



วิทยานิพนธ์

ลักษณะของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่อ่างขวาง

CHARACTERISTICS OF SOILS SUSCEPTIBLE TO
LANDSLIDE RISK IN ANG KHANG AREA

นางสาวฐิติชญาณ์ ตงศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา

สาขา

ปฐพีวิทยา

ภาควิชา

เรื่อง ลักษณะของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่อ่างขวาง

Characteristics of Soils Susceptible to Landslide Risk in Ang Khang Area

นามผู้วิจัย นางสาวฐิติชญาณ์ ดงศิริ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์เอิบ เขียวรัตน์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อัญชลี สุทธิประการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 1 เดือน เมษายน พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ลักษณะของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่อ่างขวาง

Characteristics of Soils Susceptible to Landslide Risk in Ang Khang Area

โดย

นางสาวจิตติชญาณ์ ดงศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2551

ฐิติชญาณ์ ดงศิริ 2551: ลักษณะของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่อ่างขาง ปริญญาวิทยา
ศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: อาจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, PhD. 148 หน้า

ดินถล่ม 6 บริเวณในพื้นที่อ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ที่เกิดขึ้นในช่วงปลายฤดูฝนปี 2549 ได้
ถูกคัดเลือกเพื่อทำการศึกษาโดยดำเนินการในปี 2550 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะและสมบัติของดินที่
เกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยการรวบรวมข้อมูลทั่วไปของพื้นที่และเก็บตัวอย่างดินสำหรับการ
วิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการตามวิธีมาตรฐาน

ผลการศึกษา พบว่า บริเวณที่เกิดแผ่นดินถล่มมีความลาดชันสูงมากตั้งแต่ร้อยละ 70-95 พบอยู่ภายใต้
ป่าหิมาลัยของป่าดั้งเดิมที่เป็นป่าดิบเขา (hill evergreen forest) ดินที่พบเกิดจากเศษหินเชิงเขาทางตัวบนวัสดุ
ตกค้างของหินชนวน ฟิลไลต์ และควอร์ตไซต์ ดินบน (A) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง (38.7-85.5 กรัมต่อกิโลกรัม)
ค่าความหนาแน่นรวมต่ำ (0.65-1.49 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สภาพน้ำของดินในดินบนและดินล่างอยู่
ในระดับเร็วถึงระดับเร็วมาก มีค่าตั้งแต่ 69.2-8,785.6 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ทำให้เมื่อฝนตกลงมาน้ำสามารถซึม
ลงสู่ชั้นดินตอนล่างได้อย่างรวดเร็ว จากสมบัติดังกล่าวทำให้ดินทุกดินน้ำสามารถซึมผ่านชั้นดินในตอนบนของ
หน้าตัดดินลงไปยังตอนล่างได้อย่างรวดเร็ว

ลักษณะที่ส่งเสริมให้เกิดการถล่มของดินที่ทำการศึกษาทั้งหมด ได้แก่ 1) การพบชั้นที่เกิดขบวนการ
ไหลซึมของน้ำในตอนล่างของหน้าตัดดิน เช่น ชั้น BCt และ Crt ที่เป็นชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน พบใน LS-3 LS-5
และ LS-6 แนวควอร์ตซ์เวิน (LS-4) และชั้นที่มีความหนาแน่นรวมสูงเนื่องจากมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว
สะสมอยู่มาก ในดิน LS-1 และ LS-2 ที่มีปริมาณเท่ากับ 423 (Bt6) และ 807 (Bt7) กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ 2)
ชนิดของหินต้นกำเนิดซึ่งเมื่อผุพังสลายตัวกลายเป็นดินแล้ว ดินจะเกาะตัวกันไม่ดี และ 3) ค่าดัชนีพลาสติก
(plasticity index: PI) ของชั้นดินที่วางตัวอยู่บนชั้นที่ขลอการไหลซึมของน้ำ มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 20 แสดงให้เห็น
ว่า ดินจะเปลี่ยนสภาพจากขีดจำกัดพลาสติก (plastic limit) ไปยังขีดจำกัดของเหลว (liquid limit) ได้ง่ายเมื่อ
ได้รับน้ำในปริมาณไม่มากนัก รอยต่อของทั้งสองชั้นนี้จึงเป็นจุดที่เกิดการเลื่อนไถลได้ง่าย โดยที่ตำแหน่งใน
สภาพภูมิประเทศที่เกิดแผ่นดินถล่มของดินที่ศึกษาทั้งหมดจะพบอยู่บริเวณตอนบนของส่วนกลางของความลาด
เทไปจนถึงตอนล่างของบริเวณที่เป็นไหล่เขา

ฐิติชญาณ์ ดงศิริ
ลายมือชื่อนิติ

ดงศิริ.

31 / ๕.๑. / 51

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Thitichaya Tongsir 2008: Characteristics of Soils Susceptible to Landslide Risk in Ang Khang Area. Master of Science (Agriculture), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science.
Thesis Advisor: Mr. Somchai Anusontpornperm, Ph.D. 148 pages.

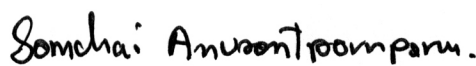
This study was undertaken to investigate some soil properties related to naturally active landslide of six locations found in the area of Ang Khang, Fang district, Chiang Mai province in 2007. Samples were collected for various analyses while field investigation being conducted at the time of sampling, both basing on standard methods.

Results revealed that all soils varied morphologically according to their major landscape position, which closely related to elevation and soil parent material. They were found under secondary hill evergreen forest with 70-95% sloping surface. The soils were formed from colluvium overlying residuum of slate, phyllite and quartzite. Surface layers (A horizon) contained high organic matter content ranging from 38.7 to 85.5 g kg⁻¹. Bulk density values were low throughout the upper part of soil solum (0.65-1.49 M m⁻³) while hydraulic conductivity within the same part of the soils was rapid to very rapid as affected by those two properties, having the values from 69.2 to 8,785.6 cm hr⁻¹. Consequently, water can move through to the lower part of soil profiles quite swiftly in all soils.

Soil properties that are susceptible to the occurrence of landslide in the area are; 1) layers in the lower part of soil profiles that impede downward movement of water such as wethered bedrocks (BCrt or Crt horizon) found in LS-3, LS-5 and LS-6, quartz veins in LS-4, and high bulk density layers due to the accumulation of clay particle, which were 423 g kg⁻¹ in Bt6 of LS-1 and 807 g kg⁻¹ in Bt7 of LS-2, 2) type of parent rocks that give a low stability of subsequent soils after weathering, and 3) plasticity index values of layer overlying impervious horizons that are lower than 20%, indicating that it requires quite minimal amonut of water saturated in this layer before changing from plastic limit into liquid limit. As a result of these properties, jointed layers of all soils studied can easily be torn apart and soil materials start to move down a slope in the form of solifluction or even mudflow during heavy rain falling within the short period of time. Considering the position on the landscape where all active landslides chosen for this study took place, it tends to start at the point between upper midslope and lower shoulder slope.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

31 / 03 / 2008

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์ ดร. เอิบ เขียวรีนรมณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิศักดิ์ ศรีลัมภ์ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในเรื่องการเรียน การทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ

ขอขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวงอย่างสูงที่ทำให้การสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้เอื้อเพื่อสถานที่และอุปกรณ์การทดลอง รวมถึงการอำนวยความสะดวกด้านที่พักและอาหารระหว่างปฏิบัติงาน พร้อมกันนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่มูลนิธิโครงการหลวงทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการเดินทางไปยังพื้นที่ปฏิบัติงาน ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน บุคลากรและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร และห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดี รวมถึงเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทั้งที่สโมสรนิสิตบัณฑิตปฐพีวิทยาทุกท่าน และที่กรมพัฒนาที่ดินที่คอยให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อประวัติ วังสินธร คุณแม่ศิริกุล ดงศิริ และพี่ชายประพทุทธิ์ วังสินธร รวมทั้งญาติพี่น้องทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือในการศึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแด่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ที่อบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้ามีความรู้มาจนถึงปัจจุบัน

ฐิติชญาณ์ ดงศิริ

กุมภาพันธ์ 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	100
สรุป	100
ข้อเสนอแนะ	102
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	103
ภาคผนวก	115
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	148

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงประเภทดินถล่มตามชนิดของการเคลื่อนที่และชนิดของวัตถุ	11
2	แสดงการจำแนกประเภทแผ่นดินถล่ม	12
3	แสดงอนุภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณฝน บริเวณโครงการหลวง	36
4	แสดงพัฒนาการของดินและสภาพทั่วไปของพื้นที่ที่พบการถล่มของดิน	45
5	แสดงสถานฐานวิทยาสนามดินบริเวณจุดถล่มที่ทำการศึกษา	47
6	แสดงค่าของขีดจำกัดของเหลว (liquid limit) (%)	72
ตารางผนวกที่		
1	ข้อมูลภูมิอากาศของบริเวณที่ทำการศึกษา เฉลี่ยตั้งแต่ปี 2532-2549	129
2	แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษาและค่าดัชนีพลาสติก	130
3	แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษา	136
4	ระดับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มของชุดหิน (ใช้ชนิดหินเด่นเป็นเกณฑ์แยก)	142
5	เกณฑ์การจำแนกชั้นการกร่อนดิน (Erosion Classes)	142
6	เกณฑ์การแบ่งกลุ่มเนื้อดิน	143
7	ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี	144
8	เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน	146
9	เกณฑ์การแบ่งระดับความเป็นกรดที่สกัดได้	146
10	ระดับชั้นของค่าสภาพการนำน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ	147

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงลักษณะการเกิดแผ่นดินถล่มชนิดต่าง ๆ	14
2	แผนที่แสดงกลุ่มชุดดินบริเวณพื้นที่อ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่	35
3	แผนที่แสดงชนิดป่าบริเวณพื้นที่อ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่	38
4	แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่อ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่	39
5	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่โครงการหลวงอ่างขางและบริเวณจุดเก็บตัวอย่างดิน	41
6	แสดงสภาพภูมิประเทศ และหน้าตัดของดินบริเวณที่ 1	42
7	แสดงสภาพภูมิประเทศ และหน้าตัดของดินบริเวณที่ 2	55
8	แสดงสภาพภูมิประเทศ และหน้าตัดของดินบริเวณที่ 3	57
9	แสดงสภาพภูมิประเทศ และหน้าตัดของดินบริเวณที่ 4	58
10	แสดงสภาพภูมิประเทศ และหน้าตัดของดินบริเวณที่ 5	60
11	แสดงสภาพภูมิประเทศ และหน้าตัดของดินบริเวณที่ 6	61
12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคนาตราย ทรายแป้ง และอนุภาคนาตรดินเหนียว กับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	66
13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมกับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	69
14.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำน้ำขณะดินอิ่มตัวกับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	70
15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลาสติกของดินและค่าจุดเหนียวของดินกับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	74
16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปฏิกิริยาดินในน้ำและในสารละลาย 1N KCl กับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	78
17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์วัตถุกับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมที่สกัดได้และแมกนีเซียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	81
19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	82
20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโซเดียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	83
21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณค่ารวมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	84
22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	85
23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนของดินกับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	86
24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการอิ่มตัวด้วยเบสของดินกับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา	88

ลักษณะของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่อ่างขาง

Characteristics of Soils Susceptible to Landslide Risk in Ang Khang Area

คำนำ

ปัจจุบันภัยพิบัติตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วโลก เช่น ภัยแล้ง น้ำท่วม ดินถล่ม แผ่นดินไหว พายุ ทำให้เกิดสร้างความเสียหายทั้งในด้านชีวิต ทรัพย์สิน และที่ดินของประชาชนเป็นจำนวนมาก เหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมีผลกระทบเป็นพื้นที่กว้างและรุนแรงทุกครั้ง และมีแนวโน้มจะเกิดบ่อยครั้งมากขึ้นในอนาคต ทั้งนี้ อาจจะมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นผิวโลกตามธรรมชาติ และการกระทำของมนุษย์ เช่น ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินที่เกิดจากการใช้ที่ดินโดยขาดการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสม และทรัพยากรป่าไม้ได้ถูกทำลายไปเป็นพื้นที่กว้างขวาง

ภัยพิบัติแผ่นดินถล่มในประเทศไทยมักเกิดขึ้นเมื่อมีฝนตกลงมาจนพื้นดินไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้หมด ไม่สามารถระบายออกไปสู่ระบบลำรางได้ทันการ มักจะเกิดในบริเวณพื้นที่ที่เป็นเทือกเขาสูงชัน ป่าไม้ธรรมชาติถูกทำลายไป ดินและหินมีลักษณะผุกร่อนอ่อนตัวง่าย ส่วนใหญ่ที่พบมักเป็นแบบการถล่มที่ผิว (surface landslide) มีลักษณะคือ มวลดินชั้นบนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีการอ่อนตัว และเลื่อนไหลลงมาตามพื้นผิวที่ลาดเท โดยเฉพาะตรงบริเวณที่ดินจับตัวกันไม่ดี และไม่สามารถรับน้ำหนักของมวลที่ทับอยู่ตอนบนได้อีกต่อไปภายหลังจากมีฝนตกหนักในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ มักเกิดขึ้นตามบริเวณร่องไหล่เขา ซึ่งเป็นจุดรวมของน้ำ และแผ่ขยายไปสู่พื้นที่ไหล่เขาตอนบนและข้างเคียง น้ำและมวลตะกอนดินที่ถล่มลงมามีจำนวนมากและมีกำลังแรงมากสามารถกัดเซาะ และพัดพาวัสดุที่เกิดขวางอยู่ทั้งในบริเวณตอนล่างของจุดถล่ม และที่อยู่สองข้างทางเมื่อมีการถล่ม การไหลของมวลดินและน้ำ ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงได้ (สุรินทร์, 2549)

การเกิดภัยธรรมชาติในแต่ละครั้ง จะมีผลกระทบที่สร้างความเสียหายในหลาย ๆ ด้าน ประเทศไทยในอดีตมีภัยธรรมชาติเกิดขึ้นมาแล้วทุกภูมิภาค และยังมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้อีกในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภัยจากดินถล่มและอุทกภัย ซึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ดังเช่นในปี พ.ศ. 2549 ซึ่งเกิดปัญหาแผ่นดินถล่มในหลาย ๆ บริเวณของพื้นที่อ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรป่าไม้ ดิน สิ่งก่อสร้าง และ

ชีวิตมนุษย์ จะเน้นการศึกษาลักษณะของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มพร้อมกับปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญที่ทำให้มีผลต่อเกิดดินถล่ม น่าจะเกิดประโยชน์อย่างยิ่งต่อการใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสำหรับเป็นแนวทางในการวิเคราะห์และวางแผนป้องกันในการเตือนภัย เช่นเดียวกับการใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ และคาดว่าจะสามารถนำไปปรับใช้เพื่อประโยชน์ในการป้องกันการเกิดแผ่นดินถล่มพื้นที่อื่น ๆ ต่อไปด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะและสมบัติของดินที่ง่ายต่อการเกิดดินถล่มที่มีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิประเทศและพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุม
2. เพื่อศึกษาหาปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการถล่มของดินในที่ที่เลือกศึกษา
3. เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปใช้กำหนดแนวทางการเบื้องต้นสำหรับการจัดการอนุรักษ์พื้นที่เพื่อป้องกันการเกิดดินถล่ม

การตรวจเอกสาร

1. คำจำกัดความและความหมายของดินถล่ม

ราชบัณฑิตยสถาน (2523) ให้ความหมายของคำว่า แผ่นดินถล่ม หรือ landslides ไว้ว่า เป็นการเคลื่อนตัวลงสู่ที่ต่ำของดินและหินตามไหล่เขา โดยมากเกิดจากดินและหินบริเวณแถบนั้นแห้งอยู่โดยปรกติแล้วยังมีน้ำซึมผ่านภายใต้ เป็นการหล่อลื่นให้แผ่นดินส่วนบนไถลตัวลงสู่เบื้องล่าง แผ่นดินไหวเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่มได้ เพราะผิวดินแถบนั้นสั่นตัวหลุดจากที่ยึดเหนี่ยว คือแรงหินที่รองรับ

สมิทธ (2534) กล่าวว่า แผ่นดินถล่มเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของการสีกกร่อนชนิดหนึ่งที่ก่อให้เกิดความเสียหายบริเวณที่เป็นเนินสูง หรือภูเขาที่มีความลาดชันมาก และสราวุธ (2539) ได้ให้เหตุผลว่า เป็นการขาดความสมดุลในการทรงตัวในบริเวณดังกล่าว ทำให้เกิดการปรับตัวของพื้นที่ตามแรงดึงดูดของโลกและเกิดการเคลื่อนตัวขององค์ประกอบทางธรณีวิทยาบริเวณนั้นจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ มักเกิดในกรณีที่มีฝนตกหนักมากบริเวณพื้นที่ภูเขา และพื้นที่เหล่านั้นอุ้มน้ำไว้นานเกิดการอึดตัว แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลดินลดน้อยลง ประกอบกับน้ำหนักของน้ำที่เพิ่มขึ้นในมวลดินจนทำให้เกิดการพังทลายของผิวหน้าดินลงมาพร้อมกับน้ำจำนวนดังกล่าว สำหรับ FEMA (1998) ได้ให้ความหมายว่า แผ่นดินถล่มเกิดขึ้นเมื่อมวลหิน แผ่นดิน หรือเศษซากปรักหักพังเคลื่อนตัวตามความลาดเอียง บางครั้งเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็ก บางครั้งมีขนาดใหญ่ และสามารถเคลื่อนตัวได้ตั้งแต่ช้า ๆ ไปจนถึงการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว โดยมีสาเหตุมาจาก พายุฝน แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด และโดยการปรับเปลี่ยนพื้นที่ของมนุษย์ ขณะที่ดินพินธ์ และปรีชา (2516) ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า แผ่นดินถล่ม คือ การเคลื่อนที่ลงสู่เบื้องล่างในทุกรูปแบบของแผ่นดิน เป็นผลมาจากสาเหตุที่ซับซ้อน แต่จะมีปัจจัยหนึ่งเริ่มเกิดขึ้นก่อน และปัจจัยอื่น ๆ จะเกิดตามมาทำให้เกิดการเลื่อนไถลขึ้น

แผ่นดินถล่ม คือ การถล่มตัวของแผ่นดินจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำอย่างรวดเร็ว เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติของการสีกกร่อนทางธรณีชนิดหนึ่ง ซึ่งมักเกิดบริเวณพื้นที่ที่เป็นภูเขา โดยเฉพาะภูเขาแกรนิตที่มีความลาดชันสูง แผ่นดินถล่มเกิดขึ้นเพราะพื้นผิวที่ลาดชันบริเวณพื้นที่ภูเขาขาดความสมดุลในการทรงตัว เนื่องจากเมื่อฝนตกหนักจนดินอึดตัวด้วยน้ำ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลดินจะลดน้อยลง ประกอบกับน้ำหนักของน้ำที่เพิ่มขึ้นในมวลดินทำให้เกิดการถล่มลงมา โดยปกติเกี่ยวข้องกับปัจจัย 3 อย่าง คือ พื้นที่จะต้องมีความลาดเทสูงพอสมควร ดินหรือหินชั้นล่างมีการไหลซึมของน้ำช้ำมาก และดินชั้นบนไม่เกาะกันเพราะอึดตัวด้วยน้ำ (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2526) และ

Bromhead (1992) อธิบายไว้ว่า landslides, slips, slumps, mudflows และ runoff เป็นรูปแบบต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่ของมวลดิน และหิน ภายใต้อิทธิพลของแรงดึงดูดของโลก และส่วนใหญ่คำว่า landslides มักจะหมายความรวมถึงการเคลื่อนที่ของมวลดิน หิน หรือแผ่นดินถล่มทุกประเภท

แผ่นดินถล่ม (landslides) เป็นกระบวนการเคลื่อนตัวหรือเลื่อนไหลของมวลทราย ดิน หรือ หินจากที่สูงลงสู่ต่ำ เนื่องจากการเฉือนที่ระนาบการพิบัติ (Vanes, 1978) ต่อมาได้มีการใช้คำว่า slope movements แทน landslides เนื่องจากว่า landslides จะมีข้อจำกัดเพียงแค่การไถลเท่านั้น (Skempton and Hutchinson, 1969) ส่วน Sassa (1985) ให้คำจำกัดความที่แตกต่างออกไปคือ landslides ได้แก่ การเคลื่อนตัวของมวลดินอย่างช้า ๆ ในพื้นที่ที่มีความลาดชันไม่มากนัก ส่วน slope failure คือ การเคลื่อนตัวของดินอย่างรวดเร็ว ในพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก ขณะที่คณะกรรมการจัดทำปทานุกรม ปฐพีวิทยา (2541) และ คณะอนุกรรมการจัดทำพจนานุกรมธรณีวิทยา (2530) ให้ความหมายไว้ว่า แผ่นดินถล่ม คือการเคลื่อนที่ของแผ่นดิน และเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของ แผ่นดิน หินตามแนวลาดชัน เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก การเคลื่อนที่ของมวลเหล่านี้มีความเร็ว ปานกลางถึงเร็วมาก ในประเทศไทยแผ่นดินถล่มโดยส่วนใหญ่ เกิดจากฝนตกหนักมากบริเวณ เทือกเขาที่เรียกว่า shallow landslides (Piersson *et al.*, 1991) และมักเกิดพร้อมกับน้ำป่าไหลหลาก ทำให้มีการพัดพาหิน ทราย และเศษซากไม้ต่าง ๆ ไปกับน้ำด้วย โดยเรียกว่า debris flow ซึ่งจะแตกต่างจาก mud flow ที่มีเฉพาะดินที่จะไหลไปกับน้ำ (Church and Miles, 1987)

แผ่นดินถล่ม เป็นการเคลื่อนที่ของมวลดิน หรือหินลงมาตามพื้นที่ลาดเขาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยปกติแล้วจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นดินถล่มเสมอ โดยเป็นตัวลดแรงต้านทานต่อการเคลื่อนตัวของมวลดิน ทำให้สมบัติของดินที่เป็นของแข็งเปลี่ยนไปเป็นของเหลว และเกิดการไหลได้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) แผ่นดินถล่ม หรือ โคลนถล่ม (landslides) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติของการสักร่อนที่ผิวดินชนิดหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายในพื้นที่ที่เป็นภูเขา หรือเนินเขาที่มีความลาดชันมาก เนื่องจากการเสถียรสมมูลในการทรงตัวของพื้นที่นั้น ๆ ทำให้เกิดการปรับตัวของพื้นดิน มีการเคลื่อนตัวตามแรงดึงดูด หรือแรงโน้มถ่วงของโลกจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ มักเกิดขึ้นในกรณีที่มีฝนตกหนักมากบริเวณภูเขา และพื้นดิน โดยพื้นที่บริเวณภูเขานั้นอุ้มน้ำไว้นานเกิดการอิ่มตัว และเกิดการพังทลายของผิวดินเคลื่อนลงมาพร้อมกับปริมาณน้ำจำนวนมากลงสู่ที่ต่ำกว่า (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ผลของการเกิดแผ่นดินถล่ม จะทำให้มุมความลาดของพื้นที่ลดลงเพื่อสร้างความสมดุลใหม่ ทำให้มีความเสถียรในสภาพแวดล้อมใหม่ ทั้งนี้เกี่ยวข้องกับวัสดุใต้ผิวดินและระดับน้ำใต้ดิน และ

แผ่นดินถล่มแต่ละครั้งไม่จำเป็นว่าจะต้องลดมุมความลาดชันเสมอไป หากมีมุมลาดชันมากขึ้นแล้วพื้นที่มักจะลดระดับความสูงลง ในกรณีที่มีการม้วนตัว มุมความลาดชันจะลดลง และมีการทับถมของตะกอนที่ฐาน มีการถดถอยของหน้าผาในขณะที่ส่วนฐานจะสูงขึ้น ดังนั้นแผ่นดินถล่มจึงมีผลทำให้มุมลาดเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ แต่เมื่อเกิดแผ่นดินถล่มแล้ว มุมความลาดใหม่จะมีความเสถียรมากขึ้น (อภิลิทธิ, 2530)

การพิบัติ หรือความไม่มั่นคงของมวลดิน (sliding หรือ slope failure) คือ พฤติกรรมที่มวลดินส่วนใดส่วนหนึ่งเกิดการเคลื่อนตัวพังทลายจากที่สูงลงมาสู่ที่ต่ำ ภายใต้แรงดึงดูดของโลก ถึงแม้ว่าแผ่นดินถล่มจะเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ทั่วไป ในบริเวณภูเขาที่มีความลาดชันสูง ในบริเวณที่มีความลาดชันต่ำก็สามารถเกิดแผ่นดินถล่มได้ถ้ามีปัจจัยที่ก่อให้เกิดแผ่นดินถล่มที่เหมาะสม โดยทั่วไปบริเวณที่เกิดดินถล่มได้เสมอ ๆ คือบริเวณที่ใกล้กับแนวรอยเลื่อน และบริเวณที่มีการยกตัวของแผ่นดินขึ้นเป็นภูเขาสูง บริเวณที่ทางน้ำกัดเซาะลึกและชัน บริเวณที่มีแนวรอยต่อ และรอยแยกบนที่ลาดชันในพื้นที่ภูเขา บริเวณที่มีการผุพังของหิน และทำให้เกิดชั้นดินหนาบนที่ลาดชันนั้น ๆ ขณะที่ในบริเวณที่มีความลาดชันน้อย มักจะมีดินที่เกิดจากการผุพังของชั้นหินวางตัวบนที่ลาดชัน และมีความหนาของชั้นดิน มากขึ้น แผ่นดินถล่มมักเกิดจากการที่น้ำซึมผ่านชั้นดินบนที่ลาดชัน และเกิดแรงดันของน้ำเพิ่มขึ้นในชั้นดิน โดยเฉพาะในช่วงที่ฝนตกหนัก (วรากร และคณะ, 2546)

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดของแผ่นดินถล่ม แบ่งได้หลากหลายรูปแบบ เช่น

2.1.1 แบ่งตามความเร็วในการเคลื่อนตัว ซึ่งมีช่วงตั้งแต่การเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ เรียกว่า การไหลคลาน เช่น การไหลคลานของผิวหน้า การไหลคลานของวัตถุที่ยังไม่แข็งตัว และการไหลคลานของหินพื้น เป็นต้น การเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว เรียกว่า การเลื่อนไหล หรือการไหล เช่น การเลื่อนไหลของผิวหน้าดิน การเลื่อนไหลของวัตถุที่ยังไม่แข็งตัว การเลื่อนไหลของหินชั้นฐาน ดินเลื่อนไหล โคลนไหล และหินไหล เป็นต้น การเคลื่อนตัวอย่างฉับพลัน เรียกว่า การหล่น เช่น หินหล่น (สมิทธิ, 2534)

2.1.2 แบ่งตามชนิดของวัตถุที่เคลื่อนตัว เช่น หินพื้น (bedrock) การเคลื่อนตัวของชั้นตะกอน และชิ้นส่วนอินทรีย์ (organic debris) (The Province of British Columbia, 1997) ซึ่งสมิทธิ (2534) ได้แบ่งชนิดของแผ่นดินถล่มตามชนิดของวัตถุที่เคลื่อนที่ออกเป็น

- แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของผิวหน้าดินของภูเขา เรียกว่า surficial เช่น การไหลคลานของผิวหน้าดิน และการเลื่อนไหลของผิวหน้าดิน
- แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ยังไม่แข็งตัว เช่น เศษกรวด ดินทราย โดยเฉพาะ เศษหิน และ โคลน ที่เรียกว่า unconsolidated materials
- แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของชั้นหิน ที่เป็นหินพื้น มีลักษณะคล้ายกับการเกิดแผ่นดินไหวลักษณะตื้น แต่เกิดขึ้นเฉพาะบริเวณ และไม่มีการสั่นสะเทือน
- แบ่งตามลักษณะของการเคลื่อนตัว เช่น การเลื่อนไหล การทรุดตัว การไหล และการหล่น (The Province of British Columbia, 1997)

3. ประเภทและลักษณะของแผ่นดินถล่ม

แผ่นดินถล่ม หรือ โคลนถล่ม (landslides) เป็นภัยพิบัติทางธรณีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มักเกิดขึ้นในขณะที่ หรือภายหลังที่พายุฝนตกหนักจนแรงติดต่อกันทั้งวันหรือทั้งวันทั้งคืน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เป็นภูเขาสูงชัน หุบเขา หน้าผา ที่ลาดเชิงเขา ที่ราบเชิงเขา และแพรงห้วยที่มีความลาดเอียง ซึ่งมีความชันตั้งแต่ร้อยละ 30-50 หรือมากกว่านั้น โดยชั้นดินหนาที่เกิดจากชั้นหินที่ผุพัง เช่น หินถ้ำภูเขาไฟ (tuff) หินภูเขาไฟชนิดแอนดีไซต์ (andesite) ไรโอไลต์ (rhyolite) หินแกรนิต (granite) หินดินดาน (shale) หินโคลน (mud-stone) และหินทรายแป้ง (siltstone) ชุ่มด้วยน้ำฝน น้ำก็จะซึมลงข้างใต้แล้ว รวมตัวไหลไประหว่างชั้นหินที่รองรับอยู่ข้างใต้ เมื่อประกอบกับชั้นดินที่ชุ่มน้ำที่วางทับอยู่ข้างบนทำให้ชั้นดินเริ่มเคลื่อนตัว และปริแตก จากนั้นก็จะถล่มลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยจะพาเอาก้อนหินใหญ่น้อยลงมาข้างใต้ รวมทั้งเศษไม้ลงมาพร้อม ๆ กัน โดยไหลเคลื่อนตัวไปตามลำห้วย เศษหิน ดิน กิ่งไม้ และต้นไม้ก็จะกวาดทุกสิ่งทุกอย่างที่ขวางทาง รวมทั้งริมตลิ่งของลำห้วยจะมีปริมาณดิน เศษไม้ ต้นไม้เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น บ้านเรือนและสิ่งก่อสร้างที่เกิดขวางการไหลของน้ำและดินถล่มก็จะถูกทำลายไปในพริบตา หรือมิฉะนั้น สะพาน สิ่งก่อสร้าง หรือก้อนหินขนาดใหญ่ที่ขวางทางเดินของน้ำ ก็อาจจะเป็นตัวสกัดกั้นมิให้เศษไม้ หรือต้นไม้เคลื่อนตัวไปได้ เมื่อสะสมกันมาก ๆ ทำให้ทางเดินน้ำอุดตัน กระแสน้ำก็จะกัดเซาะตลิ่งแล้วเปลี่ยนทางเดินของน้ำ ทำให้บ้านเรือนที่อยู่บนเนินเขาถล่มลงมาได้เช่นกัน ต่อจากนั้นตะกอนดินและสิ่งพัดพามาด้วยก็จะเคลื่อนและไหลกระจายเป็นวงกว้าง เมื่อสภาพพื้นดินเปลี่ยนจากห้วยลาดเอียงมาเป็นที่ราบเชิงเขา เกิดเป็นการสะสมตัวของตะกอนรูปพัด (alluvial fan) ขึ้น นอกจากนี้ปัจจัยเร่งที่ช่วยในเกิดแผ่นดินถล่มอีกอย่างก็คือ การ

ที่ชั้นดินขาดรากไม้ยึดเหนี่ยว เนื่องจากมีการตัดต้นไม้ทำลายป่าในพื้นที่ที่เป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร ดังนั้นเมื่อน้ำฝนในปริมาณมากก็จะเกิดดินถล่มได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น (สมศักดิ์, 2547)

แผ่นดินถล่ม เป็นคำที่ใช้โดยทั่วไป ซึ่งหมายถึง การเคลื่อนที่ของดินและหิน การเคลื่อนที่เกิดจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว การเคลื่อนที่อาจจะเป็นไปอย่างช้า ๆ หรืออย่างฉับพลัน มีความแตกต่างในรูปแบบ กระบวนการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้น จึงได้มีการจำแนกประเภทของแผ่นดินถล่ม (Hansen, 1984) ออกไว้ โดยที่ลักษณะของแผ่นดินถล่มทั่วไป เป็นกระบวนการซึ่งเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของดินตามแนวลาดชันอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก มักเกิดขึ้นบริเวณภูเขาโดยเฉพาะภูเขาหินแกรนิตการเคลื่อนที่ของมวลเหล่านี้ มีความเร็วปานกลางถึงเร็วมาก ในประเทศไทยมักเกิดตามทางน้ำเดิม หรือเกิดตามร่องน้ำเล็ก ๆ บนไหล่เขาที่มีน้ำไหลมารวมกันแต่ก็มักเรียกเป็นแผ่นดินถล่มแบบไหลเลื่อน (surface-slide) สำหรับลักษณะของแผ่นดินถล่ม โดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ

1) หินถล่ม (debris avalanches) เป็นการถล่มแบบไหลเลื่อนลงจากพื้นที่ลาดเขาด้วยความเร็วของมวลดิน ก้อนหิน และต้นไม้ที่โค่นล้ม ไหลรวมมากับน้ำฝนที่ตกลงมาอย่างรวดเร็ว เกิดรอยถล่มเป็นทางยาวและแคบ ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างความลึกกับความยาวของรอยถล่มประมาณ 0.15-0.37 เมตร (Skempton and Hutchison, 1969)

2) การกัดเซาะเป็นร่องลึก (gully erosion) ปรากฏเป็นร่องลึกจากการถูกกัดเซาะเป็นร่องกว้างและลึก โดยทั่วไปมีความกว้างมากกว่า 0.3 เมตร และมีความลึกมากกว่า 0.6 เมตร ทำให้มีตลิ่งชันและมีพื้นที่ท้องน้ำเรียบ มักเกิดในบริเวณที่มีร่องน้ำอยู่แล้ว การกัดเซาะทำให้เกิดร่องขยายใหญ่และลึกมากขึ้น สาเหตุสำคัญของการเกิด นั้น Selby (1993) รายงานว่า มาจากการทำลายป่า และพืชพรรณที่ขึ้นคลุมดินอยู่ ทำให้มีน้ำไหลบ่ามากขึ้นเมื่อมีฝนตก

3) ดินเลื่อนไหล (earthflows) เกิดมากเฉพาะกับดินที่เกิดจากการผุพังอยู่กับที่ของหินแกรนิตส่วนใหญ่มีร่องกัดเซาะดินที่ฐานล่างของลาดเขา ทำให้มวลดินตอนบนของไหล่เขาไม่มีฐานรองรับและไหลเลื่อนลงมา รูปร่างของรอยแผ่นดินถล่มมีลักษณะคล้ายรูปตัว “U” ซึ่งจะพบรอยแตกเป็นรูปโค้งอยู่ที่ด้านบนของผนังรอยถล่มด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

การเกิดแผ่นดินถล่ม มีอยู่หลายลักษณะ และมีผู้ให้การจัดจำแนกประเภทของการเกิดแผ่นดินถล่มอยู่หลายท่าน ซึ่งส่วนใหญ่มักจะจำแนกประเภทของการเกิดแผ่นดินถล่มตามลักษณะ

ความแตกต่างของชนิดวัตถุที่มาประกอบ อัตราและชนิดของการเคลื่อนที่ ดังเช่นการจัดจำแนกประเภทแผ่นดินถล่มโดย Varnes (1978) ที่ได้แบ่งประเภทของการเกิดแผ่นดินถล่มตามชนิดของวัตถุที่มาประกอบ และชนิดของการเคลื่อนที่ ซึ่งได้รับการยอมรับค่อนข้างกว้างขวาง และมีการนำมาใช้อ้างอิงสำหรับการจำแนกประเภทของดินถล่มอยู่บ่อยครั้ง (ตารางที่ 1)

