มูลนิธิ
พลังที่ยั่งยืน

รู้ทันภัยพิบัติจากดินถล่ม

บรรณาธิการ
รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์
ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มูลนิธิ
พลังที่ยั่งยืน

รู้ทันภัยพิบัติจากดินถล่ม

บรรณาธิการ รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์
ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วาดภาพประกอบ ปณพันธ์ จันทรทีประ

พิมพ์ครั้งที่ 1; พ.ศ. 2561

คำนำ

ภัยดินถล่มเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในประเทศไทย ส่งผลกระทบต่อชีวิต ทรัพย์สิน ของประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัย และกระทบต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ และสังคมของประเทศ ภัยดินถล่มจะก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างมากหากไม่มีการเตรียมรับมือกับภัยดินถล่มที่ดีพอ การบูรณาการความร่วมมือจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง การส่งเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการสร้างความเข้าใจและจิตสำนึกให้กับประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัย เป็นมาตรการสำคัญลำดับต้น ๆ ในการดำเนินการเชิงรุกเพื่อรับมือภัยดินถล่มอย่างยั่งยืน ด้วยเล็งเห็นถึงความสำคัญดังกล่าว มูลนิธิพลังที่ยั่งยืนจึงได้จัดทำหนังสือ“รู้ทันภัยพิบัติจากดินถล่ม” เพื่อให้ประชาชนและผู้เกี่ยวข้องมีความรู้ ความเข้าใจถึงกลไกและปัจจัยที่ทำให้เกิดดินถล่ม ตระหนักถึงความสำคัญของเตรียมพร้อมรับมือภัยดินถล่มในมิติต่าง ๆ และสามารถบริหารความเสี่ยงของตนเองและชุมชนได้อย่างเหมาะสม หนังสือเล่มนี้เรียบเรียงขึ้นโดยพยายามหลีกเลี่ยงการใช้ศัพท์เทคนิคและทฤษฎีขั้นสูง เพื่อให้ผู้อ่านทั่วไปสามารถทำความเข้าใจได้โดยง่าย และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือ“รู้ทันภัยพิบัติจากดินถล่ม”จะเป็นประโยชน์แก่บุคคลและหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการรับมือกับภัยดินถล่ม และนำมาซึ่งความสามารถในการรับมือกับภัยดินถล่มของประเทศอย่างยั่งยืน

รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์

สารบัญ

หน้า

คำนำ ก

บทที่ 1 ดินถล่มในประเทศไทยและความรู้เบื้องต้น 1
โดย รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์

บทที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของลาดดิน 45
โดย ดร.สมใจ ยุบลชิต
รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์

บทที่ 3 การเฝ้าระวัง การเตือนภัย และการรับมือดินถล่ม 73
โดย รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์

บทที่ 4 แนวทางในการเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ลาดดิน 113
โดย รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์
นายถาวร ธีรเมธาทิพรัตน์

รายการอ้างอิง 137

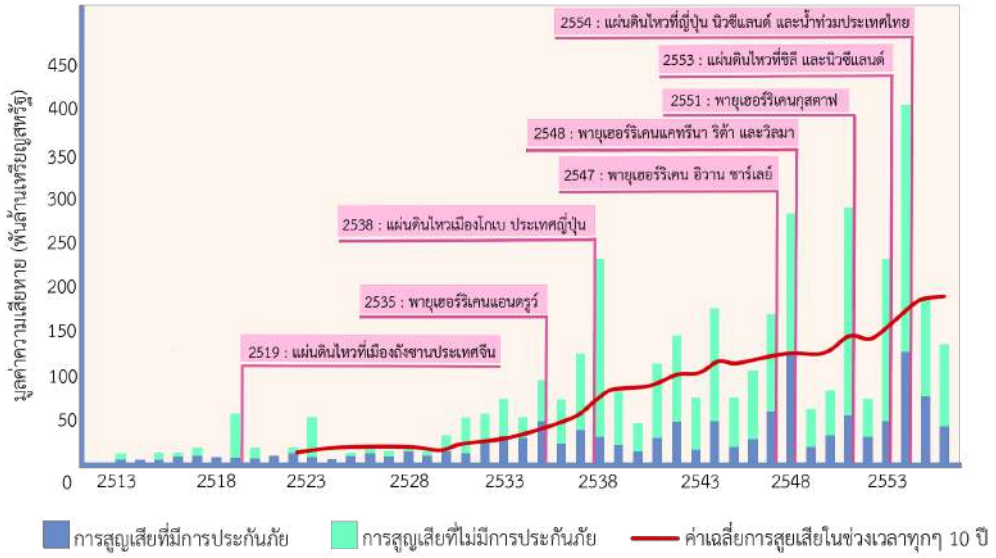
ประวัติผู้เขียน 146

บทที่ 1

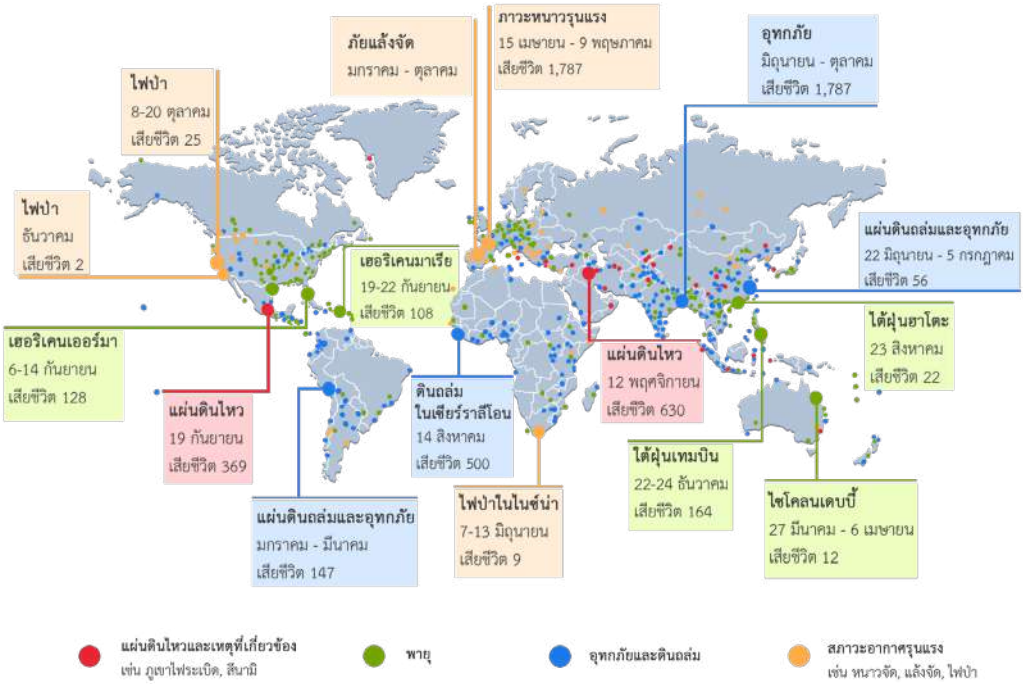
ดินถล่มในประเทศไทย และความรู้เบื้องต้น

โดย รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์

ภัยพิบัติทางธรรมชาตินับวันยิ่งทวีความรุนแรงขึ้น สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะภาวะเรือนกระจกทำให้สภาพอากาศมีความแปรปรวนสูง เช่น เกิดภาวะแห้งแล้งยาวนาน เกิดภาวะหนาวจัดอย่างไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน หรือเกิดฝนตกหนักต่อเนื่องยาวนาน เป็นต้น ทั้งนี้หากพิจารณาภัยพิบัติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั่วโลกจะพบว่าขนาดความเสียหายเนื่องจากภัยพิบัติทางธรรมชาตินับวันจะทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ รูปที่ 1 แสดงมูลค่าความเสียหายจากภัยพิบัติทางธรรมชาติทั่วโลกตั้งแต่ปีพุทธศักราช 2513 ถึงปี 2554 ซึ่งมีมูลค่าความเสียหายมีขนาดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี และเพิ่มขึ้นถึงมากกว่า 10 เท่าในช่วงระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา



รูปที่ 1.1 มูลค่าความเสียหายเนื่องจากภัยธรรมชาติตั้งแต่ปีพุทธศักราช 2513 ถึง 2554
(ดัดแปลงจาก: Natural Hazards and Disasters โดย Donald Hyndman and David Hyndman)

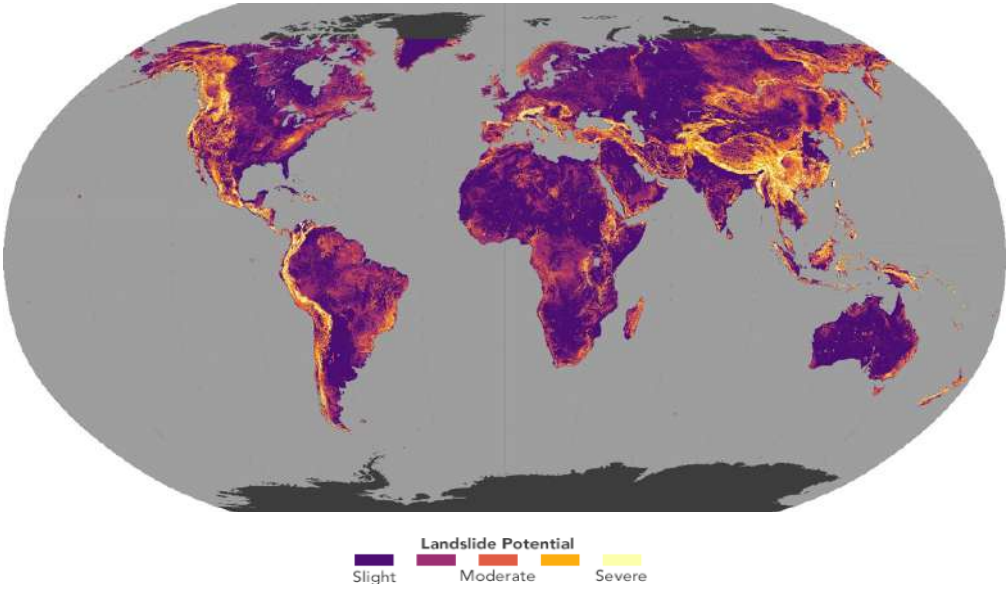


รูปที่ 1.2ก ภัยพิบัติทางธรรมชาติต่างๆที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2560
(ดัดแปลงจาก: Munich Re's NatCatSERVICE)

รูปที่ 1.2ข ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นตามที่ต่างๆทั่วโลกในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2561
(ดัดแปลงจาก: นิตยสารมติชนสุดสัปดาห์)

รูปที่ 1.2ก แสดงเหตุภัยพิบัติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั่วโลกในปี พ.ศ. 2561 ซึ่งมีมากกว่าหนึ่งพันเหตุการณ์ โดยภัยพิบัติทางธรรมชาติในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดจากพายุและผลกระทบจากพายุ เช่น น้ำท่วมฉับพลัน แผ่นดินถล่ม ล่าสุดในปีพุทธศักราช 2561 เฉพาะเดือนกรกฎาคม เกิดเหตุภัยพิบัติทางธรรมชาติประเภทต่าง ๆ ขึ้นหลายแห่ง (รูปที่ 1.2ข) ไม่ว่าจะเป็นคลื่นอากาศร้อนในหลายประเทศ เหตุไฟป่าในสหรัฐอเมริกา พายุฝนตกหนักทำให้เกิดดินถล่มเขื่อนแตกที่ประเทศลาว และที่สร้างความสูญเสียมากที่สุดคือ เหตุดินโคลนถล่มและน้ำท่วมฉับพลันเป็นบริเวณกว้างกินพื้นที่หลายจังหวัดในแถบภาคตะวันตก ภาคกลางของญี่ปุ่น มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 200 คน ทำให้รัฐบาลต้องอพยพประชาชนมากกว่า 1.6 ล้านคนออกจากพื้นที่เสี่ยงภัย

ภัยดินถล่มซึ่งเป็นภัยทางธรรมชาติที่ประเทศแถบมรสุมต้องเผชิญอยู่บ่อยครั้ง โดยมีสาเหตุหลักมาจากพายุฝนตกหนักต่อเนื่องเป็นเวลานาน หลายครั้งมักเกิดน้ำป่าไหลหลากร่วมด้วย ซึ่งน้ำป่าไหลหลากจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกินบริเวณกว้าง ทำให้ภัยพิบัติทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น รูปที่ 1.3 แสดงความชุกการเกิดเหตุดินถล่มตามพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลกพบว่า ดินถล่มเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่พบได้ทั่วโลก และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จัดเป็นภูมิภาคที่มีความชุกของการเกิดดินถล่มสูงถึงสูงที่สุดแห่งหนึ่งของโลก และผลจากภาวะเรือนกระจกคาดว่า ในอนาคตเหตุดินถล่มจะทวีความรุนแรงมากขึ้น



รูปที่ 1.3 ความชุกของเหตุดินโคลนถล่มทั่วโลก
(ที่มา: https://earthobservatory.nasa.gov)

แม้ว่าการเกิดดินถล่มสามารถมีรูปแบบการเกิดร่วมกันได้หลายรูปแบบ แต่ปัจจัยกระตุ้นหลักที่ทำให้เกิดดินถล่มในประเทศไทยคือน้ำฝน ทำให้การเกิดดินถล่มมักเกิดตามบริเวณทางน้ำที่มีน้ำไหลมารวมกัน โดยอาจเป็นทางน้ำตามธรรมชาติหรือโดยฝีมือมนุษย์ ดังนั้นหากมีการเรียนรู้และทำความเข้าใจเหตุการณ์ดินโคลนถล่มของประเทศไทยในอดีต รวมถึงทำความเข้าใจพฤติกรรมของลาดดินทั้งก่อนและขณะเกิดการวิบัติ ก็จะสามารถนำไปวางแผนรับมือและป้องกันเหตุดินโคลนถล่มที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

1.1 เหตุการณ์ดินถล่มในประเทศไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลของลมมรสุม มีพื้นที่ภาคเหนือภาคตะวันตกและภาคใต้ของประเทศปกคลุมด้วยภูเขาและพื้นที่ลาดชัน ทำให้พื้นที่ดังกล่าวต้องประสบเหตุดินถล่มบ่อยครั้ง ผู้แต่งได้รวบรวมเหตุการดินถล่มตั้งแต่ปีพุทธศักราช 2520 ถึง 2561 จำนวนทั้งสิ้น 55 เหตุการณ์ (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นเพียงบางส่วนของเหตุการดินถล่มทั้งหมดที่เกิดขึ้นในประเทศไทยเท่านั้น หัวข้อนี้จะถอดบทเรียนเหตุดินถล่มบางเหตุการณ์เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุเพื่อเป็นข้อเตือนใจและนำไปวางแผนการรับมือกับภัยดินถล่มที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

1.1.1) เหตุดินโคลนถล่มที่ตำบลกระทูน อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2531

เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2531 (รูปที่ 1.4) ก่อนเกิดดินถล่มมีฝนตกปรอย ๆ ในพื้นที่ต่อเนื่องหลายวัน และเมื่อเกิดฝนระลอกใหญ่ในวันที่ 22 พฤศจิกายน ทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลากจากภูเขาเหนือหมู่บ้าน น้ำป่านั้นได้พัดพาเอาทั้งหิน ดิน โคลน และท่อนไม้ท่อนซุงจำนวนมากลงมาตามทางน้ำซึ่งมีลักษณะเป็นช่องเขาแคบ ๆ ทำให้ดินหินและท่อนซุงเกิดการขัดกันเองกลายเป็นเขื่อนแบบหลวม ๆ ทำให้น้ำที่ไหลลงมาในช่วงแรกก่อให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน จนเมื่อดินหินและท่อนซุงที่ขัดกันอยู่ถล่มลงมาจึงนำเอาน้ำโคลนและท่อนซุงจำนวนมากถล่มสิ่งปลูกสร้างบ้านเรือนและคร่าชีวิตผู้คนไปเป็นจำนวนมากกว่า 700 คน ภายในเวลาเพียงชั่วข้ามคืน **สาเหตุของภัยพิบัติในครั้งนี้มาจากปัจจัยร่วมหลายอย่าง** ได้แก่

• สัมประทานป่า

หลังเหตุการณ์ดังกล่าวพบว่ามีท่อนซุงทั้งที่ตีตราแล้วและที่ไม่ได้ตีตราจำนวนหลายพันท่อน มีรายงานว่า ก่อนเกิดเหตุมีการคัดค้านสัมประทานป่าบริเวณดังกล่าว แต่ไม่สามารถทำอะไรได้ เนื่องจากนายทุนอ้างว่า ได้สัมประทานมาอย่างถูกกฎหมาย อีกทั้งยังข่มขู่ชาวบ้านที่คัดค้านว่า จะดำเนินการกลับตามกฎหมาย

• การปลูกพืชเชิงเดี่ยวในพื้นที่ลาดชัน

มีการโค่นป่าบนเขาเพื่อใช้เป็นพื้นที่ปลูกยางพาราซึ่งเป็นพืชยืนต้นแต่มีรากตื้น ทำให้พื้นที่เขามีแต่พืชยืนต้นเชิงเดี่ยวที่มีประสิทธิภาพยึดเกาะหน้าดินได้น้อยเพราะไม่มีรากแก้ว

• ที่ตั้งของชุมชน

หมู่บ้านตั้งอยู่ในพื้นที่รับน้ำจากเชิงเขาโดยรอบ ซึ่งพื้นที่รับน้ำกินพื้นที่ประมาณ 200-300 ตารางกิโลเมตร ขณะที่ทางระบายน้ำออกจากพื้นที่รับน้ำมีความกว้างเพียง 70 เมตร (รูปที่ 1.5) ทำให้น้ำจำนวนมากที่ไหลมาพร้อม ๆ กันไม่สามารถระบายออกไปได้ทันจึงเกิดน้ำท่วมฉับพลัน

• เขื่อนดินถล่ม (landslide dam)

เกิดจากการตัดไม้ทำลายป่าและการปลูกพืชยางพาราในพื้นที่ลาดชัน อีกทั้งสภาพพื้นที่ที่มีเส้นทางไหลของน้ำเป็นช่องเขาแคบ ๆ ทำให้ท่อนซุงและต้นยางที่ไหลมาจากดินถล่มมาขัดกันกลายเป็นเขื่อนดินถล่มบนเขา เมื่อมีน้ำฝนจากพื้นที่รับน้ำเติมลงมาตลอดเวลาทำให้เขื่อนดินถล่มพังลง ท่อนซุงและต้นยางเหล่านี้จึงไหลลงถล่มชุมชนอย่างรวดเร็วและทวีความเสียหายต่อพื้นที่ประสบเหตุ

• ปริมาณฝนสะสม

การเกิดฝนตกปรอย ๆ ต่อเนื่องหลายวันทำให้ดินมีการอุ้มน้ำจนดินมีความชุ่มน้ำเต็มที่ ลาดดินจึงมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันการมีน้ำไปแทรกในมวลดินทำให้ความฝืดระหว่างเม็ดดินลดลง เมื่อเกิดฝนตกระลอกใหญ่ จึงกระตุ้นให้มวลดินเคลื่อนตัวลงมาตามลาดเขาทันที

รูปที่ 1.4 ประมวลภาพความเสียหายจากดินถล่มอำเภอพิปูน
(ที่มา: facebook ตะวันแดงการ์เด้นรีสอร์ท)

รูปที่ 1.5 พื้นที่ภัยพิบัติดินถล่ม ต.กะทูน อ.พิปูนประมาณ พ.ศ. 2532 ทางน้ำออกบริเวณที่ลูกศรชี้
(ที่มา: https://th.wikipedia.org/wiki)

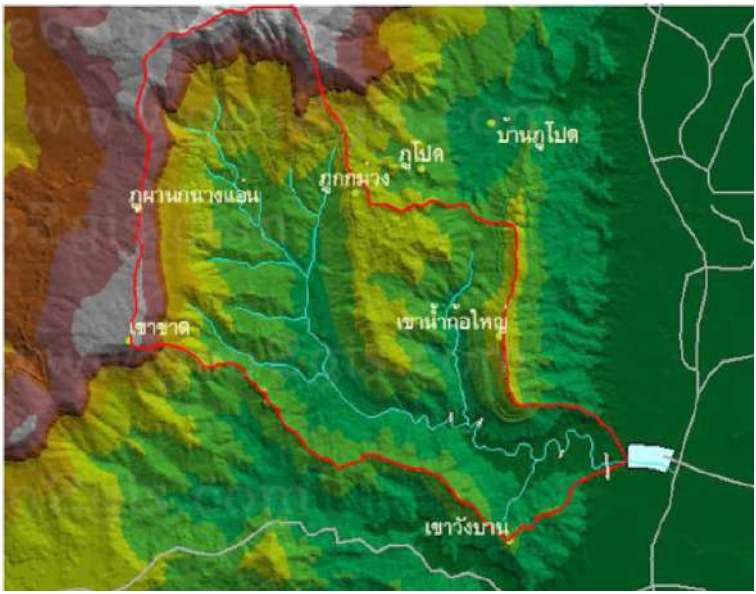
1.1.2) เหตุดินโคลนถล่ม ที่บ้านน้ำก้อ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ปีพุทธศักราช 2544

เกิดขึ้นในคืนวันที่ 11 สิงหาคมปีพุทธศักราช 2544 โดยเกิดดินถล่มบนภูเขา หอบเอาทั้งดินโคลนและซากต้นไม้อย่างถอนรากถอนโคนจำนวนมากไหลลงมายังชุมชนที่อยู่ด้านล่าง เนื่องจากขณะเกิดเหตุเป็นเวลากลางคืน และเกิดการไหลของดินโคลนและน้ำป่าอย่างรวดเร็ว ทำให้ประชาชนในพื้นที่ไม่สามารถอพยพได้ทันเพียงระยะเวลาชั่วข้ามคืน บ้านน้ำก้อก็ถูกลบหายไปจากแผนที่ เหตุการณ์นี้ได้คร่าชีวิตผู้คนไปร่วม 140 คนและมีผู้ได้รับผลกระทบอีกเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้จากข้อมูลน้ำฝนที่บริเวณต้นน้ำเหนืออำเภอหล่มสัก ซึ่งจากการเฉลี่ยข้อมูลบริเวณอำเภอภูหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย และบริเวณอำเภอนครไทย อำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก ในรอบ 5 วันก่อนเกิดดินถล่มมีปริมาณฝนสะสมเพียง 200 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำก้อเพียง 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเท่านั้น (ข้อมูลจากสำนักบรรเทาทุกข์และประชานามัยพิทักษ์) ดังนั้นปัจจัยสำคัญของความสูญเสียในเหตุการณ์นี้คือ

- **ที่ตั้งของชุมชน:** ตำแหน่งที่ตั้งของชุมชนบ้านน้ำก้ออยู่ห่างจากไหล่เขาเพียงไม่กี่กิโลเมตร และห่างจากช่องเขาน้ำก้อใหญ่ ซึ่งตัดกับเขาวังบาน เป็นระยะทางเพียง 2.5 กิโลเมตร ดังรูปที่ 1.7 ดินถล่มจากเขาจึงใช้เวลาไม่ถึง 10 นาทีในการเดินทางมาถึงที่ตั้งของชุมชน ชาวบ้านจึงไม่มีเวลาในการตั้งตัว ประกอบกับเหตุดังกล่าวเกิดขึ้นตอนประมาณ 03:00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ชาวบ้านกำลังนอนหลับอย่างสนิท

- **การทำกสิกรรมบนภูเขา:** การโค่นป่าไม้เพื่อปลูกพืชไร่ (อ้างอิงจาก Geo2GIS.com) ทำให้เนินเขาด้านบนเป็นเขาหัวโล้น แม้จะมีปริมาณฝนไม่มากแต่สภาพพื้นที่ดังกล่าวสามารถทำให้น้ำท่ามีค่าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 40 จากสภาพเดิมที่ป่าไม้ยังไม่ถูกตัดทำลาย

รูปที่ 1.6 ความเสียหายจากดินถล่มบ้านน้ำก้อ (ที่มา: www.gisthai.org)



รูปที่ 1.7 ตำแหน่งที่ตั้งของบ้านน้ำก้อ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพรชบูรณ์ (ที่มา: www.Geo2GIS.com)

1.1.3) เหตุดินถล่มในหลายจังหวัดของภาคเหนือตอนล่าง พ.ศ. 2549

ในปีพุทธศักราช 2549 เกิดเหตุดินถล่มหลายจังหวัดของภาคเหนือตอนล่าง ได้แก่ อำเภอลับแล อำเภอท่าปลา และอำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และอำเภอเมือง จังหวัดแพร่ มีผู้เสียชีวิตและสูญหาย 116 คน ในจำนวนนี้อยู่ในจังหวัดอุตรดิตถ์ 103 คน ภัยพิบัติครั้งนี้เกิดจากร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านภาคเหนือตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยฝนเริ่มตกหนักสลับเบาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 18 พฤกษภาคม และวันที่ 22 พฤกษภาคม เกิดฝนตกหนักต่อเนื่องตั้งแต่ 15:00 น. พื้นที่ต้นน้ำเกิดน้ำท่วม 2 ครั้ง ครั้งแรกเวลาประมาณ 22:00 น. ของวันที่ 22 พฤกษภาคม หลังจากนั้นน้ำก็ลดลงสู่ระดับปกติภายในเวลาไม่นาน ชาวบ้านจึงกลับเข้าบ้านเรือนเพื่อพักผ่อนตามปกติ แต่ในเวลา 01:00 น. ของคืนวันที่ 22 พฤษภาคม เกิดน้ำป่าอีกละรอก พัดเอาโคลนและซากต้นไม้กิ่งไม้จำนวนมาก เข้าถล่มชุมชนอย่างฉับพลัน ชาวบ้านไม่ทันได้เตรียมการจึงไม่สามารถหลบหนีได้ทัน ก่อให้เกิดความสูญเสียจำนวนมาก ขณะเดียวกัน ได้เกิดดินถล่มและน้ำป่าจากเขาห้วยทรงพัดถล่มชุมชนตำบลบ้านตึก อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และเวลา 02:00 น. ของคืนเดียวกันเกิดน้ำป่าไหลเข้าท่วมบ้านเรือนในตำบลน้ำริด ตำบลด่านนาขาม อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

เหตุดินถล่มและน้ำป่าไหลหลากในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างโดยเฉพาะในจังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายสูงที่สุด สามารถสรุปสาเหตุได้ดังนี้

ปริมาณน้ำฝน

ในช่วงเกิดเหตุมีปริมาณน้ำฝนสะสมที่สูงมาก สามารถวัดปริมาณฝนสูงสุดในรอบ 38 ปีได้ในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะที่อำเภอลับแล วัดได้สูงถึง 330 มิลลิเมตรต่อวัน

สภาพทางธรณีวิทยา

จังหวัดอุตรดิตถ์มีสภาพทางธรณีวิทยาที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินโคลนถล่ม กล่าวคือ พื้นที่นี้เคยเกิดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ทำให้ชั้นหินดินดานมีมุมเอียงเทค่อนข้างชัน ชั้นหินที่มีการเอียงเทมากน้ำฝนสามารถไหลซึมเข้าไปในชั้นหินได้ง่ายมีอัตราการผุสูง นอกจากนี้ยังพบการแทรกดันของมวลหินแกรนิตซึ่งเป็นหินที่มีอัตราการผุผังสูง จึงเกิดชั้นดินหนาเฉพาะแห่งมีลักษณะเป็นแอ่งประทุนหงายและแอ่งประทุนคว่ำสลับกันวางตัวขนานไปกับลำน้ำ และมีมุมเอียงเทลาดลงตามลำน้ำทั้งสองฝั่งทำให้เกิดการเลื่อนไถลของชั้นดินตามไหลเขาได้ง่าย

การทำไร่เลื่อนลอย

มีรายงานบางฉบับกล่าวว่า พบร่องรอยดินถล่มจำนวนมากบริเวณต้นน้ำลี โดยในพื้นที่ภูเขาที่รกร้างว่างเปล่าพบร่องรอยดินถล่มต่อพื้นที่มากกว่าพื้นที่เขาที่มีป่าไม้ปกคลุม

ทั้งนี้จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นหนึ่งในจังหวัดที่ประสบภัยดินถล่มบ่อยครั้ง หลังจากภัยดินถล่มและน้ำป่าไหลหลากในปีพุทธศักราช 2549 จังหวัดอุตรดิตถ์ต้องต้องเผชิญกับเหตุดินถล่มอีกหลายครั้ง ในช่วงปีพุทธศักราช 2553 ถึง 2555 เหตุดินถล่มที่ทำให้เกิดความสูญเสียอย่างมากเกิดขึ้นในปีพุทธศักราช 2554 โดยเกิดเหตุดินถล่มและมีน้ำป่าไหลหลากพัดเอาดินโคลนและท่อนซุงจำนวนมากเข้าท่วมบ้านเรือนหลายหมู่บ้านในตำบลน้ำไผ่ อำเภอน้ำปาด ในจำนวนนี้น้ำป่าได้พัดบ้านเรือนหายไปกับสายน้ำ 12 หลัง มีผู้สูญหาย 7 ราย และมีผู้บาดเจ็บ 3 ราย มีบ้านเรือนได้รับความเสียหายมากกว่า 100 หลังคาเรือน ทั้งนี้ปีพุทธศักราช 2554 เป็นปีที่ประเทศไทยมีฝนตกมากเป็นประวัติการณ์ นอกจากเหตุดินถล่มในจังหวัดอุตรดิตถ์แล้ว หลายจังหวัดในภาคเหนือและภาคใต้ก็มีเหตุดินโคลนถล่มขึ้นเป็นบริเวณกว้าง ได้แก่ เหตุดินโคลนถล่มที่อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่

รูปที่ 1.8 ประมวลภาพความเสียหายจากดินถล่มภาคเหนือตอนล่าง (ที่มา: มูลนิธิชัยพัฒนา)

รูปที่ 1.9 ประมวลภาพความเสียหายจากดินถล่ม ปี พ.ศ. 2554 (ภาพจาก www.oknation.nationtv.tv/blog/)

1.1.4) เหตุดินถล่มที่บ้านห้วยขาบ ตำบลบ่อเกลือเหนือ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน พ.ศ.2561

เป็นเหตุดินถล่มเมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งที่ก่อให้เกิดความสูญเสียถึง 4 ครอบครัวมีผู้เสียชีวิต 8 ราย เกิดขึ้นที่หมู่บ้านห้วยขาบ ตำบลบ่อเกลือเหนือ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน ชาวบ้านที่เห็นเหตุการณ์เล่าให้ฟังว่า ได้ยินเสียงดังเหมือนฟ้าถล่ม และในเวลาเพียง 2 นาที ดินก็ถล่มลงมาทับบ้านทั้ง 4 หลังอย่างรวดเร็ว โดยดินถล่มเคลื่อนตัวเร็วมาก ผู้รอดชีวิตรายดังกล่าวเล่าว่า ขณะที่ตนวิ่งหนีได้ระยะเพียง 50 เมตร แต่ดินถล่มเคลื่อนที่เป็นระยะมากกว่าครึ่งกิโลเมตร

เมื่อดูจากแผนที่เสี่ยงหมู่บ้านดินถล่ม จังหวัดน่าน มี 15 อำเภอรวม 71 ตำบล มีหมู่บ้านเสี่ยง 384 หมู่บ้าน ในจำนวนนี้พบว่า ที่บ่อเกลือ 22 หมู่บ้าน ไม่มีชื่อของหมู่บ้านห้วยขาบอยู่ในพื้นที่เสี่ยงสีแดง แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มดังกล่าวระบุว่าบ้านห้วยขาบเป็นพื้นที่เสี่ยงน้อย และก่อนเกิดเหตุพื้นที่ดังกล่าวมีฝนตกสะสมเฉลี่ย 50-60 มิลลิเมตร เป็นเวลา 4-5 วันติดต่อกัน แม้จะมีปริมาณฝนสะสมมากกว่า 200 มิลลิเมตร แต่มีปริมาณฝนตกต่อวันไม่เกิน 100 มิลลิเมตร จึงไม่มีการเตือนภัย

จากการรวบรวมบทสัมภาษณ์ของผู้เชี่ยวชาญจากกรมทรัพยากรธรณี และนักวิชาการด้านดินถล่ม สามารถสรุปได้ดังนี้ ดินโคลนถล่มที่บ้านห้วยขาบเป็นดินโคลนถล่มที่พบได้ไม่บ่อยในประเทศไทย เนื่องจากเหตุดินโคลนถล่มในเขาที่ผ่านมามักเป็นดินโคลนถล่มลงมาตามร่องน้ำ ส่วนเหตุดินโคลนถล่มที่บ้านห้วยขาบ เป็นดินโคลนถล่มลงมาจากภูเขาโดยตรง เมื่อดูจากสภาพทางธรณีวิทยาของบริเวณที่เกิดดินโคลนถล่ม เป็นหินทราย กับหินทรายแป้งสีน้ำตาลแดง มีเนื้อละเอียดและมีความผุมาก นอกจากนี้พบว่าที่ตั้ง

ของหมู่บ้านห้วยขาบอยู่บนแนวรอยแยกของภูเขา ซึ่งเป็นดินถล่มโบราณน่าจะมีอายุหลายร้อยปี สังเกตุได้จากต้นไม้ที่มีความเอียงในช่วงแรกและแต่ด้านบนเติบโตขึ้นในแนวดิ่ง แสดงว่า ดินมีการเคลื่อนตัวมาก่อน นอกจากนี้ดินที่ถล่มลงมามีหินทั้งขนาดก้อนใหญ่และก้อนเล็กมีทั้งรูปร่างกลมมนและรูปร่างเหลี่ยมคม เมื่อตรวจสอบสภาพดินพบว่า ดินมีความชุ่มน้ำมากและบนเขายังมีรอยดินแยกที่ยังค้างถล่มลงมาไม่หมด แสดงว่า น้ำใต้ผิวดินที่ปกคลุมหมวดหินสะปัน ชุ่มฉ่ำด้วยน้ำ และน้ำเป็นตัวทำลายสมดุลของดินและหินจึงเกิดการเลื่อนไถลลงมาตามความชัน

รูปที่ 1.10 บ้านห้วยขาบก่อน (ซ้าย) หลังดินถล่ม (ขวา) (ที่มา: หนังสือพิมพ์ไทยรัฐและ googlemap)

รูปที่ 1.11 ประมวลภาพความสียหายจากเหตุดินถล่มที่บ้านห้วยขาบ อำเภอบ่อเกลือเหนือ จังหวัดน่าน (ที่มา: หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ เว็ปไซท์สำนักงานชลประทานที่ 2)

เหตุการณ์ดินถล่มในประเทศไทยในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา มีทั้งขนาดเล็กซึ่งเกิดขึ้นทุกปี และขนาดใหญ่ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินจำนวนมาก สำหรับเหตุดินถล่มขนาดใหญ่ในประเทศไทยล้วนจะมีสาเหตุมาจากฝนตกหนักเป็นปัจจัยกระตุ้น และมักมีเหตุดินถล่มขนาดใหญ่ทุกครั้งเมื่ออิงกับการเกิดลานิญ่า เช่น การเกิดดินถล่มที่อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2531 การเกิดดินถล่มที่อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพรชบูรณ์ และที่อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ พ.ศ. 2544 เหตุดินถล่มที่อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน อำเถอแม่ระมาด จังหวัดตาก พ.ศ. 2547 เหตุดินถล่มทั้งภาคเหนือและภาคใต้หลายแห่ง พ.ศ. 2554 ดังนั้นหากสภาพภูมิอากาศทวีความรุนแรงขึ้นย่อมคาดเดาได้ไม่ยากว่า เหตุดินถล่มย่อมจะทวีความรุนแรงขึ้นเช่นกัน

นอกจากนี้ภัยดินถล่มขนาดใหญ่มักเกิดขึ้นเป็นคาบ กล่าวคือหลังเกิดเหตุดินถล่มขนาดใหญ่ที่สถานที่หนึ่งจะมีการเว้นช่วงเป็นระยะเวลาค่อนข้างนาน เนื่องจากลาดดินที่ขาดเสถียรภาพเกิดการปรับตัวเองจนเกิดเสถียรภาพแล้ว ทำให้เกิดความชล่าใจจึงมีการตัดไม้ทำลายป่า พัฒนาพื้นที่เขาเพื่อการท่องเที่ยว ตัดลาดดินเพื่อสร้างบ้านเรือน ฯลฯ อันเป็นการสร้างปัจจัยสะสมซึ่งเร่งเวลาและเพิ่มขนาดการเกิดดินโคลนถล่มให้มีความรุนแรงกว่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นการสร้างความเข้าใจให้กับชุมชนในพื้นที่ใกล้จุดเสี่ยงภัยดินถล่มจึงเป็นเครื่องมือที่จะป้องกันภัยดินถล่มที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอย่างยั่งยืน

รูปที่ 1.12 ปรากฏการณ์ลานิญาระหว่างปีพุทธศักราช 2493 ถึง 2554
(สืบค้นจาก Cold and warm episodes by season. Climate Prediction Center NOAA)

ตารางที่ 1 แสดงบันทึกเหตุการดินถล่มในประเทศไทย (สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี)

พื้นที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม	ช่วงเวลา	สถานการณ์
1. บ้านกะทูนเหนือ อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช	22 พฤศจิกายน 2531	ผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตประมาณ 230 คน บ้านเรือนเสียหายประมาณ 1500 หลัง พื้นที่การเกษตรเสียหาย 6150 ไร่ คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1000 ล้านบาท
2. บ้านคีรีวง อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช	22 พฤศจิกายน 2531	ผู้เสียชีวิต 12 คน บ้านเรือนเสียหาย 152 หลัง เสียหายบางส่วน 210 หลัง
3. กิ่งอำเภอเขาคิชกูฏ จังหวัดจันทบุรี	30 กรกฎาคม 2542	มีการอพยพชาวบ้านออกจากพื้นที่ก่อนเกิดเหตุ บ้านเรือนปศุสัตว์และพื้นที่การเกษตรได้รับความเสียหาย
4. บ้านธารทิพย์ อำเภอหล่มสัก และบ้านโพธิ์เงิน อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์	11 กันยายน 2543	ผู้เสียชีวิต 10 คน สูญหาย 2 คน บ้านเรือนเสียหาย 363 หลัง การปศุสัตว์และพื้นที่การเกษตรได้รับความเสียหาย
5. อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่	4 พฤษภาคม 2544	ผู้เสียชีวิต 43 คน สูญหาย 4 คน บ้านเรือนเสียหาย 18 หลัง คิดเป็นมูลค่าประมาณ 100 ล้านบาท
6. ตำบลน้ำก้อ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์	11 สิงหาคม 2544	ผู้บาดเจ็บ 109 คน เสียชีวิต 136 คน สูญหาย 4 คน บ้านเรือนเสียหาย 188 หลัง เสียหายบางส่วน 441 หลัง คิดเป็นมูลค่าประมาณ 645 ล้านบาท
7. บ้านน้ำแม่แรก อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่	15 กันยายน 2545	มีการอพยพชาวบ้านออกจากพื้นที่ก่อนเกิดเหตุจำนวน 180 ครัวเรือน เส้นทางแม่แจ่ม - ฮอด ได้รับความเสียหาย
8. บ้านกองบอด ตำบลปางหินฝน อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่	6 พฤษภาคม 2547	ผู้เสียชีวิต 1 คน บ้านเรือนเสียหาย 3 หลัง จักรยานยนต์ 1 คัน
9. ตำบลแม่ตื่น ตำบลม่อนจอง และตำบลยางเปียง อำเภออมก๋อย จังหวัด เชียงใหม่	20 พฤษภาคม 2547	เสียหาย 4 ตำบล 14 หมู่บ้าน ประชาชนเดือดร้อน 100 คน 120 ครัวเรือน เสียชีวิต 1 คน

พื้นที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม	ช่วงเวลา	สถานการณ์
10. ตำบลแม่ระมาด แม่ตื่น ขะเนจื้อ และ ตำบลจะเรา อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก	20 พฤษภาคม 2547	พื้นที่เสียหาย 4 ตำบล 16 หมู่บ้าน เดือดร้อน 8,846 คน 2,135 ครัวเรือน เสียชีวิต 5 ราย บาดเจ็บ 391 ราย
11. บ้านสบโขง หมู่ที่ 10 ตำบลแม่สวด อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน	22 พฤษภาคม 2547	ผู้ประสบภัย 400 คน 120 ครัวเรือน บ้านเรือนเสียหาย 100 หลัง
12. บ้านควนตุ้มกู ตำบลบางสัก อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง	1 กันยายน 2547	ไม่มีบ้านเรือนเสียหายและไม่มีรายงานผู้เสียชีวิต
13. ตำบลอ่าวนาง อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่	17 ตุลาคม 2547	เกสเฮาส์ 14 หลังเสียหาย ดินทับหลังคา รั้ว และผนังห้อง 10 หลังเสียหาย รวมมูลค่ากว่า 10 ล้านบาท
14. บ้านห้วยส้มไฟ ตำบลเขาคราม อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่	18 ตุลาคม 2547	มีผู้เสียชีวิต 3 คน บาดเจ็บ 1 คน บ้านเรือนเสียหาย 25 หลัง
15. อำเภอธารโต จังหวัดยะลา	12 ธันวาคม 2547	มีผู้เสียชีวิต 2 คน บ้านเรือนเสียหาย 1 หลัง
16. บ้านกาสังใน บ้านกาสัง ตำบลตาเนาะปูเต๊ะ อำเภอบันนังสต จังหวัดยะลา	16 ธันวาคม 2548	ชุมชนที่ตั้งอยู่เชิงเขา 3 หมู่บ้าน คือ บ้าน กม. 26 ใน บ้านกาสังใน และบ้านกาสัง บ้านเรือนเสียหายทั้งหลังรวม 18 หลัง บ้านเรือนเสียหายบางส่วน 55 หลัง
17. บ้านน้ำตื๊ะ บ้านน้ำรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอท่าปลา บ้านผามูบ บ้านมหาราช ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล บ้านไฮ่ฮ้า บ้านน้ำไคร้ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์	22 พฤษภาคม 2549	มีผู้เสียชีวิต 75 คน บ้านเรือนเสียหายทั้งหลัง 483 หลัง เสียหายบางส่วน 3,478 หลัง
18. บ้านห้วยตม บ้านดงหญ้าปา และบ้านแม่คุ ตำบลบ้านตึก อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย	22 พฤษภาคม 2549	มีผู้เสียชีวิต 7 คน บ้านเรือนเสียหายทั้งหลัง 89 หลัง เสียหายบางส่วน 156 หลัง

พื้นที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม	ช่วงเวลา	สถานการณ์
19. บ้านนาตอง บ้านน้ำจ้อม บ้านปากกลาย และบ้านผาตรึม ตำบลช่อแฮ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่	22 พฤษภาคม 2549	มีผู้เสียชีวิต 5 คน บ้านเรือนเสียหายทั้งหลัง 135 หลัง เสียหายบางส่วน 345 หลัง
20. อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย และอำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์	1 กันยายน 2550	มีบ้านเรือนราษฎรเสียหายมากกว่า 20 หลังคาเรือน มีผู้เสียชีวิตและสูญหาย 6 คน
21. เส้นทางบ้านไร่-บ้านอีต่อง อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	15 สิงหาคม	พบร่องรอยดินถล่ม จำนวน 115 แห่ง และหินร่วง 3 แห่ง
22. บ้านคลองมุย ตำบลตะกุกเหนือ อำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี	11 ธันวาคม 2551	มีผู้เสียชีวิต 2 คน ที่บ้านคลองมุย
23. บ้านแม่มะลอ หมู่ที่ 9 ตำบลแม่นาจร อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่	22 กรกฎาคม 2552	ทำให้ดินไหลลงลำน้ำแม่วาก กว้าง 50 เมตร ยาว 250 เมตร
24. หมู่ที่ 6 บ้านตลาดนิคม ตำบลตลิ่งชัน อำเภอบันนังสตา จังหวัดยะลา บ้านไอร์เจ๊ะ หมู่ที่ 5 ตำบลซากอ อำเภอศรีสาคร จังหวัดนราธิวาส	6 พฤศจิกายน 2552	มีผู้เสียชีวิต 4 ราย และ พื้นที่หมู่ 5 บ้านไอร์เจ๊ะ ตำบลซากอ อำเภอศรีสาคร จังหวัดนราธิวาส บ้านเรือนราษฎรได้รับความเสียหายทั้งหลัง 3 หลัง มีผู้เสียชีวิต 10 ราย
25. สำนักสงฆ์บ้านในเพลา หมู่ที่ 8 ตำบลขนอม อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช	26 มีนาคม 2554	พระสงฆ์มรณภาพ 2 รูป
26. บ้านสำนักเนียน หมู่ที่ 3 ตำบลเขาน้อย อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช	26 มีนาคม 2554	ยังไม่มีรายงานความเสียหาย
27. บ้านห้วยน้ำแก้ว หมู่ที่ 6 และบ้านต้นหาร หมู่ที่ 7 ตำบลหน้าเขา อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่	28 มีนาคม 2554	เสียชีวิต 8 ราย บ้านเรือนและพื้นที่การเกษตรเสียหายจำนวนมาก

พื้นที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม	ช่วงเวลา	สถานการณ์
28. บ้านห้วยพาน หมู่ที่ 2 ตำบลกรุงชิง อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช	29 มีนาคม 2554	ถนนถูกตัดขาดบางเส้นทาง ทำให้รถไม่สามารถสัญจรได้
29. บ้านปากฮาย หมู่ที่ 10 ตำบลคลองสระ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี	30 มีนาคม 2554	บ้านเสียหายทั้งหมด 2 หลัง และเสียหายบางส่วนหลายหลัง ผู้สูญหาย 5 ราย สะพานขาดหลายจุด ดินถล่มกินเนื้อที่กว่า 10 ไร่
30. บ้านเทพพนม หมู่ที่ 10 ตำบลเขาพนม อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่	30 มีนาคม 2554	บ้านเรือนเสียหาย 10 หลัง สะพานขาด 1 แห่ง
31. บ้านปู่ทา หมู่ที่ 6 ตำบลแม่สามแลบ อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน	3 สิงหาคม 2554	เกิดดินถล่มลงมาปิดทับบ้านเรือนประชาชน ทำให้มีผู้เสียชีวิต 9 ราย ผู้ได้รับบาดเจ็บ 12 คน และบ้านเรือนราษฎรเสียหายทั้งหลัง 1 หลัง และเสียหายบางส่วน 9 หลัง
32. บ้านจอมกิตติ (บ้านน้ำดิบ) หมู่ที่ 13 ตำบลแม่ยวม อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน	3 สิงหาคม 2554	เกิดดินถล่มพื้นที่บ้านจอมกิตติ ดินโคลนไหลทับบ้านเรือนราษฎรเสียหาย 10 หลัง และถนนทางเข้าหมู่บ้านเสียหาย 2 จุด
33. บ้านต้นขนุน และ บ้านห้วยเดื่อ ตำบลน้ำไผ่ อำเภอน้ำปาด จังหวัดอุตรดิตถ์	9 กันยายน 2554	บ้านต้นขนุน ม.3 มีผู้เสียชีวิต 6 ราย สูญหาย 1 ราย และบ้านเรือนเสียหายทั้งหลัง 31 หลัง เสียหายบางส่วนจำนวน 30 หลัง บ.ห้วยเดื่อ บ้านเรือนเสียหาย 10 หลัง เสียหายบางส่วนจำนวน 20 หลัง ส่วนบ้านห้วยคอม บ้านคลองเนียน และบ้านก๊กมี่ ได้รับความเสียหายบางส่วน
34. บ้านทับน้ำเต้า หมู่ที่ 8 ตำบลกรุงชิง อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช	1-5 มกราคม 2555	ทำให้พื้นที่การเกษตรและการปศุสัตว์สิ่งสาธารณูปโภคเสียหายจำนวนมาก
35. บ้านป่ากล้วย หมู่ที่ 7 ตำบลฉลุง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	1-5 มกราคม 2555	(เขาแก้ว ในแนวเทือกเขาบรรทัด บริเวณน้ำตกโตนปลิว ซึ่งอยู่ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าโตนงาช้าง) ทำให้ซุ้มอาหารพังเสียหายจำนวน 4 หลัง และบ้านเรือน 1 หลัง

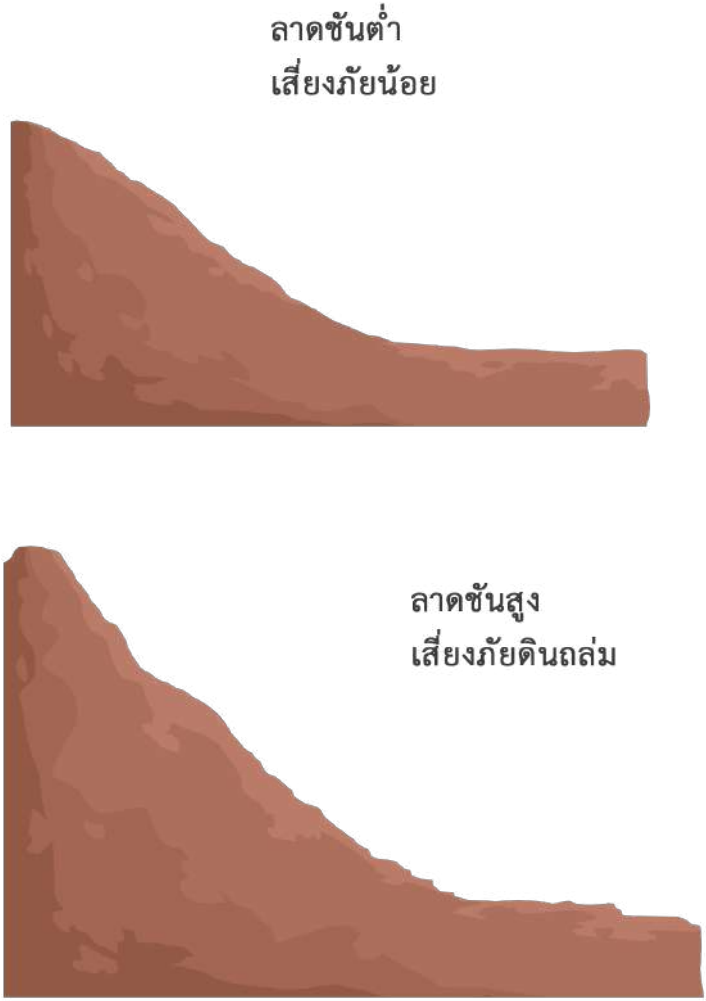
พื้นที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม	ช่วงเวลา	สถานการณ์
36. ถนนสายลำปาง-เด่นชัย (ทางหลวงหมายเลข 11) กิโลเมตรที่ 36-37 จังหวัดแพร่	7 พฤษภาคม 2555	ตามแนวรอยเลื่อน – จุดแรกผิวถนนลาดยางพัง 1 ช่องจราจร เป็นระยะทางกว้างประมาณ 30 เมตร ยาวประมาณ 30 เมตร ลึกประมาณ 20 เมตร – จุดที่สองดินถล่มปิดทับถนน 2 ช่องจราจร เป็นระยะทางกว้างประมาณ 40 เมตร ยาวประมาณ 100 เมตร และสูงประมาณ 70 เมตร
37. บ้านดอนจันทร์ ตำบลแก่น อำเภอท้ายเมือง จังหวัดพังงา	4-5 กรกฎาคม 2556	ลักษณะทางธรณีวิทยาประกอบด้วยหินแกรนิต ที่มีการผุพังสูง ถูกปกคลุมด้วยชั้นดินหนา ประกอบกับช่วง 2 – 3 วัน ก่อนเกิดเหตุมีฝนตกหนักต่อเนื่องในพื้นที่ดินอุ้มน้ำไม่ไหว จึงถล่มลงมา มีผู้เสียชีวิต 1 ราย และบ้านเรือนเสียหายทั้งหลัง 3 หลัง
38. อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ อำเภอวังโป่ง อำเภอชนแดน อำเภอหนองไผ่ อำเภอวิเชียรบุรี และอำเภอศรีเทพ จังหวัดเพชรบูรณ์	30 กันยายน – 8 ตุลาคม 2556	ดินถล่มและน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ 6 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ อำเภอวังโป่ง อำเภอชนแดน อำเภอหนองไผ่ อำเภอวิเชียรบุรี และอำเภอศรีเทพ 32 ตำบล 168 หมู่บ้าน ทำให้ราษฎรได้รับผลกระทบจำนวน 1,810 คน
39. อำเภอหล่มเก่า อำเภอบึงสามพัน อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์	29 สิงหาคม – 3 กันยายน 2557	ดินถล่มและน้ำป่าไหลหลากพื้นที่ทั้ง 3 อำเภอ ทำให้ราษฎรได้รับผลกระทบ 51 ครัวเรือน 215 คน วัด 1 แห่ง พื้นที่การเกษตรเสียหายเป็นจำนวนมาก
40. บ้านหล่อโย หมู่ที่ 19 ตำบลป่าตึง อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย	10 กันยายน 2557	ดินบริเวณหน้าผ้าและกองดินจากการก่อสร้างไหลลงปิดทับถนนเป็นระยะทางยาวกว่า 50 เมตร
41. ทางหลวงชนบท หมายเลข 4005 ทุ่งคา – หาดส้มแป้น อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	5 ตุลาคม 2557	ดินถล่มลงมาทับพื้นถนน 4 จุด บนถนนสายทางหลวงชนบทหมายเลข 4005 ทุ่งคา - หาดส้มแป้น บริเวณเขตรอยต่ออำเภอเมือง รถสามารถสัญจรไปมาได้แต่ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ
42. ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา	7 ตุลาคม 2557	บ้านเรือนราษฎรได้รับความเสียหายจำนวน 7 หลัง ไม่สามารถเข้าพักอาศัยได้

พื้นที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม	ช่วงเวลา	สถานการณ์
43. บ้านหนองผาจ้ำ หมู่ที่ 4 ตำบลสบป่อง อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน	9 ตุลาคม 2557	จุดที่ 1 เกิดขึ้นหลังบ้านของนายนพดล เลาลี ทำให้ตัวบ้านได้รับความเสียหาย และจุดที่ 2 เกิดดินถล่มข้างร่องห้วย ใกล้กับตัวบ้านของนายอ่อปู โอจะ เกิดรอยแยกและทรุดตัว 3 ชั้น ขนานกับแนวโค้งของลำห้วย รอยแยกกว้าง 20 – 30 เซนติเมตร ทรุดตัว 1.5 เมตร และยาวประมาณ 30 เมตร
44. หลังโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชยะหา อำเภอยะหา จังหวัดยะลา	23 ตุลาคม 2557	เป็นพื้นที่มีความลาดชัน 50-70 องศา และไม่มีการป้องกันดินถล่ม
45. บ้านผาเดื่อ หมู่ที่ 6 ตำบลแม่สลองใน อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย	25 ตุลาคม 2557	ดินถล่มบริเวณบ้านของนายเฝยลิ่น แซ่เติ๋น ทำให้ตัวบ้านได้รับความเสียหาย และบริเวณยุ้งข้าวของนายสมชัย ดวงแสงสุข เสียหายทั้งหลัง นอกจากนี้บริเวณตอนล่างสุดของลาดเขาที่อยู่ติดลำห้วยได้เกิดดินถล่มลงไปในห้วยและมีน้ำใต้ดินไหลออกมาจากข้างเขาตลอดเวลา
46. บ้านมายอ หมู่ที่ 6 ตำบลธารโต อำเภอธารโต จังหวัดยะลา	18 ธันวาคม 2557	บ้านเรือนพังเสียหายจำนวน 1 หลัง ในพื้นที่บ้านมายอ เลขที่ 67/1 หมู่ 6 ตำบลธารโต ส่งผลให้เด็กอายุ 7 ขวบ เสียชีวิตในที่เกิดเหตุ ส่วนพ่อแม่เด็กได้รับบาดเจ็บ จำนวน 2 ราย
47. ตำบลสามแกลบ ตำบลกองก๋อย ตำบลสบเมย อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน	28 กรกฎาคม 2558	บริเวณถนนเข้าหมู่บ้าน 5 สาย ในพื้นที่หมู่ 2, 3, 7, 9, 10 ตำบลแม่สามแลบ บริเวณถนนทางเข้าหมู่บ้าน 2 สาย ในพื้นที่หมู่ 4, 7 ตำบลสบเมย และพื้นที่หมู่ 4, 6, 7 ตำบลกองก๋อย ทำให้การสัญจรไปมาไม่สะดวก
48. หลักกิโลเมตรที่ 18 ทางแยกสายตาก - แม่สอด อำเภอแม่สอ จังหวัดตาก	1 สิงหาคม 2558	ดินถล่มทับเส้นทางบริเวณเนินพิศวงหลักกิโลเมตรที่ 18 ทางถนนสายตาก แม่สอด ส่งผลให้รถยนต์ไม่สามารถสัญจรผ่านไปมาได้
49. หมู่ที่ 6 ตำบลวิชิต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต	11 สิงหาคม 2558	เกิดดินถล่มทับเส้นทางถนนอ่าวยนต์-เขาขาด ทำให้เสาไฟฟ้าหัก จำนวน 2 ต้น ต้นไม้ 1 ต้น ล้มขวางถนน ส่งผลให้รถไม่สามารถสัญจรไปมาได้

