# บทที่ 2

## การตรวจเอกสาร

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1.1 ปัญหาดินถล่มทั่วไป

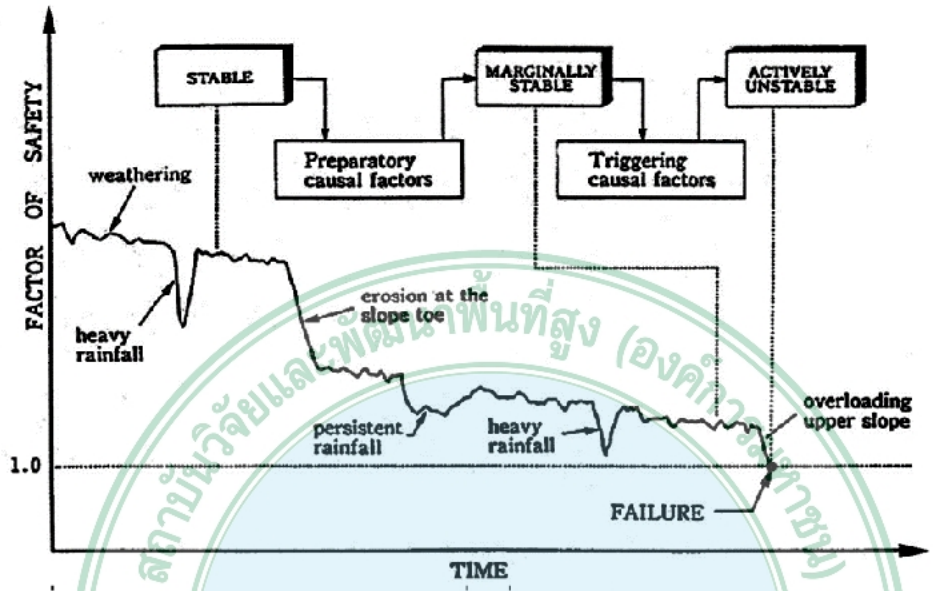
ดินถล่มเป็นภัยพิบัติที่เกิดจากหลายปัจจัยประกอบกันสองกลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่หนึ่ง มีผลการจากสาเหตุทางธรรมชาติ เช่น ฝนตกหนัก แผ่นดินไหว ไฟป่าทำลายต้นไม้ การเสื่อมสลายของดินและหิน เป็นต้น ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ หรือ ธรณีพิบัติภัย ที่มนุษย์ไม่สามารถควบคุมได้ และกลุ่มที่สอง สาเหตุที่มนุษย์มีส่วนในการทำให้เกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพป่าและพื้นที่ต้นน้ำ ทั้งเพื่อการเกษตรหรือการก่อสร้างทั้งบ้านเรือนและสิ่งก่อสร้างหรือระบบสาธารณูปโภคซึ่งไปกระทบต่อความมั่นคงของลาดดิน

ดังนั้นในการที่จะป้องกันและแก้ไขดินถล่มได้นั้นจำเป็นที่จะต้องศึกษาวิจัยให้ทราบข้อเท็จจริงที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อดินถล่มและสามารถเชื่อมโยงผลกระทบเหล่านั้นมาสู่วิธีการแก้ไขที่เหมาะสมอยู่ในวิสัยที่สามารถดำเนินการได้ ส่วนที่เกิดจากปัจจัยธรรมชาตินั้นถึงแม้จะควบคุมไม่ได้แต่ถ้าสามารถบริหารจัดการเพื่อให้ลดความเสี่ยงได้ เช่นทำนายช่วงเวลาและขอบเขตที่เกิด ระดับความรุนแรง หรือ สิ่งบอกเหตุล่วงหน้าก็จะทำให้สามารถเตือนภัยล่วงหน้าและหลีกเลี่ยงภัยซึ่งสามารถจะลดผลกระทบกับชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การจัดการภัยพิบัติดินโคลนถล่มส่วนหนึ่งสามารถทำได้โดยการจำลองทางวิศวกรรมปฐพีโดยอาศัยองค์ความรู้ทางกลศาสตร์ของดินและหิน โดยสามารถคำนวณความมั่นคงของลาดดินที่สามารถระบุเป็นตัวเลขที่แสดงระดับของความปลอดภัยต่อการพังทลายของลาดดินนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า “**อัตราส่วนปลอดภัยต่อการพิบัติ**” (Factor of Safety, F.S) ในการสร้างแบบจำลองดังกล่าวต้องคำนึงปัจจัยหรือตัวแปรที่ส่งผลต่อความมั่นคงของลาดดิน เช่น รูปลักษณะของการพิบัติ ความลาดเอียง กำลังของดินและการยึดเหนี่ยวด้วยรากไม้ ความชื้นและแรงดันน้ำในมวลดิน แรงจากแผ่นดินไหว เป็นต้น ปัจจัยต่าง ๆเหล่านี้มีทั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตามระยะเวลาซึ่งถือได้ว่าเป็น “**ปัจจัยคงที่**” ในขณะที่ปัจจัยอีกส่วนหนึ่ง เช่น ปริมาณน้ำฝนและแรงดันน้ำในมวลดิน กำลังของดินที่เปลี่ยนไปตามความชื้นและการเติบโตของรากไม้ แรงแผ่นดินไหว เป็นต้น เป็น “**ปัจจัยที่ไม่คงที่หรือปัจจัยพลวัต**” เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยอาจถือว่าเป็นปัจจัยกระตุ้นที่ทำให้เกิดดินถล่มในช่วงเวลาวิกฤต จึงมีความจำเป็นต้องทำนายได้ถูกต้องหรือใกล้เคียงพอที่จะทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเตือนภัยหรือแก้ไขในระยะยาวได้

Popescu (1996) ได้แสดงให้เห็นว่าลาดดินธรรมชาติจะมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปลอดภัยลดต่ำลงตามธรรมชาติของวัฏจักรของการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกคือ ดินผุสลายตาม

เวลาและมีแรงดึงดูดของโลกพยายามดึงมวลดินลงตามแรงโน้มถ่วง ทั้งยังมีปัจจัยกระตุ้นให้เกิดการพิบัติจากความชื้นจากพายุฝนหรือปัจจัยอื่น ๆ ดังในภาพที่ 2.1 เมื่อใดก็ตามที่ค่า F ต่ำลงกว่า 1.00 ลาดดินนั้นก็จะเกิดการถล่มหรือพิบัติโดยการเคลื่อนตัวลงสู่ที่ต่ำ




**ภาพที่ 2.1** อัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

การกำหนดระดับความรุนแรงของการเกิดดินถล่มจากฝนตกหนักยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานของประเทศ แต่มีงานวิจัยที่เสนอโดย บุญชัย และวรากร(2547) โดยแบ่งเป็น 4 ระดับจากน้อยไปมาก โดยลักษณะความเสียหายต้องเข้าข่าย 3 ใน 4 ของตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** เกณฑ์การจัดระดับความรุนแรงของภัยจากดินถล่ม

| ระดับความรุนแรง | ร่องรอยดินถล่ม | พื้นที่ที่เกิด (ตร.กม.) | จำนวนผู้เสียชีวิต (คน) | เขตการปกครองที่มีผลกระทบ |
|---|---|---|---|---|
| **1. ความรุนแรงน้อยมาก** | ร่องรอยดินถล่มน้อยกว่า 5 แห่ง | น้อยกว่า 5 | ไม่มี | ระดับตำบล |
| **2.ความรุนแรงน้อย** | ร่องรอยดินถล่ม 5-50 แห่ง | 5-30 | 1-5 | หนึ่งอำเภอ |
| **3. ความรุนแรงปานกลาง** | ร่องรอยดินถล่ม 50-500 แห่ง | 30-100 | 5-35 | หลายอำเภอ |
| **4. ความรุนแรงมาก** | ร่องรอยดินถล่มมากกว่า 500 แห่ง | มากกว่า 100 | มากกว่า 35 | หลายจังหวัด |