ต่อมาในปี 1984 Hansen ได้จำแนกประเภทของแผ่นดินถล่มตามชนิดการเคลื่อนที่และประเภทของวัตถุที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการอธิบายความหมายของลักษณะการเคลื่อนที่ในแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 2

นิพนธ์ และปรีชา (2516 อ้างถึง Sheng, 1966) ได้แบ่งชนิดของแผ่นดินถล่ม อย่างกว้าง ๆ ไว้ 5 ประเภทด้วยกัน คือ

1. การหล่น (fall) จะเกิดขึ้นเมื่อมวลดินเคลื่อนที่ไปในอากาศโดยอิสระ อาจะโดยการตกแบบกระโดดหรือกลิ้งไป โดยไม่มีแรงกระทำระหว่างวัตถุที่เคลื่อนที่ไปกับวัตถุอื่น การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นรวดเร็วมาก โดยอาจเริ่มจากการเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ก่อน หรืออาจไม่มีการเคลื่อนที่มาก่อนเลยก็ได้ การหล่น มีอยู่ด้วยกันสองแบบ คือ หินหล่น และดินหล่น

2. การเลื่อนไหล (slides) ใช้ในกรณีที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของกลุ่มมวลดินวัตถุที่เคลื่อนที่ไปบนผิวดิน ซึ่งอาจแบ่งย่อยออกได้เป็น การเลื่อนไหลของมวลดินและหินที่ทรุดตัว หินไหลเลื่อน

3. การไหล (flow) เป็นการเคลื่อนที่ภายในมวลดินที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ อาจถูกพัดพาไปโดยวัตถุที่เคลื่อนที่ หรือของเหลวที่มีความหนืด การไหลแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ การไหลแบบแห้งกับการไหลแบบเปียก สำหรับการไหลแบบแห้ง แบ่งย่อยออกได้เป็น เศษหินไหล เศษหินกลิ้ง และดินไหล ส่วนการไหลแบบเปียก แบ่งย่อยออกได้เป็น มวลดินและหินที่ไหล มวลดินหินที่ไหลอย่างช้า ๆ ดินเลื่อนไหลฉับพลัน โคลนไหล ทรายไหล และตะกอนไหล

4. การไหลคลาน (creeps) หมายถึง การเคลื่อนที่ของมวลสารอย่างช้าลงไปยังตอนล่างของดิน หรือเศษหิน ในลักษณะของโคลน เคลื่อนที่ลงจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำตามความลาดเทด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก แต่เนื่องจากมีแรงเสียดทานของชั้นดินที่แตกต่างกันดินจะค่อย ๆ เลื่อนลงมา โดยปกติแล้วดินที่เลื่อนลงมาจะหนาไม่เกิน 3 ฟุต

5. การไหลเลื่อน (subsidence solifluction) เป็นการก่อตัวของวัตถุในทางตั้งที่มีการเคลื่อนที่ไปตามแนวนอนเล็กน้อย ซึ่งมักจะเป็นเนื่องมาจากการขุดบ่อถ่านหิน น้ำหนักบรรทุกมากเกินไปหรือแผ่นดินไหว การอัดตัวกันแน่นของตะกอน และสารละลายของเกลือและยิปซัม นอกจากนี้อาจเกิดจากการเคลื่อนย้ายแบบ (solifluction) มักเกิดในแถบอากาศหนาว ที่น้ำแข็งที่กำลังละลายมีการเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ ไม่มีขอบเขตที่ชัดเจน แต่จะคลุมพื้นที่ไปหมดทั้งความลาดเท

6. ทะเลสาบถล่ม (landslide lake) จะเกิดเมื่อมีดินเลื่อนไหลลงไป คั่นตามหุบเขาเป็นช่วง ๆ ทำให้เกิดเป็นทะเลสาบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทะเลสาบนี้จะถูกกักโดยเขื่อนอย่างหลวม ๆ กระแสน้ำที่ไหลไปบนผิวเขื่อนจะทำให้เกิดเป็นร่องขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นก็จะเกิดแผ่นดินไหว (landslide damp) ซึ่งจะทำให้ความเสียหายแก่หุบเขาที่อยู่ต่ำกว่าลงไป

นอกจากนี้ ยังมีการจำแนกประเภทของแผ่นดินถล่มออกได้เป็นหลายลักษณะ ดังนี้

1. จำแนกตามอัตราการไหล (rate of movement) ช่วงเวลาที่ใช้จำแนกเริ่มจากการเกิดแผ่นดินถล่มที่ใช้เวลาการเคลื่อนตัวช้ามาก หน่วยวัดเป็น มิลลิเมตรต่อปี จนถึงการเกิดแผ่นดินถล่มที่ใช้เวลาการเคลื่อนตัวฉับพลัน หน่วยวัดเป็นเมตรต่อวินาที แผ่นดินถล่มที่เคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ เรียกว่า creep เช่น surficial creep unconsolidated creep และ bedrock creep เป็นต้น ส่วนแผ่นดินถล่มที่เคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว เรียกว่า slide หรือ flow เช่น surficial slide unconsolidated slide bedrock slide earth flow mud flow และ debris flow เป็นต้น และแผ่นดินถล่มที่เคลื่อนตัวอย่างเร็วมาก เรียกว่า fall เช่น rock fall เป็นต้น

2. จำแนกตามชนิดของวัตถุที่ร่วงหล่นลงมา (type of materials) เช่น แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของผิวหน้าดินตามภูเขา เรียกว่า surficial creep หรือ surficial slide แผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของวัตถุที่ยังไม่แข็งตัว เช่น unconsolidated material เช่น เศษกรวด ดินทราย โคนเฉพาะอย่างยิ่งเศษดินโคลน และแผ่นดินถล่มที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของชั้นหิน เรียกว่า bedrock ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณต้น ที่เกิดขึ้นเฉพาะบริเวณไม่ได้เกิดจากการสั่นสะเทือน

3. จำแนกตามธรรมชาติของการเคลื่อนตัว (nature of movement) เช่น การเคลื่อนตัวของเศษวัสดุ (debris movement) การถล่ม (slide) การเลื่อนไถล (slump) การไหล (flow) และการร่วง (fall)

ตารางที่ 1 แสดงประเภทดินถล่มตามชนิดการเคลื่อนที่และชนิดของวัตถุ

ชนิดของการเคลื่อนที่ (Type of Movement)		ชนิดของวัตถุ (Type of Material)		
		หินพื้น (Bedrock)	ดินทางวิศวกรรม (Engineering Soils)	
			Predominantly Coarse	Predominantly Fine
การร่วง (fall)		การร่วงหล่นของหิน (rock fall)	การร่วงหล่นของดินและหิน(debris fall)	การร่วงหล่นของดิน(earth fall)
การล้มคว่ำ (topples)		การล้มทับถมกันของหิน (rock topple)	การล้มทับของดินและหินลงสู่ตลิ่ง (debris topple)	การทรุดตัวของดิน (earth topple)
การถล่ม (slides)	แบบหมุนวน (rotational)	การถล่มของหิน (rock slide)	การเคลื่อนถล่มของกองเศษดินและหิน (debris slide)	การเคลื่อนถล่มของดิน (earth slide)
	แบบเคลื่อน (translational)			
การแผ่กระจายออกด้านข้าง (lateral spreads)		การแผ่กระจายตัวของกลุ่มหิน (rock spread)	การแผ่กระจายตัวของกลุ่มดินและหิน (debris spread)	การแผ่กระจายตัวของดิน (earth spread)
การไหล (flows)		การไหลของหิน (rock flow: deep creep)	การไหลของดินและหินจากที่สูงมาทับถมข้างล่าง (debris flow)	การเลื่อนไหลของมวลดิน (earth flow)
			การคืบตัวของดิน (soil creep)	
การเคลื่อนที่แบบซับซ้อน (complex): มีชนิดการเคลื่อนที่ตั้งแต่ 2 ชนิด รวมกันขึ้นไป				

ที่มา : Varnes (1978)

ตารางที่ 2 แสดงการจำแนกประเภทแผ่นดินถล่มของโดย Hansen (1984)

ชนิดการเคลื่อนที่	ประเภทวัตถุ	คำอธิบาย
การร่วง (fall)		เป็นการเคลื่อนที่โดยการร่วงลงมาแบบอิสระอย่างรวดเร็วจากหน้าผา และที่สูงชัน โดยวัตถุที่ร่วงลงมาจะไม่สัมผัสแบบต่อเนื่องกับผิวหน้าของความลาดเท
- หินร่วง (rockfalls)	- หิน	
- ดินร่วง (soilfalls)	- ดิน	
- เศษวัสดุร่วง (debris falls)	- หินและดิน	
การถล่ม(slides) - การถล่มแบบเคลื่อน หรือแบบแผ่นกระดาน (planar or transitional slides) มี 2 ชนิดได้แก่		เป็นการเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวเอียงของเศษดินและหินที่แตกหักซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการเคลื่อนไหวยเป็นกลุ่มก้อนเดียวกัน โดยพื้นผิวเอียงมีลักษณะแบบแผ่นกระดาน
1) ถล่มเป็นก้อน (block slides)	- หินหรือดิน	เป็นการเคลื่อนที่ของก้อนดินและก้อนหินที่รักษาลักษณะดั้งเดิมไว้
2) หินถล่ม (rock slides)	- หิน	เป็นการเคลื่อนที่ที่ทำให้หินแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยออกในระหว่างการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วบริเวณพื้นผิวที่ผุกร่อน
- การถล่มแบบหมุนวนหรือเลื่อนไถลแบบหมุนวน (rotational slides/ rotational slump)	- หินหรือดิน	พื้นผิวที่ถูกตัดขาดมีลักษณะโค้งเว้า
การไหล(flows)		การเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีลักษณะเป็นมวลเหนียวหนืด
- การถล่มแบบเลื่อน (slap slides)	- หินหรือดิน	เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ไม่อยู่ในลักษณะของแข็ง แต่จะประกอบไปด้วยตะกอนพื้นผิวซึ่งหลอว์งมาจากทางด้านข้าง
- การไหลของของเหลว (liquefaction flow)	- ดิน	อนุภาคและน้ำที่อยู่ระหว่างช่องว่างในดินแยกออกจากกันทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างดินส่วนใหญ่ซึ่งมีลักษณะการไหลคล้ายกับมวลเหนียวหนืด
- การถล่มของหินลงมาจากภูเขา (rock avalanches)	- หิน	เป็นการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของหินพื้นซึ่งแตกหักเป็นก้อนขนาดใหญ่ เป็นการเคลื่อนที่เป็นการไหลแบบแห้ง
- การถล่มของเศษดินและหินลงมาจากภูเขา (debris avalanches)	- หินและดิน	เป็นการเคลื่อนที่ของเศษหินและดินเป็นแนวแคบๆ อาจเป็นการไหลแบบเปียกหรือแห้งก็ได้

ตารางที่ 2 แสดงการจำแนกประเภทแผ่นดินถล่มของโดย Hansen (1984) (ต่อ)

ชนิดการเคลื่อนที่	ประเภทวัตถุ	คำอธิบาย
-การถล่มของเศษหินและหินลงมาจากภูเขา (debris avalanches)	- หินและดิน	เป็นการเคลื่อนของเศษหินและดินเป็นแนวแคบๆ อาจเป็นการไหลแบบเป็ยกหรือแห้งก็ได้
-การไหลของเศษหิน (debris flows)	- หินและดิน	การไหลจะมีปริมาณน้ำ และระยะทางของการไหลมากกว่าในกรณีของ debris avalanches และร่องรอย (scar) ในช่วงตอนบนจะมีความกว้างมากกว่าด้วย
- การไหลของโคลน (mud flows)	- ดิน	เป็นการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของดินโคลนที่อืดด้วยน้ำ
- การไหลของดิน (earth flows)	- หินและดิน	- การที่ดินหรือหินเคลื่อนไถลงมาจากไหล่เขาหรือลาดเขาอันสืบเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก การเคลื่อนไถเป็นไปอย่างช้าๆ จนสามารถกำหนดขอบเขตด้านข้างของการเคลื่อนตัวนั้นได้

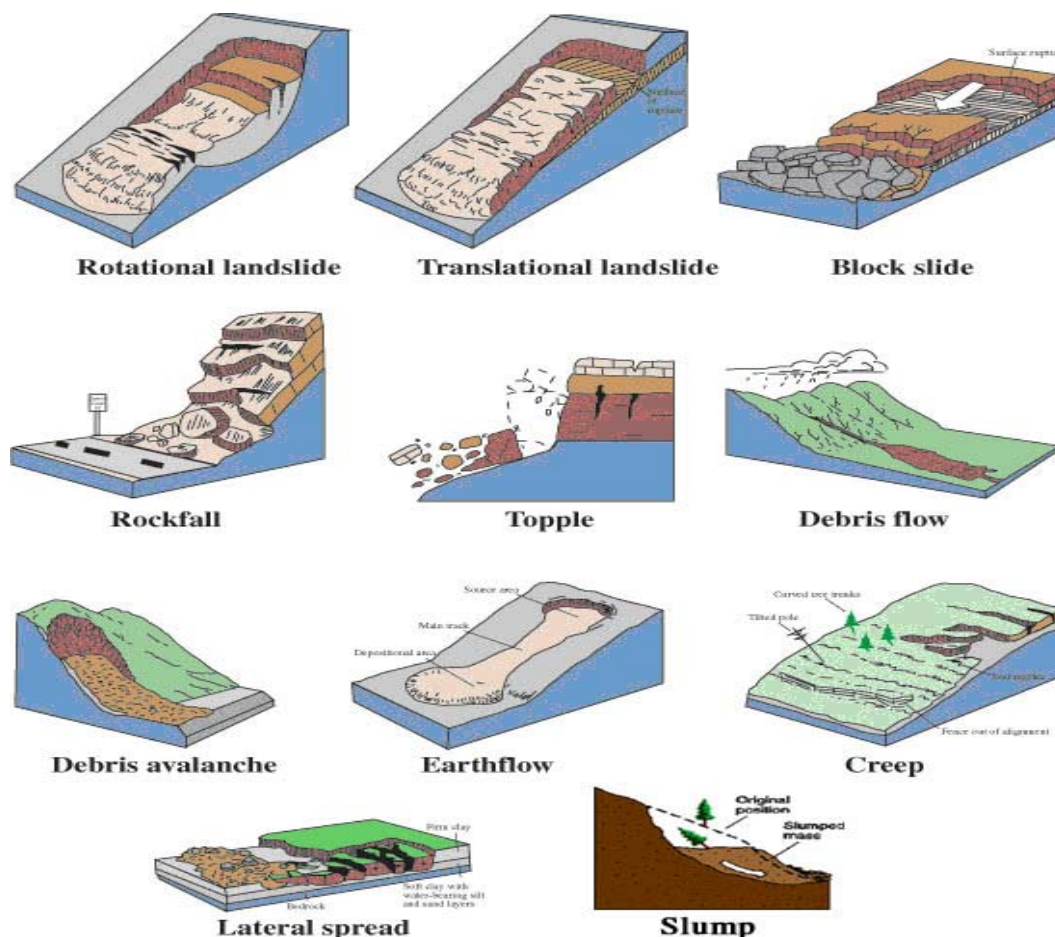
ที่มา : Hansen (1984)

4. สาเหตุและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

แผ่นดินถล่ม เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของการสื่กร่อนทางธรณีชนิดหนึ่ง ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดินและหินตามพื้นที่ไหล่เขา หรือที่สูงลงสู่พื้นที่ต่ำ ซึ่งองค์ประกอบหรือปัจจัยที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม และระดับความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่หนึ่ง ๆ นั้น มักจะประกอบไปด้วยปัจจัยหลาย ๆ อย่างประกอบกัน โดยปัจจัยหนึ่งอาจจะเริ่มเกิดขึ้นก่อนแล้วปัจจัยอื่น ๆ จะเกิดตามมา แต่โดยทั่วไปแล้ว ปัจจัยสำคัญที่สุด คือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกมากเกินไปในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ และมีปัจจัยสนับสนุนอื่น ๆ อีก เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ความลาดชัน ความยาวของความลาดชัน ทิศด้านลาด ลักษณะทางธรณีวิทยา ส่วนด้านปฐพีวิทยานั้น จะเกี่ยวข้องกับสมบัติต่างๆของดิน ชนิดของหิน และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่าง ๆ ก็มีผลเช่นกัน เพราะเกี่ยวข้องกับสิ่งปกคลุมดิน การลดแรงปะทะของเมื่อดฝนก่อนตกปะทะผิวดิน และการยึดเหนี่ยวของรากพืชกับดิน แผ่นดินถล่มจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อพื้นผิวที่มีความลาดชันขาดความสมดุล เนื่องจากฝนตกหนักจนทำให้ดินอืดด้วยน้ำ แรงยึดเหนี่ยวของดินจะลดน้อยลง และน้ำหนักของน้ำที่เพิ่มขึ้น

ในดิน แรงที่ช่วยให้ดินเกาะยึดกันมีน้อยกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ดินก็จะเคลื่อนตัวลงจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ สร้างความเสียหายให้กับพื้นที่ที่อยู่ต่ำกว่าต่อไป

ประเภทของการเกิดแผ่นดินถล่มลักษณะต่างๆ นั้น แสดงไว้ในภาพที่ 1 ดังนี้



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะการเกิดแผ่นดินถล่มชนิดต่างๆ (USGS Science for Changing World, 2004; BC Geological Survey, 2006)

การเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่หนึ่ง มักจะประกอบไปด้วยปัจจัยร่วมหลายอย่างประกอบกัน กลไกและปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดแผ่นดินถล่ม ประกอบด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก คุณสมบัติของวัสดุผิวดินและปัจจัยอื่นที่เอื้ออำนวยต่อการถล่ม โดยที่น้ำไม่ได้เป็นตัวหล่อลื่นที่ทำให้เกิดการลื่นไถล (lubrication) ของดิน แต่น้ำทำให้เกิดการสูญเสียแรงยึดระหว่างอนุภาคของดินโดยทั่วไปแล้วดินจะมีความชื้นและอากาศอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาค ทำให้ผิวดินเกิดการเกาะยึดตัวกัน แต่เมื่อมีฝนตกหนักเป็นระยะเวลานาน ปริมาณช่องว่างของดินจะถูกแทนที่ด้วยน้ำที่มากเกินไป ทำให้ดิน

สูญเสียแรงยึดเหนี่ยวและแยกออกจากกัน หากเกิดในบริเวณที่มีความลาดชันสูง ก็จะมีการเคลื่อนตัวลงมาพร้อมกับปริมาณน้ำจำนวนมากไหลลงสู่ที่ต่ำตามแรงดึงดูดหรือแรงโน้มถ่วงของโลก นอกจากนี้ยังพบว่า คุณสมบัติดินทางกายภาพและทางกลศาสตร์รวมทั้งปัจจัยอื่น เช่น พืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดิน สภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่ และระดับความสูงและความลาดชันของพื้นที่ จะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

พื้นที่ที่ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินถล่ม ตามปกติสามารถแบ่งออกได้เป็น พื้นที่ที่ได้รับความเสียหายตอนบนของพื้นที่สูง (up stream) พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงบริเวณภูเขา ผลเสียหายอาจเกิดขึ้นไม่มากนัก เนื่องจากเป็นพื้นที่สูง สภาพการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ มีชุมชนตั้งอยู่น้อย แต่สำหรับพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายในตอนล่างของพื้นที่ (down stream) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เป็นปากทางออกของลำน้ำที่ไหลออกจากพื้นที่สูง (outlet) รวมถึงพื้นที่สองข้างทางน้ำที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมหรือที่อยู่อาศัย อาจได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงทั้งด้านทรัพย์สินและชีวิตมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีชุมชนตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียง (ปฎิเวธ, 2546)

สาเหตุที่สำคัญที่มีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มมีอยู่ 2 ประการใหญ่ ๆ คือ

1. สาเหตุจากธรรมชาติ ประกอบด้วย ลักษณะภูมิประเทศ ได้แก่ ความสูง ความลาดชัน ความต่างระดับของพื้นที่ รูปแบบและปริมาณฝน พืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดิน คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ลักษณะทางธรณีวิทยา ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณน้ำท่า และอัตราการไหลของน้ำ เป็นต้น

2. สาเหตุจากมนุษย์ ประกอบด้วย การบุกรุกและการตัดไม้ทำลายป่า การแผ้วถางป่าเพื่อปลูกพืชไร่ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่สูงโดยไม่มีมาตรการการควบคุมที่เหมาะสม การก่อสร้างบ้านเรือน และโครงสร้างพื้นฐานที่ถูกปลูกสร้างขวางแนวไหลของลำธาร เป็นต้น (วรการ และคณะ, 2546)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มมีดังนี้

4.1 ลักษณะของสภาพภูมิประเทศ (topography) มีอิทธิพลต่อความรุนแรงและความยากง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งได้แก่ ความลาดชัน (slope) ความยาวของความลาดชัน (slope length) ทิศทางของความลาดชัน (aspect of slope) ลักษณะภูมิสัณฐาน (landform) และระดับความสูงของ

พื้นที่ (elevation) รวมถึงตำแหน่งในสภาพภูมิประเทศ (landscape position) เช่น แนวบริเวณสันเขา ยอดเขาแหลม ยอดเขามน หน้าผา และเชิงเขา เป็นต้น ลักษณะทั้งหมดนี้มีบทบาทต่อการเคลื่อนย้ายหรือการเลื่อนไหล โดยเฉพาะความลาดชันจะมีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มมากที่สุด หากพื้นที่มีความลาดชันสูงกว่าร้อยละ 30 โอกาสที่จะเกิดแผ่นดินถล่มจะสูงมากในขณะที่ฝนตกหนัก และหากมีหินแกรนิตที่น้ำซึมผ่านได้ยากรองรับอยู่ข้างใต้ด้วยแล้ว เมื่อฝนตกลงมา น้ำที่ไหลบ่าหน้าดินจะมีปริมาณมากและมีความเร็วสูง โดยมีอัตราการไหลสูงสุดมากกว่า 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความสามารถในการกักชะให้เกิดการพังทลายจึงมีมาก (สุภัทธ์, 2532) ซึ่งสง่า (2524) ได้กล่าวถึงความลาดชันไว้ว่า ความลาดชันสูงสุดที่วัดจะคงที่อยู่ที่ 25-40 องศา วัดดูจะเคลื่อนที่ได้หรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุนั้น ๆ ด้วย Lessing *et al.* (1983) และผลการศึกษาของ Mehrotra *et al.* (1991) แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ที่มีความลาดชันระหว่าง 21-40 องศา มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มมากที่สุด ขณะที่คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2539) รายงานว่า ความสูงของพื้นที่เป็นปัจจัยอีกชนิดที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินถล่ม ทั้งนี้เนื่องจาก พื้นที่ที่มีความสูงมากย่อมมีแรงโน้มถ่วงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมาก

กรมพัฒนาที่ดิน (2548) ได้ศึกษาวิเคราะห์ค่าความลาดเอียงน้อยที่สุดที่จะทำให้ดินเคลื่อนตัวจากกัน ของมวลดินปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร และได้สรุปผลการศึกษาไว้ว่า ความลาดชันเฉลี่ยที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่มต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 31.08 หรืออยู่ประมาณร้อยละ 30 กล่าวคือ ถ้าความลาดชันเกินร้อยละ 30 ดินจะเกิดการเคลื่อนตัวได้ และจะต้องมีชั้นดินที่อึดตัวด้วยน้ำร้อยละ 63 ของความลึกภายในหน้าตัดดิน Coe *et al.* (2000) ศึกษาโอกาสของการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ลาดชันที่เมืองซีแอตเทิล (Seattle) รัฐวอชิงตัน (Washington) จากข้อมูลในพื้นที่ที่เคยมีการเกิดแผ่นดินถล่มมาแล้วในอดีต ซึ่งมีการเก็บบันทึกข้อมูลนาน 88 ปีตั้งแต่ปี ค.ศ. 1909 ถึง 2000 ได้ค่าความลาดชันเท่ากับร้อยละ 32.21 ดินถึงเริ่มจะเกิดการเคลื่อนตัว

4.2 ลักษณะทางธรณีวิทยาและปฐพีวิทยา (geology and pedology) ลักษณะของดินและหินเป็นปัจจัยสำคัญอีกชนิดหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของดิน ซึ่งพบว่า แรงที่ต้านการพังทลายของดินมีอยู่ 2 แรง ได้แก่ แรงที่เม็ดดินยึดติดกัน (effective cohesion) และแรงเสียดทานภายใน (internal friction) ดินเหนียวจะยึดเกาะกันด้วยแรงที่มาก แต่มีแรงเสียดทานภายในน้อย ส่วนดินทรายจะเกาะกันด้วยแรงที่น้อย แต่มีแรงเสียดทานภายในมาก ดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิตจะเป็นดินเหนียวปนทราย โดยมักจะมีปริมาณอนุภาคขนาดทรายมากกว่า เพราะฉะนั้น ดินนี้มักจะเกาะกันด้วยแรงที่ไม่มากนัก แต่จะมีแรงเสียดทานภายในค่อนข้างมาก ซึ่งโดยปกติแล้วในสภาพที่ดินแห้งสนิทเม็ดดินจะเกาะกันอย่างหลวม ๆ

และแรงเกาะนี้จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยขณะที่ดินเปียกเท่านั้น ขณะที่แรงเสียดทานภายในระหว่างดินกับหินจะมีค่ามากกว่าระหว่างดินกับดิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2531) แรงขับที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของมวลดินตามธรรมชาติ คือ แรงดึงดูดของโลก (gravity หรือแรง g) ทำให้วัตถุทุกสิ่งในโลกมีการเคลื่อนที่จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ บนพื้นที่ราบแรงดึงดูดของโลกทำให้วัตถุเคลื่อนลงตามแนวดิ่ง แต่เนื่องจากเป็นพื้นที่ราบวัตถุจึงไม่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งต่างจากพื้นที่ลาดชันที่แรงดึงดูดของโลกจะแตกย่อยออกเป็นสองแรง คือ แรงที่ทำกับวัตถุในแนวดิ่งฉากกับความลาดชัน ซึ่งเป็นแรงที่ดึงวัตถุไว้ให้อยู่กับที่ และแรงที่กระทำกับวัตถุในแนวสัมผัสหรือขนานกับความลาดชัน เป็นแรงที่ผลักให้วัตถุเคลื่อนที่ลงตามความลาดชัน เรียกว่า แรงเฉือน (shear stress) แรงที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุไม่ให้เคลื่อนลงจากพื้นที่ลาดชันทั้งหมด รวมเรียกว่า กำลังรับแรงเฉือน (shear strength) โดยความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน ซึ่งรวมถึงความฝืด (frictional resistance) และแรงยึดเหนี่ยว (cohesion) ระหว่างอนุภาคดิน มวลดินที่อยู่ในสภาวะแห้งหรือมีความชื้นต่อมวลดินต่ำ กำลังรับแรงเฉือนของดินจะมีค่าสูง และกำลังรับแรงเฉือนของดินจะลดลงเมื่อมวลดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นได้ไปทำลายแรงดึงดูดผิวของอากาศในดิน ซึ่งทำให้แรงยึดเหนี่ยวในดินลดลง และปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นยังลดแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินด้วย ซึ่งกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ลดลงจะส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของดินบนที่ลาดชัน (สุทธิศักดิ์ และคณะ, 2550) เมื่อแรงเฉือนมีขนาดมากกว่ากำลังรับแรงเฉือน วัตถุจะเคลื่อนที่ลงตามความลาดชัน ดังนั้นการเกิดแผ่นดินถล่มจึงมักเกิดขึ้นบนพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ซึ่งจะมีแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้น หรือเกิดขึ้นเมื่อกำลังรับแรงเฉือนถูกทำให้ลดน้อยลง เช่น แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคดินน้อยลง หรือ ความฝืดระหว่างพื้นผิวสัมผัสน้อยลง

โดยทั่วไปแล้ว หินแกรนิตมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มมากกว่าหินชนิดอื่น ๆ (Nilsen *et al.*, 1976) และในอดีตนั้นแผ่นดินถล่มมักเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีชั้นดินดานที่มีหินแกรนิตอยู่ข้างใต้เสมอ (Roth, 1983)

การเกิดแผ่นดินถล่มมีความสัมพันธ์กับปัจจัยเบื้องต้นหลายปัจจัย Nilsen and Turner (1975) พบว่า การเกิดแผ่นดินถล่มในซานฟรานซิสโก มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการกระจายของชนิดหินส่วนในประเทศไทย การเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยมีความสัมพันธ์กับสภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่เป็นหินแกรนิต โครงสร้างและความไม่ต่อเนื่องทางธรณี (lithology) ของหินพื้น นอกจากนี้การสะสมของน้ำใต้ดินในบริเวณแนวสัมผัสระหว่างดินและหินพื้นก็มีอิทธิพลเช่นกัน Miura (1979) และ Okuda (1983) รายงานว่า แผ่นดินถล่มในรูปของการพังทลายจะเกิดขึ้นสูงในพื้นที่ที่มีหินแกรนิตผุ และสภาพพื้นที่ที่มีฝนตกหนัก เนื่องมาจากการสูญเสียแรงยึด เรียก

ปรากฏการณ์นี้ว่า “structural collapse” และยังเพิ่มเติมว่า การเกิดแผ่นดินถล่มสามารถเกิดได้ในสภาพพื้นที่ที่พบว่าเป็นดินลิก บางแห่งเกิดในพื้นที่ที่เป็นหินซึ่งเป็นดินที่สลายตัวผูกพันอยู่กับที่

การสำรวจของ Tamontin (1978) เกี่ยวกับการพังทลายของลาดเขาตามแนวถนนบนคอยอินทนนท์ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างปี ค.ศ. 1976 และ ค.ศ. 1977 พบว่า หินข้างใต้เป็นหินไนส์ (gneiss) และหินแกรนิต (granite) ซึ่งเมื่อมีฝนตกหนักแรงที่ยึดเกาะกันจะลดลงอย่างมาก จึงทำให้เกิดการพังทลายของพื้นที่ลาดชันบริเวณภูเขาได้บ่อยครั้ง การศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยา และวิศวกรรมธรณีเทคนิคของดินที่เกิดจากหินแกรนิตในภาคเหนือเพื่อสำรวจถึงสภาพการพังทลายบนพื้นที่ลาดชัน พบว่า สภาพทางธรณีวิทยาเป็นหินหินไนส์ หินแกรนิต และหินชีสต์ (schist) มักมีแนวสัมผัสของหินที่มีความแข็งแรงน้อย ในบางพื้นที่ ก่อให้เกิดการพังทลายของผิวหน้าทีลาดชัน โดยพบได้หลายลักษณะ เช่น หินเลื่อน หินหล่น และการไหลของเศษวัสดุ เป็นต้น

Mehrotra *et al.* (1991) ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินค่าความยากง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม (landslide susceptibility values) ของหินต่าง ๆ พบว่า หินชนวน (slate) มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มได้ง่าย รองลงมาได้แก่ หินควอร์ตไซต์ (quartzite) หินปูนหรือหินโดโลไมต์ (limestone/dolomite) และหินทราย (sandstone) และได้พิจารณาปัจจัยทางด้านธรณีวิทยาและดินที่มีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยแบ่งการสลายตัวของหินเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 หินมีการสลายตัวเร็วมีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มต่ำ ได้แก่ หินควอร์ตไซต์ หินปูน หินแกรนิต หินแกบโบร หินไนส์ กลุ่มที่ 2 หินมีการสลายตัวปานกลางมีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มปานกลาง ได้แก่ หินดินดาน หินทรายแป้ง กลุ่มที่ 3 หินมีการสลายตัวช้าแต่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มสูง ได้แก่ หินชนวน หินฟิลไลต์ และหินชีสต์ นอกจากนี้ยังกำหนดชนิดของเนื้อดินที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเปรียบเทียบจากยากไปง่าย คือ ดินตะกอนทับถมที่มีอายุมากและอัดตัวกันแน่น ดินชั้นสะสมดินเหนียว ดินตะกอนน้ำพา ดินที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายมาทับถมโดยแรงโน้มถ่วงของโลกที่จับตัวกันแน่น และจับตัวกันอย่างหลวม ๆ

แผ่นดินถล่มมักเกิดบริเวณพื้นที่ภูเขา โดยเฉพาะภูเขาหินแกรนิตที่มีความลาดชันสูง ซึ่งจากรายงานของนักวิจัยหลายท่าน พบว่า พื้นที่ซึ่งประกอบด้วยหินแกรนิต ที่พบดินตื้นวางตัวอยู่บนชั้นหินผุและหินแข็งจะมีแรงยึดเกาะระหว่างแนวสัมผัสของชั้นดินกับชั้นหินน้อย เมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มักจะเกิดแผ่นดินถล่มตามแนวนี้ได้ง่าย (ปริญา และ วันชัย, 2532 ; Aung, 1991) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในยุคที่มีการเคลื่อนไหวยของเปลือกโลก ทำให้มวลหินดังกล่าวมีรอยร้าวเกิดขึ้นมากมาย ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านลงไปได้ง่าย และเร่งให้เกิดการผุพังสึกกร่อนโดยกระบวนการทางเคมี (chemical weathering process) หินเหล่านี้สามารถสลายตัวลงไปได้ในระดับลึก ๆ จากชั้นผิวดิน (พิสุทธิ์

และคณะ, 2533) เมื่อหินแกรนิตผุพังสลายตัวจะให้ดินที่มีอนุภาคขนาดทรายมาก ลักษณะชั้นดินบนจะเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ประกอบด้วย อนุภาคขนาดทรายประมาณร้อยละ 50-65 อนุภาคขนาดทรายแป้งประมาณร้อยละ 10-25 และอนุภาคขนาดดินเหนียวประมาณร้อยละ 20-25 มีอัตราสภาพให้ซึมได้และความพรุนค่อนข้างสูง โดยมีค่าสภาพนำน้ำขณะดินอิ่มตัว (hydraulic conductivity) ประมาณ 28-87 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนความหนาแน่นรวมของดินส่วนใหญ่จะมีค่าระหว่าง 1.2-1.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อฝนตกหนักติดต่อกันน้ำจะซึมลงไปในดินอย่างรวดเร็ว ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงแรก โดยซึมผ่านลงไปได้มากกว่า 30 เซนติเมตร ดังนั้น ถ้าดินหนา 1 เมตรจะใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ในที่สุดน้ำก็จะซึมผ่านไปถึงชั้นหินผุที่เกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ สำหรับดินล่างที่เป็นดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคขนาดทรายแป้งประมาณร้อยละ 30-45 ที่เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินนี้ มักมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินน้อย ซึ่งก็จะทำให้เกิดการพังทลายได้ง่าย (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2537; พิสุทธิ และคณะ, 2533) และเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินจะลดลงจนเกือบเป็นค่าเท่ากับศูนย์ ประกอบกับแรงดันของน้ำที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้เกิดแผ่นดินถล่มลงมา นอกจากนี้สภาพหินที่ผุ และมีรอยแยกมาก จะทำให้เกิดการพังทลายของภูเขาตามแนวสัมผัสเหล่านี้ได้ง่ายขึ้นด้วย (พิสุทธิ และคณะ, 2532)