พื้นที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม	ช่วงเวลา	สถานการณ์
50. หลักกิโลเมตรที่ 649 – 560 ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	12 สิงหาคม 2558	ดินถล่มปิดทับเส้นทางบริเวณริมถนน ลำปาง-งาว-พะเยา ฝั่งขาออก จังหวัดลำปาง หลักกิโลเมตรที่ 649 – 560 ใกล้กับศาลเจ้าพ่อประตูผา เขตบ้านจำปุย ทำให้สัญจรได้เพียง 1 ช่องจราจร
51. อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่	13 สิงหาคม 2558	หลังมีฝนตกหนักติดต่อกันหลายวัน ทำให้เกิดดินถล่มเข้าในตัวบ้าน หนาประมาณ 1 เมตร ส่งผลให้กำแพงบ้านพังเหลือเพียงเสาบ้านเท่านั้น
52. บ้านสันติคีรี ตำบลแม่สลองนอก อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย	7 กันยายน 2560	ถนนสายหลักย่านชุมชนดอยแม่สลอง เกิดการยุบตัวเป็นระยะทาง 150 เมตร อาคารร้านค้าตั้งอยู่ริมหน้าผา เกิดการทรุดตัวต่ำกว่าถนน 1.50 เมตร ตัวอาคารบ้านเรือนเอียงเสียหาย จึงได้ประกาศเป็นพื้นที่ประสบภัยพิบัติมาตั้งแต่วันที่ 11 สิงหาคม 2560
53. บ้านห้วยขาบ หมู่ที่ 7 ตำบลบ่อเกลือ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน	28 กรกฎาคม 2561	หลังจากฝนตกหนักในพื้นที่ ทำให้เกิดดินถล่มทับบ้านเรือนประชาชนเสียหายจำนวน 4 หลัง พบผู้เสียชีวิตจำนวน 7 ราย และสูญหายอีก 2 ราย
54. บ้านร่มฟ้าไทย หมู่ที่ 24 ตำบลตับเต่า อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย	31 กรกฎาคม 2561	บริเวณตรงข้ามร้านขายของที่ระลึก ร้านค้าริมทาง 4 หลังทรุดลงไปด้านล่าง และเส้นทางจราจรถูกตัดขาด จึงได้มีการอพยพประชาชนออกจากพื้นที่
55. บ้านสบรวก หมู่ที่ 1 ตำบลเวียง อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย	10 สิงหาคม 2561	ดินถล่มทับร้านจำหน่ายสินค้าริมทางและบริเวณแหล่งท่องเที่ยวสามเหลี่ยมทองคำ เสียหายหลายหลัง จากฝนตกหนักในพื้นที่อย่างต่อเนื่อง

1.2 หลักการพื้นฐานในการประเมินเสถียรภาพของลาดดิน

เราทราบดีว่าพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มคือพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง (รูปที่ 1.13) ผู้อ่านอาจเคยตั้งคำถามว่า เหตุใดพื้นที่ที่มีความลาดสูงจึงมีความเสี่ยงต่อภัยดินถล่ม การจะเข้าใจเรื่องดังกล่าว ผู้อ่านต้องเข้าใจธรรมชาติของความเสียดทานก่อน ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของความเสียดทาน คือ ค่า“สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน”



รูปที่ 1.13 ความลาดชันที่ต่างกัน

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานคืออะไร การจะอธิบายเรื่องนี้ขอให้พิจารณากล่องเตี้ยๆใบหนึ่งซึ่งตั้งอยู่บนพื้น กล่องใบนี้มีน้ำหนัก 100 กิโลกรัม (รูปที่ 14) หากเราจะผลักให้กล่องขยับ เราต้องออกแรงผลักเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงผลักสามารถเอาชนะแรงเสียดทานที่พื้น กล่องจึงจะเริ่มขยับ สมมติว่าเราออกแรงผลักถึง 50 กิโลกรัม กล่องจึงจะเริ่มขยับแสดงว่า แรงเสียดทานมีขนาดเท่ากับ 50 กิโลกรัม

พิจารณากล่องเดิมวางบนพื้นเดิม แต่ใส่สิ่งของเข้าไปในกล่องทำให้ตอนนี้กล่องมีน้ำหนัก 200 กิโลกรัม ในตอนนี้หากเราต้องการผลักกล่องให้ขยับ ต้องใช้แรงถึง 100 กิโลกรัม กล่องจึงจะขยับ แสดงว่า แรงเสียดทานมีขนาดเท่ากับ 100 กิโลกรัม จะเห็นว่า ขนาดของแรงเสียดทานทั้ง 2 กรณีมีค่าตามสัดส่วนน้ำหนักของกล่อง และสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

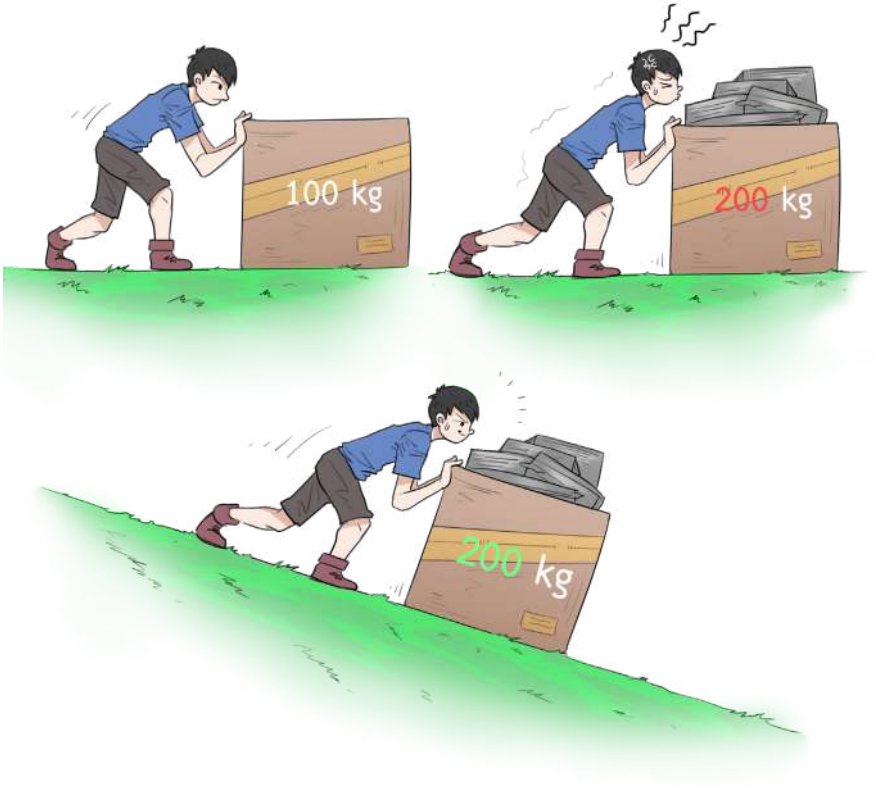
สมการที่ 1.1

$$\frac{\text{แรงเสียดทาน}}{\text{น้ำหนักกล่อง}} = \frac{100}{200} = \frac{50}{100} = \text{ค่าคงที่}$$

ซึ่งค่าคงที่นี้เราเรียกว่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทาน น้ำหนักกล่อง และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสามารถเขียนได้ดังนี้

สมการที่ 1.2

$$\text{แรงเสียดทาน} = \text{สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน} \times \text{น้ำหนักกล่อง}$$

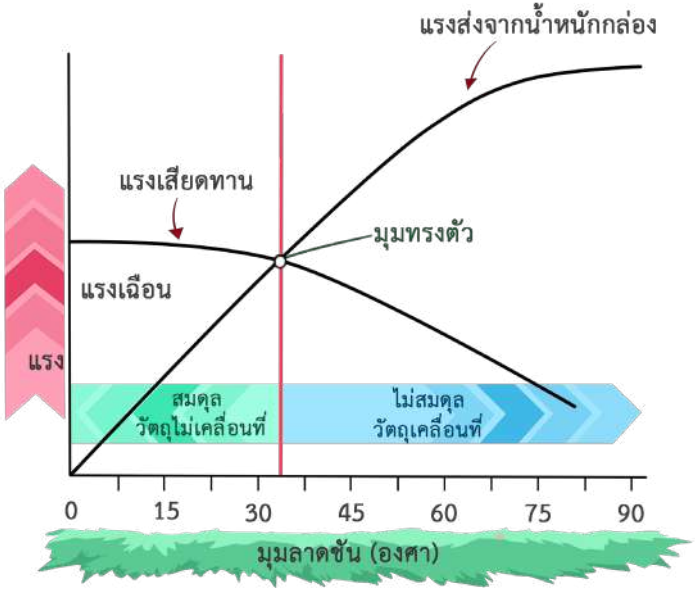


รูปที่ 1.14 ความเสียดทาน

ลองพิจารณากล่องน้ำหนัก 100 กิโลกรัม ที่วางบนพื้นเดิม (ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นกับกล่องเท่ากับ 0.5) แต่พื้นที่วางกล่องถูกยกให้มีมุมเอียง จะพบว่าเราใช้แรงน้อยลงในการผลักกล่องนี้ให้เคลื่อนที่ลงตามพื้นเอียง

เหตุใดกล่องที่มีน้ำหนักเท่าเดิมวางบนพื้นที่มีความฝืดเท่าเดิม จึงใช้แรงในการขยับกล่องไม่เท่าเดิม สาเหตุก็เพราะพื้นมีความเอียงและความเอียงนี้ส่งผลต่อแรงนั่นเอง

พื้นเอียงส่งผลต่อแรงเป็นอย่างไร? หากย้อนกลับไปดูความสัมพันธ์ข้างบน จะพบว่ามีแรงอยู่สองแรงในความสัมพันธ์ คือ “แรงเสียดทาน” กับ “น้ำหนักของกล่อง” และเราจะผลักกล่องให้ขยับได้ จะต้องออกแรงให้ชนะแรงเสียดทาน คำถามคือ เมื่อน้ำหนักกล่องไม่มีการเปลี่ยนแปลง เหตุใดแรงที่ใช้ในการขยับกล่องจึงเปลี่ยน ผู้อ่านอาจตอบว่า เป็นเพราะกล่องที่วางบนพื้นเอียงมีแรงส่งจากน้ำหนักกล่อง ซึ่งคำตอบดังกล่าวเป็นคำตอบที่ถูกต้องเพียงบางส่วน เพราะในความเป็นจริงแล้วนอกจากมีแรงส่งเนื่องจากน้ำหนักกล่องบนพื้นเอียง แรงเสียดทานยังมีค่าลดลงด้วย รูปที่ 1.15 แสดงให้เห็นว่า เมื่อพื้นมีความลาดเพิ่มขึ้นแรงส่งจากน้ำหนักกล่องจะเพิ่มขึ้นตามความลาด ขณะที่แรงเสียดทานมีค่าลดลงตามความลาดเช่นกัน



รูปที่ 1.15 การเปลี่ยนแปลงแรงเสียดทาน และแรงส่งเนื่องจากน้ำหนักกล่องบนพื้นลาด ตามความลาดต่างๆ

การที่แรงเสียดทานลดลง ทั้งที่น้ำหนักกล่องเท่าเดิมและพื้นก็มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่าเดิม แสดงว่า ความสัมพันธ์ที่แสดงตามสมการที่ *1.2* ไม่เป็นจริง และอันที่จริงแล้ว แรงเสียดทานไม่ได้ขึ้นกับน้ำหนักของกล่อง ขอให้ดูรูปที่ 1.16 ซึ่งกล่องสัมผัสกับผนังในแนวดิ่ง หากต้องการให้กล่องคงอยู่ที่ระดับนี้ได้ เราต้องออกแรงยันกล่องในแนวราบเพื่อให้เกิดความเสียดทานระหว่างกล่องกับผนัง และเมื่อเราออกแรงมากพอ จะเกิดแรงเสียดทานมากพอที่จะสามารถยันกล่องให้อยู่ในตำแหน่งดังกล่าวได้ ดังนั้นขนาดของแรงเสียดทานจึงมิได้ขึ้นกับน้ำหนักของกล่อง แต่ขึ้นกับขนาดของแรงที่เราใช้เพื่อยันกล่องเอาไว้ ซึ่งแรงดังกล่าวมีทิศทางกระทำในแนวตั้งฉากกับระนาบการไถล ดังนั้นขนาดของแรงเสียดทานจึงแสดงได้ดังนี้

สมการที่ 1.3

$$F = \mu N$$

โดย

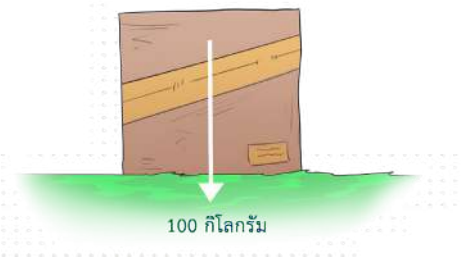
F คือ แรงเสียดทาน

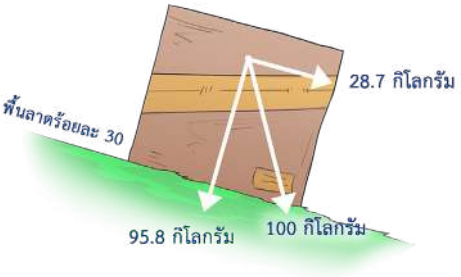
μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และ

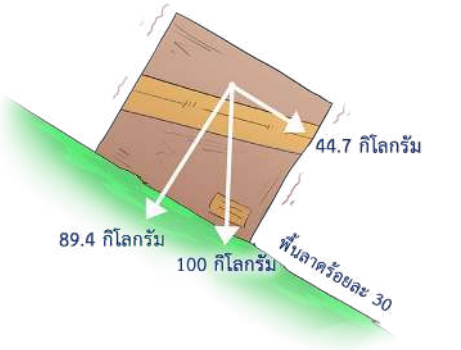
N คือ แรงปฏิกิริยาที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับระนาบเสียดทาน

รูปที่ 1.16 ความเสียดทาน

ลองพิจารณากล่องหนัก 100 กิโลกรัมบนพื้นราบที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.5 ซึ่งมีแรงส่งจากน้ำหนักกล่องเพื่อให้กล่องพยายามขยับเท่ากับศูนย์ มีแรงตั้งฉากกับพื้นเท่ากับน้ำหนักกล่อง หากค่อย ๆ ยกพื้นให้มีความลาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยไม่มีแรงอะไรมากระทำกับกล่อง การยกพื้นให้มีความลาดเพิ่มขึ้นนี้ น้ำหนักกล่อง 100 กิโลกรัม ส่วนหนึ่งจะเป็นแรงส่งจากน้ำหนักกล่องเพื่อให้กล่องขยับโดยมีทิศทางอยู่ในแนวเดียวกับความลาดของพื้น และอีกแรงหนึ่งคือแรงที่มีแนวตั้งฉากกับพื้น จากรูปที่ 1.17 สำหรับกล่องที่มีน้ำหนัก 100 กิโลกรัม วางบนพื้นที่มีความลาดร้อยละ 30 แรงส่งจากน้ำหนักกล่องจะมีขนาดเท่ากับ 28.7 กิโลกรัม ส่วนแรงในแนวตั้งฉากกับพื้นจะมีค่าเท่ากับ 95.8 กิโลกรัม เมื่อยกพื้นให้มีความลาดมากขึ้น ๆ ขนาดของแรงส่งจะเพิ่มขึ้นตามความลาดที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ขนาดของแรงตั้งฉากกับพื้นจะลดลง ส่งผลให้แรงเสียดทานลดลงตามความลาดของพื้นที่เพิ่มขึ้น และเมื่อยกพื้นจนมีความลาดเท่ากับร้อยละ 50 กล่องจะเริ่มไถลลงตามความลาดของพื้น โดยที่ความลาดนี้จะพบว่าน้ำหนักกล่อง 100 กิโลกรัม ถูกแบ่งออกมาเป็นแรงส่ง 44.7 กิโลกรัม และเป็นแรงตั้งฉากกับพื้น 89.4 กิโลกรัม ซึ่งเป็นจุดที่แรงส่งจากน้ำหนักกล่องมีค่าเท่ากับแรงเสียดทานพอดี กล่าวคือ แรงเสียดทาน (F) = 0.5 x 89.4 = 44.7 กิโลกรัม

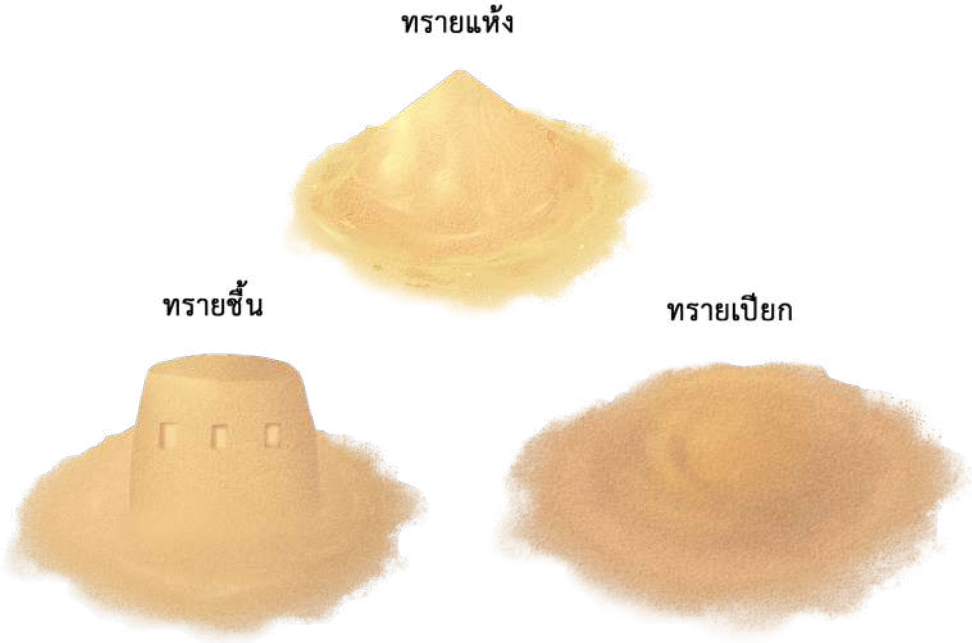






รูปที่ 1.17 แรงเนื่องจากน้ำหนักกล่องที่เปลี่ยนไปเป็นแรงตั้งฉาก และแรงส่งเนื่องจากน้ำหนักกล่องบนพื้นที่มีความลาดต่าง ๆ

ในดินค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะแสดงออกมาในรูปของมุมกองตัว (angle of repose) ซึ่งในดินทรายสามารถหามุมกองตัวได้ง่าย ๆ โดยนำทรายแห้งมาโปรยให้เป็นรูปกรวยคว่ำ จากนั้นวัดมุมของกรวยคว่ำ ค่าที่วัดได้คือมุมกองตัว อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของดินมีความซับซ้อนกว่ากล่องบนพื้นราบ ความชื้นในดินมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของดิน หากนำดินทรายเปียกที่ความชื้นไม่มากมาปั้นเป็นกรวยเราจะสามารถทำกรวยที่มีความลาดชันสูงขึ้น แต่หากนำทรายไปโปรยในน้ำ ทรายจะกองราบกับพื้นไม่สามารถก่อตัวเป็นรูปร่างได้เลย ดังรูป 1.18 การที่ดินมีพฤติกรรมกลับไปกลับมานี้ อธิบายได้โดยการนำความดันน้ำในดินหักออก (หากความดันน้ำเป็นบวก) หรือรวมเข้า (หากความดันน้ำในดินเป็นลบ) กับแรงรวม (ในลาดดินทั่วไปแรงรวมเกิดจากน้ำหนักทับถมของดินเอง) แล้วจึงนำแรงรวมที่ผ่านการปรับแก้ผลจากความดันน้ำแล้ว (เรียกแรงที่ปรับแก้ผลจากความดันน้ำว่า “แรงประสิทธิผล”) ไปคำนวณแรงเสียดทานในดิน ซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดไป นอกจากความชื้นแล้ว ความแน่น (ในดินทราย) และประวัติการรับน้ำหนักบรรทุก (ในดินเหนียว) ยังส่งผลต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกดินและกำลังของดินด้วย กล่าวคือ ดินแน่นจะมีการขยายตัวเมื่อเกิดการเฉือนทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานปรากฏมีค่าสูงกว่าดินทรายหลวม เป็นต้น



รูปที่ 1.18 กองทรายที่ก่อที่ความชื้นต่างๆ

1.2.1) ความหมายและการคำนวณค่าสัดส่วนปลอดภัย

ในทางวิศวกรรมการประเมินความปลอดภัยของลาดดิน จะใช้ค่าสัดส่วนปลอดภัย หรือ Factor of Safety (*FS*) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง ความสามารถในการต้านการเฉือน กับ ความพยายามยามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกัน สามารถแสดงเป็นสมการคณิตศาสตร์ง่าย ๆ ดังนี้

สมการที่ 1.4

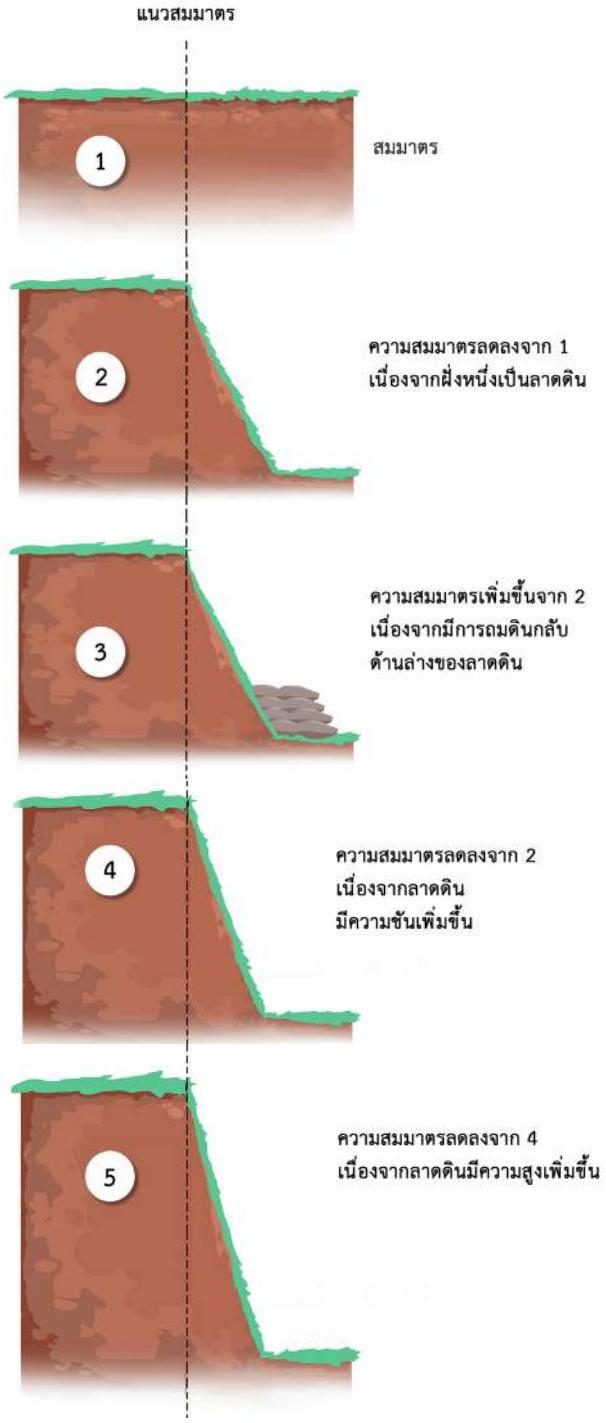
$$\text{สัดส่วนปลอดภัย} = \frac{\text{ความสามารถในการต้านการเฉือน}}{\text{ความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดจากกัน}}$$

โดยความสามารถในการต้านการเฉือนกับ ความพยายามยามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกัน สามารถแสดงในรูปของ แรง ความเข้มของแรง (หรือหน่วยแรง) หรือความพยายามทำให้เกิดการหมุน (หรือโมเมนท์ของแรง) ขึ้นกับสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ

ลาดดินที่มีค่า *FS* สูง คือ ลาดดินมีเสถียรภาพสูง ในทางตรงกันข้ามหากลาดดินมีค่า *FS* ต่ำ คือ ลาดดินมีเสถียรภาพต่ำ และหากค่า *FS* ของลาดดินมีค่าเท่ากับหนึ่ง แสดงว่า ลาดดินนั้นอยู่ในสภาวะที่พร้อมจะเกิดการวิบัติได้ตลอดเวลา ดังนั้นลาดดินที่มีเสถียรภาพ จะต้องมีความสามารถในการต้านการเฉือนสูงกว่าความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกัน เพื่อให้เข้าใจพจน์ทั้งสองที่ใช้ในการคำนวณ *FS* จะขอยกอธิบายพจน์ทั้งสองเพิ่มเติม ดังนี้

ก ความพยายามยามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกัน

ความพยายาม(อาจวัดออกมาเป็นแรง ความเข้มของแรง หรือความพยายามหมุน)ในการเฉือนดินให้ขาดจากกันเกิดจากความไม่สมมาตรของมวลดิน ดังนั้นความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกันจะมีค่ามาก หรือน้อย ขึ้นกับระดับความไม่สมมาตรของมวลดิน มวลดินที่มีระดับความไม่สมมาตรสูง จะมีความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกันสูง รูปที่ 1.19 แสดงระดับความไม่สมมาตรของมวลดิน ยิ่งลาดดินมีความลาดชันสูงหรือลาดดินที่มีความต่างระดับสูง จะยิ่งมีความไม่สมมาตรสูง นอกจากนี้ ในสภาวะที่ดินมีการอุ้มน้ำทำให้น้ำหนักของดินเพิ่มขึ้น หากมวลดินมีความไม่สมมาตรอยู่แล้วเมื่อน้ำหนักของมวลดินเพิ่มขึ้น ระดับความไม่สมมาตรจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มน้ำหนักของมวลดิน กิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทางด้านบนของลาดดิน หากเป็นการเพิ่มภาระการรับน้ำหนักบรรทุก ก็จะเป็นการเพิ่มความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกัน ในทางตรงกันข้าม กรณีที่มีการถมดินด้านล่างของลาดดิน น้ำหนักจากดินถมด้านท้ายลาดดินเป็นการลดความไม่สมมาตรของลาดดิน ทำให้ความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดจากกันลดลง



รูปที่ 1.19 ระดับความไม่สมมาตรในมวลดิน และความพยายามในการเฉือนดิน

ความสามารถในการต้านการเฉือน

คือ ความพยายามที่จะรั้งมวลดินไว้ไม่ให้เฉือนขาดจากกัน สำหรับลาดดินตามธรรมชาติความสามารถในการต้านการเฉือนเกิดจาก (รูปที่ 1.20)

1) กำลังของดินในการต้านการเฉือน

กำลังของดินมาจากองค์ประกอบสองส่วน คือ ส่วนที่เกิดจากค่าการยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน และส่วนที่เกิดจากความเสียดทานระหว่างเม็ดดิน โดยมีความสัมพันธ์ ดังนี้

สมการที่ 1.5

$$\tau_f = c' + \sigma' \mu$$

โดย

τ_f คือ กำลังของดินในการต้านการเฉือน

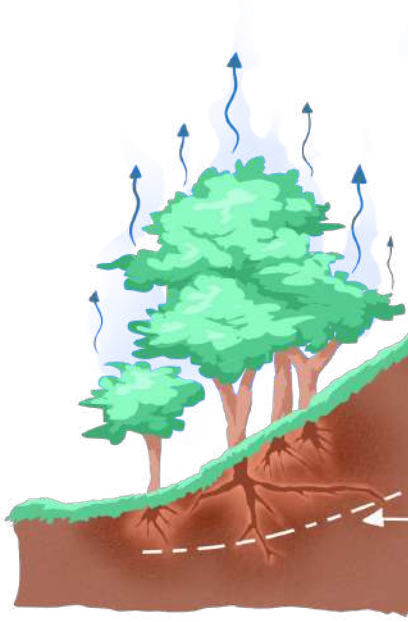
c' คือ ค่าการยึดเกาะ

μ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างเม็ด ในทางวิศวกรรมปฐพีพจน์ μ มักแทนด้วยพจน์ $\tan\phi'$ เมื่อ ϕ' คือ มุมความเสียดทานระหว่างเม็ดดิน

σ' คือ หน่วยแรงประสิทธิผลเป็นแรงปฏิกิริยาระหว่างเม็ดดินเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยขนาดของ σ' จะแปรตามน้ำหนักกดทับ (ความลึกของดินในตำแหน่งที่กำลังพิจารณา) และความดันน้ำในดิน

ค่า c' และ ϕ' เป็นปัจจัยที่มาจากชนิดของดินและประวัติการรับน้ำหนักบรรทุกของดิน ดินต่างชนิดกันและมีประวัติการรับน้ำหนักหรือการอัดตัวของดินต่างกัน จะมีค่า c' และ ϕ' ต่างกัน เช่น ดินทรายไม่มีค่าการยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน ขณะที่ดินเหนียวที่มีประวัติการรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่าการรับน้ำหนักบรรทุกปัจจุบัน จะมีค่าการยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน เป็นต้น

สำหรับ σ' ซึ่งเป็นแรงปฏิริยาระหว่างเม็ดดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพความชื้นในดิน เมื่อดินมีความชื้นมากขึ้นแรงปฏิกริยาระหว่างเม็ดดินจะลดลง ทำให้กำลังของดินในการต้านการเฉือนลดลง ซึ่งสาเหตุที่ σ' มีการเปลี่ยนแปลงตามความชื้นในดินจะอธิบายในหัวข้อ 1.2.2

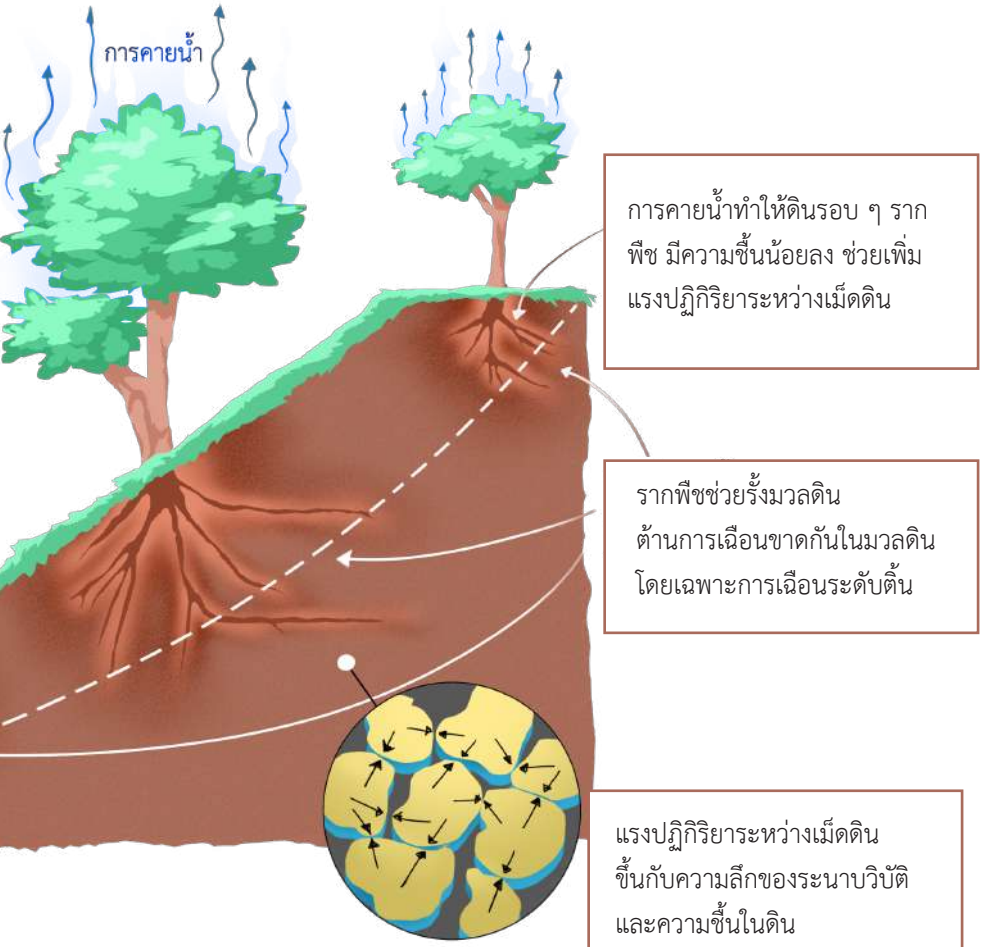


2) อิทธิพลของพืช

พืชมีอิทธิพลต่อความสามารถในการต้านการเฉือน 2 ประการ ได้แก่

ก) รากพืช ช่วยยึดรั้งมวลดินไม่ให้เฉือนขาดจากกัน และทำให้ลาดดินมีค่าการยึดเกาะสูง

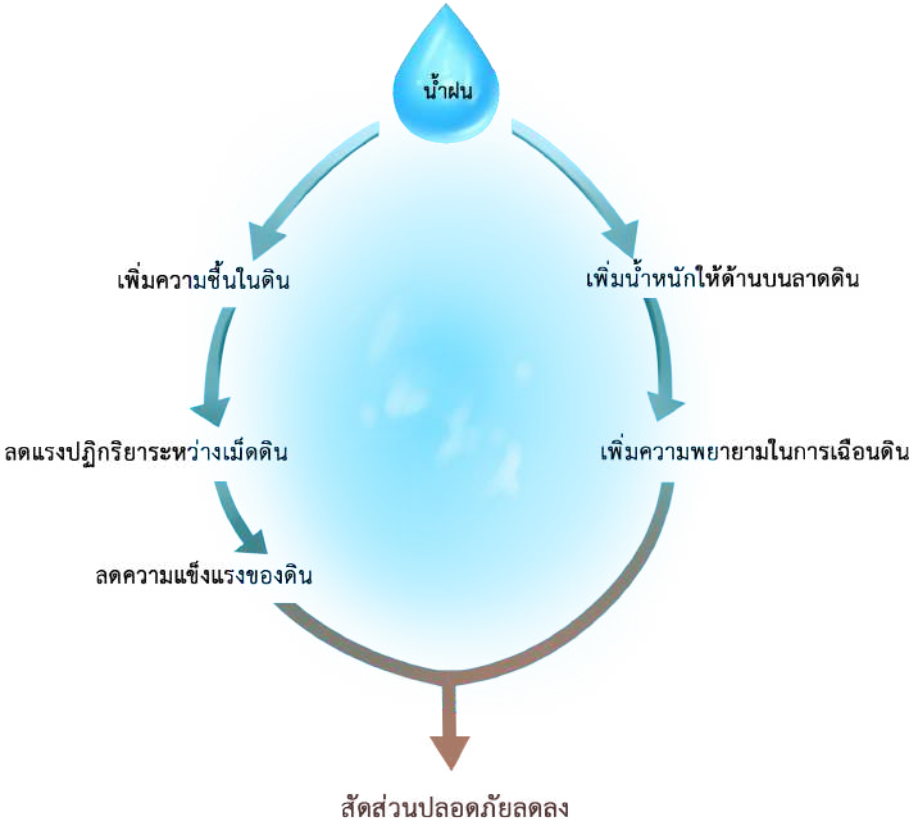
ข) การดูดน้ำของรากพืชช่วยลดความชื้นและความดันน้ำในดิน ทำให้แรงปฏิกิริยาระหว่างมวลดินเพิ่มขึ้นส่งผลต่อกำลังของดิน



รูปที่ 1.20 ความพยายามต้านการเฉือนดินมาจากความแข็งแรงของดินและพืช

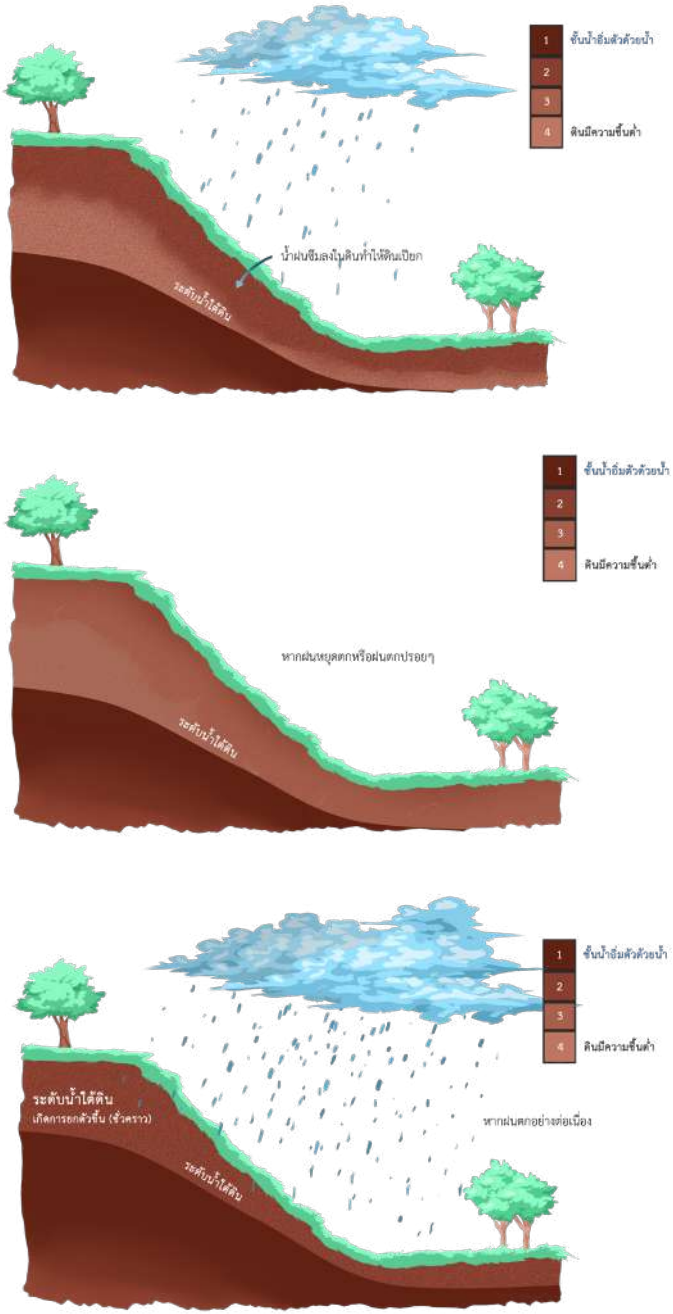
1.2.2) พฤติกรรมการวิบัติของลาดดินเนื่องจากฝน

สัดส่วนปลอดภัยของลาดดินขึ้นกับปัจจัยประกอบหลายอย่าง ดังนั้นสัดส่วนปลอดภัยจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาเมื่อมีปัจจัยประกอบใดปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป บ่อยครั้งที่น้ำฝนเป็นปัจจัยกระตุ้นสำคัญที่ก่อให้เกิดเหตุดินถล่ม เนื่องจากฝนที่ตกลงมาทำให้ดินมีการอุ้มน้ำ น้ำหนักของลาดดินเพิ่มขึ้นทำให้ความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดจากกันมีค่าสูงขึ้น ขณะเดียวกันความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลงไป มีผลทำให้แรงปฏิกริยาระหว่างเม็ดดินลดลง กำลังของดินในการต้านการเฉือนจึงลดลง



รูปที่ 1.21 อิทธิพลของน้ำฝนต่อสัดส่วนปลอดภัยของลาดดิน

เนื่องจากความปลอดภัยของลาดดินมีน้ำเป็นปัจจัยกระตุ้นหลัก ความเข้าใจเรื่องการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน จะช่วยให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจกลไกการเกิดเดินถล่มและเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องได้ดีขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินอันเนื่องจากฝนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม สามารถแยกออกเป็น 2 ช่วง คือ



รูปที่ 1.22 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและน้ำใต้ดินเนื่องจากน้ำฝน

1) ช่วงที่หนึ่งของการเปลี่ยนแปลงความชื้น

ในช่วงนี้ น้ำฝนจะซึมลงดินตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นของดินด้านบนมีค่าสูงกว่าความชื้นของดินด้านล่าง โดยขนาดของความชื้นในดินจะเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อย ขึ้นกับความรุนแรงของฝนและชนิดของดิน ซึ่งวัดในรูปของ “อัตราฝนตกสัมพัทธ์” โดย

สมการที่ 1.6

$$\text{อัตราฝนตกสัมพัทธ์} = \frac{\text{ความรุนแรงของฝน}}{\text{ความสามารถในการระบายน้ำของดิน}}$$

กล่าว คือ หากอัตราฝนตกสัมพัทธ์มีค่าสูง ความชื้นในดินที่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้จะมีค่าสูง และหากอัตราฝนตกสัมพัทธ์มีค่าต่ำ ความชื้นในดินที่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้จะมีค่าต่ำ (Chinkulkijniwat et al., 2016)

2) ช่วงที่สองของการเปลี่ยนแปลงความชื้น

ช่วงนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

ก) ถ้าฝนหยุดตกหรือมีความรุนแรงของฝนลดลง น้ำฝนที่เติมลงมาจะส่วนนึงจะถูกกักไว้บริเวณชั้นดินด้านบน อีกส่วนจะค่อย ๆ ซึมลงสู่ชั้นดินด้านล่างสะสมเป็นน้ำบาดาลใต้ดิน

ข) ถ้าฝนตกที่ตกลงมาต่อเนื่องและมีความรุนแรงสูงกว่าความสามารถในการซึมลงสู่ดินด้านล่าง น้ำฝนจะสะสมในชั้นดินด้านบน เกิดเป็นระดับน้ำใต้ดินชั่วคราว และไหลตามไปตามความลาดของดินลงสู่ลำธารหรือร่องน้ำธรรมชาติด้านล่าง กรณีนี้หากมีฝนตกด้วยความรุนแรงต่อเนื่องดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำ น้ำฝนที่ตกเพิ่มลงมาจะเอ่อนองตามผิวหน้าดิน กลายไหลบ่าลงสู่ด้านล่าง

อีกประเด็นที่ผู้อ่านควรทราบ คือ อิทธิพลของน้ำต่อกำลังของดิน ดังที่ทราบว่า น้ำจะทำให้กำลังของดินลดลง เพื่อให้ผู้อ่านทราบถึงกลไกโดยละเอียดจึงขออธิบายเป็น**ขั้นตอนตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำ** ดังนี้

- ลาดดินในช่วงฤดูแล้งจะมีความชื้นตามธรรมชาติอยู่เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ที่สภาวะนี้น้ำจะอยู่ในรูปของฟิล์มน้ำเกาะอยู่ระหว่างเม็ดดินด้วยแรงตึงผิวของน้ำ ฟิล์มน้ำที่เกาะอยู่ระหว่างเม็ดดินนี้ จะทำหน้าที่ยึดเม็ดดินเข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้นน้ำในสภาวะที่มีความชื้นไม่มาก จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับลาดดิน

- ระดับการยึดดินเข้าไว้ด้วยกันนี้ จะเปลี่ยนแปลงตามความชื้นในดิน กล่าวคือ หากความชื้นในดินเพิ่มขึ้น น้ำที่เพิ่มเข้ามาจะไปรวมกับฟิล์มน้ำกลายสภาพจากฟิล์มน้ำเป็นก้อนน้ำในโพรงดิน การหายไปของจำนวนฟิล์มน้ำที่เคยยึดเกาะเม็ดดินทำให้ระดับการยึดดินเข้าไว้ด้วยกันมีค่าลดลง และก้อนน้ำที่เกิดขึ้นยังทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นทำให้ความเสียดทานระหว่างเม็ดดินมีค่าลดลง

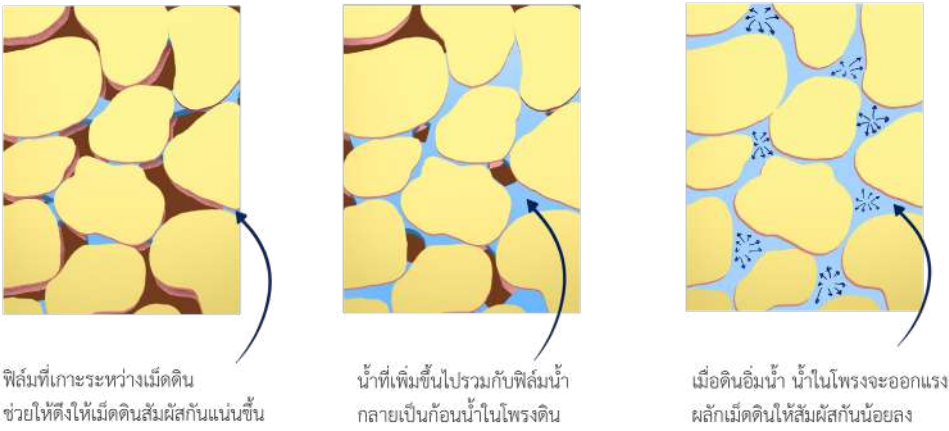
- เมื่อน้ำยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับที่ดินเกือบอิ่มน้ำ ฟิล์มน้ำจะหายไปหมด กลายเป็นมวลน้ำในโพรงดินทั้งหมด จากนี้ไปนอกจากน้ำจะทำหน้าที่เป็นเหมือนสารหล่อลื่นลดความเสียดทานระหว่างเม็ดดินแล้ว น้ำในโพรงดินจะเริ่มออกแรงผลักเม็ดดินที่อยู่ชิดกันทำให้แรงปฏิกริยาระหว่างเม็ดดินมีค่าลดลงด้วย

- จากจุดนี้หากมีน้ำฝนเติมลงมาในดินอีก สามารถทำให้ระดับน้ำในดินสูงขึ้น (ดังอธิบายในเรื่องช่วงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน) และ

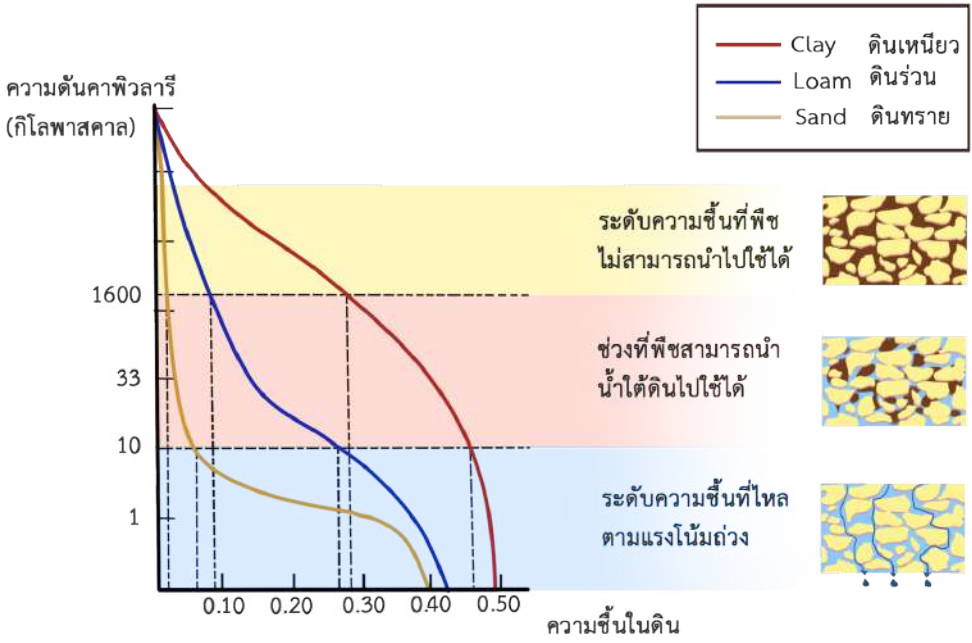
การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำในดินนี้จะทำให้ แรงดันน้ำในดินจะเพิ่มขึ้น และจะออกผลักเม็ดดินให้แยกจากกันมากขึ้น จากผลของความพยายามผลักเม็ดดินให้แยกจากกัน จึงสามารถลดความเสียดทานระหว่างเม็ดดิน กำลังของดินจึงมีค่าลดลง

ในทางวิศวกรรมอิทธิพลของน้ำที่อธิบายไปข้างต้น จะนำไปพิจารณา ในแรงปฏิกริยาระหว่างเม็ดดิน σ' โดยปรับลด/เพิ่มขนาด σ' ตามอิทธิพลของน้ำ หากน้ำอยู่ในรูปของฟิล์มน้ำ แรงปฏิกริยาระหว่างเม็ดดินจะถูกปรับเพิ่มขึ้น เนื่องจากฟิล์มน้ำจะออกแรงดึงให้เม็ดดินที่อยู่ชิดกันสัมผัสกันแน่นขึ้น (ในทางวิศวกรรมเรียกแรงนี้ว่าแรงคาพิวลารี) หากฟิล์มน้ำลดลงอันเป็นผลจากความชื้นในดินที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดึงจากฟิล์มน้ำลดลง เม็ดดินที่อยู่ชิดกันจะมีแรงสัมผัสหรือแรงปฏิกริยาลดลง

ประเด็นที่น่าสนใจประด็นหนึ่ง คือ การลดลงของ σ' จากการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว หรือค่อยเป็นค่อยไปขึ้นกับธรรมชาติของดิน ในดินทรายการลดลงของ σ' จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้กำลังของดินลดลงเร็วมาก แม้ความชื้นจะเปลี่ยนแปลงไปไม่มาก ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวสามารถระบุได้ผ่านคุณสมบัติการอุ้มน้ำของดิน (soil water retention) ซึ่งแสดงออกมาในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความดันคาพิวรารี กับความชื้นในดิน (รูปที่ 1.24) อย่างไรก็ตาม การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายสูง อีกวิธีหนึ่งที่พอจะบอกถึงอัตราการลดกำลังของดินตามความชื้น คือ การใช้ค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity index) ของดิน ซึ่งแสดงถึงช่วงความชื้นที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงกำลังจากกำลังปานกลาง (กำลังของดินที่สภาวะนี้มีค่าประมาณ 20 ต่อตารางเมตร) ไปเป็นสภาพเหลวเหมือนโคลน (กำลังของดินที่สภาวะนี้ประมาณ 0.2 ตันต่อตารางเมตร) และดินที่มีค่าดัชนีพลาสติกต่ำ (เช่นดินดินร่วนปนทราย ซึ่งมีค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับร้อยละ 5 โดยประมาณ) เมื่อได้รับน้ำฝนจะเปลี่ยนสภาพเป็นสภาวะเหลวได้ง่ายกว่าดินที่มีค่าดัชนีพลาสติกสูง มีงานวิจัยจำนวนมากที่ยืนยันถึงการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมดังกล่าวในดินที่มีรากพืช กล่าวคือ เมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้น ฟิล์มน้ำในดินทรายที่มีรากพืช จะลดลงน้อยกว่าในดินทรายที่ไม่มีรากพืช ดังนั้นการปลูกพืชนอกจากจะช่วยยึดดินและดูดน้ำแล้ว การมีรากพืชยังช่วยชะลอการลดกำลังของดินตามความชื้นที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.23 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินทำให้น้ำในดินทำหน้าที่ต่างกัน



รูปที่ 1.24 คุณสมบัติการอุ้มน้ำของดิน

นอกจากนี้ฮิวมัสในดินที่เกิดจากการย่อยสลาย จะช่วยเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำของดิน (Hornbeck and Rienhart, 1964) ดังนั้นในลาดดินที่มีชั้นฮิวมัส เมื่อต้องรับน้ำฝนค่าหนึ่ง จะให้ค่าอัตราฝนตกสัมพัทธ์ต่ำกว่าลาดดินที่ไม่มีชั้นฮิวมัส ซึ่งขนาดของอัตราการตกของฝนสัมพัทธ์นี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินช่วงแรก กล่าวคือ ในช่วงที่หนึ่งของการเปลี่ยนแปลงความชื้น ลาดดินที่ได้รับฝนด้วยอัตราฝนตกสัมพัทธ์ต่ำจะมีค่าความชื้นในดินต่ำกว่าลาดดินที่ได้รับฝนด้วยอัตราฝนตกสัมพัทธ์สูง ดังนั้นการมีป่าไม้จะช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของความชื้นในดินเมื่อลาดดินต้องรับฝนที่ตกด้วยความรุนแรงสูง เป็นการลดความเสี่ยงที่จะเกิดดินถล่มในช่วงแรก ๆ ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นได้

การเกิดลาดดินถล่มสามารถเกิดได้ทั้งสองช่วง ขึ้นกับปัจจัยประกอบหลายประการ หากพิจารณาเฉพาะ**ลักษณะของลาดดิน** พอจะสรุปได้ดังนี้

- **ในลาดดินที่มีความลาดสูง** และดินมีค่าการยึดเกาะน้อย หากมีฝนตกด้วยความรุนแรงสูง การถล่มของลาดดินมักจะเกิดในช่วงที่หนึ่งของการเปลี่ยนแปลงความชื้น ซึ่งมักจะเกิดได้เร็ว ปริมาณฝนสะสมไม่มากก็สามารถเกิดดินถล่มได้ ดังนั้นพื้นที่ที่มีความลาดสูงและมีการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อใช้เป็นพื้นที่เพาะปลูกทำให้ดินสูญเสียค่าการยึดเกาะ จึงมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดดินถล่ม แม้จะมีความรุนแรงฝนและปริมาณฝนสะสมไม่สูงก็ตาม

- **ในลาดดินที่มีความลาดต่ำ** และดินมีค่าการยึดเกาะ การถล่มของลาดดินมักจะเกิดในช่วงที่สองของการเปลี่ยนแปลงความชื้น โดยฝน

ที่ตกลงมาต้องมีความรุนแรงฝนสูง และ/หรือ ปริมาณฝนสะสมสูง ทำให้ระดับใต้ดินชั่วคราวยกระดับสูงขึ้น การยกระดับของน้ำใต้ดินนี้จะไปเพิ่มความดันน้ำในดิน ลดแรงปฏิกิริยาระหว่างเม็ดดิน ทำให้กำลังของลาดดินลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อน้ำใต้ดินยกตัวสูงขึ้นถึงระดับหนึ่ง จนความแข็งแรงของดินไม่เพียงพอที่จะต้านความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกัน จึงเกิดดินถล่มตามมา

รูปที่ 1.25 ด้านซ้ายมือ : อุปกรณ์ทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติการอุ้มน้ำของดิน ด้านขวามือ : อุปกรณ์ทดสอบค่าดัชนีพลาสติกของดิน (ที่มา: Scheffler and Plagge (2011) และ www.dualmfg.com)

1.3 ประเภทและเหตุการณ์ดินถล่มต่างๆที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

การจำแนกชนิดของดินถล่มมีหลากหลาย และวิธีการจำแนกที่ใช้กันแพร่หลายเป็นวิธีที่เสนอโดย Varnes (1975) โดยจำแนกตามชนิดของของวัสดุที่พังทลายร่วมกับลักษณะการเคลื่อนที่ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงโดยย่อดังนี้

• **การร่วง (Falls) และการพลิกคว่ำ (Topples)** ซึ่งมักเกิดขึ้นบริเวณที่มีหน้าผาที่มีความชัน

• **การเลื่อนไถล (Sliding)** เป็นการเคลื่อนตัวของมวลดินไปตามระนาบในมวลดินที่ขาดออกจากกัน ซึ่งเราเรียกระนาบนี้ว่าระนาบเฉือน โดยมากก่อนการวิบัติแบบนี้เรามักพบรอยแยกบนผิวดิน การเลื่อนไถลมี 2 ประเภทหลัก ๆ คือ การเลื่อนไถลแบบหมุน (Rotational slide) และการเลื่อนไถลเป็นระนาบ (Translational slide) มักเกิดในดินที่ไม่มีค่าการยึดเกาะ หรือดินที่มีค่าการยึดเกาะต่ำ เมื่อชั้นดินมีความหนาไม่มาก