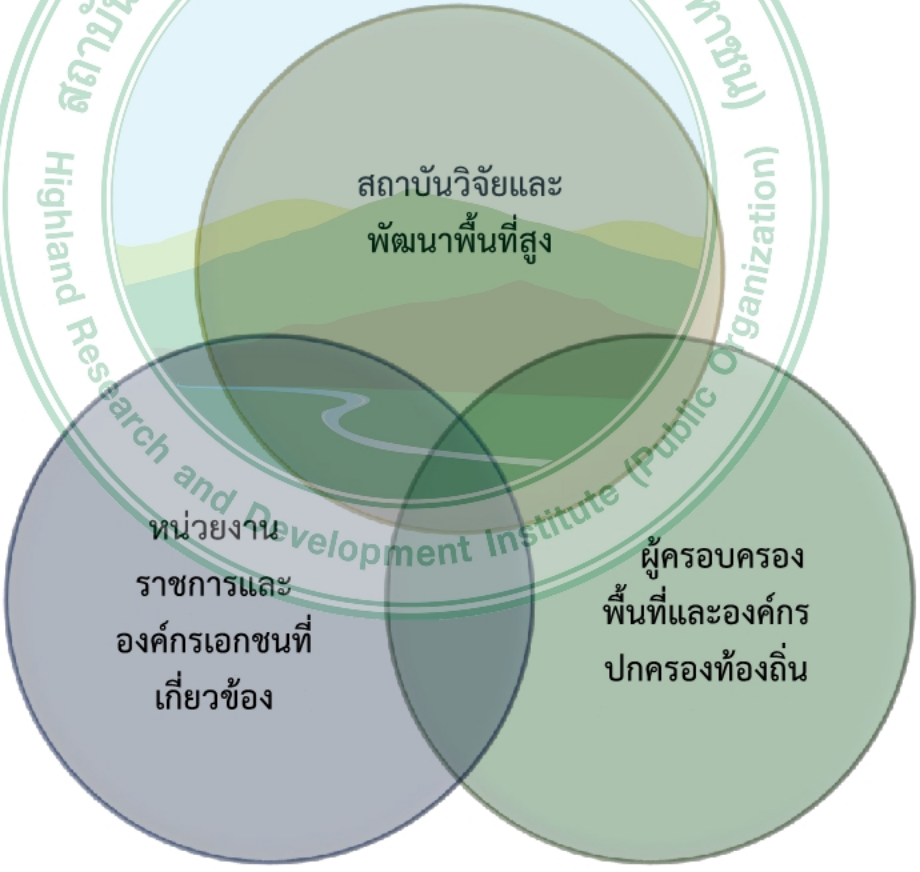
สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

**2.1.2 แนวทางการแก้ไขปัญหาดินถล่มโดยรวม**

**1. แนวความคิดและความร่วมมือ**

การดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหาดินถล่มในพื้นที่ศึกษา ให้ไปสู่ความสำเร็จได้ต้องคำนึงถึงผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่และผู้ที่เกี่ยวข้องในโครงการโดยการประสานงานร่วมมือกันทุกฝ่ายได้แก่ ราษฎรและองค์กรปกครองท้องถิ่นในพื้นที่ ส่วนราชการที่เกี่ยวข้อง และสถาบันวิจัยและพัฒนา พื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ดังแผนภูมิในภาพที่ 2.2 ดังนั้น จึงต้องหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขดินถล่มที่สามารถนำไปสู่การปฏิบัติที่เป็นประโยชน์กับทุกฝ่ายและลดผลกระทบอันอาจจะเกิดขึ้น รวมทั้งคำนึงถึงแนวทางที่ยั่งยืนในระยะยาวที่ชุมชนในพื้นที่สามารถดำเนินการได้โดยไม่หวังพึ่งงบประมาณจากรัฐบาลแต่เพียงฝ่ายเดียว

ปัจจัยและข้อมูลที่ต้องนำมาพิจารณานอกจากข้อมูลโดยตรงด้านชีววิศวกรรมปฐพีแล้วยังต้องคำนึงด้านกฎหมาย สังคม การดำรงชีพและวัฒนธรรมในพื้นที่อีกด้วย

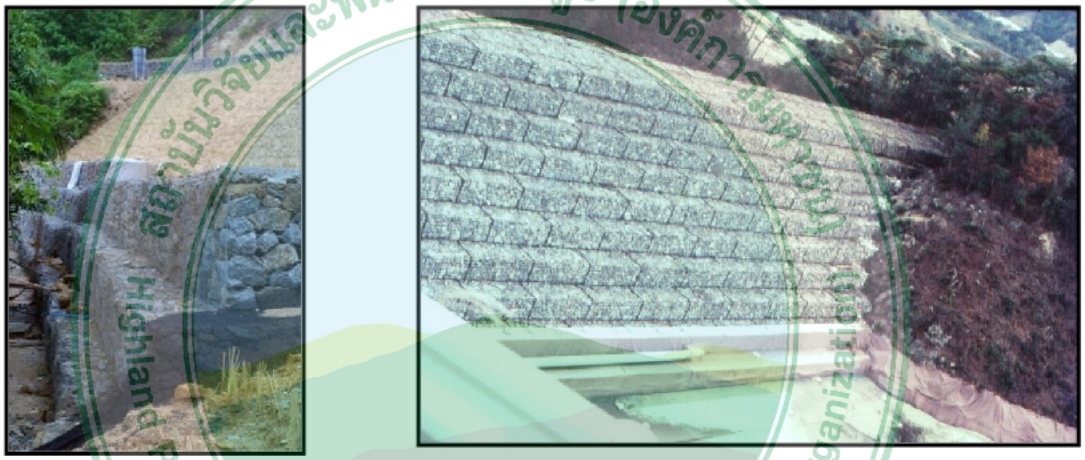



**ภาพที่ 2.2** การประสานความร่วมมือในการแก้ไขปัญหาดินถล่มอย่างยั่งยืน

**2. วิธีการแก้ไขแบบผสมผสาน**

ในแต่ละพื้นที่การศึกษาจะมีสภาพปัญหา สภาพสังคม สิ่งแวดล้อมทางกายภาพและภูมิอากาศ ที่แตกต่างกันออกไป การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงต้องมีการศึกษาถึงวิธีการแก้ไขที่เหมาะสมในบริบทของแต่ละพื้นที่ และหรือจะต้องผสมผสานหลายวิธีของการแก้ไขให้ได้ผลประโยชน์สูงสุดในแต่ละพื้นที่ โดยทั่วไปแล้วกลุ่มของวิธีการแก้ไขอาจจำแนกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

**ก. วิธีทางวิศวกรรม** คือการใช้โครงสร้างทางด้านวิศวกรรมเข้าเสริมความแข็งแรง เช่น กำแพงกันดิน สมอยึดดิน การระบายน้ำ การป้องกันตลิ่ง เป็นต้น ตลอดจนการใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีชั้นสูงเข้ามาช่วยตรวจวัดเพื่อการเตือนภัยเป็นวิธีที่ต้องลงทุนสูงและจึงสามารถใช้ในพื้นที่จำกัดตัวอย่างการแก้ไขปัญหาดินถล่มด้วยวิธีทางวิศวกรรมแสดงในภาพที่ 2.3



**ภาพที่ 2.3** การแก้ไขดินถล่มโดยวิธีทางวิศวกรรม

**ข. วิธีทางชีววิศวกรรม** คือการใช้โครงสร้างทางด้านวิศวกรรมประกอบต้นไม้ หรือใช้ต้นไม้ที่ถูกออกแบบไว้ล่วงหน้า เข้าเสริมความแข็งแรง เช่น กำแพงกันดิน แบบกล่อง Gabion การใช้ใยสังเคราะห์ประกอบต้นไม้ การสร้างฝายชะลอน้ำประกอบรากต้นไม้ แนวหญ้าแฝกชะลอน้ำและเสริมแรง เป็นวิธีที่ต้องลงทุนปานกลาง ใช้ในพื้นที่กว้างขึ้น มีความแข็งแรงตามเวลาที่ต้นไม้เติบโตขึ้น

**ภาพที่ 2.4** การแก้ไขดินถล่มโดยวิธีทางชีววิศวกรรม

**ค. วิธีทางนิเวศวิศวกรรมหรือนิเวศป่าไม้** คือการใช้การฟื้นฟูป่าไม้และระบบนิเวศของลุ่มน้ำ ที่ต้องพิจารณาความสมดุลของธรรมชาติของพื้นที่และคนหรือสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในพื้นที่ให้อยู่ด้วยกันได้ เสริมความมั่นคงของลาดดินด้วยต้นไม้ที่ชุมชนในพื้นที่ต้องการและมีศักยภาพในการยึดดิน เป็นวิธีที่ลงทุนน้อยแต่ต้องได้รับความร่วมมือจากชุมชนช่วยกันดำเนินการ และเกิดผลในระยะยาว

**ภาพที่ 2.5** การแก้ไขดินถล่มโดยวิธีทางนิเวศวิศวกรรมหรือนิเวศป่าไม้

การพิจารณาเลือกวิธีดำเนินการนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการและความจำเป็นจะเกิดความไม่ปลอดภัยต่อชุมชนและพื้นที่ในลักษณะต่าง ๆ เช่น

1. ความเสี่ยงภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน
2. ผลกระทบสืบเนื่องจากดินถล่มที่อาจมีขึ้นในอนาคต
3. ขนาดของพื้นที่และงบประมาณหรือแหล่งเงินที่จะใช้
4. ความเห็นพ้องของชุมชนที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

การเลือกใช้วิธีการแก้ไขอาจมีหลักการโดยสังเขปจากแผนภูมิในภาพที่ 2.6 และมีข้อพิจารณาในเชิงเปรียบเทียบได้จากตารางที่ 2.2

หากทางเลือกเป็นระบบ ทางนิเวศป่าไม้ ซึ่งต้องใช้เวลาในการฟื้นฟูและพิจารณาสภาพพื้นที่ป่าที่จะดำเนินการว่าสามารถจะฟื้นเองได้หรือไม่ หรือชุมชน/องค์กรภายนอกจะเข้าไปช่วยให้ดำเนินการได้ทันเวลาและเลือกที่เหมาะสมกับพื้นที่และมีศักยภาพในการยึดดินได้ดี หากสามารถนำผลิตผลจากป่าที่เกิดขึ้นมาทำประโยชน์ได้ยิ่งเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนโดยรอบและเกิดแรงจูงใจ