ลักษณะการเกิดแผ่นดินถล่มในรูปแบบการเลื่อนไหลของมวลดินบนพื้นที่ลาดชันภายหลังจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ดินภูเขาในสภาพตามธรรมชาติมักมีความแตกต่างระหว่างดินบนและดินล่าง โดยทั่วไปชั้นดินบน (หรือดินชั้น A) หนาประมาณ 10-30 เซนติเมตร เป็นชั้นที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่มาก และโครงสร้างร่วนซุยกว่าดินชั้นล่าง (หรือชั้นดิน B) ที่อยู่ลึกลงไป ชั้นที่อยู่ใต้ชั้นดินล่างจะเป็นชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน (ชั้น C) และได้ชั้นนี้ส่วนใหญ่ก็จะเป็นชั้นหินแข็ง (ชั้น R) ในบางกรณีอาจเป็นชั้นดินที่มีโครงสร้างแน่นทึบ โดยทั่วไปดินชั้นบนมีอัตราสภาพให้ซึมได้ (permeability) ดีกว่าดินชั้นล่าง เมื่อน้ำไหลซึมผ่านจากดินชั้นบนถึงดินชั้นล่างซึ่งมีอัตราการไหลช้ากว่า ก็จะทำให้เกิดการอิ่มตัวด้วยน้ำจากชั้นผิวดินลงมาถึงชั้นที่แน่นทึบ ทำให้เกิดการแยกตัวของชั้นดินที่มีความชื้นแตกต่างกัน ดินชั้นบนเมื่ออิ่มตัวด้วยน้ำจะเกิดการเหลวตัว (liquefaction) และเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพื้นที่มีความลาดชัน มวลดินจะเกิดการเลื่อนตัวลงมาจากบริเวณที่สูงตามแรงโน้มถ่วงของโลก และเกิดเป็นภัยแผ่นดินถล่มในที่สุด สำหรับปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยากง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ได้แก่ การเหลวตัวของดิน (liquidity)

ธรรมชาติของดินเมื่อมีความชื้นมากจะอยู่ในสภาพเหลวไม่จับตัว เคลื่อนตัวได้ง่ายหากมีแรงมากระทำ โดยที่การเหลวตัวของดินนั้นเมื่อได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดิน (liquefaction-induced soil movements) เกี่ยวข้องกับสมบัติการอิ่มตัวของดิน

(saturation) เมื่อช่องว่างระหว่างอนุภาคดินมีน้ำบรรจุอยู่เต็ม แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินก็จะน้อยลง ประกอบกับน้ำในดินมีความดันมากขึ้นทำให้เม็ดดินไม่สามารถยึดเหนี่ยวกันไว้ได้ จึงเกิดการเหลวตัว และง่ายต่อการเคลื่อนย้าย มีวิธีการทางวิทยาศาสตร์หลายวิธี ที่ใช้ในการประเมินความยากง่ายในการเหลวตัวของดิน (liquefaction susceptibility) สภาพพลาสติก (plasticity) เป็นสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของดิน การวัดสภาพพลาสติกของดินตามวิธีของ Albert Atterberg (Atterberg limit) ได้นำมาใช้กันมานานแล้ว โดยเฉพาะทางวิศวกรรมศาสตร์ สมบัติที่ตรวจวัดได้มีดังนี้

ขีดจำกัดพลาสติก (plastic limit: PL) หมายถึง จากสภาพดินที่แห้ง เมื่อค่อย ๆ เพิ่มความชื้นให้กับดินจนกระทั่งถึงจุดที่ดินมีความเหนียว จับตัวกันได้ดี ไม่แตกเปราะ ปริมาณความชื้นต่อน้ำหนักดินแห้ง ณ จุดนี้เรียกว่า จุดเหนียว (PL)

ขีดจำกัดของเหลว (liquid Limit: LL) หมายถึง จากขีดจำกัดพลาสติกเมื่อเพิ่มความชื้นให้กับดินมากขึ้นไปอีก จนกระทั่งถึงจุดที่ดินสามารถจับตัวกันได้ไม่เป็นของเหลว ปริมาณความชื้นต่อน้ำหนักดินแห้ง ณ จุดนี้เรียกว่า ขีดจำกัดของเหลว (LL)

ดัชนีพลาสติก (plasticity Index: PI) เป็นค่าระหว่างขีดจำกัดของเหลว และขีดจำกัดพลาสติก เขียนเป็นสมการได้ คือ $PI = LL - PL$ เป็นค่าดัชนีที่ใช้เปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่สามารถเพิ่มให้กับดินได้โดยดินไม่เปลี่ยนสภาพเป็นของเหลว ถ้ามีค่า PI ต่ำ (ร้อยละ 5) ดินไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น ถ้ามีค่า PI สูง (ร้อยละ 20) ดินมีความยืดหยุ่นต่อการได้รับความชื้นก่อนที่จะเปลี่ยนสภาพเป็นเหลว ถ้ามีค่า PI สูงมาก (มากกว่าร้อยละ 35) ดินมีการยืดหดขยายตัวสูง มีความทนทานต่อการได้รับความชื้นจำนวนมากโดยไม่เปลี่ยนสภาพเป็นเหลว ได้แก่ ดินเหนียวจัดที่มีแร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) เป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ สภาพของความชื้นในดิน เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนตัวของดินบนที่ลาดชัน โดยทั่วไปสมบัติเหล่านี้มีความแปรผันขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อดิน อินทรีย์วัตถุในดิน สารละลายในดิน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งความชื้นในดิน โดยทั่วไปอนุภาคทราย (sand) มีค่า PI ต่ำมากหรือไม่มีเลย อนุภาคทรายแป้ง (silt) มีค่า PI ต่ำกว่าอนุภาคดินเหนียว เมื่อใดก็ตามที่ดินมีความชื้นน้อยกว่าจุดแข็ง ลักษณะการเคลื่อนตัวของดินเป็นแบบร่วงหรือหล่นจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำตามแรงโน้มถ่วงของโลก หากดินมีความชื้นอยู่ระหว่างจุดเหนียวและจุดแข็ง ลักษณะการเคลื่อนตัวของดินจะเป็นแบบเลื่อนไถล (sliding) หรือการเคลื่อนตัวในระยะสั้น ๆ ตามแรงที่มากระทำ เมื่อหมดแรงกระทำการเคลื่อนตัวก็หยุดในที่สุด และเมื่อดินมีความชื้นอยู่ระหว่างจุดเหลวและจุดเหนียว ลักษณะการเคลื่อนตัวของดินเป็นแบบเคลื่อน

หรือ เขยิบ (solifluction) เป็นการเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ของมวลดินคล้ายการเคลื่อนตัวของก้อนน้ำแข็งที่กำลังละลายไปตามความลาดเทของพื้นที่ เมื่อดินมีความชื้นมากกว่าขีดจำกัดของเหลว ลักษณะการเคลื่อนตัวของดินเป็นแบบโคลนไหล (mudflow) เป็นการเคลื่อนตัวในสภาวะของเหลว (Zinck, 1976)

ความยากง่ายในการเกิดการเหลวตัวของดิน (liquefaction) ในอดีตมีการศึกษาเฉพาะดินทรายเท่านั้นและถูกพิจารณาว่ามีการเหลวตัวง่าย ต่อมาจึงได้เริ่มมีการศึกษาในกรณีของดินที่มีกรวด (gravel) ปะปน และทรายแป้ง (silt) ด้วย ในปัจจุบันมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่า ดินเนื้อละเอียดก็สามารถเกิดการเหลวตัวได้เช่นเดียวกัน ซึ่งได้มีข้อสังเกตจาก Wang (1979) ว่า ดินเนื้อละเอียดจะเกิดการเหลวตัวได้ ถ้ามีสมบัติดังต่อไปนี้ คือ ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.005 มิลลิเมตร มีปะปนอยู่ร้อยละ 15 หรือน้อยกว่า มีขีดจำกัดของเหลว (liquid Limit: LL) ร้อยละ 35 หรือน้อยกว่า มีความชื้นในดิน 0.9 เท่าของจุดเหลว หรือมากกว่า มีดัชนีของเหลว หรือ liquidity index 0.75 หรือน้อยกว่า (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) โดยปกติแล้วถ้าดินแห้งสนิทจะไม่มีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้นเลย ดินจะมีแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อดินได้รับความชื้นเพิ่มขึ้น และค่อย ๆ ลดลงเมื่อดินได้รับความชื้นมากขึ้นเรื่อย ๆ จนเกินขีดจำกัดพลาสติก (plastic limit: PL) ณ จุดนี้ดินแทบจะไม่มีแรงยึดเหนี่ยวต่อกัน หรือไม่มีเลย และเมื่อดินได้รับความชื้นมากขึ้นจนถึงขีดจำกัดของเหลว (liquid limit : LL) หากมีการกระทบกระเทือนดินจะอยู่ในสภาพของเหลวและไหลได้ ซึ่งดินแต่ละชนิดมีค่าดัชนีพลาสติกไม่เท่ากัน ดินที่มีค่าพลาสติกต่ำ (PL=5) เมื่อได้รับความชื้นเพียงเล็กน้อยจะเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวได้ง่ายกว่า ดินที่มีขีดจำกัดพลาสติกสูง (PL=20) ซึ่งต้องได้รับความชื้นเข้าไปมากกว่า จึงเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลว (วรากร และคณะ, 2546)

ข้อมูลดินในพื้นที่ที่เคยเกิดแผ่นดินถล่มใน 4 จังหวัดของประเทศไทย ได้แก่ อำเภอฟิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช กิ่งอำเภอบาเกี๋ยญู จังหวัดจันทบุรี อำเภวังชัน จังหวัดแพร่ และอำเภห่มสั๊ก จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่า ดินจากจุดสำรวจ 9 แห่งมีค่าจุดเหลว (LL) อยู่ระหว่าง 25.5-41.5 หรือมีค่าเฉลี่ยเป็น 33.75 โดยมีประมาณร้อยละ 66 ของจุดสำรวจมีค่าขีดจำกัดของเหลว 35 หรือต่ำกว่า สุวณิ (2538) ได้ศึกษาขีดจำกัดพลาสติก (PL) และขีดจำกัดของเหลว (LL) ของชุดดินในประเทศไทยจำนวน 316 ตัวอย่าง เมื่อนำมาวิเคราะห์จำแนกตามลักษณะเนื้อดินและแร่ดิน พบว่า กลุ่มดินเนื้อหยาบ พวกรทราย (sandy) และดินร่วนปนทราย (sandy loam) มีค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดพลาสติก และขีดจำกัดของเหลว ต่ำสุด คือ ร้อยละ 14 และ 20 ตามลำดับ กลุ่มดินเนื้อปานกลาง พวกรดินร่วน (loam) ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ดินร่วนเหนียว (clay loam) และดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) มีค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดพลาสติก ระหว่างร้อยละ 15-25 และมี

ค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดของเหลว อยู่ที่ร้อยละ 8-20 ในขณะที่กลุ่มดินเนื้อละเอียดซึ่งได้แก่ ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) ดินเหนียวที่เป็นแร่เคโอลิไนต์ (kaolinite) เป็นแร่หลัก ดินเหนียวที่มีแร่ผสมหลายชนิด (mixed) และดินเหนียวในกลุ่มสเมกไทต์ (smectite) หรือแรมมอนต์มอริลโลไนต์ (monmorillonite) มีค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดพลาสติกและขีดจำกัดของเหลว แตกต่างกัน โดยดินเหนียวจำพวกเคโอลิไนต์มีค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดพลาสติกสูงสุด คือ ร้อยละ 34 ขณะที่ดินเหนียวชนิดอื่นมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 27-29 ส่วนดินเหนียวกลุ่มสเมกไทต์ มีค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดของเหลว สูงสุด คือ ร้อยละ 69 ขณะที่ดินเหนียวชนิดอื่น ๆ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 56-61

4.3 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและพืชพรรณ (land use and vegetation) ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่าง ๆ มีผลโดยตรงต่อสิ่งปกคลุมพื้นดิน เช่น ป่าไม้ ทุ่งหญ้า สวนยางพารา สวนผลไม้ และสิ่งก่อสร้างอาคารบ้านเรือน เป็นต้น สิ่งปกคลุมเหล่านี้จะช่วยลดแรงปะทะของเม็ดฝนก่อนตกลงถึงผิวดิน ทำให้การกร่อนที่ผิวน้ำดินเกิดขึ้นได้น้อยลง ป่าไม้และไม้ยืนต้นขนาดใหญ่มีระบบรากลึกชอนไชลงไปจนถึงชั้นหินจะทำให้ดินมีแรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้นประมาณร้อยละ 5-30 ดังนั้นหากสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพืชปกคลุมดินน้อย มีการตัดไม้ทำลายป่ามาก และพื้นที่มีความลาดชันสูง แผ่นดินถล่มและการพังทลายของภูเขาที่จะเกิดขึ้นได้ง่าย (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2537) นอกจากนี้ พืชพรรณยังช่วยทำให้ดินร่วนซุยเมื่อฝนตกลงมาน้ำฝนจะแทรกซึม และไหลผ่านลงสู่ดินชั้นล่างได้ดี และรากพืชยังช่วยยึดอนุภาคดินไม่ให้แตกหลุดและเลื่อนไหลได้ง่าย (วรากร และคณะ, 2546) จากประวัติการเกิดแผ่นดินถล่มในหลาย ๆ พื้นที่ของโลกและในประเทศไทย พบว่า ป่าไม้เป็นปัจจัยที่ช่วยให้เกิดความเสถียรของพื้นที่บนที่ลาดชัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2539) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพป่าไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรมทำให้พื้นดินมีความเสถียรลดลง โดยเฉพาะการปลูกยางพารา เนื่องจากในระยะที่ยางพารามีอายุน้อยระบบรากยังไม่สามารถยึดดินได้โดยสมบูรณ์ แม้ว่าบางพื้นที่อาจมีความลาดชันไม่มากนักแต่รอยแผลที่เกิดจากดินถล่มจะเปิดกว้าง ส่วนบริเวณที่เป็นป่าซึ่งมีสภาพค่อนข้างสมบูรณ์ก็อาจเกิดแผ่นดินถล่มได้เช่นกันเมื่อมีเกิดฝนตกหนัก โดยได้มีการแบ่งปัจจัยของพืชพรรณและสิ่งปกคลุมที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม ไว้คือ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นมาก พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นปานกลาง พื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมน้อย และพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งปกคลุม Hornbeck and Reinhart (1964) ได้ศึกษาอัตราการแทรกซึมน้ำในดิน พบว่าในบริเวณป่าผลัดใบ อัตราการแทรกซึมน้ำในดินมีค่ามากกว่า 1,270 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ส่วนป่าสน มีค่าระหว่าง 36-1,270 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง Trimble *et al.* (1951) ได้ศึกษาอัตราการแทรกซึมน้ำในดิน พบว่า ในดินชั้นฮิวมัส อัตราการแทรกซึมน้ำในดินมีค่าสูงถึง 5,994 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ขณะที่ดินชั้นบนในสภาพป่า (ชั้น A) มีค่าระหว่าง 1,600-3,353 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง นิวัตติ (2513) ได้ทำการศึกษาในบริเวณพื้นที่ป่าต้นน้ำภาคเหนือ ซึ่งเป็นป่า

ดิบเขา ซึ่งก็พบว่าแทบไม่มีน้ำไหลบ่าผิวหน้าดินเลย และเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่รกร้าง พบว่าปริมาณน้ำไหลบ่าผิวหน้าดินมีมากกว่าป่าที่เป็นป่าดิบเขาถึง 2 เท่า Hoover (1950) ได้รายงานไว้ว่า เนื้อดินเป็นทราย หรือเป็นดินเหนียว ภายใต้สภาพพื้นที่ป่าซึ่งปกคลุมไปด้วยฮิวมัสและเศษซากพืชจะมีอัตราการแทรกซึมน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก โดยให้เหตุผลว่าช่องว่างของดินในระดับลึกประมาณ 60 เซนติเมตรจากผิวดินแทบจะไม่มีมีความแตกต่างกัน

ต้นไม้ที่ขึ้นอยู่นั้นมีอิทธิพลทั้งด้านบวกและลบต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม กล่าวคือ ต้นไม้รับแรงกระทำที่เกิดจากแรงลมและน้ำหนักของมันเอง แต่ระบบรากของต้นไม้ก็ทำให้เกิดแรงต้านต่อการแตกออกจากกันของวัสดุและแรงยึดเหนี่ยวของดินก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามก็มีรายงานว่าอัตราการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยป่าไม้มักสูงกว่าพื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยหญ้า (Ellison and Drake, 1954) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การเปิดพื้นที่ป่าเพื่อทำสวนยางพารา การทำไร่เลื่อนลอย ก็เป็นสาเหตุสำคัญที่ชักนำให้เกิดแผ่นดินถล่ม เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบราก ความลึก และความหนาแน่นของรากพืชที่มีความแตกต่างกันจะมีอิทธิพลต่อความมั่นคงของลาดดินต่างกัน รวมทั้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการยึดเกาะดินโดยรากพืช อัตราสภาพให้ซึมได้ของดิน ปริมาณน้ำท่า และการระบายน้ำที่ผิวดิน (วารกร และคณะ, 2546)

ผลการศึกษาของ Greenway (1987) พบว่า ป่าไม้สามารถช่วยให้เกิดเสถียรภาพขึ้นในพื้นที่ลาดชัน บทบาทของพืชพรรณมีผลต่อเสถียรภาพของความลาดชันซึ่งมีทั้งส่วนดีและเสียต่อความเสถียรของผิวดิน ความลาดชัน ดังนี้ ความหนาแน่นของพืชพรรณ และเศษพืชที่ปกคลุมผิวดิน ความขรุขระของผิวดิน ตลอดจนความหนาแน่นของทรงพุ่ม มีอิทธิพลต่อการไหลซึมของน้ำฝนลงไปในดิน และการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ถ้ามีพืชพรรณขึ้นปกคลุมผิวดินหนาแน่น น้ำฝนจะค้างอยู่ตามกิ่งไม้และใบไม้มาก ตกกระทบผิวดินได้น้อยและช้าลง ทำให้ดินมีโอกาสอิ่มตัวด้วยน้ำได้น้อยและช้าลงตามไปด้วย ในทางตรงกันข้ามถ้ามีพืชปกคลุมผิวดินไม่มาก น้ำฝนมีโอกาสสัมผัสผิวดินได้โดยตรง และไหลซึมลงไปตามช่องว่างในดินได้มากขึ้น ดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าผิวดินขรุขระ เช่น มีต้นพืชเศษพืช หรือต้นหญ้าอาศัยกั้นน้ำไม่ให้ไหลบ่าผ่านผิวดินเร็วเกินไป น้ำฝนจะมีโอกาสไหลซึมลงดินได้มากขึ้น และดินมีโอกาสดังจุดที่อิ่มตัวด้วยน้ำได้เร็วขึ้น ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่าง ๆ มีผลโดยตรงต่อสิ่งปกคลุมผิวดิน เช่น ป่าดงดิบมีพืชปกคลุมผิวดินร้อยละ 75-100 ทุ่งหญ้าตามธรรมชาติ และพื้นที่เพาะปลูกมีพืชปกคลุมผิวดินน้อยกว่าร้อยละ 50 Baren and Schuylenborgh (1972) อธิบายว่า ป่าไม้จะซับน้ำฝนไว้ตามใบไม้ และเศษใบไม้ที่ปกคลุมผิวดินพื้นล่าง ป่าดิบฝนสามารถซับน้ำฝนได้มากกว่าป่าใบกว้างถึงสองเท่า ในพื้นที่ที่ฝนตกชุกมากถึง 2,400 มิลลิเมตรต่อปี ป่ารกทึบสามารถซับน้ำฝนได้มากถึงร้อยละ

ละ 30 ท่งหญ้าอุดมสมบูรณ์ชันน้ำฝนได้ร้อยละ 20 พื้นที่เพาะปลูกชันน้ำฝนได้ร้อยละ 15-20 ขณะที่
ผิวดินโล่งเตียนไม่มีพืชที่จะเก็บชันน้ำฝนไว้ได้เลย

กรมพัฒนาที่ดิน (2548) อ้างถึงผลการศึกษาในประเทศอินโดนีเซียภายใต้การใช้ประโยชน์
ที่ดินที่แตกต่างกัน จะมีการไหลบ่าของน้ำมากน้อยต่างกัน ป่าไม้ธรรมชาติมีการไหลบ่าของน้ำร้อยละ
2.7 ป่าเสื่อมโทรมและทุ่งหญ้าธรรมชาติมีการไหลบ่าของน้ำร้อยละ 2.8 ท่งหญ้าและพื้นที่ที่ทิ้งร้าง
มีการไหลบ่าของน้ำร้อยละ 7.3 พื้นที่เพาะปลูกมีการไหลบ่าของน้ำร้อยละ 12.2 และพื้นที่โล่งเตียนมี
การไหลบ่าของน้ำมากถึงร้อยละ 40

4.4 สภาพภูมิอากาศ (climate) โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้
เกิดแผ่นดินถล่ม กล่าวคือ หากฝนตกติดต่อกันเป็นเวลานานจนเกินความสามารถของดินและต้นไม้
จะดูดซับเอาไว้ได้ แผ่นดินก็จะถล่มลงมา แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคเม็ดดินจะลดลงเนื่องจากแรง
ดึงดูดของน้ำ และหากความชื้นเพิ่มขึ้นจนดินอิ่มตัวด้วยน้ำเนื่องจากฝนที่ตกหนักหรือน้ำใต้ดิน
ยกระดับขึ้นมา แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคเม็ดดินจะหมดไป น้ำจะเปลี่ยนหน้าที่ไปเป็นตัวหล่อ
ลื่นทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ทันที (สง่า, 2524) Nilson and Turner (1975) กล่าวว่า ปริมาณฝนตกสูงสุด
รายปีจะเป็นดัชนีที่ดี ที่ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการเกิดแผ่นดินถล่มมากกว่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี
ปริมาณฝนที่ตกติดต่อกันเป็นระยะเวลาสั้นก่อให้เกิดแผ่นดินถล่มมากกว่าฝนที่ตกในระยะสั้น ๆ ที่
มีช่วงแห้งสลับ พายุฝนที่เกิดหลังฝนตกหนักก่อให้เกิดแผ่นดินถล่มมากกว่าโดยเฉพาะในช่วงต้นฤดู
ฝน มีการนำปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้หลาย ๆ แห่งมาหาความสัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินถล่ม
Aboshi (1979) ได้พัฒนาความสัมพันธ์เพื่อหาจุดวิกฤติของฝนที่ก่อให้เกิดแผ่นดินถล่มบนพื้นที่เขา
แกรนิต พบว่า ปริมาณฝนที่ตกติดต่อกัน 2 อาทิตย์จะเป็นจุดวิกฤติ ส่วน Roth (1983) ให้
ความสัมพันธ์กับฝนที่ตกมากกว่าปัจจัยอื่น ๆ ปริมาณฝนสะสม ความหนาแน่น และช่วงการเกิดพายุ
ฝนจะมีความสำคัญมาก ความหนาแน่นของพายุฝนที่เกิดระยะสั้น ๆ ก่อให้เกิดการไหลบ่าของน้ำที่
ผิวดิน ความหนาแน่นของปริมาณฝนบนพื้นที่ที่มีการซึมซับน้ำได้ดีมักจะก่อให้เกิดแผ่นดินถล่ม
ขณะที่ Nilson and Turner (1975) ได้ให้ความสำคัญต่อรูปแบบของฝนมากกว่าปริมาณ และปริมาณฝน
ที่ตกติดต่อกันก่อให้เกิดแผ่นดินถล่มมากกว่าตกในระยะสั้น

ปริมาณฝน ข้อมูลจากทั่วโลกต่างให้ความสำคัญอย่างมากกับฝนที่มีต่อแผ่นดินถล่ม การซึม
ลงไปผิวดินของฝนทำให้เกิดน้ำในดินจนเกินความสามารถของดินจะรับไว้ได้ และนำไปสู่การ
เกิดแผ่นดินถล่ม มีการศึกษาสภาวะวิกฤติของฝนที่ก่อให้เกิดแผ่นดินถล่มอย่างกว้างขวางในหลาย
ประเทศ เช่น ความยาวนานของการมีพายุฝนที่ตกติดต่อกัน ความหนาแน่นของฝนที่ตก และปริมาณ

ฝนตกสะสมก่อนที่จะเกิดแผ่นดินถล่ม เป็นต้น Nilson and Turner (1975) รายงานว่า การเกิดแผ่นดินถล่มส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายหลังจากที่มีฝนตกติดต่อกันประมาณ 7 นิ้ว หรือ 180 มิลลิเมตร ในประเทศไทย การศึกษาของปริญญาและวันชัย (2532) พบว่า เมื่อมีปริมาณฝนตกถึง 260 มิลลิเมตร ขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง จะเกิดแผ่นดินถล่มลงมาจากพื้นที่ลาดชันบนภูเขาหลายสิบแห่ง Campbell (1975) Wiczorek and Sarmiento (1983) และ Cannon and Ellen (1985) เสนอความเห็นที่ได้จากการศึกษาว่า พื้นที่ที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในมลรัฐแคลิฟอร์เนีย บ่งชี้ให้เห็นว่า ความหนาแน่นของฝนที่ตกและระยะเวลาที่ฝนตกก่อนหน้านั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญทำให้เริ่มมีการไหลของดินที่เกิดจากหินทราย

เหตุการณ์ในประเทศไทย พื้นที่เกิดแผ่นดินถล่มในอำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช มีฝนตกหนักติดต่อกันเป็นเวลาหลายวันก่อนเกิดเหตุ โดยวัดปริมาณน้ำฝนที่สถานีนครศรีธรรมราช ในเวลา 24 ชั่วโมงได้ 447.8 มิลลิเมตร ในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2531 (จากที่เคยมีฝนตกเฉลี่ย 27.2 มิลลิเมตรของเดือนเดียวกัน) ในบริเวณเทือกเขาหลวง ซึ่งลักษณะดิน ส่วนใหญ่เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหยาบ ถึงดินเหนียวปนทรายหยาบวางตัวอยู่บนหินแกรนิตผุ พืชพรรณเป็นยางพารา ไม้ผลผสมป่าไม้ และป่าดิบชื้น ที่อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ มีฝนตกมากกว่า 200 มิลลิเมตร ในเวลา 5-6 ชั่วโมง ในวันที่ 11 สิงหาคม 2544 ลักษณะดิน เป็นดินเหนียว ทรายแป้งและมีเศษก้อนกรวดหรือหินขนาดใหญ่ปะปน พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ปลูกข้าวโพด งาม และป่าเสื่อมโทรม และที่อำเภอวังจั่น จังหวัดแพร่ ในวันที่ 3 พฤษภาคม 2544 วัดปริมาณน้ำฝนที่สถานีวังจั่นในเวลา 24 ชั่วโมง ได้ 285 มิลลิเมตร (จากที่เคยมีฝนตกเฉลี่ย 12.9 มิลลิเมตรของเดือนเดียวกัน) ลักษณะดินเป็นดินเหนียว และดินเหนียวปนลูกรัง ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของหินดินดาน หินทรายแป้ง และหินกรวดมน (สุรินทร์, 2549)

ขนาดของกลุ่มน้ำ มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนที่ตกและปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ ถ้าพื้นที่กลุ่มน้ำมีขนาดกว้างใหญ่ ปริมาณน้ำฝนที่ตกจะมีมาก ปริมาณน้ำที่ไหลบ่าจะมีมากและแรง ทำให้มีอำนาจการกัดเซาะและทำลายสูง สามารถก่อให้เกิดน้ำหลากและท่วมโดยฉับพลันได้ รูปร่างของกลุ่มน้ำจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำท่าด้วยเช่นกัน กลุ่มน้ำที่มีรูปร่างค่อนข้างแคบแบบขนนก มีลำน้ำสาขาสั้น จะมีปริมาณน้ำท่าน้อยกว่ากลุ่มน้ำที่มีรูปร่างกลมแบบพัด หรือแบบรังสีที่มีลำน้ำสาขามาก กรมพัฒนาที่ดิน (2548) รายงานผลการศึกษาในพื้นที่เคยเกิดเหตุภัยแผ่นดินถล่มใน 4 จังหวัดของประเทศไทย คือ นครศรีธรรมราช จันทบุรี แพร่ และเพชรบูรณ์ ว่าพื้นที่กลุ่มน้ำที่เกิดแผ่นดินถล่มมีขนาดตั้งแต่ 25,000-62,287 ไร่ จังหวัดเพชรบูรณ์มีขนาดพื้นที่กลุ่มน้ำเล็กสุด คือ 25,501 ไร่ โดยมีพื้นที่แผ่นดินถล่ม 562 ไร่ มีพื้นที่ราบต่ำที่ได้รับผลกระทบจากการถมทับของ

ตะกอนดิน 7,276 ไร่ ในขณะที่จังหวัดแพร่มีพื้นที่แผ่นดินถล่มน้อยที่สุด คือ 201 ไร่ หรือร้อยละ 0.43 ของพื้นที่ ซึ่งเมื่อตั้งสมมุติฐานว่าถ้ามีชั้นดินอย่างน้อย 30 เซนติเมตร ถูกพัดหายไป จะคิดเป็น น้ำหนักดินทั้งหมดได้เท่ากับ 125,424 ตัน ที่ถูกพัดพาไปทับถมบ้านเรือนและพื้นที่ทำกิน ดังนั้นภัยจากพื้นที่แผ่นดินถล่มถึงแม้จะเกิดขึ้นเพียงพื้นที่เท่ากับ 562 ไร่ เช่น ที่จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือ 201 ไร่ ดังเช่นที่จังหวัดแพร่ แต่เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่ ความแรงของกระแสน้ำสามารถพัดพาตะกอนดินจำนวนมาก และทำความเสียหายและชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือสำรวจและเก็บตัวอย่างดินมาตรฐาน (เอิบ, 2530; Soil Survey Division Staff, 1993) สำหรับการปฏิบัติงานในสนาม
2. เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินทางกายภาพ และทางเคมี
3. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวัดค่า Atterberg's limit

วิธีการ

1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น และการวางแผนก่อนออกสำรวจภาคสนาม
 - 1.1. สำรวจบริเวณที่มีร่องรอยการเกิดดินถล่ม ที่เกิดเมื่อปี 2548 เพื่อคัดเลือกจุดที่ต้องการศึกษา
 - 1.2 รวบรวมข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับบริเวณที่ถูกคัดเลือกเพื่อศึกษา เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการวิจัย
2. การปฏิบัติงานในภาคสนาม
 - 2.1 ตกแต่งหน้าตัดดินบริเวณที่พบร่องรอยของการเกิดดินถล่มของแต่ละบริเวณที่ทำการศึกษา โดยมีขนาดกว้าง 1.5 เมตร และ ลึก 2 เมตร ตกแต่งหน้าตัดดินให้สามารถมองเห็น สันฐานวิทยาของดินในสนาม ศึกษาสิ่งแวดล้อมพร้อมทำคำอธิบายหน้าตัดดินบริเวณนั้น (เอิบ, 2530)
 - 2.2 เก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ โดยแยกวิธีการเก็บออกเป็น 2 วิธีคือ

2.2.1 ตัวอย่างดินที่ถูกกรบกวน (disturbed soil samples) เป็นการเก็บดินตามชั้นกำเนิดดิน (genetic horizon) ที่สามารถแบ่งได้ภายในหน้าตัดดินตามความลึกที่กำหนด ชั้นละประมาณ 2 กิโลกรัม

2.2.2 เก็บตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน (undisturbed soil samples) เลือกเก็บเฉพาะชั้นที่ต้องการนำมาศึกษาค่าสภาพน้ำ (hydraulic conductivity) และความหนาแน่นรวม โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่าง (core) (เอิบ, 2548)

3. การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.1 การวิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพ

3.1.1 การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) โดยวิธี clod method (Soil Conservation Service, 1984; Blake and Hartge, 1986)

3.1.2 การวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคดิน (soil particle size distribution) โดยวิธีไปเปต (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993)

3.1.3 การวิเคราะห์หาค่าสภาพการนำน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity) โดยใช้พลังงานขับน้ำผันแปร (variable head method) (Klute, 1965)

3.1.4 การทดลองค่าดัชนี (index) และขีดจำกัดอัตราบีบอัด (Atterberg's limits)

3.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

3.2.1 ค่าปฏิกิริยาของดิน (soil reaction: pH) วัดโดยใช้น้ำและสารละลาย 1N KCl ในอัตราส่วนดินต่อน้ำ หรือดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996) วัดค่าโดยใช้เครื่อง pH meter

3.2.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic mater) โดยวิธี Walkley-Black titration (Walkley and Black, 1934)

3.2.3 การวิเคราะห์ทางเคมีอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับการจำแนกดินตามระบอบอนุกรมวิธานดินจนถึงระดับกลุ่มดินย่อย (subgroup)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และค่าขีดจำกัดอัตราเบิร์กของดิน และปัจจัยที่ควบคุมลักษณะดินแต่ละชนิดที่มีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในบริเวณที่ศึกษา และเพื่อประเมินหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเหล่านี้กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่มีผลต่อความยากง่ายในการเกิดแผ่นดินถล่มของแต่ละบริเวณ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในหาแนวทางการป้องกันการเกิดดินถล่มในพื้นที่ต่อไป

5. สถานที่และระยะเวลาที่ทำการวิจัย

5.1 สถานที่ทำการวิจัย

การศึกษาในภาคสนาม บริเวณที่เกิดดินถล่มภายในพื้นที่ของสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง และพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย งานด้านแผนที่ใช้ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ กรมพัฒนาที่ดิน งานวิเคราะห์ดินใช้ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร และการทดลองค่าดัชนี และวิเคราะห์ขีดจำกัดอัตราเบิร์ก (Atterberg's limits) ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยพัฒนาปฐพีและวิศวกรรมฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

5.2 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2550

ลักษณะพื้นที่ศึกษา

1. สถานที่ตั้งของบริเวณที่ทำการศึกษา

ดอยอ่างขาง ตามภาษาเมืองเหนือ หมายถึง พื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายแอ่งกระทะ ซึ่งมีเทือกเขาที่เป็นแนวเขาวงกตกันของภูเขาหินปูนและหินดินดาน โดยมาบรรจบกันทางทิศเหนือและทิศใต้ เกิดเป็นอ่างหรือกระทะขึ้นมา มีสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นลูกคลื่นลอนลาดชันถึงเป็นพื้นที่สูงชันมาก มีความลาดชันตั้งแต่ร้อยละ 12 ถึงมากกว่าร้อยละ 75 พื้นที่ทอดตัวตามแนวเหนือใต้ อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,080-1,900 เมตร ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70.3 อุณหภูมิเฉลี่ย 17.8 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี 2,063.2 มิลลิเมตรต่อปี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) พื้นที่นี้กั้นพรมแดนระหว่างไทยและพม่า โดยตั้งอยู่ในเขตตำบลม่อนปิ่น และตำบลแม่งอน อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ มีระยะทางห่างจากอำเภอฝาง ไปทางทิศตะวันตกประมาณ 17 กิโลเมตร และห่างจากจังหวัดเชียงใหม่ไปทางตะวันตกเฉียงเหนือประมาณ 170 กิโลเมตร อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $19^{\circ}15' - 19^{\circ}57'$ เหนือ และ $99^{\circ}01' - 99^{\circ}03'$ ตะวันออก พื้นที่ทั้งหมดอยู่แผนที่ระวางที่ 4848 IV ครอบคลุมเนื้อที่ประมาณ 16,829 ไร่ ประกอบด้วย 5 หมู่บ้าน ได้แก่ บ้านคุ้ม บ้านปางม้า บ้านหลวง บ้านนอแล และบ้านขอบด้ง เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นชาวเขาเผ่าจีนฮ่อ ไทยใหญ่ ปะหล่อง และมูเซอดำ พื้นที่อ่างขางโดยมีอาณาเขตติดต่อดังนี้