• **การแผ่ออก (Lateral spread)** ส่วนใหญ่จะเกิดในพื้นที่ ที่มีความลาดชันน้อย พบในดินที่มีตะกอนละเอียดจำนวนมาก และมักจะเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์แผ่นดินเหลว (Liquefaction)

• **ดินโคลนถล่ม (Flows)** เป็นการเกิดดินถล่มที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องมากที่สุด โดยมีน้ำจำนวนมากแทรกในมวลดินทำให้มวลดินมีลักษณะ

เป็นของไหล สามารถเคลื่อนตัวลงมาตามลาดเขาได้เร็วและไกล ทำให้การเคลื่อนตัวชนิดนี้สามารถสร้างความเสียหายได้มากที่สุด

ในประเทศไทย เหตุดินถล่ม มีลักษณะเกิดร่วมกันหลายแบบ มักเกิดตามทางน้ำเดิมหรือตามร่องน้ำเล็ก ๆ บนลาดเขาที่น้ำมีการไหลมารวมกันเมื่อมีฝนตก และเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 30 (ประมาณ 30 องศา) สำหรับพื้นที่เขาบริเวณที่มีชั้นดินหนา มักเป็นดินถล่มประเภทการไถลแบบหมุน และหากมีฝนตกเติมเข้ามาอีกมักจะเกิดดินโคลนถล่มตามมา ส่วนพื้นที่เขาบริเวณที่ชั้นดินบาง และลาดดินมีค่าการยึดเกาะน้อย มักเกิดดินถล่มประเภทการเลื่อนไถลเป็นระนาบ และมีโอกาสเกิดดินโคลนถล่มตามมาได้ง่าย

1.3.1) การร่วง

เป็นการเคลื่อนตัวลงมาอย่างรวดเร็วของหิน หรือดิน จากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง อาจเป็นการตกอย่างอิสระ หรือกลิ้งมาตามลาดเขาที่มีความลาดชันสูง เป็นการถล่มที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องน้อย เศษหินและเศษดินมักกองสะสมกันอยู่บริเวณเชิงเขา

ตัวอย่างการถล่มประเภทนี้ในประเทศไทยที่เป็นข่าวที่สนใจในวงกว้าง คือ การร่วงของหินบริเวณ “ผากระทัง” อยู่ห่างจากผาแต้มไปประมาณ 6 กิโลเมตร เมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2558 ลักษณะหน้าผาเป็นหินทรายหนา รองรับด้วยชั้นหินดินดานที่มีสภาพแตกร่อนและผุกร่อนได้ง่าย

เมื่อเกิดการผุกร่อนชั้นหินดินดานจึงเว้าเข้าไปในหน้าผา ทำให้ชั้นหินทรายด้านบนยื่นออกมา เมื่อชั้นหินดินดานผุกร่อนถึงระดับหนึ่ง จึงเกิดการเสียสมดุล หินทรายจึงพังถล่มเห็นเป็นโพรงลึกเข้าไปประมาณ 10 เมตร กว้าง 25 เมตร

รูป 1.26 การร่วงของหินบริเวณผากระทังปี พ.ศ.2558
(ที่มา: เว็บไซท์ pptvhd หนังสือพิมพ์มิติชน และหนังสือพิมพ์ไทยรัฐ)

เหตุหินขนาดใหญ่ร่วงที่เขาพนม เมื่อเดือนมกราคม 2559 เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการถล่มแบบร่วง โดยจุดเกิดเหตุเป็นจุดเดียวกับที่เคยเกิดดินโคลนถล่มเมื่อปี 2554 พบหินหลายก้อนมีความกว้างกว่า 10 เมตร เมื่อถล่มลงมาแล้ว ได้ไหลลงมาอีกเป็นระยะทางประมาณ 500 เมตร กวาดต้นไม้ขนาดใหญ่หักโค่นจำนวนมาก แต่เหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นในเขตอุทยาน อยู่บนภูเขาสูงห่างไกลจากเขตชุมชน จึงไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต

รูปที่ 1.27 การร่วงของหินที่เขาพนมปี พ.ศ. 2559 (ที่มา: เว็บไซท์หนังสือพิมพ์ผู้จัดการ)

1.3.2) การเลื่อนไถลแบบหมุน

เป็นรูปการการเกิดดินถล่มที่พบบ่อยที่สุด โดยมวลดินด้านบนจะเคลื่อนไปตามระนาบวิบัติที่มีความโค้งคล้ายช้อน ทำให้ลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลดินเป็นการเคลื่อนแบบหมุน ดินถล่มแบบนี้จะเป็นไปอย่างช้า ๆ และมีระยะกระทบไม่แผ่ออกไปมากกว่าบริเวณที่เกิดการวิบัติ มักเกิดขึ้นในบริเวณที่ดินมีความเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น บริเวณที่มีชั้นดินหนามาก ดินถล่มที่พบในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล มักมีรูปแบบการถล่มแบบนี้ เนื่องจากสภาพชั้นดินเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนหนา เช่น การวิบัติของถนนริมคลองเนื่องจากระดับน้ำในคลองลดต่ำลงเป็นประวัติการ เมื่อปี พุทธศักราช 2559 สาเหตุของการวิบัติดังกล่าวเป็นตัวอย่างร่วมสมัยที่แสดงในบทเรียนวิชาปฐพีกลศาสตร์หรือวิศวกรรมฐานราก วิศวกรทั่วไปจะทราบสาเหตุของการวิบัติประเภทนี้ดีว่า เกิดจากการลดลงของระดับน้ำในคลอง ซึ่งเป็นเสมือนการลดความสมมาตรของลาดดินลง ขณะที่ดินมีความสามารถในการกักน้ำอยู่ในตัวเอง ดังนั้นถึงแม้น้ำในคลองจะลดลงอย่างมาก แต่แรงดันน้ำในดินจะมีการลดลงเพียงเล็กน้อยจนแทบไม่มีการลดลงเลย เมื่อเป็นเช่นนี้จึงทำให้ความพยายามเฉือนดินให้ขาดจากกันมีค่าเพิ่มขึ้น (ผลจากการลดระดับน้ำในคลอง) ขณะที่ความดันน้ำในดินไม่เปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองจึงทำให้กำลังของดินก็มีเท่าเดิม เมื่อระดับน้ำในคลองลดลงเรื่อย ๆ ถึงระดับหนึ่งลาดดินจะเกิดการวิบัติได้

รูป 1.28 ดินถล่มแบบเลื่อนไถลแบบหมุน
(ที่มา: ไทยรัฐ โพสทูเดย์ สำนักข่าวอิสรา และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย)

เหตุดินถล่มบริเวณโรงแรมเซ็นทรัลฮิลล์ บ้านสันคีรี ตำบลแม่สลองนอก อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของดินถล่มที่มีการเคลื่อนตัวแบบหมุน พื้นที่ดังกล่าวมีรายงานว่า พบรอยร้าวตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2553 โดยพบรอยแยก 3 แนว แนวแรกมีความยาว 50 เมตร วางตัวไปตามสันเขา แนวที่สองวางตัวขนานกับแนวรอยแยกแรก แต่มีความยาวถึง 150 เมตร และแนวที่สามวางตัวตั้งฉากกับสองแนวแรก มีความยาว 20 เมตร ดังรูปที่ 1.30 รอยแยกดังกล่าว มีการพัฒนาอย่างช้า ๆ และมีรายงานการเคลื่อนตัวของลาดดินบริเวณที่เกิดเหตุทุกปี ล่าสุด ดินบริเวณดังกล่าวทรุดตัวไปมากกว่า 3 เมตร ต้องรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างทั้งหมดออกจากบริเวณดังกล่าว และประกาศเป็นพื้นที่ภัยพิบัติเพื่อกันไม่ให้ประชาชนเข้าไปในพื้นที่ดังกล่าว (รูปที่ 1.29)

สภาพทางธรณีวิทยา เป็นภูเขาหินแกรนิตซึ่งผุพังให้ชั้นดินหนา สาเหตุหลักของการวิบัติเกิดจากจัดการน้ำไม่ดี จากการสำรวจโดยผู้แต่งพบว่า บริเวณสามแยกก่อนถึงจุดที่เกิดดินถล่ม มีรางระบายน้ำ (วงสีฟ้าไว้ในรูปที่ 1.30) ระบายน้ำลงสู่ลาดดินตามธรรมชาติ เดิมน้ำที่ไหลมาที่รางระบายน้ำนี้มีบริเวณไม่มาก เนื่องจากน้ำฝนจากพื้นที่ด้านบนจะไหลลงเขาแบบกระจาย จึงไม่เกิดปัญหา ต่อมา

รูปที่ 1.29 ภาพรอยร้าวเริ่มต้น และสภาพพื้นที่ก่อน และระหว่างเกิดรอยแยกใหม่ๆ ที่หมู่บ้านสันคีรี ดอยแม่สลอง (ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2558) เว็ปไซท์หนังสือพิมพ์ผู้จัดการ เว็ปไซท์เชียงรายโฟกัส)

มีการพัฒนาพื้นที่เป็นพื้นที่ท่องเที่ยว มีการก่อสร้างเพิ่มขึ้น รวมทั้งการพัฒนาพื้นที่ด้านต้นน้ำ มีการทำรางน้ำจากด้านบน บังคับการไหลของน้ำให้ไหลรวมมาทางเดียวกัน และระบายออกที่รางระบายน้ำบริเวณสามแยกก่อนถึงบริเวณที่เกิดดินถล่ม

ข้อมูลจากชาวบ้านในพื้นที่ ทำให้ทราบว่าเมื่อฝนตกหนักจะมีน้ำฝนไหลจากเขาด้านบนลงมาจำนวนมากจนเอ่อล้นรางน้ำออกมาตามถนนด้านหน้าโรงแรมแล้วไหลลงตามลาดดิน ลาดดินด้านล่างจึงมีความชุ่มน้ำมาก แล้วเกิดการวิบัติจากด้านล่างพัฒนาขึ้นมาด้านบนจนเกิดรอยแยกขึ้น ทุกครั้งที่มีฝนตกหนักจะมีน้ำจากด้านบนจำนวนมากไหลลงสู่ดินตามรอยแยก ซ้ำเติมปัญหาที่เกิดขึ้นจนนำไปสู่การวิบัติในที่สุด

รูปที่ 1.30 ดินถล่มบริเวณหมู่บ้านสันคีรี ดอยแม่สลองถ่ายเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2510
(ที่มา: facebook geomechanics and geoengineering group)

1.3.3) การถสมที่มีการเคลื่อนตัวเป็นระนาบ

เป็นการถล่มที่มีการเคลื่อนตัวเป็นระนาบที่ค่อนข้างตรง ส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนตามระนาบโครงสร้างทางธรณี เช่น ตามระนาบการวางตัวของชั้นหิน หรือรอยต่อระหว่างชั้นดินและหิน มักเกิดในลาดดินที่ไม่มีค่าการยึดเกาะหรือมีค่าการยึดเกาะต่ำ และมักพบในลาดดินที่มีความหนาของชั้นดินไม่มาก นอกจากนี้ยังสามารถเกิดบนลาดดินที่มีชั้นดินหนาได้ หากลาดดินมีความชันมาก และได้รับน้ำฝนด้วยความรุนแรงสูง เนื่องจากการถล่มแบบนี้มีระนาบการวิบัติตื้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีปริมาณฝนสะสมสูง และหากมีฝนตกต่อเนื่องหลังการถล่ม สามารถทำให้ดินถล่มแปรสภาพเป็นดินโคลนถล่มได้ง่าย เนื่องจากการถล่มแบบที่มีการเคลื่อนตัวเป็นระนาบ จะเปลี่ยนภาพเป็นดินโคลนถล่มต่อได้ง่าย ดังนั้นจากร่องรอยดินถล่มที่พบจึงไม่ค่อยพบดินถล่มประเภทนี้เพียงอย่างเดียว แต่มักพบร่วมกับดินโคลนถล่ม ตัวอย่างของดินถล่มที่มีการเคลื่อนตัวเป็นระนาบ คือ เหตุดินถล่มที่อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ (รูปที่ 1.31)

1.3.4) ดินโคลนถล่ม

ดินโคลนถล่มเป็นดินถล่มประเภทหนึ่งที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องในปริมาณมาก มีอัตราเร็วการเคลื่อนตัวสูง สามารถสร้างความเสียหายได้มากกว่าดินถล่มทุกประเภท เหตุดินโคลนถล่มหลายครั้งเป็นเหตุที่เกิดตามมาจากเหตุดินถล่มทั่วไป โดยมวลดินที่ถล่มแล้วจะมีการแปรสภาพไปจากเดิม ทำให้น้ำฝนที่ตกลงมาสามารถเติมลงในมวลดินได้ง่าย ดังนั้นหากยังคงมีฝนตกต่อเนื่อง น้ำฝนที่สะสมในมวลดินที่ถล่มลงมาแล้ว จะแปรสภาพดินเป็นโคลนแล้วไหลลงสู่ที่ต่ำต่อไป ดินโคลนเหล่านี้จะเป็นตัวกลางพาเอาหิน ดิน ตะกอน รวมถึงต้นไม้ลงมาพร้อม ๆ กัน บางครั้งการเคลื่อนตัวของดินเริ่มต้นอาจมีขนาดไม่มาก แต่ทำให้เกิดรอยแยกขึ้นในดิน และเมื่อมีน้ำฝนเติมลงมาจำนวนมากพอ ก็จะเกิดดินโคลนถล่มตามมาได้ เหตุดินโคลนถล่มหลายครั้งจะพบเหตุน้ำป่าไหลหลากร่วมด้วย ซึ่งน้ำป่าไหลหลากเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาเกินขีดความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน ทำให้น้ำฝนที่ตกลงมาทั้งหมดไหลไปตามผิวดิน และไหลรวมกันตามร่องน้ำตามธรรมชาติลงสู่พื้นที่ต่ำกว่า หากพื้นที่รับน้ำธรรมชาติมีการรวมน้ำจากหลายแหล่ง จะมีปริมาณน้ำสูง กระแสน้ำที่รุนแรงและปริมาณน้ำสูงสร้างพลังทำลายล้างอย่างมาก สามารถกวาดเอาสิ่งกีดขวางตามทางไหลไปได้อย่างรวดเร็วและรุนแรง

ในประเทศไทยมีเหตุดินโคลนถล่มและน้ำป่าไหลหลากบ่อยครั้ง และหลายครั้งก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างมาก เช่น เหตุดินโคลนถล่มที่อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2531 เหตุดินถล่มที่บ้านน้ำก้อ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ พ.ศ. 2544 เหตุดินถล่ม เหตุดินถล่มที่เขาพนม จังหวัดกระบี่ พ.ศ. 2554 เหตุดินถล่มที่บ้านหน้าถ้ำ ตำบลท่าอุแท อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี พ.ศ. 2554 เป็นต้น

รูปที่ 1.31 ดินถล่มที่อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ มีรูปแบบการเคลื่อนตัวเป็นระนาบ
(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี)

รูปที่ 1.32 ประมวลภาพเหตุดินโคลนถล่มในพื้นที่อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่ พ.ศ. 2554
(ที่มา: www.guidekrabi.com)

บทที่ 2

ปัจจัยที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของลาดดิน

โดย ดร.สมใจ ยุบลชิต และ รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์

การเกิดดินถล่มมีสาเหตุมาจากปัจจัยที่สามารถจำแนกออกได้เป็นสองกลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ 1) ปัจจัยจากคุณสมบัติลาดดิน และ 2) ปัจจัยกระตุ้น สำหรับปัจจัยจากคุณสมบัติลาดดิน ได้แก่ สภาพทางธรณีและปฐพีวิทยา และสภาพภูมิประเทศ ปัจจัยเหล่านี้จะควบคุมระดับการตอบสนองจากปัจจัยกระตุ้นต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน การเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำบนดินและน้ำใต้ดิน และการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน เป็นต้น ในบทนี้จะกล่าวถึงปัจจัยต่าง ๆ แยกออกเป็น 2 กลุ่ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ปัจจัยจากคุณสมบัติของลาดดิน

2.1.1) สภาพทางธรณีและปฐพีวิทยา

ชั้นดินบนไหล่เขาโดยทั่วไปเกิดจากการผุพังของหินต้นกำเนิด การผุพังจะมีกระบวนการทางเคมีและอัตราการเกิดที่แตกต่างกัน ทำให้ชั้นดินมีความหนาและชนิดของดินแตกต่างกันตามหินต้นกำเนิด เช่น หินแกรนิต มีอัตราการผุพังสูง เมื่อผุพังแล้วจะได้ชั้นดินทรายร่วนหรือดินทรายปนดินเหนียว หินภูเขาไฟ มีอัตราการผุพังใกล้เคียงกับหินแกรนิต เมื่อผุพังได้ชั้นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียวส่วนหินดินดาน-หินโคลน เมื่อผุพังจะได้ชั้นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทราย เป็นต้น

ประเทศไทยมีการจัดกลุ่มชุดหินตามความอ่อนไหวต่อเหตุดินถล่ม (ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก, 2559) โดยจำแนกจากชุดหินทั้งหมด 61 ชุด ที่สำรวจโดยกรมทรัพยากรธรณี (รูปที่ 2.1) เป็น 9 กลุ่มหลัก ตามตารางที่ 2.1 ได้แก่

1) กลุ่มหินแกรนิต
2) กลุ่มหินอัคนีผุและหินอัคนีแทรกซ้อนสีเข้ม
3) กลุ่มหินตะกอนเม็ดหยาบ
4) กลุ่มหินตะกอนเม็ดละเอียด
5) กลุ่มหินตะกอนหลายชนิดแทรกสลับชั้นกัน
6) กลุ่มหินแปร
7) กลุ่มหินคาร์บอเนต
8) กลุ่มตะกอนยุคควอเทอร์นารี และ
9) กลุ่มหินตะกอนบนที่ราบสูงโคราช

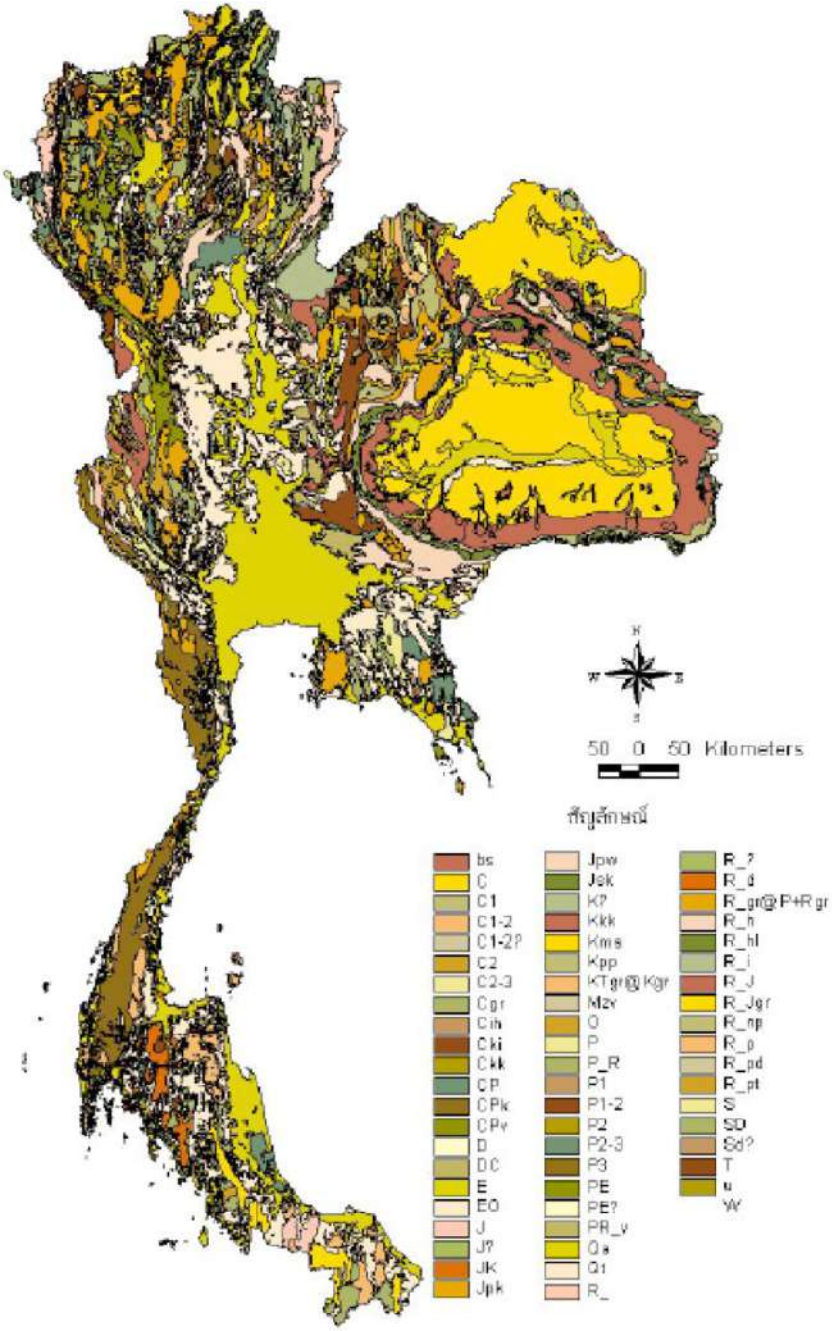
เมื่อนำเหตุดินถล่ม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 ถึง 2553 จำนวนทั้งสิ้น 166 ครั้ง มาจำแนกตามกลุ่มหินทั้ง 9 กลุ่ม พบว่า กลุ่มหินที่พบความชุกของการเกิดดินถล่มต่อพื้นที่ปกคลุมสูงสุด 3 อันดับแรก (รูปที่ 2.2) ได้แก่

1. กลุ่มหินแกรนิต
2. กลุ่มหินตะกอนเม็ดละเอียด และ
3. กลุ่มหินแปร

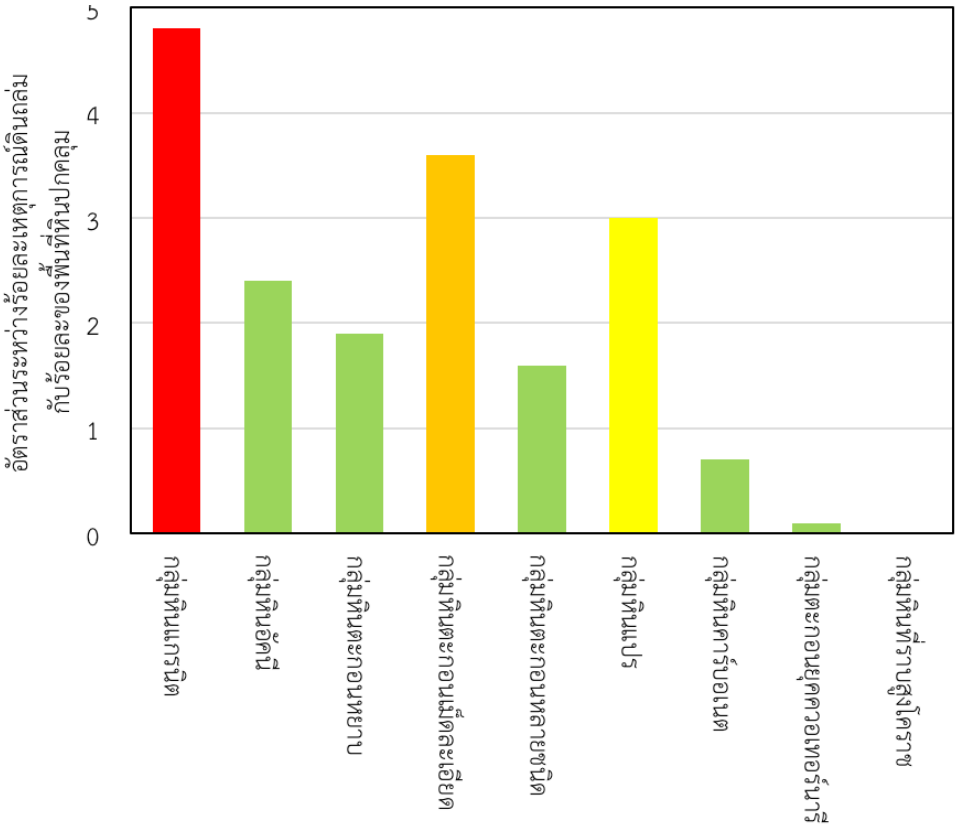
ส่วนกลุ่มหินคาร์บอเนต กลุ่มหินตะกอนยุคควอเทอร์นารี และกลุ่มหินตะกอนบนที่ราบสูงโคราช เป็นกลุ่มหินที่มีความชุกต่อการเกิดดินถล่มต่ำที่สุด เนื่องหินกลุ่มคาร์บอเนตมีลักษณะเป็นมวลหินแข็ง ดินจากหินต้นกำเนิดประเภทนี้มีความหนาไม่มาก มีลักษณะของการพิบัติที่เด่นชัดแบบหินร่วง หรือถูกกัดเซาะเป็นรูโพรงจนเกิดการยุบตัว กลุ่มหินตะกอนยุคควอเทอร์นารี และกลุ่มหินตะกอนบนที่ราบสูงโคราช จะอยู่ในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบและแอ่งกระทะขนาดใหญ่มีความลาดชันน้อย จึงมีโอกาสเกิดดินถล่มต่ำ

ตารางที่ 2.1 กลุ่มหินที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (ข้อมูลจาก ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก, 2559)

กลุ่ม	ชนิดหิน	พื้นที่ปกคลุม (ตารางกิโลเมตร)	ร้อยละพื้นที่ปกคลุม	เหตุการณ์ดินถล่ม		อัตราส่วนระหว่างร้อยละการเกิดดินถล่มกับร้อยละของพื้นที่หินปกคลุม
				จำนวนครั้ง	ร้อยละ	
1	กลุ่มหินแกรนิต (Granite Rock)	35,475	6.92	46	27.7	4.8
2	กลุ่มหินอัคนีผุและหินอัคนีแทรกซ้อนสีเข้ม (Extrusive and Mafic Igneous Rocks)	14,208	2.77	11	6.6	2.4
3	กลุ่มหินตะกอนเม็ดหยาบ (Predominantly Sandstone and Siltstone)	28,084	5.48	17	10.2	1.9
4	กลุ่มหินตะกอนเม็ดละเอียด (Predominantly Shale and Mudstone)	19,560	3.82	23	13.9	3.6
5	กลุ่มหินตะกอนหลายชนิดแทรกสลับชั้นกัน (Interbedded Sedimentary Rocks)	71,152	13.88	38	22.9	1.6
6	กลุ่มหินแปร (Metamorphic Rock)	17,666	3.45	17	10.2	3.0
7	กลุ่มหินคาร์บอเนต (Carbonate Rock)	28,185	5.50	6	3.6	0.7
8	กลุ่มตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary deposits)	164,919	32.18	8	4.8	0.1
9	กลุ่มหินตะกอนบนที่ราบสูงโคราช (Sedimentary Rock on Khorat Plateau)	133,294	26.01	0	0	0
	รวม	**512,544**	**100**	**166**	**100**	**18.1**

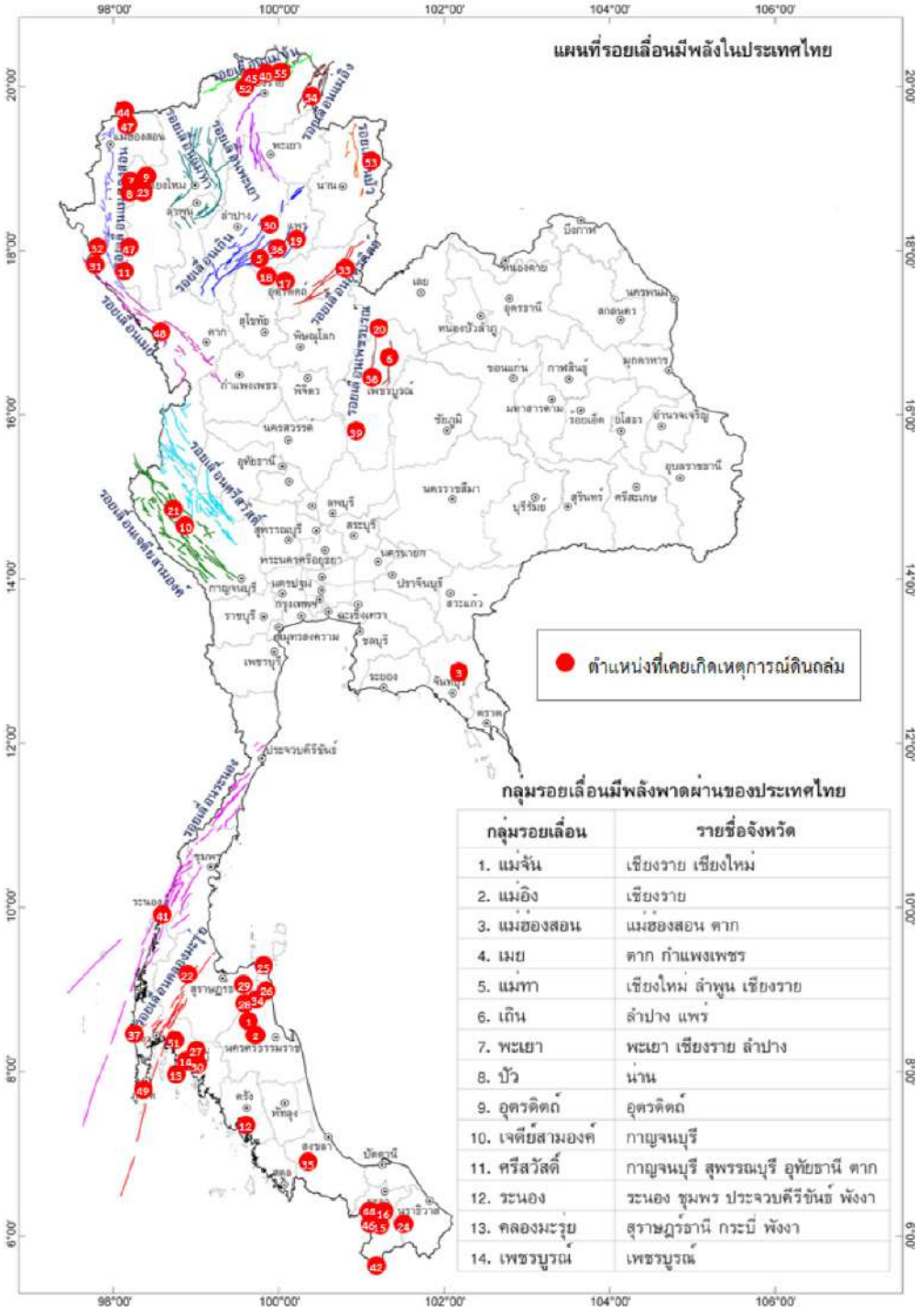


รูปที่ 2.1 ชุดหินทางธรณีวิทยาของประเทศไทย จำนวน 61 ชุดหิน
(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี 2530)



รูปที่ 2.2 อัตราส่วนระหว่างร้อยละการเกิดดินถล่มกับร้อยละพื้นที่ปกคลุมของชุดหิน
(ดัดแปลงจาก: ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก, 2559)

นอกจากชนิดของหินต้นกำเนิดแล้ว รอยเลื่อนมีพลังก็มีความสัมพันธ์ต่อเหตุดินถล่มเช่นกัน จากข้อมูลดินถล่มที่ผู้แต่งรวบรวมจากเหตุดินถล่มในประเทศไทย 55 เหตุการณ์ดังแสดงในตารางที่ 1.1 พบว่า ตำแหน่งดินถล่มมีตำแหน่งใกล้กับแนวรอยเลื่อนมีพลัง ซึ่งปรากฏหนาแน่นในภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศไทย ดังรูปที่ 2.3 ทั้งนี้เนื่องจากหินในบริเวณดังกล่าวมีรอยแยกจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนในอดีต จึงมีอัตราการผุพังสูง นอกจากนี้การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลังยังเหนี่ยวนำให้เกิดดินถล่มได้ด้วย เช่น เหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ขนาด 6.3 ริกเตอร์ใน จ.เชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ที่ อำเภอพาน เกิดจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนพะเยาที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดิน 7 กิโลเมตร และถือว่าเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงที่สุดในรอบ 100 ปี ทำให้ดินถล่มเป็นแนวยาวที่ถนนสายเชียงราย – เชียงใหม่ และในอีกหลายพื้นที่ ดังรูปที่ 2.4



กลุ่มรอยเลื่อน	รายชื่อจังหวัด
1. แม่จัน	เชียงราย เชียงใหม่
2. แม่อิง	เชียงราย
3. แม่ฮ่องสอน	แม่ฮ่องสอน ตาก
4. เมย	ตาก กำแพงเพชร
5. แม่ทา	เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย
6. เถิน	ลำปาง แพร่
7. พะเยา	พะเยา เชียงราย ลำปาง
8. ปัว	น่าน
9. อุตรดิตถ์	อุตรดิตถ์
10. เจดีย์สามองค์	กาญจนบุรี
11. ศรีสวัสดิ์	กาญจนบุรี สุพรรณบุรี อุทัยธานี ตาก
12. ระนอง	ระนอง ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ พังงา
13. คลองมะรุ่ย	สุราษฎร์ธานี กระบี่ พังงา
14. เพชรบูรณ์	เพชรบูรณ์

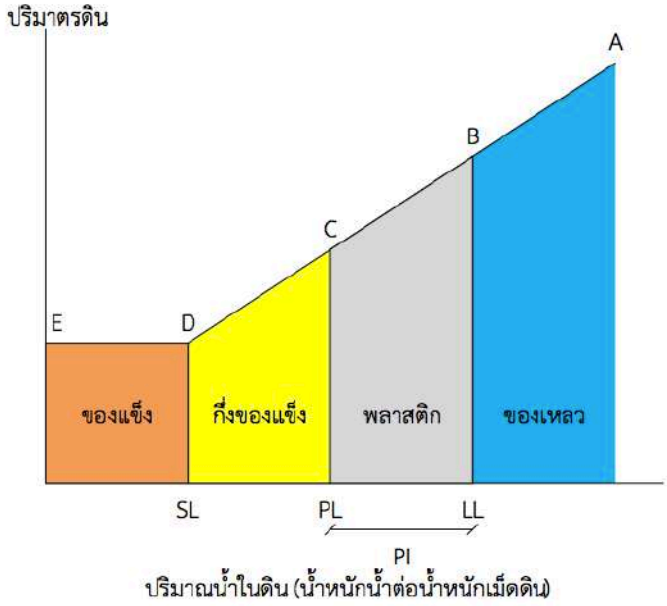
รูปที่ 2.3 แนวรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย (ข้อมูลรอยเลื่อนมีพลังจาก: กรมทรัพยากรธรณี 2555)

รูปที่ 2.4 ความเสียหายจากแผ่นดินไหวที่ศูนย์กลางใน จ. เชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557
(ที่มา: www.bangkokbiznews.com และ www.geothai.net)

เมื่อหินต้นกำเนิดผุพังกลายเป็นชั้นดิน คุณสมบัติเชิงกลของดินที่เรียกว่า “กำลังรับแรงเฉือนของดิน” จะเป็นคุณสมบัติสำคัญต่อการเกิดดินถล่ม กำลังรับแรงเฉือนของดินเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของดินในการต้านทานการเฉือน ค่าดังกล่าวเป็นผลรวมระหว่างแรงที่มาจากค่าการยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างเม็ดดิน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินดังที่กล่าวโดยละเอียดแล้วในบทที่ 1

ดินที่เกิดจากการผุพังของหินแกรนิตจะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ง่ายต่อการเกิดดินถล่มมากกว่าดินที่ผุพังจากหินชนิดอื่น หินแกรนิตผุพังจะให้ดินร่วนปนทรายที่ประกอบด้วยอนุภาคดินทรายมากถึงร้อยละ 50-65 ดินตะกอนร้อยละ 10-25 และดินเหนียวร้อยละ 20-25 ดินประเภทนี้จะมีความสามารถในการระบายน้ำสูง (28-87 เซนติเมตรต่อชั่วโมง) น้ำฝนสามารถซึมลงในดินได้อย่างรวดเร็ว เมื่อมีฝนตกหนักติดต่อกัน ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง น้ำฝนสามารถซึมลงไปได้ลึกกว่า 30 เซนติเมตร และถ้าชั้นดินมีความหนา 1 เมตร น้ำฝนจะซึมลงไปถึงชั้นหินต้นกำเนิดภายในเวลาไม่ถึง 3 ชั่วโมง หากดินมีความแข็งแรงมากพอยังไม่เกิดการถล่มในช่วงนี้ น้ำฝนจะเริ่มสะสมจากชั้นหินต้นกำเนิด แล้วยกระดับสูงขึ้นตามปริมาณน้ำฝนที่ยังเติมลงไป ทำให้แรงดันน้ำในดินสูงขึ้น และจะเกิดดินถล่มตามมาในที่สุด

นอกจากกำลังรับแรงเฉือนและคุณสมบัติการระบายน้ำของดินแล้ว คุณสมบัติทางกายภาพที่เรียกว่า พิกัดอัตเตอร์เบริก (Atterberg limits) เป็นคุณสมบัติที่บ่งถึงโอกาสเกิดลาดดินถล่มได้ พิกัดอัตเตอร์เบริกมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสภาพของดินตามปริมาณน้ำในดิน พิกัดอัตเตอร์เบิร์กประกอบด้วย (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 พิกัดอัตเตอร์เบริกของดินตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินและปริมาตรของดิน

พิกัดหดตัว (Shrinkage limit: SL)	พิกัดพลาสติก (Plastic limit: PL)	พิกัดเหลว (Liquid limit: LL)
คือ ปริมาณน้ำในดินสุดท้ายที่ดินยังคงมีการลดปริมาตรลงเมื่อปริมาณน้ำในดินลดลง หากปริมาณน้ำในดินลดต่ำกว่าค่านี้จะทำให้ดินเกิดรอยแตกที่ผิวดิน (Tension crack) ขึ้น ซึ่งจะเกิดขึ้นเป็นปกติตามธรรมชาติในฤดูแล้ง รอยแตกดังกล่าวสามารถเป็นช่องทางให้น้ำไหลเข้าไปในชั้นดินได้ง่ายขึ้น ส่งผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินลดลง และโอกาสในการเกิดดินถล่มสูงขึ้น	คือ ปริมาณน้ำในดินน้อยที่สุดที่ดินสามารถปั้นขึ้นรูปได้โดยไม่มีการแตกหัก ดินที่มีปริมาณน้ำในดินมากกว่า PL แต่น้อยกว่า LL จะสามารถนำดินมาปั้นขึ้นรูปต่าง ๆ ได้	คือ ปริมาณน้ำในดินที่น้อยที่สุดที่ดินยังคงสภาวะเหลวไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ หรือเป็นสภาวะที่ดินแทบไม่มีกำลังรับแรงเฉือนเลย

นอกจากพิกัดทั้งสามที่กล่าวถึงข้างต้น คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งคือดัชนีพลาสติก (Plasticity index) หรือ *PI* ซึ่งเป็นความแตกต่างของปริมาณน้ำในดินที่พิกัดเหลว และปริมาณในดินที่พิกัดพลาสติก (*PI = LL-PL*) ดัชนีพลาสติกเป็นดัชนีที่ใช้บ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่ดินสามารถรับได้โดยไม่เปลี่ยนสภาพเป็นของเหลว ดังนั้นดินที่มี *PI* สูงจึงสามารถรับปริมาณน้ำก่อนจะเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวได้มากกว่าดินที่มี *PI* ต่ำ อย่างไรก็ตามดินที่มี *PI* สูงจะเป็นดินที่มีการขยายตัวและหดตัวสูงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน นอกจากนี้ปริมาณน้ำในดินขณะเกิดการวิบัติทำให้ลักษณะการวิบัติมีความแตกต่างกัน (Zinck et al., 1976) กล่าวคือ

- ขณะวิบัติหากลาดดินมีปริมาณน้ำในดินน้อยกว่าพิกัดหดตัว ลักษณะการวิบัติจะเป็นการวิบัติแบบร่วงหรือหล่นจากที่สูงตามแรงโน้มถ่วงของโลก
- หากลาดดินขณะเกิดการวิบัติมีปริมาณน้ำในดินอยู่ระหว่างพิกัดพลาสติกและพิกัดหดตัว ลักษณะการวิบัติจะเป็นแบบเลื่อนไถลหรือมีการเคลื่อนตัวในระยะสั้น ๆ ตามแรงที่มากระทำ
- หากลาดดินขณะเกิดการวิบัติมีปริมาณน้ำในดินอยู่ระหว่างพิกัดพลาสติกและพิกัดเหลว ลักษณะการวิบัติจะเป็นแบบคืบเป็นการเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ตามความลาดเทของพื้นที่
- หากลาดดินขณะวิบัติมีปริมาณน้ำในดินมากกว่าพิกัดเหลว การวิบัติจะเป็นแบบไหล คือ เป็นการเคลื่อนตัวของดินในสภาพของเหลว

จากการรวบรวมข้อมูลดินในพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่ม 4 แห่ง ได้แก่ อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช กิ่งอำเภอเขาคิชกูฏ จังหวัดจันทบุรี อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ และ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ พบว่าดินมีค่าพิกัดเหลวอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.41 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.34 และดินจำนวนร้อยละ 66 ของจุดสำรวจทั้งหมดมีค่าพิกัดเหลวต่ำกว่า 0.35 สุวณี ศรีธวัช ณ อยุธยา (2538) ศึกษาพิกัดพลาสติกและพิกัดเหลวของชุดดินในประเทศไทยจำนวนทั้งสิ้น 316 ตัวอย่าง เมื่อจำแนกตามลักษณะเนื้อดินและแร่ดิน พบว่า กลุ่มดินเนื้อหยาบ พวกดินทรายและดินร่วนปนทราย มีค่าเฉลี่ยของพิกัดเหลวเท่ากับ 0.20 และค่าเฉลี่ยของพิกัดพลาสติกเท่ากับ 0.14 กลุ่มดินเนื้อปานกลาง พวกดินร่วน ดินเหนียวปนทรายดินร่วนเหนียวและดินร่วนเหนียวปนดินตะกอน มีค่าเฉลี่ยของพิกัดเหลวอยู่ระหว่าง 0.15-0.25 และค่าเฉลี่ยของพิกัดพลาสติกอยู่ระหว่าง 0.08-0.20 ขณะที่กลุ่มดินเนื้อละเอียด มีค่าเฉลี่ยของพิกัดเหลวอยู่ระหว่าง 0.56-0.69 และค่าเฉลี่ยของพิกัดพลาสติกอยู่ระหว่าง 0.27-0.34

รูปที่ 2.6 แสดงเหตุดินถล่มที่หมู่บ้านห้วยคิง หมู่ 6 ตำบลแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2560 พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่มีมุมลาดเพียง 6 องศาเท่านั้น ซึ่งถือว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มต่ำ ผลการสำรวจสภาพชั้นดินพบว่า ชั้นดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวซ้อนกันอยู่ 2 ชั้น โดยชั้นบนเป็นดินเหนียวที่มีสีน้ำตาลเข้ม ส่วนชั้นล่างเป็นดินเหนียว สีเทา และพบน้ำใต้ดินปริมาณมากระหว่างรอยต่อของดินทั้ง 2 ชั้น สาเหตุหลักของเหตุดินถล่มนี้อาจเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของดินในพื้นที่ เมื่อน้ำจากฝนที่ตกติดต่อกันซึมผ่านดินชั้นบนลงไปสะสมที่ดินเหนียวชั้นล่าง ทำให้ดินชั้นล่างเปลี่ยนสภาพตามปริมาณน้ำในดินที่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวชั้นล่างหายไปแล้วเกิดการวิบัติตามมา ลักษณะการวิบัติเป็นการเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ของมวลดินไปตามความลาด สันนิษฐานว่าปริมาณน้ำที่สะสมในดินเหนียวชั้นล่างมีค่าอยู่ระหว่างพิกัดพลาสติกและพิกัดเหลว จึงทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในรูปแบบดังกล่าว

รูปที่ 2.6 เหตุการณ์ดินถล่มที่หมู่บ้านห้วยคิง เมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2560
(ที่มา: www.amp.mgronline.com และ www.lampang13.com)

2.1.2) สภาพภูมิประเทศ

เหตุดินถล่มในประเทศไทยมักเกิดในพื้นที่ภูเขาโดยเฉพาะในภาคเหนือ ภาคตะวันตกและภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเอื้อต่อการเกิดดินถล่ม โดยลักษณะภูมิประเทศเหล่านี้ได้แก่

o ความลาดของพื้นที่ จากสถิติเหตุดินถล่มทั่วโลก ดินถล่มที่มีระนาบวิบัติอยู่ในระดับตื้นจะมีมุมลาดตั้งแต่ 20 องศา ถึง 67.5 องศา โดยมากกว่าร้อยละ 60 เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีมุมลาดเกิน 34 องศา (Sidle and Ochiai, 2006) ใกล้เคียงกับผลการสำรวจร่องรอยดินถล่มระดับตื้นในหลายพื้นที่ของประเทศไทย พบว่าเหตุดินถล่มจากฝนตกหนักมักเกิดในพื้นที่ที่มีมุมลาดเกิน 30 องศา (สุภัทท์ วงศ์วิเศษสมใจ 2532 และกรมพัฒนาที่ดิน 2548) นอกจากนี้พื้นที่ที่มีมุมลาดต่ำ (13 ถึง 25 องศา) และมีชั้นดินหนา ก็มีโอกาสเกิดดินถล่มเมื่อมีฝนตกหนักได้เช่นกัน แต่เป็นดินถล่มที่มีระนาบวิบัติค่อนข้างลึก มีการเคลื่อนตัวของมวลดินอย่างช้า ๆ ตามความลาดของพื้นที่ (Sidle and Ochiai, 2006)

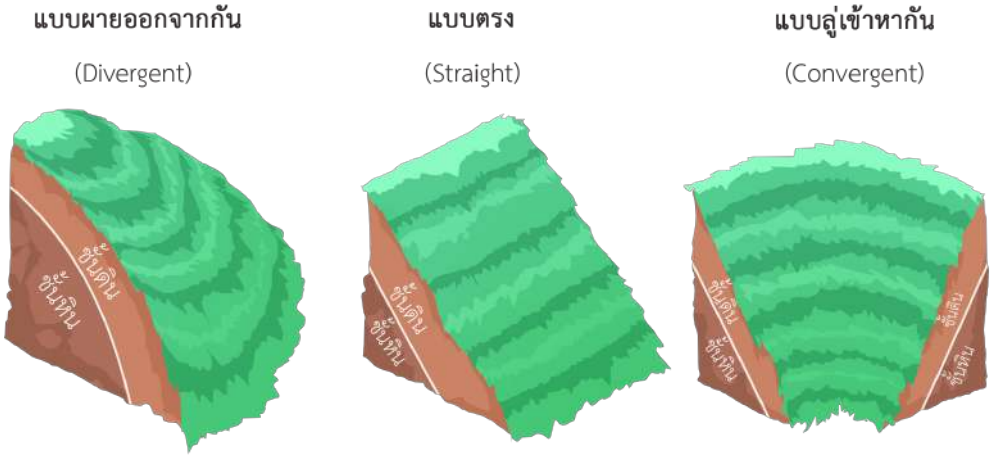
ความลาดจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มักถูกนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อดินถล่มของพื้นที่ เช่น Chinkulkijniwat et al. (2016) **จำแนกลาดดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นออกเป็น 3 ประเภทตามมุมลาดเทียบกับมุมความเสียดทานระหว่างเม็ดดินของดินในพื้นที่ ϕ'** ได้แก่

1. พื้นที่ที่มีมุมลาดน้อยกว่า ϕ' พื้นที่นี้มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มต่ำ สามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ดังกล่าวได้
2. พื้นที่ที่มีมุมลาดสูงกว่า ϕ' แต่ไม่เกิน 1.05 สามารถทำกิจกรรมบางอย่างได้ และต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเพื่อเฝ้าระวังและเตือนภัยดินถล่ม
3. พื้นที่ที่มีมุมลาดเกิน 1.05 ϕ' ไม่ควรทำกิจกรรมใด ๆ ในพื้นที่ดังกล่าว

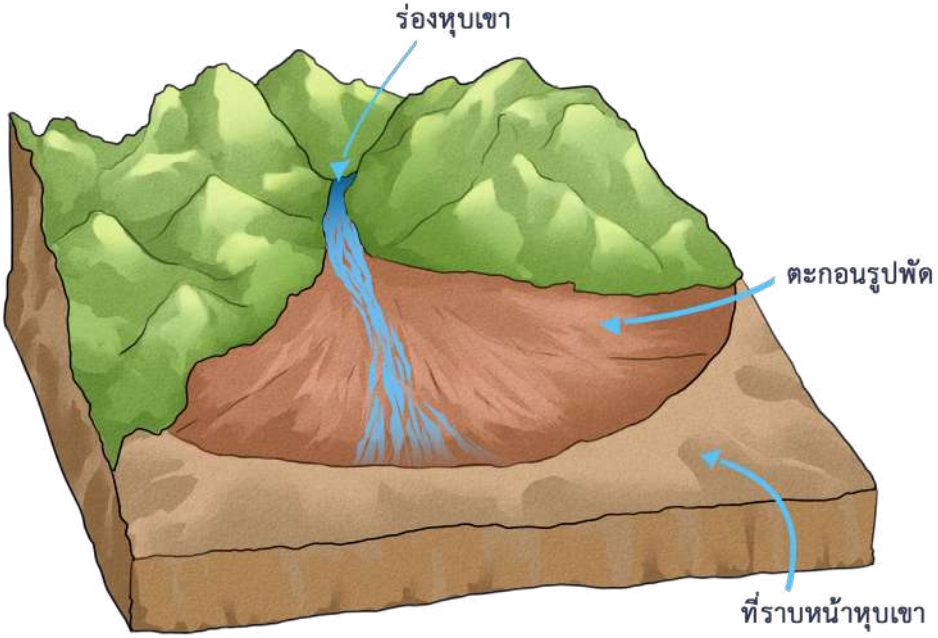
---

o ลักษณะแผ่นดิน เมื่อมีฝนตก น้ำใต้ดินและน้ำผิวดินจากภูเขาด้านเหนือน้ำจะไหลไปรวมกันกลายเป็นน้ำท่าในหุบเขาย่อย ๆ และน้ำท่าจากแต่ละหุบเขาย่อยเหล่านี้จะไหลไปรวมกันในหุบเขาหลัก กลายเป็นน้ำท่ารวมของลุ่มน้ำนั้น ๆ ซึ่งปริมาณ ทิศทาง รวมทั้งความเร็วของกระแสน้ำภายในลุ่มน้ำ ส่งผลโดยตรงต่อโอกาสและความรุนแรงของเหตุดินถล่ม ทั้งนี้ รูปทรงของลาดดิน รูปแบบหุบเขาทางน้ำ ล้วนมีความสำคัญต่อการไหลของน้ำ

รูปที่ 2.7 แสดงรูปทรงของลาดดิน ประกอบด้วย รูปทรงแบบผายออกจากกัน แบบตรง และแบบลู่เข้าหากัน ในลาดดินที่มีความชันและปัจจัยอื่น ๆ ไม่ต่างกัน รูปทรงลาดดินแบบผายออกจากกันจะมีเสถียรภาพสูงกว่าแบบตรง และลาดดินที่มีรูปทรงลู่เข้าจะมีเสถียรภาพต่ำที่สุด เนื่องจากน้ำใต้ดินและน้ำบนดินจากน้ำฝนที่ตกบนลาดดินแบบลู่เข้ามีโอกาสจะไหลมารวมกันบริเวณด้านล่างของลาดดิน ทำให้ดินบริเวณด้านล่างมีกำลังต่ำ มีโอกาสเกิดดินถล่มสูง ในขณะที่ลาดดินแบบผายออก ทิศทาง



รูปที่ 2.7 รูปทรงของพื้นที่ลาดชันแบบต่างๆ (ดัดแปลงจาก: Sidle and Ochiai 2006)



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างหุบเขารูปตัววีและตะกอนรูปพัดบริเวณหน้าหุบเขา

การไหลของน้ำจะกระจายออกจากกันทุกทิศทางตามรูปทรงของลาดดิน การสะสมของน้ำที่จุดใดจุดหนึ่งจึงน้อยกว่าลาดดินรูปทรงอื่น โอกาสการเกิดดินถล่มจึงต่ำกว่าลาดดินรูปทรงอื่น

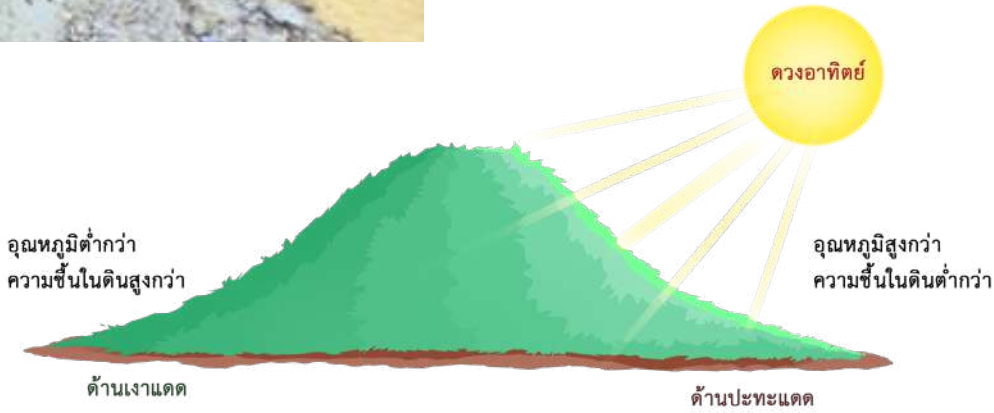
พื้นที่บริเวณหุบเขาและหน้าหุบเขา (รูปที่ 2.8) มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มและน้ำป่ารูปแบบหุบเขา มีทั้งแบบหุบเขาแคบรูปตัว V และหุบเขากว้างรูปตัว U ทั้งสองรูปแบบมักพบช่วงต้นน้ำที่มีความลาดชันสูง น้ำไหลแรงและเชี่ยว เกิดการกัดกร่อนแบบลึก เกิดเป็นโตรกเขา ร่องระหว่างหุบเขาจะเป็นจุดรวมน้ำ จากฝนที่ตกในพื้นที่รับน้ำ ทำให้มีกระแสน้ำมีปริมาณมาก มีความเชี่ยวกรากสามารถพัดพาตะกอนปริมาณมากไปตกสะสมบริเวณใกล้กับเนินเขาในลักษณะที่กระจายออกไปรอบข้างเป็นรูปพัด ตะกอนเหล่านี้ประกอบด้วยชั้นทรายสลับกับชั้นกรวดและดินเหนียว ชุมชนที่อยู่บริเวณระหว่างหุบเขาจึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำป่าไหลหลากและดินถล่ม ส่วนชุมชนที่อยู่บริเวณหน้าหุบเขาจึงมีความเสี่ยงจากการปะทะของน้ำและโคลนจำนวนมากที่พัดพามาจากหุบเขา

รูปที่ 2.9 แสดงร่องรอยเหตุดินถล่มรอบเขาพนมเบญจา จังหวัดกระบี่ เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2554 หลังจากมีฝนตกหนักต่อเนื่อง สภาพทางภูมิประเทศของพื้นที่เป็นภูเขาสูงชันสลับกับหุบเขาที่มีลักษณะแคบแบบรูปตัววี กระแสน้ำในร่องเขามีความเชี่ยวกราก สามารถพัดพาเศษซากดินถล่มไปสะสมที่หน้าหุบเขา สังเกตจากรูปบริเวณร่องเขาแทบไม่มีเศษซากจากดินถล่มสะสมอยู่ น้ำที่ไหลเร็วและแรงในหุบเขายังทำให้มีการกัดเซาะดินตามแนวหุบเขา เป็นเหตุให้เกิดดินถล่มซ้ำหลายจุดตามลาดดินที่ขนาบหุบเขาทั้งสองฝั่งดังรูป