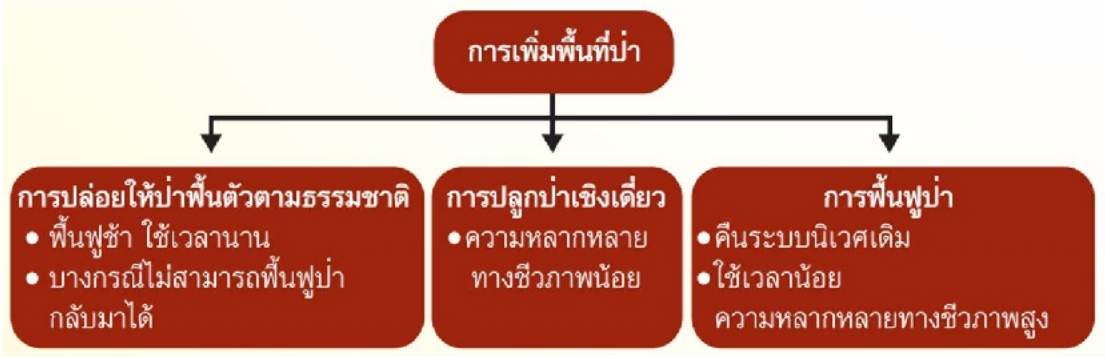
ให้ช่วยรักษาดูแลป่าในพื้นที่อีกด้วย ทั้งนี้ชุมชนในพื้นที่จะมีบทบาทสำคัญในการเลือกวิธีการที่เห็นว่าเหมาะสมโดยคณะนักวิจัยและสถาบันฯ จะต้องให้ความรู้และข้อมูลที่เหมาะสมในการตัดสินใจดังกล่าว

**ภาพที่ 2.6** การเลือกใช้วิธีการแก้ไขปัญหาดินถล่ม

**ตารางที่ 2.2** ข้อเปรียบเทียบระหว่างการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีต่าง ๆ

| วิธีแก้ไข | ระยะเวลาดำเนินการ | ค่าใช้จ่าย | ความมีส่วนร่วมของชุมชน | การบำรุงรักษาระยะยาว |
|---|---|---|---|---|
| **ทางวิศวกรรม** | สั้น | สูง | น้อย-ปานกลาง | ปานกลาง-สูง |
| **ทางชีววิศวกรรมปฐพี** | ปานกลาง | ปานกลาง | น้อย - มาก | น้อย-ปานกลาง |
| **ทางนิเวศป่าไม้ (นิเวศต้นน้ำ)** | ยาว | ต่ำ | มาก | น้อย |

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)



**ภาพที่ 2.7** การฟื้นฟูป่าจากพื้นที่การเกษตรที่ไม่ได้ทำกินและป่าเสื่อมโทรมในพื้นที่ศึกษา

## 2.2 ชนิดป่าในประเทศไทย

ประเทศไทยจัดอยู่ในภูมิอากาศแบบเขตร้อน (tropics) และแม้ว่าจะมีขนาดประเทศที่เล็ก แต่ก็มีความหลากหลายของประเภทป่า ซึ่งการแบ่งประเภทของป่านั้นมีเกณฑ์ในการแบ่งโดยดูจากสภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ระดับความสูงจากน้ำทะเล ลักษณะดิน การอุ้มน้ำของดิน เป็นต้น ลักษณะภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และสุดท้ายลักษณะของพรรณพืชที่ปรากฏ ซึ่งบางครั้งแล้วมีการเหลื่อมกันของพรรณไม้ในแต่ละภูมิประเทศและภูมิอากาศ ซึ่งสามารถเป็นไปได้เนื่องจากการคงอยู่ของป่าเป็นลักษณะต่อเนื่องไม่ได้มีการแบ่งเขตกันอย่างชัดเจนแบบก้าวขาผ่านแล้วเป็นป่าคนละประเภท มีแนวเขตรอยต่อ (ecotone) และมีการกระจายพรรณที่ต่อเนื่องกัน

ชนิดป่าในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ ป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forests) และ ป่าผลัดใบ (deciduous forests) โดยในชนิดย่อย ๆ ได้มีการจัดจำแนกโดยสำนักหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช (ธวัชชัย, 2549) ดังนี้

1) ป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forests) ซึ่งหมายถึงป่าที่มีไม้ที่ขึ้นอยู่ไม่ได้มีการทิ้งใบทั้งต้นในระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง หรือหากมีการทิ้งใบก็ยังคงมีใบเหลืออยู่บนต้นเกินกว่าร้อยละ 50 ซึ่งปกติแล้วจะเป็นฤดูแล้งที่มีการทิ้งใบ แต่ส่วนใหญ่แล้วการทิ้งใบจะเกิดขึ้นเป็นระยะตามการแก่ของใบ ซึ่งแบ่งออกเป็นอีก 14 ประเภทย่อย ได้แก่

1.1) ป่าดิบชื้น (tropical evergreen หรือ tropical rain forest)

1.2) ป่าดิบแล้ง (dry evergreen หรือ semi-evergreen หรือ seasonal rain forest)

1.3) ป่าดิบเขาระดับต่ำ (lower montane rain forest)

1.4) ป่าไม้ก่อ (lower montane oak forest)

1.5) ป่าไม้ก่อ-สน (lower montane pine-oak forest)

1.6) ป่าไม้สนเขา (lower montane coniferous forest)

1.7) ป่าละเมาะเขาต่ำ (lower montane scrub)

1.8) ป่าดิบเขาสูง หรือ ป่าเมฆ (upper montane rain forest หรือ cloud forest)

1.9) ป่าละเมาะเขาสูง (upper montane scrub)

1.10) แอ่งพรุภูเขา (montane peat bog หรือ sphagnum bog)

1.11) ป่าชายเลน หรือ ป่าโกงกาง (mangrove forest)

1.12) ป่าพรุ (peat swamp forest)

1.13) ป่าบึงน้ำจืด หรือ ป่าบุ่ง-ทาม (freshwater swamp forest)

1.14) ป่าชายหาด (sand stand)

2) ป่าผลัดใบ (deciduous forests) เป็นป่าที่มีการผลัดใบร่วงหล่นจากทั้งต้น หรือมากกว่าร้อยละ 50 ของต้นตามฤดูกาล พบได้ทั่วทุกภาคในประเทศไทย ยกเว้นภาคใต้ จันทบุรี และตราด ในช่วงที่ฤดูแล้งยาวนานชัดเจน ระหว่าง 4 – 7 เดือน และจะผลิใบใหม่เมื่อดินมีความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้นในฤดูฝน (หรือจากกการชลประทาน) และการเกิดไฟถือเป็นเรื่องปกติของป่าผลัดใบ เนื่องจากเศษซากพืชที่ร่วงหล่นอยู่มาก เป็นเชื้อเพลิงที่ดี และไฟนั้นยังมีส่วนช่วยในการงอกของเมล็ดส่วนใหญ่อีกด้วย ซึ่งพรรณไม้ในป่าผลัดใบนั้นมีการปรับตัวให้มีเปลือกที่หนา และมีเมล็ดที่หนาและแข็งเพื่อให้ไฟกระตุ้นให้เกิดการกะเทาะของเปลือก และรอให้มีฝนมา เมล็ดนั้นก็จะสามารถงอกได้ ซึ่งหากไม่มีไฟเข้าในพื้นที่ ส่งผลให้เมล็ดพืชไม่สามารถงอกได้ และให้มีเศษซากพืชทับถมมากเกินไป ทำให้ไม้พื้นล่าง หรือลูกไม้ กล้าไม้ ไม่สามารถงอกขึ้นมารับแสงได้ ส่งผลให้การทดแทนตามธรรมชาติไม่เกิดขึ้นอีกด้วย เมื่อไม้ใหญ่ที่มีอยู่ล้มตายลงไป ไม่สามารถมีไม้หนุ่มโตขึ้นมาทดแทนได้ และป่านั้นก็จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นป่าที่ไม่สมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามไฟป่าที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องมีการจัดการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการด้วยเช่นกัน เพื่อป้องกันการลุกลามและก่อให้เกิดปัญหาสูญเสียพื้นที่ป่า และฝุ่นควันขนาดเล็ก โดยทั่วไปแล้วป่าผลัดใบจะพบที่ระดับความสูงไม่เกิน 1,000 เมตร ยกเว้นป่าเต็งรังผสมสน โดยป่าผลัดใบแยกย่อยออกได้เป็น