ทิศตะวันตกติดต่อกับเส้นกั้นชายแดนระหว่างประเทศไทยและประเทศพม่า

ทิศตะวันออกติดต่อกับดอยเก็ย อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่

ทิศเหนือติดกับตอนเหนือของบ้านนอแล อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่

ทิศใต้ติดกับห้วยอ่างขางบริเวณเหนือบ้านข่ม อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่

2. ลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่บริเวณอ่างขางเป็นส่วนหนึ่งของภาคเทือกเขาสูงในทวีปตอนเหนือและตะวันตก (North and West Continental Highland) เขตภูมิศาสตร์มีสภาพเป็นเขาสูงที่สลับซับซ้อนเกิดจากการคดโค้ง และหลอมตัวของหินต่าง ๆ ดอยอ่างขางมีลักษณะเป็นแอ่งรูปรีคล้ายกระทะ ประกอบด้วย

ภูเขาหินปูนและภูเขาหินดินดาน ทอดตัวตามแนวเหนือใต้ขนานกัน แนวดังกล่าวจะมาบรรจบกันทางทิศเหนือและใต้เกิดเป็นอ่าง หรือกะทะขึ้น เทือกเขาหินปูนจะกั้นเขตแดนระหว่างประเทศไทยและพม่า จากหัวอ่างถึงท้ายอ่าง ยาวประมาณ 8 กิโลเมตร และกว้างประมาณ 1-3 กิโลเมตร ภายในอ่างจะมีพื้นที่ค่อนข้างราบ ตอนกลางมีหลุมยุบตัว (sinkhole) ขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 5-30 เมตร กว้างและลึก 4-20 เมตร และเขาหินปูนที่ถูกกัดกร่อนไปมากแล้วปรากฏให้เป็นลูกเล็ก ๆ ทั่วไป ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศเป็นแบบคาสต์ (karst topography) สภาพพื้นที่ที่มีความลาดชันมากในบริเวณที่มีเขาหินปูนซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกมีความลาดชันประมาณร้อยละ 12 ถึงมากกว่าร้อยละ 75 ทอดตัวตามแนวเหนือใต้ อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,080-1,900 เมตร ยอดเขาที่สูงที่สุดของเทือกเขาอ่างขางสูงประมาณ 1,900 เมตรเหนือระดับทะเลปานกลาง ส่วนบริเวณที่ราบของพื้นที่อ่างขางมีความสูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,400 เมตร สภาพพื้นที่จะลาดจากทางเหนือลงทางใต้

เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้มีลักษณะเป็นภูเขา มีหุบเขาไม่ค่อยกว้างใหญ่นัก จึงมีลำห้วยเล็ก ๆ และสั้น ๆ ซึ่งจะกีดขวางหินดินดานทางฝั่งขวาของพื้นที่ และไหลลงตามความลาดเอียงของภูเขาตามแนวหุบเขาและไหลลงสู่บ่อยุบตัวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเขาหินปูนลูกเล็ก ๆ ซึ่งเกิดจากการชะล้าง และกัดกร่อนของน้ำมาเป็นระยะเวลานานแล้ว ภายหลังจึงเกิดการยุบตัว น้ำที่ไหลจากส่วนสูงของเขาดินดานลงสู่บ่อยุบตัวแล้วหายไป ปกติลำห้วยเหล่านี้ส่วนใหญ่จะแห้งในฤดูแล้ง เนื่องจากเป็นเขาหัวโล้นแทบไม่มีต้นไม้อายุปกคลุมเพียงพอที่จะดูดซับน้ำไว้ได้ นอกจากลำห้วยบางแห่งที่ต้นน้ำยังพอมิป่าไม้ปกคลุม ลำห้วยเหล่านี้พอน้ำให้บริโภคและเพาะปลูกได้บ้าง นอกจากนี้บริเวณคอยอ่างขางมีการทำไร่เลื่อนลอยกันมานานแล้ว ต้นไม้ใหญ่มีเหลือน้อยมาก เมื่อฝนตกหนักน้ำก็จะไหลบ่าลงมาอย่างรวดเร็วตามความลาดเท ส่งผลให้ขาดแคลนน้ำได้ในฤดูแล้ง และบางแห่งของลำห้วย น้ำก็จะพัดพาเอาตะกอนมาตามลำห้วยและทับถมเป็นแนวแคบ ๆ (บุญยงค์, 2522)

สภาพพื้นที่ทางธรณีสัณฐานวิทยาของบริเวณพื้นที่คอยอ่างขาง ในบริเวณพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งย่อยตามสภาพของภูมิสัณฐาน และชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน ดังต่อไปนี้

บริเวณพื้นที่ราบในหุบเขา (valley fill หรือ stream fill) พบเกิดเป็นแนวแคบ ๆ ขนานกับลำธาร หรือลำห้วย ตะกอนที่ทับถมเกิดจากการพัดพามาโดยน้ำไหลลงมาจากบริเวณพื้นที่สูง ตะกอนเหล่านี้จะมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย หรือปนกรวดเป็นชั้น ๆ สลับกัน มักมีสีน้ำตาล ดินมีการระบายน้ำดีปานกลาง

บริเวณที่ลาดเชิงเขาและเนินเขาเตี้ย ๆ (footslope และ low hill) เป็นบริเวณที่สูงอยู่ถัดจากบริเวณที่ราบระหว่างหุบเขา ซึ่งได้มีการแบ่งตามลักษณะของหินที่เป็นวัตถุต้นกำเนิดดินออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ

1) บริเวณที่เป็นหินดินดาน สภาพพื้นที่จะมีความลาดเทน้อยกว่าของพวกหินปูน คือ มีความลาดเอียงไม่เกินร้อยละ 45 พบวัตถุต้นกำเนิดดินที่สลายตัวอยู่กับที่ (residuum) และตะกอนลาดเชิงเขา (colluvium) ลักษณะเป็นแผ่นดินเลื่อน (landslide) ซึ่งจัดอยู่ในประเภท slump เกิดขึ้นเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ พบมากในฤดูฝน และเป็นลักษณะสำคัญของพื้นที่บริเวณนี้ ซึ่งถ้าบริเวณใดมีความลาดเทมากดินก็จะตื้น พื้นที่ที่มีความลาดเอียงน้อยดินมักจะลึก เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวมีสีแดงปนเหลือง Brasher (1972) กล่าวว่า ดินที่ไม่คงทนที่เกิดอยู่บนที่ลาดเอียงจะเคลื่อนที่ หรือไหลลงสู่ที่ต่ำของเนิน เนื่องมาจากมีการเพิ่มทางด้านน้ำหนักและปริมาณของน้ำ เช่น ดินที่เกิดอยู่บนเนินเขา หรือภูมิประเทศที่เป็นภูเขาซึ่งมีหินดินดานอยู่ข้างใต้ มีชั้นหินแข็งมีความลาดเทขนานกับผิว หรือมีการอิ่มตัวของน้ำและน้ำหนักเพิ่มขึ้น ก็จะเกิดการเลื่อนไหลหรือการเคลื่อนตัว ซึ่งตามปกติชั้นที่มีการไหลจะหนาประมาณ 30 เซนติเมตร และจะเกิดตามแนวสัมผัสระหว่างชั้นดินและชั้นหินดินดาน

2) บริเวณพื้นที่หินปูน พื้นที่บริเวณนี้เป็นพื้นที่ที่มีความลาดเทสูงกว่าบริเวณที่พบหินดินดาน โดยส่วนใหญ่จะมีความลาดเทมากกว่าร้อยละ 45 ขึ้นไป มีลักษณะชันถึงชันมาก วัตถุต้นกำเนิดดินเกิดจากการสลายตัวของหินปูนร่วมกับหินดินดานที่อยู่ข้างใต้ของหินปูน เนื้อดินจะเป็นดินเหนียวมีโครงสร้างดีมาก

- บริเวณเทือกเขาสูง มีระดับความสูงไม่ค่อยแน่นอน ความลาดชันของพื้นที่ปกติจะเกินร้อยละ 45 ขึ้นไป สภาพพื้นที่เป็นลักษณะหินโผล่ หรือเป็นดินตื้นเป็นส่วนใหญ่

- บริเวณหลุมยุบตัว มีลักษณะเป็นบ่อ หรือหลุมขนาดใหญ่ พบ ในบริเวณที่ติดกับหรือรอบ ๆ เขาหินปูน มีลักษณะเป็นร่องลึกลงไป มีลำห้วยไหลลงมาจากภูเขาที่เป็นหินดินดาน (บุญยงค์, 2522)

3. ลักษณะดิน

นวลศรี (2543) ได้ทำการศึกษาดินในพื้นที่ พบว่า ดินที่พบบริเวณคอดอย่างข้างส่วนใหญ่เป็นดินลิกปานกลางถึงลึก อาจพบดินตื้นในกรณีที่ดินพัฒนามาจากหินทรายและหินฟิลไลต์ เนื้อดินแปร

ผืนตั้งแต่ดินร่วนปนทรายถึงดินเหนียว โครงสร้างดินเป็นแบบก้อนที่มีพัฒนาการดี พบคราบดินเหนียวในชั้นดินล่าง ที่แสดงถึงพัฒนาการของดินในระดับปานกลางถึงสูง และกระบวนการทางดินที่เด่นชัด เช่น การชะละลาย การสะสม การเคลื่อนย้ายของอนุภาคนาโนดินเหนียว (Buol *et al.*, 1997) ดินที่พัฒนาจากหินดินดานมักมีพัฒนาการสูง เนื้อดินเป็นดินเหนียว บริเวณยอด (summit) และ ไหล่เขา (shoulder) มักเป็นดินตื้น ดินบนส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง และมีสึกล้ำ เนื่องจากบริเวณนี้ถูกควบคุมด้วยชั้นหินพื้น และค่อนข้างเสถียร (Schaetzl and Anderson, 2005) จึงถูกควบคุมโดยกระบวนการทางเคมีมากกว่ากระบวนการทางกายภาพ สำหรับบริเวณที่เป็นพื้นที่ลาดชันต่อลงมาจากไหล่เขา (backslope) และบริเวณตีนเขา (footslope) พบดินลึกที่มีชั้นดินบนบางแต่ชั้นดินล่างหนา พบการเคลือบที่ผิวของคราบดินเหนียว ดินมีสีเหลืองถึงแดง เนื่องจากดินมีการระบายน้ำดี (Hall, 1983) การแจกกระจายของกลุ่มชุดดินที่ยังไม่มีการเสนอเพื่อการจัดตั้งเป็นชุดดินแสดงไว้ในภาพที่ 2

4. ลักษณะภูมิอากาศ

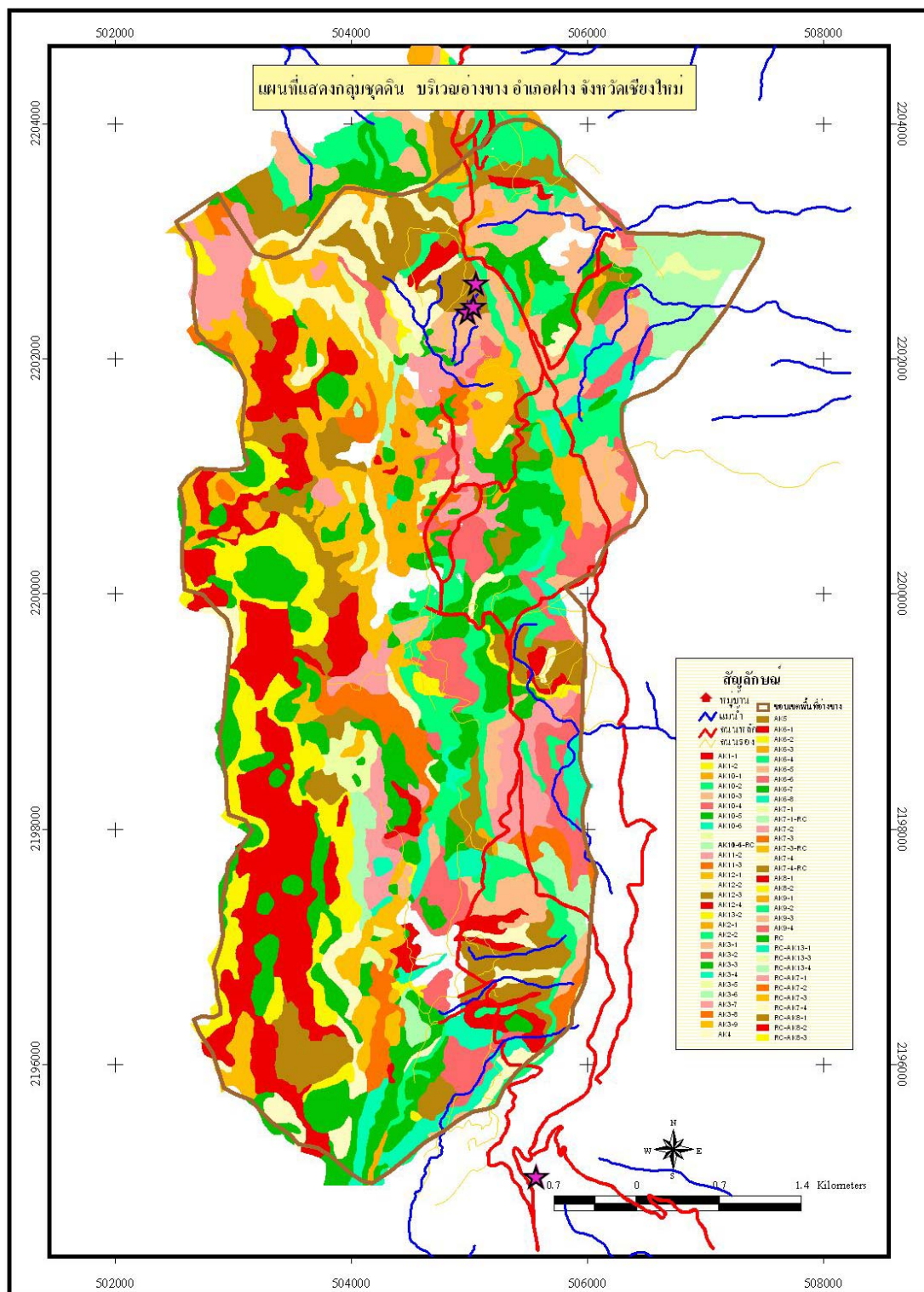
ลักษณะภูมิอากาศ จัดอยู่ในระบอบ humid subtropical climate (Cwa) โดย Köppen, 2007 ที่มีสภาพภูมิอากาศแบบชื้นกึ่งเขตร้อน ด้วยอิทธิพลของลมค้าตะวันออกเฉียงใต้และดีเปรสชัน มีความแตกต่าง ของอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีไม่มากนัก ลักษณะภูมิอากาศแบบนี้จะมีฝนตกมากในฤดูร้อน ฤดูหนาวค่อนข้างอบอุ่น แต่แห้งแล้งในฤดูหนาว มีอุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนที่มีอากาศหนาวสุดอยู่ระหว่าง -3 องศาเซลเซียส ถึง 18 องศาเซลเซียส ในฤดูร้อนจะมีอากาศอบอุ่นมีอุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่า 22 องศาเซลเซียส แต่อย่างน้อย 4 เดือนจะต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 10 องศาเซลเซียส ซึ่งบริเวณอ่าวขางมีอากาศแห้งแล้งและเปียกชื้น แบ่งได้ 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงต้นมีนาคม โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดพาเอาความหนาวเย็นและแห้งแล้งจากประเทศจีนเข้ามา ประกอบกับมีสภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูงจึงทำให้มีอากาศหนาวเย็นมาก ทำให้มีอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้ง อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 4-5 องศาเซลเซียส ฤดูร้อนจะเริ่มตั้งแต่ปลายมีนาคมถึงเดือนเมษายน เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 29 องศาเซลเซียสขณะที่ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีฝนตกเฉลี่ยสูงสุดในเดือนสิงหาคมประมาณ 366.3 มิลลิเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด ในเดือนกรกฎาคม และเดือนสิงหาคม ปี 2549 คือ 496.1 และ 450.9 มิลลิเมตร (สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง, 2549) การกระจายฝนในพื้นที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ฝนตกเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 2,063.2 มิลลิเมตร (ตารางที่ 3) สาเหตุที่มีปริมาณฝนชุกมากเนื่องจากบริเวณพื้นที่อ่างขางอยู่ในระดับสูงจากระดับน้ำทะเล ท้องฟ้ามักปกคลุมด้วยเมฆและหมอก

อยู่เสมอโดยเฉพาะในฤดูหนาว (บุญยงค์, 2522) อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 17.8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 70.3 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

5. พืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

พืชพรรณบริเวณคอยอ่างขางเดิมเป็นป่าดิบเขาตามธรรมชาติ อยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าน้ำฝาง (ภาพที่ 3) พื้นที่ถูกรกคลุมด้วยพรรณไม้ต่าง ๆ เช่น สนสามใบ สนสองใบ นอกจากนี้มีไม้ตระกูลก่อ ซึ่งมีอยู่หลายชนิด เช่น ก่อเดือย ก่อแดง ก่อหม่น ในบริเวณที่มีความชื้นสูง หรือในบริเวณหุบเขาหรือเนินเขาจะมีพวกเฟิร์น กล้วยา โคลงเคลง หมักจี๋หนู สาบเสือ และสาบหมา ฯลฯ ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ภาพที่ 4) ได้มีการปลูกและขยายพันธุ์ไม้เมืองหนาวซึ่งเป็นหนึ่งของการหลวงพัฒนาภาคเหนือ โดยนำไม้เมืองหนาวจากต่างประเทศเข้ามาปลูกเป็นจำนวนมาก (บุญยงค์, 2522) เช่น ไม้ผล มีการทดลองปลูกบ๊วย ท้อ พลัม แอปเปิ้ล สาลี่ พลับ กีวี นอกจากนี้มีการทดลองปลูกกาแฟพันธุ์อราบิก้า นัท พันธุ์ต่าง ๆ องุ่นและที่อยู่ในระหว่างการศึกษาพัฒนา ก็คือ ราสเบอร์รี่ ไม้ดอกศึกษาวิจัยและทดลองปลูกแกลดิโอลัส (ทั้งการใช้พันธุ์ด้วยหัว และด้วยดอก) เยอร์บีร่าพันธุ์ยุโรปสเตติส จิบโซฟิลล่า คาร์เนชั่น แอลสโตรมีเรีย ลิลี่ ไอริส แดฟโฟดิล ฟรีเซีย เป็นต้น ผักศึกษาวิจัย และทดลองผักนอก และในฤดูกาล เช่น ชุกินี เบบีแครอท กระเทียมต้น หอมญี่ปุ่น ผักกาดฝรั่ง แรดิช เพนเนล เทอร์นิพ เอ็นไดว์ อะติไซค์ เห็ด มันฝรั่ง ถั่วแดงหลวง และถั่วอื่น ๆ เพื่อผลิตเป็นพันธุ์

นอกจากนี้ ยังมีการปลูกถิน เพื่อนำมาผลิตไปสกัดน้ำมัน และเอาเส้นใยลำต้นไปทอผ้าลินิน งานวิจัยไม้ผล ไม้ดอก และพืชผักเมืองหนาว เป็นงานที่จำเป็นจะต้องดำเนินต่อไปอย่างไม่สิ้นสุด ในพื้นที่คอยอ่างขาง จึงได้ดำเนินการปลูกป่าด้วยอีกทางหนึ่ง ซึ่งในการฟื้นฟูสภาพพื้นที่นั้น ดำเนินการโดยกรมป่าไม้ สำหรับงานด้านป่าไม้ ของสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง จะเป็นการศึกษาปลูกพันธุ์ไม้ท้องถิ่น และพันธุ์ไม้โตเร็วจากต่างประเทศ ซึ่งจะเน้นการปลูกป่าสาธิตในพื้นที่รอบ ๆ สถานี พันธุ์ไม้ชนิดใดที่ได้ผล หน่วยอนุรักษ์ต้นน้ำก็จะ นำไปปลูกป่าในพื้นที่ต้นลำธาร พ.ศ. 2524 ได้เริ่มศึกษาพันธุ์ไม้โตเร็วจากต่างประเทศ โดยได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาล ได้หวั่น จนถึงปี พ.ศ. 2530 สามารถ



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงกลุ่มชุดดินบริเวณพื้นที่อ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางที่ 3 แสดงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณฝน บริเวณโครงการหลวงอ่างช้าง

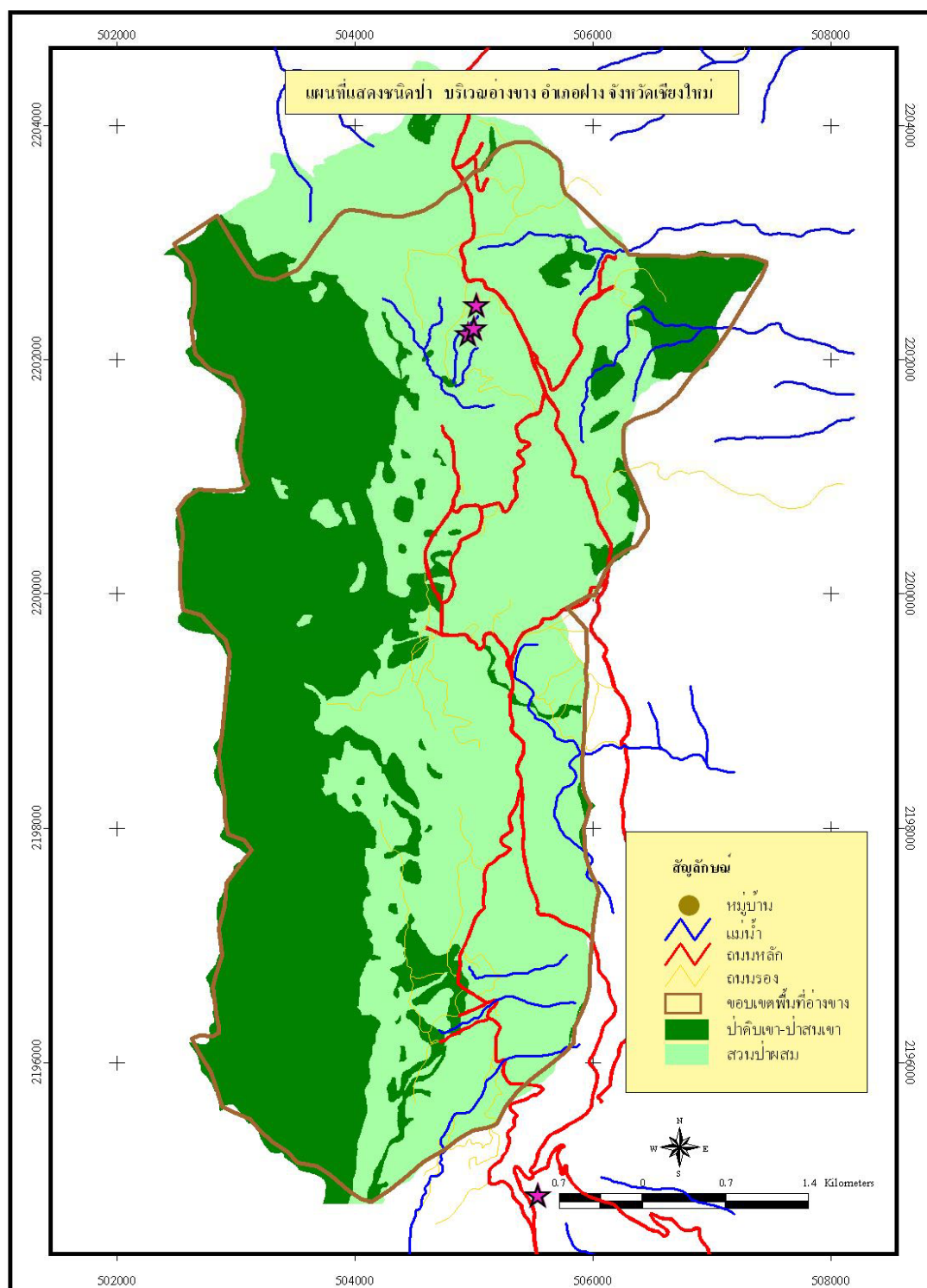
เดือน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
มกราคม	21.3	4.3	12.8	85.5	42.0	63.7	22.9
กุมภาพันธ์	23.1	5.6	14.3	83.5	37.1	60.3	22.1
มีนาคม	25.9	9.1	17.5	88.4	37.4	62.9	35.6
เมษายน	27.6	12.3	19.9	83.6	36.7	60.1	74.8
พฤษภาคม	25.7	15.5	20.6	82.8	47.4	65.1	246.8
มิถุนายน	24.6	16.9	20.8	81.3	54.8	68.1	232.7
กรกฎาคม	24.0	17.0	20.5	88.5	64.4	76.4	303.5
สิงหาคม	23.5	16.9	20.2	86.4	66.6	76.5	418.6
กันยายน	23.6	15.9	19.7	86.8	63.1	74.9	365.8
ตุลาคม	22.7	14.1	18.4	85.6	62.2	73.9	243.0
พฤศจิกายน	21.2	9.9	15.5	83.6	54.5	69.0	71.4
ธันวาคม	19.5	6.3	12.9	85.5	52.8	69.2	26.2
รวม	282.6	143.9	213.2	1,021.5	618.9	820.2	2,063.2
เฉลี่ย	23.5	12.0	17.8	102.2	61.9	68.4	171.9

ที่มา : สถานีเกษตรหลวงอ่างช้าง (2532-2549)

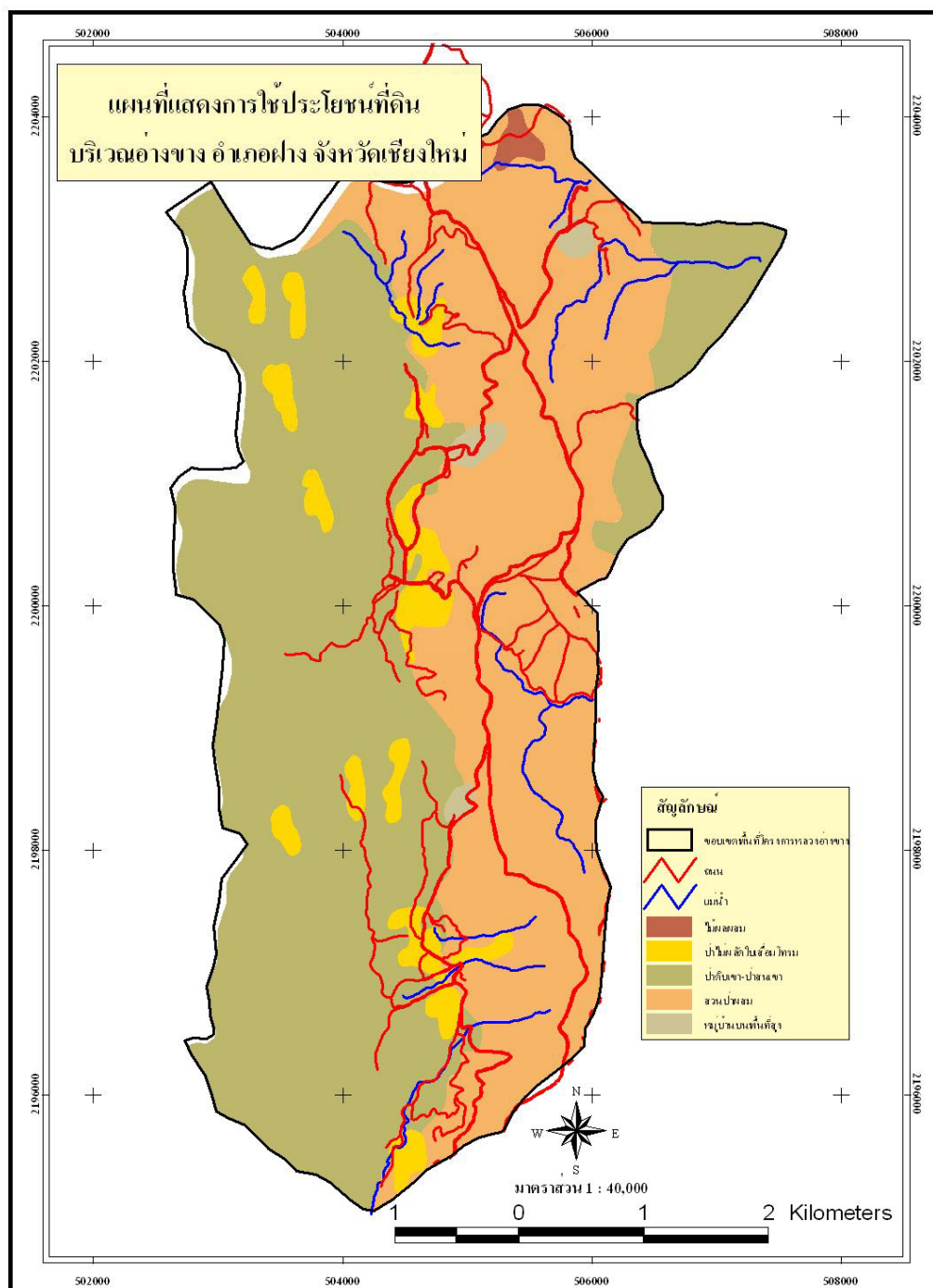
คัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสม ในการปลูกที่ดอยอ่างช้าง และพื้นที่สูงอื่น ๆ รวม 5 ชนิดพันธุ์ คือ กระดินดอย (*Acacia confusa*) เมเปิ้ลหอม (*Liquidambar formosana*) การบูร (*Cinnamomum camphora*) จันทน์ทอง (*Fraxinus griffithii*) เพาโลเนีย (*Paulownia taiwaniana*) ส่วนไม้ท้องถิ่นที่ใช้ปลูกเสริม มีไม้ไผ่ ไม้ก่อ แอปเปิ้ลป่า นางพญาเสือโคร่ง เป็นไม้ผลัดใบในช่วงฤดูฝนใบจะเขียวชอุ่ม

สำหรับแปลงสาธิตปลูกป่าประมาณ 500 ไร่ ในสถานีจะทำการปลูกแบบขั้นบันได เพื่อให้เหมาะสมกับความลาดชันของพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อลดการชะล้างของหน้าดิน ปี 2529 ได้ส่งเสริมให้ชาวไทยภูเขา ในหมู่บ้านสมาชิกของสถานี ดำเนินการปลูกป่าด้วยต้นไผ่ พญาเสือโคร่ง และไม้โตเร็วจากไต้หวัน ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ ในครัวเรือน และได้ส่งเสริมให้ปลูกต้นกระดินดอย

ผสมผสานกับพืชเกษตรอื่น ๆ ในพื้นที่ของชาวบ้าน การให้คำแนะนำแก่ชาวบ้าน เริ่มด้วยการแนะนำให้ชาวบ้านปลูกต้นไม้ในพื้นที่อาศัยก่อน แล้ว จากนั้นจึงให้ปลูกในพื้นที่ทำกิน ซึ่งจะมีทั้งพืชไร่ และไม้ผล โครงการสาธิตปลูกปาล์วดังกล่าว ในระยะแรกได้ผลดีใน 2 หมู่บ้าน คือ บ้านนอแล และบ้านขอบด้งส่วนอีก 4 หมู่บ้าน ได้ส่งเสริมให้ปลูกเป็นป่า ระยะต่อมาได้มีการปลูกไม้ดอกโดยอาศัยร่มเงา และการบังลมจากไม้ใหญ่ ซึ่งช่วยเสริมรายได้อีกทางหนึ่งให้แก่ชาวบ้าน การปลูกต้นไม้ผสมผสาน กับการปลูกพืชเกษตรดังกล่าว ก็คือแนวทางการปฏิบัติตามแนวพระราชดำริ เกี่ยวกับการอนุรักษ์ดิน โดยใช้วิธีการปลูกพืชตามระบบธรรมชาติ เช่นการปลูกไม้ใช้สอย รวมกับการปลูกพืชไร่ ซึ่งจะช่วยให้พืชอาศัยร่มเงาของไม้ใหญ่ และได้รับความชุ่มชื้นจากดินเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3 แผนที่แสดงชนิดป่า บริเวณอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2547)



ภาพที่ 4 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดิน บริเวณอ่าวขาง จังหวัดเชียงใหม่
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2547)

ผลและวิจารณ์

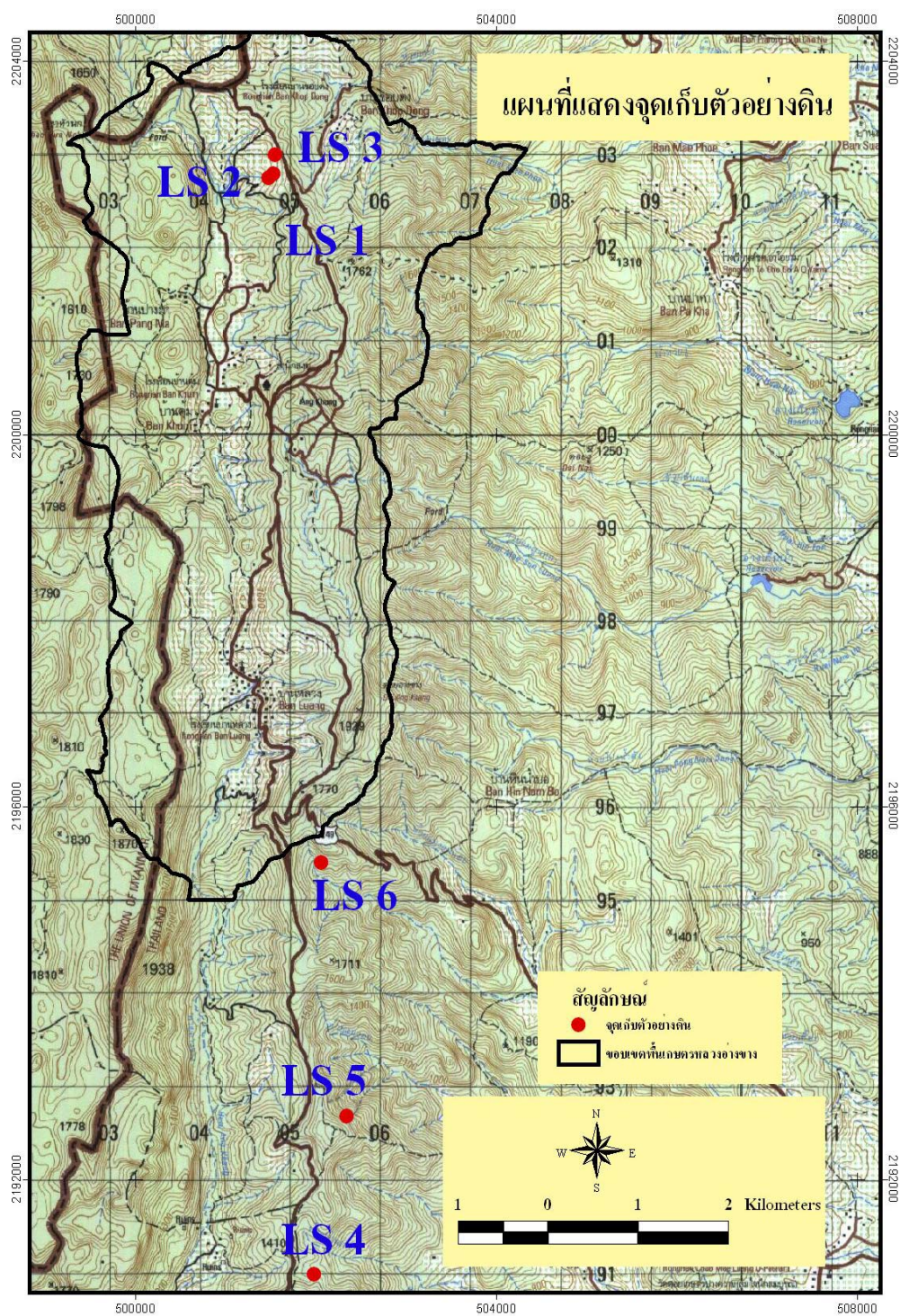
ผลการศึกษาลักษณะของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ดำเนินการในพื้นที่บริเวณอ่างขาง ตำบลม่อนปิ่น อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยคัดเลือกจุดที่เกิดการถล่มของดินจำนวน 6 บริเวณ ผลการศึกษาทั้งในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย สภาพทั่วไปและฐานฐานวิทยาสนามของดิน (ตารางที่ 4 และ 5) สมบัติทางกายภาพ (ตารางผนวกที่ 2) และสมบัติทางเคมี (ตารางผนวกที่ 3) ดังต่อไปนี้