รูปที่ 2.9 ร่องรอยการเกิดดินถล่มที่ ตำบลเขาพนม อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่ เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2554 (ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี 2554 และ www.oknation.nationtv.tv)

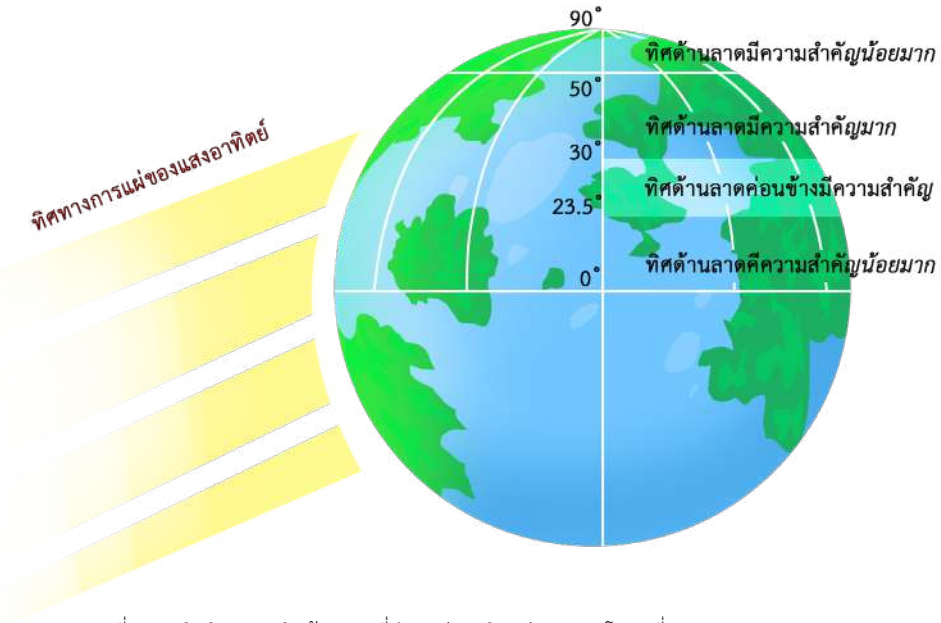
o ทิศด้านลาดของพื้นที่ ทิศด้านลาดส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางอุทกวิทยา โดยเฉพาะการคายน้ำและการระเหยของน้ำในพื้นที่ (รวมเรียกว่า การคายระเหย) กระบวนการคายระเหยเกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อนจากแสงแดด รูปที่ 2.10 แสดงการปะทะแสงแดดของพื้นที่ภูเขาที่ทิศด้านลาดแตกต่างกัน ด้านที่ปะทะกับแสงแดดจะเกิดการคายระเหยสูง ทำให้ปริมาณน้ำในดินมีค่าต่ำ และส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่ด้านตรงข้ามเป็นด้านเงาแดด สามารถรักษาปริมาณน้ำในดินไว้ได้สูงกว่า พืชจึงเจริญเติบโตได้ดีกว่าด้านปะทะแดด เป็นผลให้ลาดดินด้านเงาแดดมีเสถียรภาพสูงกว่าด้านปะทะแสงแดด

รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างอิทธิพลของทิศด้านลาดที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในพื้นที่ใกล้กับอ่างเก็บน้ำ Anderson Ranch ประเทศสหรัฐอเมริกา จากรูปจะเห็นว่าพืชเจริญเติบโตได้ดีในด้านเงาแดด อย่างไรก็ตามทิศด้านลาดมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของลาดดินในประเทศไทยไม่มาก เนื่องจากตำแหน่งของประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร (รูปที่ 2.12)



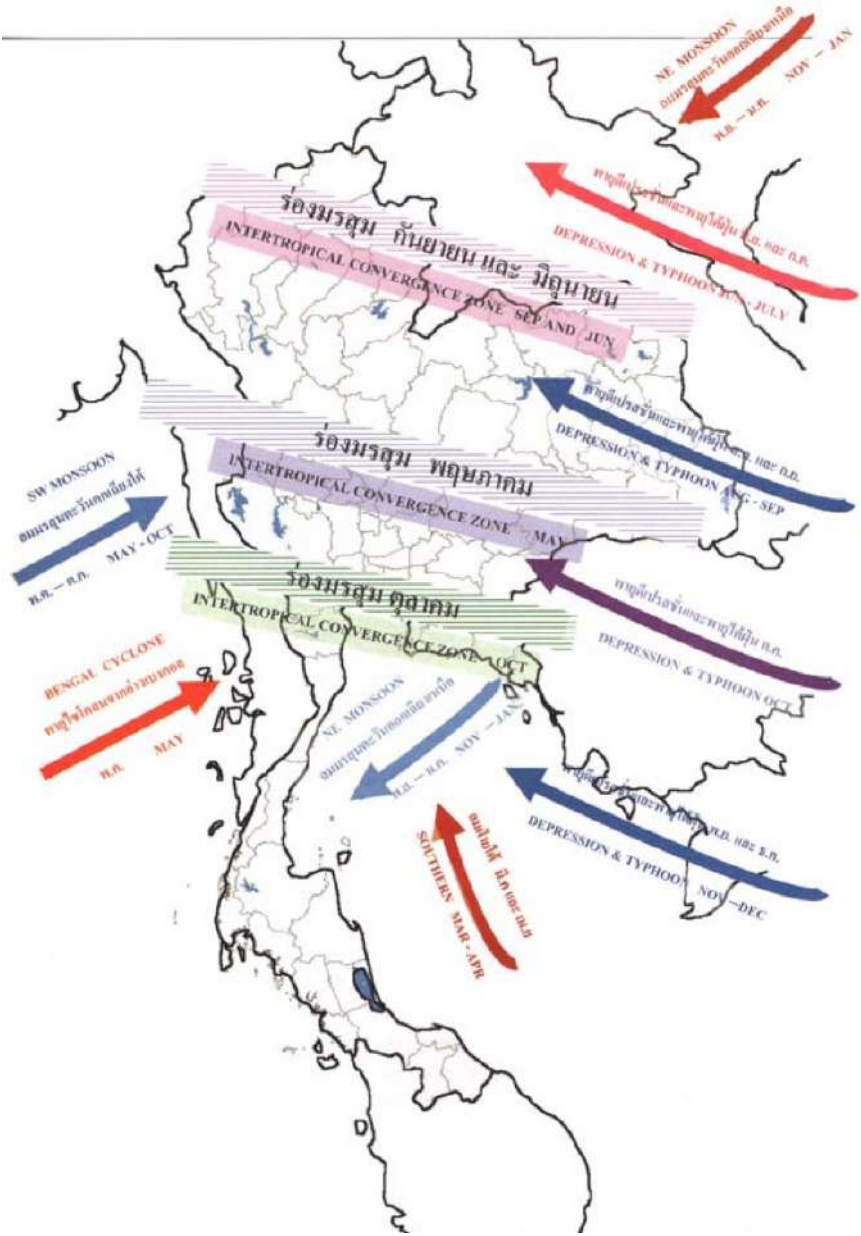
รูปที่ 2.10 แสดงทิศด้านลาดของพื้นที่ (ที่มา: www.horticulture.tekura.school.nz)

รูปที่ 2.11 อิทธิพลของทิศด้านลาดต่อการเจริญเติบโตของพืช (ที่มา: www.ru.wikipedia.org)



รูปที่ 2.12 อิทธิพลของทิศด้านลาดที่ตำแหน่งละติจูดต่างๆ ของโลก (ที่มา: www.avalanche.org)

2.2 ปัจจัยกระตุ้น



รูปที่ 2.13 ทิศทางลมมรสุมและทางเดินพายุที่พัดผ่านประเทศไทยในเดือนต่างๆ
(ดัดแปลงจาก: กรมอุตุนิยมวิทยา)

2.2.1) ปริมาณน้ำฝน

น้ำฝนทำให้ดินมีกำลังลดลง จึงมีโอกาสเกิดการวิบัติของลาดดินตามมาได้ ปริมาณฝนในประเทศไทยเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุม 2 ทิศทาง (รูปที่ 2.13) ได้แก่ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดมาจากแถบมหาสมุทรอินเดีย และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดมาจากทะเลจีนใต้ ทำให้ประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบสะวันนาและแบบป่าฝนเมืองร้อน มีอากาศชุ่มชื้นและมีฝนตกชุกติดต่อกันโดยเฉลี่ยประมาณ 6 เดือน โดยเริ่มจากภาคเหนือของประเทศ ฝนจะตกชุกในช่วงเดือนมิถุนายน – สิงหาคม และจะค่อย ๆ เคลื่อนตัวลงทางใต้ของประเทศ ในภาคใต้ตอนล่างจะมีฝนตกชุกในช่วงเดือนพฤศจิกายน – มกราคม โดยภาคใต้ตั้งแต่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ลงไป และภาคตะวันออกแถบ จังหวัดตราดและจันทบุรีจะมีน้ำฝนเฉลี่ยมากกว่า 2000 มิลลิเมตรต่อปี

จากรายงานของ ปริญญา นุตาลัย และวันชัย โสภณสกุลรัตน์ (2532) พบว่า เมื่อมีปริมาณฝนสะสมในรอบ 24 ชั่วโมง สูงกว่า 260 มิลลิเมตร มักพบเหตุดินถล่มลงมาจากไหล่เขาสูงชันเป็นจำนวนมาก เช่น กรณีดินถล่มครั้งใหญ่ในภาคใต้ระหว่างวันที่ 19-24 พฤศจิกายน 2531 วัดปริมาณน้ำฝนสะสมในรอบ 24 ชั่วโมง จากสถานีนครศรีธรรมราชได้สูงถึง 447.8 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับน้ำฝนเฉลี่ยปกติในเดือนพฤศจิกายนของ จังหวัดนครศรีธรรมราช (27.2 มิลลิเมตร) พบว่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ระหว่างเหตุดังกล่าวมีค่าสูงกว่าน้ำฝนเฉลี่ยถึง 16 เท่า เป็นเหตุให้เกิดดินถล่มหลายแห่งบริเวณเทือกเขาหลวง โดยเฉพาะที่ อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช (รูปที่ 2.14)

รูปที่ 2.14 ความเสียหายจากดินถล่มครั้งใหญ่ที่ อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2531
(ที่มา: www.posttoday.com)

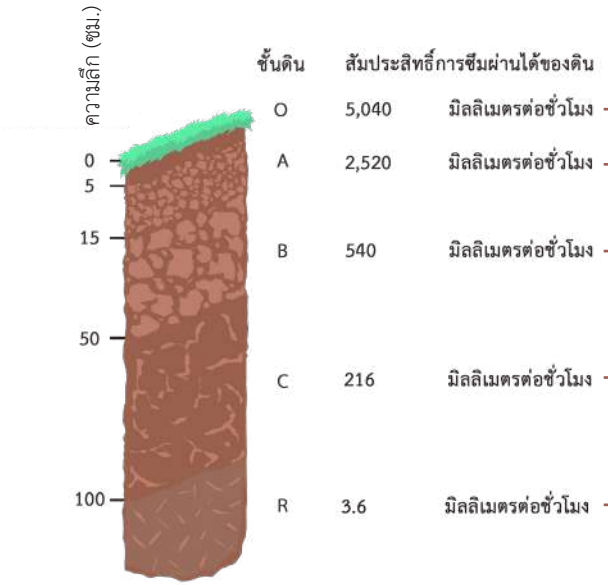
รูปที่ 2.15 แสดงภาพความเสียหายจากเหตุดินถล่มเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2544 ที่ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งเหตุดินถล่มดังกล่าวสามารถวัดปริมาณฝนก่อนเกิดเหตุได้สูงถึง 200 มิลลิเมตร ภายในระยะเวลา 5-6 ชั่วโมง รูปที่ 2.16 แสดงภาพความเสียหายจากเหตุดินถล่มเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2544 ที่ อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ วัดปริมาณน้ำฝนสะสมในรอบ 24 ชั่วโมงก่อนเกิดเหตุดินถล่มจากสถานีวังชิ้นได้สูงถึง 285 มิลลิเมตร

รูปที่ 2.15 ความเสียหายจากดินถล่มครั้งใหญ่ที่ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ พ.ศ. 2544 (ที่มา: www.gisthai.org)

รูปที่ 2.16 ความเสียหายจากดินถล่มครั้งใหญ่ที่ อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ พ.ศ. 2544 (ที่มา: tv.mcot.net)

2.2.2) น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่ลาดชันมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการระบายน้ำของดินบนลาดดินนั้น ทั้งนี้ กระบวนการผุพังของหินในพื้นที่ลาดทำให้เกิดเป็นชั้นดินหลายชั้นวางซ้อนกันบนหินต้นกำเนิด ดินแต่ละชั้นมีความสามารถในการระบายน้ำแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 สภาพทั่วไปของชั้นดินและหินในพื้นที่ป่า (ดัดแปลงจาก Sidle and Ochiai 2006)

ดินชั้น o หรือที่เรียกว่าชั้นดินอินทรีย์ คือ ชั้นที่มีการสะสมอินทรียวัตถุที่เกิดจากการย่อยสลายซากพืชและซากสัตว์ โดยมาจากพืชเป็นหลัก เช่น ใบไม้ กิ่งไม้ หญ้า และพืชอื่น ๆ เป็นชั้นดินที่มีความสามารถในการระบายน้ำสูงที่สุด

ดินชั้น A หรือ ดินชั้นบน คือ ชั้นดินที่ประกอบด้วยอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายแล้ว ผสมคลุกเคล้าอยู่กับแร่ธาตุในดินและมักมีสีคล้ำ

ดินชั้น B หรือ ดินชั้นรอง เป็นชั้นที่ดินผสมกับแร่ธาตุและตะกอนขนาดเล็กโดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ธาตุจำพวกเหล็กและอลูมิเนียมที่ถูกน้ำชะล้างลงมาจากดินชั้น A โดยทั่วไปดินชั้นนี้จะมีความหนามากที่สุดและสีของดินจะขึ้นอยู่กับสีของแร่ธาตุที่ผสมอยู่

ชั้น C หรือชั้นวัตถุต้นกำเนิด เป็นชั้นที่หินเกาะกันแบบหลวม ๆ ประกอบไปด้วยหินและแร่ที่กำลังจะผุพัง

หินชั้น R เป็นชั้นหินพื้นฐาน หรือชั้นหินต้นกำเนิดที่แข็งและยังไม่ผุพัง จึงมีความสามารถในการระบายน้ำต่ำมาก

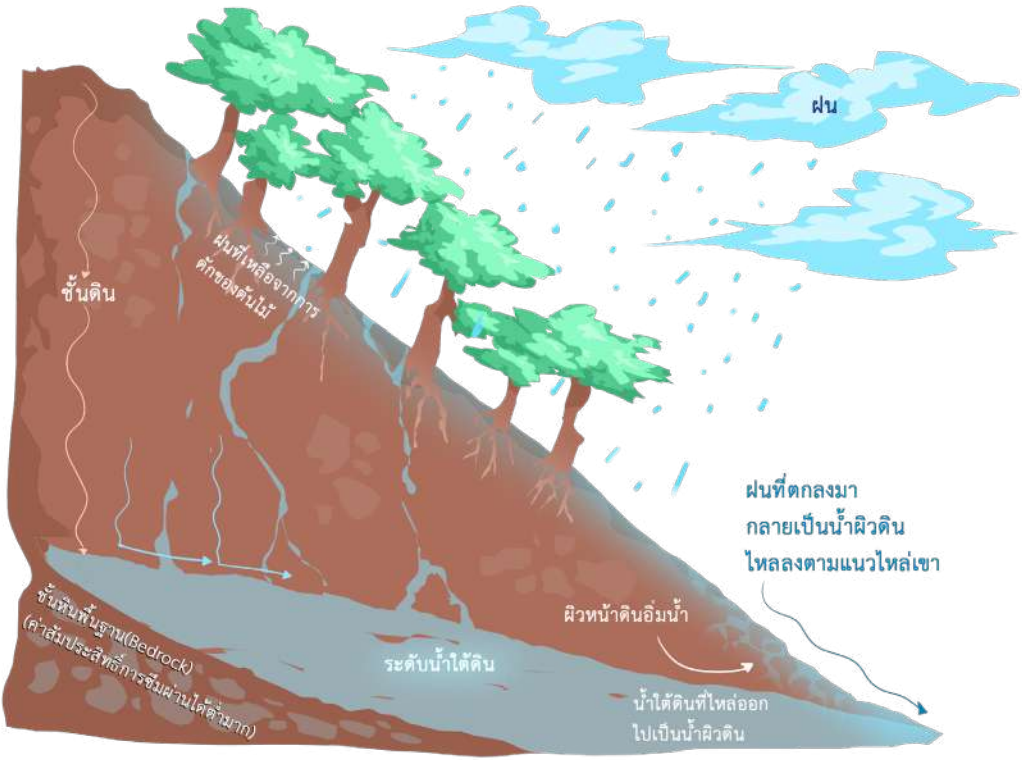
ความสามารถในการระบายน้ำของดินชั้นบนสุด มีความสำคัญอย่างมากในการควบคุมการเกิดน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 เงื่อนไข ตามความรุนแรงของฝนที่ตกลงในพื้นที่ ดังนี้

1)ความรุนแรงของฝนเกินความสามารถในการระบายน้ำของดิน

เมื่อฝนตกตามเงื่อนไขนี้ ฝนที่ตกในช่วงแรกสามารถซึมลงดินได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากหน้าดินชั้นบนยังแห้งอยู่ และเมื่อหน้าดินมีการสะสมน้ำจนดินเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ฝนที่ตกลงมาจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ซึมลงสู่ชั้นดินและส่วนที่ไหลไปตามผิวดิน น้ำฝนทั้งสองส่วนนี้จะถูกควบคุมด้วยปริมาณน้ำฝนและความสามารถในการระบายน้ำของดิน เมื่อหน้าดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ฝนสามารถซึมลงสู่ชั้นดินได้สูงสุดเท่ากับความสามารถในการระบายน้ำของดิน เช่น เมื่อฝนตกด้วยความรุนแรงเท่ากับ 10 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง บนพื้นที่ที่ดินมีความสามารถในการระบายน้ำได้เท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง น้ำฝนจำนวน 3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงจะซึมลงไปในชั้นดิน และสะสมเป็นน้ำใต้ดิน ฝนส่วนที่เหลือจำนวน 7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เป็นส่วนที่เกินความสามารถในการระบายน้ำของดินจึงกลายเป็นน้ำไหลไปตามผิวดิน การเกิดน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินภายใต้เงื่อนไขนี้ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ดินมีความสามารถในการระบายน้ำต่ำ เช่น เขตพื้นที่ชุมชนที่มีความหนาแน่นของสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ที่ดินมีองค์ประกอบของอนุภาคเม็ดละเอียดสูง พื้นที่ที่มีการปรับดินให้มีความแน่นมาก พื้นที่ที่มีการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อทำกสิกรรม เป็นต้น เมื่อดินในพื้นที่ลาดมีความสามารถในการระบายน้ำต่ำ น้ำผิวดินสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วแม้จะมีฝนตกเพียงช่วงระยะเวลาสั้น เสี่ยงต่อปัญหาการกัดเซาะหน้าดิน การวิบัติของดินระดับตื้น รวมทั้งปัญหาน้ำป่าไหลหลาก

2)ความรุนแรงฝนไม่เกินความสามารถในการระบายน้ำของดิน

กรณีนี้มักพบในพื้นที่ที่ดินชั้นบนมีความสามารถในการระบายน้ำสูง เช่น ในพื้นที่ป่าธรรมชาติ เนื่องจากมีการทับถมของอินทรียวัตถุเป็นจำนวนมาก ดินจึงมีความร่วนซุยและระบายน้ำได้ดี อีกทั้งต้นไม้ยังช่วยดักน้ำฝนไว้ที่ใบและลำต้น เมื่อเกิดฝนตกติดต่อกันยาวนาน น้ำฝนทั้งหมดที่เหลือจากการดักของต้นไม้จะซึมลงสู่ชั้นดิน และเมื่อน้ำฝนซึมลงไปจนถึงรอยต่อระหว่างชั้นดินกับหินต้นกำเนิด จะเกิดน้ำใต้ดินตามแนวรอยต่อไหลไปยังบริเวณด้านท้ายของลาดดินกลายเป็นระดับน้ำใต้ดินชั่วคราวขึ้นที่ด้านท้ายของลาดดิน หากมีฝนตกอย่างต่อเนื่องระดับน้ำใต้ดินชั่วคราวนี้จะยกตัวสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณน้ำฝนที่ยังตกลงมาจนระดับน้ำใต้ดินยกตัวถึงระดับผิวดิน ผิวดินบริเวณนั้นจึงเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งเป็นสภาวะที่ดินไม่ยอมให้น้ำซึมลงไปได้อีก การยกตัวของระดับน้ำใต้ดินชั่วคราวด้านท้ายของลาดดิน (รูปที่ 2.18) ส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนของดินด้านท้ายลาดดินลดลง จึงมักพบการเกิดดินถล่มโดยมีจุดเริ่มวิบัติที่บริเวณด้านท้ายของลาดดิน และหากมีการก่อสร้างหรือมีโครงสร้างมาขัดขวางทางน้ำไหล เช่น ถนน ที่พักอาศัย น้ำใต้ดินจะมีการสะสมที่บริเวณดังกล่าว แทนที่จะไปสะสมที่ด้านท้ายของลาดดิน เป็นการเร่งเวลาให้เกิดดินถล่มได้เร็วขึ้น



รูปที่ 2.18 การเกิดน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่ป่า

รูปที่ 2.19 แสดงภาพความเสียหายจากเหตุดินถล่มที่ กม.118 ถนนสายสุราษฎร์-ตะกั่วป่า อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา เมื่อวันที่ 5 สิงหาคม 2560 ซึ่งเป็นเหตุดินถล่มที่มีสาเหตุหนึ่งมาจากการยกตัวของระดับน้ำใต้ดิน จากร่องรอยดินถล่มจะเห็นได้ว่า พื้นที่ดังกล่าวมีรูปทรงของลาดดินแบบลู่เข้าหากัน จึงง่ายต่อสะสมของน้ำฝนที่ซึมลงสู่พื้นที่ กลายเป็นน้ำใต้ดินชั่วคราว ทำให้ดินด้านล่างของพื้นที่มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ จึงเกิดดินถล่มตามมา

ความเสียหายจากเหตุดินถล่มที่ชุมชนบ้านสันติคีรี ตำบลแม่สลองนอก อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย แสดงดังรูปที่ 2.20 สภาพพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีการเบี่ยงทางน้ำธรรมชาติให้ไหลมารวมกันที่จุดเดียวกัน ประกอบกับสภาพพื้นที่มีรูปทรงแบบลู่เข้า น้ำที่ไหลมาทั้งหมดจึงไปรวมอยู่ที่จุดเดียวทางด้านท้ายของลาดดิน เมื่อเกิดการวิบัติจากด้านล่างของลาดดิน มวลดินมีการเคลื่อนตัวลง จึงเกิดการทรุดตัวของพื้นที่ด้านบนเป็นแนวยาว ทำให้ถนนสายหลักค่อย ๆ ทรุดตัวลงเป็นระยะทางยาวกว่า 20 เมตร จนมีสภาพดังรูป

ดอยแม่สลอง

รูปที่ 2.19 ร่องรอยดินถล่มบริเวณถนนสายสุราษฎร์-ตะกั่วป่า กม. 118 อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา เมื่อวันที่ 5 สิงหาคม 2560
(ที่มา: www.board.postjung.com และ www.posttoday.com)

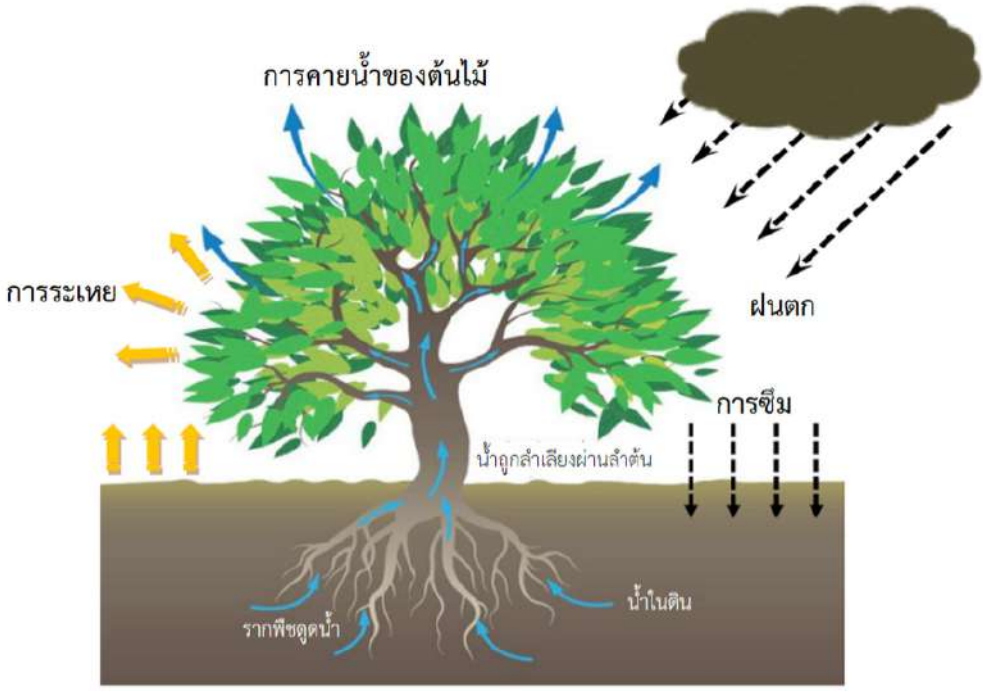
รูปที่ 2.20 ร่องรอยดินถล่มตามถนนสายหลักย่านชุมชนดอยแม่สลอง บ้านสันติคีรี ตำบลแม่สลองนอก อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย (ที่มา: www.brighttv.co.th และ www.thairath.co.th)

2.2.3) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การเปลี่ยนพื้นที่เขาเป็นพื้นที่กสิกรรม การตัดไม้ทำลายป่าในพื้นที่เขาเพื่อสร้างแหล่งท่องเที่ยวและที่พัก การสร้างเส้นทางคมนาคมผ่านเขา และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อเสถียรภาพของลาดดินอย่างรอบด้านล้วนเป็นเหตุให้โอกาสการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลาดสูงขึ้น

o การตัดไม้ทำลายป่า

ต้นไม้มีส่วนในการเสริมความมั่นคงแก่พื้นที่ลาดชันจาก 2 องค์ประกอบ ได้แก่ การเพิ่มความยึดเกาะของดินโดยรากพืช และการเพิ่มกำลังของดินผ่านกระบวนการคายน้ำ จากรายงานของศูนย์วิจัยป่าไม้ (2537) พบว่า ป่าไม้และไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ในพื้นที่เขามีระบบรากที่ซอนลึกลงไปจนถึงชั้นหิน ทำให้ดินมีกำลังเพิ่มขึ้นประมาณ 5-30 เปอร์เซ็นต์ ประหยัด ปานดี (2533) พบว่า ยางพารามีระบบรากตื้นมีการแผ่กระจายลงไปในดินน้อยกว่า 2 เมตร ทำให้ยึดเกาะดินน้อยกว่ารากพืชจากป่าไม้ตามธรรมชาติ การตัดไม้เพื่อทำสวนยางพาราจึงทำให้คุณสมบัติของพืชในด้านการเพิ่มความยึดเกาะของดินลดลง



รูปที่ 2.21 กระบวนการคายระเหยของต้นไม้ (ดัดแปลงจาก Story, 2012)

รูปที่ 2.21 แสดงกลไกทางอุทกวิทยาจากพืชเมื่อเกิดฝนตก น้ำฝนส่วนหนึ่งจะถูกดักไว้ที่ใบและส่วนที่เหลือซึมลงสู่ดิน ทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น พืชจะนำน้ำในดินไปใช้การสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้ความชื้นในดินบริเวณรอบ ๆ รากพืชลดลง ดินจึงมีกำลังสูงขึ้น และน้ำส่วนที่เหลือจากการสังเคราะห์แสงจะถูกปล่อยออกทางปากใบหรือที่เรียกว่าการคายน้ำของพืช ซึ่งจะระเหยกลับขึ้นไปบนอากาศอีกครั้ง ลักษณะพืชพรรณ ความหนาแน่น ตลอดจนความกว้างของทรงพุ่ม ล้วนมีอิทธิพลต่อการซึมของน้ำฝนลงไปในดิน ส่งผลต่อกำลังของดินและการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ในพื้นที่มีพืชพรรณขึ้นปกคลุมผิวดินหนาแน่น น้ำฝนจะค้างอยู่ตามกิ่งและใบไม้จำนวนมาก จึงตกกระทบผิวดินได้น้อยและช้าลง ทำให้การอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน และการไหลบ่าของน้ำผิวดินเกิดช้าลง ในทางตรงกันข้ามถ้าลาดดินมีพืชปกคลุมหน้าดินไม่มาก น้ำฝนสามารถสัมผัสผิวดินโดยตรงและซึมลงไปในดินได้มาก ทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และเกิดการไหลบ่าบนผิวดินเร็วขึ้น กรมพัฒนาที่ดิน (2548) อ้างถึงผลการศึกษาในประเทศอินโดนีเซียว่า การไหลบ่าของน้ำผิวดินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะพืชพรรณที่ปกคลุม ในพื้นที่ป่าไม้ธรรมชาติมีการไหลบ่าของน้ำร้อยละ 2.7 ป่าเสื่อมโทรมและทุ่งหญ้าธรรมชาติมีการไหลบ่าของน้ำร้อยละ 2.8 ทุ่งหญ้าและพื้นที่ทิ้งร้างมีการไหลบ่าของน้ำร้อยละ 7.3 พื้นที่เพาะปลูกมีการไหลบ่าของน้ำร้อยละ 12.2 และพื้นที่โล่งเตียนมีการไหลบ่าของน้ำมากถึงร้อยละ 40

o การสร้างถนนและที่พักอาศัยบนพื้นที่ลาดชัน

รูปที่ 2.22 และ 2.23 แสดงการตัดไหล่เขาเพื่อสร้างถนนและที่พักอาศัย ซึ่งสามารถทำให้เกิดดินถล่มได้ ดังนี้

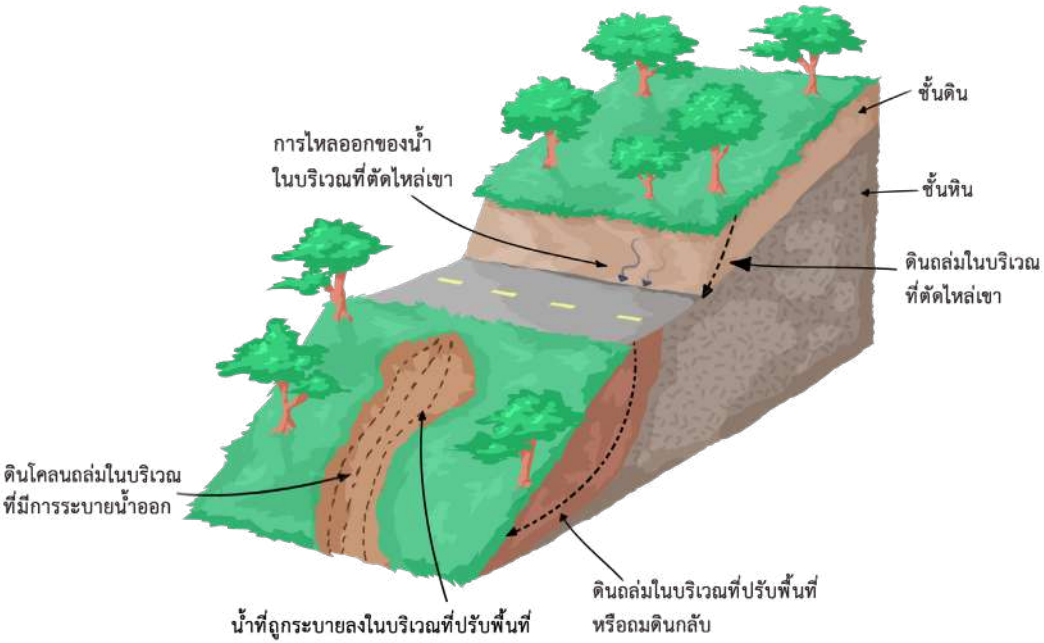
• การเปลี่ยนแปลงทางน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดการสะสมของน้ำในบริเวณที่มีสิ่งปลูกสร้าง กำลังของดินบริเวณพื้นที่ดังกล่าวลดลง เสี่ยงต่อโอกาสการเกิดดินถล่ม

• การปรับพื้นที่ ทั้งจากการตัดและการถมดิน ทำให้สมดุลของลาดดินเปลี่ยนแปลงไป

• ปริมาณน้ำในพื้นที่เพิ่มขึ้น จากการใช้สอยในครัวเรือน การรั่วของท่อน้ำหรือถังบำบัดน้ำเสีย สามารถทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินในพื้นที่ลดลงได้

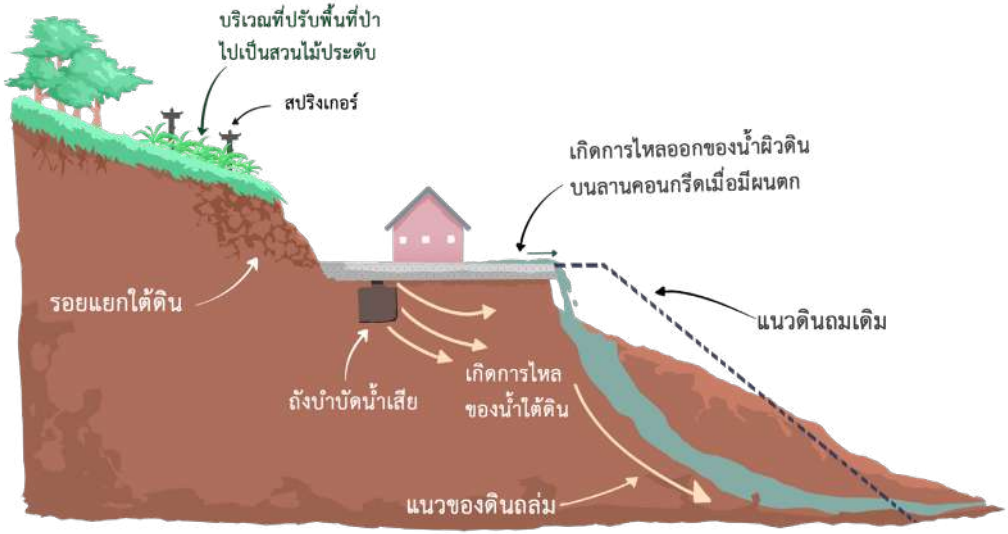
• การเปลี่ยนแปลงชนิดของต้นไม้ในพื้นที่ เช่น การเปลี่ยนพื้นที่เดิมที่เป็นไม้ยืนต้นมีระบบรากชอนไชลงลึก เป็นสวนหย่อนหรือไม้ประดับที่มีระบบรากชอนไชตื้นกว่า ทำให้ค่าการยึดเกาะในพื้นที่ลาดชันมีค่าลดลง และเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม

รูปที่ 2.24 แสดงความเสียหายจากเหตุดินถล่ม ตามเส้นทางบ้านไร่-บ้านอีต่อง บนทางหลวง ทล.3272 เมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2550 ซึ่งมีเหตุดินถล่มทั้งสิ้น 115 แห่ง และหินร่วง 3 แห่ง สภาพพื้นที่เป็นภูเขาที่ถูกปรับพื้นที่เพื่อทำถนน สภาพภูเขาโดยรอบเป็นพื้นที่ค่อนข้างโล่งเตียน ไม่มีรากพืชช่วยเพิ่มความมั่นคงให้แก่ลาดดิน เมื่อมีการสร้างถนนบริเวณนี้จึงทำให้น้ำไม่สามารถไหลลงตามธรรมชาติได้ เมื่อมีฝนตกหนักน้ำจึงไหลไปสะสมกันบริเวณ



รูปที่ 2.22 แสดงผลกระของการตัดไหล่เขาเพื่อสร้างถนนต่อการเกิดดินถล่ม
(ดัดแปลงจาก: Sidle and Ochiai 2006)

ใกล้กับจุดที่มีการปรับพื้นที่ทำถนน และเกิดดินถล่มในที่สุด รูปที่ 2.25 แสดงเหตุดินถล่มบนทางหลวงหมายเลข 1081-0102 หลักลาย-บ่อเกลือ ตำบลบ่อเกลือใต้ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2561 หลังจากเกิดฝนตกปรอย ๆ ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 4-5 วัน บริเวณที่เกิดเหตุดินถล่มเป็นบริเวณที่มีความลาดชันสูง และมีความเป็นไปได้ว่าบริเวณที่เกิดเหตุดินถล่มเดิมเป็นจุดที่มีน้ำใต้ดินไหลผ่านตามธรรมชาติ การสร้างถนนทำให้เกิดการรบกวนการไหลของน้ำตามธรรมชาติ และเกิดการสะสมน้ำในบริเวณนี้ กระตุ้นให้เกิดเหตุดินถล่มได้ง่าย



รูปที่ 2.23 แสดงผลกระของการตัดไหล่เขาเพื่อสร้างที่อยู่อาศัยต่อการเกิดดินถล่ม
(ดัดแปลงจาก: Sidle and Ochiai 2006)

รูปที่ 2.24 ร่องรอยดินถล่ม ตำบลเขาเขุย่ง อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี เมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2550
(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี, 2556)

รูปที่ 2.25 ร่องรอยดินถล่มบนทางหลวง ทล.1081-0102 หลักลาย-บ่อเกลือ
เมื่อวันที่ 27 เดือนกรกฎาคม 2561(ที่มา: www.thairath.co.th และ www.brighttv.co.th)

บทที่ 3

การเฝ้าระวัง การเตือนภัย และการรับมือดินถล่ม

โดย รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์

ภัยดินถล่มถือเป็นสาธารณภัยที่ประเทศไทยต้องเผชิญบ่อยครั้ง ภัยดินถล่มก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งระดับบุคคล ระดับชุมชน จนถึงระดับประเทศ ในระดับบุคคล การบาดเจ็บทุพลภาพ การเสียชีวิต ทรัพย์สินและที่ดินทำกินได้รับความเสียหาย ส่งผลส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้ได้รับผลกระทบ ความสูญเสียระดับประเทศ ได้แก่ การสูญเสียทรัพยากรบุคคล เกิดผลกระทบทางเศรษฐกิจ ทำให้สูญเสียโอกาสในการพัฒนาประเทศ ในอดีตการรับมือกับภัยดินถล่มจะเป็นการรับมือด้วยมาตรการเชิงรับซึ่งเน้นไปที่การให้ความช่วยเหลือและการเผชิญสถานการณ์

เมื่อเกิดภัยพิบัติขึ้นแล้ว ปัจจุบันแนวทางการรับมือกับภัยดินถล่มมีการบูรณาการทั้งเชิงรุกและเชิงรับ การเตรียมความพร้อมในด้านต่าง ๆ การวางแผนทั้งระยะสั้นจนถึงระยะยาวเพื่อลดความเสี่ยงภัยอย่างยั่งยืน บทนี้จะกล่าวถึงภาพรวมในการกำหนดยุทธศาสตร์เพื่อรับมือกับภัยดินถล่ม หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการเตือนภัย เกณฑ์การเตือนภัยที่มีการพัฒนาขึ้นทั่วโลกและที่ใช้อยู่ในประเทศไทย และแนวทางในการจัดการกับภัยดินถล่ม

3.1 ยุทธศาสตร์การรับมือกับภัยดินถล่ม

ภัยดินถล่มจัดเป็นหนึ่งในสาธารณภัยทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในพื้นที่เสี่ยงภัยทั่วโลก ดังนั้นการวางยุทธศาสตร์เพื่อรับมือกับภัยดินถล่มจึงมีกรอบแนวคิดเดียวกับการรับมือสาธารณะภัย คือการสร้างความร่วมมือในการรับมือกับภัยดินถล่มจากทุกระดับ ตั้งแต่ระดับย่อยจนถึงระดับสากล ในระดับสากล กรอบการดำเนินงานที่สำคัญคือกรอบการดำเนินงานเฮียวโกะ (Hyogo Framework for Action: HFA) มีการจัดทำกรอบการดำเนินงานเพื่อเป็นแนวทางให้ประเทศสมาชิกนำไปใช้ในการลดความเสี่ยงจากสาธารณภัยให้เกิดประสิทธิผล นอกจากนี้ประเทศในกลุ่มอาเซียนมีการจัดทำกรอบความร่วมมือภายใต้ข้อตกลงอาเซียนว่าด้วยการจัดการภัยพิบัติและการตอบโต้สถานการณ์ฉุกเฉิน (ASEAN Agreement on Disaster Management and Emergency Response: AADMER) เนื้อหาของ HFA และ AADMER มีสาระสำคัญดังนี้

ใน HFA ได้กำหนดยุทธศาสตร์ที่ควรปฏิบัติไว้ทั้งสิ้น 5 ประเด็น เรียงตามลำดับความสำคัญ ดังนี้

1. ให้ความสำคัญกับการลดภัยเป็นลำดับแรก ภาครัฐต้องให้ความสำคัญกับการปรับปรุงนโยบาย กฎหมาย การจัดองค์กร ให้ครอบคลุมเรื่องความเสี่ยงจากสาธารณภัย และกุญแจสำคัญที่จะช่วยให้ยุทธศาตร์นี้ประสบความสำเร็จอยู่ที่การบูรณาการความร่วมมือจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน ภาคการศึกษา และภาคประชาชน ในบทบาทที่แตกต่างกัน
2. ปรับปรุงข้อมูลและพัฒนาระบบเตือนภัย ส่งเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี และให้ความสำคัญกับข้อมูลด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เข้าใจถึงธรรมชาติของภัยประเภทต่าง ๆ รวมถึงนำข้อมูลไปปรับปรุงแผนที่เสี่ยงภัย เพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบเตือนภัยที่มีประสิทธิภาพเข้ากับบริบทของพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน
3. สร้างความเข้าใจและจิตสำนึกให้กับประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัย ความสูญเสียจะสามารถลดได้หากประชาชนในพื้นที่มีความรู้ความเข้าใจ ทำได้โดยสร้างเครือข่ายระหว่างผู้เชี่ยวชาญด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและชุมชนในพื้นที่เสี่ยงภัย การบรรจุเรื่องภัยประเภทต่าง ๆ ที่ชุมชนนั้นต้องเผชิญเป็นหลักสูตรนอกโรงเรียน การใช้สื่อเพื่อกระตุ้นให้เกิดจิตสำนึกในการลดความเสี่ยงภัย
4. การลดความเสี่ยง โดยการลดปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเสี่ยง เช่นการตั้งบ้านเรือนหรือชุมชนอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัย การตัดไม้ทำลายป่า การก่อสร้างบ้านเรือนที่ไม่ถูกหลักวิศวกรรม

5 การส่งเสริมความพร้อมในการตอบสนองต่อภัย เริ่มจากการประเมินและทราบระดับความเสี่ยงของพื้นที่ พัฒนาและทดสอบแผนรับมือ จัดตั้งกองทุนเพื่อสนับสนุนกิจกรรมการเตรียมความพร้อมเผชิญภัย ฝึกซ้อมแผนอพยพ

สำหรับ AADMER เป็นข้อตกลงร่วมกันในกลุ่มประเทศอาเซียนเกิดขึ้นหลังเหตุสึนามิในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2547 เป็นกรอบความร่วมมือระหว่างประเทศสมาชิกอาเซียนเพื่อจัดการสาธารณภัย โดยมีข้อผูกพันทางกฎหมายให้ประเทศสมาชิกดำเนินการเพื่อจัดการและลดความเสี่ยงจากสาธารณภัยร่วมกันแบบครบวงจร ตั้งแต่ก่อนเกิด จนถึงหลังเกิดสาธารณภัย โดยมีคณะกรรมการอาเซียนด้านภัยพิบัติ (ASEAN Committee on Disaster Management: ACDM) เป็นแกนหลักในการขับเคลื่อนแผนการดำเนินงาน และส่งเสริมความร่วมมือระหว่างประเทศสมาชิกในการจัดการสาธารณภัยอย่างครบวงจร โดยมี**ยุทธศาสตร์ 4 ประการ**ได้แก่

1) การเตรียมความพร้อมเพื่อตอบโต้สถานการณ์ฉุกเฉิน
2) การประเมินความเสี่ยง การเตือนภัย และการเฝ้าระวัง
3) การป้องกันและการลดผลกระทบ
4) การบูรณะฟื้นฟูหลังประสบภัย

สำหรับประเทศไทย นอกจากความร่วมมือระดับสากลที่กล่าวถึงแล้ว ได้มีการตราพระราชบัญญัติป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย พ.ศ. 2550 เพื่อใช้เป็นกฎหมายหลักในการจัดการสาธารณภัยในประเทศไทย และกำหนดให้กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (ปภ.) เป็นหน่วยงานหลักมีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดการสาธารณภัยของประเทศ แยกเป็น ก่อนเกิดภัย และขณะเกิดภัย โดยมีสาระสำคัญดังนี้

ก่อนเกิดภัย

1 แผนป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ จัดทำโดย ปภ. ร่วมกับหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้อง ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ (กปภ.ช.)

2 แผนป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยระดับจังหวัด จัดทำโดยคณะกรรมการซึ่งมีผู้ว่าราชการจังหวัดเป็นประธาน โดยมีแผนป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติเป็นกรอบ

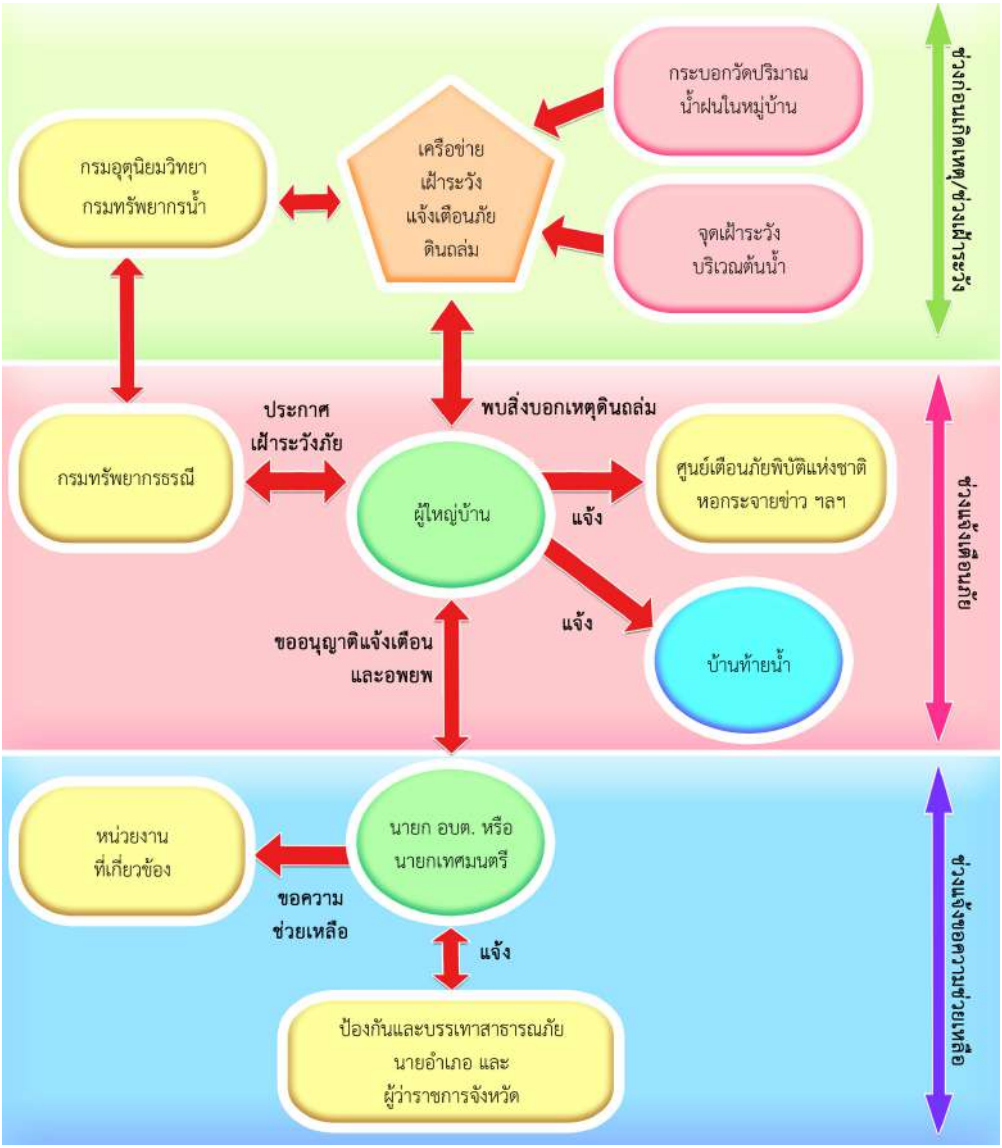
3 แผนป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยกรุงเทพมหานคร จัดทำโดยคณะกรรมการซึ่งมีผู้ว่าราชการกรุงเทพมหานครเป็นประธาน โดยมีแผนป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติเป็นกรอบ

ขณะเกิดภัย

มีการกำหนดกรอบการบริหารการจัดการสาธารณภัย ขั้นตอนการปฏิบัติงาน และแนวทางการประสานงานในระดับต่าง ๆ อย่างชัดเจน

นอกจากนี้ยังมีการจัดทำแผนปฏิบัติการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติแห่งชาติเชิงยุทธศาสตร์ พ.ศ. 2553-2562 ตามกรอบการดำเนินงาน HFA โดยมี ปภ. เป็นหน่วยงานหลักในการวางยุทธศาตร์เพื่อลดความเสี่ยง

จากสาธารณภัยเพื่อเป็นแนวทางให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปดำเนินงานในการลดความเสี่ยงจากสาธารณภัยของประเทศ สำหรับแผนระยะยาวด้านการลดความเสี่ยงจากสาธารณภัย ถูกบรรจุอยู่ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 โดยเน้นการลดความเปราะบาง และเพิ่มความสามารถในการรับมือกับสาธารณภัยโดยอาศัยปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงควบคู่ไปกับการพัฒนาอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมการฟื้นฟูระบบนิเวศน์ ส่งเสริมความสามารถของชุมชน



รูปที่ 3.1 ผังบูรณาการการเฝ้าระวังแจ้งเตือนภัยดินถล่ม (ที่มา: แผนที่เตือนภัยดินถล่มระดับชุมชน กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2558)

และท้องถิ่นในการในการจัดการกับปัญหาด้วยตนเองด้วยการผสมผสานภูมิปัญญาท้องถิ่นกับองค์ความรู้ใหม่ และส่งเสริมการประกอบอาชีพที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและทรัพยากรของท้องถิ่น

ในด้านการเฝ้าระวังและเตือนภัยดินถล่ม ประเทศไทยมีกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (ปภ.) เป็นแกนหลัก ทำงานเชื่อมประสานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดย ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ ประสานงานแลกเปลี่ยนข้อมูลกับกรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรธรณี และกรมทรัพยากรน้ำ โดยมีการประสานงานร่วมกันแสดงดังรูปที่ 3.1 ทั้ง **5 หน่วยงานมีบทบาทหน้าที่ตามจุดเด่นของแต่ละหน่วยงานสามารถสรุปได้ดังนี้** (ปรับแปรงจาก แผนที่เตือนภัยดินถล่มระดับชุมชน กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2558)

1 กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

มีบทบาทด้านการจัดทำแผนแม่บท วางมาตรการในการสนับสนุนส่งเสริมการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยทุกประเภท นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานอยู่ในทุกจังหวัดทำหน้าที่เป็นหน่วยงานในการจัดการกับภัยพิบัติทุกประเภทในระดับจังหวัด ส่วนงานด้านภัยดินถล่มมีอาสาสมัครป้องกันภัยฝ่ายพลเรือน (อปภร.) ซึ่งมีอยู่ทุกหมู่บ้าน มีหน้าที่ให้การช่วยเหลือขณะเกิดภัย และมีมิสเตอร์เตือนภัยอยู่หมู่บ้านละ 2 คน ทำหน้าที่เตือนภัยในหมู่บ้าน

2 ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ

เดิมเป็นหน่วยงานในสังกัด กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร แต่ถูกโอนไปสังกัดกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทยตั้งแต่วันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2559 มีหน้าที่เป็นศูนย์ข้อมูลกลางทางด้านภัยพิบัติทางธรรมชาติ และควบคุมสั่งการในภาวะวิกฤติตลอดจนแจ้งเตือนภัยพิบัติทุกประเภทในประเทศไทย

3 กรมทรัพยากรธรณี

มีบทบาทในการเสนอความเห็นเพื่อจัดทำนโยบายและแผนอนุรักษ์ฟื้นฟู และการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี โดยกรมทรัพยากรธรณีเป็นหน่วนงานหลักในการจัดทำข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มทั่วประเทศ มีการจัดตั้งศูนย์ปฏิบัติการธรณีพิบัติภัย เพื่อติดตามสถานะการณ์ ติดต่อ ประสานงาน กับเครือข่ายของกรมทรัพยากรธรณี และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จัดทำประกาศเฝ้าระวังเหตุธรณีพิบัติภัยผ่านสื่อต่าง ๆ จัดหน่วยเคลื่อนที่เร็วเพื่อออกตรวจสถานการณ์ในพื้นที่ประสบภัยดินถล่ม ตรวจหาสาเหตุ ประเมินสถานการณ์ความเสี่ยง และเสนอแนวทางในการลดผลกระทบจากดินถล่ม

4 กรมทรัพยากรน้ำ

มีบทบาทในการจัดทำนโยบายและแผนการอนุรักษ์ฟื้นฟู และการจัดการที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำ ทั้งระดับภาพรวม และระดับลุ่มน้ำ ปัจจุบันกรมทรัพยากรน้ำได้ทำการติดตั้งระบบเตือนภัยแบบอัตโนมัติบริเวณต้นน้ำของพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม จำนวนทั้งสิ้น 3956 สถานี แบ่งเป็น (1) แบบตรวจวัดน้ำฝน ความชื้นในดิน และอุณหภูมิ (2) แบบวัดระดับน้ำในลำน้ำติดตั้งบริเวณสะพานข้ามลำน้ำ สถานีเหล่านี้จะอ่านและส่งข้อมูลอัตโนมัติผ่านระบบสื่อสารทางไกล เพื่อให้กรมทรัพยากรน้ำวิเคราะห์ข้อมูลแล้วแจ้งเตือนแก่ประชาชนในพื้นที่ด้วยสัญญาณไฟและเสียง รวมทั้งมีการจัดตั้งเครือข่ายผู้รู้ในชุมชนที่มีการติดตั้งสถานีตรวจวัดด้วย

5 กรมอุตุนิยมวิทยา

มีบทบาทในการเฝ้าระวัง แจ้งเตือนภัย โดยดำเนินการตรวจวัดสภาพอากาศและให้ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีความสำคัญต่อการเฝ้าระวังเหตุดิน

ถล่ม เช่น ข้อมูลสภาพอากาศ ปริมาณน้ำฝน การประกาศเตือนภัยน้ำท่วมและน้ำป่าไหลหลาก เส้นทางพายุ มีการเผยแพร่ทั้งผ่านเว็ปไซท์ของกรม และข่าวประจำวันในช่วงพยากรณ์อากาศ ทำให้ประกาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นประกาศที่เข้าถึงประชาชนมากที่สุด

ทั้ง 5 หน่วยงานนี้ทำงานจะทำงานสนับสนุนกันในด้านการเฝ้าระวังและเตือนภัยดินถล่มในแต่ละช่วงเวลา โดยมีรายละเอียดการประสานงานดังนี้

รูปที่ 3.2 สถานีเตือนภัยดินถล่มแบบอัตโนมัติของกรมทรัพยากรน้ำ
ซ้ายมือ : สถานีตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น และอุณหภูมิ ขวามือ : สถานีวัดระดับน้ำในลำน้ำ
(ที่มา: คู่มือเตรียมพร้อมรับอุทกภัย-ดินถล่ม จัดทำโดยศูนย์ป้องกันวิกฤติน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ)

ในช่วงก่อนเกิดเหตุดินถล่ม

• **กรมอุตุนิยมวิทยาและศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ** ประกาศเตือนฝนตกหนักและน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ภาพรวมระดับจังหวัด

• **กรมทรัพยากรน้ำ** แจ้งข่าวปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำในพื้นที่ที่มีการติดตั้งระบบเตือนภัยอัตโนมัติ

• **กรมทรัพยากรธรณี** ประกาศเฝ้าระวังเหตุดินถล่มและน้ำป่าไหลหลากในระดับอำเภอให้เครือข่ายเฝ้าระวังแจ้งเตือนภัยดินถล่ม ทำการเฝ้าระวังและปฏิบัติตามแผนที่วางไว้

ช่วงเฝ้าระวัง

• เครื่องข่ายเฝ้าระวังของกรมทรัพยากรธรณี เครือข่ายผู้รู้ของกรมทรัพยากรน้ำ และมิสเตอร์เตือนภัยของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เฝ้าระวังตรวจวัดปริมาณน้ำฝน และ/หรือเฝ้าระวังระดับน้ำท่า บริเวณต้นน้ำก่อนถึงหมู่บ้าน

• เมื่อพบสิ่งบอกเหตุดินถล่ม น้ำป่าไหลหลาก จะ**ประสานไปยังผู้นำชุมชนซึ่งได้รับมอบหมาย** เพื่อทำการประกาศเตือนภัยผ่านเสียงตามสายของหมู่บ้าน เปิดไซเรนเตือนภัย และประสานไปยังกรมต้นสังกัด

ช่วงแจ้งเตือนภัย

ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ กรมทรัพยากรธรณี กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย และผู้นำชุมชนที่รับมอบหมาย ต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

- ทำการประกาศแจ้งเตือนภัยให้ประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยอพยพไปยังพื้นที่ปลอดภัย
- แจ้งเตือนไปยังหมู่บ้านที่อยู่ปลายน้ำลงไป
- รายงานสถานการณ์ให้องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น อำเภอ จังหวัด และสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยทราบเพื่อขอความช่วยเหลือ

3.2 เกณฑ์เตือนภัยดินถล่ม

หัวข้อนี้จะกล่าวถึง**เกณฑ์เตือนภัยดินถล่มที่ถูกพัฒนาขึ้น และรายงานในวารสารชั้นนำต่าง ๆ** เพื่อให้ผู้อ่านทราบแนวคิดของในการกำหนดเกณฑ์สำหรับเตือนภัยที่หลากหลาย และสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบเตือนภัยของประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งนี้หลักการพื้นฐานของระบบเตือนภัยคือการเฝ้าติดตามสถานการณ์ในช่วงเวลาล่อแหลม และแจ้งเตือนไปยังพื้นที่เสี่ยงอย่างทันท่วงที ดังนั้นกุญแจสำคัญคือความแม่นยำของเกณฑ์ที่ใช้ในการเตือนภัย และการแจ้งเตือนไปยังผู้ที่ได้รับผลกระทบอย่างทั่วถึงและมีมาตรฐาน สำหรับหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะเกณฑ์ที่ใช้ในการเตือนภัย ซึ่งแยกตามประเภทของตัวแปรที่ใช้ในการเฝ้าติดตามเป็น 2 ประเภท คือตัวแปรที่เป็นปัจจัยกระตุ้น และตัวแปรที่แสดงถึงการตอบสนองเมื่อได้รับปัจจัยกระตุ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1) เกณฑ์เตือนภัยดินถล่มที่ใช้ปัจจัยกระตุ้นเป็นตัวแปรในการกำหนดเกณฑ์

เนื่องจากปัจจัยกระตุ้นหลักที่เป็นสาเหตุของดินถล่ม คือ น้ำฝน ดังนั้นระบบเตือนภัยดินถล่มส่วนมากจึงใช้ค่าน้ำฝน (เช่น ความรุนแรงของฝน ปริมาณน้ำฝนสะสม ระยะเวลาการเกิดฝน ฯลฯ) เป็นตัวแปรหลักในการติดตามและกำหนดจุดเตือนภัย โดยใช้การเกิด (หรือไม่เกิด) เหตุดินถล่มเป็นเงื่อนไขในการสร้างเกณฑ์ ซึ่งการกำหนดเงื่อนไขสำหรับสร้างเกณฑ์เตือนภัยมีทั้งหมด 3 วิธี ดังนี้

ก.