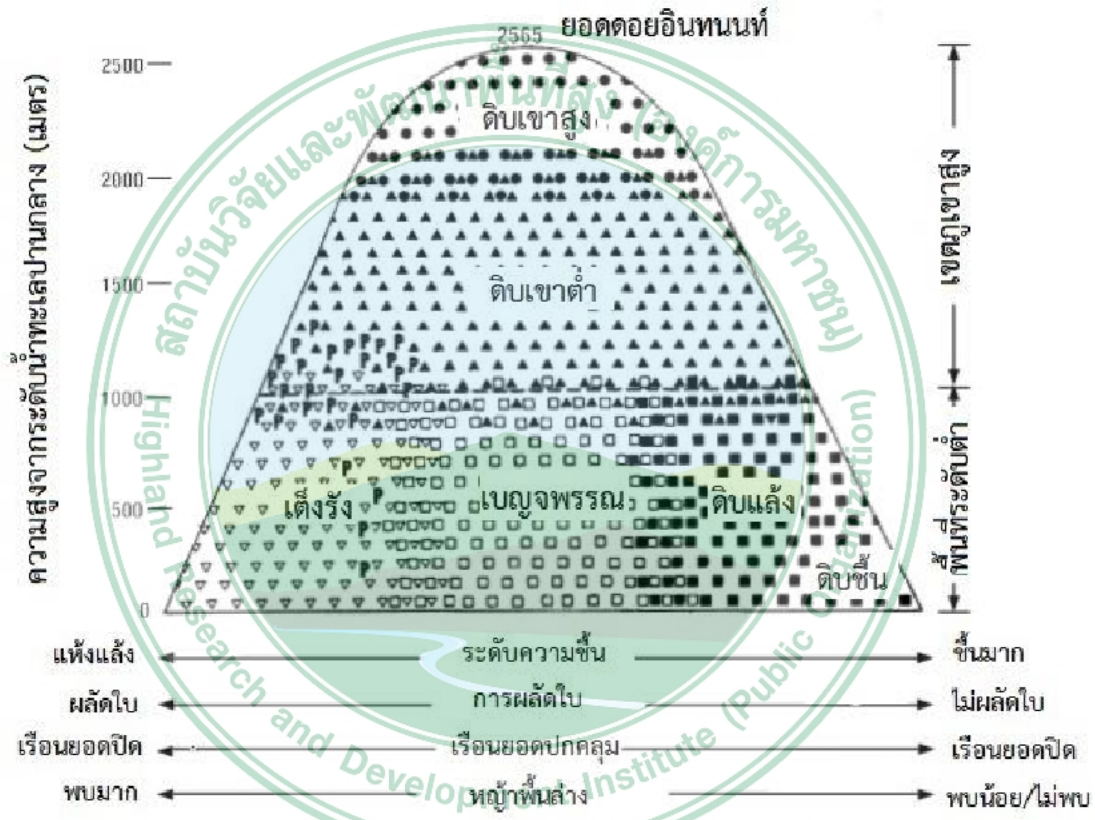
1.1) ป่าเบญจพรรณ หรือป่าผลัดใบผสม (mixed deciduous forest)

1.2) ป่าเต็งรัง (deciduous dipterocarp forest หรือ dry dipterocarp forest)

1.3) ป่าเต็งรังผสมสน (pine-deciduous dipterocarp forest)

โดยการแบ่งประเภทของป่านั้นตามที่กล่าวมาข้างต้นต้องใช้หลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งปัจจัยภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และพรรณพืชที่พบในพื้นที่ ซึ่งภาพ 2.8 แสดงให้เห็นการจำแนกประเภท

ป่าตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยในเขตพื้นที่ระดับต่ำนั้น หมายถึง ระดับที่ต่ำกว่า 1,000 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง จะพบป่าประเภทผลัดใบเป็นส่วนใหญ่ คือ ป่าเต็งรัง เบญจพรรณ และพบป่าไม่ผลัดใบได้แก่ ป่าดิบแล้งและดิบชื้น ในส่วนของป่าที่พบในพื้นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 1,000 เมตรขึ้นไป ซึ่งเป็นเขตระดับสูงบนภูเขา จะพบป่าดิบเขา โดยปัจจัยย่อยที่ใช้แบ่งนอกเหนือจากระดับน้ำทะเลคือ ความชุ่มชื้นของอากาศและดิน การคงอยู่หรือร่วงหล่นของใบ ลักษณะของเรือนยอดในป่าเบียดเสียดชิดกัน หรือเรือนยอดเปิดห่างออกจากกัน และพืชจำพวกหญ้า หรือไผ่ เป็นดัชนีชี้วัดชนิดหนึ่งซึ่งจะพบมากในป่าเบญจพรรณและเต็งรัง ดังแสดงในภาพที่ 2.8




**ภาพที่ 2.8** การจำแนกชนิดป่าในประเทศไทย โดยใช้ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ลักษณะภูมิอากาศ และลักษณะพืชพรรณ เพื่อจำแนก (ที่มา: ดัดแปลงมาจาก ธวัชชัย, 2549)

ซึ่งการจำแนกประเภทป่าที่ละเอียดขึ้นไปตามปัจจัยต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.3 โดยปัจจัยที่ส่งผลมากจะมีสัญลักษณ์ ** และปัจจัยที่มีผลรองลงมาจะมีสัญลักษณ์ * และความสูงจากระดับน้ำทะเลที่แสดงตัวเลขในวงเล็บหมายถึง อาจพบได้ในตัวเลขในวงเล็บ แต่ปกติแล้วจะพบตามตัวเลขที่ไม่อยู่ในวงเล็บ

**ตารางที่ 2.3** ประเภทป่าและปัจจัยแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการชนิดป่าในประเทศไทย

| ชนิดป่า | ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (เมตร) | ปัจจัยที่ก่อให้เกิดป่า | | |
|---|---|---|---|---|
| | | สภาพภูมิอากาศ | สภาพภูมิประเทศ | พรรณพืชที่พบ |
| **ป่าไม่ผลัดใบ (evergreen)** | | | | |
| 1. ป่าดิบชื้น (tropical evergreen หรือ tropical rain forest) | 800 (900) | ** | * | |
| 2. ป่าดิบแล้ง (dry evergreen หรือ semi-evergreen หรือ seasonal rain forest) | 800 (900) | ** | * | |
| 3. ป่าดิบเขาระดับต่ำ (lower montane rain forest) | (900) 1,000 – 1,800 (1,900) | ** | * | |
| 4. ป่าไม้ก่อ (lower montane oak forest) | (700) 1,000 – 2,000 | ** | * | * |
| 5. ป่าไม้ก่อ-สน (lower montane pine-oak forest) | (700) 1,000 – 1,400 (1,800) | ** | ** | ** |
| 6. ป่าไม้สนเขา (lower montane coniferous forest) | 1,200 – 1,500 | ** | ** | |
| 7. ป่าละเมาะเขาต่ำ (lower montane scrub) | 1,200 – 1,800 | ** | ** | * |
| 8. ป่าดิบเขาสูง หรือ ป่าเมฆ (upper montane rain forest หรือ cloud forest) | (1,900) 2,000 – 2,565 | ** | * | |
| 9. ป่าละเมาะเขาสูง (upper montane scrub) | 1,900 – 2,300 | ** | ** | * |
| 10. แอ่งพรุภูเขา (montane peat bog หรือ sphagnum bog) | 1,200 – 2,500 | ** | ** | * |
| 11. ป่าชายเลน หรือ ป่าโกงกาง (mangrove forest) | 0 – 20 | * | ** | |
| 12. ป่าพรุ (peat swamp forest) | 0 – 30 | ** | ** | |

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

| ชนิดป่า | ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (เมตร) | ปัจจัยที่ก่อให้เกิดป่า | | |
|---|---|---|---|---|
| | | สภาพภูมิอากาศ | สภาพภูมิประเทศ | พรรณพืชที่พบ |
| 13. ป่าบึงน้ำจืด หรือ ป่าบุ่ง-ทาม (freshwater swamp forest) | 5 – 200 | * | ** | |
| 14. ป่าชายหาด (sand stand) | 0 – 20 | * | ** | |
| **ป่าผลัดใบ (deciduous forests)** | | | | |
| 15. ป่าเบญจพรรณ หรือป่าผลัดใบผสม (mixed deciduous forest) | 800 (900) | * | ** | ** |
| 16. ป่าเต็งรัง (deciduous dipterocarp forest หรือ dry dipterocarp forest) | 600 (900) | * | ** | ** |
| 17. ป่าเต็งรังผสมสน (pine-deciduous dipterocarp forest) | (70) 150 – 1,200 (1,350) | * | ** | ** |

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก ธวัชชัย (2549)