1. ฐานฐานวิทยาสานามของดิน

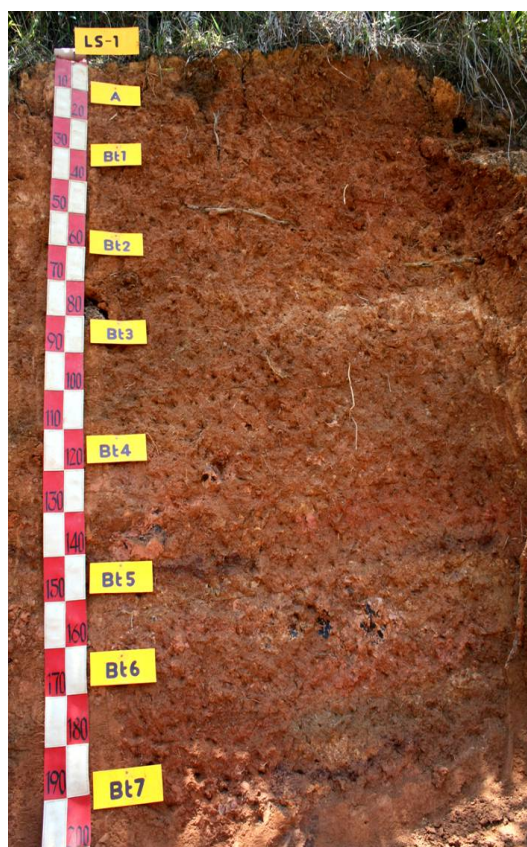
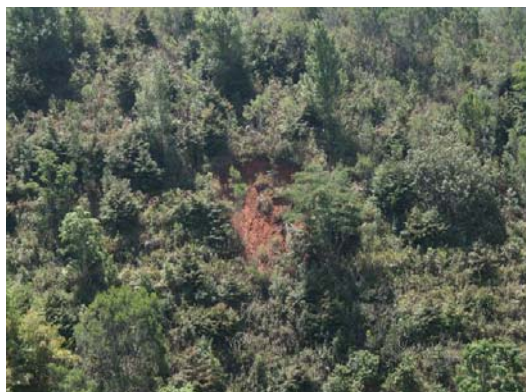
ดินถล่มที่ทำการศึกษาทั้ง 6 บริเวณ อยู่ในพื้นที่อ่างขาง ตำบลม่อนปิ่น และตำบลแม่งอน อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ (ภาพที่ 5) ซึ่งพบอยู่ในบริเวณที่เป็นภูเขาสูงชัน สภาพพื้นที่ปกคลุมด้วยป่าไม้ มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางระหว่าง 1,373-1,662 เมตร มีความลาดชันของพื้นที่อยู่ในพิสัยร้อยละ 70-95 ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 68.4 มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปี 17.8 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี 2,063.2 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดในเดือนกรกฎาคม และเดือนสิงหาคม ในปี พ.ศ. 2549 มีดังนี้ 496.1 และ 450.9 มิลลิเมตร วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นเศษหินเชิงเขา (colluvium) วางตัวอยู่บนวัสดุตกค้าง (residuum) ของหินชนวน หินไฟไลต์ และหินควอร์ตซ์ไซส์ สภาพโดยทั่วไปของบริเวณที่ทำการศึกษาระบุไว้ในตารางที่ 4 ส่วนฐานฐานวิทยาสานามของหน้าตัดดินที่ทำการศึกษาระบุไว้ในตารางที่ 5 และคำอธิบายหน้าตัดดินแสดงในภาคผนวก

1.1 ดินบริเวณที่ 1: LS-1 (ภาพที่ 6)

ลักษณะเด่น ดินเป็นดินลึก ดินมีพัฒนาการดี มีพัฒนาการของชั้นกำเนิดดินที่มีการพัฒนาการของหน้าตัดดินแบบ A-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6-Bt7 พบที่ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 1,444 เมตร สภาพพื้นที่มีความชันมาก มีความลาดชันร้อยละ 70 ดินเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นเศษหินเชิงเขาวางตัวอยู่บนวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นวัสดุตกค้างของหินชนวน ดินมีการระบายน้ำดี สภาพให้ซึมได้ของดินเร็ว การไหลบ่าของน้ำเร็ว ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร และพื้นที่เป็นป่าดิบเขาทุติยภูมิ



ภาพที่ 5 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่โครงการหลวงอ่างช้าง และบริเวณจุดเก็บตัวอย่างดิน
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2550) ดัดแปลงมาจากแผนที่ทหาร กรมแผนที่ทหาร



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศ และภาพหน้าตัดดินบริเวณที่ 1

ดินบนลึก 0-20 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นสีผสมของสีแดงค่อนข้างเหลืองและสีน้ำตาล เนื้อดินเป็นดินเหนียว พบปริมาณรากพืชค่อนข้างมาก มีขนาดเล็กมากถึงปานกลาง โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งจะแข็งมาก แต่เมื่อชื้นเม็ดดินจะจับตัวกันเป็นก้อน ต้องใช้แรงกดพอประมาณ ดินจึงจะแตกออกจากกันเป็นเม็ด ดินเมื่อเปียกจะเหนียวและสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดจัดมาก (field pH 5.0)

ดินล่างลึก 20 -200+ เซนติเมตร มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีแดงตลอดหน้าตัดดิน เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัด โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดมากถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งจะแข็งมากจนถึงดินแตกออกจากกันได้ง่าย เมื่อชื้นเม็ดดินจะจับตัวกันเป็นก้อน ดินเปียกจะค่อนข้างเหนียวและสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (field pH 5.5-6.0)

1.2 ดินบริเวณที่ 2: LS-2 (ภาพที่ 7)

ดินมีลักษณะเด่นคือเป็นดินลึก ดินมีพัฒนาการดี มีพัฒนาการของหน้าตัดดินแบบ A-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6-Bt7 พบที่ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 1,483 เมตร สภาพพื้นที่มีความชันมาก โดยมีความลาดชันร้อยละ 75 ดินเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นเศษหินเชิงเขาวางตัวอยู่บนวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นวัสดุตกค้างของหินชนวน ดินมีการระบายน้ำดี สภาพให้ซึมได้ของดินเร็ว การไหลบ่าของน้ำเร็ว และระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตรในขณะที่ทำการศึกษา พบภายใต้สภาพที่เป็นป่าดิบเขาทุยภูมิ

ดินบนลึก 20 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งสามารถทำให้ดินแตกออกจากกันได้ง่าย แต่เมื่อชื้นเม็ดดินจะจับตัวกันเป็นก้อน ต้องใช้แรงกดพอประมาณ ดินจึงจะแตกออกจากกันเป็นเม็ด ๆ ดินเมื่อเปียกดินจะยึดออกก่อนที่จะออกจากกัน และสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดจัดมาก (field pH 5.0)

ดินล่างลึก 20 -200+ เซนติเมตร มีลักษณะเป็นสีผสมของสีแดงค่อนข้างเหลืองจนถึงสีแดงตลอดหน้าตัดดิน เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัด โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดมากถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งจะแตกออกจากกัน

ได้ง่าย เมื่อขึ้นเม็ดดินจะจับตัวกันเป็นก้อน ดินเปียกจะค่อนข้างเหนียวและสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (field pH 5.5-6.0)

1.3 ดินบริเวณที่ 3: LS-3 (ภาพที่ 8)

ดินมีลักษณะเด่นคือ มีพัฒนาการของชั้นกำเนิดดินแบบ A-Bt1-Bt2-Bt3-BCr-Crt พบที่ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 1,512 เมตร สภาพพื้นที่มีความชันมาก โดยมีความลาดชันร้อยละ 85 ดินเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นเศษหินเชิงเขาวางตัวอยู่บนวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นวัสดุคูก้างของหินชนวน ดินมีการระบายน้ำดี สภาพให้ซึมได้ของดินเร็ว การไหลบ่าของน้ำเร็ว และขณะที่เก็บตัวอย่างดินระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร โดยพบภายใต้สภาพป่าดิบเขาทุติยภูมิ

ดินบนลึก 20/30 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นสีแดงคล้ำ เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งสามารถทำให้ดินแตกออกจากกันได้ง่าย เม็ดดินเป็นผงหรือเป็นเม็ด แต่เมื่อขึ้นเม็ดดินจะแตกออกจากกันได้ง่ายพอประมาณ ดินเมื่อเปียกดินจะยึดออกก่อนที่จะหลุดออกจากกัน และสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดปานกลาง (field pH 6.0)

ดินล่างลึก 30 -200+ เซนติเมตร มีลักษณะเป็นสีผสมของสีเหลืองถึงสีแดงตลอดหน้าตัดดิน เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว และดินเหนียวตลอดหน้าตัดดิน โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดมากถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งจะแตกออกจากกันได้ง่าย แต่เมื่อขึ้นเม็ดดินจะแตกออกจากกันได้ง่ายพอประมาณ ส่วนเมื่อเปียกดินจะยึดออกก่อนที่จะออกจากกัน และสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดปานกลาง (field pH 6.0)

ตารางที่ 4 แสดงพัฒนาการของดินและสภาพทั่วไปของพื้นที่ที่พบการถล่มของดิน

Thickness of surface horizon (cm)	Effective depth (cm)	Profile development	Slope (%)	Relief	Physiographic position/drainage	Parent materials /natural vegetation or land use
LS-1: Secondary forest area near plot 2000 of Ang Khang Royal Project Station, Monpin subdistrict, Fang district, Chiang Mai province						
20	200+	A-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6-Bt7	70	Very steep	Upper middle valley side slope of spur (lower middle part)/ well drianed	Colluvium over residuum derived from slate/ Secondary hill evergreen forest mainly bushes and some weeds
LS-2: Secondary forest area near plot 2000 of Ang Khang Royal Project Station, Monpin subdistrict, Fang district, Chiang Mai province						
20	200+	A-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6-Bt7	75	Very steep	Upper middle valley side slope of spur (upper middle part)/ well drianed	Colluvium over residuum derived from slate/ Secondary hill evergreen forest mainly bushes and some weeds
LS-3: Secondary forest area near plot 2000 of Ang Khang Royal Project Station, Monpin subdistrict, Fang district, Chiang Mai province						
20-30	200+	A-Bt1-Bt2-Bt3-BCrt-Crt	85	Very steep	Upper middle back side slope of spur (upper middle part)/ well drianed	Colluvium over residuum derived from slate/ Secondary hill evergreen forest mainly weed with bamboo and remnant of dry evergreen forest trees

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Thickness of surface horizon (cm)	Effective depth (cm)	Profile development	Slope (%)	Relief	Physiographic position/drainage	Parent materials /natural vegetation or land use
LS-4: Secondary natural forest area, Ban Suay Thang, Mae Ngon subdistrict, Fang district, Chiang Mai province						
29	200+	Ap-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6-Bt7	85	Very steep	Upper middle back slope / well drained	Colluvium over residuum possibly derived from phyllite/ Secondary hill evergreen forest with remnant of dry evergreen forest species and some fast growing trees
LS-5: Secondary natural forest area, Ban Suay Thang, Mae Ngon subdistrict, Fang district, Chiang Mai province						
10	200+	A-Bt1-Bt2-Bt3-BCrt-Crt	90	Very steep	Shoulder valley side slope of spur (upper part)/ well drained	Colluvium over residuum possibly derived from quartzite/ Secondary hill evergreen forest with remnant of dry evergreen forest species and weeds
LS-6: Secondary natural forest area, Ban Suay Thang, Mae Ngon subdistrict, Fang district, Chiang Mai province						
20	200+	A-Bt1-Bt2-Bt3-BCrt-Crt	95	Very steep	Upper middle backside slope / well drained	Colluvium over residuum possibly derived from slate/ Secondary hill evergreen forest with remnant of dry evergreen forest species and weeds

ตารางที่ 5 แสดงสัณฐานวิทยาสนามดินบริเวณจุดถล่มที่ทำการศึกษา

Depth (cm)	Horizon	Soil colour/mottle	Texture	Structure	Consistence	Boundary	Field pH	Other
บริเวณศึกษาที่ 1 (Pedon 1)								
0-20	A	7.5YR4/6, 7.5YR4/3	C	3FMSBK	F,SS/VP	Gradual, smooth	5.0	few medium dead roots
20-48	Bt1	7.5YR5/6	C	3FMSBK	F,SS/VP	Gradual, smooth	5.5	few medium dead roots
48-72	Bt2	7.5YR5/6	C	3FMSBK	F,S/VP	Gradual, smooth	5.5	few medium dead roots
72-101	Bt3	7.5YR5/8	C	3FMSBK	Fri,MS/VP	Gradual, smooth	5.0	few medium dead roots, a large hole of termite nest
101-128	Bt4	7.5YR5/6, 7.5YR7/8, 10YR2/1	C	2FMSBK	Fri,SS/VP	Clear, smooth	5.0	few medium dead roots, a large hole of termite nest
128-153	Bt5	7.5YR5/8, 2.5YR6/6, 10YR2/1	C	2FMSBK	Fri,SS/VP	Clear, smooth	5.5	-
153-181	Bt6	7.5YR5/6, 2.5YR6/6, 10YR2/1	C	2FMSBK	Fri,MS/VP	Clear, smooth	5.5	few medium dead roots
181-200+	Bt7	5YR 4/6, 10YR3/2	C	2FMSBK	Fri,SS/VP	-	6.0	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Soil colour/mottle	Texture	Structure	Consistence	Boundary	Field pH	Other
บริเวณศึกษาที่ 2 (Pedon 2)								
0-20	A	7.5YR4/6	CL	3FMSBK	F,MS/VP	Clear, smooth	5.0	few traces of dead roots
20-50	Bt1	7.5YR4/6	C	3FMSBK	F,SS/VP	Diffuse, smooth	5.5	-
50-72	Bt2	5YR4/6	C	3VFFMSBK	Fri,SS/VP	Diffuse, smooth	5.5	-
72-96	Bt3	5YR4/6	C	3VFFMSBK	Fri,MS/VP	Gradual, smooth	5.5	-
96-122	Bt4	2.5YR4/4, 10YR6/8	C	2VFFSBK	Fri,MS/VP	Clear, smooth	6.0	common medium angular gravel of highly weathered slate
122-148	Bt5	2.5YR4/6, 7.5YR6/8	C	2VFFSBK	Fri,MS/VP	Clear, smooth	6.0	common medium angular gravel of highly weathered slate
148-170	Bt6	5YR4/6, 7.5YR5/8	C	3FMSBK	Fri,MS/VP	Gradual, smooth	6.0	common medium angular gravel of highly weathered slate
170-200+	Bt7	5YR4/6, 7.5YR6/8	C	3FMSBK	Fri,MS/VP	-	6.0	common medium angular gravel of highly weathered slate

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Soil colour/mottle	Texture	Structure	Consistence	Boundary	Field pH	Other
บริเวณศึกษาที่ 3 (Pedon 3)								
0-20/30	A	5YR3/3, 10YR7/8	CL	3VFFG	Fri,MS/VP	Abrupt, wavy	6.0	-
30-50	Bt1	2.5YR4/6, 10YR7/8	CL	3VFFSBK	Fri,SS/VP	Gradaul, smooth	6.0	-
50-70	Bt2	2.5YR4/8, 10YR6/8	C	2VFFSBK	Fri,SS/VP	Clear, smooth	6.0	-
70-100	Bt3	2.5YR4/6, 10YR7/6	C	2VFFSBK	Fri,MS/VP	Clear, smooth	6.0	-
100-125	BCrt	2.5YR4/6, 10YR7/6	C	2VFFSBK	Fri,MS/VP	Clear, smooth	6.0	few small gravel of fresh quartz
125-200+	Crt	2.5YR4/6, 10YR7/6, 10YR2/1	C	Mainly rock structure	Fri,MS/VP	-	6.0	few medium dead roots

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Soil colour/mottle	Texture	Structure	Consistence	Boundary	Field pH	Other
บริเวณศึกษาที่ 4 (Pedon 4)								
0-29	A	10YR4/4	CL	2VFFSBK	Fri,MS/VP	Clear, smooth	5.0	-
29-46	Bt1	7.5YR4/6, 5YR4/6	C	3FMSBK	Fri,MS/VP	Clear, smooth	5.5	-
46-68	Bt2	5YR4/6	C	3FMSBK	Fri,MS/VP	Gradual, smooth	5.5	-
68-93	Bt3	5YR5/8	C	3MCSBK	F,MS/VP	Gradual, smooth	5.5	few traces of dead roots
93-110/122	Bt4	5YR5/8, 7.5YR8/1	C	3MCSBK	F,SS/VP	Abrupt, wavy	5.5	few traces of dead roots
122-150	Bt5	5YR6/8, 7.5YR8/1	C	3FMSBK	F,SS/VP	Abrupt, wavy	5.0	few traces of dead roots
150-170	Bt6	5YR5/6, 7.5YR8/1	C	3FMSBK	F,SS/VP	Gradual, smooth	5.5	few traces of dead roots
170-200+	Bt7	2.5YR5/8, 10YR8/1, 7.5YR8/1	C	3FMSBK	F,SS/VP	-	5.5	few traces of dead roots

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Soil colour/mottle	Texture	Structure	Consistence	Boundary	Field pH	Other
บริเวณศึกษาที่ 5 (Pedon 5)								
0-10	A	10YR 3/1, 7.5YR5/6, 7.5YR4/4	SL	1,2VFFSBK	VFri,SS/SP	Clear, smooth	5.5	-
10-30	Bt1	7.5YR5/6, 10YR 6/8	SL	1,2VFFSBK	VFri,SS/MP	Clear, smooth	5.5	-
30-57	Bt2	10YR5/8, 7.5YR6/8	SL	1,2FMSBK	VFri,SS/SP	Gradual, smooth	5.5	few traces of dead roots
57-82	Bt3	10YR5/8, 7.5YR6/8, 10YR5/1	SL	1,2FMSBK	VFri,SS/NP	Clear, smooth	6.0	few traces of dead roots
82-100/125	BCrt	7.5YR7/8, 10YR5/1, 5YR5/8, 10YR7/8	SL	1,2FMSBK	VFri,NS/NP	Clear, smooth	6.0	few traces of dead roots, a large hole of beaver nest
125-200+	Crt	7.5YR6/8, 10YR5/1, 5YR5/8, 10YR7/8	SL	Mainly rock structure	VFri,SS/MP	-	5.5	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Soil colour/mottle	Texture	Structure	Consistence	Boundary	Field pH	Other
บริเวณศึกษาที่ 6 (Pedon 6)								
0-20	A	10YR 2/1	SL	2VFFSBK, 3FMG	VFri,SS/SP	Abrupt, smooth	6.0	small angular gravel of weathered slate
20-42	Bt1	10YR3/2, 5YR5/6, 2.5Y5/1	SL	2VFFSBK	VFri,SS/P	Gradual, smooth	6.0	common small angular gravel of weathered slate
42-63	Bt2	10YR4/3, 5YR4/4, 10YR8/1	SL	2VFFMSBK	VFri,SS/MP	Clear, smooth	4.5	common small angular gravel of weathered slate
63-94	Bt3	10YR5/4, 10YR5/1	SL	2VFFSBK	VFri,SS/MP	Abrupt, smooth	5.0	common small angular gravel of weathered slate
94-140	BCrt	10YR7/6, 7.5YR6/6, 5YR7/2	SL	1FMSBK, partly rock structure	VFri,SS/MP	Abrupt, smooth	5.0	pebbles and boulders of weathered slate
140-200+	Crt	10YR7/4, 10YR7/8, 5YR5/6, 7.5YR8/6, 5YR7/2	SL	Mainly rock structure	VFri,SS/MP	-	4.5	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

คำย่อในตาราง

เนื้อดิน

(Texture)

LS = ทรายปนดินร่วน (loamy sand)

SL = ดินร่วนปนทราย (sandy loam)

L = ดินร่วน (loam)

SCL = ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam)

SL = ดินร่วนเหนียว (clay loam)

SC = ดินเหนียวปนทราย (sandy clay)

SiC = ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay)

C = ดินเหนียว (clay)

โครงสร้าง

(Structure)

1 = อ่อน (weak)

= แข็งแรงปานกลาง

2 (moderate)

3 = แข็งแรง (strong)

= แบบก้อนเหลี่ยมมุมคม

ABK (angular blocky)

= แบบก้อนเหลี่ยมมน

SBK (subangular blocky)

G = แบบเม็ดกลม (granular)

= แบบละเอียดมาก (very

Vf fine)

F = แบบละเอียด (fine)

การยึดตัว

(Consistence)

L = Loose

Vfri = Very friable

Fri = Friable

F = Firm

VF = Very firm

= Friable to

Fri-F firm

= Firm to very

F-VF firm

NS = Non-sticky

คำย่อในตาราง

เนื้อดิน

(Texture)

โครงสร้าง

(Structure)

การยึดตัว

(Consistence)

	= ดินร่วนปนทรายปนกรวดเล็กน้อย (slightly gravelly sandy loam)	M	= ปานกลาง (medium)	SS	= Slightly sticky
SGSL	= ดินร่วนเหนียวปนทรายปนกรวดเล็กน้อย (slightly gravelly sandy clay loam)	C	= หยาบ (coarse)	MS	= Moderately sticky
SGSCL	= ดินร่วนเหนียวปนกรวดเล็กน้อย (slightly gravelly clay loam)	ROCK	= หิน	VS	= Very sticky
SGCL	= ดินเหนียวปนกรวดเล็กน้อย (slightly gravelly clay)			NP	= Non-plastic
SGC	= ดินเหนียวปนทรายปนกรวดเล็กน้อย (slightly gravelly sandy clay)			SP	= slightly plastic
SGSC					= Moderately plastic
GLS	= ทรายปนดินร่วนปนกรวด (gravelly loamy sand)			MP	= plastic



ภาพที่ 7 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศ และภาพหน้าตัดดินบริเวณที่ 2

1.4 ดินบริเวณที่ 4: LS-4 (ภาพที่ 9)

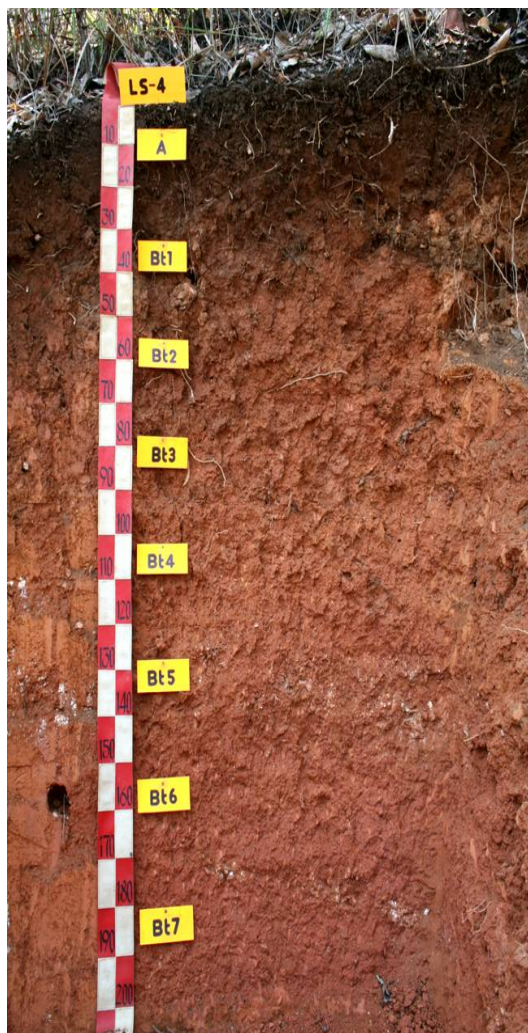
ดินลักษณะเด่น คือ เป็นดินเป็นดินลึกที่มีพัฒนาการดี มีการพัฒนาการของหน้าตัดดินแบบ A-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6-Bt7 อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลาง 1,373 เมตร สภาพพื้นที่มีความชันมาก โดยมีความลาดชันร้อยละ 70 ดินเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นเศษหินเชิงเขาวางตัวอยู่บนวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นวัสดุตกค้างของหินฟิรไลต์ ดินมีการระบายน้ำดี สภาพให้ซึมได้ของดินเร็ว การไหลบ่าของน้ำเร็ว และขณะศึกษาในสนามระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร บริเวณนี้อยู่ภายใต้สภาพที่เป็นป่าดิบเขาพุดิยภูมิ

ดินบนลึก 29 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นสีเหลืองค่อนข้างน้ำตาลถึงดำ เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งสามารถทำให้ดินแตกออกจากกันได้ง่าย เมื่อดินเป็นผงหรือเป็นเม็ด แต่เมื่อขึ้นเม็ดดินจะแตกออกจากกันได้ง่ายพอประมาณ ดินเมื่อเปียกดินจะยึดออกก่อนที่จะออกจากกัน และสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดจัดมาก (field pH 5.0)

ดินล่างลึก 29-200+ เซนติเมตร มีลักษณะเป็นสีผสมของสีเหลืองถึงสีแดงตลอดหน้าตัดดิน เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัด โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดมากถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งจะแตกออกจากกันได้ง่าย แต่เมื่อขึ้นเม็ดดินจะแตกออกจากกันได้ง่ายพอประมาณ ดินเมื่อเปียกดินจะยึดออกก่อนที่จะออกจากกัน และสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดจัด (field pH 5.5)



ภาพที่ 8 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศ และภาพหน้าตัดดินบริเวณที่ 3



ภาพที่ 9 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศ และภาพหน้าตัดดินบริเวณที่ 4

1.5 ดินบริเวณที่ 5: LS-5 (ภาพที่ 10)

ดินในบริเวณนี้มีลักษณะเด่น คือเป็นดินตื้น มีพัฒนาการของชั้นกำเนิดดินแบบ A-Bt1-Bt2-Bt3-BCr-Crt พบในสภาพพื้นที่ที่มีความชันมาก ที่มีความลาดชันร้อยละ 90 ดินเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นเศษหินเชิงเขาทางตัวอยู่บนวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นวัสดุตกค้างของหินควอร์ตซ์ไซส์ ดินมีการระบายน้ำดี สภาพให้ซึมได้ของดินเร็ว การไหลบ่าของน้ำเร็ว และขณะศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร พบภายใต้สภาพที่เป็นป่าดิบเขาทุติยภูมิ

ดินบนหนา 10 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นสีผสมของสีน้ำตาลเข้มถึงดำ เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งดินจะแตกเป็นผง หรือเป็นเม็ดขนาดเล็ก แต่เมื่อชื้นเม็ดดินจะแตกจากกันได้ง่าย ดินเมื่อเปียกจะเหนียวและสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดจัด (field pH 5.5)

ดินล่างลึก 10 -200+ เซนติเมตร มีสีเหลืองค่อนข้างน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายตลอดหน้าตัดดิน โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดมากถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งดินแตกออกเป็นผง หรือเป็นเม็ด แต่เมื่อชื้นเม็ดดินจะแตกจากกันได้ง่าย ดินเมื่อเปียกจะเหนียวและสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (field pH 5.5-6.0)

1.6 ดินบริเวณที่ 6: LS-6 (ภาพที่ 11)

บริเวณที่เกิดการถล่มจุดนี้ ดินมีลักษณะเป็นดินตื้น มีพัฒนาการของชั้นกำเนิดดินแบบ A-Bt1-Bt2-Bt3-BCr-Crt จุดที่เกิดการถล่มอยู่สูงจากระดับทะเลปานกลาง 1,662 เมตร สภาพพื้นที่มีความชันมาก โดยพบว่ามี ความลาดชันมากถึงร้อยละ 95 ดินเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นเศษหินเชิงเขาทางตัวอยู่บนวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นวัสดุตกค้างของหินชนวน ดินมีการระบายน้ำดี สภาพให้ซึมได้ของดินเร็ว การไหลบ่าของน้ำเร็ว และขณะศึกษาพบระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร พื้นที่โดยรอบมีสภาพเป็นป่าดิบเขาทุติยภูมิ



ภาพที่ 10 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศ และภาพหน้าตัดดินบริเวณที่ 5



ภาพที่ 11 แสดงลักษณะสภาพภูมิประเทศ และภาพหน้าตัดดินบริเวณที่ 6

ดินบนลึก 20 เซนติเมตร มีสีดำ เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งดินแตก

ออกเป็นผง หรือเป็นเม็ด แต่เมื่อขึ้นเม็ดดินจะแตกจากกันได้ง่าย ดินเมื่อเปียกจะเหนียวและสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดปานกลาง (field pH 6.0)

ดินล่างลึก 20-200+ เซนติเมตร มีสีเหลืองค่อนข้างแดงถึงดำ เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายตลอดหน้าตัดดิน โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดมากถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ดินเมื่อแห้งดินแตกออกเป็นเม็ดเดี่ยว และเมื่อขึ้นเม็ดดินจะแตกจากกันได้ง่าย ดินเมื่อเปียกจะเหนียวและสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ค่าปฏิกิริยาดินในสนามเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (field pH 4.5-6.0)

ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาสนามของดินที่พบในบริเวณที่เกิดการถล่มทั้ง 6 บริเวณ พบว่า มีทั้งดินลึก คือ มีชั้นที่เป็นดินมากกว่า 100 เซนติเมตรตามมาตรฐานความลึกดินในสนาม (เอิบ, 2547) เนื่องจากมีอิทธิพลของการผุพังอยู่กับที่ลงไปในระดับลึกมากกว่าการกร่อน (เอิบ, 2533; Butzer, 1976) ได้แก่ บริเวณที่ 1 2 และ 4 และในชั้นดินล่างแสดงลักษณะที่มีการสะสมดินเหนียว (Bt) ส่วนบริเวณที่ 3 5 และ 6 เป็นดินลึกปานกลาง มีชั้นที่เป็นดินอยู่ระหว่าง 50-100 เซนติเมตร เนื่องจากการผุพังอยู่กับที่ที่มีอิทธิพลลงไปในระดับลึก มีการผุพังอยู่กับที่เป็นเวลานาน และมีอิทธิพลการผุพังอยู่กับที่อยู่ในอัตราเดียวกับการเกิดกร่อนของดิน ซึ่งปัจจัยในการสร้างตัวของดินที่สำคัญ คือ สภาพภูมิอากาศ พืชพรรณ ความต่างระดับความสูง หรือสภาพภูมิประเทศ วัตถุต้นกำเนิด และเวลา โดยที่ความชื้นและอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวส่งเสริมให้เกิดการผุพังสลายตัวทางเคมีเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรุนแรง (เอิบ, 2542; Buol *et al.*, 1989)

สีดิน ดินมีสีตั้งแต่สีน้ำตาลปนแดงถึงน้ำตาลเข้มถึงดำปนเหลือง สีแดงถึงเหลืองจนถึงสีผสม สีดินบนจะคล้ำกว่าดินล่าง เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่า (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; เอิบ, 2548; Buol *et al.*, 1997) ส่วนในดินล่างสีดินเป็นสีแดงถึงเหลืองเป็นผลมาจากมีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามกระบวนการเกิดดินที่ทำให้สีน้ำตาลปนแดง (rubification) และการเกิดสีแดง (ferrugination) (Buol *et al.*, 1997) โดยดินสีแดงมักเป็นดินลึก มีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดี (Soil Survey Division Staff, 1993) ทั้งนี้เพราะดินมีการจับตัวเป็นเม็ดโดยอิทธิพลของสารเชื่อมพวกเหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ และความชื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงถึงการระบายน้ำดีของดินที่พบในที่สูงทั่วไป (พรเทพ, 2541)

เนื้อดิน พบว่า ส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายถึงเป็นดินเหนียว เนื้อดินดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับลักษณะของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นเศษหินเชิงเขาว่างตัวอยู่บนวัสดุตกค้างของหิน

ต้นกำเนิดที่มาจากหินแปร ซึ่งได้แก่ หินชนวน หินฟิลไลต์ และหินควอร์ตไซต์ โดยปกติแล้ว หินชนวนและหินฟิลไลต์มักจะให้ดินที่มีเนื้อค่อนข้างเหนียว แต่ที่พบว่าเนื้อดินเป็นดินร่วนถึงที่มีเนื้อค่อนข้างหยาบในตอนบนของหน้าตัดดิน น่าจะมีสาเหตุมาจากการชะละลายเอาดินเหนียวลงไปสะสมยังตอนล่าง ขณะที่อิทธิพลของการกร่อนดินก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อนุภาคดินขนาดเล็กสูญเสียดูออกไป เพราะบริเวณที่ทำการศึกษายกอยู่บนสภาพภูมิประเทศที่เป็นภูเขา มีความลาดชันสูง และการไหลบ่าของน้ำเร็ว (อภิสิทธิ์, 2527; เอิบ, 2542; Buol *et al.*, 1989)

การยึดตัวของดิน เมื่อดินชื้นเมื่อบีบด้วยหัวแม่มือกับนิ้วชี้ จะรู้สึกที่ต้องใช้แรงกดพอประมาณ ดินจึงจะแตกออกเป็นเม็ด ๆ ปกติดินจะจับตัวกันเป็นก้อนในกรณีของดินบริเวณที่ 1 และ 2 ส่วนเม็ดดินจะแตกออกจากกันได้ง่ายเมื่อใช้แรงเพียงเล็กน้อยในดินบริเวณที่ 3 และ 4 ส่วนดินในบริเวณที่ 5 และ 6 เม็ดดินจะแตกออกจากกันได้ง่ายโดยออกแรงเพียงเบา ๆ สำหรับการยึดตัวของดินเมื่อเปียก ดินจะยึดออกก่อนที่จะออกจากกันในกรณีของดินบริเวณที่ 2 3 และ 4 และดินในบริเวณที่ 1 5 และ 6 นั้น จะเหนียวและสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ซึ่งแสดงถึงพัฒนาการของดินที่มีมากขึ้น เนื่องจากการสะสมของอนุภาคดินเหนียว และมีความเหนียวกับความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่างได้น้อย (Meixner and Singer 1981; Fanning and Fanning, 1989; Brady, 1990)

ปฏิกิริยาของดินในสนาม มีค่าอยู่ในช่วงกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง โดยปฏิกิริยาของดินมีแนวโน้มลดลง และคงที่ในตอนล่างตามความลึกในดินที่ศึกษาทุกบริเวณ เนื่องจากดินมีการระบายน้ำดีถึงดีมาก ทำให้เกิดกระบวนการชะละลายเบสที่ละลายได้ออกไปจากชั้นดินตอนบน (อภิสิทธิ์, 2527; Watkins, 1975)