เกณฑ์เตือนภัยที่ใช้ขอบเขตบน
เป็นเกณฑ์ที่ใช้ค่าน้ำฝนจากเหตุฝนตกทั้งหมดที่**ไม่ก่อ**ให้เกิดดินถล่ม ในพื้นที่ที่ศึกษามากำหนดเกณฑ์เตือนภัย (รูปที่ 3.3ก)

ข.

เกณฑ์เตือนภัยที่ใช้ขอบเขตล่าง
เป็นเกณฑ์ที่ใช้ค่าน้ำฝนจากเหตุฝนตกทั้งหมดที่**ก่อ**ให้เกิดดินถล่ม ในพื้นที่ที่ศึกษามากำหนดเกณฑ์เตือนภัย (รูปที่ 3.3ข)

ค.

เกณฑ์เตือนภัยที่นำข้อมูลฝนทั้งหมดมาใช้

สามารถแยกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

ค.1

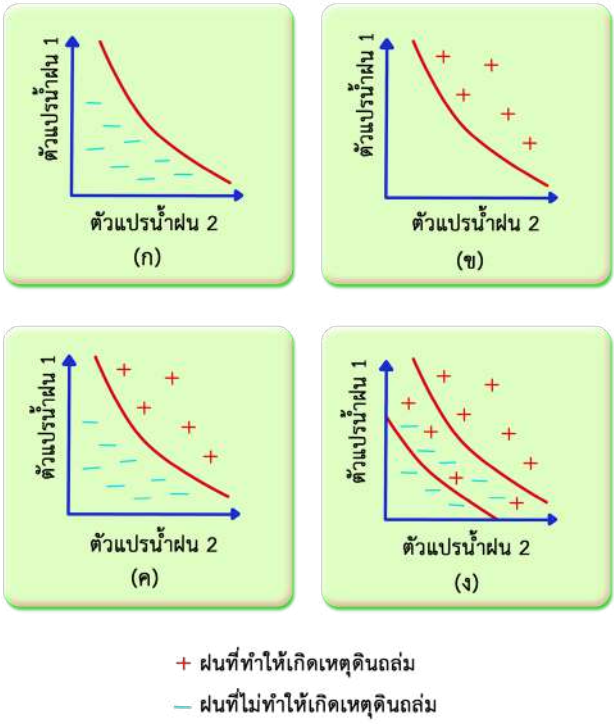
เกณฑ์ที่ใช้ค่าน้ำฝนที่แบ่งระหว่างเหตุฝนตกที่ก่อให้เกิดดินถล่ม และเหตุฝนตกที่ไม่ก่อให้เกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 3.3ค)

การสร้างเกณฑ์แบบนี้มักใช้ในการสร้างเกณฑ์น้ำฝนเฉพาะพื้นที่จำกัด จึงจะสามารถแบ่งเหตุฝนตกที่ก่อให้เกิดดินถล่ม และเหตุฝนตกที่ไม่ก่อให้เกิดดินถล่มได้อย่างชัดเจน

ค.2

เกณฑ์ที่ใช้ค่าน้ำฝนเป็นช่วงครอบคลุมค่าน้ำฝนที่มีโอกาสก่อให้เกิดเหตุดินถล่มในพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 3.3ง)

เกณฑ์ประเภทนี้จะแบ่งระดับการเตือนภัยออกเป็นหลายระดับตามโอกาสการเกิดเหตุดินถล่ม ซึ่งแสดงจากข้อมูลที่รวบรวมมา



รูปที่ 3.3 การกำหนดเกณฑ์เตือนภัยดินถล่มแบบต่าง ๆ จากตัวแปรน้ำฝน

ประเภทของเกณฑ์เตือนภัยสามารถแบ่งได้จากประเภทของฝนที่นำมากำหนดค่าน้ำฝนในการสร้างเกณฑ์เตือนภัย ดังนี้

3.2.1.1) เกณฑ์ที่ใช้เฉพาะน้ำฝนปัจจุบัน

เป็นเกณฑ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เกณฑ์ประเภทนี้เหมาะสำหรับลาดดินที่ระนาบการวิบัติของชั้นดินมีความลึกไม่มาก (Terlien, 1998) ถูกเสนอขึ้นครั้งแรกใน พ.ศ. 2523 โดย Caine (Caine, 1980) ซึ่งรวบรวมข้อมูลน้ำฝนของเหตุดินถล่มแบบตื้น (shallow landslides) จำนวน 73 เหตุการณ์ แล้วเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของฝน (Rainfall intensity: I) และระยะเวลาที่ฝนตก (Duration: D) พบว่า I และ D มีความสัมพันธ์เชิงเส้นบนระบบพิกัดแบบกึ่งลอกกาลิทึม (Semi-log coordinate) และแสดงเป็นความสัมพันธ์ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

สมการที่ 3.1

$$I = aD^b$$

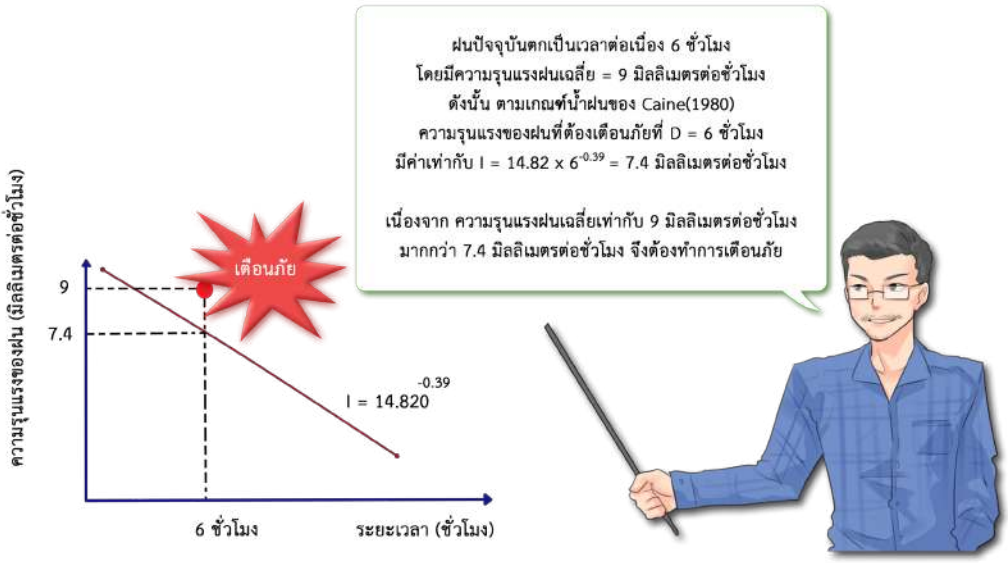
เมื่อ

I คือ ความรุนแรงของฝนปัจจุบันหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมง

D คือ ช่วงเวลาของฝนปัจจุบันหน่วยเป็นชั่วโมง

a และ b เป็นพารามิเตอร์เชิงประสบจากข้อมูลที่ใช้สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง I และ D

ซึ่งหากความรุนแรงฝน I มีค่าน้อยกว่า aD^b เกณฑ์จะไม่เตือนดินถล่ม แต่หากความรุนแรงฝน I มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ aD^b เกณฑ์จะทำการเตือนภัย (รูปที่ 3.4) หลังจากนั้นมีงานวิจัยที่นำความสัมพันธ์นี้ไปสร้างเกณฑ์เตือนภัยตามข้อมูลดินถล่มจากแหล่งต่าง ๆ ทำให้มีเกณฑ์เตือนภัยที่เสนอในงานวิจัยต่าง ๆ จำนวนมาก ต่อมา Guzzetti และคณะ (2007) ทำการรวบรวมเกณฑ์เตือนภัยที่สร้างขึ้นโดยใช้ความสัมพันธ์ในสมการ 3.1 และรายงานในวารสารวิชาการชั้นนำต่าง ๆ จำนวนทั้งสิ้น 52 เกณฑ์จาก 34 บทความ โดยแยกเกณฑ์เหล่านี้ออกเป็น 3 ประเภทตามขนาดพื้นที่ที่เกณฑ์นั้น ๆ สามารถนำไปใช้ได้ ได้แก่ เกณฑ์เฉพาะพื้นที่ (Local Threshold) เกณฑ์ระดับภูมิภาค (Regional Threshold) และเกณฑ์ทั่วไป (Global threshold) และพบว่า ที่ช่วงเวลาฝนตกเท่ากัน เกณฑ์เฉพาะพื้นที่จะให้ค่าความความรุนแรงของฝนที่ระดับเตือนภัยสูงกว่าเกณฑ์ระดับภูมิภาคและเกณฑ์ทั่วไป และยังพบอีกว่า ในพื้นที่เดียวกันเกณฑ์น้ำฝนจะแตกต่างกันตามประเภทของดินถล่ม เช่น เกณฑ์ของ Guadagno (1991) ให้ความรุนแรงของฝนที่ระดับเตือนภัยการเกิดดินโคลนถล่มในแคว้นคัมปาเนียประเทศอิตาลีมากกว่าเกณฑ์ของ Calcaterra และคณะ (2000) ซึ่งใช้เตือนภัยดินถล่มทุกประเภทในพื้นที่เดียวกัน เป็นต้น



รูปที่ 3.4 การเตือนภัยโดยใช้เกณฑ์น้ำฝน

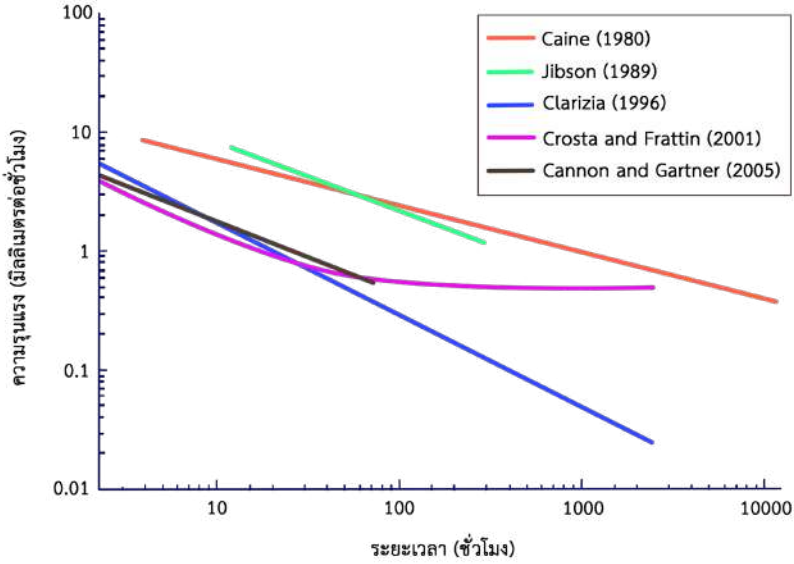
การใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นบนระบบพิกัดแบบกึ่งลอกกาลิทึมระหว่าง I และ D มีประเด็นที่น่าใส่ใจประการหนึ่ง คือ หากมีฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานาน (เช่น นานกว่า 200 ชั่วโมงขึ้นไป) ความรุนแรงของฝนที่ระดับเตือนภัยซึ่งอ่านได้จากเกณฑ์น้ำฝนแบบนี้จะมีค่าต่ำมาก จึงแทบจะต้องเตือนภัยทุกครั้งที่มีฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานานแม้ว่าฝนจะมีความรุนแรงต่ำมากก็ตาม จึงมีนักวิจัยจำนวนหนึ่ง (Cannon and Ellen, 1985; Crosta and Frattini, 2001) เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง I และ D แบบลู่เข้าหาค่าสุดท้ายค่าหนึ่ง กล่าวคือ ความรุนแรงฝนที่ระดับเตือนภัยจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาเกิดฝนที่นานขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาเกิดฝนนานกว่าค่าหนึ่ง ความรุนแรงฝนที่ระดับเตือนภัยจะไม่ลดลงอีกต่อไป

ตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.5 แสดงเกณฑ์ทั่วไปซึ่งรวบรวมได้จากเอกสารงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารชั้นนำ จะพบว่าเกณฑ์ที่เสนอส่วนมากจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นบนระบบพิกัดแบบกึ่งลอกกาลิทึม ยกเว้นเกณฑ์ที่เสนอโดย Crosta and Frattini (2001) ซึ่งแสดงความรุนแรงน้ำฝนลู่เข้าหาค่าคงที่ค่าหนึ่งเมื่อมีฝนตกเกิดขึ้นเป็นเวลานาน

ตารางที่ 3.1 แบบจำลองที่ใช้ความรุนแรงของฝนปัจจุบัน และระยะเวลาที่ฝนตกเป็นตัวแปรในการเตือนภัย

สมการแบบจำลอง	ช่วงเวลาที่ใช้ได้ (ชั่วโมง)	ผู้เสนอ	หมายเหตุ
$I = 14.82D^{-0.39}$	0.167 - 500	Caine (1980)	รวบรวมข้อมูลจากเหตุดินถล่มแบบตื้นและดินโคลนถล่ม
$I = 30.53D^{-0.57}$	0.5 – 12	Jibson (1989)	รวบรวมข้อมูลจากเหตุดินโคลนถล่ม
$I = 10D^{-0.77}$	0.1 – 1000	Clarizia และคณะ (1996)	รวบรวมข้อมูลจากเหตุดินเคลื่อน
$I = 0.48 + 7.2D^{-1.00}$	0.1 – 1000	Crosta and Frattini (2001)	รวบรวมข้อมูลจากเหตุดินถล่มแบบตื้น
$I = 7D^{-0.60}$	0.1 – 3	Cannon and Gartner (2005)	รวบรวมข้อมูลจากเหตุดินโคลนถล่ม

ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของเกณฑ์เตือนภัยที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง I และ D โดยเฉพาะในเกณฑ์เฉพาะพื้นที่และเกณฑ์ระดับภูมิภาค คือ ไม่สามารถนำไปใช้กับพื้นที่อื่นได้ ถึงแม้พื้นที่ที่จะนำไปใช้อยู่ไม่ห่างจากพื้นที่เจ้าของเกณฑ์ ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างทางธรณีสัณฐาน ชนิดและการวางตัวของชั้นหิน และสภาพอากาศของแต่ละพื้นที่ ซึ่งไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง I และ D จึงมีนักวิจัยจำนวนหนึ่งพยายามแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว เช่น Cannon (1988) Ceriani และคณะ (1992) Aleotti และคณะ (2002) Bacchini and Zannoni (2003) เสนอตัวแปรน้ำฝน I_{MAP} แทนการใช้ตัวแปรน้ำฝน I โดยนำปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปี (Mean Annual Precipitation: MAP) มาหารกับความรุนแรงของฝนปัจจุบัน เพื่อให้ตัวแปร I_{MAP} ครอบคลุมความแตกต่างของสภาพอากาศในพื้นที่แต่ละแห่ง ขณะที่ Wilson (1997) และ Wilson and Jayko (1997) เสนอตัวแปรน้ำฝน I_{RND} แทนการใช้ตัวแปรน้ำฝน I โดยนำ MAP ไปเฉลี่ยด้วยจำนวนวันที่มีฝนตกในรอบหนึ่งปี (rainy days: RDs) ได้ดัชนีชื่อว่า Rainy Day Normal (RND) แล้วจึงนำ RND ไปหารกับความรุนแรงของฝนปัจจุบัน ส่วน Barbero และคณะ (2004) เสนอให้หาอัตราส่วนระหว่าง MAP ของสองพื้นที่คือ พื้นที่เจ้าของความสัมพันธ์ระหว่าง I และ D กับพื้นที่ที่จะนำความสัมพันธ์ระหว่าง I และ D ไปใช้ แล้วปรับแก้ความสัมพันธ์ระหว่าง I และ D ด้วยอัตราส่วนดังกล่าว



รูปที่ 3.5 เกณฑ์ทั่วไปสำหรับเตือนภัยดินถล่มที่ใช่ค่าน้ำฝนปัจจุบัน

นอกจากการใช้ตัวแปร I และ D เป็นหลักในการสร้างเกณฑ์เตือนภัยแล้วยังมีการใช้ตัวแปรน้ำฝนอื่น ๆ ด้วย เช่น การใช้ปริมาณน้ำฝนทั้งวันของฝนปัจจุบัน (Daily event rainfall: R) การใช้ปริมาณสะสมของฝนปัจจุบัน (Cumulative event rainfall: E) การใช้ MAP มาหารกับ E (E_{MAP}) เป็นต้น ตัวอย่างของการใช้ตัวแปรน้ำฝนประเภทนี้ เช่น Guidicini and Iwasa (1977) เสนอเกณฑ์เตือนภัยสำหรับประเทศบราซิล โดยหากปริมาณสะสมของฝนปัจจุบันมีค่าสูงกว่าร้อยละ 12 ของ MAP การเกิดดินถล่มจะไม่มีความสัมพันธ์กับประวัติฝนครั้งก่อน แต่หากปริมาณสะสมของฝนปัจจุบันมีค่าระหว่างร้อยละ 8 ถึง ร้อยละ 12 ของ MAP การเกิดดินถล่มจะขึ้นกับประวัติฝนครั้งก่อน ขณะที่ Bhandari และคณะ (2002) เสนอเกณฑ์เตือนภัยสำหรับดินถล่มในเทือกเขาหิมาลัย โดยระบุว่า หากปริมาณสะสมของฝนปัจจุบันมีค่าต่ำกว่า 5% ของ MAP โอกาสเกิดดินถล่มมีน้อยมาก แต่หากปริมาณสะสมของฝนปัจจุบันมีค่าสูงกว่าร้อยละ 20 ของ MAP จะเกิดดินถล่มขึ้นแน่นอน

3.2.1.2) เกณฑ์ที่ใช้ประวัติฝนครั้งก่อน (Antecedent rainfall)

เกณฑ์นี้มีแนวคิดว่า สภาพน้ำใต้ดินและความชื้นในดิน มีผลต่อเสถียรภาพของลาดดิน และทั้งฝนปัจจุบันและประวัติฝนครั้งก่อน ๆ ล้วนส่งผลต่อสภาพน้ำใต้ดินและความชื้นในดิน ดังนั้นจึงนำเอาทั้งฝนปัจจุบันและฝนครั้งก่อนมาเป็นตัวแปรในการกำหนดเกณฑ์การเตือนภัย เกณฑ์ประเภทนี้เชื่อว่ามีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่ลาดดินจะมีระนาบการวิบัติอยู่ในระดับลึก (Terlien, 1998) เกณฑ์ประเภทนี้มีทั้งเกณฑ์ที่มีรูปแบบง่าย ๆ และแบบที่มีความซับซ้อน สำหรับเกณฑ์ที่มีรูปแบบง่าย ๆ

จะเป็นเกณฑ์ที่นำปริมาณสะสมของน้ำฝนในช่วงระยะเวลาหนึ่งมากำหนดจุดเตือนภัย เช่น Cardinali และคณะ (2006) ทำการรวบรวมข้อมูลการเกิดดินถล่มในภาคตะวันเฉียงใต้ของแคว้นอุมเบรีย ประเทศอิตาลี และพบว่า ดินถล่มมีโอกาสเกิดขึ้นสูงเมื่อปริมาณฝนสะสมในรอบ 3 เดือน สูงกว่า 590 มิลลิเมตร หรือปริมาณฝนสะสม 4 เดือนสูงกว่า 700 มิลลิเมตร

ส่วนรูปแบบที่มีความซับซ้อนจะเป็นการนำข้อมูลฝนครั้งก่อน ๆ และข้อมูลฝนปัจจุบันมากำหนดเกณฑ์ในการเตือนภัย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

• Pasuto and Silvano (1998) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุดินถล่มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอิตาลี กับตัวแปรน้ำฝน 2 ประเภท คือ โดยตัวแปรที่ 1 คือปริมาณสะสมของน้ำฝนครั้งก่อนย้อนหลังไปหลายช่วงเวลา เช่น ปริมาณสะสมของน้ำฝนครั้งก่อนในรอบ 7 วัน (A_{7d}) ปริมาณสะสมของน้ำฝนครั้งก่อนในรอบ 15 วัน (A_{15d}) และปริมาณสะสมของน้ำฝนครั้งก่อนในรอบ 30 วัน (A_{30d}) เป็นต้น ส่วนตัวแปรที่ 2 คือ ปริมาณสะสมของฝนปัจจุบันในรอบ 2 วัน (E_{2d}) และพบว่าเมื่อ A_{15d} สูงกว่า 200 มิลลิเมตร จำนวนการเกิดดินถล่มในลุ่มแม่น้ำของพื้นที่ศึกษา จะขึ้นกับค่า E_{2d} ดังนี้ หาก E_{2d} มากกว่า 200 มิลลิเมตร จะเกิดดินถล่มขึ้นทุกครั้ง หาก E_{2d} อยู่ระหว่าง 100 มิลลิเมตร ถึง 150 มิลลิเมตร มีโอกาสเกิดดินถล่มร้อยละ 57 และหาก E_{2d} น้อยกว่า 70 มิลลิเมตร จะไม่มีโอกาสเกิดดินถล่ม

• Kim และคณะ (1991) ศึกษาข้อมูลดินถล่มในประเทศเกาหลี กับตัวแปรน้ำฝน 2 ประเภทคือ (1) ปริมาณสะสมของน้ำฝนครั้งก่อนในรอบ 3 วัน (A_{3d}) และ (2) ข้อมูลน้ำฝนปัจจุบันในรอบ 24 ชั่วโมง พบว่า ดินถล่มในพื้นที่ภาคกลางของประเทศเกาหลีใต้จะถูกควบคุมด้วย A_{3d} ส่วนดินถล่มในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศเกาหลีใต้จะถูกควบคุมด้วยปริมาณฝนสะสมและความรุนแรงของฝนปัจจุบัน

• Deyerdahl และคณะ (2003) เสนอเกณฑ์เตือนภัยสำหรับการเกิดดินโคลนภูเขาไฟถล่มในนิกาลากัวและเอลซัลวาดอร์ จากความรุนแรงของฝนปัจจุบันและปริมาณสะสมสะสมของน้ำฝนครั้งก่อนในรอบ 4 วัน

• Aleotti (2004) เสนอเกณฑ์เตือนภัยสำหรับการเกิดดินถล่มในแคว้นปีเยมอนเต ประเทศอิตาลีด้วย I_{MAP} และปริมาณสะสมของน้ำฝนครั้งก่อนในรอบ 7 วัน หารด้วย MAP

• Gabet และคณะ (2004) ใช้ปริมาณสะสมของน้ำฝนปัจจุบันในรอบ 24 ชั่วโมง และปริมาณสะสมของน้ำฝนตลอดฤดูฝน เป็นตัวแปรสำหรับกำหนดระดับเตือนภัยในเทือกเขาหิมาลัย และระบุว่า ปริมาณสะสมของน้ำฝนตลอดฤดูฝน และปริมาณสะสมของน้ำฝนปัจจุบันในรอบ 24 ชั่วโมง ต้องมีค่าอย่างน้อย 528 มิลลิเมตร และ 9 มิลลิเมตร ตามลำดับ จึงจะมีโอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่ดังกล่าว

จะเห็นว่า ในการนำข้อมูลน้ำฝนครั้งก่อนหน้ามาเป็นตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดเกณฑ์เตือนภัยมีความยุ่งยากประการหนึ่ง คือ การกำหนดจำนวนวันที่จะใช้ในการหาปริมาณน้ำฝนสะสม ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างข้างต้น เกณฑ์ที่เสนอโดยนักวิจัยต่าง ๆ ใช้จำนวนวันย้อนหลังสำหรับหาปริมาณสะสมของน้ำฝนครั้งก่อนแตกต่างกัน เกณฑ์ของ Kim และคณะ (1991) ใช้ 3 วัน เกณฑ์ของ Deyerdahl และคณะ (2003) ใช้ 4 วัน เกณฑ์ของ Aleotti (2004) ใช้ 7 วัน เกณฑ์ของ Pasuto and Silvano (1998) ใช้ 15 วันบางเกณฑ์ใช้จำนวนวันที่ยาวมาก ๆ เช่น Cardinali และคณะ (2006) ใช้การสะสมของน้ำฝนในรอบ 3 ถึง 4 เดือน ขณะที่ Gabet และคณะ (2004) ใช้การสะสมของน้ำ

ฝนตั้งแต่ต้นฤดูฝนเป็นตัวแปรในการกำหนดเกณฑ์เตือนภัย ซึ่งความหลากหลายของจำนวนวันที่เหมาะสมมาจากสาเหตุหลายประการ ทั้งจากความแตกต่างกันของสภาพทางธรณีสัณฐาน รวมถึงชนิดและการวางตัวของชั้นหินในพื้นที่แต่ละพื้นที่ ความแตกต่างกันของการใช้พื้นที่ชนิดของดิน ความหลากหลายของสภาพอากาศ รวมถึงความสมบูรณ์และวิธีในการกำหนดข้อมูล

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยบางส่วนไม่พบความสำคัญของการใช้ตัวแปรที่ได้จากข้อมูลน้ำฝนครั้งก่อน เช่น Brand และคณะ (1984) รายงานว่าไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากน้ำฝนครั้งก่อนกับการเกิดดินถล่มในฮ่องกง โดยอธิบายว่า เป็นเพราะฮ่องกงอยู่ในพื้นที่ที่มีฝนตกรุนแรง ทำให้ฝนปัจจุบันเป็นต้นเหตุหลักของการเกิดดินถล่มในฮ่องกง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Corominas (2000) สำหรับการเกิดดินถล่มแบบตื้น

3.2.2) เกณฑ์เตือนภัยดินถล่มที่ใช้การตอบสนองของลาดดินเมื่อรับปัจจัยกระตุ้นเป็นตัวแปรในการกำหนดเกณฑ์

เป็นเกณฑ์ที่พยายามนำทฤษฎีทางกายภาพทั้งในเชิงกลศาตร์และเชิงชลศาตร์มาช่วยในการกำหนดเกณฑ์เตือนภัยดินถล่ม โดยมุ่งเน้นที่จะติดตามการตอบสนองของลาดดินเมื่อได้รับน้ำฝน เนื่องจากมองว่าน้ำฝนคือปัจจัยกระตุ้นหลักที่ทำให้เกิดดินถล่ม **โดยตัวแปรที่นิยมใช้ในการติดตามการตอบสนองของลาดดินเนื่องจากน้ำฝน** ได้แก่

- การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน
- การเปลี่ยนแปลงความดันน้ำในดิน
- การเคลื่อนตัวของดิน

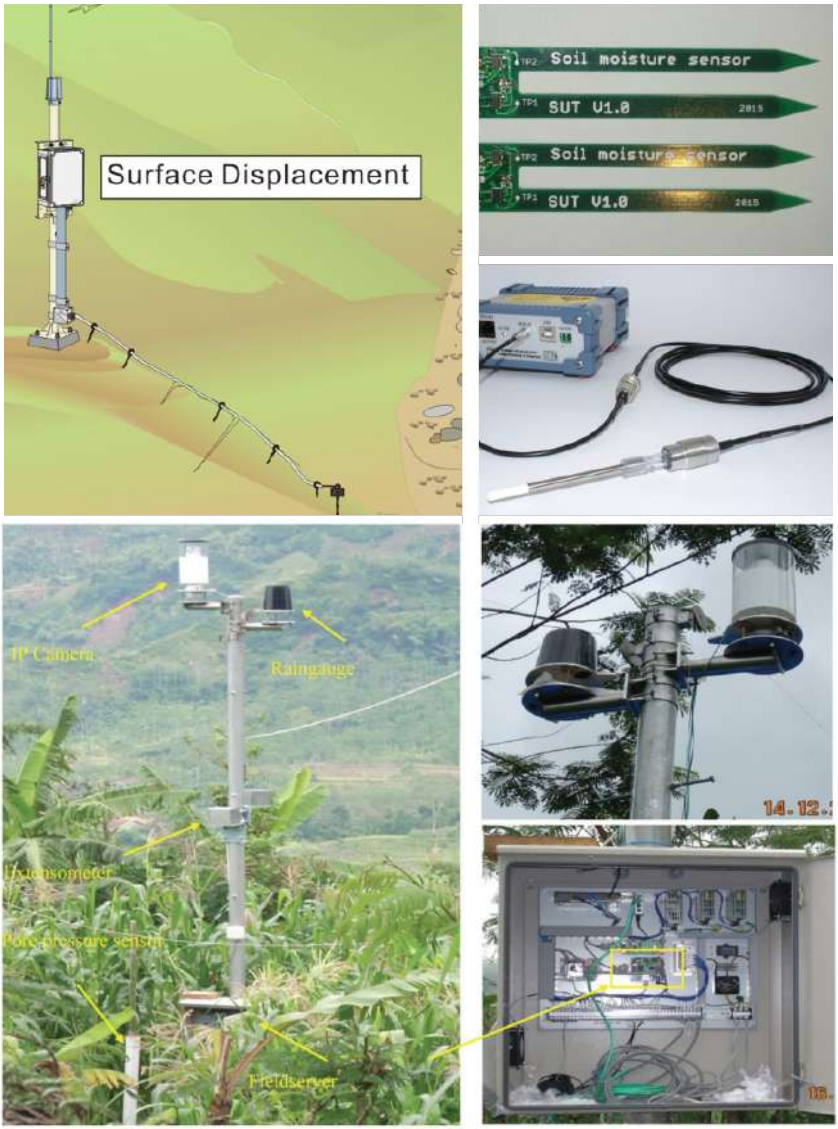
ค่าการตอบสนองเหล่านี้มาจากอุปกรณ์ตรวจวัดในสนามอย่างต่อเนื่อง (real time) เพื่อวัดความชื้นในดิน ความดันน้ำในดิน และ/หรือ การเคลื่อนตัวของลาดดิน (รูปที่ 3.6) โดยอาจวัดค่าการตอบสนองประเภทใดประเภทหนึ่งหรือทุกประเภท โดยอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นแบบต่อเนื่องจะถูกใช้เป็นอุปกรณ์พื้นฐานในการติดตามการตอบสนองของลาดดิน เนื่องจากปัจจัยกระตุ้นหลักที่ทำให้เกิดดินถล่มคือฝน ซึ่งมีผลทำให้ความชื้นในดินเปลี่ยนแปลงไป และอุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นแบบต่อเนื่องมีราคาถูกเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ตรวจวัดการตอบสนองประเภทอื่น อีกทั้งข้อมูลที่อ่านได้มีความเสถียรมากกว่า

ในการประเมินความเสี่ยงภัยทำโดย นำเข้าค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ข้างต้นเพื่อไปคำนวณหรือประเมินเสถียรภาพของลาดดิน รวมทั้งคาดการณ์โอกาสที่จะเกิดเหตุดินถล่มในระยะเวลาอันใกล้ (ภายใน 1-3 วัน) ด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพที่เหมาะสม ซึ่ง**แบบจำลองเชิงกายภาพ**ที่ใช้มีทั้ง

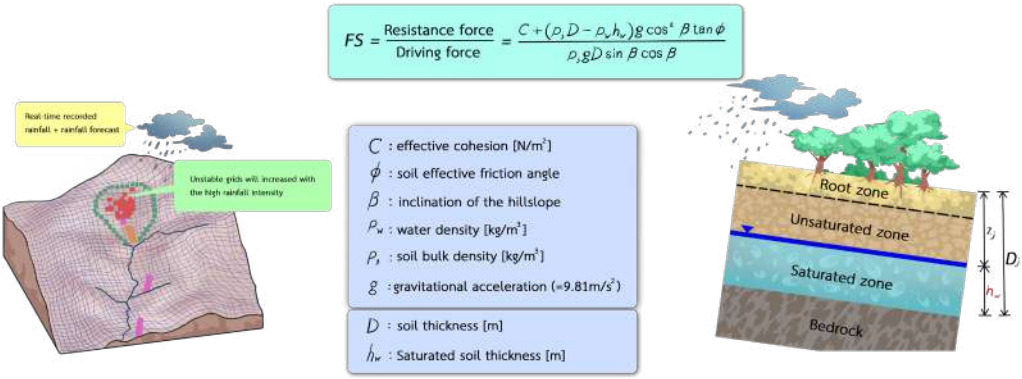
1 แบบจำลองเชิงพฤติกรรม ในแบบจำลองประเภทนี้จะมีการนำข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดไปคำนวณค่าตัวแปรแสดงสภาวะของดิน เช่น หน่วยแรง (stress) ความเครียด (strain) ในดิน จากนั้นจึงนำตัวแปรสภาวะไปเข้าแบบจำลองที่ใช้อธิบายพฤติกรรมทางวิศวกรรมของลาดดิน (Constitutive models) เพื่อประเมินเสถียรภาพของลาดดิน แบบจำลองประเภทนี้มีทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (รูปที่ 3.7) แบบจำลองเชิงตัวเลข (รูปที่ 3.8)

2 แบบจำลองเชิงประสบ เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากข้อมูลเหตุการณ์ดินถล่มที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ร่วมกับตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติเพื่อ

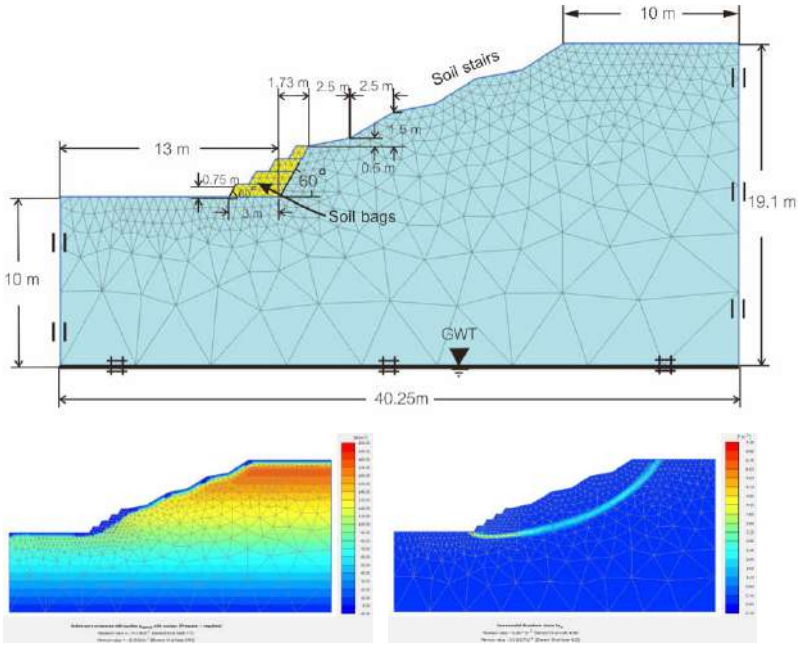
พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างเหตุดินถล่มและตัวแปรที่คาดว่าจะเกี่ยวข้อง จากนั้นจึงนำไปเสนอเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุดินถล่มและตัวแปรที่ผ่านการพิสูจน์ความสัมพันธ์แล้ว



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์จัดการตอบสนองต่อเนื่อง
ด้านซ้ายบน: การเคลื่อนตัวของมวลดิน
มุมขวาบน: ความชื้นในดิน (อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ 2559)
มุมล่างขวา: ความดันคาพิวารีในดิน (www.e-test.eu)
ด้านล่าง: ตัวอย่างสถานีเพื่อใช้ในการเตือนภัยดินถล่ม (Sassa et al., 2009)



รูปที่ 3.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณเสถียรภาพของลาดดิน



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขในการคำนวณเสถียรภาพของลาดดิน
(ที่มา: รายงานฉบับสมบูรณ์ การคำนวณเสถียรภาพของลาดดินก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยวิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์ เสนอมูลนิธิพลังที่ยั่งยืน)

เนื่องจากข้อเสนอจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ชนิดนี้กำลังเป็นที่นิยมในเชิงวิจัย จึงมีการเสนอค่อนข้างหลากหลาย ผู้แต่งจึงยกตัวอย่างผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ประเภทนี้เพียงบางส่วนเท่านั้น

Chinkulkijniwat และคณะ (2016, 2018) เสนอจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายความชื้นในดิน ที่ความรุนแรงฝนต่าง ๆ แล้วนำความชื้นที่คำนวณได้ไปประเมินเสถียรภาพของลาดดินที่ไม่มีและมีค่าการยึดเกาะ และเสนอว่าสำหรับดินที่ไม่มีค่าการยึดเกาะ

- **ลาดดินที่มีมุมลาดน้อยกว่ามุมกองตัว** ถือว่าเป็นลาดดินที่มีความเสี่ยงต่ำ แนะนำให้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นที่ระดับลึกเท่านั้น

- **ลาดดินที่มีมุมลาดระหว่าง 1.00-1.05 เท่าของมุมกองตัว** การวิบัติสามารถเกิดได้ทั้งระดับลึกและตื้น ขึ้นกับความรุนแรงของฝน ถือเป็นลาดดินที่มีความเสี่ยงสูงให้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นทั้งระดับตื้น และระดับลึก

- **ลาดดินที่มีมุมลาดมากกว่า 1.05 เท่าของมุมกองตัว** การวิบัติจะเกิดในระดับตื้นถึงตื้นมาก ถือเป็นลาดดินที่มีความเสี่ยงสูงที่สุด ไม่ควรทำกิจกรรมทุกประเภทในพื้นที่ดังกล่าว

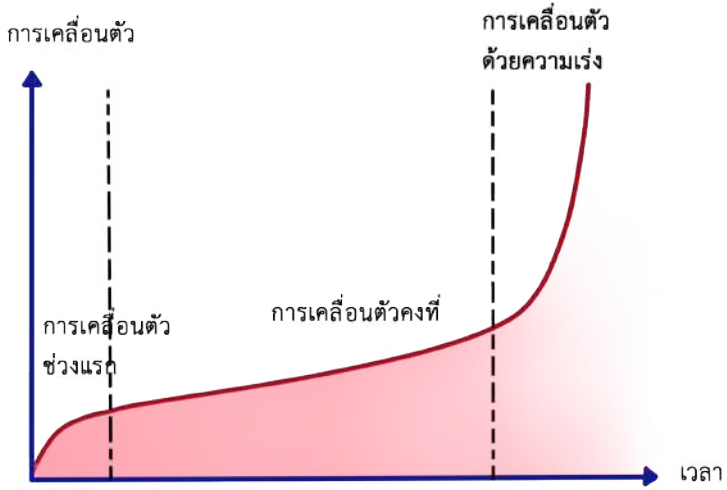
- **ส่วนลาดดินที่มีค่าการยึดเกาะ** พบว่าค่าการยึดเกาะจะช่วยเพิ่มความลึกของระนาบวิบัติ และลดอิทธิพลจากความรุนแรงของฝนต่อความลึกของระนาบวิบัติ ทำให้สามารถคาดการณ์ความลึกของระนาบวิบัติได้ง่าย และการเตือนภัยจะทำได้ง่ายและแม่นยำขึ้น

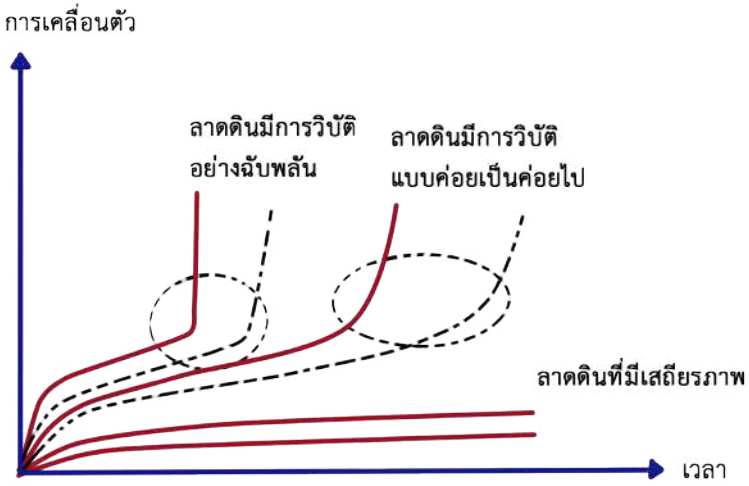
Saito (1969) เสนอการเคลื่อนตัวของลาดดินเป็นตัวแปรในการกำหนดระดับการเตือนภัยดินถล่ม โดยพบว่า**การเคลื่อนตัวของของลาดดินสามารถแบ่งออกเป็นสามระยะ** ได้แก่ (รูปที่ 3.9)

- **ระยะเริ่มการเคลื่อนตัว** ในช่วงนี้จะมีอัตราการเคลื่อนตัวต่อเวลาสูงในตอนแรก และค่อย ๆ ลดลงจนมีค่าคงที่ ขนาดของการเคลื่อนตัวระยะนี้จะมีค่าน้อย

- **ระยะเคลื่อนตัวคงที่** ในช่วงนี้ลาดดินจะมีอัตราการเคลื่อนตัวต่อเวลาลดลง แต่จะมีการเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลา เป็นระยะที่กินเวลายาวนานกว่าทุกระยะ

- **ระยะเคลื่อนตัวด้วยความเร่ง** อัตราการเคลื่อนตัวต่อเวลาจะกลับมามีค่าสูงอีกครั้งเหมือนระยะเริ่มมีการเคลื่อนตัว แต่อัตราการเคลื่อนตัวต่อเวลาจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ และมีระยะเคลื่อนตัวสูงมาก นำไปสู่การวิบัติของลาดดินโดยสมบูรณ์





รูปที่ 3.9 การเคลื่อนตัวของลาดดินในช่วงต่างๆที่เสนอโดย Saito (1969)

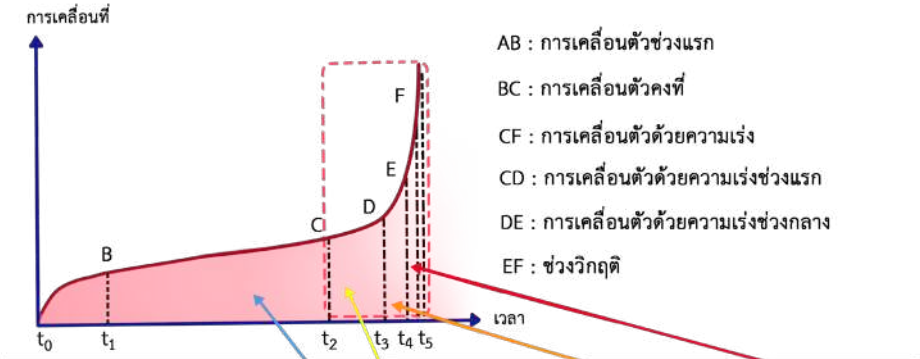
นอกจากนี้ Saito (1969) ยังจัดประเภทของลาดดินจาก**รูปแบบการเคลื่อนตัวของลาดดินกับเวลาได้ 3 ประเภท** คือ

- **การเคลื่อนตัวของลาดดินที่มีเสถียรภาพ** ลาดดินประเภทนี้จะมีเสถียรภาพสูง อาจเกิดการเคลื่อนตัวจากปัจจัยภายนอกบางอย่าง แต่สามารถฟื้นฟูเสถียรภาพของมันเองได้อย่างช้า ๆ ทำให้ในระยะยาวอัตราการเคลื่อนตัวกับเวลามีค่าเป็นศูนย์ และลาดดินกลับมามีเสถียรภาพอีกครั้ง

- **การเคลื่อนตัวของลาดดินแบบค่อยเป็นค่อยไป** การวิบัติแบบนี้ลาดดินจะมีอัตราการเคลื่อนตัวคงที่เป็นเวลานานก่อนที่จะเข้าสู่ระยะเคลื่อนตัวด้วยความเร่ง ตัวอย่างของการวิบัติแบบนี้ คือ ลาดดินถล่มที่บริเวณโรงแรมเซ็นทรัลฮิลล์ บ้านสันติคีรี ตำบลแม่สลองนอก อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ซึ่งได้กล่าวถึงในบทที่ 1

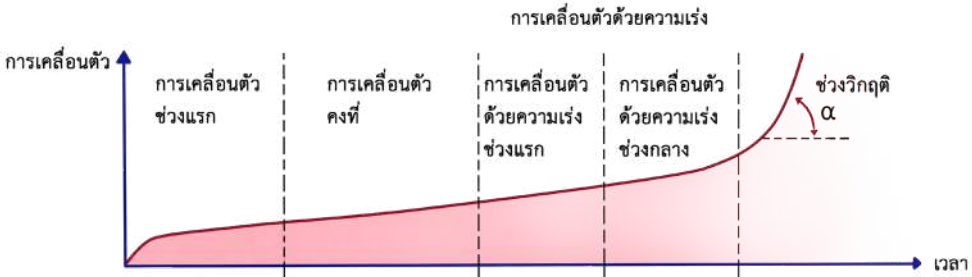
- **การเคลื่อนตัวของลาดดินที่จะเกิดการวิบัติอย่างรวดเร็ว** การวิบัติแบบนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยกราฟการเคลื่อนตัวกับเวลาจะมีลักษณะกระชากขึ้นลงตลอดเวลาไม่ราบเรียบเหมือนกราฟที่อ่านได้จากการเคลื่อนตัวประเภทอื่น ตัวอย่างของการวิบัติแบบนี้ คือ ลาดดินถล่มที่บ้านห้วยขาย ตำบลบ่อเกลือเหนือ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน ซึ่งได้กล่าวถึงในบทที่ 1

สำหรับการเตือนภัยจากการเคลื่อนตัวของดินจะแยกระดับการเตือนเป็น 4 ระยะ ดังรูปที่ 3.10 โดยระยะ 1 จะเป็นช่วงที่ดินมีอัตราการเคลื่อนตัวกับเวลาค่อนข้างคงที่ ระยะ 2 เป็นช่วงที่อัตราการเคลื่อนตัวกับเวลาของดินมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากมีค่าคงที่อยู่เป็นระยะเวลาหนึ่ง ระยะ 3 และ 4 มีช่วงเวลาค่อนข้างสั้นการเคลื่อนตัวจะมีอัตราเร่งสูงขึ้นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามอัตราเร่งของดินก่อนเกิดการวิบัติมักมีค่าน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์ ก่อนที่การเคลื่อนตัวของดินจะเข้าสู่ระยะ 3 และการพัฒนาจากระยะ 3 ไปสู่ระยะ 4 จนกระทั่งวิบัติ จะเกิดขึ้นค่อนข้างเร็ว การใช้อัตราเร่งเป็นเกณฑ์ในการเตือนภัยจึงไม่เหมาะสม Saito (1969) แนะนำให้ใช้ตัวแปรที่เป็นตัวแทนของอัตราการเคลื่อนตัวกับเวลา คือมุมสัมผัสของเส้นแสดงการเคลื่อนตัวกับเวลา (มุม α) โดยกำหนดระดับการเตือนภัยแสดงดังรูปที่ 3.11



ระดับการเตือนภัย	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	ระดับ 4
ระดับขั้นอันตราย	ต่ำ	ปานกลาง	มาก	สูง
รหัสสีเตือนภัย	ฟ้า	เหลือง	ส้ม	แดง

รูปที่ 3.10 ระดับการเตือนภัยจากการเคลื่อนตัวของดิน (Saito, 1969)

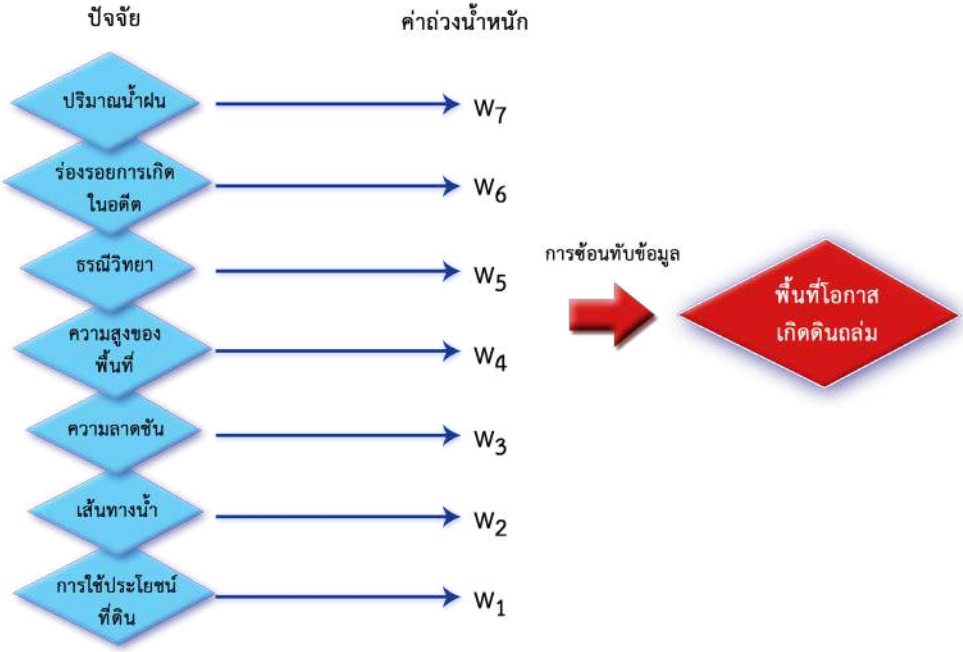


ระดับการเตือนภัย	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	ระดับ 4
มุมสัมผัส	$\alpha \approx 45^{\circ}$	$45^{\circ} < \alpha < 80^{\circ}$	$80^{\circ} \leq \alpha < 85^{\circ}$	$\alpha \geq 85^{\circ}$
FS	1.0-0.5	0.9-1.0		<0.95
ความเร่ง	ขึ้นลงอยู่ในระดับต่ำ			เพิ่มขึ้นฉับพลัน

รูปที่ 3.11 มุมสัมผัสของเส้นการเคลื่อนตัวกับเวลาและระดับการเตือนภัย (Saito, 1969)

3.2.3) เกณฑ์เตือนภัยดินถล่มในประเทศไทย

ประเทศไทยมีการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มโดยหน่วยงานของรัฐ ได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน และกรมทรัพยากรธรณี แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มที่จัดทำขึ้นมีทั้งระดับชุมชน (มาตราส่วน 1:10000) ระดับจังหวัด และระดับประเทศ การจัดทำแผนที่เสี่ยงภัย จะใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) โดยทำการวิเคราะห์ด้วยโดยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม ผ่านกระบวนการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมแก่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม ได้แก่ ความสูงของพื้นที่ ปริมาณฝนเฉลี่ยในพื้นที่ ลักษณะทางธรณีวิทยา ความชันของลาดดิน ชนิดของดิน และการใช้พื้นที่ แต่ละปัจจัยมีคะแนนของปัจจัยนั้น ๆ เช่น ลาดดินที่มีความชันสูงจะมีคะแนนสูงกว่าลาดดินที่มีความชันต่ำ ความสูงของพื้นที่ที่อยู่ระดับสูงจะมีคะแนนสูงกว่าพื้นที่ที่อยู่ระดับต่ำ เป็นต้น จากนั้นรวมคะแนนของทุกปัจจัยที่ผ่านการถ่วงน้ำหนักแล้วจะได้เป็นคะแนนระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม แล้วจึงจัดระดับความเสี่ยงภัยดินถล่มจากคะแนนความอ่อนไหวที่คำนวณได้ (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

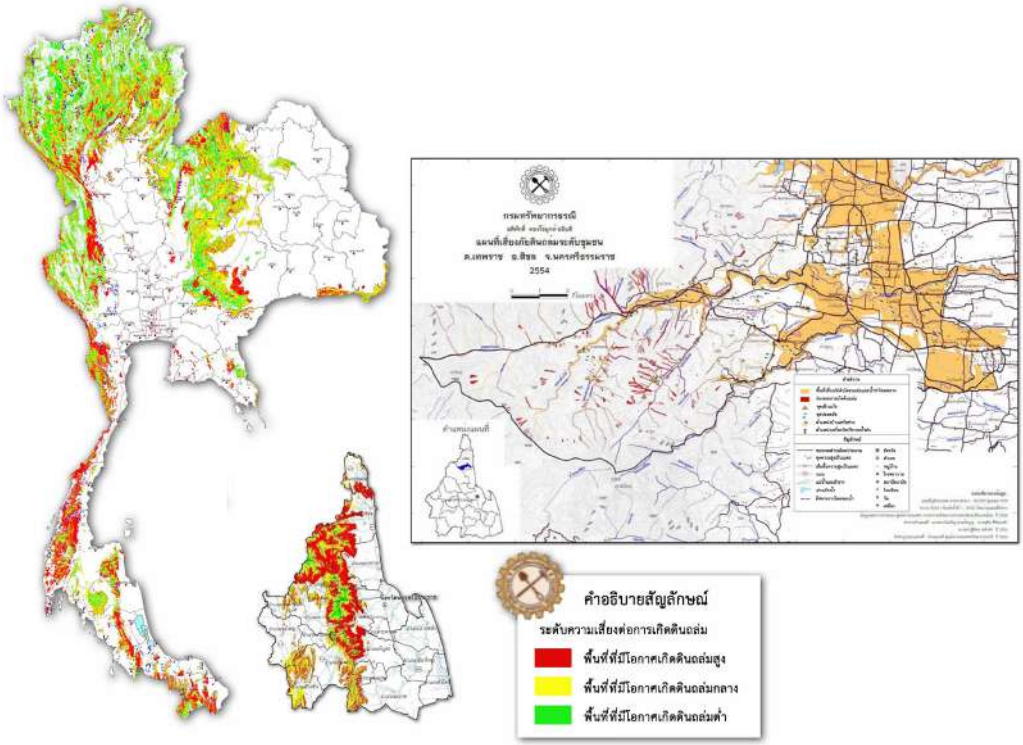
แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับประเทศ และระดับจังหวัด จะจัดให้พื้นที่มีความเสี่ยงดินถล่มเมื่อพื้นที่มีมุมความลาดเอียงมากกว่า 30 องศา โดยกำหนดระดับความเสี่ยงภัยดินถล่มออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่