**2.3 สมบัติทางวิศวกรรมของพืชพรรณ**

พืชพรรณบนพื้นที่ลาดชันสามารถป้องกันการกัดเซาะและพังทลายระดับตื้นได้อย่างดี จะเห็นได้ว่าเมื่อพื้นที่ภูเขาปราศจากพืชคลุมแล้ว มักพบปัญหาการชะล้างพังทลายและเกิดดินถล่มเพิ่มขึ้นเสมอ อย่างไรก็ดีในบางกรณีพืชอาจส่งผลลบในด้านต่าง ๆ เช่น น้ำหนักของต้นไม้ที่มากเกินไปในลาดชัน อาจส่งผลลบต่อเสถียรภาพ หรือต้นไม้สูงอาจถูกแรงลมพัดจนพลิกคว่ำทำความเสียหายต่อลาดดินได้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้พืชในงานวิศวกรรม ควรจะทราบสมบัติทางวิศวกรรมของพืชพรรณทั้งในแง่บวกคือการเสริมกำลังเฉือนของดิน การป้องกันน้ำฝนตกกระทบ และการดูดน้ำไปใช้จากราก เป็นต้น สิ่งสำคัญคือสามารถประเมินระดับการเพิ่มเสถียรภาพที่พืชสามารถให้กับลาดดินได้ในเชิงปริมาณและตระหนักถึงข้อจำกัดในการใช้พืช และทราบผลกระทบด้านลบที่อาจเกิดขึ้น นำไปสู่การเลือกใช้พืชกับโครงสร้างทางวิศวกรรมที่เหมาะสมในที่สุด

บทบาทของพืชพรรณที่มีต่อลาดในเชิงวิศวกรรมมีหลายด้าน และแต่ละด้านอาจส่งผลกระทบต่อการพังทลายของดินได้แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำแนกกลุ่มของการพืชออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) พืชพรรณและการกัดเซาะที่ผิว (Vegetation and Surficial erosion) พืชจะช่วยป้องกันการกัดเซาะที่ผิวจากน้ำบ่าได้อย่างดี โดยเฉพาะหญ้าหรือไม้พุ่มเตี้ย ซึ่งขึ้นหนาแน่นปกคลุมทั้งลาด ซึ่งสามารถจำแนกบทบาทของพืชในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ใบและส่วนต่าง ๆ ของพืชช่วยดักน้ำฝน

ดูดซับพลังงานไม่ให้ตกกระทบหน้าดินโดยตรง รากพืชสามารถยึดอนุภาคดินไว้ด้วยกัน กอและลำต้นช่วยกรองตะกอนออกจากน้ำไหลบ่า รวมทั้งยังเพิ่มความขรุขระของผิวลาด ช่วยลดความเร็วของน้ำไหลบ่า นอกจากนี้ใบและส่วนต่าง ๆ ของพืชพรรณที่ตกทับถม ยังช่วยเพิ่มความพรุนของหน้าดิน และเพิ่มความซึมน้ำได้ ทำให้น้ำไหลบ่าเกิดขึ้นได้ช้าลง

2) พืชพรรณและการกัดเซาะตลิ่งแม่น้ำ (Vegetation and Streambank erosion) บทบาทของพืชพรรณในการลดการกัดเซาะตลิ่ง ได้แก่ กอหรือลำต้นพืชลู่ไปตามกระแสน้ำไหล จนปกคลุมผิวลาด ช่วยลดความเร็วของการไหลบริเวณรอยต่อระหว่างดินกับน้ำ รากพืชช่วยยึดอนุภาคดินให้เกาะกับตลิ่ง ไม่ไหลไปกับกระแสน้ำ ดังนั้นพืชที่ป้องกันการกัดเซาะตลิ่งได้ดี ควรมีพื้นที่ผิวของพืชที่สัมผัสกับกระแสน้ำอยู่มาก และลำต้นมีความยืดหยุ่นดี เพื่อให้สามารถลู่ไปกับกระแสน้ำและปกคลุมผิวดินได้เมื่อมีกระแสน้ำไหล ได้แก่หญ้าและไม้พุ่มเตี้ย ซึ่งขึ้นปกคลุมหนาแน่นอย่างสม่ำเสมอ

3) พืชพรรณและเสถียรภาพของมวล (Vegetation and Mass stability) บทบาททางด้านบวกของพืชพรรณ คือการเสริมแรงเฉือนในดินด้วยรากพืช (Root reinforcement) การค้ำยัน (Buttress) และการดูดน้ำจากพืชซึ่งช่วยลดแรงดันน้ำในช่องว่างดิน อย่างไรก็ตามอิทธิพลจากน้ำหนักกดทับ (Surcharge) เป็นได้ทั้งช่วยเสริมและลดเสถียรภาพ ขึ้นกับตำแหน่งของน้ำหนักที่กระทำและพื้นผิวการพิบัติ สำหรับการดูดน้ำไปใช้ของพืช แม้ว่าจะเป็นการลดค่าแรงดันน้ำช่องว่าง ซึ่งเพิ่มกำลังเฉือนของดิน

ลักษณะของรากพืชและการเสริมแรงในดิน ระดับการเสริมแรงจากรากพืช (Root reinforcement) ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะการกระจายของระบบราก ความลึกของราก กำลังแรงดึงของราก และพื้นผิวสัมผัสระหว่างรากและดิน โดยลักษณะการกระจายและกำลังของรากจะถูกกำหนดโดยชนิดของพืชและสภาวะแวดล้อม เช่น ชนิดดิน แร่ธาตุ ออกซิเจนในดิน วิธีการปลูกพืช ระดับน้ำดิน เป็นต้น ดังนั้นการประเมินการเสริมแรงจากราก จึงต้องมีความเข้าใจในปัจจัยต่าง ๆ เพียงพอ สำหรับรูปแบบของรากพืชที่ช่วยเสริมเสถียรภาพได้ดีคือ มีรากในแนวดิ่ง ทั้งรากแก้ว (Tap root) และรากในแนวดิ่งอื่น ๆ ที่แตกออกจากลำต้นและรากแขนง (Sinker root) ที่หยั่งลึกผ่านแนวการพิบัติของลาด และรากมีกำลังรับแรงดึงได้สูง

### 2.4 การประยุกต์ใช้พืชพรรณในงานชีววิศวกรรม

การปลูกพืชร่วมกับโครงสร้างในงานชีววิศวกรรมจะสำเร็จได้นั้น ต้องเข้าใจพฤติกรรมทั้งโครงสร้างและพืช และใส่ใจทุกขั้นตอนตั้งแต่การออกแบบ การควบคุมงานก่อสร้างและปลูกพืชให้เป็นไปตามแบบ การติดตามผล ดูแลรักษาและปลูกซ่อมแซมอย่างสม่ำเสมอ ขั้นแรกของการออกแบบจะเริ่มต้นจากการประเมินสภาพพื้นที่ โดยพิจารณาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องให้ครบถ้วน ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ พันธุ์พืชที่พบในท้องถิ่น ปัจจัยเฉพาะที่ เช่น ชนิดดิน ระดับความสูงของพื้นที่ ทิศทางแสงแดด และสภาพความเป็นพิษของดินที่อาจมีอยู่ เพื่อให้สามารถออกแบบและเลือกใช้พืชที่

เหมาะสม รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากพืชทางเศรษฐกิจที่จะจูงใจให้ชุมชนร่วมดูแลรักษา รวมทั้งกฎหมายและข้อบังคับต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต้องพิจารณาเช่นกัน

ชนิดของพันธุ์พืชและวิธีการปลูกพืชที่เลือกใช้มีหลากหลายวิธี ทั้งไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม พืชคลุมดิน หญ้า ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อจำกัดและจุดเด่นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ รวมถึงความแตกต่างของราคาและการหาได้ในท้องถิ่น วิธีปลูกที่มีอยู่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานและลักษณะการเสริมแรงในลาด เช่น การปลูกโดยหว่านเมล็ด การใช้ต้นกล้าชำถุง ย้ายหรือล้อมต้นไม้ ไม้ปักชำ หรือใช้หลากหลายวิธีประกอบกัน

**2.4.1 แนวทางการปลูกพืชบนพื้นที่ลาดชัน**

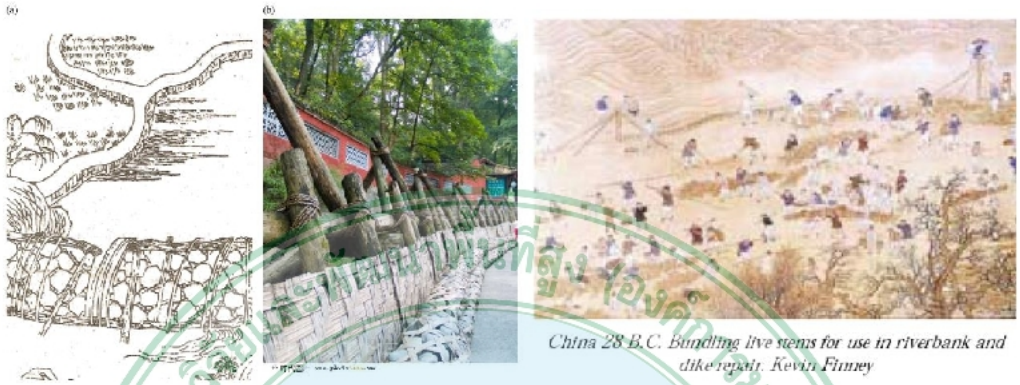
นอกจากหญ้าแฝกแล้ว พืชซึ่งสามารถปลูกในงานชีววิศวกรรมยังมีอีกหลากหลายชนิด หลักการเบื้องต้นในการเลือกพันธุ์พืช คือเลือกพืชให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และตรงตามวัตถุประสงค์ของการเสริมเสถียรภาพ ทั้งนี้พืชพรรณเลือกใช้จะแตกต่างจากวัสดุก่อสร้างทั่วไป เช่นดิน หิน ทรายตรงที่พืชพรรณมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ลักษณะของพืชที่ปลูกและติดตั้งในวันนี้ อาจมีลักษณะเปลี่ยนไปโดยสิ้นเชิงในอีกสิบปีหน้า ทั้งขนาดของต้นไม้และพันธุ์พืชที่พบ ตามหลักการทดแทนสังคมพืช (Plant succession) โดย Coppin & Stiles (1995) ได้สรุปแนวทางการปลูกพืชบนพื้นที่ลาดชัน 8 วิธีการ ดังนี้