ฐานวิธานของดิน แสดงให้เห็นว่า ดินในทุกบริเวณมีพัฒนาการค่อนข้างสูงถึงสูง มีหน้าตัดดินแบบ A-Bt-(BCrt)-(Crt) โดยพบชั้นสะสมดินเหนียว ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายของอนุภาคขนาดเล็กลงมาจากชั้นดินบน และลักษณะของวัตถุต้นกำเนิดดินมีความสัมพันธ์กับฐานภูมิประเทศที่เป็นที่สูง ซึ่งเป็นยอดเนิน หรือไหล่เขา ที่วัตถุต้นกำเนิดดินมักเกิดจากเศษหินเชิงเขา วางตัวบนวัสดุตกค้าง (เอิบ, 2534)

2. สมบัติทางกายภาพของดิน

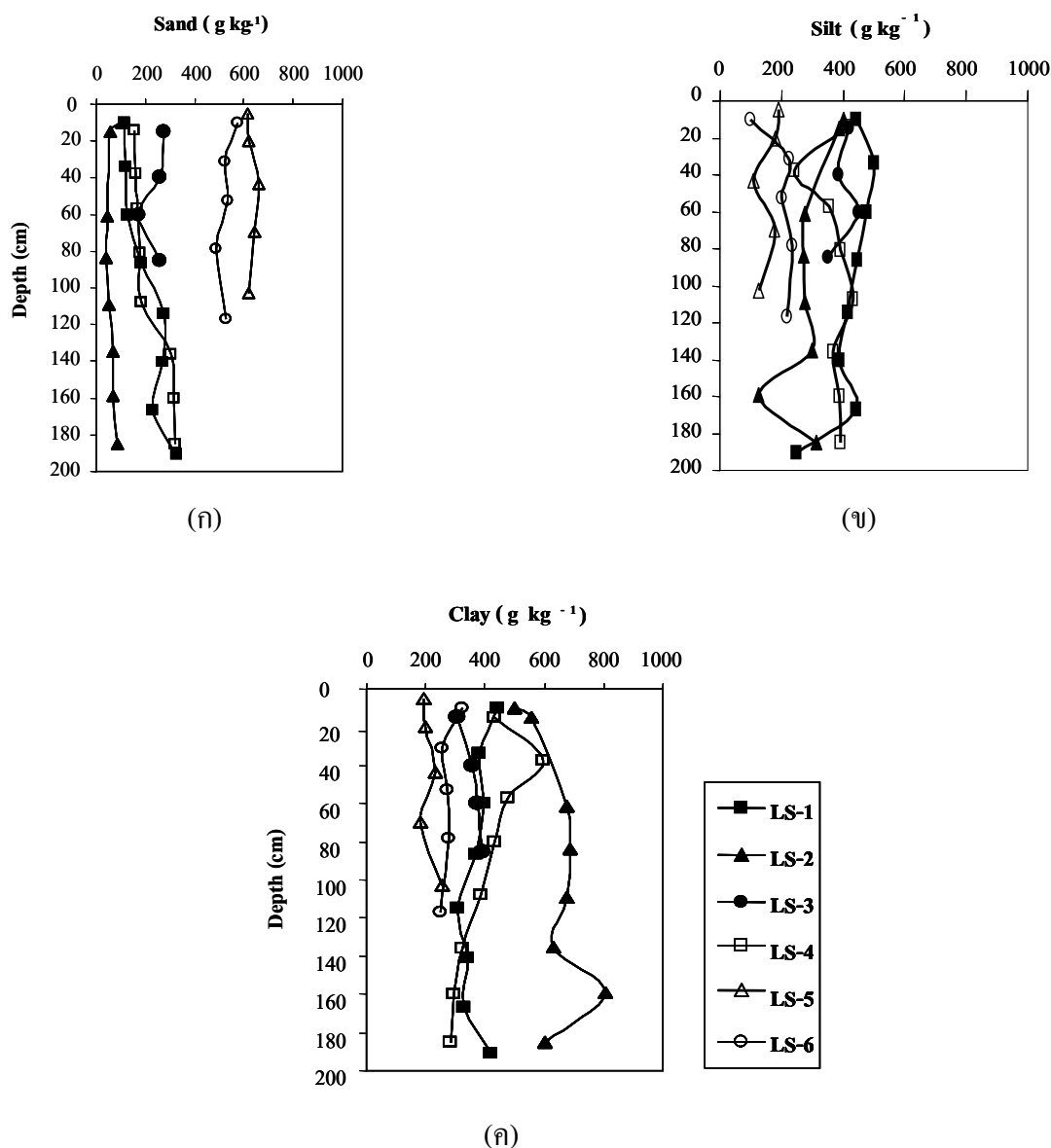
2.1 การแจกกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดิน

ผลการวิเคราะห์การแจกกระจายขนาดของอนุภาคดินตามความลึกในแต่ละชั้นแสดงไว้ในตารางผนวกที่ 20

การแจกกระจายขนาดของอนุภาคทรายดินตามความลึกในดินที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 12) พบว่า มีรูปแบบการแจกกระจายภายในหน้าตัดดิน 2 ลักษณะ คือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกในดินบริเวณที่ 1 และ 4 มีค่าอยู่ในพิสัย 113-329 และ 156-322 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ส่วนการแจกกระจายตามความลึกอีกลักษณะหนึ่งคือ มีแนวโน้มลดลงในตอนบน และเพิ่มขึ้นในตอนล่างของหน้าตัดดินในบริเวณที่ 2 3 5 และ 6 โดยมีปริมาณการแจกกระจายจากตอนบนลงล่างภายในแต่ละหน้าตัดอยู่ในพิสัย 40-102 174-259 614-659 และ 487-577 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ส่วนปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้ง มีแนวโน้มลดลงตามความลึกในดินบริเวณที่ 1 ส่วนดินในบริเวณที่ 3 มีปริมาณเพิ่มขึ้นในตอนบน และลดลงในตอนล่าง ส่วนดินที่เหลือ (บริเวณที่ 2 4 5 และ 6) มีแนวโน้มลดลงในตอนบน และเพิ่มขึ้นในตอนล่าง โดยมีปริมาณการแจกกระจายภายในหน้าตัดดินของอนุภาคขนาดนี้อยู่ในพิสัย 248-499 348-449 125-401 241-430 109-191 และ 98-235 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ส่วนปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวมีการแจกกระจาย 3 ลักษณะ คือ 1) มีแนวโน้มลดลงตามความลึกในดินบริเวณที่ 4 และ 6 โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 324-599 และ 252-325 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ 2) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกในดินบริเวณที่ 2 3 และ 5 โดยมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวแจกกระจายอยู่ในพิสัย 497-807 304-394 และ 181-253 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และ 3) มีแนวโน้มลดลงในตอนบน และเพิ่มขึ้นในตอนล่างของหน้าตัดดินในดินบริเวณที่ 1 ซึ่งมีค่าอยู่ในพิสัย 310-445 กรัมต่อกิโลกรัม

เมื่อเปรียบเทียบผลวิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวของดินทั้ง 6 บริเวณ พบว่า ดินบริเวณที่ 1 2 และ 3 มีเนื้อดินบนหนาแน่นกว่าในชั้นดินล่าง เนื่องจากอิทธิพลของการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิด และการกร่อนที่ผิวหน้าดิน ส่วนดินบริเวณที่ 4 5 และ 6 เนื้อดินบนค่อนข้างละเอียดกว่าชั้นดินล่าง เนื่องจากอิทธิพลของการกร่อนดินที่เกิดขึ้นได้เร็วกว่าอัตราการสร้างตัวของดินที่เกิดจากการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535) ดินแต่ละบริเวณพบการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) ของอนุภาคขนาดเล็ก และกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (eluviation) ไปสะสมในดินชั้นล่าง ทำให้ดินตอนบนมี

อนุภาคขนาดใหญ่เหลืออยู่มาก ส่วนดินที่พบว่าในตอนล่างจะมีอนุภาคขนาดเล็กโดยเฉพาะดินเหนียวเพิ่มขึ้น (Soil Survey Staff, 1975; Buol *et al.*, 1989; Soil Survey Staff, 1996) ซึ่งเกิดจากกระบวนการสร้างตัวใหม่ และการสลายตัวของแร่ภายในชั้นดิน (Birkeland, 1974; Legro, 1985, Brady, 1990) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้ส่งผลให้มีการสะสมอนุภาคดินเหนียว และลักษณะของเนื้อดินที่ทำการศึกษาได้รับอิทธิพลจากวัตถุต้นกำเนิดดินในวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีเนื้อหยาบเนื่องจากมีปริมาณของอนุภาคขนาดทรายสูง ดังเช่นในบริเวณพื้นที่ศึกษาที่ 5 และ 6 โดยลักษณะของดินที่พบมักเกิดบนหินโดยตรงจะมีลักษณะของหินนั้น ๆ ปรากฏอยู่เห็นได้ชัด ก็จะพบเศษหินเหลือตกค้างอยู่ในหน้าตัดดิน ส่วนในกรณีของดินบริเวณที่ 1 และ 4 มีการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคขนาดทรายจาก 113.9 เป็น 328.7 และ 156.8 เป็น 321.7 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และอนุภาคขนาดดินเหนียวจาก 444.1 เป็น 423.0 และ 430.2 เป็น 285.5 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งที่มีลักษณะการแจกกระจายของอนุภาคต่าง ๆ ก่อนข้างแปรปรวนในหน้าตัดดินบ้างเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของความแตกต่างที่เกิดจากการทับถมของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นเศษหินเชิงเขาบนวัสดุตกค้าง อย่างไรก็ตาม ยังคงพบต่อเนื่องกันตามลำดับชั้นกำเนิดดินซึ่งเป็นผลมาจากการสร้างดินมานาน (อภิสิริ, 2530, Fanning and Franning, 1989) ทั้งยังบ่งชี้ว่าดินมีความเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของการกร่อน และการทับถม (Buol *et al.*, 1989) และชั้นวัสดุที่แตกต่างกันมักจะแสดงความแตกต่างของความพรุน การแจกกระจายของขนาดอนุภาค แร่วิทยา ความหนาแน่นรวม สี หรือสมบัติอื่นตามความลึก (เอิบ, 2542) เมื่อเปรียบเทียบผลการแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน การแจกกระจายของอนุภาคดินกับเกณฑ์การจำแนกชั้นเนื้อดิน ตามหลักของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (เอิบ, 2542; Soil Survey Division Staff, 1993) พบว่า ในดินบนมีลักษณะเนื้อดินแบ่งเป็น ดินเนื้อหยาบปานกลางในดินบริเวณที่ 5 ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินเนื้อละเอียดปานกลางในดินบริเวณที่ 3 และ 6 ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวถึงเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย และเป็นดินเนื้อละเอียดในดินบริเวณที่ 1 2 และ 4 ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวถึงเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง ส่วนในดินล่างมีลักษณะเนื้อดิน คือ เนื้อดินปานกลางในดินบริเวณที่ 1 โดยมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ส่วนดินเนื้อละเอียดปานกลางในดินบริเวณที่ 3 5 และ 6 ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวถึงเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย และเป็นดินเนื้อละเอียดในดินบริเวณที่ 2 และ 4 ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวกล่าวโดยสรุปก็คือ เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวปนทรายถึงเป็นดินเหนียว ดินที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนที่มีเนื้อหยาบมากกว่า หรือเท่ากับดินล่าง เนื่องจากดินบนมีอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งเป็นเม็ดของแร่ควอร์ตซ์ ที่มีความทนทานต่อการสลายตัวสูงเป็นส่วนใหญ่ (Buol *et al.*, 1989)



ภาพที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคขนาดทราย (ก) ขนาดทรายแป้ง (ข) และอนุภาคขนาดดินเหนียว (ค) กับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา

2.2 ความหนาแน่นรวมของดิน (ภาพที่ 13)

ความหนาแน่นรวมของดินวัดโดยวิธี core method ตามความลึกในแต่ละชั้นแสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 2 ลักษณะของดินที่บริเวณทำการศึกษากว่า 6 บริเวณ พบว่า ดินบริเวณที่ 1 ความหนาแน่นรวมของดินที่พบในชั้นดินบนอยู่ในระดับต่ำถึงระดับค่อนข้างต่ำ (1.22-1.23 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เมื่อใช้เกณฑ์ของนงคราญ (2529) และ Brady (1990) ส่วนในดินล่าง อยู่ใน

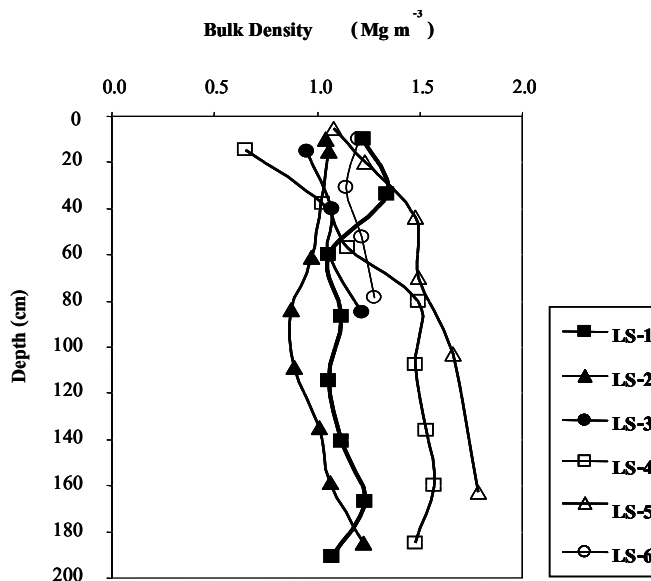
ระดับต่ำถึงปานกลาง (1.06-1.51 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยค่าความหนาแน่นรวมของดินในบริเวณที่ 1 ที่ชั้นความลึกระหว่าง 153-181 เซนติเมตร มีค่าความหนาแน่นเริ่มสูงขึ้นกว่าในดินในตอนบน ส่วนดินบริเวณที่ 2 ความหนาแน่นรวมของดินในตอนบนอยู่ในระดับต่ำ (1.03-1.06 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ส่วนในชั้นดินล่างนั้นจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (0.80-1.23 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ค่าความหนาแน่นรวมดินบริเวณที่ 2 นี้ ที่ระดับความลึกของชั้นดินระหว่าง 170-200 เซนติเมตร มีค่าความหนาแน่นเริ่มสูงขึ้นกว่าชั้นข้างบนอย่างชัดเจน ดินบริเวณที่ 3 ความหนาแน่นรวมของดินในตอนบนอยู่ในระดับต่ำ (0.87-1.02 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ส่วนในชั้นดินล่างอยู่ในระดับต่ำ (0.98-1.22 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และค่าความหนาแน่นรวมที่ช่วงความลึกของชั้นดินระหว่าง 70-100 เซนติเมตร มีค่าความหนาแน่นเริ่มสูงขึ้นกว่าดินตอนบนอย่างมาก ดินบริเวณที่ 4 ค่าความหนาแน่นรวมของดินในตอนบนอยู่ในระดับต่ำ (0.49-0.81 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ส่วนในดินล่างอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (0.98-1.57 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่ช่วงความลึกของชั้นดินระหว่าง 68-110 เซนติเมตร ดินบริเวณที่ 5 ความหนาแน่นรวมของดินในตอนบนอยู่ในระดับต่ำ (1.02-1.14 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สำหรับในดินล่างอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างสูง (1.19-1.78 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยมีค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นอย่างมากตั้งแต่ความลึก 100 เซนติเมตรลงไป และดินบริเวณที่ 6 ความหนาแน่นรวมของดินในตอนบนอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างต่ำ (1.20-1.21 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยในดินล่างอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (1.12-1.41 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)ซึ่งค่าความหนาแน่นรวมของดินในบริเวณนี้ ที่ระดับความลึกระหว่าง 42-63 เซนติเมตร มีค่าความหนาแน่นรวมดินล่างเริ่มสูงขึ้น โดยค่าความหนาแน่นรวมที่สูงขึ้นนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ลดลง และการสะสมดินเหนียวที่เพิ่มขึ้นในดินที่ศึกษาทุกบริเวณ ซึ่งปกติดินในทุกบริเวณมีความหนาแน่นรวมของดินในดินล่างสูงกว่าในดินบน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก เนื่องจากมีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า และมีการเคลื่อนย้ายดินเหนียวสู่ชั้นดินล่าง ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดจะแทรกตัวอยู่ในช่องว่างในดิน ทำให้ดินแน่นทึบขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; Foth, 1990)

เมื่อพิจารณาถึงค่าความหนาแน่นรวม จะพบว่า ในชั้นดินตอนล่างที่มีค่านี้เพิ่มสูงขึ้น มักจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการซึมผ่านของน้ำลงสู่ส่วนลึกของหน้าตัดดิน ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อความชื้นหรือน้ำลงมาสะสมระหว่างชั้นดินดังกล่าว จะทำให้เกิดแรงกดดันในช่องว่างระหว่างอนุภาคซึ่งก่อให้เกิดการเลื่อนไถลได้ ความหนาแน่นรวมเป็นสมบัติที่ได้รับผลกระทบจากชนิดของเนื้อดิน และโครงสร้างดิน ซึ่งดินทั้ง 6 บริเวณ มีค่าที่อยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างสูง ลักษณะของเนื้อดินมีเนื้อดินปานกลางถึงละเอียด คือ ดินร่วนเหนียวปนทรายจนถึงดินเหนียวซึ่งพบอยู่ในดินบริเวณ

ที่ 1 2 3 และ 4 ส่วนดินบริเวณที่ 5 และ 6 ลักษณะของเนื้อดินเป็นเนื้อหยาบปานกลางถึงเนื้อละเอียดปานกลาง คือ ดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย และโครงสร้างดินส่วนใหญ่เป็นก้อนเหลี่ยมมุมมน จึงมีสภาพให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้ โดยปกติดินมีความชื้น และมีอากาศอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาค ทำให้วัสดุผิวดินเกิดการยึดตัว เมื่อมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นปริมาณช่องว่างจะถูกแทนที่ด้วยน้ำทั้งหมด และเมื่อดินได้รับความชื้นเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ก็จะมีการสะสมความชื้นได้ดินในบริเวณสัมผัสระหว่างดินกับหินพื้น จึงเกิดการสูญเสียแรงยึดระหว่างอนุภาคได้ ปริมาณน้ำที่เข้าไปแทนที่ในช่องว่างทำให้เกิดแรงกดดันในช่องว่างที่จะผลักดันอนุภาคออกจากกัน เกิดการเลื่อนไถลในลักษณะของแผ่นดินถล่ม (Nilsen and Turner, 1975) ได้ในที่สุด

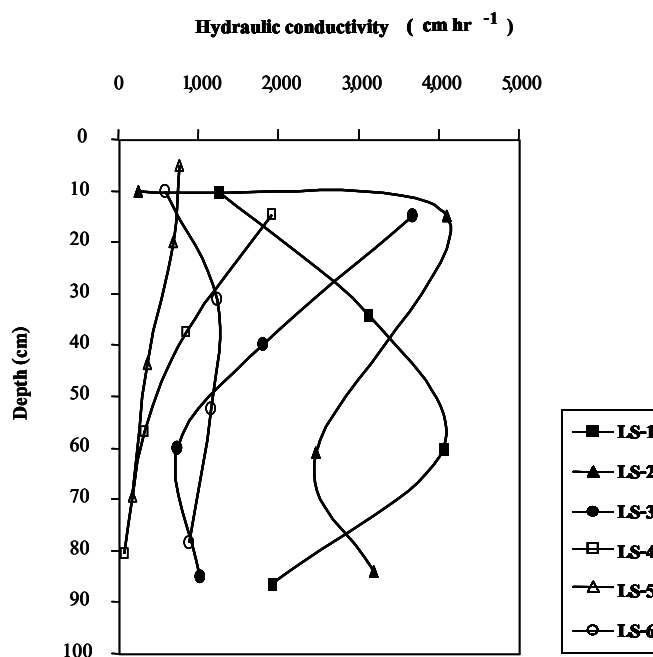
2.3 ค่าสภาพน้ำน้ำขณะดินอิ่มตัว

ผลการวิเคราะห์ค่าสภาพน้ำน้ำขณะดินอิ่มตัวในดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 บริเวณ แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 2 เป็นการศึกษาเฉพาะดินบนและดินชั้นถัดลงมา โดยใช้เกณฑ์ในการแบ่งระดับชั้น (O' Neal, 1952) ซึ่งโดยปกติแล้วค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดิน ชนิดของเนื้อดิน ขนาดรูปร่าง การเชื่อมโยง การแจกกระจายของช่องว่างในดิน และชนิดของไอออนที่ทำให้อนุภาคดินฟุ้งกระจาย (สุนทรี, 2529) โดยพบว่า ในดินบนและดินล่างค่าที่ได้อยู่ในระดับเร็วมาก โดยมีค่าตั้งแต่ 69.2-4,107.6 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยพบว่า ค่าสภาพน้ำน้ำขณะดินอิ่มตัวมีค่าเฉลี่ยในตอนบนของหน้าตัดดินสูงสุดในดินบริเวณที่ 1 และ 2 ค่านี้ในดินบนจะมีค่าน้อยกว่าในชั้นดินล่างในดินบริเวณที่ 1 2 และ 6 ขณะที่ดินในบริเวณที่ 3 4 และ 5 ค่าสภาพน้ำน้ำขณะดินอิ่มตัวมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ตามความลึก จากการที่ดินเหล่านี้มีค่าสภาพน้ำน้ำขณะดินอิ่มตัวอยู่ในเกณฑ์ที่เร็วมากในตอนบนเนื่องจาก ดินบนมีช่องว่างขนาดใหญ่กว่า เพราะมีอนุภาคขนาดทรายมากกว่าในชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป ในหน้าตัดดิน มีความหนาแน่นรวมต่ำกว่า และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าในชั้นดินข้างล่าง ทำให้โครงสร้างของดินในตอนบนไม่อัดตัวแน่น



ภาพที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมกับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิด
แผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา

ค่าสภาพน้ำขณะดินอิ่มตัวที่ปรากฏนี้ แสดงให้เห็นว่า น้ำที่เกิดจากฝนที่ตกลงมา สามารถซึมผ่านลงไปสู่ตอนล่างของหน้าตัดดินได้อย่างรวดเร็วเมื่อพิจารณาดินในทุกบริเวณที่ทำการศึกษา หากไม่พบชั้นที่กีดขวางการซึมผ่านของน้ำในหน้าตัดดิน หรือพบอยู่ในส่วนที่อยู่ลึกมาก ๆ ก็จะไม่พบปัญหาการสะสมน้ำในตอบน แต่เนื่องจากบริเวณที่เกิดดินถล่มที่คัดเลือกมาศึกษานี้ พบชั้นที่กีดขวางการไหลของน้ำอยู่ในช่วงชั้นความลึกระหว่าง 100-200 เซนติเมตรเป็นส่วนใหญ่ ดินในพื้นที่เหล่านี้จึงเกิดการอิ่มตัวได้เร็ว ช่องว่างระหว่างอนุภาคดินมีน้ำบรรจุอยู่เต็ม แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินก็จะน้อยลง ประกอบกับน้ำในดินมีความดันมากขึ้นทำให้เม็ดดินไม่สามารถยึดเหนี่ยวกันไว้ได้ จึงเกิดการเหลวตัวทำให้มีการเคลื่อนตัวของดินได้ จากสภาพพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง และในบริเวณพื้นที่ศึกษา ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ตั้งแต่ปี 1989-2004 อยู่ที่ 2,075 มิลลิเมตร พื้นที่ดังกล่าวมักมีฝนตกติดต่อกันเป็นเวลาหลายวัน คือ ฝนตกหนักตลอดทั้งวันทั้งคืนมีปริมาณน้ำฝนรายวันบางครั้งมีปริมาณมากกว่า 100 มิลลิเมตร (Namuwaya, 2006) พร้อมกับค่าสภาพน้ำในช่วงบนของหน้าตัดดินเร็วถึงเร็วมากทำให้พื้นที่ศึกษาเกิดการเลื่อนไถลของดินได้ แต่ถ้าหากพบชั้นกีดขวางการซึมของน้ำอยู่ในระดับที่ตื้นหรือใกล้ผิวดิน ก็มักจะส่งเสริมให้เกิดการกร่อนดินที่ผิว ทำให้ดินบนถูกกัดเซาะได้ง่ายมีค่าสภาพน้ำขณะดินอิ่มตัวสูง (อภิลิทธิ, 2527; สุนทรี, 2529; Buol *et al.*, 1989; Brady, 1990) ก่อให้เกิดสภาพภูมิประเทศแบบร่องริ้ว หรือร่องลึก ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างลารางในพื้นที่ภูเขาหรือพื้นที่ลาดชันมากทั่วไป



ภาพที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพน้ำขณะดินอิ่มตัวกับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา

นอกจากนี้ ค่าสภาพน้ำขณะดินอิ่มตัวจะแปรผันโดยตรงกับความชื้น สภาพของ ความชื้นในดิน เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนตัวของดินบนที่ลาดชัน โดยทั่วไปสมบัติเหล่านี้มีความแปรผันขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อดิน อินทรีย์วัตถุในดิน สารละลายในดิน ดินที่มีความชื้นสูงน้ำจะบรรจุในช่องขนาดใหญ่ของดินนั้น และจะไหลไปได้อย่างรวดเร็ว ขณะที่ความหนาแน่นรวมเป็นสมบัติที่ได้รับผลกระทบจากชนิดของเนื้อดิน และ โครงสร้างดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

2.4 ค่าดัชนีพลาสติกของดิน (plasticity Index: PI)

การวัดค่าความเหนียวของดินตามวิธีขีดจำกัดของอัตราเตอร์เบอร์ก เป็นวิธีการประเมินความยากง่ายในการเหลวตัวของดิน ความเหนียวของดิน เป็นสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของดิน เมื่อดินที่แห้งสนิทจะไม่มีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้นเลย ดินจะมีแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อดินได้รับความชื้นมากขึ้นเรื่อย ๆ จนเกินขีดจำกัดพลาสติก (plastic limit) ดินแทบจะไม่มีแรงยึดเหนี่ยว หรือไม่มีเลย เมื่อดินได้รับความชื้นมากขึ้นถึงขีดจำกัดของเหลว (liquid limit) ซึ่งค่าที่ได้จากผลต่างระหว่างขีดจำกัดของเหลวกับขีดจำกัดพลาสติก เรียกว่า ค่าดัชนีพลาสติก (plastic index) โดยที่ดินแต่ละชนิดมีค่าดัชนีพลาสติกไม่

เท่ากัน โดยที่ดินที่มีค่าดัชนีพลาสติกต่ำ ตั้งแต่ 5-20 เมื่อได้รับความชื้นดินสามารถเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวได้ง่าย และดินที่มีค่าดัชนีพลาสติกมากกว่า 35 ดินต้องรับความชื้นเข้าไปมากกว่าจึงจะสามารถเป็นเป็นจุดเหลว (วรากร และคณะ, 2546)

การเหลวตัวของดินทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดิน เกี่ยวข้องกับสมบัติการอุ้มน้ำของดิน และมีความเกี่ยวข้องกับค่าของขีดจำกัดของเหลว (liquid limit) ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นต่อน้ำหนักดิน จากค่าขีดจำกัดพลาสติกของดินเมื่อได้รับความชื้นมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่ดินสามารถจับตัวกันได้ไม่เป็นของเหลว เมื่อช่องว่างระหว่างอนุภาคดินมีน้ำบรรจุอยู่เต็มไปหมดแรงจับตัวระหว่างเม็ดดินจะน้อยลง ประกอบกับน้ำในดินมีความดันมากขึ้นทำให้เม็ดดินไม่สามารถยึดเหนี่ยวกันไว้ได้ จึงเกิดการเหลวตัวและง่ายต่อการถูกกระแสทำให้เคลื่อนที่ไปกับน้ำ และค่าของจุดเหลวจะหาได้เฉพาะดินที่มีเนื้อละเอียดที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินเท่านั้น ส่วนเม็ดดินที่มีเนื้อหยาบจะไม่สามารถหาค่าจุดเหลวได้ เนื่องจากจะไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินที่เกิดจากแรงดึงดูดของน้ำ ที่เป็นแรงเหนี่ยวน้ำเกิดเฉพาะดินเปือกเท่านั้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ค่าการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงค่าดัชนีพลาสติกของดินบริเวณที่ทำการศึกษ แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 20 ค่านี้จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะของเนื้อดินอย่างใกล้ชิด ซึ่งผลวิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคดินดังที่ได้กล่าวมาแล้ว พบว่า ลักษณะของเนื้อดินทั้ง 6 บริเวณ มีเนื้อดินปานกลางถึงละเอียด คือ ดินร่วนเหนียวปนทรายจนถึงดินเหนียวอยู่ในดินบริเวณที่ 1 2 3 และ 4 ส่วนดินบริเวณที่ 5 และ 6 ลักษณะของเนื้อดินเป็นเนื้อหยาบปานกลางถึงเนื้อละเอียดปานกลาง คือ ดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย ทำให้ค่าดัชนีพลาสติกของดินของดินเหล่านี้มีความแตกต่างกัน

ค่าดัชนีพลาสติกของดินในดินบริเวณที่ 1 ดินบนมีค่าเท่ากับร้อยละ 23.84 ในดินล่างมีค่าเท่ากับร้อยละ 9.70-29.78 แต่เนื่องจากค่าดัชนีพลาสติกของดินหากมีค่าสูงกว่าร้อยละ 35 ดินมักจะเปลี่ยนเป็นสภาพเหลวได้ยาก แต่หากมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 20 ก็จะเปลี่ยนเป็นสภาพเหลวได้เร็ว เมื่อได้รับความชื้นพอประมาณ (วรากร และคณะ, 2546) สำหรับค่าที่วิเคราะห์ได้ในดินบริเวณที่ 1 มีค่าขีดจำกัดของเหลว (liquid limit) ในดินบนร้อยละ 55.97 ส่วนในดินล่างมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 49.46-60.16 ซึ่งเป็นปริมาณของน้ำเมื่อดินได้รับความชื้นในปริมาณดังกล่าวจะทำให้ดินที่ทำการศึกษเกิดการเลื่อนไหลถล่มลงมาได้

ตาราง 6 ค่าของขีดจำกัดของเหลว (liquid limit) (%)

Horizon	LS-1	LS-2	LS-4	Horizon	LS-3	LS-5	LS-6
A	55.97	69.33	62.46	A	62.19	36.13	33.76
Bt1	50.31	61.88	53.83	Bt1	52.96	23.75	33.25
Bt2	49.46	60.17	50.74	Bt2	52.40	0.00	31.51
Bt3	53.36	60.56	47.15	Bt3	47.33	25.59	26.49
Bt4	60.16	64.84	43.56	BCrt	-	19.98	24.82
Bt5	55.07	61.77	46.86				
Bt6	55.65	63.94	40.22				
Bt7	54.13	69.14	44.58				

จากผลการศึกษา พบว่า ดินในบริเวณที่ 1 ในชั้นที่ Bt6 ที่ระดับความลึก 153-181 เซนติเมตร มีค่าดัชนีพลาสติกของดินเท่ากับ 9.70 และดินมีค่าของจุดเหลว คือ 55.65 ชั้นนี้จึงน่าจะมีการเปลี่ยนเป็นสภาพเหลวได้ง่ายกว่าชั้นอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีพลาสติกต่ำมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ชั้นนี้วางตัวอยู่บนชั้น Bt7 ที่มีปริมาณดินเหนียวสูงกว่าชั้น Bt6 เกือบ 100 กรัมต่อกิโลกรัมดิน ซึ่งก็จะไปกีดขวางการไหลซึมของน้ำ เนื่องจากมีความแน่นมากกว่าชั้นข้างบนที่เปลี่ยนเป็นสภาพเหลวได้ง่าย ดังนั้น จุดเริ่มต้นที่เกิดการเลื่อนไถลของดินในบริเวณนี้จึงน่าจะอยู่ในช่วงชั้นความลึกที่เป็นรอยต่อระหว่างชั้น Bt6 และ Bt7 สำหรับบริเวณที่อยู่ต่ำลงไปการถล่มจะเกิดได้ในระดับที่ลึกกว่า เนื่องจากน้ำหนักของดินและน้ำที่ตกลงมาทับจากตอนบนของสภาพภูมิประเทศ

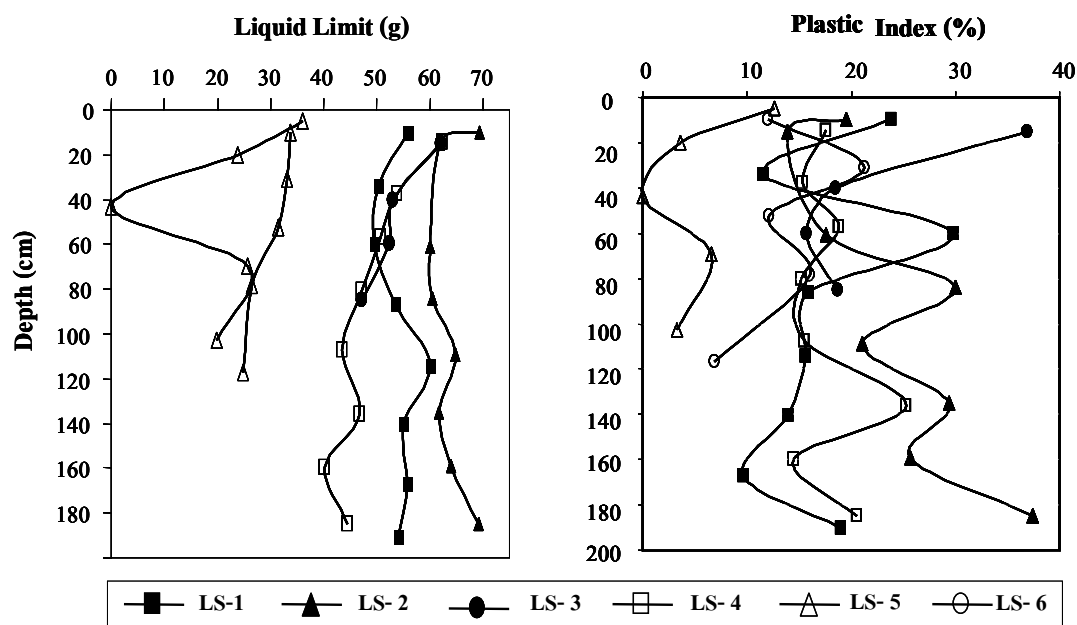
ดินบริเวณที่ 2 ดินบนมีค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับร้อยละ 19.50 และลดลงเล็กน้อยในชั้น Bt1 และ Bt2 (ร้อยละ 13.89 และ 17.56 ตามลำดับ) ส่วนชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปมีค่าอยู่ในพิสัยตั้งแต่ ร้อยละ 21.10-37.43 และค่าปริมาณจุดเหลวของบริเวณพื้นที่ศึกษา ในดินบนมีค่า คือ ร้อยละ 69.39 ส่วนดินล่างมีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 60.17-69.14 โดยพบว่า ชั้น Bt7 มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งเพิ่มมากขึ้นจากชั้น Bt 6 ซึ่งมีอยู่เพียง 125.3 กรัมต่อกิโลกรัม เพิ่มเป็น 314.4 กรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ชั้น Bt7 ดังกล่าวมีความหนาแน่นรวมสูงเท่ากับ 1.23 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่า 1.06 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในชั้น Bt6 ดังนั้น น้ำที่ไหลซึมลงมาจากตอนบนของหน้าตัดดินน่าจะรวมตัวสะสมอยู่ที่ชั้น Bt7 เมื่อดินมีน้ำหนักมากขึ้นในสภาพที่มีความลาดชัน ก็จะเกิดการเลื่อนไถล โดยจุดเริ่มต้นน่าจะในชั้นที่วางตัวบนชั้น Bt7 ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 170 เซนติเมตรขึ้นไป