• พื้นที่เสี่ยงดินถล่มระดับ 1 (สีแดง) เป็นพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มเมื่อมีน้ำฝนมากกว่า 100 มิลลิเมตร ใน รอบ 24 ชั่วโมง

• พื้นที่เสี่ยงดินถล่มระดับ 2 (สีเหลือง) เป็นพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มเมื่อมีน้ำฝนมากกว่า 200 มิลลิเมตร ในรอบ 24 ชั่วโมง

• พื้นที่เสี่ยงดินถล่มระดับ 3 (สีเขียว) เป็นพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มเมื่อมีน้ำฝนมากกว่า 300 มิลลิเมตร ในรอบ 24 ชั่วโมง

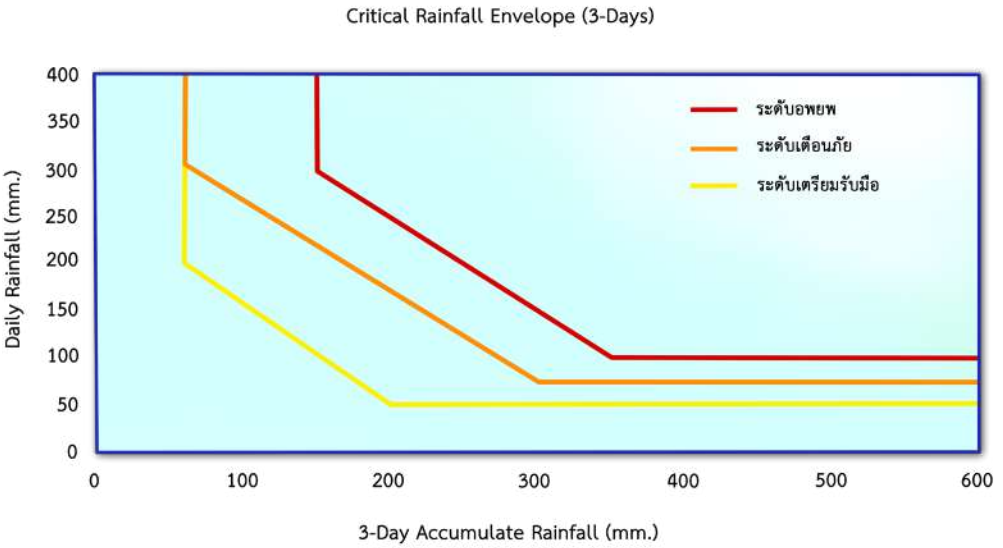
ส่วนแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชน จะระบุขอบเขตของพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม พื้นที่น้ำป่าไหลหลากและน้ำท่วมฉับพลัน ตำแหน่งหมู่บ้านที่ได้รับผลกระทบ ตำแหน่งบ้านที่เสี่ยงภัย สถานที่ปลอดภัยสำหรับจัดตั้งศูนย์อพยพชั่วคราว ตำแหน่งบ้านของอาสาสมัครเครือข่ายเฝ้าระวังแจ้งเตือนดินถล่ม ตำแหน่งจุดวัดน้ำฝน ตำแหน่งจุดเฝ้าระวังน้ำป่าไหลหลาก



รูปที่ 3.13 แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับประเทศ ระดับจังหวัด และระดับชุมชน (จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี)

การเตือนภัยประจำวันจะแจ้งปริมาณน้ำฝนในรอบ 24 ชั่วโมงที่วัดได้จากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติของกรมทรัพยากรธรณีที่ติดตั้งในจุดเสี่ยงภัยต่าง ๆ ทั่วประเทศแล้วประกาศไปยังเครือข่ายเฝ้าระวังแจ้งเตือนภัยดินถล่ม นอกจากรายงานสถานการณ์ประจำวันแล้วยังมีการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนและเตือนภัยล่วงหน้าจากเกณฑ์เตือนภัยที่ชื่อว่า “เอฟโมเดล” ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เกิดจากการพัฒนาร่วมกันระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กับสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนก.) โดยตัวแปรน้ำฝนที่ใช้ในแบบจำลองนี้ คือ ปริมาณฝนสะสมในรอบ 24 ชั่วโมง และปริมาณฝนสะสมในรอบ 3 วัน และ**แบ่งระดับการเตือนเป็น 3 ระดับ** (รูปที่ 3.14) ได้แก่

- ระดับเตรียมรับมือ (Alert)
- ระดับเตือนภัย (Alarm)
- ระดับอพยพ (Action)



รูปที่ 3.14 เกณฑ์น้ำฝนระดับต่างๆในเอฟโมเดล

3.2.4) สรุป

เกณฑ์เตือนภัยดินถล่มที่ใช้ปัจจัยกระตุ้นเป็นตัวแปรในการกำหนดจุดเตือนภัย จะใช้การกำหนดเกณฑ์ด้วยวิธีเชิงประสบ กล่าวคือ **เป็นการนำข้อมูลน้ำฝนที่เกี่ยวข้องกับเหตุดินถล่มมารวบรวมเพื่อ**

1) ยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างเหตุดินถล่มและตัวแปรน้ำฝนที่คาดว่าจะนำไปใช้เป็นตัวแปรในเกณฑ์เตือนภัย

2) หากสามารถยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างเหตุดินถล่มและตัวแปรน้ำฝนได้ จึงนำ

ตัวแปรน้ำฝนนั้นไปกำหนดเกณฑ์สำหรับเตือนภัยตามวิธีที่แสดงดังรูป 3.3

เกณฑ์ประเภทนี้ใช้ค่าน้ำฝนในการเฝ้าระวังทำให้ระบบเตือนภัยมีความเข้าใจง่าย ค่าใช้จ่ายใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้มี **ข้อจำกัด**ที่พึงทราบดังนี้

- ลักษณะของเกณฑ์เชิงประสบซึ่งได้จากการรวบรวมข้อมูลเหตุดินถล่มในพื้นที่หนึ่งมาสร้างเป็นเกณฑ์ในการเตือนภัย จึงไม่ควรนำเกณฑ์ที่สร้างได้ในพื้นที่หนึ่งไปใช้เป็นเกณฑ์ในพื้นที่อื่น นอกจากนี้ความแม่นยำของเกณฑ์ขึ้นกับคุณภาพและจำนวนของข้อมูล

- ข้อมูลน้ำฝนที่ใช้อาจมีความแตกต่างกัน เนื่องจากการกำหนดความหมายของข้อมูลน้ำฝน เช่น ความรุนแรงของฝน เป็นค่าความรุนแรงจริงของฝนเฉลี่ยรายชั่วโมง หรือเฉลี่ยรายวัน โดยทั่วไปมักใช้ความรุนแรงฝนเป็นค่าเฉลี่ยรายวัน คือนำปริมาณสะสมของน้ำฝนใน 1 วันหารด้วยจำนวนชั่วโมง 24 ชั่วโมง เป็นความรุนแรงฝนเฉลี่ยรายวัน หากในระหว่างวันมีฝนตกหนักเป็นเวลาสั้น ๆ และเป็นเหตุให้เกิดดินถล่ม หากข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ยทั้งวัน การตีความของแบบจำลองอาจคลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้การตีความฝนปัจจุบัน กับฝนครั้งก่อน ยังขึ้นกับการนิยามของผู้รวบรวมข้อมูล และความละเอียดของข้อมูลที่มี เช่นในกรณีที่มีฝนตกหนักเบาสลับกันตลอดเป็นเวลานานจนเกิดเหตุดินถล่ม บางเกณฑ์อาจพิจารณาว่าเป็นฝนปัจจุบัน บางเกณฑ์อาจพิจารณาฝนแบบนี้แยกออกเป็นฝนปัจจุบัน และฝนครั้งก่อน โดยกำหนดนิยามบางอย่างเพิ่มเติม เช่น หากฝนมีการตกต่อเนื่องกันเป็นเวลานานแต่มีความรุนแรงไม่สม่ำเสมอ จะแยกฝนปัจจุบัน และฝนครั้งก่อน โดยใช้ช่วงที่ฝนมีความรุนแรงน้อยกว่า 3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลาต่อเนื่องกันนานกว่า 6 ชั่วโมง เป็นตัวกำหนดหรือหากมีฝนตก ๆ หยุด ๆ อาจใช้ช่วงที่มีการหยุดของฝนเป็นเวลานานกว่า 6 ชั่วโมง เป็นการแบ่งระหว่างฝนปัจจุบันและฝนครั้งก่อน เป็นต้น

- ในประเทศไทยเกณฑ์เตือนภัยจากค่าน้ำฝนที่ใช้กันทั่วไปคือ “เอพีโมเดล” ซึ่งตัวแปรน้ำฝนที่ใช้คือ ปริมาณฝนสะสมในรอบ 24 ชั่วโมง และปริมาณฝนสะสมในรอบ 3 วัน เนื่องจากเหตุดินถล่มในประเทศไทยจะเกิดหลังจากฝนตกหนักเป็นเวลา 3-4 วัน (สุทธิศักดิ์ สรลพธ์ และธีรไนย์ นุ้ยมาก, 2554) ดังนั้นเกณฑ์เตือนภัยที่ใช้เอพีโมเดลจึงเป็นเกณฑ์เตือนภัยที่ใช้ปริมาณฝนสะสมในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นตัวแปรในการเตือนภัย

สำหรับเกณฑ์เตือนภัยที่ใช้การตอบสนองเป็นตัวแปรในการกำหนดเกณฑ์ ต้องการอุปกรณ์ตรวจวัดแบบต่อเนื่องซึ่งมีราคาสูง ค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดเป็นตัวแทนของพื้นที่เฉพาะบริเวณนั้น ๆ นอกจากนี้ ยังต้องการคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบค่อนข้างสูง แม้ว่าเกณฑ์นี้จะมีความแม่นยำสูง แต่สามารถใช้ได้เฉพาะบริเวณ การใช้เกณฑ์ประเภทนี้จึงยังค่อนข้างจำกัด มักใช้เสริมเกณฑ์เตือนภัยที่ใช้ค่าน้ำฝน โดยใช้ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยดินถล่มสูงเมื่อเกิดดินถล่มจะเกิดผลกระทบสูงเกณฑ์ประเภทนี้มักใช้ความชื้นเป็นตัวแปรในการติดตามและประเมินความเสี่ยง แต่ในประเทศที่มีแผ่นดินไหวค่อนข้างมาก เช่น ประเทศญี่ปุ่น การเกิดดินถล่มอาจเกิดจากแผ่นดินไหวได้ด้วย ดังนั้นการติดตามการเคลื่อนตัวของดินจึงเป็นทางเลือกที่นิยมใช้ในประเทศดังกล่าว

3.3 ผลกระทบจากดินถล่ม และแนวทางการจัดการกับภัยดินถล่ม

ภัยดินถล่มเป็นภัยพิบัติที่ถูกกระตุ้นด้วยอุบัติการทางธรรมชาติ **ภัยดินถล่มไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่สามารถลดความรุนแรงได้หากมีการบริหารจัดการกับภัยดินถล่มที่ดี** โดยเฉพาะชุมชนในพื้นที่เสี่ยงภัย ต้องมีความเข้าใจในการรับมือกับภัยดินถล่ม รู้บทบาท และมีส่วนร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การดำเนินการทุกขั้นตอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามมักพบว่าประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยยังไม่มีความตระหนักถึงผลกระทบจากภัยดินถล่มอย่างเพียงพอ (Knocke and Kolivras, 2007)

ดังนั้น การสร้างความตระหนักในภัยและผลกระทบที่ประชาชนจะได้รับ จะเป็นการกระตุ้นให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการภัยดินถล่มเพิ่มขึ้น หัวข้อนี้จะกล่าวถึง ผลกระทบด้านต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นกับประชาชนเมื่อเกิดเหตุดินถล่ม และแนวทางการจัดการกับภัยดินถล่มที่ประชาชนควรต้องทราบ

3.3.1) ผลกระทบจากดินถล่ม

ผลจากภัยดินถล่มมีผลกระทบทั้งในระดับประเทศจนถึงระดับบุคคล ในที่นี้จะกล่าวถึงผลกระทบระดับบุคคลในด้านต่าง ๆ เท่านั้น ได้แก่ ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ ผลกระทบด้านสังคม และผลกระทบด้านจิตใจ อันที่จริงแล้วผลกระทบด้านต่าง ๆ ไม่สามารถแยกออกจากกันได้อย่างสิ้นเชิง ผลกระทบด้านหนึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดผลกระทบอีกด้านหนึ่งได้ในลักษณะของปฏิกิริยาวงรอบอย่างไม่มีสิ้นสุด ดังนั้นการเยียวยาผู้ได้รับผลกระทบจึงต้องกระทำด้วยความเข้าใจ และรอบด้าน

ผลกระทบเศรษฐกิจ

การเกิดดินถล่มก่อให้เกิดความเสียหายของทรัพย์สิน และเรือกสวนไร่นา เป็นเหตุให้ขาดโอกาสในการประกอบอาชีพอย่างที่ควรเป็น นำไปสู่การเป็นหนี้สินจากการกู้ยืมเพื่อมาซ่อมแซมสิ่งปลูกสร้างและชดเชยวัสดุอุปกรณ์ที่เสียหายไป หากรุนแรงถึงระดับที่ทำให้เสียชีวิตหรือพิการ ยิ่งส่งผลกระทบรุนแรงต่อบุคคลและสมาชิกในครัวเรือน ผลกระทบทางเศรษฐกิจอาจมาโดยทางอ้อมก็ได้เช่นกัน จิราภรณ์ สรรพวีรวงศ์ และนิดารัตน์ ชูวิเชียร (2558) ศึกษาผลกระทบจากเหตุน้ำป่าและดินโคลนถล่มอำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช ในปี พ.ศ. 2554 พบว่า ประชาชนในพื้นที่มากถึงร้อยละ 38 ระบุว่า หลังเกิดเหตุมีนักท่องเที่ยวเข้ามาในพื้นที่น้อยลง เนื่องจากเหตุการครั้งนั้นทำให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่เคยมีสถานที่พักผ่อนทางธรรมชาติที่สวยงาม ส่งผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจในภาพรวมของพื้นที่

ผลกระทบด้านสังคม

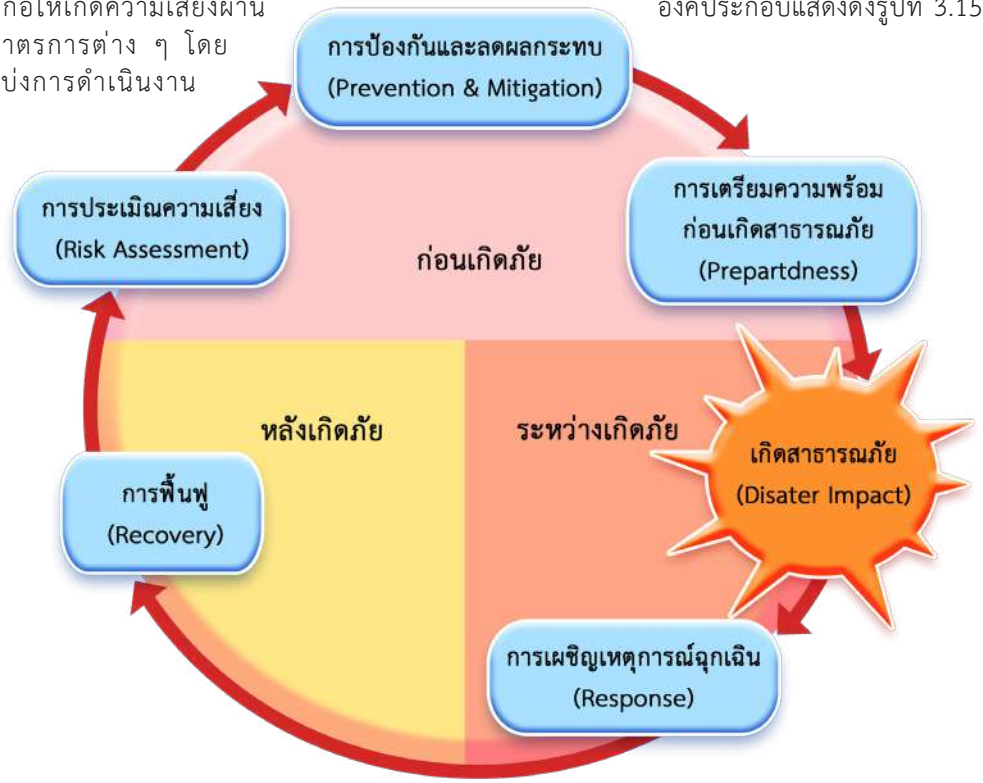
ในระหว่างเกิดภัยพิบัติ หากมีการเตรียมการไม่ดีพอจะเกิดภาวะคลานแคลนปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีพ ทั้ง อาหาร ยารักษาโรค เครื่องนุ่งห่ม และที่อยู่อาศัย ทำให้เกิดการแย่งชิง ปัจจัยในการดำรงชีพ กลายเป็นความขัดแย้งระหว่างบุคคล กลุ่ม หรือชุมชน ในระยะยาว ในทางกลับกันการประสบภัยร่วมกันอาจทำให้เกิดความเห็นอกเห็นใจ มีความสามัคคีกันมากขึ้น เนื่องจากหลังเกิดเหตุดินถล่มทุกคนในชุมชนมีเป้าหมายร่วมกันคือ ฟื้นฟูสภาพของชุมชนให้กลับคืนสู่สภาพเดิมให้ได้เร็วที่สุด (จิราภรณ์ สรรพวีรวงศ์ และนิดารัตน์ ชูวิเชียร, 2558)

ผลกระทบด้านจิตใจ

เป็นผลกระทบที่ส่งผลรุนแรงและติดตัวผู้ประสบเหตุไปเป็นเวลานาน ผู้เคยประสบเหตุจะมีความวิตกกังวลทุกครั้งที่ฝนตกหนัก มีความรู้สึกไม่มั่นคง มีความหวาดผวาอย่างรุนแรง เกิดภาวะซึมเศร้าเครียด บางคนตกอยู่ในภาวะที่สิ้นหวัง ช่วยเหลือตัวเองไม่ได้ แยกตัวออกจากสังคม มักดำเนินชีวิตไปวัน ๆ อย่างไร้จุดหมาย อารมณ์แปรปรวนเมื่อถูกกระตุ้น ไม่มีสมาธิในการทำงาน มีอาการเหม่อลอย ซึ่งล้วนมีผลกระทบต่อการดำเนินชีวิต รวมทั้งสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดปัญหาสุขภาพในระยะยาว แม้แต่ผู้ที่ไม่ได้รับผลกระทบโดยตรง หรือได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยก็สามารถเกิดภาวะเครียดได้ แต่คนกลุ่มนี้สามารถปลีกตัวออกจากภาวะดังกล่าวได้ง่ายกว่าผู้ที่ได้รับผลกระทบโดยตรง

3.3.2) การจัดการความเสี่ยงจากภัยดินถล่ม

คือการดำเนินการใด ๆ เพื่อจัดการความเสี่ยงจากภัยดินถล่ม โดยการลดปัจจัยต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงผ่านมาตรการต่าง ๆ โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ก่อนเกิดภัยดินถล่ม ขณะเกิดภัยดินถล่ม และหลังเกิดภัยดินถล่ม โดยมีองค์ประกอบแสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วงจรการจัดการดำเนินงานเพื่อจัดการความเสี่ยงจากภัยดินถล่ม
(ดัดแปลงจากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย)

3.3.2.1) ก่อนเกิดภัยดินถล่ม

การจัดการกับภัยดินถล่มช่วงก่อนเกิดเหตุดินถล่มประกอบด้วย การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ของพื้นที่ แล้วนำผลประเมินความเสี่ยงไปใช้ในการวางแนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบให้ได้มากที่สุด (Prevention and Mitigation) รวมถึงการเตรียมความพร้อมก่อนเกิดภัยดินถล่ม (Preparedness) โดยมี รายละเอียดดังนี้

ก) การประเมินความเสี่ยง

องค์ประกอบของความเสี่ยงประกอบด้วยปัจจัย 4 ประการ ได้แก่ การเกิดภัย ภาวะเปิดรับความเสี่ยง (ความล่อแหลม) การมีความเปราะบาง และการขาดศักยภาพ โดยมีความสัมพันธ์ ดังนี้ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณะภัย, 2557)

สมการที่ 3.2

$$\text{ความเสี่ยง} = \frac{\text{ภัย} \times \text{ความล่อแหลม} \times \text{ความเปราะบาง}}{\text{ศักยภาพ}}$$

โดยมีนิยาม ดังนี้

- **ภัย** ในที่นี้คือภัยดินถล่มโดยต้องพิจารณาจากขนาดและความถี่ของการเกิดดินถล่มในพื้นที่นั้น ๆ

- **ความล่อแหลม หรือการเปิดรับความเสี่ยง** คือการที่สิ่งใด ๆ ก็ตาม (บ้านเรือน ทรัพย์สิน เรือกสวนไร่นา ประชาชน สัตว์เลี้ยง ฯลฯ) ที่ดำรงอยู่ใน**พื้นที่ที่อาจเกิดภัยดินถล่ม** ย่อมเปิดรับโอกาสที่จะได้รับความเสียหายจากจากภัยดินถล่มได้ (รูปที่ 3.16)

- **ความเปราะบาง** คือสภาวะใด ๆ ที่ทำให้ชุมชนขาดความสามารถในการรับมือกับภัยพิบัติไม่ตระหนักถึงความเสี่ยง ไม่สามารถป้องกันตนเอง และขาดความสามารถในการฟื้นฟูหลังจากได้รับความเสียหายจากภัยพิบัติ รูปที่ 3.17 แสดงถึงกระบวนการที่ทำให้เกิดความเปราะบาง ซึ่งมีต้นตอมาจากความยากจน ความเชื่อ/ทัศนคติ และฐานะทางเศรษฐกิจ

- **ศักยภาพ** คือขีดความสามารถในการรับมือกับสาธารณภัยของชุมชนนั้น ๆ ไม่ว่าจะอยู่ในรูปธรรม เช่น อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ หรือสิ่งที่เป็นนามธรรม เช่น ความรู้ ทักษะ เทคโนโลยีความสามัคคีของคนในพื้นที่

รูปที่ 3.16 ความล่อแหลมต่อภัยดินถล่ม

พื้นที่ที่อาจเกิดภัยดินถล่ม

โดยทั่วไปลักษณะหมู่บ้านที่เสี่ยงภัยดินถล่ม มี 15 รูปแบบ คือ 1. ตั้งอยู่ในหุบเขาแคบรูปตัววี 2. อยู่ติดกับภูเขาและใกล้กับทางน้ำไหล 3. อยู่บนไหล่เขาที่เป็นตะกอนดินถล่มโบราณ 4. บ้านเรือนปิดร่องเขา 5. ตัดไหล่เขาสร้างบ้านเรือน 6. อยู่ต่ำกว่าถนนที่ตัดไหล่เขา 7. อยู่ใกล้กับถนนบนภูเขาที่ไม่มีการระบายน้ำที่ถูกต้อง 8. บ้านที่มีแท็งก์น้ำขนาดใหญ่อยู่บนไหล่เขาที่สูงกว่า 9. บ้านเรือนบนภูเขาสูงที่ไม่มีการระบายน้ำอย่างเป็นระบบ 10. อยู่ที่ต่ำกว่ารอยดินแยกหรือรอยดินไหลบนเขา 11. อยู่ที่ใกล้และต่ำกว่าพื้นที่เกิดดินถล่ม 12. อยู่ชิดริมตลิ่งตามลำน้ำที่อยู่ห่างจากภูเขาน้อยกว่า 10 เท่าของความสูงภูเขา 13. อยู่บริเวณน้ำลัดโค้ง 14. อยู่หน้าหุบเขาบนตะกอนน้ำพารูปพัดหรือที่ราบเชิงเขาสบห้วย และ 15. อยู่ติดฝาย สะพาน ท่อเหลี่ยม ท่อกลม และปลายทางระบายน้ำล้นของอ่างเก็บน้ำ

รูปที่ 3.17 กระบวนการที่ทำให้เกิดความเปราะบาง

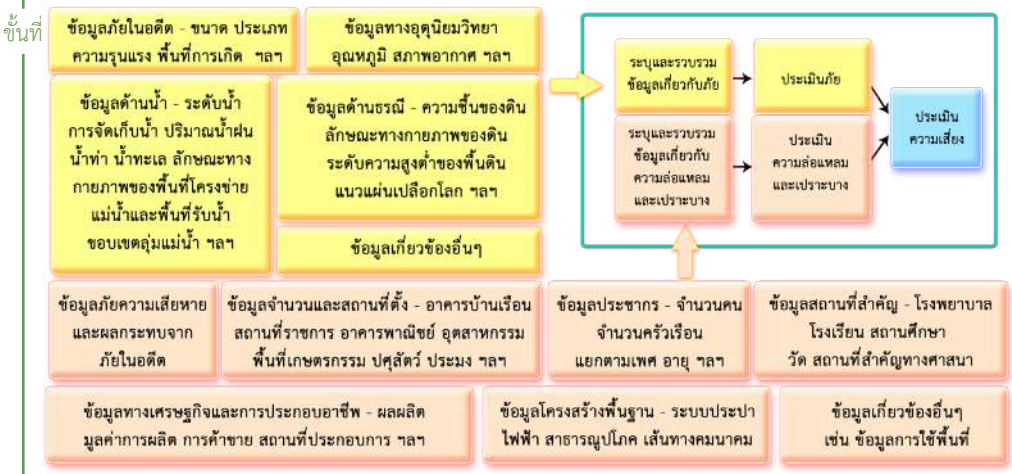
การประเมินความเสี่ยงสามารถทำได้ตั้งแต่หน่วยย่อยระดับครอบครัว ระดับชุมชน จนถึงหน่วยใหญ่ระดับประเทศ การประเมินความเสี่ยงจำต้องทำการประเมินองค์ประกอบของความเสี่ยงให้ครบทุกด้าน และสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้ (ดัดแปลงจากหนังสือ การลดความเสี่ยงจากสาธารณภัย กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2556)

ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

ขั้นที่ 1

การประเมินความเสี่ยง

เป็นการรวบรวมข้อมูลสถานการณ์ปัจจุบันทุกด้านที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อมูลต่าง ๆ ของประชากรในหน่วยที่จะทำการวิเคราะห์การตระหนักถึงภัยในพื้นที่ ทักษะการรับมือกับภัยดินถล่ม ข้อมูลสิ่งปลูกสร้าง อาคารบ้านเรือน สาธารณูปโภคพื้นฐาน ศักยภาพของหน่วยงานภายนอกทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง รวมถึงเหตุการณ์ดินถล่มที่เคยเกิดขึ้นในพื้นที่ที่ตั้งของหน่วยที่ทำการประเมิน หากเป็นพื้นที่ที่เคยถูกประเมินความเสี่ยงแล้วสามารถนำข้อมูลจากการประเมินครั้งก่อนมาเป็นข้อมูลทุติยภูมิได้



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างข้อมูลที่จำเป็นในการประเมินความเสี่ยงภัย

2 การประเมินภัย

เพื่อให้ทราบถึงความรุนแรงที่จะได้รับจากภัยดินถล่มที่จะเกิดขึ้นกับหน่วยที่กำลังพิจารณา โดยมีหัวข้อที่ต้องพิจารณาดังนี้

ประเภทภัย	ขอบเขตพื้นที่
ขนาดและความรุนแรงของภัย	ความเร็วในการเกิดภัย (อย่างฉับพลันหรืออย่างช้าๆ)
ความถี่ในการเกิดภัย	พื้นที่การกระจายตัว
ระยะเวลา	

3 การประเมินความล่อแหลม

เป็นการระบุถึงจำนวนประชากรและสิ่งปลูกสร้างที่ปรากฏอยู่ในขอบเขตของพื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบจากภัยดินถล่ม

4 การวิเคราะห์ความเปราะบางและศักยภาพของหน่วยที่มีต่อภัยดินถล่ม

ทำได้โดยทำความเข้าใจถึงสถานะปัจจุบันของหน่วยที่พิจารณา เข้าใจต้นตอและเหตุผลว่าทำไมหน่วยนั้น ๆ ถึงมีโอกาสได้รับความเสียหาย การวิเคราะห์ความเปราะบางและศักยภาพมีรายละเอียดปลีกย่อยมาก ดังนั้นควรแยกพิจารณาเป็นรายด้าน ดังนี้

- ความเปราะบางและศักยภาพต่อภัยดินถล่มในมิติเชิงสังคม
- ความเปราะบางและศักยภาพต่อภัยดินถล่มในมิติเชิงเศรษฐกิจ
- ความเปราะบางและศักยภาพต่อภัยดินถล่มในมิติเชิงสิ่งแวดล้อม
- ความเปราะบางและศักยภาพต่อภัยดินถล่มในมิติเชิงกายภาพ

5 การวิเคราะห์ระดับความเสี่ยง

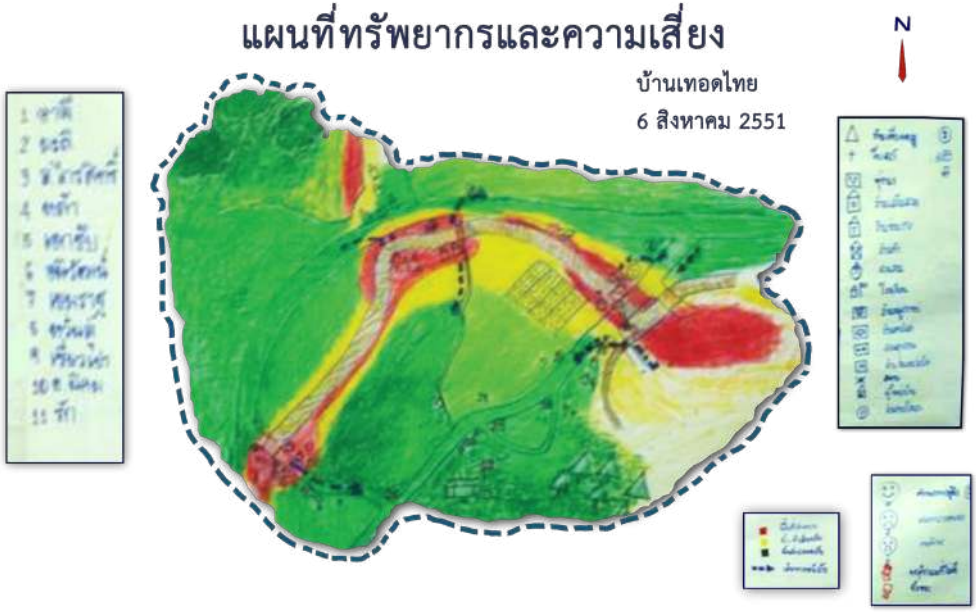
เป็นการนำเอาผลกระทบทางลบที่เกิดจากภัย ความล่อแหลม ความเปราะบางและศักยภาพ มาประมวลร่วมกันเพื่อประมาณระดับผลกระทบ โดยวิธีที่นิยมคือการประเมินความเสี่ยงด้วยการใช้เมตริกซ์ความเสี่ยง (รูปที่ 3.19) โดยใช้โอกาสหรือความถี่ที่จะเกิดภัย และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตามมา นำมาลงคะแนนในเมตริกซ์ความเสี่ยง ผลที่ได้ในตารางจะระบุเป็นระดับความเสี่ยงตัวเลขที่มีค่าสูงบ่งชี้ถึงระดับความเสี่ยงที่สูง ค่าความเสี่ยงเหล่านี้มีประโยชน์ในการแสดงแนวโน้มหรือเปรียบเทียบระดับความเสี่ยง ได้แก่ ความเสี่ยงสูง ความเสี่ยงปานกลาง และความเสี่ยงต่ำ

กระบวนการประเมินความเสี่ยงในระดับครอบครัวและระดับชุมชนมักทำโดยการให้สมาชิกในหน่วยร่วมกันออกความเห็นและวิเคราะห์ถึงภัยและผลกระทบที่เคยเกิดขึ้นกับหน่วยที่กำลังทำการประเมิน โดยมุ่งเน้นไปที่ประวัติและความเสียหายจากภัยดินถล่มที่เคยเกิดขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่ที่ประสบภัยบ่อยครั้ง แล้วจึงวิเคราะห์ความเปราะบางและศักยภาพของหน่วย เช่น โครงสร้างประชากรเป็นชาย หญิง เด็ก คนชรา ผู้พิการมากน้อยเท่าใด วิเคราะห์ถึงสภาพเศรษฐกิจและสังคมของชุมชน เช่น แหล่งรายได้ การประกอบอาชีพ ความสัมพันธ์ของสมาชิกในชุมชน ความสัมพันธ์กับชุมชนข้างเคียง เครื่องมือ อุปกรณ์ที่จำเป็นหากเกิดภัยดินถล่ม การเฝ้าระวังภัย ความตระหนักรู้และทักษะในการเผชิญหน้ากับภัยดินถล่ม โดยพยายามวิเคราะห์ให้รอบด้านที่สุด เครื่องมือที่มักใช้ในกระบวนการมีส่วนร่วมเพื่อประเมินความเสี่ยงภัย คือ แผนที่เสี่ยงภัยระดับชุมชนที่จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี หากไม่มีแผนที่ดังกล่าวสามารถจัดทำขึ้นเองอย่างง่าย ๆ แต่มีความครอบคลุมและเข้าใจได้โดยง่าย (รูปที่ 3.20)

โอกาสหรือความถี่ในการเกิดภัย	ระดับความรุนแรงของผลกระทบ				
	แทบไม่มี (๑)	เล็กน้อย (๒)	ปานกลาง (๓)	ร้ายแรง (๔)	วิกฤต (๕)
มีโอกาสเกิดสูงมาก (๕)	ปานกลาง (๕)	ปานกลาง (๑๐)	สูง (๑๕)	สูง (๒๐)	สูง (๒๕)
มีโอกาสเกิดสูง (๔)	ต่ำ (๔)	ปานกลาง (๘)	ปานกลาง (๑๒)	สูง (๑๖)	สูง (๒๐)
มีโอกาสเกิดปานกลาง (๓)	ต่ำ (๓)	ปานกลาง (๖)	ปานกลาง (๙)	ปานกลาง (๑๒)	สูง (๑๕)
มีโอกาสเกิดน้อย (๒)	ต่ำ (๒)	ต่ำ (๔)	ปานกลาง (๖)	ปานกลาง (๘)	ปานกลาง (๑๐)
มีโอกาสเกิดน้อยมาก (๑)	ต่ำ (๑)	ต่ำ (๒)	ต่ำ (๓)	ต่ำ (๔)	ปานกลาง (๕)

ความเสี่ยงต่ำ | ความเสี่ยงปานกลาง | ความเสี่ยงสูง

รูปที่ 3.19 เมตริกซ์ความเสี่ยง
(ที่มา: การลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย, 2557)



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างแผนที่เสี่ยงภัยระดับชุมชนที่จัดทำขึ้นเองโดยเยาวชนบ้านเทอดไทย จังหวัดเชียงราย (ที่มา:องค์การช่วยเหลือเด็ก อ้างจากหนังสือ การลดความเสี่ยงจากสาธารณภัย กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2556)

หลังจากประเมินความเสี่ยงแล้ว จะต้องมี **กลยุทธ์ในการจัดการความเสี่ยง** ซึ่งมีหลักการกว้าง ๆ 4 ประการได้แก่

1

กำจัดความเสี่ยงให้หมดไป เช่น ย้ายสถานที่ หรือลงทุนเชิงโครงสร้างขนาดใหญ่ในการป้องกันผลกระทบ

2

แก้ไขปัญหาความเปราะบางและล่อแหลม เช่น เสริมความแข็งแรงให้แก่สิ่งปลูกสร้าง

3

เตรียมพร้อมรับมือเช่นการเตือนภัยล่วงหน้า วางแผนอพยพ ให้ข้อมูลประชาชน ซ้อมรับมือเหตุฉุกเฉิน

4

ถ่ายโอนหรือแบ่งปันความเสี่ยง เช่น การทำประกันภัย

ซึ่งกลยุทธ์เหล่านี้จะถูกนำไปพิจารณาในขั้นตอนของการป้องกันและลดผลกระทบ และขั้นตอนการเตรียมความพร้อมก่อนเกิดดินถล่มต่อไป

ข) การป้องกันและลดผลกระทบ

เป็นการดำเนินการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภัยดินถล่ม และหากเกิดภัยดินถล่มขึ้นแล้วต้องเกิดผลกระทบน้อยที่สุด ได้แก่ การเสริมความมั่นคงให้แก่ลาดดิน การติดตั้งระบบเตือนภัย การปรับปรุงลำน้ำและเส้นทางการระบายน้ำ การกำหนดการใช้ประโยชน์พื้นที่ การจัดผังเมือง ผังชุมชน และผังหมู่บ้าน เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของประชากร ลดโอกาสที่ประชากรบางส่วนจะปลูกสร้างบ้านเรือนบนพื้นที่ล่อแหลม การออกกฎหมายเกี่ยวกับการพัฒนาที่ดิน การบังคับใช้กฎหมายอย่างเคร่งครัด เป็นต้น

ค) เตรียมความพร้อม

เป็นการดำเนินงานเพื่อให้สมาชิกของหน่วยมีความพร้อมที่จะเผชิญภัยดินถล่ม ได้แก่ การเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักรสำหรับเผชิญเหตุ การเตรียมเสบียงอาหาร การจัดทำระบบเตือนภัย ทั้งอุปกรณ์ตรวจวัด ระบบอานัติสัญญาน และอุปกรณ์สื่อสาร การเสริมสร้างความรู้และทักษะให้แก่สมาชิกในหน่วย ทำได้จากการถอดบทเรียนจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่อื่น การดูงานชุมชนตัวอย่างที่มีการจัดการภัยดินถล่มได้ดี การเสวนาแลกเปลี่ยนประสบการณ์กับสมาชิกภายในหน่วยและภายนอกหน่วย **การวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค (SWOT)** ของหน่วย การจัดตั้งอาสาสมัครและเครือข่ายเตือนภัย การวางแผนเผชิญเหตุ เส้นทางอพยพ กำหนดพื้นที่ปลอดภัย อาสาสมัครเตือนภัย และการมอบหมายหน้าที่ให้ภาคีที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

SWOT

จุดแข็ง

1) ชุมชนที่เคยประสบภัยพิบัติมาก่อน ทำให้มีประสบการณ์ สามารถเตรียมแผนและซ้อมรับมือกับภัยพิบัติได้อย่างดี

2) การจัดทำระบบข้อมูลที่จำเป็นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะ ข้อมูลเพื่อการเฝ้าระวังและแจ้งเตือนภัย

3) ผู้นำชุมชนสนใจศึกษาหาความรู้และสามารถระดมความช่วยเหลือให้กับชุมชนได้

4) การสื่อสารภายในชุมชนและระหว่างชุมชน/เครือข่าย มี ความชัดเจนและรวดเร็วทันการ

5) การเรียนรู้แลกเปลี่ยนระหว่างชุมชน/เครือข่ายหรือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

6) ประเพณีในการดูแลทรัพยากร

จุดอ่อน

1) คนวัยหนุ่มสาวในชุมชนออกไปทำงานในเมือง ทำให้ ชุมชนมีแต่เด็กกับคนชรา ที่ช่วยเหลือตัวเองไม่ค่อยได้ ยามเกิดภัยพิบัติ

2) เส้นทางเข้าออกชุมชนมีทางเดียว คับแคบและพื้นถนน ไม่มีคุณภาพ ทำให้การสัญจรไปมาในช่วงเกิดภัยพิบัติล่าช้า ไม่ทันการ

3) ชาวบ้านส่วนใหญ่ยังมีรูปแบบการทำเกษตรที่ทำลายป่า และหน้าดิน ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติมากขึ้น

4) บางชุมชน ยังไม่เคยประสบกับเหตุภัยพิบัติโดยตรง จึง ยังไม่มีการจัดการกับภัยพิบัติที่เกิดขึ้นอย่างเต็มรูปแบบ ยัง คงทดลอง เรียนรู้และหาประสบการณ์

โอกาส	อุปสรรค
1) หน่วยงานภาครัฐ เอกชน องค์กรพัฒนาเอกชนและภาค ประชาชนเข้ามาสนับสนุน ให้ความรู้ และช่วยเหลือ 2) สื่อมวลชนให้ความสนใจ ติดตามสนับสนุน และช่วย ระดมทุนให้ความช่วยเหลือ 3) หน่วยงาน สถาบันที่เกี่ยวข้องได้จัดให้มีเวทีแลกเปลี่ยน เรียนรู้เกี่ยวกับการจัดการภัยพิบัติมากขึ้น 4) แหล่งข้อมูลสารสนเทศที่ให้ความรู้เรื่องภัยพิบัติ ที่ สามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้น	1) การช่วยเหลือเยียวยาของหน่วยงานรัฐยังมีความล่าช้า และไม่ตรงกับความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง ทำให้เกิดความรู้สึกไม่เป็นธรรม 2) การช่วยเหลือเยียวยาขององค์กรรัฐและองค์กรเอกชน บางองค์กร ไม่ได้เป็นการช่วยเหลืออย่างแท้จริง เป็นการ จัดฉาก สร้างภาพเพื่อประชาสัมพันธ์องค์กรของตัวเอง เท่านั้น 3) การไม่มีสิทธิ กรรมสิทธิ์ในที่อยู่อาศัย ทำให้ไม่สามารถ รับการชดเชยจากภาครัฐ

รูปที่ 3.21 ตัวอย่าง SWOT จากการถอดบทเรียนเหตุดินถล่มจาก บ้านต้นขนุน อำเภอน้ำปาด บ้านผามูบ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ บ้านท่าคา อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี บ้านทับน้ำเฒ่า อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช บ้านนาคอ อำเภอศรีเชียงใหม่ จังหวัดอุบลราชธานี (ชัยยุทธ ชินณะราศรี, 2558)

3.3.2.2) ระหว่างเกิดภัยดินถล่ม

ระหว่างเกิดภัยดินถล่มหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะเน้นการตอบสนองกับภัยที่เกิดขึ้น โดยให้ความสำคัญกับการรักษาชีวิตของผู้ประสบภัยเป็นหลัก โดยมีการวางแนวทางการปฏิบัติแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ

(1) การบังคับบัญชา การประสานงานระหว่างหน่วยหรือภาคีต่าง ๆ

(2) การกู้ภัยและการรักษาพยาบาล โดยเฉพาะการเข้าถึงพื้นที่ประสบภัย ความพร้อมของบุคลากร และอุปกรณ์ในการกู้ภัยและรักษาพยาบาล

(3) การยังชีพ การจัดตั้งศูนย์อพยพ ศูนย์ประสานงาน และจุดรับกระจายความช่วยเหลือ

สำหรับประชาชนให้ตั้งสติ อย่าตื่นตกใจ เตรียมพร้อมที่จะเผชิญเหตุ โดยเตรียมทำการอพยพไปยังศูนย์อพยพตามเส้นทางที่วางแผนเอาไว้ทันทีที่มีการประกาศให้อพยพ ในการอพยพไม่ควรใช้รถ แต่ให้ใช้การเดิน รองเท้าหากเป็นรองเท้าบู๊ทจะหลุดง่าย รองเท้ากีฬามีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการอพยพ หากฉุกเฉินไม่ทราบตำแหน่งของสถานที่ปลอดภัยให้พยายามขึ้นที่สูง โดยหลีกเลี่ยงเส้นทางที่เป็นแนวการไหลของดินโคลนและลำน้ำต่าง ๆ แล้วรีบติดต่อหน่วยงานราชการ (สายด่วน ปภ. โทร. 1784) เพื่อขอทราบตำแหน่งของศูนย์อพยพที่ใกล้ที่สุด หลังดินถล่มไม่ควรรีบกลับเข้าบ้านทันที โดยเฉพาะบ้านที่อยู่ใกล้บริเวณที่เกิดดินถล่ม ต้องรอจนแน่ใจว่าจะไม่เกิดดินถล่มลงมาซ้ำอีก รวมทั้งห้ามเข้าใกล้บริเวณที่เกิดดินถล่ม หรือบ้านเรือนที่พังเสียหาย

3.2.2.3) หลังภัยดินถล่ม

เน้นการฟื้นฟู ได้แก่ การซ่อมแซมส่วนที่เสียหาย การปรับรูปแบบการผลิตจากเกษตรเชิงเดี่ยวมาเป็นเกษตรแบบผสมผสานให้เหมาะกับระบบนิเวศน์ของพื้นที่ การปรับปรุงระบบสาธารณูปโภค การเยียวยาสภาพจิตใจของผู้ได้รับผลกระทบ และการชดเชยค่าเสียหาย การถอดบทเรียนทั้งก่อน ระหว่าง และหลังเกิดภัยดินถล่ม เพื่อนำไปปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ การผลักดันเชิงนโยบายด้านการป้องกันภัยดินถล่ม และด้านการจัดการที่ดินและป่าไม้

สำหรับการดำเนินการให้ความช่วยเหลือของภาครัฐ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะจัดเจ้าหน้าที่มาสำรวจความเสียหาย เพื่อให้การสำรวจความเสียหายเป็นไปอย่างรวดเร็ว ราบรื่น และไม่ตกหล่น สิ่งที่ผู้ประสบภัยควรทำหลังจากภัยดินถล่มผ่านพ้นไปแล้วคือทำบัญชีการบาดเจ็บและเสียชีวิต สำรวจความเสียหายทรัพย์สินโดยเฉพาะสิ่งปลูกสร้างโดยละเอียด ถ่ายรูปความเสียหายต่าง ๆ โดยละเอียดแยกประเภทของโครงสร้างเป็น เสา คาน พื้น ผนัง ประตู หน้าต่าง หลังคา งาน ระบบไฟฟ้า ระบบสุขาภิบาล

สำหรับประชาชนที่เป็นเกษตรกรผู้ได้รับความเสียหายจากภัยดินถล่มให้ดำเนินการขอรับการช่วยเหลือ โดยมีหลักปฏิบัติดังนี้

1) เกษตรกรที่มีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัย ต้องไปขอขึ้นทะเบียนเกษตรกร (ทบก.01)กับนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรประจำตำบล ในตำบลนั้น ๆ หรือที่สำนักงานเกษตรอำเภอและต้องขึ้นทะเบียนผู้ปลูกพืชกับสำนักงานเกษตรอำเภอ ขึ้นทะเบียนผู้เลี้ยงปศุสัตว์กับสำนักงานปศุสัตว์อำเภอ และขึ้นทะเบียนการผลิตด้านประมงกับสำนักงานประมงอำเภอ การขึ้นทะเบียนจะต้องทำก่อนเกิดภัยดินถล่มครั้งที่จะขอรับการชดเชยเท่านั้น

2) เมื่อพื้นที่การเกษตรประสบภัยและหรือได้รับความเสียหาย ให้ไปแจ้งความเสียหายให้เร็วที่สุด ณ ที่ทำการผู้ใหญ่บ้าน กำนัน ศูนย์บริการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรประจำตำบล รวมทั้งไปดำเนินการ

- แจ้งความที่สำนักงานเกษตรอำเภอเพื่อแจ้งความเสียหายด้านพืช
- แจ้งความที่สำนักงานปศุสัตว์อำเภอเพื่อแจ้งความเสียหายด้านปศุสัตว์
- แจ้งความที่สำนักงานประมงอำเภอเพื่อแจ้งความเสียหายด้านประมง

โดยนำเอกสารเหล่านี้ไปประกอบการแจ้งความเสียหาย

- สำเนาบัตรประจำตัวประชาชน หรือสำเนาทะเบียนบ้าน
- สำเนาเอกสารสิทธิ์โฉนดที่ดิน นส. 3 สัญญาเช่า ใบเสียภาษี หรือหลักฐานที่สามารถแสดงให้ทราบว่าเป็นเจ้าของพื้นที่ที่เสียหายจริง
- ภาพถ่ายพื้นที่ได้รับความเสียหาย
- สำเนาบัญชีเงินฝาก ธกส. ของเกษตรกรที่ขอรับการช่วยเหลือหรือคู่สมรส
- กรอกข้อมูลความเสียหายตามแบบขอรับความช่วยเหลือ (กษ 01) ให้ครบถ้วน

3) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในแบบ กษ02 ที่สำนักงานเกษตรอำเภอนำไปติดประกาศ ได้แก่ ชื่อ สกุล หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน ที่อยู่ และความเสียหายตามที่แจ้งไว้ ซึ่งการติดประกาศจะติดประกาศเป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน ณ ที่ทำการผู้ใหญ่บ้าน กำนัน หรือในเวทีประชาคมหมู่บ้าน ถ้าพบข้อมูลผิดพลาดหรือมีบุคคลใดแจ้งความเท็จให้ดำเนินการแจ้งเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบประจำตำบล หรือสำนักงานเกษตรอำเภอและประมงอำเภอทันทีเพื่อตรวจสอบและ แก้ไขข้อมูลให้ถูกต้องภายในระยะเวลาที่สำนักงานเกษตรอำเภอกำหนดให้ทำการแก้ไขข้อมูลได้

4) เมื่อได้รับอนุมัติให้การช่วยเหลือแล้ว เกษตรกรผู้ประสบภัยจะต้องติดต่อขอรับหนังสือสำคัญรับเงิน (กษ 04) จากสำนักงานเกษตรอำเภอ หรือเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบประจำตำบล แล้วนำ กษ04 พร้อมบัตรประจำตัวประชาชนติดต่อขอรับเงินที่ ธกส. สาขาตามแผนที่สำนักงานเกษตรอำเภอร่วมกับ ธกส. สาขาอำเภอกำหนด

3.3 ท้ายบท

ในช่วงเวลาวิกฤติที่มีโอกาสเกิดดินถล่ม ได้ทุกเมื่อ สมาชิกในหน่วยที่มีความเสี่ยงภัยดินถล่ม ควรปฏิบัติ ดังนี้

• ติดตามข่าวสารการเตือนภัยอย่างใกล้ชิด ซึ่งสามารถติดตามได้จาก พยากรณ์อากาศหรือประกาศแจ้งเตือนจาก

1) ประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทาง สถานีโทรทัศน์ทุกช่อง และทางสถานีวิทยุแห่งประเทศไทย

2) เว็ปไซท์ของ

- กรมอุตุนิยมวิทยา www.tmd.go.th หรือ โทร 02-398-9830 และ 02-399-4012-4
- กรมทรัพยากรธรณี www.dmr.go.th
- กรมทรัพยากรน้ำ www.dwr.go.th

3) หอกระจายข่าวภายในหมู่บ้าน

สังเกตสิ่งผิดปกติต่าง ๆ เหล่านี้

รูปที่ 3.22 สิ่งผิดปกติที่เป็นสัญญาณเตือนเหตุดินถล่ม

1) ฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่า 6 ชั่วโมง (มากกว่า 100 mm ต่อวัน)

2) มีเสียงดังอื้ออึงผิดปกติมาจากภูเขา และลำห้วย

3) มีรอยแตกหรือรอยแยกเกิดขึ้นที่ลาดดิน สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า แสดงว่ามวลดินเกิดการแยกตัว

4) มีรอยแตกเกิดขึ้นและขยายใหญ่ขึ้นอย่างช้าๆ ที่ผิวดิน หรือผิวถนน

5) สังเกตเห็นรอยร้าวใหม่เกิดขึ้นที่กระเบื้องหรือผนังอาคาร

6) ประตู หน้าต่างเปิดปิดยากทั้ง ๆ ที่ไม่เคยเป็นมาก่อน

7) สังเกตเห็นการเอียงของต้นไม้ เสาไฟฟ้า หรือโครงสร้างอื่น ๆ โดยปกติต้นไม้จะขึ้นในแนวดิ่ง เช่นเดียวกับการวางโครงสร้างบางประเภทเช่นเสาไฟฟ้า ดังนั้นหากสังเกตเห็นสิ่งเหล่านี้เกิดการเอียง จะเป็นสัญญาณหนึ่งว่ามวลดินเกิดการเคลื่อนตัว

8) มีเศษดินเศษหินหล่นเรี่ยลาดที่ปลายลาดดิน

9) ผิวของลาดดินมีลักษณะเป็นคลื่น ดังรูป ผิวดินลักษณะดังกล่าวแสดงถึงการเคลื่อนตัวของมวลดินใต้ผิวดิน

10) ท่อน้ำใต้ดินแตกหรือหักอย่างฉับพลัน

11) มีการเปลี่ยนแปลงความชื้น น้ำคือปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดภัยดินโคลนถล่ม และน้ำป่าไหลหลาก ถ้าสังเกตเห็นน้ำผุดขึ้นในที่ใหม่ ๆ หรือพื้นที่รับน้ำด้านบนที่เคยมีน้ำกลับแห้งลงอย่างกะทันหัน เป็นสัญญาณเตือนที่สำคัญที่แสดงว่ามวลดินกำลังเคลื่อนตัว

12) ระดับน้ำในลำน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว บ่อยครั้งพบสีของน้ำขุ่นเหมือนสีของดิน มีกิ่งไม้หรือท่อนไม้ไหลมากับกระแสน้ำ

เตรียมพร้อม

สิ่งที่ควรจัดเตรียมเอาไว้พร้อมรับภัยภิบัติ (คลังสิ่งของเก็บไว้ยามฉุกเฉิน)

อาหาร	☐ น้ำดื่ม (ราวสำหรับ ๓ วัน [ใน ๑ วัน บริโภคคนละ ๓ ลิตร]) ☐ บิสกิต (ขนมปังกรอบ) ☐ อาหารกระป๋อง , อาหารในแพคฆ่าเชื้อ ☐ บะหมี่สำเร็จรูป ☐ ลูกอม , ช็อคโกแลต
ของใช้ในครัวเรือน	☐ น้ำใช้ประจำวัน (ใส่น้ำเอาไว้ในอ่างอาบน้ำ หรือ ในภาชนะพลาสติก) ☐ ไม้ขีดไฟ , เทียนไข , ไฟแช็ค ☐ เสื้อผ้า , ถุงเท้า ☐ ฟิล์มพลาสติกคลุม ☐ จานกระดาษ ☐ ตะเกียบ (ใช้แล้วทิ้ง) , ช้อน , ส้อม ☐ ถุงพลาสติก ☐ เตาแก๊สแบบพกพา , กระป๋องแก๊ส
อาหารยามฉุกเฉิน	☐ น้ำดื่ม (ราวสำหรับ ๓ วัน [ใน ๑ วัน บริโภคคนละ ๓ ลิตร]) ☐ บิสกิต (ขนมปังกรอบ) ☐ อาหารกระป๋อง , อาหารในแพคฆ่าเชื้อ ☐ บะหมี่สำเร็จรูป ☐ ลูกอม , ช็อคโกแลต ☐ ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ
ของใช้ในครัวเรือน	☐ ไม้ขีดไฟ , เทียนไข , ไฟแช็ค ☐ ถุงพลาสติก ☐ โทรศัพท์มือถือ , เครื่องชาร์จแบต
เวชภัณฑ์	☐ ยาที่รับประทานอยู่เป็นประจำ
ของสำคัญที่มีค่า	☐ เงิน , พาสปอร์ต ☐ บัตรประจำตัวผู้พำนักอาศัยในญี่ปุ่น (ใซริวการ์ด) ☐ บัตรมาย - นัมเบอร์ (หมายเลขของฉัน) ☐ สมุดบัญชีธนาคาร , ตราประทับ , ใบขับขี่ ☐ บัตรประกันสุขภาพ ☐ แว่นสายตา (สำรอง) , คอนแทคเลนส์ ☐ กุญแจรถ หรือ กุญแจบ้าน (กุญแจสำรอง)
อุปกรณ์ใช้ดอนอพยพ	☐ ไฟฉาย ☐ วิทยุ ☐ ถ่าน , แบตเตอรี่ ☐ หมวกนิรภัย ☐ นกหวีด ☐ รองเท้าที่ใส่ในที่พักพิง
เสื้อผ้า	☐ เสื้อผ้า , ชุดชั้นใน , ถุงเท้า ☐ เสื้อแขนยาว , กางเกงขายาว ☐ ถุงมือ ☐ ผ้าขนหนู
สิ่งอื่นๆ	☐ สิ่งของที่จำเป็นสำหรับเด็กอ่อน (นมผง , ผ้าอ้อม ฯลฯ) ☐ สิ่งของที่จำเป็นสำหรับผู้หญิง (ผ้าอนามัย เป็นต้น) ☐ สิ่งของที่จำเป็นสำหรับผู้สูงอายุ (ผ้าอ้อม , ยา เป็นต้น)