1) ปลูกโดยเมล็ด (Seeding)
2) ปลูกด้วยไหลและเหง้า (Sprigging)
3) ต้นกล้ารากเปลือย (Bare-rooted plants)
4) ต้นกล้าชำถุง (Container-grown plants)
5) ต้นกล้าเพาะชำในท่อ (Tubed seedlings)
6) ปักชำ (Cuttings) เช่น วิธี Live stake, Live fascine, Brushlayer ฯลฯ
7) แผ่นหญ้า (Turves)
8) หน้าดินซึ่งอุดมด้วยชีวพันธุ์ของพืช (Plant rich soils)

**2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

การประยุกต์วิธีชีววิศวกรรมเพื่อเสริมความมั่นคงของลาดดิน มีหลักฐานว่าได้เริ่มใช้ครั้งแรกในประเทศจีน ตั้งแต่ 28 ปีก่อนคริสต์ศักราช หรือกว่า 2000 ปี มาแล้ว (Lewis, 2000) โดยใช้กิ่งไม้ไผ่ หลิว ฯลฯ ผูกกันเป็นตะกร้ากล่องหิน หรือผูกเป็นฟ่อนขวางลาดดิน เพื่อซ่อมแซมคันดินและเสริมเสถียรภาพของลาด (ภาพที่ 2.9) ในทวีปยุโรปตั้งแต่ยุคโรมัน ได้มีการใช้ฟ่อนไม้ (Fascine) และ เสาไม้ (Pole) จากต้นหลิว (Willow) ในงานก่อสร้างทางชลประทาน กระทั่ง คริสต์ศตวรรษที่ 16 ได้เริ่มมีบันทึกวิธีชีววิศวกรรมปฐพี (Soil bio-engineering) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในยุโรปโดยเฉพาะประเทศออสเตรียและเยอรมนี (ภาพที่ 2.10) โดยเฉพาะในช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง ประเทศ

เยอรมนีซึ่งเพิ่งฟื้นจากสงครามโลกครั้งที่หนึ่งยังมีเศรษฐกิจย่ำแย่ จึงจำเป็นต้องใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น มีราคาถูกและเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการตัดทางหลวงพิเศษหรือออโตบาห์น (Autobahn) จึงได้ใช้เทคนิคชีววิศวกรรมในการก่อสร้างและมีการก่อตั้งสถาบันวิจัยในเรื่องดังกล่าวขึ้นมาโดยเฉพาะ




**ภาพที่ 2.9** ชีววิศวกรรมปฐพี (Soil Bioengineering) ในประเทศจีนยุคโบราณ (Stokes et al., 2010, Lewis, 2000)

**ภาพที่ 2.10** การตัดและรวบรวมกิ่งไม้สำหรับใช้ในงาน Soil bioengineering ในยุโรปช่วงต้นคริสต์ทศวรรษ 1900's (Lewis, 2000)

ในช่วงเวลาเดียวกันนั้นเอง ในประเทศสหรัฐอเมริกา Charles Kraebel จาก USDA Forest Service ได้พัฒนาวิธี Contour wattling สำหรับการเสริมเสถียรภาพลาดดินตัดในงานทาง และใช้วิธี Live stake, Live fascine ในการซ่อมแซมลาดที่มีการกัดเซาะในรัฐแคลิฟอเนีย (ภาพที่ 2.11)

**ภาพที่ 2.11** การใช้ฟ่อนไม้สด (Live fascine) ปลูกเรียง เพื่อลดการกัดเซาะลาดตัดถนนในประเทศสหรัฐอเมริกาช่วงคริสต์ทศวรรษ 1930's (Lewis, 2000)

ต่อมาในปี ค.ศ. 1950 คณะกรรมการด้านการใช้วิศวกรรมและพฤกษศาสตร์ จากเยอรมนี ออสเตรีย และ สวิสเซอร์แลนด์ ร่วมกันประชุมและเสนอรูปแบบที่เป็นมาตรฐานสำหรับการใช้วิศวกรรมและพฤกษศาสตร์ในงานเสถียรภาพ สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศอังกฤษได้เริ่มมีการทดลองใช้วิธี Soil Bioengineering อย่างจริงจังและแพร่หลายมากขึ้นในปี ค.ศ. 1970 ถึง 1980 และมีการแต่งตำราภาษาอังกฤษซึ่งเป็นคู่มือสำหรับประเทศต่าง ๆ ออกมาหลายเล่มด้วยกัน

สำหรับประเทศริมฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งมีฝนตกชุกและการกัดเซาะสูง พบว่ามีการใช้หญ้าแฝกเพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำอย่างจริงจัง โดยเริ่มขึ้นในปี 1950's ในพื้นที่เกษตรของหมู่เกาะฟิจิ โดย นาย John Greenfield และต่อมาได้มีการส่งเสริมการใช้หญ้าแฝกอย่างแพร่หลายในระดับนานาชาติมากยิ่งขึ้นโดย นาย Richard G. Grimshaw แห่งธนาคารโลก (World Bank) ในปี 1988 โดยเน้นไปในวัตถุประสงค์ด้านการอนุรักษ์ดินและน้ำในภาคการเกษตรเป็นหลัก

ในประเทศไทย พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชได้ทรงริเริ่มและทรงสนับสนุนการประยุกต์ใช้หญ้าแฝกเพื่อป้องกันการพังทลายของหน้าดิน การอนุรักษ์ดินและน้ำและสิ่งแวดล้อม มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 โดยได้ทรงตระหนักถึงศักยภาพของหญ้าแฝก ที่มีระบบรากที่ลึกและแผ่กระจายลงไปในดิน รวมไปถึงแถวรั้วลำต้นแฝก ซึ่งเปรียบเสมือนกำแพงที่มีชีวิต และยังทรงพระราชทานคำแนะนำในการประยุกต์ใช้หญ้าแฝกเพื่อป้องกันการกัดเซาะพังทลายและดินถล่ม อย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน โดยสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (สำนักงาน กปร.) ได้สนองพระราชดำริโดยประสานกับหน่วยงานภาครัฐและเอกชนเพื่อศึกษาวิจัยและรณรงค์การใช้หญ้าแฝกเพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำ และป้องกันการกัดเซาะหน้าดิน อย่างแพร่หลายในประเทศไทย (ภาพที่ 2.12 และ 2.13)

**ภาพที่ 2.12** พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช และสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี ทอดพระเนตรหญ้าแฝก ในโครงการพัฒนาดอยตุง (ที่มา โครงการพัฒนาหญ้าแฝกในโครงการพัฒนาดอยตุงฯ)

**ภาพที่ 2.13** การปลูกหญ้าแฝกเพื่อป้องกันการกัดเซาะลาดถนน
(ที่มา โครงการพัฒนาหญ้าแฝกในโครงการพัฒนาดอยตุงฯ)

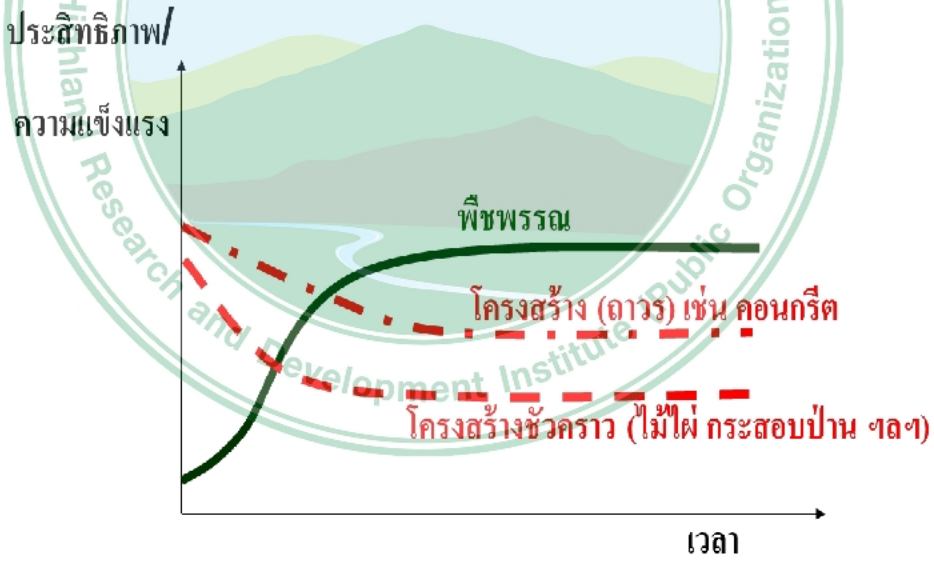
สำหรับการประยุกต์ใช้หญ้าแฝกในทางวิศวกรรม นาย ดิถี แห่งเชาวนิช นับว่าเป็น ผู้หนึ่งที่ได้ค้นคว้าวิจัยและประยุกต์ใช้หญ้าแฝกในทางวิศวกรรมเชิงลาดเป็นคนแรกในระดับนานาชาติ (Vetiverim, 2007) จากบทความ An assessment of strength properties of vetiver grass roots in relation to slope stabilization ซึ่งนำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ First International Conference on Vetiver (ICV-1) (เป็นการประชุมฯ ในระดับนานาชาติเกี่ยวกับหญ้าแฝกครั้งแรก จัดขึ้นที่จังหวัดเชียงราย ประเทศไทย) และได้รับการถ่ายทอดเป็นภาษาจีน ฝรั่งเศส เวียดนาม และสเปน นายดิถี ยังได้แต่งเอกสารทางวิชาการ เรื่อง “การใช้หญ้าแฝกเพื่อเสริม