ดินบริเวณที่ 3 ในดินบนมีค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับร้อยละ 36.87 ส่วนดินล่างค่าที่ได้คือ ร้อยละ 15.69-18.67 ซึ่งดินล่างจะมีค่าดัชนีพลาสติกมีค่าที่ต่ำกว่าร้อยละ 20 มีความสามารถทนทานต่อการได้รับความชื้นในระดับหนึ่งจึงจะเปลี่ยนสภาพเป็นเหลว โดยเฉพาะในชั้น Bt3 ที่มีค่าของความหนาแน่นรวมของดินสูงขึ้นจาก 1.06 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็น 1.22 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พร้อมกันนี้มีปริมาณของอนุภาคขนาดดินเหนียวและขนาดทรายแป้งที่เพิ่มสูงขึ้น คือ 348.7 และ 393.1 กรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ชั้นดินดังกล่าวมีลักษณะเนื้อดินแน่นทึบ และมีการวางตัวของชั้นดินบนชั้นหินผุ น้ำที่ไหลซึมลงมาจะไปสะสมในชั้นดังกล่าว ทำให้เกิดการอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน จึงเกิดการเลื่อนไถลในบริเวณชั้นดังกล่าว ปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีผลทำให้ดินเกิดการเลื่อนไถลในชั้นดังกล่าว คือ ร้อยละ 47.33

ดินบริเวณที่ 4 ดินบนมีค่าดัชนีพลาสติกของดินเท่ากับร้อยละ 17.62 ส่วนดินล่างมีค่าดัชนีพลาสติก คือ ร้อยละ 14.55-25.30 โดยส่วนมากชั้นดินมีค่าดัชนีพลาสติกที่น้อยกว่า ร้อยละ 20 ยกเว้นในชั้น Bt4 จะมีเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละ 25.30 ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของอนุภาคขนาดทรายแป้งที่เพิ่มขึ้นจาก 391.7 เป็น 430.7 กรัมต่อกิโลกรัม โดยที่ขนาดอนุภาคของทรายแป้งจะอุดตันในดินชั้นล่าง ทำให้ชั้นดังกล่าวมีค่าความหนาแน่นรวมสูง คือ 1.48 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พร้อมกับการพบแนวควอร์ตซ์เวิน (quartz vein) ที่ขนาบกันชั้นดิน ที่ความลึกประมาณ 130-180 เซนติเมตร ทำให้เกิดเป็นชั้นแน่นทึบ ชั้นเหล่านี้มักจะไปกีดขวางการไหลซึมของน้ำ คาดว่าเกิดการเลื่อนไถลในชั้นดังกล่าว จากบริเวณที่ศึกษาที่มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินฟิลไลต์ เมื่อมีการสลายตัวจะทำให้มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งสูง ซึ่งมีผลทำให้มีค่าความหนาแน่นรวมของดินสูงดังกล่าว

ดินบริเวณที่ 5 ในดินบนมีค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับร้อยละ 12.62 ส่วนในดินล่าง คือ ร้อยละ 0.00-3.34 บริเวณดังกล่าวมีค่าดัชนีพลาสติกอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง เนื่องจาก มีลักษณะเนื้อดินเป็นเนื้อหยาบ ซึ่งมีปริมาณของอนุภาคขนาดทรายที่เพิ่มสูงขึ้นตลอดทั้งชั้นภายในหน้าตัดดิน คือ มีค่าตั้งแต่ 614.4-658.8 กรัมต่อกิโลกรัม ทำให้มีเนื้อดินที่ไม่ก่อนเกาะตัวกัน เมื่อมีน้ำไปซึมผ่านลงมาอย่างรวดเร็ว ก็จะไปสะสมยังตอนบนของชั้น BCt ที่มีค่าความหนาแน่นรวมสูงถึง 1.67 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และยังพบชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นหินควอร์ตไซต์ ในชั้นล่างของหน้าตัดดินภายในระดับความลึก 2 เมตร การเกิดแผ่นดินถล่มมักเกิดในชั้นบริเวณดังกล่าว และในดินล่าง ความลึกระหว่าง 30-57 เซนติเมตร มีค่าเป็น 0.00 เนื่องจากจากเนื้อดินเป็นทรายจัดดินไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น พร้อมกันนี้ ชั้นดิน Bt1 ความลึกระหว่าง 10-30 เซนติเมตร และ ชั้นดิน BCt ความลึกระหว่าง 82-125 เซนติเมตร มีค่าดัชนีพลาสติกต่ำ คือ 3.34, 3.62 เซนติเมตร น้อยกว่าร้อยละ 5 ดินจึงไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น และจากตารางที่ 6 ค่าของจุดเหลวของดิน คือ มีค่าร้อยละ

ละ 36.13 ในดินบน และมีค่าร้อยละ 0.00-25.59 ปริมาณความชื้นที่ได้รับอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณที่ศึกษาอื่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้ดินบริเวณนี้เกิดการเลื่อนไถลได้ง่ายกว่าดินบริเวณอื่น เมื่อพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบทางกายภาพของดิน



ภาพที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลาสติกของดินและค่าจุดเหนียวของดินกับความลึกของดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ทำการศึกษา

ดินบริเวณที่ 6 ในดินบนมีค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับร้อยละ 12.07 ดินล่าง คือ ร้อยละ 6.94-21.28 เนื่องจาก เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีปริมาณของอนุภาคขนาดทรายที่สูงทั้งหน้าตัดดิน พบชั้นฟุ้งสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินของหินชนวนและควอร์ตซ์ไซต์ภายในหน้าตัดดิน พร้อมกับชั้นที่วางตัวอยู่บนชั้นหินหุ้มมีค่าดัชนีพลาสติกของดินต่ำกว่าร้อยละ 20 คือ ร้อยละ 6.94 ดังนั้น เมื่อดินในชั้นดังกล่าวได้รับความชื้น ก็จะเปลี่ยนเป็นสภาพเหลวได้ง่าย โดยที่ปริมาณความชื้นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวของดินในชั้นดังกล่าวมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จุดที่เกิดการเลื่อนไถลจึงมักจะเกิดในชั้นดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ค่าดัชนีพลาสติกของดินซึ่งมีความสัมพันธ์กับการแจกกระจายของอนุภาคในดิน บริเวณที่ทำการศึกษาทั้ง 6 บริเวณ พบว่า ดินบริเวณที่ 1 และ 2 มีค่าดัชนีพลาสติกที่อยู่ในระดับ 9.70-37.43 ซึ่งค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นทำให้มีลักษณะเนื้อดินที่ค่อนข้างละเอียด เนื่องจากมีปริมาณอนุภาคดินเหนียว และอนุภาคขนาด

ทรายแป้งที่สูงกว่าบริเวณอื่น ขณะที่ดินในบริเวณที่ 5 มีเนื้อหยาบกว่าดินอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมีปริมาณอนุภาคขนาดทรายสูง ทำให้ดินมีค่าดัชนีพลาสติกที่ต่ำ ส่วนดินในบริเวณที่ 4 เป็นดินที่มีสัดส่วนระหว่างอนุภาคขนาดปริมาณอนุภาคดินเหนียว อนุภาคขนาดทรายแป้ง และอนุภาคขนาดทราย ค่อนข้างใกล้เคียงกัน พร้อมกับการพบแนวควอร์ตซ์เวิน ทำให้ค่าดัชนีพลาสติกอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดและชนิดของวัตถุต้นกำเนิดที่แตกต่าง ทำให้มีค่าดัชนีพลาสติกที่มีความแตกต่างกัน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) อย่างไรก็ตามค่าดัชนีพลาสติกของดิน ค่อนข้างแปรปรวนภายในหน้าตัดดินดังแสดงไว้ในภาพที่ 14 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการสุมพังสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินที่ไม่ต่อเนื่องลงถึงระดับลึก (อภิสิทธิ์, 2530, Fanning and Franning, 1989) บ่งชี้ว่าดินมีความเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของการกร่อน และการทับถม (Buol *et al.*, 1989) และชั้นวัสดุที่แตกต่างกันมักจะแสดงความแตกต่างของความพรุน การแจกกระจายของขนาดอนุภาค ความหนาแน่นรวม สี หรือสมบัติอื่นตามความลึก (เอิบ, 2542) ที่ทำให้เนื้อดินต่างกันออกไป ในสภาวะความชื้นในดินเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนตัวของดินบนไหล่เขาลาดชัน โดยทั่วไปสมบัติเหล่านี้มีความผันแปรขึ้นกับชนิดของเนื้อดิน อินทรีย์วัตถุในดิน สารละลายในดิน และความชื้นในดิน โดยทั่วไปอนุภาคทราย มีค่าดัชนีพลาสติกต่ำหรือไม่มีเลย ส่วนอนุภาคทรายแป้งมีค่าดัชนีพลาสติกต่ำกว่าอนุภาคดินทราย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

3. สมบัติทางเคมีของดิน

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษา แสดงผลไว้ในตารางผนวกที่ 3 โดยพิจารณาตามเกณฑ์การประเมินระดับสมบัติทางเคมีตามตารางผนวกที่ 7 (นงคราญ, 2529; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

3.1 ปฏิกริยาดิน (ภาพที่ 15)

ดินที่ทำการศึกษาในแต่ละบริเวณ ดินบนมีค่าปฏิกริยาดินเมื่อวัดโดยใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำ 1:1 พบอยู่ในระดับเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (pH 4.5-5.9) ส่วนในดินล่างอยู่ในระดับเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.5-5.4) สำหรับในกรณีของค่าปฏิกริยาดินวัดโดยใช้อัตราส่วนของดินต่อสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1N 1:1 ดินบนอยู่ในระดับเป็นกรดรุนแรงมาก (pH 3.8-4.4) เช่นเดียวกับในดินล่าง (pH 3.5-4.1) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 15

ดินบริเวณที่ 1 มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ มีค่าอยู่ในพิสัย 4.7-5.4 เมื่อวัดในน้ำค่าปฏิกิริยาดินมีแนวโน้มโดยทั่วไปเพิ่มขึ้นในตอนกลางของหน้าตัดดิน และลดลงในตอนล่าง เมื่อวัดสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 3.5-3.8 โดยมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันตลอดหน้าตัดดิน

ดินบริเวณที่ 2 มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดแก่ มีค่าอยู่ในพิสัย 4.6-5.7 เมื่อวัดในน้ำ แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยาดินภายในหน้าตัดดิน มีค่าลดลงเล็กน้อยในชั้นที่อยู่ใต้ชั้นดินบนและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากตอนกลางของหน้าตัดดินลง เมื่อวัดค่านี้ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ค่าที่ได้เป็นกรดจัดมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 3.7-4.3 โดยมีค่าค่อนข้างแปรปรวนในตอนบนของหน้าตัดดิน ส่วนในตอนล่างมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน

ดินบริเวณที่ 3 มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดแก่ มีค่าอยู่ในพิสัย 5.3-5.9 เมื่อวัดในน้ำ โดยมีแนวโน้มโดยทั่วไปลดลงตามความลึก โดยมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยภายในหน้าตัดดิน แต่เมื่อวัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 3.5-4.4 โดยมีค่าลดลงตามความลึกอย่างชัดเจน

ดินบริเวณที่ 4 มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดแก่ มีค่าอยู่ในพิสัย 4.5-5.3 เมื่อวัดในน้ำค่าปฏิกิริยาดินมีแนวโน้มโดยทั่วไปเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยภายในหน้าตัดดินอย่างเห็นได้ชัด เมื่อวัดสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 3.6-3.9 ค่าปฏิกิริยาดินมีแนวโน้มโดยทั่วไปเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยมีค่าค่อนข้างคงที่เล็กน้อยในหน้าตัดดิน และมีความแปรปรวนเล็กน้อยภายในหน้าตัดดิน

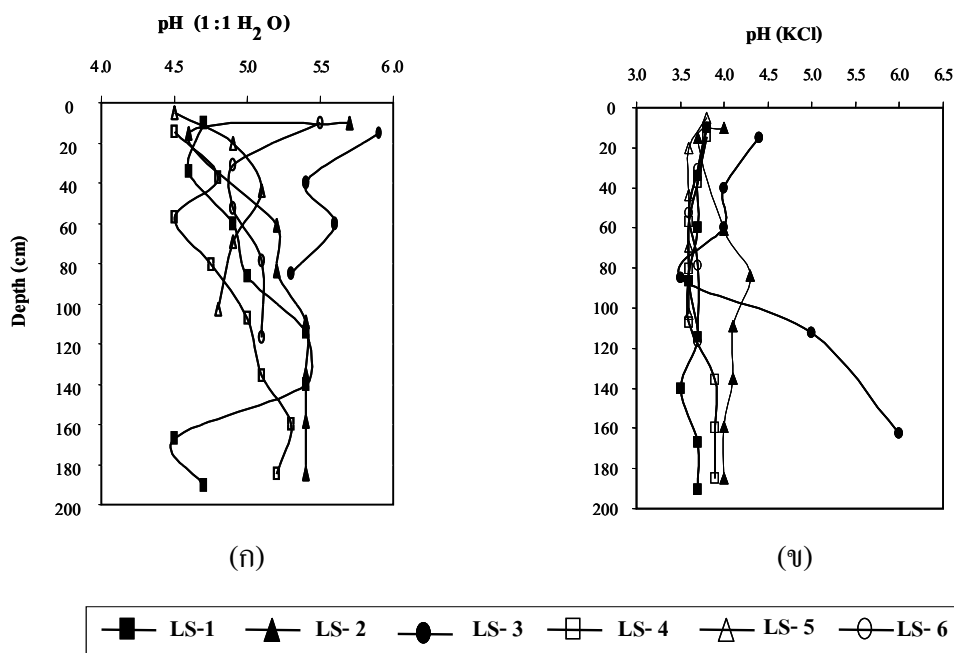
ดินบริเวณที่ 5 มีค่าปฏิกิริยาดินที่ทำการศึกษากเป็นกรดจัดมากถึงกรดแก่ มีค่าอยู่ในพิสัย 4.5-5.1 เมื่อวัดในน้ำค่าปฏิกิริยาดินมีแนวโน้มโดยทั่วไปมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน และเมื่อวัดสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 3.6-3.8 ค่าปฏิกิริยาดินมีแนวโน้มโดยทั่วไปลดลงตามความลึก โดยมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และค่อนข้างคงที่ตลอดหน้าตัดดิน

ดินบริเวณที่ 6 มีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ มีค่าอยู่ในพิสัย 5.1-5.5 เมื่อวัดในน้ำค่าปฏิกิริยาดินมีแนวโน้มโดยทั่วไปลดลงตามความลึก และมีความแปรปรวนในชั้นหน้าตัดดิน เมื่อวัดสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 3.6-3.8 ค่าปฏิกิริยาดินมีแนวโน้มโดยทั่วไปลดลงตามความลึก โดยมีค่าค่อนข้างแปรปรวนภายในหน้าตัดดิน

ค่าปฏิกิริยาดินของดินที่ทำการศึกษาในทุกบริเวณ พบว่า ในทุกชั้นดินของทุกดิน ค่าที่วัดโดยใช้น้ำจะมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1N ทำให้ผลต่างของค่าปฏิกิริยาดินที่มีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นถึงการที่ดินมีระบบดินที่มีประจุสุทธิ (net charge) เป็นลบ โดยเป็นระบบที่เน้นการแลกเปลี่ยนประจุบวกหรือไอออนบวก ซึ่งเป็นธรรมชาติของระบบที่ถูกควบคุมโดยอิทธิพลของแร่ดินเหนียวซิลิเกต (Sanchez, 1976) ค่าปฏิกิริยาดินในทุกดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด มีค่าอยู่ในพิสัย pH 4.5-5.9 ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการชะละลายแคตไอออนที่เป็นบวกออกไปจากหน้าตัดดิน ทำให้มีไฮโดรเจนไอออนสะสมที่ผิวอนุภาคของดินเหนียวในปริมาณมาก นอกจากนี้หน้าตัดดินที่ค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดมากกว่าหน้าตัดดินอื่น แสดงว่ามีการชะละลายที่มากกว่า และการพัฒนาการที่ค่อนข้างสูงกว่าด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; Brady, 1990)

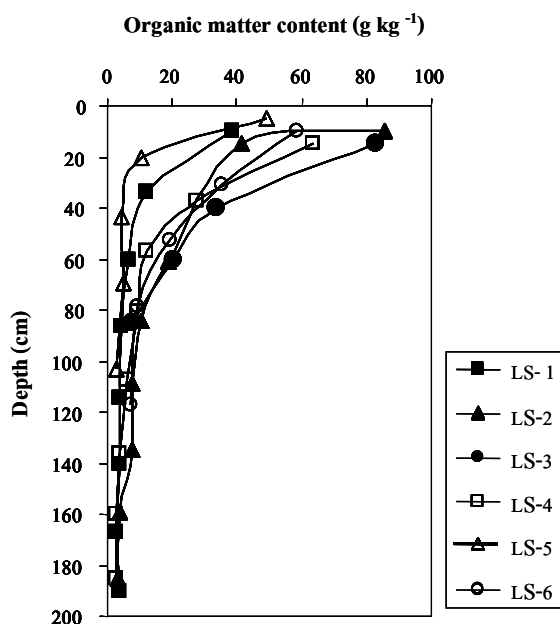
3.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ภาพที่ 16)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ทำการศึกษาทุกบริเวณ แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 3 โดยในดินบนทุกดินพบอยู่ในระดับสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 38.67-85.52 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในดินล่างมีปริมาณอยู่ในระดับต่ำมากถึงค่อนข้างสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 2.60-33.73 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณอินทรีย์วัตถุของทุกดินในชั้นดินบนจะมีปริมาณสูงกว่าในชั้นดินล่าง และมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุภายในหน้าตัดดินของดินบริเวณที่ 2 4 และ 6 มีการแจกกระจายลงไปในปริมาณพอสมควรถึงตอนบนของชั้นสะสมดินเหนียว (Bt1) โดยในชั้นดังกล่าวมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าร้อยละ 0.9 โดยดินที่มีปริมาณการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดินบนสูงสุดได้แก่ดินในบริเวณที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่าถึง 85.52 และ 82.76 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งลักษณะการสะสมดังกล่าวน่าจะมีผลมาจากการตกทับถมของเศษใบไม้ (litter) แล้วต่อมาเกิดการสลายตัวเป็นอินทรีย์วัตถุ



ภาพที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปฏิกิริยาดินที่วัดในน้ำ (ก) และในสารละลาย 1N KCl (ข) กับความลึกของดินที่ทำการศึกษา

สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูงในดินบนของทุกดิน และในบางบริเวณมีปริมาณมากจนถึงชั้นที่ต่อเนื่องลงมาจากชั้นดิน ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินตามธรรมชาติ โดยเฉพาะดินที่มีการพัฒนาในสภาพป่าไม้จะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง (Thomson and Troch, 1978) เป็นผลมาจากการทับถมของเศษซากพืช และใบไม้ตลอดจนรากพืชที่ขึ้นปกคลุมผิวดิน ส่วนดินล่างปริมาณอินทรีย์วัตถุจะลงไปสะสมมีอยู่น้อย เนื่องจากดินในเขตร้อน การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินบนจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว การชะละลายลงไปสะสมในดินล่างจึงเกิดขึ้นน้อย ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่วิเคราะห์ได้ จึงมีปริมาณต่ำในดินล่าง (Sanchez, 1976) ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่พบในดินที่ทำการศึกษานี้มีความสัมพันธ์กับความพรุนและการซึมน้ำได้ของดิน เช่นเดียวกับความหนาแน่นรวมของดินในตอนบนของทุกหน้าตัดดิน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ดินบนมีการเกาะตัวกันดี น้ำสามารถไหลผ่านลงไปภายในหน้าตัดดินได้ลึกระดับหนึ่ง หากพื้นที่เหล่านี้มีพืชพื้นล่างปกคลุม การเกิดการกร่อนดินจะไม่รุนแรง แต่อย่างไรก็ตาม การไหลซึมที่ค่อนข้างเร็วในตอนบนของหน้าตัดดินในทุกดิน จะทำให้เกิดการสะสมน้ำในดิน โดยเฉพาะชั้นที่วางตัวอยู่บนชั้นที่ขัดขวางการไหลของน้ำ หากมีฝนตกในปริมาณมากในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ก็จะส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนไถลของดินที่พบบนพื้นที่ที่มีความลาดชัน มาก ๆ ได้



ภาพที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินทรียวัตถุ กับความลึกของดินที่ทำการศึกษา

3.3 ปริมาณค่าที่สกัดได้ (ภาพที่ 18-20)

ปริมาณค่าที่สกัดได้ ได้แก่ ธาตุไอออนบวกที่เป็นค่าอยู่ในรูปที่สกัดได้ทำการวิเคราะห์ ในการศึกษา คือ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และ โซเดียม ผลการศึกษามีดังนี้

3.3.1 ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินมีค่าแปรผันตั้งแต่ ระดับต่ำมากถึงสูงมาก ค่าที่วิเคราะห์ได้อยู่ในพิสัย 0.03-63.68 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยแคลเซียมที่สกัดได้ของชั้นดินส่วนใหญ่ มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ ยกเว้นดินบริเวณที่ 3 มีค่าอยู่ในระดับสูงมาก (39.76-63.68 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของหินวัตถุต้นกำเนิดที่แตกต่างกันของดินในบริเวณดังกล่าวกับดินในบริเวณอื่น ซึ่งคาดว่า วัสดุตกค้างของหินต้นกำเนิดดินในบริเวณที่ 3 น่าจะเป็นหินชนวนที่มีปูนแทรกอยู่ (calcareous slate หรือ calcite bearing slate) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้กับความลึก ในแต่ละหน้าตัดดิน พบว่า ดินบริเวณที่ 1 2 4 5 และ 6 มีแนวโน้มลดลงตามความลึก แสดงให้เห็นว่า มีอิทธิพลของการชะละลายในดินส่วน

ใหญ่เกิดขึ้นมาก (Buol *et al.*, 1989) แต่มีข้อยกเว้น คือ ดินที่ทำการศึกษาในบริเวณที่ 3 ที่มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามความลึก ซึ่งอธิบายได้โดยเหตุผลข้างต้น

3.3.2 ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้

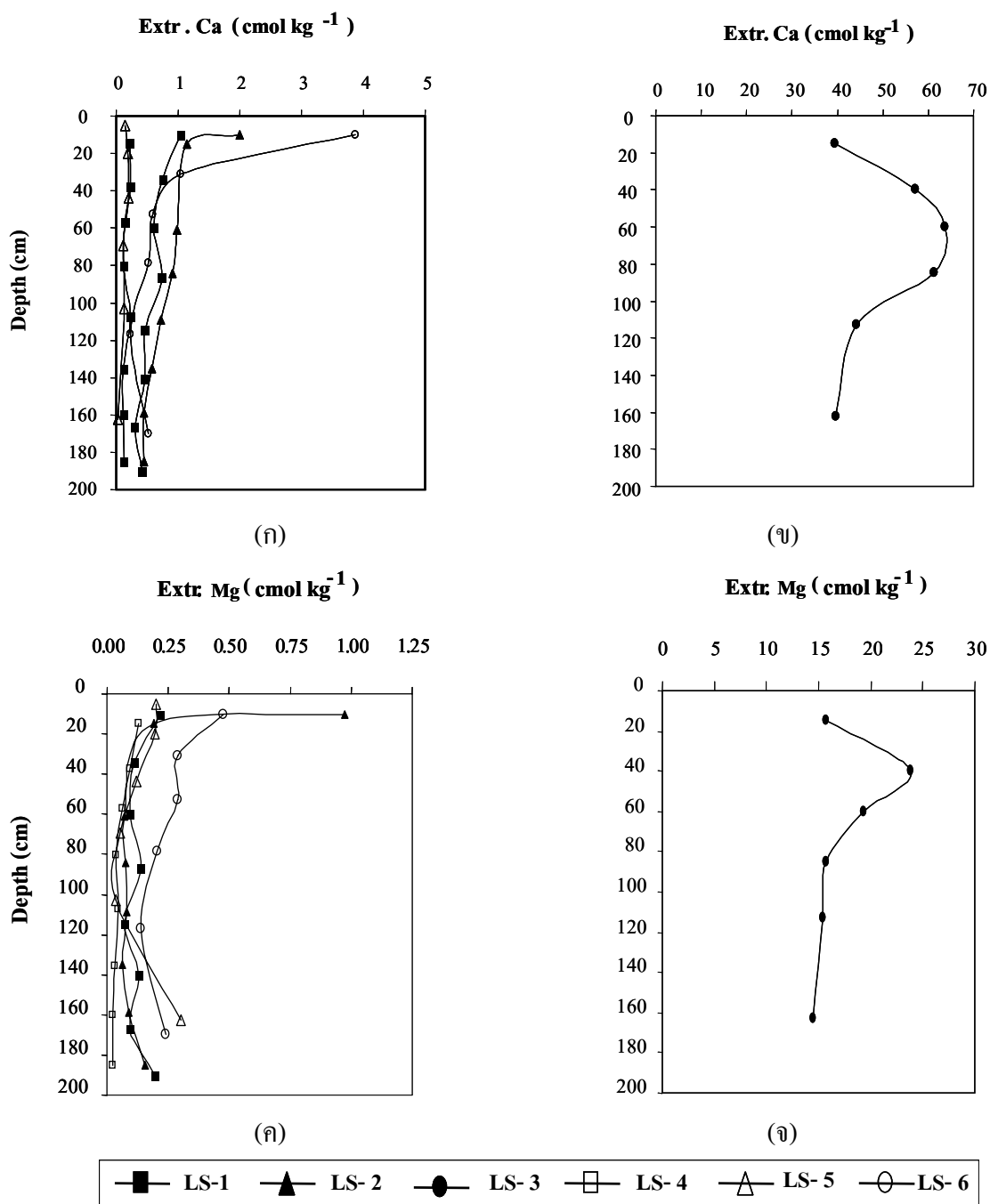
ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ของดินที่ทำการศึกษามีค่าต่ำมากถึงค่า ยกเว้นดินบริเวณที่ 3 ซึ่งมีค่าสูงมาก ซึ่งปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้นี้มีแนวโน้มการสะสมและแจกกระจายภายในหน้าตัดดินเป็นไปในลักษณะเดียวกับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ โดยค่าวิเคราะห์ได้ในดินที่เก็บจากบริเวณที่ 1 2 4 5 และ 6 พบอยู่ในพิสัย 0.02-0.98 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยในดินชั้นบนจะมีปริมาณมากกว่าในดินล่าง และมักมีค่าน้อยที่สุดในตอนล่าง ๆ ของหน้าตัดดิน สำหรับในกรณีของดินในบริเวณที่ 3 มีค่าอยู่ในพิสัย 15.71-23.82 เซนติโมลต่อกิโลกรัมซึ่งมีปริมาณสูงกว่าดินอื่น ๆ ที่ทำการศึกษามาก

แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้จากดินที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 17) โดยส่วนใหญ่พบในปริมาณต่ำถึงต่ำมาก ยกเว้นในดินบริเวณที่ 3 มีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้จากดินอยู่ในระดับสูงมาก เนื่องจากวัตถุดิบกำเนิดดินที่แตกต่างกัน ส่วนในกรณีของดินอื่น จะเป็นดินที่มีพัฒนาการอยู่ในระบบที่มีค่าต่ำ เนื่องจากการอิทธิพลของวัตถุดิบกำเนิดดินที่มีธาตุชะละลายที่มีธาตุที่เป็นด่างเป็นองค์ประกอบอยู่น้อย ซึ่งได้แก่ หินควอร์ตไซต์ นอกจากนี้การที่วัตถุดิบกำเนิดดินมีการผุพังสลายตัวมากขึ้น อิทธิพลชะละลายอย่างต่อเนื่อง ธาตุที่เป็นด่างจึงถูกเคลื่อนย้ายออกไปจากชั้นที่เป็นดิน (Buol *et al.*, 1989) ดังนั้นค่าแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมที่สกัดได้จึงมีปริมาณที่น้อย

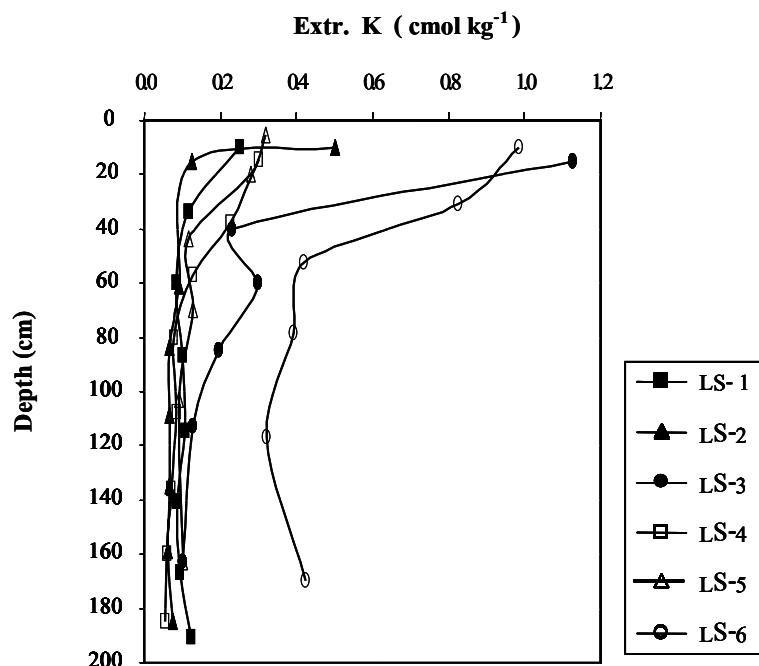
3.3.3 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของดินที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 18) พบว่า สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นดินบริเวณที่ 1 2 4 และ 5 มีค่าวิเคราะห์ได้อยู่ในพิสัยต่ำมากถึงปานกลาง 0.06-0.50 เซนติโมลต่อกิโลกรัม กลุ่มที่สอง คือ ดินบริเวณที่ 3 และ 6 มีค่าที่วิเคราะห์ได้อยู่ในพิสัยปานกลางถึงสูง 0.10-1.13 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามความลึกภายในหน้าตัดดิน แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่สกัดได้ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงตามความลึก และมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน ซึ่งเป็นผลมาจากความไม่สม่ำเสมอของวัตถุดิบกำเนิดดิน และอัตราการชะละลายที่ไม่เท่ากันภายในหน้าตัดดิน (Greenland and Kowel, 1960; Sanchez *et al.*, 1983, Brady, 1990)

สาเหตุที่ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของดินที่ทำการศึกษาที่มีค่าต่ำมากอาจเนื่องมาจากการที่ดินมีค่าความหนาแน่นรวมต่ำ และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงทำให้ดินมีช่องว่างมาก จึงทำให้โพแทสเซียมส่วนหนึ่งจะถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดินได้ง่าย (Brady, 1990)



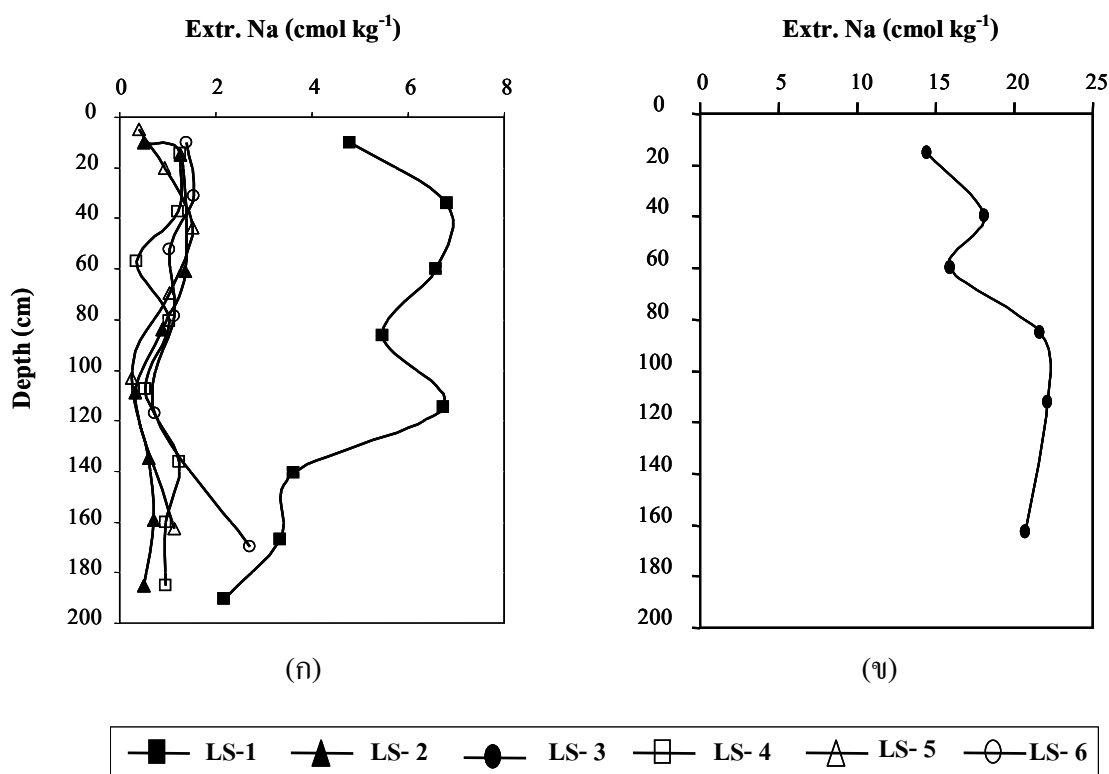
ภาพที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) (ข) และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (ค) (จ) กับความลึกของดินที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ทำการศึกษา

3.3.4 ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้

ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ในดินที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 19) มีค่าตั้งแต่ต่ำถึงสูงมาก ค่าวิเคราะห์ได้อยู่ในพิสัย 0.24-22.14 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยลักษณะการสะสมและการแจกกระจายคล้ายคลึงกับปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ ซึ่งโซเดียมที่สกัดได้ในดินสามารถแบ่งกลุ่มได้ดังนี้ กลุ่มที่มีปริมาณสูงถึงสูงมาก ได้แก่ ดินบริเวณที่ 1 3 และ 6 กลุ่มที่มีปริมาณปานกลางถึงสูง ได้แก่ ดินบริเวณที่ 2 และ 4 และกลุ่มที่มีปริมาณต่ำถึงสูง คือ ดินบริเวณที่ 5 ส่วนแนวโน้มของการแจกกระจายภายในดินมีดังนี้ ดินบริเวณที่ 1 2 และ 4 มีแนวโน้มลดลงตามความลึกภายในหน้าตัดดิน แต่ดินบริเวณที่ 4 มีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อย ดินบริเวณที่ 3 และ 5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน และดินบริเวณที่ 6 การแจกกระจายภายในหน้าตัดดินค่อนข้างมีความแปรปรวน โซเดียมที่มีค่าในระดับต่ำในดินเหล่านี้ เนื่องจากวัตถุดิบกำเนิดดินเกิดจากการผุพังอยู่กับที่ ซึ่งมีปริมาณโซเดียมต่ำ และถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดินได้ง่าย (Sanchez *et al*, 1983, Brady, 1990)