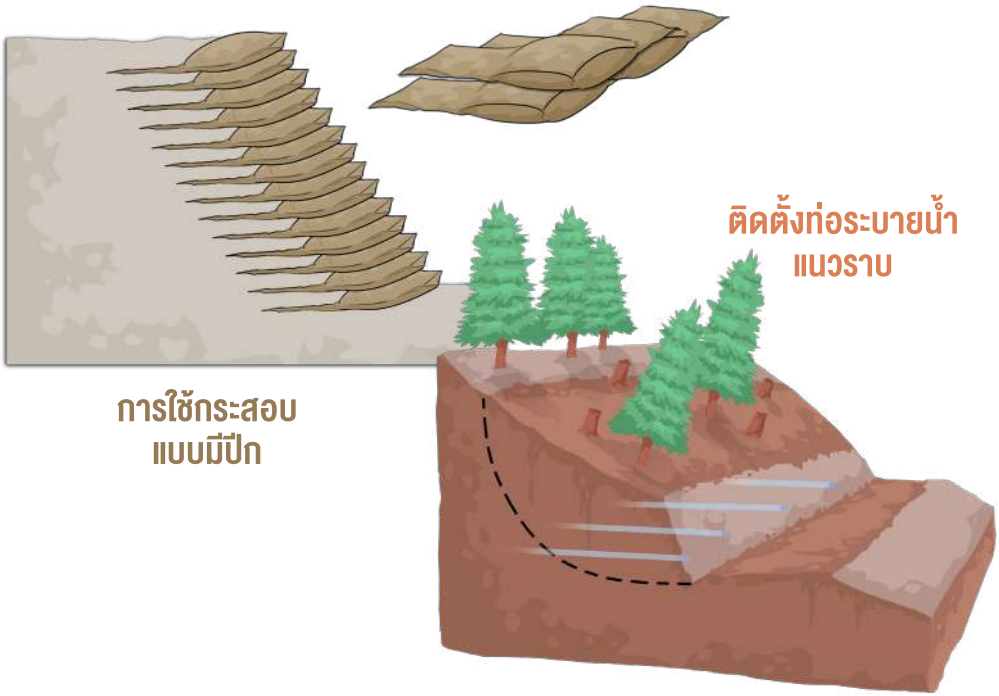
จัดหาและสำรองสิ่งของจำเป็นสำหรับยามฉุกเฉิน และจัดเตรียมสิ่งของที่จะนำไปตอนหนีภัยให้พร้อมถือไปได้ตลอดเวลา (ดัดแปลงจาก คู่มือแนะนำการป้องกันภัยพิบัติสำหรับพลเมืองต่างชาติ จัดทำโดย อำเภอมัตสึโมโต้)

ศึกษาเส้นทางอพยพและตำแหน่งของศูนย์อพยพหรือสถานที่ปลอดภัย

ซักซ้อมทำความเข้าใจกับสมาชิกในครอบครัวกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน กำหนดสถานที่รวมตัวแห่งแรก และแห่งที่สอง (กรณีที่บางคนไม่สามารถไปยังสถานที่รวมตัวแห่งแรกได้) จัดทำแผ่นแจ้งเบอร์โทรศัพท์ของสายด่วนต่าง ๆ สำหรับผู้สูงอายุและเด็กควรจัดทำกระดาษโน้ตระบุข้อมูลส่วนตัว เช่นชื่อ ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์คนใกล้ชิด เป็นต้น

ในการอพยพไม่ควรใช้รถแต่ให้ใช้การ เดิน รองเท้าหากเป็นรองเท้าบู๊ทจะหลุดง่าย รองเท้ากีฬามีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการอพยพ

หากฉุกเฉินไม่ทราบตำแหน่งของสถานที่ปลอดภัย
ให้พยายามขึ้นที่สูง โดยหลีกเลี่ยงเส้นทางที่เป็นแนว
การไหลของดินและลำน้ำต่าง ๆ



บทที่ 4

แนวทางในการเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ลาดดิน

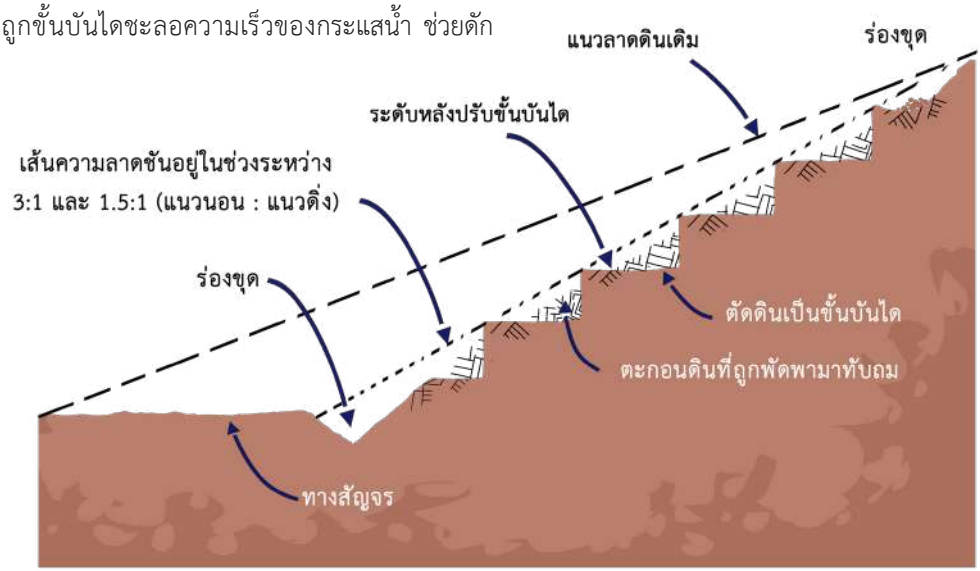
โดย รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ และ นายถาวร ธีรเมธาทิพรัตน์

ดังที่กล่าวถึงในบทที่ 1 การประเมินความปลอดภัยของลาดดินจะใช้ค่าสัดส่วนปลอดภัย ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการต้านการเฉือนกับความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกัน หากลาดดินใดมีค่าสัดส่วนปลอดภัยใกล้เคียง 1.0 ถือว่าลาดดินนั้นมีเสถียรภาพต่ำและพร้อมจะเกิดการวิบัติได้ตลอดเวลา ดังนั้นแนวทางในการเพิ่มเสถียรภาพของลาดดิน คือ การทำให้ลาดดินมีค่าสัดส่วนปลอดภัยหรือมีความมั่นคงสูงขึ้น โดยหลักการแล้วจึงทำได้โดย 1) ลดความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกัน 2) เพิ่มความสามารถในการต้านการเฉือน และ 3) ผสมผสานทั้งการ

ลดความพยายามในการเฉือนดินให้ขาดออกจากกัน และการเพิ่มความสามารถในการต้านการเฉือนไปพร้อม ๆ กัน เนื่องจากแนวทางในการเพิ่มเสถียรภาพแก่ลาดดินมีค่อนข้างหลากหลาย ผู้แต่งจึงแบ่งการเพิ่มเสถียรภาพของลาดดินตามที่นิยมแบ่ง เป็น 6 แนวทาง ได้แก่ 1) การปรับรูปทรงของลาดดิน 2) การใช้ระบบระบายน้ำ 3) การใช้โครงสร้างกันดิน และ 4) การเสริมกำลังแก่ลาดดิน 5) การก่อสร้างบริเวณลาดดินอย่างเหมาะสม และ 6) การป้องกันการพังทลายและการชะล้างหน้าดิน

4.1 การปรับรูปทรงของลาดดิน

เป็นการลดความไม่สมมาตรของลาดดิน โดยการปรับรูปทรงของลาดดิน เช่น การลดความสูง การลดความชันของลาดดิน การทำขั้นบันได ซึ่งจะทำให้แรงที่คอยฉุดมวลดินให้เคลื่อนตัวมีค่าลดลง การทำขั้นบันไดเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์พื้นที่ในการเพาะปลูก เป็นการปรับปรุงทัศนียภาพ ทำให้ได้ประโยชน์ด้านการท่องเที่ยวอีกทางหนึ่ง นอกจากลดความไม่สมมาตรของลาดดินแล้ว การทำขั้นบันไดยังเป็นการตัดความต่อเนื่องของแนวลาดเดิมให้มีลักษณะเป็นขั้นบันได ทำให้น้ำฝนที่ไหลบ่าลงมาตามแนวลาดถูกขั้นบันไดชะลอความเร็วของกระแสน้ำ ช่วยดักตะกอนดินไว้ตามขั้นบันไดป้องกันการกัดเซาะหน้าดิน การทำขั้นบันไดเหมาะสำหรับพื้นที่ลาดที่มีความชันมากกว่าร้อยละ 15 สัดส่วนระหว่างความสูงของขั้นบันไดในแนวตั้งและแนวนอนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1.5-2.0 ต่อ 1 (ลูกนอน : ลูกตั้ง) ลูกนอนของขั้นบันไดควรมีความกว้างเท่า ๆ กัน และวางตัวเป็นแนวโค้ง ไม่ควรมีจุดหักศอก เพื่อความสะดวกของเครื่องจักรในการเข้าทำงานและการบำรุงรักษาภายหลัง



รูปที่ 4.1 การปรับแนวลาดดินทำเป็นขั้นบันได
(ดัดแปลงจาก California Department of Transportation Division of Design (2018)

4.2 การใช้ระบบระบายน้ำ

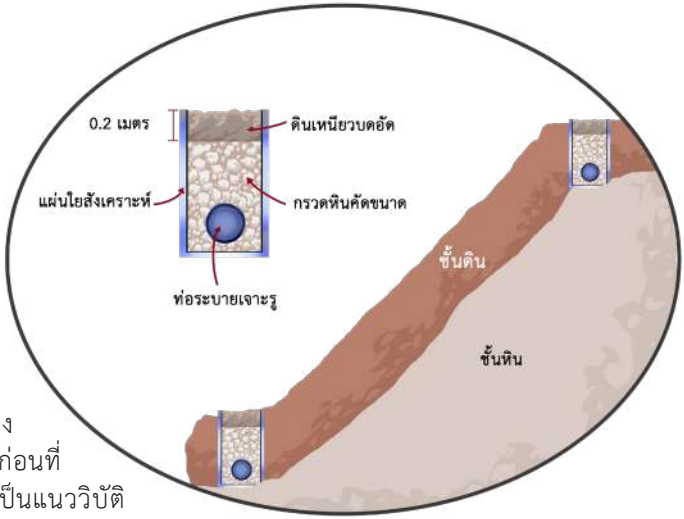
เนื่องจากน้ำเป็นกลไกสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาดินถล่ม ดังนั้นไม่ว่าจะมีการปรับปรุงเสถียรภาพของลาดดินด้วยวิธีใดก็ตาม การระบายน้ำจะต้องเป็นแนวทางที่ใช้ร่วมกับแนวทางอื่น ๆ เสมอ **การระบายน้ำมีหลากหลาย แต่แบ่งได้เป็น 2 รูปแบบหลักคือ ระบบระบายน้ำใต้ดิน และระบบระบายน้ำผิวดิน** ดังนี้

4.2.1 ระบบระบายน้ำใต้ดิน

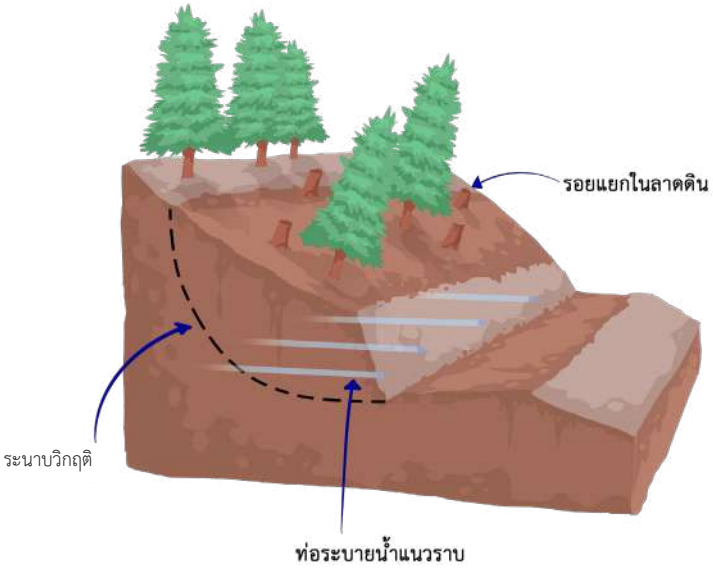
เป็นระบบที่เน้นการระบายน้ำที่แทรกตัวอยู่ภายมวลดิน การระบายน้ำออกจากมวลดินจะช่วยลดแรงดันน้ำภายในดิน ทำให้กำลังของดินสูงขึ้น ลดโอกาสที่จะเกิดดินถล่ม การระบายน้ำใต้ดินนอกจากมีผลต่อการเพิ่มเสถียรภาพของลาดดินแล้ว ยังมีประโยชน์ต่อการเติบโตของพืช เนื่องจากระบบระบายน้ำไปช่วยเพิ่มช่องอากาศระหว่างเม็ดดิน รากพืชจึงสามารถนำสารอาหารไปใช้ได้ดีขึ้น ระบบระบายน้ำใต้ดินที่ใช้ทั่วไปมีดังนี้

ก ร่องดักน้ำใต้ดิน

วิธีนี้เหมาะสำหรับลาดดินที่มีความหนาของชั้นดินไม่มาก ถัดจากชั้นดินไปเป็นชั้นหินทึบน้ำ และมีความลาดปานกลาง ร่องดักน้ำใต้ดินเป็นทางระบายน้ำที่ทำขวางทางไหลของน้ำ โดยเน้นดักน้ำใต้ดิน การวางตำแหน่งของร่องดักน้ำจะทำไว้บริเวณก่อนที่จะถึงลาดดินที่คาดว่าจะเป็นแนววิบัติ การขุดร่องระบายน้ำจะขุดดินเดิมออกจนถึงชั้นทึบน้ำแล้วปูร่องที่ขุดด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ (geotextile) เพื่อป้องกันการอุดตันแล้วถมด้วยหินคัดขนาดที่มีความสามารถในการระบายน้ำสูงลงไป แต่หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำหลังจากปูแผ่นใยสังเคราะห์แล้ว จะวางท่อระบายน้ำแล้วกลบด้วยหินคัดขนาด น้ำที่ไหลมาจะถูกร่องดักน้ำนี้ดักไว้ก่อนที่จะไหลไปสู่ลาดดิน การทำร่องดักน้ำนี้สามารถทำที่ด้านล่างของลาดดินร่วมด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดระดับน้ำใต้ดิน โดยมักทำตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาด เพื่อดักจับน้ำใต้ดินที่ไหลลงมาจากด้านบน นอกจากจะช่วยลดระดับน้ำใต้ดินแล้วยังช่วยแก้ปัญหาพื้นที่บริเวณท้ายลาดดินที่น้ำมักท่วมขังเป็นเวลานานให้กลายเป็นพื้นที่ปกติที่ไม่มีน้ำท่วมขัง



รูปที่ 4.2 ร่องดักน้ำใต้ดิน



รูปที่ 4.3 ท่อระบายน้ำแนวราบ ด้านบน : ท่อระบายน้ำแนวราบต้องมีระยะหยั่งเกินระนาบวิกฤติด้านล่าง : ขณะติดตั้งท่อระบายน้ำแนวราบ
(ที่มา : www.shotcreteconcrete.com)

V ท่อระบายน้ำแนวราบ

ใช้ในการระบายน้ำในลาดดินที่มีความลาดสูง ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกเกินกว่าจะใช้ร่องดักน้ำช่วยระบายน้ำได้ การระบายน้ำโดยวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพเมื่อท่อถูกติดตั้งอย่างเหมาะสมและถูกวิธี ทำโดยการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 2.5 นิ้ว บริเวณด้านหน้าของลาดดินให้มีความเอียงประมาณร้อยละ 10 เพื่อให้น้ำที่ระบายออกมาสามารถไหลออกได้เองด้วยแรงโน้มถ่วง ความยาวของการเจาะขึ้นกับโครงสร้างของลาดดินบริเวณนั้น โดยต้องพิจารณาระนาบวิกฤติหรือระนาบที่มีโอกาสวิบัติของลาดดินร่วมด้วย ความยาวของท่อระบายน้ำควรหยั่งให้เกินระนาบวิกฤติ เมื่อเจาะได้ความยาวที่ต้องการแล้วให้ทำความสะอาดรูเจาะ หากการทำความสะอาดรูเจาะไม่ดีประสิทธิภาพการระบายอาจลดลงเหลือเพียงร้อยละ 25 เท่านั้น การติดตั้งท่อทำโดยนำแผ่นใยสังเคราะห์มาสวมท่อที่มีรูพรุนเพื่อป้องกันการอุดตันของท่อระหว่างใช้งาน จากนั้นนำปลอกมาสวมแล้วจึงดันท่อกับปลอกไปพร้อม ๆ กัน เมื่อถึงความยาวที่ต้องการจึงถอนปลอกออก

4.2.2 ระบบระบายน้ำผิวดิน

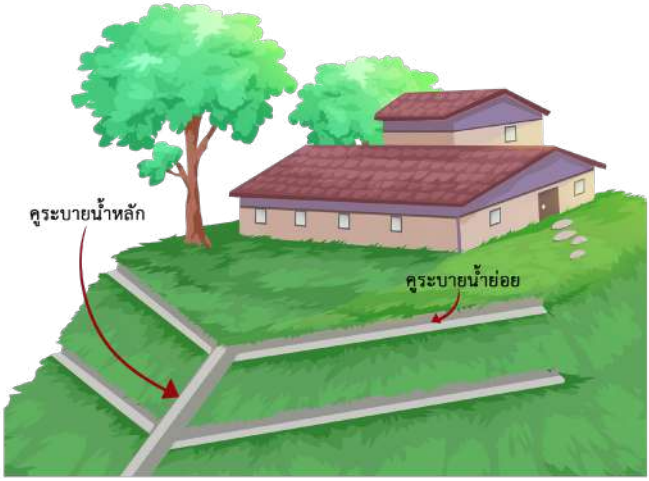
เป็นการป้องกันการการเกิดดินถล่มโดยพยายามกันไม่ให้น้ำซึมลงสู่ลาดดิน เป็นการระบายน้ำโดยอาศัยความลาดของพื้นที่ ให้น้ำไหลไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก การทำระบบระบายน้ำผิวดินจึงเป็นการปรับพื้นที่ทำคูระบายน้ำให้มีระดับที่แตกต่างกันเพื่อระบายน้ำออกจากพื้นที่วิกฤติ โดยควบคุมให้เกิดการกัดเซาะและทำลายสภาพแวดล้อมจากการไหลของน้ำผิวดินให้น้อยที่สุด ระบบระบายน้ำผิวดินจำแนกได้ ดังนี้

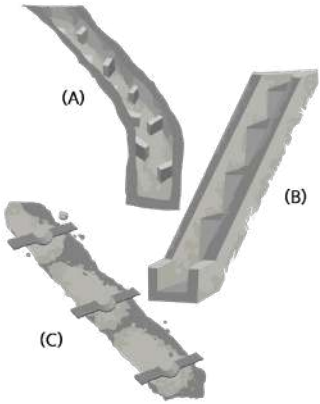
ก การปรับระดับ

บริเวณลาดดินหากมีพื้นที่ที่เป็นหลุมหรือแอ่งซึ่งน้ำสามารถขังได้ จะทำให้น้ำมาสะสมในบริเวณนี้และซึมลงสู่ดินจนเกิดปัญหาเสถียรภาพของลาดดินได้ วิธีนี้เป็นการปรับพื้นที่เพื่อไม่ให้มีแอ่งที่น้ำจะมาสะสมได้ รวมถึงการอุดรอยแยกผิวดินเพื่อกันน้ำซึมลงตามรอยแยกด้วย

ข การใช้คูระบายน้ำ

เป็นการปรับพื้นที่ทำคูระบายน้ำเพื่อระบายน้ำออกจากพื้นที่วิกฤติ โดยควบคุมให้เกิดการกัดเซาะในคูระบายน้ำให้น้อยที่สุด ตำแหน่งที่เหมาะสมในการทำคูระบายน้ำคือ บริเวณส่วนบนเหนือลาดดินก่อนถึงตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็นแนววิบัติเพื่อดักน้ำที่ไหลมาจากด้านบน ก่อนจะเข้าสู่พื้นที่วิกฤติ แล้วนำไประบายทิ้งในตำแหน่งที่เหมาะสม คูระบายน้ำควรมีขนาดใหญ่พอที่จะรองรับปริมาณน้ำที่จะไหลมาสู่คูระบายน้ำโดยไม่เอ่อล้นออกจากคูลงสู่พื้นที่วิกฤติ และมีความลาดเทอย่างน้อยร้อยละ 2 เพื่อให้น้ำไหลได้เร็วเพียงพอที่จะไม่เกิดการตกตะกอน หากคาดว่าจะมีบริมาณน้ำมากควรดาดคูระบายน้ำด้วยคอนกรีตเพื่อป้องกันการกัดเซาะ คูระบายน้ำหากดูแลไม่ดีอาจเป็นสาเหตุให้เกิดดินถล่มได้ กล่าวคือ ตะกอนที่ตกค้างตามแนวคูระบายน้ำอาจทำให้น้ำที่ไหลรวมมาตามแนวคูระบายน้ำเอ่อล้นออกมาที่จุดใดจุดหนึ่ง ทำให้เกิดปัญหาเสถียรภาพกับลาดดินในบริเวณนั้น ดังนั้นจึงต้องหมั่นตรวจสอบสภาพ





รูปที่ 4.4 คูระบายน้ำ และลักษณะอาคารสลายพลังงานบนคูระบายน้ำหลัก

การใช้งานและขุดลอกตะกอนตลอดแนวคูระบายน้ำอย่างสม่ำเสมอ การทำคูระบายน้ำสามารถทำเป็นระบบโดยมีคูระบายน้ำหลักเพื่อรวมน้ำจากคูระบายน้ำย่อยแล้วระบายลงสู่ตำแหน่งที่เหมาะสม คูระบายน้ำหลักจะมีปริมาณน้ำมากและต้องมีความลาดเทสูงเพื่อให้น้ำไหลออกได้ทัน จึงควรมีอาคารสลายพลังงานอยู่บริเวณด้านล่างของคูระบายน้ำหลักเพื่อป้องกันการกัดเซาะบริเวณทางออก

4.3 การใช้โครงสร้างกันดิน

เป็นการนำโครงสร้างที่มีความแข็งแรงกว่าดินมาช่วยพยุงดิน ไม่ให้ดินเคลื่อนตัวทางด้านข้างมากเกินไป มักใช้ในพื้นที่ที่มีการปรับลาดดินโดยการตัดหรือการถมทำให้ดินมีความลาดสูง นอกจากนี้ยังต้องมีระบบระบายน้ำที่ความสามารถการระบายน้ำหลังโครงสร้างกันดินได้อย่างเพียงพอ เนื่องจากโครงสร้างกันดินบางประเภทมีลักษณะทึบน้ำทำให้น้ำที่ไหลจากด้านบน มาสะสมอยู่บริเวณด้านหลังโครงสร้างกันดินสามารถก่อให้เกิดการวิบัติของลาดดินตามมาได้ โครงสร้างกันดินที่ใช้ในการเสริมเสถียรภาพให้แก่ดินมีหลากหลายชนิด ในที่นี้ผู้แต่งจะขอกล่าวถึงเฉพาะโครงสร้างกันดินที่ไม่ซับซ้อน มีราคาถูก สมาชิกในชุมชนสามารถมีส่วนร่วมในการก่อสร้างได้ คือ การใช้กล่องกะชุหินและ การใช้กระสอบแบบมีปีก

4.3.1 การใช้กล่องกะชุหิน

กล่องกะชุหินหรือกล่องเกเบี้ยน (gabion box) เป็นกล่องสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ทำจากแผงลวดตาข่ายชิ้นเดียว นำมาขึ้นรูปเป็นกล่อง บรรจุหินขนาด 10 ถึง 20 เซ็นติเมตรลงไป แล้วนำไปวางเรียงบริเวณปลายด้านล่างของลาดดิน หากตำแหน่งที่วางมีความเหมะสมกล่องกะชุหินจะช่วยลดความไม่สมมาตรของลาดดิน ทำให้แรงที่คอยฉุดมวลดินให้เคลื่อนตัวมีขนาดลดลงได้ และนอกจากช่วยลดความไม่สมมาตรแล้ว กล่องกะชุหินยังมีความเสียดทานระหว่างกล่องสูงกว่าดิน จึงช่วยพยุงดินป้องกันการการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของมวลดิน

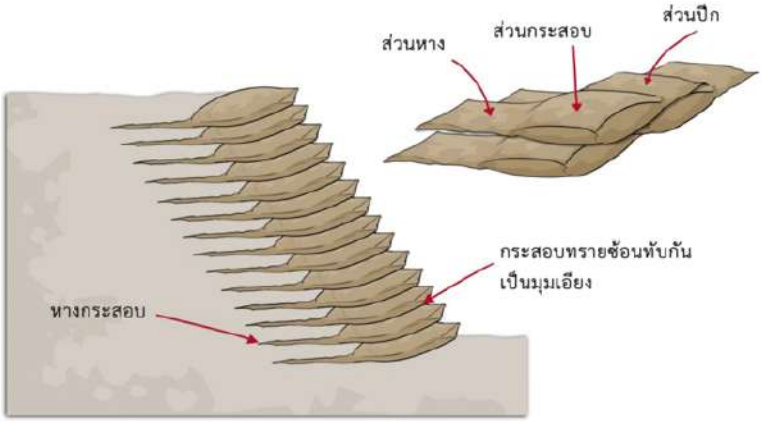
เนื่องจากตัวโครงสร้างกล่องกะชุหินเองมีลักษณะที่น้ำซึมผ่านได้ดีจึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบระบายน้ำเพิ่มเติม การติดตั้งกล่องกะชุหินที่มีความสูงมากกว่า 2.5 เมตรขึ้นไป จำเป็นต้องมีการตรวจสอบการวิบัติในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งการวิบัติของโครงสร้างกล่องกะชุหิน และการวิบัติภายนอกจึงควรอยู่ภายใต้คำแนะนำของวิศวกร

รูปที่ 4.5 การวางกล่องกะชุหินเพื่อแก้ปัญหาเสถียรภาพของลาดดิน

4.3.2 กระสอบแบบมีปีก

มีหลักการคล้ายกล่องกระชุหิน คือ ใช้ความเสียดทานระหว่างกระสอบช่วยในการพยุงดินและใช้น้ำหนักของกระสอบที่วางซ้อน ๆ กันบริเวณด้านล่างของลาดดินเพื่อลดความไม่สมมาตรให้กับลาดดิน ปีกของกระสอบทำหน้าที่ยึดโครงสร้างของกระสอบเข้าด้วยกันโดยอาศัยแรงเสียดทานที่เกิดจากน้ำหนักกดทับของกระสอบที่อยู่บ้านบน เป็นวิธีที่ก่อสร้างได้ง่าย สมาชิกชุมชนสามารถเข้ามามีส่วนร่วมในการก่อสร้างได้ เทคนิคนี้นอกจากช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับลาดดินแล้ว ยังช่วยป้องกันการกัดเซาะหน้าดินได้อีกด้วย

กระสอบมีปีกทำด้วยวัสดุสังเคราะห์ประเภทผ้า พลาสติก หรือวัสดุธรรมชาติประเภทปอกระเจา โดยภายในกระสอบจะบรรจุทรายแล้วนำไปวางซ้อนทับกันเพื่อปรับความชันให้กับลาดดิน นิยมใช้ในการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งน้ำริมฝั่งแม่น้ำและเสริมเสถียรภาพให้แก่ลาดดิน รูปที่ 4.6 แสดงแนวคิดการใช้กระสอบแบบมีปีก ในงานเสริมเสถียรภาพให้กับลาดดินมักใช้ร่วมกับการใช้ระบบรากพืชโดยการแซมพืชระหว่างกระสอบหรือใส่เมล็ดพืชเข้าไปในกระสอบเพื่อให้รากพืชที่งอกงามขึ้นมาเป็นตัวเพิ่มเสถียรภาพในระยะยาวรวมทั้งชดเชยการเปื่อยของกระสอบ ปัญหาอย่างหนึ่งของกระสอบแบบมีปีกคือการเปื่อยของกระสอบก่อนเวลาอันควรทำให้เกิดปัญหาการใช้งานในระยะยาว ปัจจุบันบริษัทในเครือการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย คือ บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ร่วมกับมูลนิธิชัยพัฒนาและมูลนิธิพลังที่ยั่งยืน ได้พัฒนานวัตกรรมกระสอบแบบมีปีกเพื่อใช้ในการเสริมเสถียรภาพแก่ลาดดิน โดยนำเม็ดพลาสติกโพลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกับพลาสติกชนิดโพลิโพรไพรีนมาผลิตเป็นกระสอบแบบมีปีก ด้วยเทคนิคการถักทอแบบพิเศษพร้อมเติมสารป้องกันแสงอุลตร้าไวโอเล็ต ทำให้โครงสร้างของถุงกระสอบแบบมีปีก มีความเหนียว แข็งแรง ทนทาน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ากระสอบทั่วไป จากลักษณะการถักทอแบบพิเศษทำให้ต้นไม้ยังสามารถยั่งรากผ่านเส้นใยของกระสอบได้ จึงช่วยเสริมความแข็งแรงแก่ลาดดินด้วยการผสานกลไกทางธรรมชาติ รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างการใช้กระสอบแบบมีปีกมาใช้ในงานแก้ปัญหาเสถียรภาพของลาดดินบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม



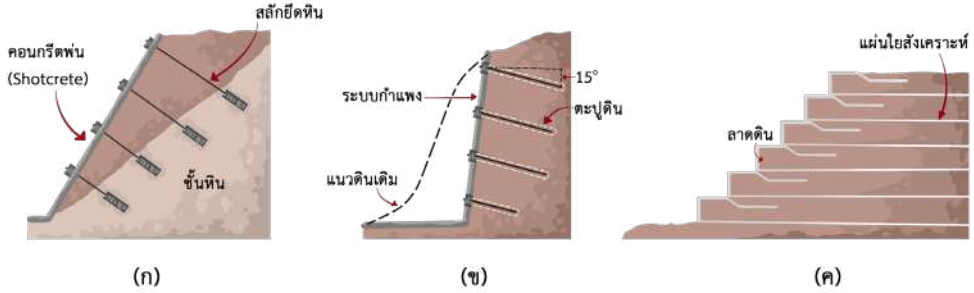
รูปที่ 4.6 แนวคิดพื้นฐานของวิธีการวางกระสอบทรายซ้อนทับกัน
(ดัดแปลงจาก: Asia Pacific Adaptation Network, 2014)

ของมูลนิธิพลังที่ยั่งยืน จากรายงานของศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน (2559) พบว่า แม้จะไม่พิจารณาเสถียรภาพที่จะเพิ่มขึ้นในระยะยาวจากระบบรากพืช การใช้กระสอบแบบมีปีกในตำแหน่งที่เหมาะสมสามารถเพิ่มสัดส่วนปลอดภัย (*FS*) ของลาดดินได้มากกว่าร้อยละ 10 ปัจจุบันวิธีนี้ ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเป็นวิธีที่ชุมชนมีส่วนร่วม เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

รูปที่ 4.7 การใช้กระสอบมีปีกเพิ่มความมั่นคงให้ลาดดินในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม
กรณีศึกษาบ้านหน้าถ้ำ ต.ท่าอุแท อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี (ที่มา: มูลนิธิพลังที่ยั่งยืน)

4.4 การเสริมกำลัง: ระบบรากพืช

การเสริมกำลังให้แก่มวลดินเป็นการเพิ่มความสามารถในการต้านการเฉือนให้กับมวลดิน โดยใช้วัสดุที่มีลักษณะยาว ทนต่อแรงดึงและแรงเฉือนได้ดี ติดตั้งเข้าไปบริเวณลาดดิน ความยาวของวัสดุเสริมกำลังที่ติดตั้งเข้าไปในดินจนพ้นระนาบวิกฤติต่อการเกิดดินถล่มจะช่วยเสริมกำลังของลาดดินได้ การเสริมกำลังให้แก่มวลดินสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้ระบบรากพืช การใช้สลักยึด (รูปที่ 4.8ก) การใช้ตะปูดิน (รูปที่ 4.8ข) การใช้แผ่นใยสังเคราะห์ (รูปที่ 4.8ค) ฯลฯ เนื่องจากวิธีเสริมกำลังให้กับมวลดินมักมีค่าก่อสร้างสูง ดังนั้นหัวข้อนี้ผู้แต่งจะขอกล่าวถึงเฉพาะการเสริมกำลังด้วยระบบรากพืชเนื่องจากเป็นวิธีที่มีราคาถูก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสมาชิกชุมชนสามารถเข้ามามีส่วนร่วมได้



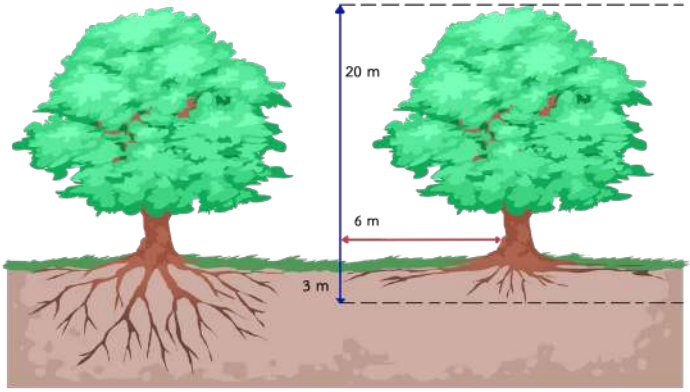
รูปที่ 4.8 การเสริมกำลังให้กับมวลดิน ก. การใช้สลักยึด ข. การใช้ตะปูดิน ค. การใช้แผ่นใยสังเคราะห์

การเพิ่มเสถียรภาพของลาดดินด้วยรากพืชเป็นวิธีที่เหมาะกับพื้นที่ลาดที่มีเนื้อที่กว้าง มีความลาดชันปานกลางหรือเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในระดับปานกลาง รากพืชมีบทบาทในการเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ลาดดินคล้ายกับสลักยึดหรือตะปูดินกล่าวคือ รากพืชที่ซอนไชลงในดินจะเป็นเหมือนสมอยึดมวลดินด้านบนระนาบวิกฤติกับดินหรือหินด้านล่างซึ่งมีความแข็งแรงกว่าเข้าไว้ด้วยกัน รากพืชที่รับบทบาทดังกล่าวได้ดีคือรากพืชที่สามารถซอนไชลงไปในแนวดิ่งได้ดี โดยสามารถชี้วัดได้ด้วยดัชนีการยึดดินของรากพืช (Index of root anchoring: IRA) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างผลรวมของพื้นที่หน้าตัดรากพืชทั้งหมดที่วางตัวเอียงทำมุมมากกว่า 45 องศากับแนวราบ ต่อพื้นที่หน้าตัดของลำต้นที่ระดับความสูงเพียงอก (1.3 เมตรจากผิวดิน) โดยหน้าตัดของรากพืชจะวัดที่ระยะ 50 เซนติเมตรห่างจากโคนต้น จากรายงานของมูลนิธิพลังที่ยั่งยืน (ส่งเกียรติ ทานสัมฤทธิ์ 2556) เปรียบเทียบ IRA ของพืช 8 ชนิด มีค่า IRA เรียงจากมากไปน้อยดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่า IRA ของพืชพรรณต่าง ๆ (ส่งเกียรติ ทานสัมฤทธิ์ 2556)

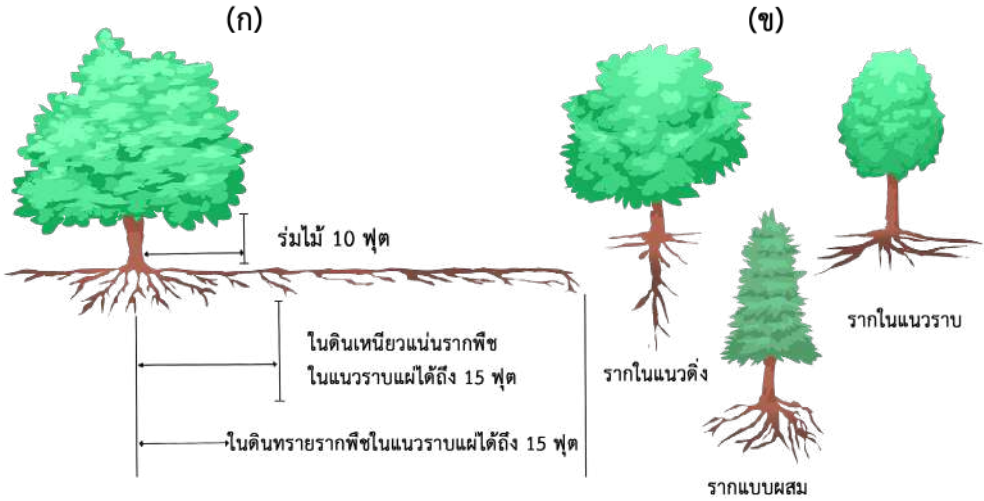
ลำดับที่	ชนิดพืช	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ความสูงเพียงอก (ซม.)	IRA
1	ยางนา	34.08	1.47
2	เหรียง	20.38	1.44
3	จำปาดะ	24.30	1.34
4	สะตอ	24.17	1.09
5	ไข่เขียว	53.18	0.87
6	ขนุน	25.78	0.85
7	กระท้อน	52.55	0.6
8	เงาะ	32.48	0.42

Dobson (1995) พบว่ารูปแบบการกระจายของจากพืชในดินโดยทั่วไปมิได้มีลักษณะกระจายแบบแผ่ทั่วบริเวณดังที่แสดงในรูปที่ 4.9ก แต่จะมีลักษณะกระจายตัวหนาแน่นระดับตื้นดังรูปที่ 4.9ข ทั้งนี้การแผ่ของรากพืชมีความสัมพันธ์กับสภาพดินแวดล้อม เนื่องจากพืชใช้รากในการดูดแร่ธาตุและน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้นรากพืชจะพบกระจายตัวในระดับตื้นเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีน้ำและสารอาหารอยู่มากที่สุด Crow (2005) ระบุว่า รากของต้นไม้มากกว่าร้อยละ 80 มีลักษณะวางตัวหนาแน่นอยู่ที่ระดับความลึกไม่เกิน 0.6 เมตรจากผิวดิน และมีโอกาสน้อยมากที่จะพบรากพืชที่ความลึกเกิน 2 เมตร ด้วยเหตุผลเดียวกันการแผ่ของรากพืชจึงมีความหนาแน่นในบริเวณที่มีร่มไม้ปกคลุม Cutler and Richardson (1989) รวบรวมข้อมูลจากต้นไม้จำนวนมาก พบว่ารากพืชส่วนใหญ่จะแผ่ออกในแนวนอน โดยรากในแนวนอนจะมีความยาวประมาณ 1 ใน 3 ของความสูงต้นไม้ อย่างไรก็ตามหากสภาพแวดล้อมเหมาะสมรากพืชสามารถแผ่ออกไปได้ไกลกว่าความสูงของต้นหลายเท่าตัวเช่นกัน ดังรูปที่ 4.10ก



รูปที่ 4.9 ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของรากไม้
ซ้ายมือ: โครงสร้างรากไม้ในอุดมคติ
ขวามือ: โครงสร้างรากไม้ที่โดยทั่วไป
(ดัดแปลงจาก Dobson, 1995)

รูปแบบการกระจายของรากพืชมีความแตกต่างกันตามชนิดของพืช แต่สามารถแบ่งออกได้เป็นรูปแบบใหญ่ 3 รูปแบบดังรูปที่ 4.10ข ได้แก่ รูปแบบรากในแนวดิ่ง (พืชประมาณร้อยละ 3 มีรากรูปแบบนี้) รูปแบบรากในแนวราบ (พืชประมาณร้อยละ 83 มีรากรูปแบบนี้) และรูปแบบรากผสมทั้งแนวดิ่งและแนวราบ (พืชประมาณร้อยละ 15 มีรากรูปแบบนี้)



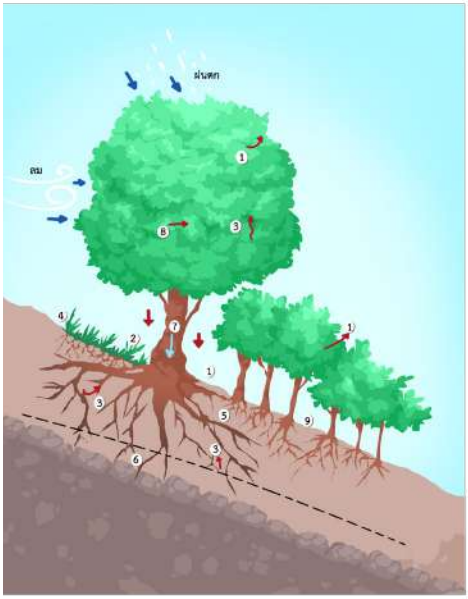
รูปที่ 4.10 รูปแบบรากพืชที่พบโดยทั่วไป
ซ้ายมือ: รูปแบบรากในแนวดิ่ง กลาง: รูปแบบผสมผสาน ขวามือ: รูปแบบรากในแนวราบ
(ดัดแปลงจาก : www.extension.iastate.edu และ www.thegreywaterguide.com)

พืชที่มีรูปแบบรากในแนวดิ่งจะเป็นไม้ยืนต้นที่มีรากแก้วทำหน้าที่ยึดลำต้นกับดินได้ดีจึงเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่ารากพืชแบบนี้จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับดินได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามผลการศึกษาของ Gray and Sotir (1996) กลับพบว่ารากพืชที่มีขนาดเล็กแต่มีจำนวนมากจะประสานกับดินอย่างแน่นหนา (รูปแบบรากพืชแบบผสมผสาน) จะส่งผลต่อการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดินได้มากกว่ารากพืชที่มีขนาดใหญ่แต่มีจำนวนน้อย ตามความเห็นของผู้แต่งกลไกการเพิ่มเสถียรภาพแก่ลาดดินของรากพืชเป็นการผสมผสานกันทั้งกลไกที่เกิดจากรากในแนวดิ่งและที่เกิดจากรากพืชขนาดเล็กจำนวนมาก ดังนี้

- รากพืชขนาดเล็กจำนวนมากเมื่ออยู่รวมกัน จะทำหน้าที่ประสานดินกับรากพืชเกิดเป็นเมตริกซ์ของดินและรากพืชที่มีกำลังรับแรงเฉือนสูงกว่าดิน เมื่อกำลังรับแรงเฉือนของเมตริกซ์ของดินและรากพืชมีค่าสูงการวิบัติในบริเวณดังกล่าวจึงเกิดขึ้นได้ยาก ทำให้ระนาบวิกฤติจะขยับตัวลึกลงไปในระดับที่ยังไม่มีการก่อตัวเป็นเมตริกซ์ของดินและรากพืช กล่าวคือ ในลาดดินที่มีรากพืชขนาดเล็กจำนวนมากซึ่งรวมกับดินเป็นเมตริกซ์ของดินและรากพืชการวิบัติของลาดดินในระดับตื้นจะเกิดขึ้นได้ยาก

• รากในแนวดิ่งของพืชทำหน้าที่เป็นเสมือนสลักยึดจึง ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับลาดดินโดยเฉพาะบริเวณที่เป็นระนาบวิกฤติ เมื่อระนาบวิกฤติมีรากในแนวดิ่งมาช่วยเสริมกำลังทำให้ระนาบนั้นมีความแข็งแรงขึ้น ลาดดินจึงมีเสถียรภาพสูงขึ้น จะพบว่ารากในแนวดิ่งสามารถเพิ่มเสถียรภาพแก่รากลาดดินลงไปในระดับที่ลึกกว่ารากขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามรากในแนวดิ่งมิได้มีจำนวนมาก ดังนั้นในแง่ของประสิทธิภาพโดยรวมรากขนาดเล็กจำนวนมากจึงให้ผลลัพธ์ในการเพิ่มเสถียรภาพของลาดดินระดับตื้นได้ดีกว่า ขณะที่ในระดับลึกซึ่งรากขนาดเล็กไม่สามารถงอกงามได้ดี รากในแนวดิ่งจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

จากเหตุผลดังกล่าวการปลูกพืชแบบผสมผสานย่อมช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ลาดดินผ่านกลไกที่สอดประสานกัน นอกจากการเสริมกำลังแล้วรากพืชยังมีบทบาทหลายด้านที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของลาดดิน รูปที่ 4.11 แสดงบทบาทของรากพืชและต้นไม้ต่อเสถียรภาพของลาดดินทั้งในด้านบวกและด้านลบ แต่โดยภาพรวมแล้วบทบาทของรากพืชและต้นไม้ส่งผลด้านบวกต่อการเพิ่มเสถียรภาพของลาดดิน



บทบาทของรากพืชและต้นไม้

1. ใบและกิ่งก้านรองรับน้ำฝน ดูดซับและระเหยช่วยลดปริมาณน้ำฝนไหลซึมลงสู่พื้นดิน
2. รากและลำต้นช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน ช่วยให้น้ำซึมลงสู่ดินได้มากขึ้น
3. รากดูดความชื้นจากดิน และระเหยผ่านใบช่วยลดแรงดันน้ำในดิน
4. การสูญเสียความชื้นของดิน ทำให้ดินมีรอยแตกระแหง เป็นการช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน
5. รากเกาะยึดดิน เพิ่มความแข็งแรงให้แก่ดิน (เพิ่มแรงเฉือนในดิน)
6. รากต้นไม้ยึดเกาะ พื้นหินใต้ดินช่วยเสริมแรงและค้ำจุนต้นไม้ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชัน
7. น้ำหนักของต้นไม้เพิ่มแรงกดยึดในพื้นดิน แต่ในขณะเดียวกันก็เพิ่มแรงดึงตามความลาดชันไปในตัว
8. ใบไม้ กิ่งก้าน ที่รับลม จะถ่ายทอดแรงผลักสู่ตัวต้นไม้
9. รากไม้จะช่วยยึดดิน ช่วยลดการชะล้างหน้าดิน

รูปที่ 4.11 บทบาทของรากพืชและต้นไม้ (ดัดแปลงจาก: มูลนิธิพลังที่ยั่งยืน)

ดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 1 แล้วว่า การคายน้ำมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของลาดดิน กล่าวคือ พืชที่มีการคายน้ำสูงย่อมช่วยดึงน้ำออกจากดินทำให้กำลังรับแรงเฉือนและเสถียรภาพของลาดดินสูงขึ้น ดังนั้นพืชที่มีอัตราการคายน้ำสูงย่อมส่งผลด้านบวกต่อเสถียรภาพของลาดดิน อย่างไรก็ตามการคายน้ำของพืชได้รับอิทธิพลจากสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ได้แก่ ความสว่าง กระแสลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ชนิด อายุ ความหนาแน่นของพืชพรรณ ฯลฯ จึงเป็นการยากที่จะระบุขนาดการคายน้ำของพืชต่าง ๆ อย่างเฉพาะเจาะจง แม้ว่าจะมีการรายงานระบุว่า การคายน้ำของพืชมี

ปริมาณสูง (เช่น ข้าวโพดในพื้นที่ 25 ไร่ มีปริมาณการคายน้ำสูงถึง 10000 - 15000 ลิตรต่อวัน) แต่ระหว่างฝนตกความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูง มักมีเมฆมาก ทำให้การคายน้ำในช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณน้อยมากถึงไม่มีการคายน้ำเลย แต่ในระหว่างที่ฝนมีการเว้นช่วงและมีแสงสว่าง พืชจะสามารถคายน้ำออกไปช่วยให้ดินมีความชื้นลดลง ดังนั้นเสถียรภาพของลาดดินเมื่อเริ่มรับฝนครั้งถัดไปย่อมมีความแตกต่างกับลาดดินที่ไม่มีพืชช่วยคายน้ำ

เนื่องจากพืชต้องอาศัยเวลาในการเจริญเติบโตและความยาวของรากพืชที่ชอนไชลงไปตามความลึกมีระยะจำกัด การใช้ระบบรากพืชจึงจำเป็นต้องมีคำนึงถึงปัจจัยด้านเวลา ตำแหน่งและชนิดของพืชที่จะนำมาใช้ บ่อยครั้งที่วิธีนี้มักใช้ร่วมกับวิธีอื่น เช่นการใช้กระสอบแบบมีปีกที่บรรจุเมล็ดพืชลงไป การเลือกใช้พืชโตเร็ว การปลูกพืชแบบผสมผสานโดยมีทั้งพืชที่มีระบบรากในแนวดิ่งและพืชที่มีระบบรากแบบผสมผสาน การปลูกพืชในตำแหน่งที่เหมาะสม เป็นต้น การเลือกใช้รูปแบบและชนิดของพืชขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่และความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้น ๆ จากผลการศึกษาโครงการวิจัยและพัฒนาระบบการปลูกพืชอย่างยั่งยืนในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (สมชาย บุญประดับและคณะ, 2558) สรุปได้ว่า พื้นที่สูงภาคเหนือตอนบน และภาคเหนือตอนล่าง ควรจัดระบบการปลูกพืชโดยมีกาแฟอราบิกาเป็นพืชหลักร่วมกับไม้ยืนต้นเพื่อเป็นร่มเงาถาวร เช่น แมคคาเดเมีย ไม้ผลต่าง ๆ และปลูกพืชเป็นแนวขวางความลาดชันเพื่อลดการพังทะลายของดิน ได้แก่ ชา สมุนไพร หญ้าแฝก พื้นที่สูงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ควรจัดระบบการปลูกพืชที่มีข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชหลักร่วมกับพืชไร่ตระกูลถั่ว เช่น ถั่วนิ้วนางแดง โดยมีการปลูกหญ้าแฝกขวางแนวลาดชันเพื่อลดการชะล้างของดิน พื้นที่สูงในภาคตะวันออก ควรจัดระบบการปลูกพืชที่มีมันสำปะหลังเป็นหลักร่วมกับพืชตระกูลถั่ว และหญ้าแฝก ส่วนพื้นที่สูงในภาคใต้ตอนล่าง ควรจัดระบบการปลูกพืชไม้ผลแบบผสมผสาน และการปลูกพืชคลุมดินในสวนปาล์มน้ำมัน

พืชชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการเสริมเสถียรภาพให้แก่ลาดดิน คือ หญ้าแฝก ในประเทศไทย นับแต่พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชได้พระราชทานพระราชดำริเป็นในการนำหญ้าแฝกมาใช้แก้ปัญหาดินถล่มครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2534 ก็มีการนำหญ้าแฝกมาใช้ในการแก้ปัญหาดินถล่มและการพังทลายของหน้าดินอย่างกว้างขวาง หญ้าแฝกเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตระกูลหญ้า มีลักษณะเด่นหลายประการที่เหมาะสมสำหรับนำมาปลูกในพื้นที่ลาดชันเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับลาดดิน ระบบรากของหญ้าแฝกจะสานกันแน่นและหยั่งลึกหยั่งลึกลงในดินประมาณ 1.00 – 2.00 เมตร กอของหญ้าแฝกจะมีหน่อใหม่งอกออกมาเบียดชิดติดกันแน่นไม่ขยายออกด้านข้าง ทำให้ง่ายต่อการควบคุมจำกัดพื้นที่ และที่สำคัญคือ หญ้าแฝกเป็นพืชที่ทนแล้ง โรคพืช ขยายพันธุ์ด้วยการแตกหน่อใหม่ ไม่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด จึงไม่ถูกลมพัดพาไปตกหล่นแล้วงอกใหม่กลายเป็นวัชพืชเหมือนหญ้าชนิดอื่น ในประเทศไทยพบว่ามีหญ้าแฝก 2 กลุ่มพันธุ์ จำแนกตามลักษณะบริเวณที่สำรวจพบ ได้แก่ กลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกลุ่ม พบอยู่ตามบริเวณใกล้แหล่งน้ำ และกลุ่มพันธุ์หญ้าแฝกดอน พบอยู่ตามบริเวณพื้นที่สูง หรือที่ดอนทนแล้งได้ดี โดยสามารถเจริญเติบโตในดินที่มีปริมาณความชื้นน้อยได้

การปลูกหญ้าแฝกเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับลาดดิน ควรปลูกในช่วงต้นฤดูฝน โดยมีแนวปลูกเป็นแถวตามแนวระดับขวางแนวลาดของดิน มีระยะห่างของหญ้าแฝกภายในแถวประมาณ 5 เซนติเมตร (กรณีใช้กล้าหญ้าแฝกแบบเปลือยราก) และมีระยะห่างภายในแถวประมาณ 10 เซนติเมตร

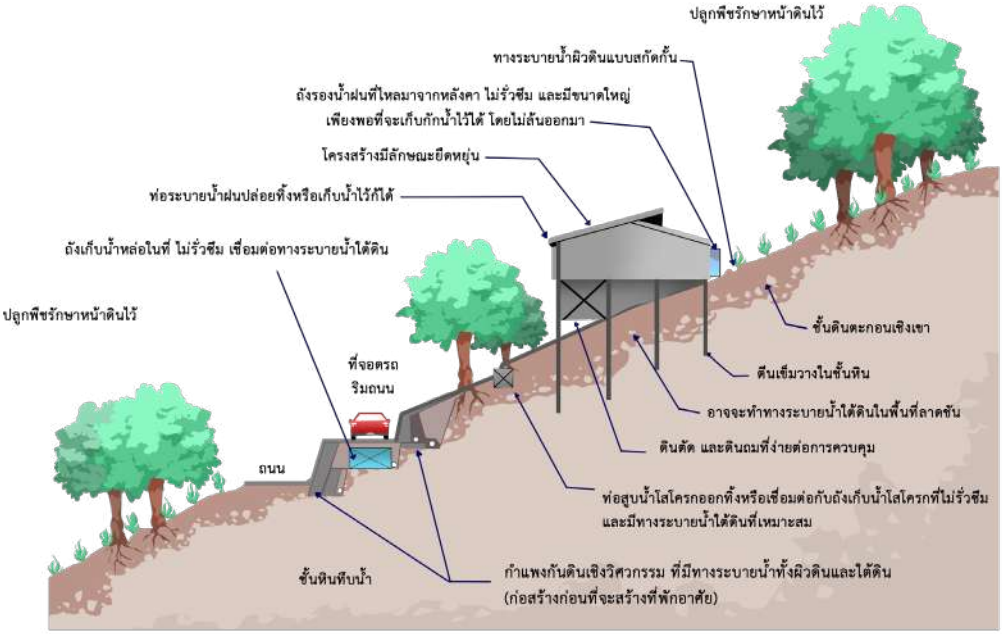
(กรณีใช้กล้าหญ้าแฝกแบบถุง) แต่ละแถวควรมีระยะห่างระหว่างแถว 1.50 - 2.00 เมตร หรือพิจารณาตามสภาพพื้นที่ โดยพื้นที่ว่างระหว่างแถวหญ้าแฝกสามารถปลูกพืชชนิดอื่นเสริมได้ด้วย

รูปที่ 4.12 ลักษณะหญ้าแฝกและลักษณะของระบบราก หญ้าแฝกที่ช่วยเสริมแรงต้านการเฉือนให้มวลดิน (ที่มา : โครงการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝกอันเนื่องมาจากพระราชดำริ 2561)