เสถียรภาพเชิงลาดและควบคุมการชะล้างพังทลาย (เพื่อการประยุกต์ในงานวิศวกรรม)” จาก ต้นฉบับภาษาอังกฤษ “Vetiver Grass for slope stabilization and erosion control”, PRVN Technical Bulletin No 2/1998. นับเป็นเอกสารทางวิชาการเล่มแรกของเครือข่ายหญ้าแฝกประเทศไทย ที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วิธีทางวิศวกรรมและหญ้าแฝกเพื่อป้องกันดินถล่ม และภายหลังจากนั้น นักปฏิบัติและนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาและพัฒนารูปแบบการปลูกหญ้าแฝกร่วมกับพืชอื่น ๆ ดังจะได้กล่าวถึงในบทต่อ ๆ ไป

การประยุกต์หญ้าแฝกและพืชพรรณต่าง ๆร่วมกับงานวิศวกรรมที่ชัดเจนที่สุดครั้งหนึ่งในประเทศไทย คือ งานวางแนวท่อส่งก๊าซไทย-สหภาพพม่า โดยบริษัท ปตท.จำกัด ซึ่งใช้เทคนิคด้านวิศวกรรมเช่น การทำคันดินเพื่อผันน้ำ การระบายน้ำที่ผิวดินและน้ำใต้ดิน การสร้างคันดินโดยกระสอบป่าน การปักชำ (Live stake) และการพิจารณาด้านพฤกษศาสตร์ การเลือกพันธุ์พืชจากระบบรากที่เหมาะสม (Tansamrit, 2003, ส่งเกียรติ, 2555) ดังแสดงในภาพที่ 2.14 จึงกล่าวได้ว่าประเทศไทยมีผู้บุกเบิกการประยุกต์ชีววิศวกรรมเพื่อป้องกันดินถล่มหลายท่านด้วยกัน รวมถึงยังมีปราชญ์ท้องถิ่นที่มีภูมิปัญญาด้านพืชพรรณที่ช่วยยึดหน้าดิน คงเป็นที่น่าเสียดายหากวิศวกรไทยในยุคต่อมาจะละเลยวิธีการดังกล่าวไป

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้พืชพรรณร่วมกับวิธีทางวิศวกรรมเพื่อป้องกันการกัดเซาะและดินถล่มได้รับความนิยมมากเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในหลายประเทศทั่วโลก ด้วยเป็นวิธีที่มีความสอดคล้องกับธรรมชาติและยั่งยืน ทั่วไปแล้วพืชพรรณต่าง ๆ ที่ปลูกบนลาดจะมีแนวโน้มแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากรากพืชหยั่งลงลึกและพืชแข็งแรงขึ้น ในขณะที่โครงสร้างทางวิศวกรรมทั่วไปจะเสื่อมสภาพไปตามเวลา ดังแนวคิดที่สรุปไว้ในภาพที่ 2.15 หรือที่เรียกว่า การใช้โครงสร้างที่มีอายุจำกัด (Limited life structure) อาทิ กระสอบป่าน ตารางไม้ไผ่ ผ้าห่มดิน ฯลฯ ซึ่งจะช่วยให้พืชตั้งตัวได้ในช่วงเริ่มต้นเท่านั้น และจะย่อยสลายไปตามเวลาเมื่อพืชเติบโตมากขึ้น และพืชจะทดแทนโครงสร้างเหล่านั้นในการเสริมเสถียรภาพของลาดต่อไป การใช้โครงสร้างจำพวก Limited life structure ร่วมกับพืชพรรณ จึงมีราคาที่ประหยัดและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมมากกว่าการใช้โครงสร้างราคาแพง นอกจากนั้น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนานวัตกรรมทางวัสดุเพื่อใช้งานร่วมกับพืชพรรณสำหรับป้องกันการกัดเซาะอย่างหลากหลาย อาทิ ผ้าห่มดิน (Erosion control mat) วัสดุใยสังเคราะห์ Geotextile และอื่น ๆ วิศวกรและผู้เลือกใช้งานจึงจำเป็นจะต้องมีความรู้ทางทฤษฎีและทราบถึงข้อดี ข้อเสีย ข้อจำกัดของเทคนิควิธีการเหล่านี้

**ภาพที่ 2.14** การประยุกต์วิธีทางวิศวกรรมร่วมกับหญ้าแฝกและพืชชนิดต่าง ๆ ในงานวางแนวท่อส่งก๊าซไทย-สหภาพพม่า โดยบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), ส่งเกียรติ (2555)




**ภาพที่ 2.15** แนวความคิดการประยุกต์ใช้พืชพรรณร่วมกับโครงสร้าง

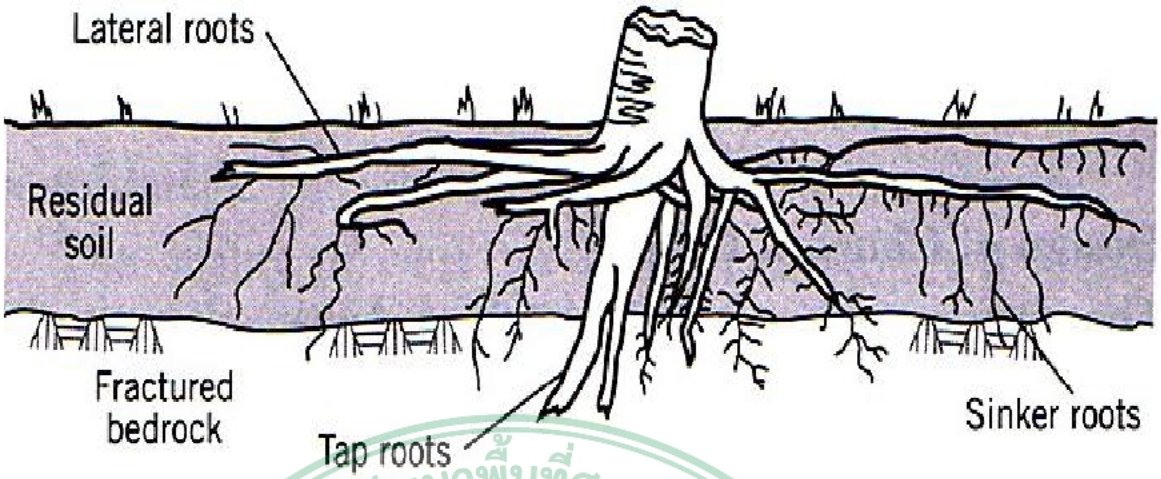
อภินิติ และคณะ (2560) ในรายงานโครงการการประยุกต์ใช้วิธีวิศวกรรมชีวภาพเพื่อป้องกันแก้ไขปัญหาดินถล่มระดับตื้น (มูลนิธิชัยพัฒนา) ได้สรุปผลงานวิจัยเกี่ยวกับชีววิศวกรรมปฐพีไว้ โดยศึกษาการปลูกแฝก ร่วมกับพืชอื่น เช่น ไคร้นุ่น ฯลฯ โดยพิจารณาลักษณะของรากที่มีผลต่อเสถียรภาพของลาด และความเหมาะสมกับโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ใช้ ในการศึกษาได้ประยุกต์เทคนิคทางชีววิศวกรรมรูปแบบต่าง ๆ เช่น การใช้ไม้ปักชำลึก (Live stake) รวมไปถึงประเมินสมบัติทางวิศวกรรมของหญ้าแฝก โดยเฉพาะด้านการไหลซึมของน้ำผ่านดินที่มีหญ้าแฝก เพื่อให้ทราบถึง

