อนำมาวางซ้อนทับกับข้อมูลตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาและสร้าง Thiessen Polygon ครอบคลุมบริเวณที่เกิดดินถล่มเพื่อหาสถานีวัดน้ำฝนที่ใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดดินถล่มมากที่สุด เพื่อที่จะนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่เป็นปัจจัยกระตุ้นให้เกิดดินถล่มในบริเวณดังกล่าวมาแสดงในรูปที่ 4ข



ก. ตำแหน่งที่เกิดดินถล่ม

ข. พื้นที่รับน้ำฝน

รูปที่ 4 บริเวณพื้นที่ศึกษา

นำข้อมูลปริมาณน้ำฝนในอดีตจากสถานีที่เกี่ยวข้องมาเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ดินถล่ม โดยคำนวณปริมาณน้ำฝนในคาบเวลาต่างๆ ตั้งแต่คาบเวลา 1, 2, 3 จนถึงคาบเวลา 7 วัน เปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนในวันที่เกิดดินถล่มกับวันอื่นๆ ที่คาบเวลาเดียวกัน คัดเลือกปริมาณน้ำฝนที่เท่ากับหรือมากกว่าในวันที่เกิดดินถล่ม เพื่อเทียบเป็นอัตราส่วนการเกิดดินถล่มโดยเทียบเป็นจำนวนครั้งที่เกิดฝนตกต่อการเกิดดินถล่ม 1 ครั้ง

เปรียบเทียบอัตราส่วนการเกิดดินถล่มในแต่ละคาบเวลา (ตั้งแต่ 1 วัน จนถึง 7 วัน) ที่อัตราการเกิดดินถล่ม 1:1000, 1:500, 1:200 และ 1:100 ดังแสดงในรูปที่ 5

จากกราฟจะเริ่มที่คาบเวลา 1 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนข้อมูลดินถล่มจะเพิ่มสูงขึ้นตามคาบเวลาที่มากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนที่

- [6] J.L. Zêzere, R. Trigo, I. Trigo. *Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal): assessment of relationships with the North Atlantic Oscillation*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, European Geosciences Union, 2005, p.331-344.
- [7] A.F. Chleborad. *Preliminary Evaluation of a Precipitation Threshold for Anticipating the Occurrence of Landslides in the Seattle, Washington, Area*. US Geological Survey Open-File Report 03-463, 2003.
- [8] M.J. Crozier and R. J. Eyles. *Assessing the probability of rapid mass movement*. NewZealand Institution of Engineers—Proceedings of Technical Groups (ed.), Proc. Third Australia–NewZealand Conference on Geomechanics, Wellington, 1980, 2.47–2.51.
- [9] วรากร ไม้เรียง, ก่อโชค จันทรวงกูร, ธนาตล คงสมบูรณ์ และ สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์. *โครงการ “การศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต”*, สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย, 2549
- [10] S. Soralump. *2011 Disastrous Landslides at Krabi Thailand*. EIT-Japan Symposium 2011 on Human Security Engineering, 2011.
- [11] วรวัชร ตอวิวัฒน์ และ สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์. *แบบจำลองเพื่อการประเมินค่า API วิกฤตสำหรับการเตือนภัยดินถล่ม*. การประชุมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2553
- [12] S. Soralump. *Rainfall-Triggered Landslide: from research to mitigation practice in Thailand*. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS&AGSSEA Vol. 41 No.1, 2010.