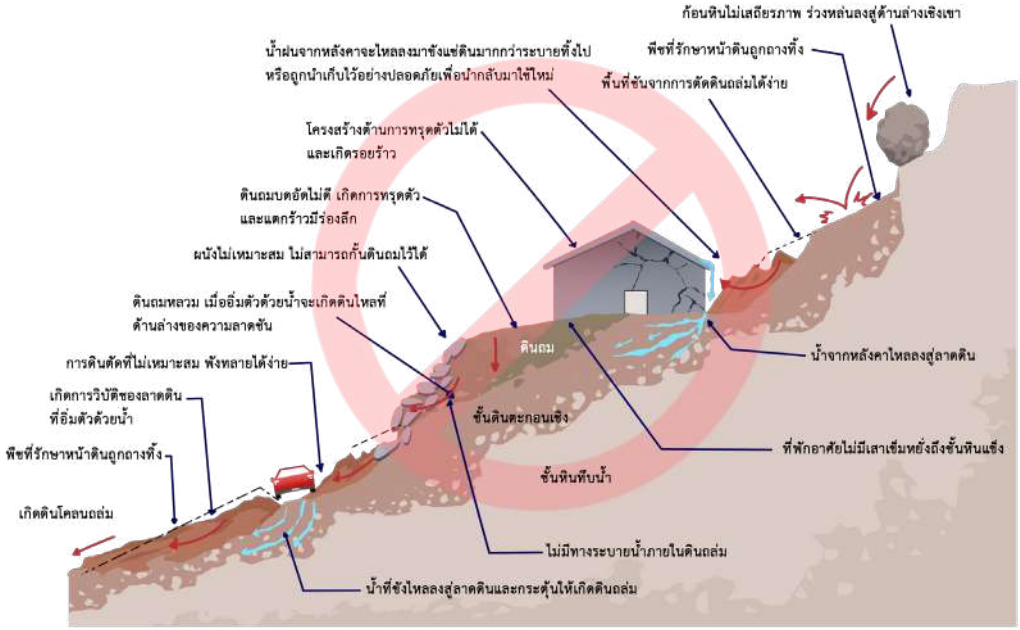
รูปที่ 4.13 การปลูกหญ้าแฝกเพิ่มเสถียรภาพของลาดดิน (ที่มา : โครงการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝกอันเนื่องมาจากพระราชดำริ กรมทางหลวง 2561)

4.5 การก่อสร้างบริเวณที่ลาด

หากจำเป็นต้องมีการก่อสร้างโครงสร้างต่าง ๆ บนพื้นที่ลาดควรออกแบบและก่อสร้างอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม นอกจากนี้ยังมีข้อควรพิจารณาเป็นพิเศษ เช่น การจัดการน้ำ ทั้งที่เกิดจากการใช้สอยและที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิประเทศ เช่น น้ำทิ้งต้องระบายออกด้วยท่อ หรือกักเก็บไว้ในถังบรรจุเพื่อไม่ให้เจิ่งนองที่พื้น น้ำผิวดินทั้งจากหลังคาหรือแหล่งอื่น ๆ ต้องระบายด้วยท่อไปทิ้งในบริเวณที่เหมาะสม อย่าให้น้ำเหล่านี้ซึมลงผิวดินโดยตรง หากมีการตัดลาดดินควรทำโครงสร้างกันดินที่มีการจัดการน้ำด้านหลังโครงสร้างกันดิน หากการก่อสร้างจำเป็นต้องมีการตัดต้นไม้เพื่อเคลียร์พื้นที่ควรทำเท่าที่จำเป็น รูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดงตัวอย่างการก่อสร้างบนที่ลาดอย่างถูกต้อง และไม่ถูกต้อง



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างการก่อสร้างบริเวณลาดเขาที่ถูกต้อง



รูป 4.15 ตัวอย่างการก่อสร้างบริเวณที่ลาดเขาที่ไม่เหมาะสม

4.6 การป้องกันการพังทลายและการชะล้างหน้าดิน

การพังทลายและการชะล้างหน้าดินในพื้นที่ลาดส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำให้พืชไม่สามารถเจริญงอกงามได้อย่างที่ควรจะเป็น และตะกอนดินเมื่อไหลรวมสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดการตื้นเขิน สามารถก่อให้เกิดทั้งปัญหาการจัดการน้ำไม่เป็นอย่างที่ควรจะเป็น ก่อให้เกิดภัยดินถล่ม ภัยแล้ง หรืออุทกภัยตามมาได้ การป้องกันการพังทลายและการชะล้างหน้าดินมีหลายแนวคิด มีทั้งแบบที่มุ่งเน้นการใช้วัสดุประดิษฐ์ทางวิศวกรรม เช่น การใช้คอนกรีตพ่น การใช้คานตาข่าย (grid berm) การคลุมดินด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ จนถึงใช้พืชพรรณและวัสดุจากธรรมชาติในการคลุมดิน และการปรับสภาพพื้นที่ให้เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยหลายประการทั้งสภาพพื้นที่ สภาพสังคม ความต้องการการใช้ประโยชน์ที่ดิน งบประมาณ ฯลฯ ในหัวนี้ผู้แต่งจะกล่าวถึงเฉพาะการป้องกันการพังทลายของหน้าดินบางวิธีที่ไม่ต้องใช้เทคนิคทางวิศวกรรม ชุมชนสามารถมีส่วนร่วมได้

4.6.1 การปลูกพืชคลุมดินและการปลูกพืชแซม

เป็นการป้องกันการพังทลายของหน้าดินโดยใช้พืชที่มีกิ่งก้านและใบปกคลุมผิวดิน มีรากตื้นจำนวนมาก สามารถปลูกคลุมพื้นที่หรือแซมบริเวณที่ว่างระหว่างแถวของพืชหลัก เป็นการป้องกันไม่ให้ดินบริเวณพื้นที่ว่างถูกน้ำชะล้างพังทลายลง และป้องการเจริญเติบโตของวัชพืชได้อีกด้วย การเลือกพืชคลุมดินมีหลักพิจารณาดังนี้

- พืชเถาเลื้อย
- พืชตระกูลถั่ว
- พืชที่เลื้อยพันและเจริญเติบโตเร็ว
- พืชที่รากสาขาแผ่ออกไปได้มาก
- พืชที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อม โรค และแมลง

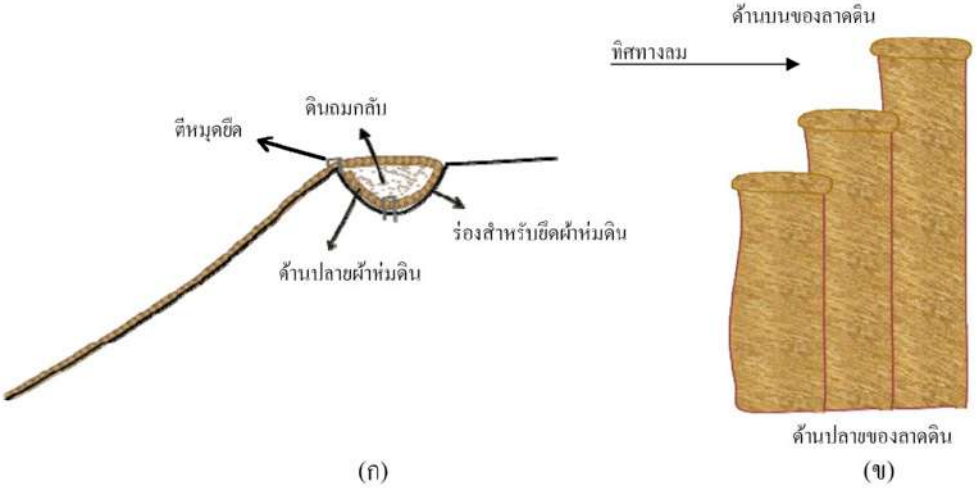
4.6.2 การคลุมดินด้วยวัสดุธรรมชาติ

หากที่ลาดเป็นพื้นที่กสิกรรม ในช่วงที่เว้นว่างจากการเพาะปลูกไม่ควรปล่อยให้ดินว่างเปล่า ควรนำหญ้าและฟางมาคลุมดินไว้ เป็นการป้องกันการชะล้างพังทลายของหน้าดิน และยังช่วยรักษาความชื้นของดิน รวมทั้งเมื่อหญ้าและฟางย่อยสลายสามารถเป็นปุ๋ยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้อีกด้วย

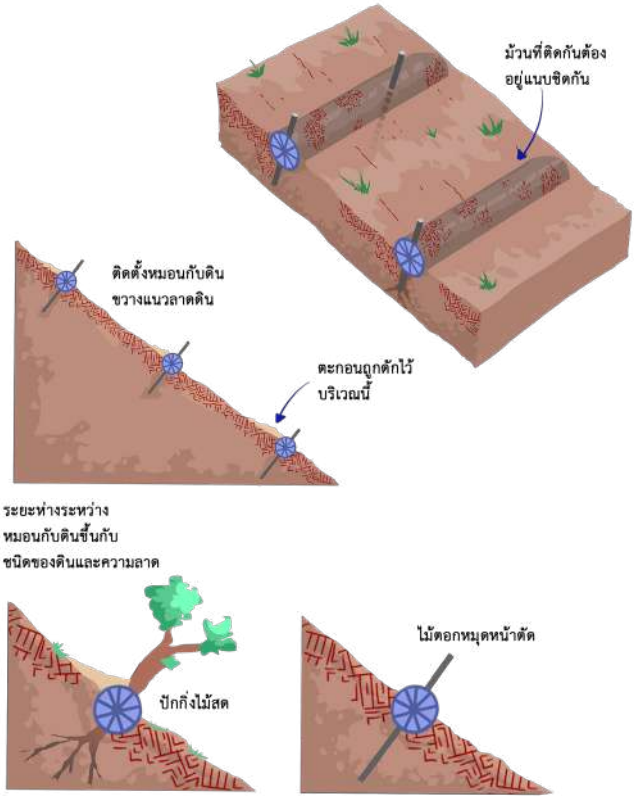
4.6.3 ผ้าห่มดินและหมอนกันดิน

ผ้าห่มดินและหมอนกันดินทำจากเส้นใยธรรมชาตินำมาเย็บเป็นผืนหรือเป็นมัด มีความแข็งแรงแต่มีน้ำหนักเบา ติดตั้งได้สะดวกผ้าห่มดินและหมอนกันดิน ทำหน้าที่ในการป้องกันหน้าดินไม่ให้ถูกกัดเซาะไปตามกระแสน้ำที่ไหลผ่านลาดดินในระยะเวลาหนึ่งก่อนที่พืชคลุมดินจะเจริญเติบโตมาทำหน้าที่คลุมดินแทนในระยะยาวดังรูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพขึ้นกับการบังคับให้น้ำไหลไปบนผ้าห่มดิน ซึ่งปัจจัยสำคัญคือการยึดผ้าห่มกับลาดดิน ทำโดยการขุดร่องเล็ก ๆ ทางด้านบนของลาดดิน แล้วนำปลายของผ้าห่มดินยึดเข้ากับร่องดังรูปที่ 4.17ก แล้วคลี่ม้วนผ้าห่วมดินลงไปตามลาดดิน ทำการยึดผ้าห่มดินเป็นระยะ ๆ ด้วยหมุดไม้ การติดตั้งผ้าห่มดินที่ดีควรคำนึงถึงทิศทางลมด้วย โดยการซ้อนกันของผ้าห่มดินควรสัมพันธ์กับทิศทางลมดังรูปที่ 4.17ข

รูปที่ะผ้าห่มดินและหมอนรองดิน ซ้ายมือ: หลังติดตั้ง ขวามือ: หลังผ่านไปประมาณหนึ่งเดือน
(ที่มา: facebook ผ้าห่มดิน หมอนกันดิน : Erosion Control)



รูปที่ 4.17 การติดตั้งผ้าห่มดิน ก. การยึดผ้าห่มดินเข้ากับร่องขุด ข. การซ้อนผ้าห่มดินให้สัมพันธ์กับทิศทางลม



รูปที่ 4.18 การติดตั้งหมอนกันดิน

หมอนกันดินอาจติดตั้งโดยไม่มีผ้าห่มดินก็ได้ มีวัตถุประสงค์เพื่อกันการกัดเซาะหน้าดิน หมอนกันดินสามารถใช้กับลาดดินที่มีความลาดสูงถึงร้อยละ 70 แต่เมื่อความลาดเกินร้อยละ 50 ประสิทธิภาพการป้องกันการกัดเซาะหน้าดินของหมอนกันดินจะลดลงอย่างมาก การติดตั้งหมอนกันดินทำโดยขุดร่องขวางแนวลาดดินมีความลึกประมาณครึ่งหนึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหมอนกันดิน แต่ละร่องมีระยะห่างกันประมาณ 3 – 8 เมตร เมื่อวางหมอนกันดินไปตามแนวร่องที่ขุดแล้ว ให้ตีหมุดไม้ให้มีระยะห่างประมาณ 1 – 2 เมตร เพื่อยึดหมอนกันดิน อาจพิจารณาใช้การปักชำกิ่งไม้สดแทนหมุดไม้เพื่อให้กิ่งไม้สดเจริญงอกงามเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพในระยะยาว

4.6.4 การใช้ฝายชะลอน้ำ

ฝายชะลอน้ำ หรือ check dam เป็นโครงสร้างกันน้ำขนาดเล็ก โครงสร้างทำจาก ไม้ไผ่ กระสอบทราย หรือหินเรียง เพื่อปรับความลาดโดยรวม (effective slope) ของทางน้ำ การทำฝายชะลอน้ำหากทำถูกที่ ถูกเวลา และถูกต้อง ก็จะเกิดประโยชน์อย่างมาก โดยมีข้อควรพิจารณาดังนี้

- ใช้ทำให้เกิดการตกตะกอนด้านหน้าเขื่อน หากเป็นฝายชะลอน้ำเพื่อใช้ดักตะกอนควรมีการขุดลอกเป็นประจำ ไม่ควรปล่อยให้ตะกอนมีความสูงเกินกว่า 1 ใน 3 ของความสูงฝาย

- ช่วยลดความรุนแรงจากกระแสน้ำ ลดการพังทลายของดินตาม ในทางน้ำที่มีอัตราเร็วการไหลมากกว่า 1.5 เมตรต่อวินาที

- ใช้สำหรับลำธารที่มีพื้นที่รับน้ำไม่เกิน 40000 ตารางเมตร (ประมาณ 25 ไร่)

- ไม่ควรทำในแหล่งน้ำไหล เช่น ลำธาร ลำห้วย เพราะจะรบกวนสภาพแวดล้อม และระบบนิเวศน์ อาจเกิดการสะสมของตะกอนดินในแหล่งน้ำไหล จนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน

- หากต้องการลดการกัดเซาะหน้าดิน แต่ทางน้ำนั้นมีพืชปกคลุมอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องทำฝายชะลอน้ำ เพราะอาจส่งผลกระทบต่อพืชที่ปกคลุมทางน้ำอยู่แล้วได้

- ระดับน้ำด้านหลังฝายชะลอน้ำต้องอยู่สูงกว่าฐานของฝายเพื่อกันการกัดเซาะท้องน้ำด้านหลังฝาย

4.6.5 การปรับพื้นที่เป็นแบบขั้นบันได

การทำขั้นบันไดเป็นการตัดความต่อเนื่องของลาดดินชะลอการไหลของน้ำ การทำขั้นบันไดดินสามารถทำโดยกลไกทางธรรมชาติ หรือใช้เครื่องจักรและแรงงาน ดังนี้

ก บันไดดินธรรมชาติ

โดยการทำคันกั้นดินเป็นช่วง ๆ ตามแนวลาดชัน (รูปที่ 4.19) ใช้กับพื้นที่ที่มีความลาดไม่เกินร้อยละ 15 จากนั้นปล่อยให้น้ำฝนชะล้างตะกอนดินจากตอนบนของลาดดินไหลมากองทับถมบริเวณคันดินที่อยู่ต่ำถัดลงไป จนในที่สุดพื้นที่ระหว่างคันดินจะกลายเป็นพื้นราบขั้นบันไดดินได้เองตามธรรมชาติ โดยทั่วไปจะใช้อัตราส่วนความกว้างของฐานบันไดต่อความสูงของขั้นบันไดเท่ากับ 1 : 1 (ลูกนอน : ลูกตั้ง)

อีกวิธีหนึ่งคือการใช้คันซากพืชในการทำขั้นบันได โดยนำซากพืชที่เกิดจากการบุกเบิกพื้นที่หรือที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวมาวางกองสูงประมาณ 0.50 – 1.50 เมตรให้ยาวต่อเนื่องกันขวางแนวลาด โดยเว้นช่วงห่างระหว่างแนวประมาณ 20 - 40 เมตร แนวคันซากพืชจะคอยดักจับตะกอนดินไว้ จนในที่สุดกลายเป็นขั้นบันไดดินธรรมชาติ นอกจากนี้ซากพืชบางส่วนจะค่อย ๆ เน่าเปื่อยผุพังย่อยสลายเป็นอินทีย์วัตถุหรือ เป็นปุ๋ยบำรุงดินให้แก่ต้นไม้ด้วย

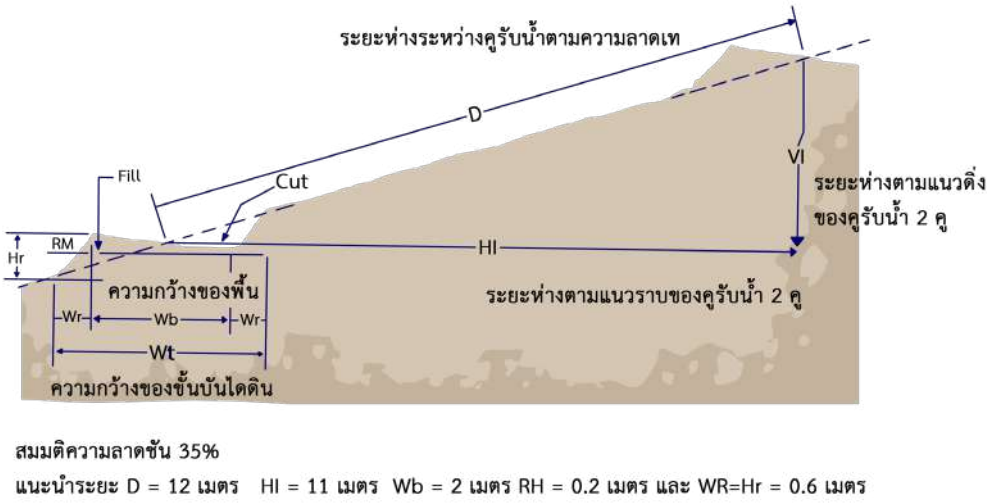
V บันไดดินที่สร้างขึ้น

เป็นขั้นบันไดที่สร้างขึ้นด้วยแรงงานและเครื่องจักร มีประสิทธิภาพในการป้องกันการพังทลายของหน้าดินในพื้นที่ลาดชันได้มากกว่าแบบขั้นบันไดดินธรรมชาติ โดยทั่วไปจะใช้อัตราส่วนความกว้างของฐานบันไดต่อความสูงของขั้นบันไดเท่ากับ 3 : 1 (ลูกนอน : ลูกตั้ง) บางพื้นที่บันไดดินอาจมีการเว้นช่วงห่างกันได้ เกิดเป็นบันไดดินแบบไม่ต่อเนื่อง (รูปที่ 4.19) และพื้นที่ลาดบริเวณที่เว้นช่วงขั้นบันไดสามารถปลูกพืชไร่หรือพืชคลุมดินตระกูลถั่วได้

รูปที่ 4.19 การทำขั้นบันไดบนพื้นที่ลาดชัน
ด้านบน: การทำขั้นบันไดดินธรรมชาติโดยใช้คันดิน ด้านล่าง: การสร้างบันไดดินแบบไม่ต่อเนื่อง
(ดัดแปลงจาก: เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน สนท. 030017 2550)

4.6.6 การทำคูรับน้ำชายเขา

ในกรณีที่พื้นที่ลาดชันเชิงเขาไม่สามารถทำขั้นบันไดที่ต่อเนื่องได้ สามารถทำคูรับน้ำชายเขาเพื่อชะลอกระแสน้ำ และเป็นแนวดักตะกอนดินที่ถูกชะมาไม่ให้ไหลไปตามกระแสน้ำ คูรับน้ำชายเขา เป็นคูน้ำตามแนวระดับที่ทำขึ้นขวางแนวลาดของดิน โดยมีหน้าตัดเป็นร่องลักษณะคล้ายรูปตัววี (รูปที่ 4.20) และหน้าตัดแบบก้นคูแบนราบคล้ายถนน (รูปที่ 4.21)



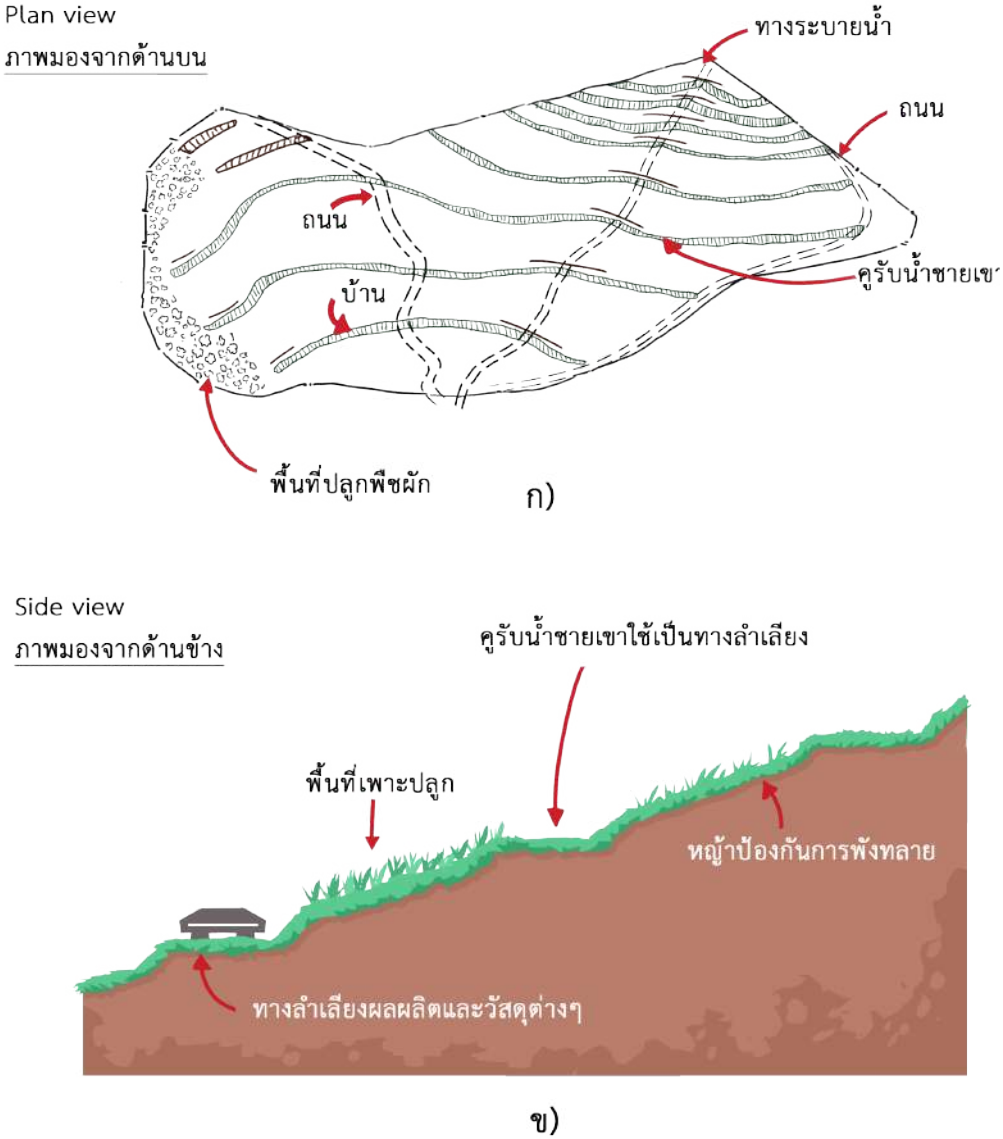
รูปที่ 4.20 ภาพตัดขวางของคูรับน้ำแบบร่องตัววี
(ดัดแปลงจาก: วินัย อักษรพันธ์ ชาติชาย พูนพาณิชย์ และพิพัฒน์ ไทยกล้า (2558))

ขนาดของคูรับน้ำชายเขาในพื้นที่เกษตรกรรม ควรนำระยะห่างของแถวพืชที่ปลูก และขนาดของเครื่องจักรกลที่จะใช้ในการกสิกรรม มาร่วมพิจารณาด้วย โดยทั่วไปควรออกแบบให้คูรับน้ำชายเขาแต่ละช่วงมีความยาวไม่เกิน 200 เมตร ระยะห่างและแนวเส้นทางของคูรับน้ำชายเขาสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสภาพของพื้นที่ลาดชัน หากพื้นที่มีความลาดไม่มากสามารถเว้นระยะห่างระหว่างคูได้มากถึง 30 เมตร นอกจากนี้ความสามารถในการระบายน้ำของดิน ความทนทานต่อการกัดเซาะของดิน รวมถึงชนิดของพืชที่เพาะปลูก สามารถนำมาเป็นปัจจัยในการพิจารณาระยะห่างระหว่างคูรับน้ำชายเขาได้ด้วย รูปที่ 4.22 แสดงแผนผังและภาพด้านข้างของการทำคูรับน้ำชายเขาแบบฐานคูกว้าง และรูปที่ 4.23 แสดงองค์ประกอบของคูรับน้ำชายเขาทั้งแบบร่องลึกรูปตัววีและแบบฐานคูกว้างในพื้นที่จริง

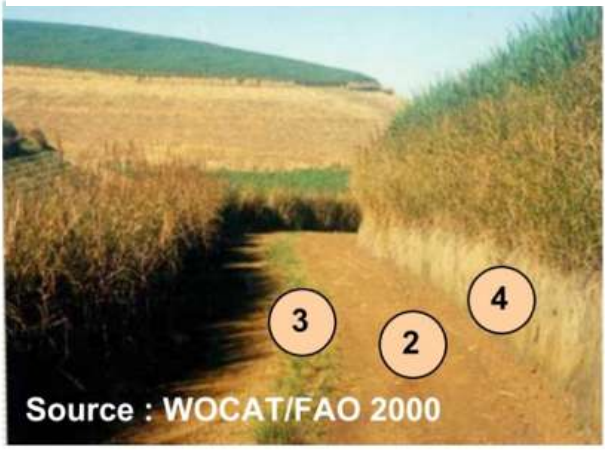
ก)

ข)

รูปที่ 4.21 ภาพตัดขวางของคูรับน้ำแบบฐานคูกว้าง (ก) แบบฐานคูกว้าง 1.5 เมตร (ข) แบบฐานคูกว้าง 2 เมตร (ที่มา: วินัย อักษรพันธ์ ชาติชาย พูนพาณิชย์ และพิพัฒน์ ไทยกล้า (2558))



รูปที่ 4.22 แผนผังและภาพด้านข้างของการทำคูรับน้ำชายเขาแบบฐานคูกว้าง
(ก) รูปแปลนคูรับน้ำชายเขา (ข) รูปด้านคูรับน้ำชายเขา (ดัดแปลงจาก : FAO (1988))



1: คูรับน้ำชายเขา เพื่อการระบายน้ำเพียงอย่างเดียว มีลักษณะเป็นร่องลึก รูปตัว V

2: ลักษณะคูรับน้ำชายเขา เพื่อการลำเลียงผลผลิตด้วย มีลักษณะแบนราบคล้ายถนน

3: แถวหญ้าธรรมชาติหรือไม้พุ่มเตี้ยเพื่อป้องกันการพังทลายของดินด้านล่างของคูรับน้ำ

4: ผนังด้านบนที่ดินถูกตัดลงมาทำคูรับน้ำต้องปลูกหญ้าแฝกป้องกันดินพังทลาย

รูปที่ 4.23 แสดงองค์ประกอบของคูรับน้ำชายเขาทั้งแบบร่องลึกรูปตัววีและแบบฐานกว้าง
(ที่มา : วินัย อักษรพันธ์ ชาติชาย พูนพาณิชย์ และพิพัฒน์ ไทยกล้า, 2558)

รายการอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. (2530). ชุดหินทางธรณีวิทยาของประเทศไทย. ฐานข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรธรณี. (2554). ร่องรอยการเกิดดินถล่มที่เกิดขึ้นรอบเขาพนมเบญจา. แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชน จังหวัดกระบี่. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.dmr.go.th/images/article/freetemp/article_20110801154204.pdf

กรมทรัพยากรธรณี. (2555). แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.dmr.go.th/images/active_fault-2012_table.pdf

กรมทรัพยากรธรณี. (2555). บันทึกเหตุการณ์ดินถล่ม. สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.dmr.go.th/download/Landslide/event_landslide1.htm

กรมทรัพยากรธรณี. (2555). รายงานโครงการดินถล่ม-อุตรดิษถ์. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.dmr.go.th/

กรมทรัพยากรธรณี. (2556). โครงการงานศึกษาพัฒนาแบบจำลองพลวัตวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม สำหรับเฝ้าระวังแจ้งเตือนภัยดินถล่ม. กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรธรณี. (2558). แผนที่เตือนภัยดินถล่มระดับชุมชน. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.dmr.go.th/

กรมทรัพยากรธรณี. (2560). ภาพย้อนรอยเหตุการณ์ดินทรุดตัวและรอยแยก ณ บ้านสันติศีรีหมู่ที่ 1 ตำบลแม่สลองนอก อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.dmr.go.th/

กรมทรัพยากรน้ำ. (2561). คู่มือเตรียมพร้อมรับอุทกภัย-ดินถล่ม. ศูนย์ป้องกันวิกฤติน้ำ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.dwr.go.th/contents/files/article/article_th-10042017-130835-316980.pdf

กรมพัฒนาที่ดิน. (2548). พื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มและอุทกภัยภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคกลาง. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2550). ทำเกษตรขั้นบันได. เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย. (2556). การลดความเสี่ยงจากสาธารณภัย. กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย. (2557). การลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน. กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กรุงเทพธุรกิจ. (2557). เชียงรายประกาศ 7 อำเภอ พื้นที่ประสบภัยพิบัติ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.bangkokbiznews.com/news/detail/580304

โครงการปลูกหญ้าแฝกกรมทางหลวง. (2561). ระบบการประยุกต์ใช้หญ้าแฝกเพื่อการอนุรักษ์ดิน และน้ำ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://sites.google.com/site/adecmju46002/khorngkar-pluk-hya-faek-krm-thanghlwng

โครงการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝก อันเนื่องมากจากพระราชดำริ. (2561). RDPB Journal วารสารโดยกองแผนงานและวิเทศสัมพันธ์ สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.rdpb-journal.in.th/2017/06/12/projectreview_4-2559/

โครงการศึกษาวิธีการฟื้นฟูที่ดินเสื่อมโทรมเขาชะงุ้ม อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2561). ระบบการประยุกต์ใช้หญ้าแฝกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://sites.google.com/site/adecmju46002/kh-rng-kar-suksa-withi-kar-funfu-thidin-seuxmthorm-khea-changum

จิราภรณ์ สรรพวีรวงศ์, และนิดารัตน์ ชูวิเชียร. (2558). ผลกระทบทางสุขภาพ การรับรู้การปรับตัวและการสนับสนุนทางสังคมของผู้ประสบภัยน้ำป่าและดินโคลนถล่ม อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช. สงขลานครินทร์เวชสาร ปีที่ 33 (3), 109-119.

ชัยยุทธ ชินณะราศี (บ.ก.). (2558). การจัดการภัยพิบัติจากน้ำหลาก-ดินโคลนถล่มที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยการมีส่วนร่วมของภาคประชาชน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.ปีที่ 38 (4), ตุลาคม - ธันวาคม 2558.

เชียงรายโฟกัส. (2560). แผ่นดินบนยอดดอยแม่สลอง เกิดการทรุดตัวไม่หยุดวันละ 1-2 ซม. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: www.chiangraifocus.com/news/details.php?id=5034

ตะวันแดงการ์เด้นรีสอร์ท. (2561). ดินถล่มอำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://th-th.facebook.com/TawanDaengKardenRisxrth/

ตุ้ม สี่แคว. (2559). ทิศทางลมมรสุมและทางเดินพายุที่พัดผ่านประเทศไทยในเดือนต่างๆ. การเดินทางของลม (Journey of Wind Story). [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://tumsikwae.blogspot.com/2016/05/journey-of-wind-story.html

ไทยรัฐ. (2559). ผาแต้มถล่ม. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.thairath.co.th/content/571158

ไทยรัฐ. (2560). ทกซูรีถล่มดอยแม่สลอง ทรุดตัวลึก 3 เมตร บ้านเรือนยุบต่ำเห็นแต่หลังคา. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.thairath.co.th/content/1074860

ไทยรัฐ. (2561). บ่อเกลือบ่อเกลือวิปโยค อพยพลี้ภัยทั้งหมู่บ้าน พบศพที่ 8 ฝังโคลน. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.thairath.co.th/content/1343555

ไทยรัฐ. (2561). ดินถล่ม ดินโคลนถล่ม และดินสไลด์. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.thairath .co.th/tags

ไทยรัฐ. (2561). ดินถล่มบ้านห้วยขาบ อำเภอบ่อเกลือเหนือ จังหวัดน่าน. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.thairath.co.th/

นิตยสารมติชนสุดสัปดาห์. (2561). “สิ่งแวดล้อม” ฉบับวันที่ 3–9 สิงหาคม 2561. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.matichonweekly.com

บางกอก มีเดีย แอนด์ บรอดคาสติ้ง (PPTVHD). (2560). กรมทรัพยากรธรณี สรุปเหตุหินถล่ม “ผากระทัง” ในเขตอุทยานฯ ผาแต้ม. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.pptvhd36.com/sport/news/22431

ไบรท์ทีวี. (2560). ชาวบ้านระทึก ดินสไลด์ “แม่สลอง” ร้านอาหารยังไม่รื้อถอนเสี่ยงถล่ม. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.brighttv.co.th/latest-news/social/119308

ไบรท์ทีวี. (2561). เยียวยาศพเหยื่อดินถล่มบ่อเกลือ 5 หมื่น. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.brighttv.co.th/bright-news/249294
ประหยัด ปานดี. (2533). อุทกภัยบริเวณภาคใต้ของไทย : การศึกษาวิเคราะห์เชิงระบบภูมิ-นิเวศ.เอกสารประกอบการบรรยาย การประชุมวิชาการเรื่อง ภัยธรรมชาติในประเทศไทย วันที่ 12-16 พฤศจิกายน 2533. กรุงเทพมหานคร: สมาคมภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย.
ปริญญา นุตาลัย และวันชัย โสภณสกุลรัตน์. (2532). การป้องการอุทกภัยภาคใต้ เอกสารประกอบการสัมมนา. เล่มที่ 1 วันที่ 17-18 สิงหาคม 2532. โรงแรม เจ บีหาดใหญ่ สงขลา.
ผ้าห่มดิน หมอนกันดิน : Erosion Control. (2561). ผลิตภัณฑ์ป้องกันการกัดเซาะของหน้าดิน และป้องกันพังสไลด์ของหน้าดิน. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://th-th.facebook.com/pg/Erosioncontrolblanket/posts/?ref=page_internal
ผู้จัดการ (MGR ONLINE). (2559). หินถล่มที่อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://mgronline.com/south/detail/9590000002607
ผู้จัดการ (MGR ONLINE). (2559). ดินดอยแม่สลองทรุด. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://mgronline.com/
ผู้จัดการออนไลน์. (2560). ตะลึงพบโพรงน้ำไหลเป็นทางใต้ดินแยกกลางชุนแม่เมาะ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://amp.mgronline.com/local/9600000105702.html
โพสต์จัง. (2560). ฝนตกหนักทำให้ถนนสายสุราษฎร์-ตะกั่วป่าขาดบริเวณ กม.118 อำเภอกะปง จังหวัดพังงา. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://board.postjung.com/1039176.html
โพสต์ทูเดย์. (2558). 27 ปี โคลนถล่มกะทูน จากความวิบโยคคืนสู่ความสมบูรณ์. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.posttoday.com/social/local/400980
โพสต์ทูเดย์. (2560). ฝนถล่มทางขาด จนท.ปิดถนนสาย 401 ช่วงเขาสกรอบต่อพังงา-สราษฎร์. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.posttoday.com/social/local/507290
มติชนออนไลน์. (2559). “ผาแต้ม” หินถล่ม ขอผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.matichon.co.th/region/news_20661
มูลนิธิชัยพัฒนา (The Chaipattana Foundation). (2554). รายงานความเสียหายจากพิบัติภัยดินถล่ม อ.น้ำปาด จ.อุตรดิตถ์ (29 กันยายน 2554). [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.chaipat.or.th/ site_content/738-2011-09-30-02-45-31/4298-2011-09-30-02-59-29.html
มูลนิธิพลังที่ยั่งยืน. (2561). การศึกษาวิจัยการป้องกันแก้ไขดินถล่มบนที่สูงชัน : กรณีศึกษาบ้านหน้าถ้ำ ต.ท่าอุแท อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี. โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาการแก้ไขปัญหาดินถล่มบนที่สูงชันตามแนวพระราชดำริ (มูลนิธิชัยพัฒนา).
ลำปาง13นิวส์ออนไลน์. (2560). เหตุดินถล่มห้วยคิงพบดินชั้นบนอุ้มน้ำไม่ไหว ทรัพยากรธรณีเจาะสำรวจเจอดิน 2 ชั้น. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.lampang13.com/archives/5584
วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). โคลนถล่ม. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://th.wikipedia.org/wiki/
วิชาการธรณีไทย. (2557). รอยเลื่อนและแผ่นดินไหว จ.เชียงราย 2557. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.geothai.net/chiangrai_earthquake
วินัย อักษรพันธ์, ชาติชาย พูนพาณิชย์, และพิพัฒน์ ไทยกล้า. (2558). ต้นแบบการปลูกพืชไร่หรือพืชผักบางชนิดในพื้นที่สูงชัน โดยใช้คูรับน้ำชายเขาเป็นมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ. เอกสารทาง

วิชาการเผยแพร่ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.). (2559). ภาพดินถล่มแบบหมุน. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://eit.or.th/
ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2559). รายงานฉบับสมบูรณ์ “การคำนวณเสถียรภาพของลาดดินก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยวิธีไฟไนท์อีลลีเมนต์” เสนอมูลนิธิพลังที่ยั่งยืน.
ศูนย์วิจัยป่าไม้. (2537). รายงานฉบับสุดท้ายโครงการศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย ดินถล่มและภัยธรรมชาติในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้. คณะวรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย (Geo-Informatics center for Thailand. 2558). กรณีศึกษาในเบื้องต้น ถึงสาเหตุการเกิดน้ำท่วมและดินถล่มฉับพลัน บริเวณตำบลน้ำก้อ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันภัยในระยะยาวจากการเกิดน้ำท่วมและดินถล่มฉับพลัน บริเวณตำบลน้ำก้อ และบริเวณอื่นๆ ในประเทศไทย. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.gisthai.org/v2/index.php/2015-02-04-07-55-43/2015-02-04-08-47-03/56-2015-02-26-15-33-55
ศูนย์วิจัยภูมิศาสตร์สารสนเทศเพื่อประเทศไทย (Geo-Informatics center for Thailand). (2561). กรณีศึกษาในเบื้องต้นถึงสาเหตุการเกิดน้ำท่วมและดินถล่มฉับพลัน บริเวณตำบลน้ำก้อ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อเป็นใช้เป็นแนวทางในการป้องกันภัยในระยะยาว จากการเกิดน้ำท่วมและดินถล่มฉับพลัน บริเวณตำบลน้ำก้อ และบริเวณอื่นๆ ในประเทศไทย. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.gisthai.org/research/namkao.html
ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก. (2559). ฐานข้อมูลดินถล่มในประเทศไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน, กรุงเทพฯ.
สมชาย บุญประดับ และคณะ. (2558). กิจกรรมที่ 1 วิจัยและพัฒนาระบบการปลูกพืชอย่างยั่งยืนในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม. รายงานโครงการวิจัยและพัฒนาระบบการปลูกพืชอย่างยั่งยืนในพื้นที่เสี่ยงภัย กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 7-20.
ส่งเกียรติ ทานสัมฤทธิ์. (2556). การมีส่วนร่วมของชุมชน ในการใช้หญ้าแฝกป้องกันดินถล่ม. เอกสารการประชุมวิชาการ “2 ทศวรรษ พัฒนาวิชาการหญ้าแฝก” 22 พฤษภาคม 2556.
สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, และธีรไนย์ นุ้ยมาก. (2556). การประเมินเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนเชิงสถิติสำหรับเตือนภัยดินถล่ม. การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18 วันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่.
สุภัทท์ วงศ์วิเศษสมใจ. (2532). วิเคราะห์สถานการณ์อุทกภัยภาคใต้. เอกสารเล่ม 1 ประกอบการสัมมนาเรื่อง อุทกภัยภาคใต้ โศกนาฏกรรมที่น่าจะหลีกเลี่ยง.
สุวณี ศรีธวัช ณ อยุธยา. (2538). การวินิจฉัยคุณภาพของดินด้านปฐพีกลศาสตร์ตามกลุ่มชุดดิน ในประเทศไทย. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์. (2559). การพัฒนาชุดอ่านความชื้นในดินแบบเรียลไทม์. โครงการวิจัย. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
อิศรา. (2560). ดินถล่ม. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://www.isra.or.th
เอ็มคอตเอชดี. (2560). ย้อนมหันตภัยร้าย!! น้ำป่าทะลัก อ.วังชิ้น พรากชีวิตกว่า 23 ศพ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://tv.mcot.net/view/596c3899e3f8e40af5bdaffc
โอเคเนชั่น. (2554). ภาพมุมสูง ดินถล่ม เขพนม จ.กระบี่. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://oknation.nationtv.tv/blog/print.php?id=700699
Aleotti, P. (2004). A Warning System for Rainfall-Induced Shallow Failures. Engineering Geology, 73, 247-265.
Aleotti, P., Baldelli, P., Bellardone, G., Quaranta, N., Tresso, F., Troisi, C., and Zani, A., (2002). L'evento meteorico del 13 – 16 ottobre 2000 nel Piemonte Settentrionale : analisi delle precipitazioni e dei processi di versante indotti. Geologia Tecnica e Ambientale 1, 15–25.
American Avalanche Association. (2017). Slope Aspect with respect to the sun. [Online]. Available at: https://avalanche.org/avalanche-encyclopedia/aspect/
Asia Pacific Adaptation Network (APAN). (2014). Stacking of sandbags combined with the use of ground improvement technology (for basic restoration and reinforce ment/restoration). [Online]. Available at: http://www.apan-gan.net/adapta tion-technologies/database/stacking-sandbags-combined-use-ground-improve ment-technology-basic
Australian Geomechanics. (2007). THE AUSTRALIAN GEOGUIDES FOR SLOPE MANAGE MENT AND MAINTENANCE. Journal and News of the Australian Geomechanics Society. 42 (1), March 2007.
Bacchini, M. and Zannoni, A. (2003). Relations between rainfall and triggering of de bris-flow: Case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy). Natural hazards and earth system sciences 3(1). doi : 10.5194/nhess-3-71-2003
Barbero S., Rabuffetti D., and Zaccagnino M. (2004). Una metodologia per la definizione delle soglie pluviometriche a supporto dell'emissione dell'al lert amento. In: Proceedings 29th Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzi oni Idrauliche. Trento : 7-10 September 2004, 211–217.
Bhandari, R.K. (2002). Landslide Hazard Mapping Methodology – An Approach Paper. Commissioned by Building Materials Technology Promotion Council, Ministry of Urban Affairs, New Delhi (unpublished).
Brand E.W., Premchitt J., and Phillipson H.B. (1984). Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. In: Proceedings of the IV international symposium on landslides, Toronto 1, 377–384.
Calcaterra, D., Parise, M., Palma, B. and Pelella, L. (2000a). The influence of meteoric events in triggering shallow landslides in pyroclastic deposits of Campania,

Italy. Proc. 8th Int. Symp. on Landsides, 1, Cardiff, June 26-30 2000, Thomas Tel ford, London, 209-214.

Calcaterra, D., Parise, M., Palma, B. and Pelella, L. (2000b). Multiple debris flows in volcaniclastic materials mantling carbonate slopes. Proc. 2nd Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation, Taipei Taiwan-16-18 August 2000, Rotterdam : Balkema, 99-107.

Cannon, S.H., and Ellen, S.D. (1985). Rainfall conditions for abundant debris avalanches in the San Francisco Bay region. California: California Geology, 38(12), 267- 272.

Cannon, S.H., Gartner, J.E. (2005). Wildfire-related debris flow from a hazards perspective. Chapter 15 in: Jakob, M. and Hungr, O. eds., Debris flow hazards and related phenomena : Praxis. Springer, Berlin, Heidelberg, 363–385.

Cannon S.H. (1988). Regional rainfall-threshold conditions for abundant debris-flow activity. In: Ellen SD, Wieczorek GF (eds) Landslides, floods, and marine effects of the storm of January 3–5, 1982, in the San Francisco Bay region, California. U.S. Geological Survey Professional Paper 1434. USGS, Washington, DC.

California Department of Transportation Division of Design. (2018). Stepped Slopes. [On line]. Available at: http://www.dot.ca.gov/design/lap/landscape-design/ero sion-control/earthwork/steppedslopes.html

Cardinali, M., Galli, M., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Reichenbach, P., and Bartoccini, P. (2006). Rainfall induced landslides in December 2004 in south-western Umbria, central Italy: types, extent, damage and risk assessment. Natural Hazards and Earth System Sciences, 6, 237–260.

Ceriani, M., Lauzi, S., and Padovan N. (1992). Rainfalls and landslides in the Alpine area of Lombardia Region. Central Alps Italy. In: Proceedings of the International Symposium “Interpraevent”, 2, 9-20.

Chinkulkijniwat, A., Yubonchit, S., Horpibulsuk, S., Jothityangkoon, C., Jeebtaku, C., and Arulrajah, A. (2016). Hydrological responses and stability analysis of shallow slopes with cohesionless soil subjected to continuous rainfall. Canadian Geo technical Journal, 53(12), 2001–2013.

Chinkulkijniwat, A., Horpibulsuk, S., and Yubonchit, S. (2018). Influence of periodical rainfall on shallow slope failures based on finite element analysis. Numerical methods in Geotechnical Engineering IX-Cardoso et al (Eds), Taylor & Francis Group, London, 1091-1096.

Clarizia, M., Gulla, G., and Sorbino, G. (1996). Sui meccanismi di innesco dei soil slip, in Proceedings of International Conference on Prevention of Hydro-geological Hazards: The Role of Scientific Research Alba, Italy, 1, 585–597, 5–7 November 1996.

Corominas, J. (2000). Landslides and climate. Keynote lecture, in: Proceedings 8th

International Symposium on Landslides, edited by : Bromhead, E., Dixon, N., and Ibsen, M. L., Cardiff, A.A. Balkema, 4, 1–33,

Crosta, G. B., Frattini, P., and Siena, L. (2001). Shallow landslides triggered by rainfall : the 27–28 June 1997 event in Lecco Province (Lombardy, Italy). Geophysical Research Abstracts, 3, 8621.

Crow, P. (2005). The Influence of Soils and Species on Tree Root Depth. Edinburgh: Forest Commission.

Cutler, D.F. & Richardson, I.B.K. (1989). Tree Roots and Buildings, 2nd Edition. Longman Scientific & Technical, Harlow, Middlesex, England.

Dobson, M. (1995). Tree Root Systems. Arboriculture Research and Information Note 130/95/ARB. Arboricultural Advisory and Information Service, Farnham.

Donald Hyndman and David Hyndman. (2011). Natural Hazards and Disasters. Canada : Nelson Education, 549.

Dual Manufacturing Co., Inc. (2018). Product, Testing sieves, Lab equipment and Meshes. [Online]. Available at: http://www.dualmfg.com/

ETest. (2018). Capillary Pressure Probe. [Online]. Available at: http://www.e-test.eu/capillary-pressure-probe.html.

FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1989). Plan and layout for hillside ditches. [Online]. Available at: http://www.fao.org/

FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2000). DISCONTINUOUS TYPES OF TERRACES (HILLSIDE DITCHES, ORCHARD TERRACES, AND INDIVIDUAL BASINS). [Online]. Available at: http://www.fao.org/

Forestry Extension. (2018). Roots. [Online]. Available at: https://www.extension.iastate.edu/forestry/tree_biology/101roots.html

Gabet, E.J., Burbank, D.W., Putkonen, J., Pratt-Situala, B.A., and Ohja, T.P. (2004). Rainfall thresholds for landsliding in the Himalayas of Nepal. Geomorphology (in press).

Geomechanics and Geoengineering Group. (2560). ดินถล่มที่บ้านสันติคีรี ดอยแม่สลองนอก. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://th-th.facebook.com/GGG.SUT/

GEO2GIS.COM. (2018). เล่าด้วยภาพ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.geo2gis.com

Gray, D. H., and R. B. Sotir. (1996). Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabiliza tion: A Practical Guide for Erosion Control. John Wiley and Sons.

Gregor A Scheffler and Rudolf Plagge. (2011). Methods for moisture storage and transport property determination of autoclaved aerated concrete. January 2011. [Online]. Available at: https://www.researchgate.net/

Guadagno F.M. (1991). Debris flows in the Campanian volcaniclastic soils. Slope stability Engineering. Thomas Telford, London, 109-114.

Guidicini, G., and Iwasa, O.Y. (1977). Tentative correlation between rainfall and land

slides in a humid tropical environment. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 16(1), 13-20. doi : 10.1007/BF02591434

GUIDKRABI.COM. 2554. ประมวลภาพดินถล่มเขาพนม จ.กระบี่. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://guidekrabi.com/

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., and Stark, C. P. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe, Meteorol. Atmos. Phys., 98, 239–267.

Heyerdahl H., Harbitz C.B., Domaas U., Sandersen F., Tronstad K., Nowacki F., Engen A., Kjekstad O., Devoli G., Buezo S.G., Diaz M.R., and Hernandez W. (2003). Rain fall induced lahars in volcanic debris in Nicaragua and El Salvador. practical mitigation. In: Proceedings of International Conference on Fast Slope Move ments-Prediction and Prevention for Risk Mitigation, IC-FSM2003. Patron Publica tion, Naples, 275–282.

Hornbeck, J.W., and K.G. Reinhart. (1964). Water quality and soil erosion as affected by logging in steep terrain. J. Soil and Water Conserv.19, 23-27.

Jibson R.W. (1989). Debris flows in southern Puerto Rico. Geological Society of America, 236, 29-55.

Kim S.K., Hong W.P., and Kim Y.M. (1991). Prediction of rainfall triggered landslides in Korea. In: Bell DH (ed) landslides. AA Balkema, Rotterdam, 989–994.

Knocke E.T., and Kolivras K.N. (2007). Flash Flood Awareness in Southwest Virginia. Risk Analysis 27(1), 155-169. doi : 10.1111/j.1539-6924.2006.00866.x

Mark T. J. Terlien. (1998). The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds. Environmental Geology, 35(2), 124-130. doi : 10.1007/s002540050299

Munich Re's NatCatSERVICE. (2018). The most extensive database on natural disasters, now online. [Online]. Available at: https://www.munichre.com

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2018). Cold and warm episodes by season. Climate Prediction Center NOAA. [Online]. Available at: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/

NASA earth observatory. (2018). Land. [Online]. Available at: https://earthobservatory.nasa.gov/

Nel Caine. (1980). The Rainfall Intensity: Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows. Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography, 62(1/2), 23-27.

OKnation. (2554). โคลนถล่ม อำเภอน้ำปาด อุตรดิตถ์. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://oknation.nationtv.tv/blog/swongviggit/2011/09/12/entry-1

Pasuto A, and Silvano S. (1998). Rainfall as a triggering factor of shallow mass movements. A case study in the Dolomites, Italy. Environmental Geology, 35(2-3), 184-189.

Saito M. (1969). Forecasting the time of slope failure by tertiary creep. Proceeding Seventh Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, 2, 677-683.

Sassa, K. and Canuti P. (Eds.). (2009). Landslides - Disaster Risk Reduction. Geotechnical Engineering & Applied Earth Sciences. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 650.

Science Horticulture (n.d.). (2018). Soil temperature. [Online]. Available at: http://horticulture.tekura.school.nz/soils/soils-2/ht1032-soils-2-study-plan/soil-temperature

Sidle, R. C. and Ochiai, H. (2006). Landslides: Process, Prediction, and Land Use. Water Resources Monograph (Vols. 18). Washington, DC: American Geographical Union.

Story, T. (2012) Terrans Tree Tips – Beating the Heat. [Online]. Available at: http://tips.woodlandtree.com/terrantip2012_4.html. [Accessed: 29 April 2016].

Terlien, M. T. J. (1998). The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds Environmental Geology, 35, 2–3.

The Greywater Guide. (2018). What plants, shrubs and trees really want. . [Online]. Available at: http://www.thegreywaterguide.com/what-plants-really-want.html

Varnes D.J. (1978). Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) Landslides, analysis and control, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., 11–33.

WikipediaRusia. (n.d.). (2018). Экспозиция склона. [Online]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Экспозиция склона.

Wilson, K. G. (1997). Science and Treatment Development : Lessons from the history of behavior therapy. Behavior Therapy, 28, 547-558.

Wilson, R.C., and Jayko, A.S. (1997). Map of rainfall thresholds for debris flows in the San Francisco Bay Region. California : U.S. Geological Survey, Open-file Report, 97-745 F.

WOCAT–the World Overview of Conservation Approaches and Technologies. (2000). Global Database on Sustainable Land Management. [Online]. Available at: https://www.wocat.net/en/

Zinck. J.A., J. Lopez, G.I. Metternicht, D.P. Sherestha and L. Vazquez-Selem. (1976). Mapping and Modeling Mass Moment and Gullies in Mountianous Areas Using Remote Sensing and GIS Techniques. ITC journal, 2001

ประวัติผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ ได้รับปริญญาด้านวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยม) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีพุทธศักราช ๒๕๓๙ วิศวกรรมมหาบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ในปีพุทธศักราช ๒๕๔๑ และวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต จาก Graz University of Technology ประเทศออสเตรีย ในปีพุทธศักราช ๒๕๔๘ ดร.อวิรุทธิ์ เริ่มงานในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีตั้งแต่ปีพุทธศักราช ๒๕๔๑ และมีงานร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมทางหลวงชนบท สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร บริษัท อิตาเลี่ยนไทย จำกัด(มหาชน) มูลนิธิพลังที่ยั่งยืน ฯลฯ อย่างต่อเนื่อง

ปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ ดำรงตำแหน่งหัวหน้าศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และรองประธานสมาคมนานาชาติด้านวัสดุสังเคราะห์ทางธรณี (International Geosynthetics Society หรือ IGS) ประจำประเทศไทย นอกจากนี้ยังดำรงตำแหน่งกองบรรณาธิการของวารสาร Soils and Foundations ซึ่งเป็นวารสารชั้นนำของสมาคมธรณีเทคนิคประเทศญี่ปุ่น (Japanese Geotechnical Society หรือ JGS) ในด้านวิชาการ ดร.อวิรุทธิ์ มีงานวิจัยที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับนานาชาติ เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ได้แก่ การผลิต smart materials จากวัสดุเหลือใช้ในงานอุตสาหกรรม การออกแบบระบบระบายน้ำจากวัสดุธรณีสังเคราะห์สำหรับกำแพงกันดินเสริมกำลัง การพัฒนาแนวทางสำหรับระบบเตือนภัยดินถล่ม การใช้ระบบรากพืชในการเสริมเสถียรภาพให้แก่ลาดดิน เป็นต้น ผลงานเหล่านี้ล้วนได้รับการยอมรับเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชั้นนำในระดับนานาชาติที่อยู่ในฐานข้อมูล ISI จำนวนกว่า 50 บทความ

ชื่อหนังสือ **รู้ทันภัยพิบัติจากดินถล่ม**

บรรณาธิการ **รศ.ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์**
ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วาดภาพประกอบ **ปณพันธ์ จันทรทีประ**

พิมพ์ครั้งที่ **1; 2561**