จุดเด่นและข้อจำกัดของการใช้หญ้าแฝก โดยอาศัยทั้งการทดสอบขั้นสูงในห้องปฏิบัติการ และได้ศึกษาแนวทางการประยุกต์โครงสร้างทางวิศวกรรมอื่น ๆ ร่วมกับการปลูกแฝกและพืชอื่น ๆ เพื่อป้องกันดินถล่มโดยเน้นไปที่การใช้กระสอบมีปีก ตารางไม้ไผ่ ผ้าห่มดิน กล่องเกเบียน กระสอบจีโอเทกซ์ไทล์ โดยสร้างแปลงทดลองจริงและประเมินพฤติกรรมของลาดและปริมาณรากพืชในสนาม นอกจากนั้นยังศึกษาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำในลาดดินโดยเทคนิคการระบุตำแหน่งของน้ำใต้ดินโดยเทคนิคการฟังเสียงด้วยเครื่องมือ Ground Aeration Sound device จากการทดลองการใช้กระสอบมีปีกร่วมกับไม้ปักชำลึก (Live stake) ยาว 1 เมตร ในแปลงทดลองพื้นที่ บ้านผามูบ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าการเรียงไม้ปักชำเสริมในช่องรอยต่อระหว่างกระสอบให้ผลดี แต่ต้องประมาณการณ์เวลาติดตั้งพืชให้สอดคล้องกับการเรียงกระสอบและงานโครงสร้างทางวิศวกรรม เพื่อให้อัตรารอดสูงขึ้น

Gray & Sotir (1994) ได้สรุปว่ารูปแบบของรากที่ช่วยเสริมเสถียรภาพได้ดีคือ มีรากในแนวดิ่ง (ทั้ง Tap roots และ Sinker roots) ที่หยั่งลึกผ่านแนวการพิบัติ (Shear plane) ของลาด และรากมีกำลังรับแรงดึงได้สูง (ดังภาพที่ 2.16) จากการศึกษาในอดีต (O'Loughlin, 1984, Gray & Sotir, 1994) พบว่าดินที่มีรากขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1-20 มม.) เช่น รากฝอย อยู่หนาแน่นเป็นจำนวนมาก สามารถช่วยเสริมกำลังเฉือนในดินได้ดีกว่าดินที่มีรากขนาดใหญ่กว่าในปริมาณที่เท่ากัน

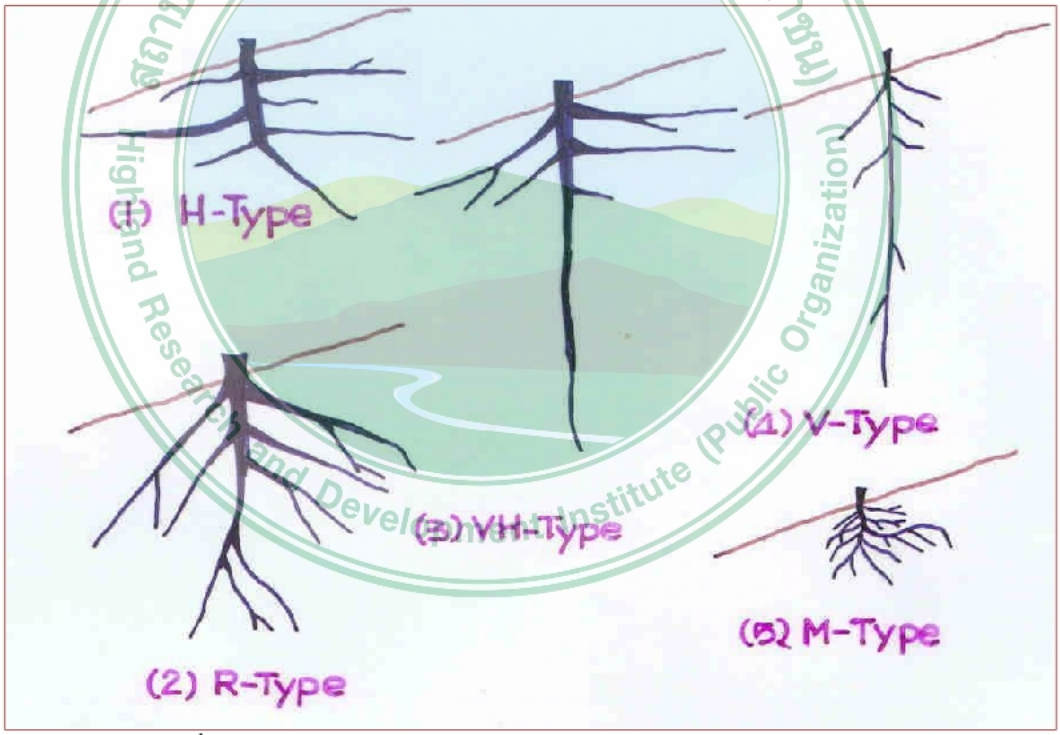
Styczen & Morgan (1995) ได้สรุปว่าสำหรับพืชจำพวกหญ้า พืชตระกูลถั่ว และไม้พุ่มเตี้ยทั่วไป มีรากที่มีประสิทธิผลต่อการเสริมกำลังของดินได้ในช่วงความลึก 0.75-1.50 เมตร ในขณะที่ต้นไม้ขนาดกลางและใหญ่ อาจเสริมเสถียรภาพได้ลึกถึง 3 เมตรหรือมากกว่า ขึ้นกับชนิดต้นไม้ อย่างไรก็ตาม หญ้าแฝกนับเป็นหญ้าพิเศษที่มีรากหยั่งลึกกว่าหญ้าอื่น ๆ คือกว่า 2-3 เมตร หากอยู่ในสภาพที่เหมาะสม

ศูนย์วิจัยป่าไม้ (2537) ได้สำรวจรูปแบบรากของพืชเศรษฐกิจและพืชเบิกนำบางชนิดในลุ่มน้ำภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม H-type, R-type และ M-type (ภาพที่ 2.17) ซึ่งจัดว่ามีรากลึกช่วยเสริมเสถียรภาพของลาดได้ และพบว่าแม้พืชเศรษฐกิจเช่น ยางพารา หากปลูกด้วยเมล็ดก็จะมีรากแก้วและจัดอยู่ในกลุ่ม H-type ศูนย์วิจัยป่าไม้ (2537) ยังได้เสนอแนะว่า ไม้ยืนต้นและไม้เบิกนำที่มีรูปแบบการเจริญเติบโตของรากหลัก เป็นแบบ V-type, R-type และ H-type ซึ่งมีรากลึก จะมีความเหมาะสมในการปลูกเพื่อความมั่นคงของไหล่เขา โดยได้แนะนำให้ปลูกร่วมกับหญ้าแฝก (Vetiveria zizaniodies Nash) อย่างไรก็ดี สิ่งที่สำคัญคือ รากพืชจะต้องมีรากแนวดิ่งหยั่งลึกเพียงพอจนผ่านพื้นผิวการพิบัติ (Failure surface) ของมวลดินถล่ม รากจึงจะสามารถป้องดินถล่มได้อย่างมีนัยสำคัญ




Lateral, tap, and sinker roots of a woody root system.

**ภาพที่ 2.16** ส่วนประกอบที่สำคัญของรากต้นไม้ (Gray and Sotir, 1996)




**ภาพที่ 2.17** รูปแบบการแผ่ขยายของรากพืชตามนิยามของ Yen (1987)

พานิช และคณะ (2548) ได้ศึกษาแนวทางการปลูกหญ้าแฝกร่วมกับกระถินเทพาบนที่ลาดชัน โดยกำหนดการปลูกแฝกสลับกับกระถินเทพาหลากหลายรูปแบบ และประเมินรูปแบบที่มีประสิทธิภาพ โดยทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินที่มีระบบรากพืชแพร กระจายอยู่ทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ พบว่าการปลูกพืชที่ลาดชัน 30 องศา มีระบบรากที่ให้กำลังดีกว่าลาดชันเอียง 45 องศา และระยะปลูกที่มีระยะห่างเหมาะสมช่วยให้รากพืชเติบโตได้ดี ช่วยให้ดินมีกำลังเฉือนสูงขึ้น

ทั้งนี้การเลือกชนิดพืชพรรณที่เหมาะสมในการป้องกันแก้ไขดินถล่มนั้น ขึ้นกับสภาพแวดล้อม ภูมิประเทศและลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคมของแต่ละพื้นที่นั้น ๆ

อดิเทพ (2556) ศึกษาพฤติกรรมการเสริมแรงรากพืชเพื่อป้องกันการพังทลายของลาดดิน พบว่า หญ้าแฝกอายุระหว่าง 2-6 เดือน สามารถเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนในดินได้ 5-9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับหญ้าแฝกเชิงเดี่ยว และสามารถรับเพิ่มมากถึง 10-13 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแฝกกลุ่ม

Ehsan และคณะ (2010) ได้ทำการวิจัยหาค่าแรงดึงของรากพืชที่ราบเชิงเขาจำนวน 59 ราก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.30-5.00 มิลลิเมตร และที่ลาดเชิงเขาจำนวน 62 ราก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.30-4.40 มิลลิเมตร พบว่าค่าแรงดึงที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดเพิ่มขึ้น

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)