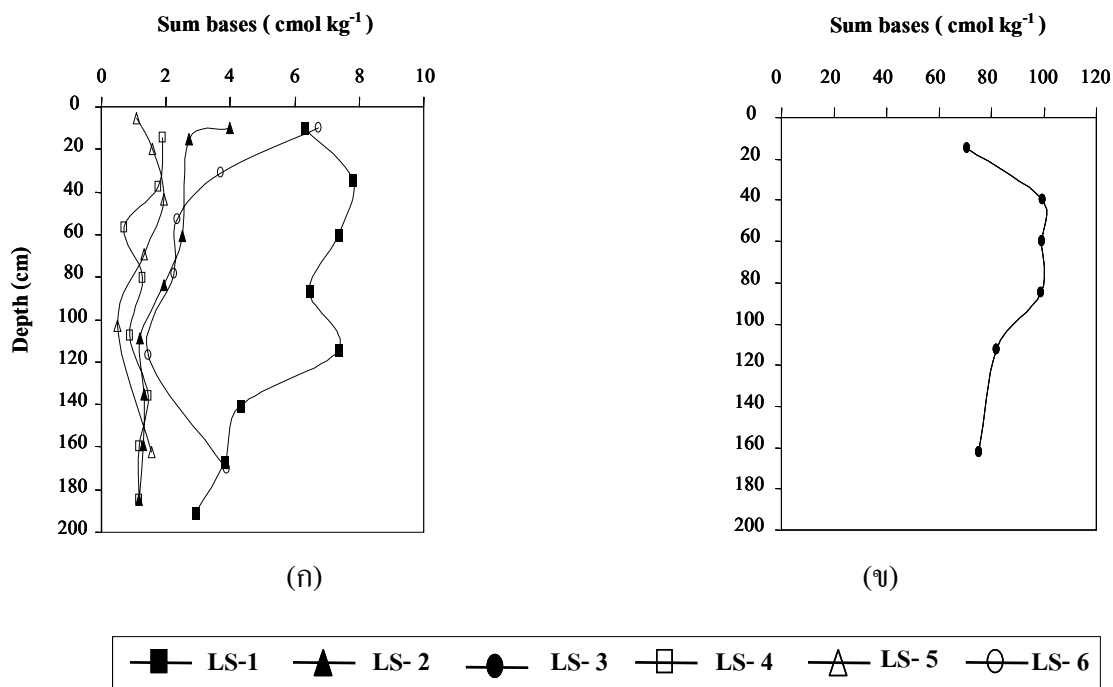


ภาพที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโซเดียมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ทำการศึกษา

3.4 ปริมาณค่ารวมที่สกัดได้ (ภาพที่ 21)

ปริมาณค่ารวมที่สกัดได้คำนวณจากผลรวมของปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมที่สกัดได้ ดินที่ศึกษามีค่าอยู่ในพิสัย 1.08-70.63 เซนติโมลต่อกิโลกรัมในดินบน ส่วนในดินล่างอยู่ในช่วง 0.50-99.46 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ค่าต่ำสุดและสูงสุดของปริมาณค่ารวมที่สกัดได้ในแต่ละหน้าตัดดินส่วนใหญ่พบอยู่ในระดับที่ต่ำถึงต่ำมาก โดยเฉพาะดินในบริเวณที่ 2 4 5 และ 6 ขณะที่ดินในบริเวณที่ 1 มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย (2.92-7.79 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ดินทั้ง 5 บริเวณดังกล่าว ปริมาณค่ารวมที่สกัดได้มีแนวโน้มลดลงตามความลึก ส่วนดินในบริเวณที่ 3 มีปริมาณค่ารวมที่สกัดได้อยู่ในระดับที่สูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 70.63-99.46 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณค่าที่สกัดได้ พบว่า ชนิดของไอออนบวกที่มีปริมาณมากที่สุดเรียงจากมากไปหาน้อยสำหรับดินในบริเวณที่ 4 5 และ 6 คือ โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ขณะที่ดินในบริเวณที่ 1 และ 2 พบแคลเซียมและโซเดียมที่สกัดได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนดินในบริเวณที่ 3 มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้สูงที่สุด สำหรับแมกนีเซียมและโพแทสเซียมที่สกัดได้ส่วนใหญ่มีปริมาณต่ำสุด

ในดินเกือบทุกบริเวณ ยกเว้น ดินในบริเวณที่ 3 ที่แมกนีเซียมที่สกัดได้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ ขณะที่ดินในบริเวณที่ 6 มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้น้อยที่สุด

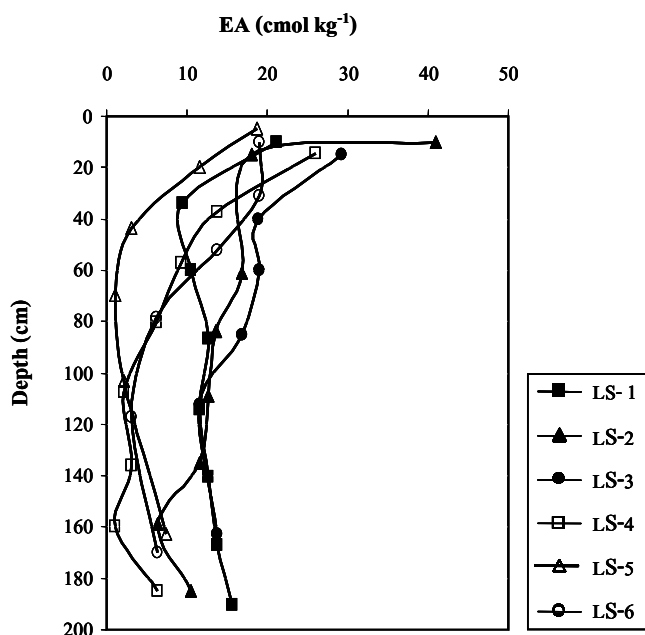


ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณค่ารวมที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ทำการศึกษา

จากการวิเคราะห์ปริมาณค่ารวมที่สกัดได้ พบว่า ทุกดินบริเวณที่มีปริมาณค่ารวมที่สกัดได้ในดินบนสูงกว่าดินล่าง เนื่องจาก ดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าจึงมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงกว่าเป็นผลทำให้ธาตุที่เป็นค่าถูกดูดซับไว้ในชั้นดังกล่าวมากกว่าในตอนล่าง ยกเว้นดินบริเวณที่ 5 ที่พบการสะสมอยู่ในตอนกลางของหน้าตัดดิน และสำหรับบางดินบริเวณที่มีค่าสูงในดินชั้นล่างนั้น Thomson and Troeh (1978) กล่าวว่า การที่ปริมาณค่ารวมที่สกัดได้ ที่มีแนวโน้มลดลง และมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน อาจเนื่องมาจากการเคลื่อนย้าย หรือชะละลายไอออนบวกลงสู่ด้านล่าง แสดงให้เห็นว่าอยู่ภายใต้อิทธิพลการชะล้างที่ไม่รุนแรงพอที่จะเคลื่อนย้ายธาตุที่เป็นค่าออกไปพ้นจากหน้าตัดดินได้ ไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจึงเพียงแต่ถูกเคลื่อนย้ายไปสะสมในชั้นดินล่าง ซึ่งปริมาณค่าทุกตัวที่สกัดได้ต่ำหมด ยกเว้นโซเดียมเท่านั้นที่สูง แสดงว่าดินผ่านการชะละลายและมีพัฒนาการสูง เป็นผลมาจากการสะสมโซเดียมไอออน ซึ่งเป็นการสะสมเกลือหลังจากดินมีพัฒนาการแล้ว และต่างไปจากดินบริเวณที่ 5 หรือน่าจะเกิดจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิด ซึ่งเป็นวัสดุตกค้างของหินควอร์ตซ์ไซต์

3.5 สภาพกรดแลกเปลี่ยนได้ (ภาพที่ 22)

สภาพกรดแลกเปลี่ยนได้ ในบริเวณดินที่ทำการศึกษา พบว่า ดินบนมีค่าอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก มีพิสัยอยู่ระหว่าง 18.78-40.95 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในดินล่างอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก พิสัยอยู่ใน ระหว่าง 1.05-18.97 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ค่าต่ำสุดและสูงสุดของปริมาณสภาพกรดแลกเปลี่ยนได้แต่ละหน้าตัดดิน ส่วนใหญ่ในดินบนพบอยู่ในระดับที่ปานกลางถึงสูงมากทุกบริเวณ ส่วนในดินล่างมีแนวโน้มลดลง และเพิ่มเล็กน้อยในชั้นล่างสุดของดินเกือบทุกบริเวณ



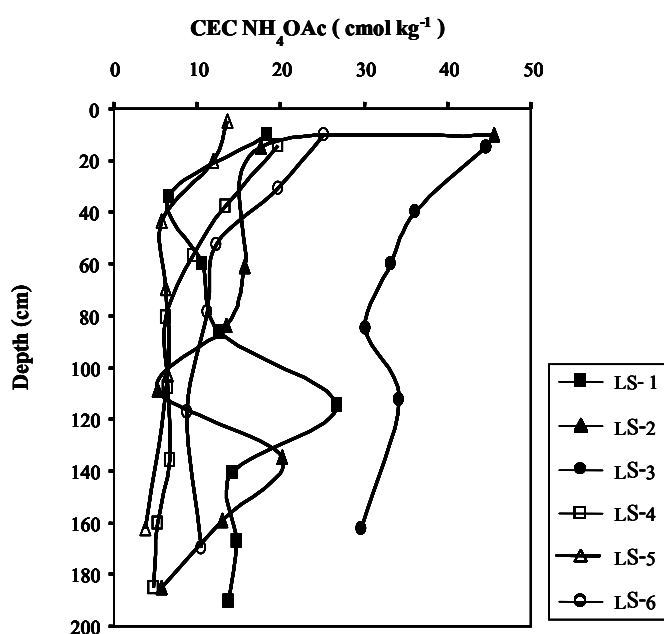
ภาพที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดที่สกัดได้กับความลึกของดินที่ทำการศึกษา

ทั้งนี้เนื่องจาก ในดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่าดินล่าง สภาพกรดแลกเปลี่ยนได้โดยส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับค่าปฏิกิริยาดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ เมื่ออินทรีย์วัตถุสลายตัว อนุมูลกรดในอินทรีย์วัตถุก็จะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนในสภาพประจุส่วนหนึ่งให้กับดิน (Brady, 1990) โดยจะทำให้ดินบนมีสภาพกรดแลกเปลี่ยนได้สูงกว่าในดินล่าง สำหรับความเป็นกรดที่สูงขึ้นในบางชั้นดินเกี่ยวข้องกับกับการสลายตัวเพิ่มขึ้นของวัตถุต้นกำเนิดในสภาพที่ชื้น (เอิบ, 2527) นอกจากนี้สภาพกรดแลกเปลี่ยนได้ยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการชะละลายของดิน กล่าวคือ ความเป็นกรดของดินจะเพิ่มขึ้น หากว่าดินมีการสูญเสียไอออนบวกที่เป็นค่าออกไปจากหน้าตัดดิน

และมีไฮโดรเจนไอออนมาแทนที่มากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535; Sanchez, 1976; Buol *et al.*, 1989; Brady, 1990)

3.6 ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (ภาพที่ 23)

ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน วัดโดยวิธีหะละลายไอออนบวกด้วยสารละลาย 1N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (Chapman, 1965) ดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 บริเวณพบมีค่าพิสัยอยู่ในระหว่าง 3.73-45.65 เซนติโมลต่อกิโลกรัม คือ อยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ดินบริเวณที่ 1 มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับค่อนข้างสูงในดินบน (18.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ลดลงเล็กน้อยในตอนกลางและเพิ่มขึ้นสูงสุดในชั้น Bt 4 (26.74 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ซึ่งคล้ายคลึงกับดินในบริเวณที่ 2 แต่ดินหลังมีค่าอยู่ในพิสัยเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อย ส่วนดินบริเวณที่ 3 มีแนวโน้มลดลงตามความลึก แต่พบในพิสัยที่สูงมาก (30.14-44.60 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) สำหรับดินในบริเวณที่ 4 5 และ 6 มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนลดลงตามความลึก และค่าเฉลี่ยจะต่ำกว่าดินทั้งสามบริเวณข้างต้นอย่างชัดเจน (ตารางผนวกที่ 3)



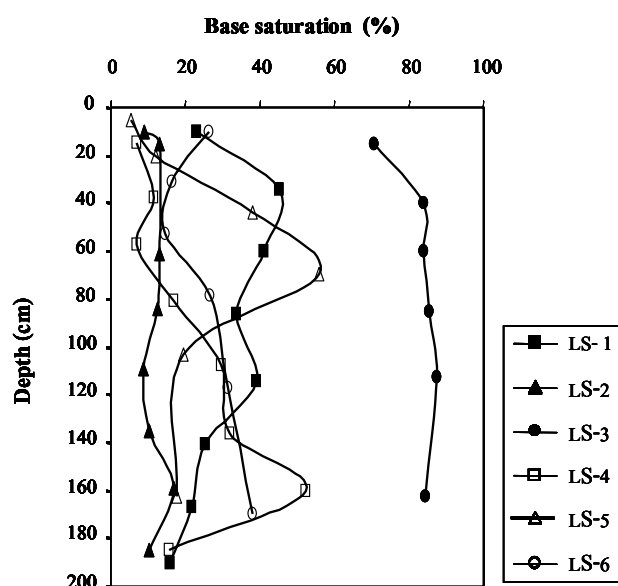
ภาพที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินกับความลึกของดินที่ทำการศึกษา

สำหรับค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินที่ทำการศึกษา มีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งในชั้นดินบนค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่สูงกว่าดินล่างแสดงถึงอิทธิพลของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินบนที่พบสูงกว่าในดินล่าง (Sannchez, 1976; Young, 1976) สำหรับค่าที่แปรปรวนบ้างในดินล่างอาจเป็นผลมาจากอัตราการผุพังสลายตัวที่แตกต่างกัน และความแตกต่างของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เกิดจากเศษหินเชิงเขาตกลงมาทับถมกัน

3.7 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (ภาพที่ 23)

อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสในดินที่ทำการศึกษาอยู่ในพิสัยระหว่างร้อยละ 5.45-87.56 ซึ่งพบอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงสูง ค่าต่ำสุดและสูงสุดของอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสของดินแต่ละบริเวณ มีดังนี้ ดินบริเวณที่ 1 มีค่าร้อยละ 15.71-45.06 ซึ่งอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ดินบริเวณที่ 2 มีค่าร้อยละ 8.66-16.90 โดยอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ดินบริเวณที่ 3 มีค่าร้อยละ 70.69-87.56 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ดินบริเวณที่ 4 มีค่าร้อยละ 6.81-52.34 โดยอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ดินบริเวณที่ 5 มีค่าร้อยละ 5.45-55.75 อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง และดินบริเวณที่ 6 มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 14.64-38.01 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ต่ำ โดยส่วนใหญ่แล้วอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสในดินที่ทำการศึกษาในดินบนจะต่ำกว่าในชั้นดินล่าง ยกเว้นดินบริเวณที่ 6 ซึ่งมีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสของดินบนสูงกว่าดินล่างสองชั้นที่อยู่ข้างใต้ (Bt1 และ Bt2) ในดินบริเวณที่ 1 และ 2 ดินบนมีค่าน้อยกว่าดินล่าง และมีแนวโน้มลดลงในดินล่าง ดินบริเวณที่ 3 ค่ามีแนวโน้มลดลงตามความลึก ดินบริเวณที่ 4 ค่าภายในหน้าตัดดินค่อนข้างแปรปรวน ดินบริเวณที่ 5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงกลางและลดลงในตอนล่าง ในทางตรงกันข้ามในดินบริเวณที่ 6 มีแนวโน้มลดลงในช่วงกลางและเพิ่มขึ้นในตอนล่าง

อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสในดินที่ทำการศึกษา เมื่อเฉลี่ยทั้งหน้าตัดดินทุกบริเวณของดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 35) เป็นผลมาจากการที่ดินมีการพัฒนาการมาก่อนข้างสูงถึงสูง ผ่านสภาพการชะละลายที่รุนแรง ทำให้ธาตุที่เป็นประจุบวกค้างคงเหลืออยู่ในดินน้อย ส่วนในดินบนบางบริเวณที่มีค่าปานกลาง มีผลมาจากปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะมีความสอดคล้องกันกับปริมาณค่ารวมที่สกัดได้ ความเป็นกรดที่สกัดได้ และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Brady, 1990) สำหรับดินในบริเวณที่ 3 ที่มีค่าสูงมาก เนื่องจากความแตกต่างของหินวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีค่ามากกว่า อิทธิพลของการชะละลายไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการสูญเสียไอออนบวกที่เป็นค่าออกไปจากหน้าตัดดินได้ในปริมาณมาก



ภาพที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราร้อยละความอิ่มตัวของดินกับความลึกของดินที่ทำการศึกษา

4. หน่วยการจำแนกดินของดินที่ทำการศึกษา

บริเวณพื้นที่ศึกษาอยู่ในพื้นที่คอยอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัด ดินที่เกิดการถล่มทั้ง 6 บริเวณ พบอยู่ภายใต้ป่าทุติยภูมิที่เป็นป่าดิบเขา สภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูงชัน พบอยู่ที่ความสูงจากระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 1,373-1,662 เมตร มีความลาดชันตั้งแต่ร้อยละ 75-95 วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นเศษหินเชิงเขาทางตัวอยู่บนวัสดุค้ำของหินแปร ได้แก่ หินชนวน หินฟิลาไลต์ และหินควอร์ตซ์ไซส์ ดินมีพัฒนาการตั้งแต่ระดับปานกลางถึงมีพัฒนาการพอสมควร โดยดินที่ศึกษาสามารถจัดจำแนกตามระบบอนุกรมวิธานดินถึงในระดับกลุ่มดินย่อย (Soil Survey Staff, 2006) ได้ดังนี้

4.1 ดินบริเวณที่ 1 (LS-1) จำแนกได้เป็น Typic Hapludult

การจำแนกในชั้นอันดับ (order) ของดินที่นี้ พบว่า ภายในหน้าตัดดินมีการสะสมดินเหนียวในดินชั้นล่างที่เรียกว่าชั้นดินล่างวิญจัลอาร์จิลลิก (argillic horizon) ชั้นดังกล่าวมีอัตรา ร้อยละความอิ่มตัวของเบสต่ำกว่า 35 และลดลงตามความลึก ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดในดินล่าง มีสมบัติทางกายภาพดี ดินบนเนื้อหยาบกว่าดินล่าง จึงจัดอยู่ในอันดับอัลติซอลส์ (Ultisols)

การจำแนกในชั้นอันดับย่อย (suborder) พบว่า ดินในบริเวณดังกล่าว พบอยู่ภายใต้สภาพพื้นที่ที่มีปริมาณฝนค่อนข้างมาก อากาศค่อนข้างเย็น ทำให้ดินมีความชื้นในรอบปีต่อเนื่องค่อนข้างยาวนาน จึงจัดเข้าในระบอบความชื้นดินแบบยูดิก (udic) ซึ่งทำให้ดินนี้อยู่ในอันดับดินย่อย Udult

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินใหญ่ (great groups) สามารถจำแนกได้เป็น Hapludult เนื่องจากดินมีปริมาณดินเหนียวลดลงภายในหน้าตัดดินมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20 จากชั้นที่มีปริมาณดินเหนียวสะสมสูงสุด มีความไม่ต่อเนื่องของแนวสัมผัสชั้นหินแข็งภายในระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินย่อย (subgroup) เนื่องจากภายในหน้าตัดดินไม่แสดงลักษณะอื่นใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มดินใหญ่ จึงสามารถจำแนกได้เป็น Typic

4.2 ดินบริเวณที่ 2 (LS-2) จำแนกได้เป็น Typic Palehumult

การจำแนกในชั้นอันดับ (order) ของดินนี้ พบว่า ภายในหน้าตัดดินมีการสะสมดินเหนียวในดินชั้นล่างที่เรียกว่าชั้นดินล่างวิจิณย์อาร์จิลลิก (argillic horizon) ชั้นดังกล่าวมีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสต่ำกว่า 35 และลดลงตามความลึก ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดในดินล่าง มีสมบัติทางกายภาพดี ดินบนเนื้อหยาบกว่าดินล่าง จึงจัดอยู่ในอันดับอัลติซอลส์ (Ultisols)

การจำแนกในชั้นอันดับย่อย (suborder) เนื่องจากมีคาร์บอนอินทรีย์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.9 ในช่วงตอนบน 15 เซนติเมตรของชั้นดินวิจิณย์อาร์จิลลิก จึงทำให้ดินนี้ถูกจัดจำแนกอยู่ในอันดับดินย่อย humult

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินใหญ่ (great groups) สามารถจำแนกได้เป็น Palehumult เนื่องจาก ไม่พบแนวสัมผัสหินแข็งต่าง ๆ ภายในระดับความลึก 150 เซนติเมตร ดินมีปริมาณดินเหนียวลดลงภายในหน้าตัดดินไม่มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20 จากชั้นที่มีปริมาณดินเหนียวสะสมสูงสุด

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินย่อย (subgroup) เนื่องจากภายในหน้าตัดดินไม่แสดงลักษณะอื่นใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มดินใหญ่ จึงสามารถจำแนกได้เป็น Typic

4.3 ดินบริเวณที่ 3 (LS-3) จำแนกได้เป็น Typic Hapludalf

การจำแนกในชั้นอันดับ (order) ของดินนี้ พบว่า ภายในหน้าตัดดินมีการสะสมดินเหนียวในดินล่างที่ชัดเจนที่เรียกว่าชั้นดินล่างวินิจิลยอาร์จิลลิก (argillic horizon) และมีอัตราร้อยละความอิ่มตัวด้วยเบสสูงกว่า 35 จึงจัดอยู่ในอันดับแอลฟิซอลส์ (Alfisols)

การจำแนกในชั้นอันดับย่อย (suborder) เนื่องจากพื้นที่ที่มีปริมาณฝนค่อนข้างมาก อากาศค่อนข้างเย็น ทำให้ดินมีความชื้นในรอบปีต่อเนื่องค่อนข้างยาวนาน จึงจัดเข้าในระบอบความชื้นดินแบบยูดิก (udic) ดังนั้นดินนี้จึงถูกจำแนกอยู่ในอันดับดินย่อย Udalf

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินใหญ่ (great groups) จำแนกเป็น Hapludult เนื่องจากดินมีปริมาณดินเหนียวลดลงภายในหน้าตัดดินมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20 จากชั้นที่มีปริมาณดินเหนียวสะสมสูงสุด มีความไม่ต่อเนื่องของแนวสัมผัสชั้นหินแข็งภายในระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินย่อย (subgroup) เนื่องจากภายในหน้าตัดดินไม่แสดงลักษณะอื่นใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มดินใหญ่ จึงสามารถจำแนกได้เป็น Typic

4.4 ดินบริเวณที่ 4 (LS-4) จำแนกได้เป็น Typic Haplohumult

การจำแนกในชั้นอันดับ (order) ของดินที่นี้ พบว่า ภายในหน้าตัดดินมีการสะสมดินเหนียวในดินชั้นล่างที่เรียกว่าชั้นดินล่างวินิจิลยอาร์จิลลิก (argillic horizon) ชั้นดังกล่าวมีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสต่ำกว่า 35 และลดลงตามความลึก ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดในดินล่าง มีสมบัติทางกายภาพดี ดินบนเนื้อหยาบกว่าดินล่าง จึงจัดอยู่ในอันดับอัลติซอลส์ (Ultisols)

การจำแนกในชั้นอันดับย่อย (suborder) เนื่องจากมีคาร์บอนอินทรีย์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.9 ในช่วงตอนบน 15 เซนติเมตรของชั้นดินวินิจิลยอาร์จิลลิก จึงทำให้ดินนี้ถูกจัดจำแนกอยู่ในอันดับดินย่อย humult

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินใหญ่ (great groups) จำแนกเป็น Haplohumult เนื่องจากมีปริมาณดินเหนียวลดลงจากชั้นที่มีการสะสมสูงสุดมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20 และมีแนวหินสัมผัสภายในระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินย่อย (subgroup) เนื่องจากภายในหน้าตัดดินไม่แสดงลักษณะอื่นใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มดินใหญ่ จึงสามารถจำแนกได้เป็น Typic

4.5 ดินบริเวณที่ 5 (LS-5) จำแนกได้เป็น Typic Hapludult

การจำแนกในชั้นอันดับ (order) ของดินที่นี้ พบว่า ภายในหน้าตัดดินมีการสะสมดินเหนียวในดินชั้นล่างที่เรียกว่าชั้นดินล่างวินิจิลีอาร์จิลลิก (argillic horizon) ชั้นดังกล่าวมีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสต่ำกว่า 35 และลดลงตามความลึก ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดในดินล่าง มีสมบัติทางกายภาพดี ดินบนเนื้อหยาบกว่าดินล่าง จึงจัดอยู่ในอันดับอัลติซอลส์ (Ultisols)

การจำแนกในชั้นอันดับย่อย (suborder) เนื่องจากพื้นที่มีปริมาณฝนค่อนข้างมาก อากาศค่อนข้างเย็น ทำให้ดินมีความชื้นในรอบปีต่อเนื่องค่อนข้างยาวนาน จึงจัดเข้าในระบอบความชื้นดินแบบยูติก (udic) ซึ่งทำให้ดินนี้สามารถจำแนกอยู่ในอันดับดินย่อย Udult

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินใหญ่ (great groups) จำแนกเป็น Hapludult เนื่องจากมีปริมาณดินเหนียวลดลงจากชั้นที่มีการสะสมสูงสุดมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20 และมีแนวหินสัมผัสภายในระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินย่อย (subgroup) เนื่องจากภายในหน้าตัดดินไม่แสดงลักษณะอื่นใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มดินใหญ่ จึงสามารถจำแนกได้เป็น Typic

4.6 ดินบริเวณที่ 6 (LS-6) จำแนกได้เป็น Typic Haplohumult

การจำแนกในชั้นอันดับ (order) ของดินที่นี้ พบว่า ภายในหน้าตัดดินมีการสะสมดินเหนียวในดินชั้นล่างที่เรียกว่าชั้นดินล่างวินิจิลีอาร์จิลลิก (argillic horizon) ชั้นดังกล่าวมีอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสต่ำกว่า 35 และลดลงตามความลึก ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดในดินล่าง มีสมบัติทางกายภาพดี ดินบนเนื้อหยาบกว่าดินล่าง จึงจัดอยู่ในอันดับอัลติซอลส์ (Ultisols)

การจำแนกในชั้นอันดับย่อย (suborder) เนื่องจากมีคาร์บอนอินทรีย์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.9 ในช่วงตอนบน 15 เซนติเมตรของชั้นดินวินิจัยอาร์จิลิก จึงทำให้ดินนี้ถูกจัดจำแนกอยู่ในอันดับดินย่อย humult

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินใหญ่ (great groups) จำแนกเป็น Haplohumult เนื่องจากมีปริมาณดินเหนียวลดลงจากชั้นที่มีการสะสมสูงสุดมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 20 และมีแนวหินสัมผัสภายในในระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินย่อย (subgroup) เนื่องจากภายในหน้าตัดดินไม่แสดงลักษณะอื่นใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มดินใหญ่ จึงสามารถจำแนกได้เป็น Typic

5. ลักษณะดินที่ง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

5.1 การเรียงตัวของชั้นกำเนิดดินและชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน

บริเวณที่เกิดการถล่มของดินที่ได้ทำการศึกษา พบว่า ดินบริเวณที่ 1 2 และ 4 มีลักษณะเป็นดินลึก คือ มีหน้าตัดดินลึกกว่า 100 เซนติเมตร มีการเรียงตัวของชั้นกำเนิดดินภายในหน้าตัดดินเป็นแบบ A-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6-Bt7 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงชั้นกำเนิดดินดังกล่าว ลักษณะของชั้นเหล่านี้ไม่น่าจะกีดขวางการไหลซึมผ่านของน้ำ ส่วนดินบริเวณที่ 3 5 และ 6 มีการเรียงตัวของชั้นกำเนิดดินภายในหน้าตัดดินเป็นแบบ A-Bt1-Bt2-Bt3-BCrt-Crt ซึ่งมีลักษณะเป็นดินลึกปานกลาง แต่จากการที่ดินที่พบเกิดจากเศษหินเชิงเขาวางตัวบนวัสดุตกค้างของหินชนวน และควอร์ตไซต์ โดยพบชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน (Crt) ภายในระดับความลึก 2 เมตรจากชั้นผิวดิน ชั้นดังกล่าวมักวางตัวขนานกับแนวระนาบหรือเอียงไปตามแนวลาดเท จากการที่ชั้นดังกล่าวมีลักษณะแน่นทึบ ทำให้การไหลซึมผ่าน (percolation) ของน้ำเกิดได้ช้า จึงทำให้เกิดการสะสมของน้ำในตอนบนของชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินเหล่านี้ ดังนั้น ตำแหน่งที่เกิดการเลื่อนไหลคาดว่าเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นดินล่างกับชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน สำหรับดินในบริเวณที่ 4 ถึงแม้ว่าจะไม่พบชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินภายในความลึก 2 เมตร แต่จากการพบแนวควอร์ตซ์เวน (quartz vein) ในชั้น Bt5 และ Bt7 โดยวางตัวเกือบเป็นแนวขนานกับชั้นกำเนิดดิน ซึ่งน่าจะมีผลต่อการทำให้การไหลซึมของน้ำตามแนวดิ่ง ดังนั้น โอกาสที่จะเกิดการเลื่อนไหลของมวลดินน่าจะเกิดบริเวณชั้นดินที่อยู่ตอนบนของแนวควอร์ตซ์เวנדังกล่าว ซึ่งตรงกับการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งพบว่า การพังทลายหรือการเลื่อนไหลของชั้นดินบนลาดเขา มักจะ

เกิดในรอยต่อระหว่างชั้นดินกับชั้นหิน และจากที่ระดับน้ำใต้ดินขนานกับลากเขา และระนาบของการเลื่อนไหลของชั้นดินบนลาดเขา (Campbell, 1974; Rice and Foggini, 1971; Nwajide *et al.*, 1988) ซึ่งโดยปกติแล้ว ดินที่สลายตัวจากหินชนวน (slate) มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มได้ง่าย รองลงมาได้แก่ หินควอร์ตไซต์ หินชนวน หินฟิลไลต์ มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มสูง (Mehrotra *et al.*, 1991) และกรมพัฒนาที่ดิน (2546) ได้แบ่งระดับความรุนแรงของหินที่สูงซึ่งมีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม คือ หินควอร์ตไซต์ หินดินดาน หินชนวน หินฟิลไลต์ และชีสต์

การเกิดแผ่นดินถล่ม สามารถเกิดได้ในสภาพพื้นที่ที่ดินมีการสลายตัวเป็นดินลึก และบางแห่งอาจเกิดในพื้นที่ที่เป็นหินผุเป็นดินที่สลายตัวอยู่กับที่ หรือเกิดการสะสมจากแรงโน้มถ่วงของโลก การเลื่อนไหลของมวลดินลงไหลจากลาดชันภายหลังจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ดินในบริเวณภูเขาในสภาพตามธรรมชาติมีความแตกต่างระหว่างชั้นดินบนและดินล่าง โดยทั่วไปมีดินชั้นบนหนาประมาณ 10-30 เซนติเมตร ที่ลึกลงไปได้ชั้น B เป็นชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน และได้ชั้น C บางแห่งเป็นชั้นหินที่กำลังผุพังสลายตัว บางแห่งเป็นชั้นหินแข็ง และบางแห่งอาจเป็นชั้นดินที่มีโครงสร้างแน่นทึบ ดินชั้นบนมีการไหลผ่านของน้ำได้ดีกว่าดินชั้นล่าง เมื่อน้ำไหลซึมผ่านจากชั้นดินบนถึงชั้นดินล่างซึ่งมาอัตราการไหลช้ากว่า น้ำจะเอ่อล้นไหลซึมอยู่ระหว่างช่วงต่อของดินบนและดินล่างทำให้เกิดการแยกตัวของชั้นดินที่มีความชื้นแตกต่างกัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังเช่นในกรณีของดินในบริเวณที่ 1 2 และ 4 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของดินบริเวณที่ 1 และ 2 ซึ่งถึงแม้ว่าจะไม่พบชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินที่กีดขวางการไหลของน้ำ แต่จากการที่พบลักษณะชั้นแน่นทึบที่เกิดจากการสะสมของอนุภาคขนาดทรายแป้งและดินเหนียวค่อนข้างมากในชั้นตอนล่างภายในหน้าตัดดิน ก็น่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแนวถล่มได้เช่นกัน ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการแจกกระจายของอนุภาคดิน ความหนาแน่นรวม และดัชนีพลาสติก

5.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษาทั้ง 6 บริเวณนั้นอยู่ในระดับสูงมากในชั้นตอนบน ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของดิน และช่องว่างระหว่างเม็ดดิน สมบัติของอินทรีย์วัตถุในดิน มีส่วนช่วยทำให้ดูดซับน้ำได้ในปริมาณมาก ประมาณ 6-20 เท่าของน้ำหนัก ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น ช่วยส่งเสริมให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีและร่วน ดินมีความโปร่ง และเกิดช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากขึ้น ทำให้มีสภาพให้ซึมได้และอากาศถ่ายเทได้ดี ช่วยให้ดินร่วนซุยน้ำไหลผ่านได้ง่าย เมื่อฝนตกก็จะช่วยให้น้ำไหลซึมผ่านเม็ดดินลงไปดินชั้นล่างได้ง่าย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) ดินที่ได้จากบริเวณที่ทำการศึกษา

โครงสร้างของดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดี ทำให้โครงสร้างของดินดี ช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีมาก เนื่องจากดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับสูงมาก พร้อมกันนี้มีผลกับค่าสภาพน้ำขณะดินอิ่มตัวในตอนบน ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในระดับเร็วถึงระดับเร็วมาก มีผลให้ปริมาณน้ำไหลบ่าที่ผิวดิน (runoff) มีปริมาณน้อย ประกอบกับการพบอยู่ภายใต้สภาพป่าที่มีพืชพื้นล่างปกคลุมผิวดิน การสูญเสียดินในรูปของการกร่อนดิน (soil erosion) จึงมีน้อย และดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อฝนตกลงมาการไหลซึมของน้ำในชั้นดินบนของหน้าตัดดินทุกบริเวณจะเคลื่อนตัวลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลกในระดับค่อนข้างเร็วถึงเร็วมาก ถ้าดินได้รับน้ำจากที่ฝนตกลงมาอีกน้ำจะไหลออกจากชั้นดินตามแนวตั้งลงไปสะสมยังตอนบนของชั้นที่กีดขวางการไหลของน้ำ (impervious layer) ด้วยปริมาณน้ำฝนที่ตกหนักมากเกินความสามารถในการซึมซับได้ของชั้นหินที่รองรับชั้นดินเหล่านี้อยู่ จึงมักมีการสะสมอยู่ในตอนกลางหรือตอนล่างของหน้าตัดดิน ระดับน้ำใต้ดินชั่วคราวก็จะเริ่มเกิดขึ้นภายในชั้นดินบนลาดเขา มีลักษณะขนานไปกับลาดเขา และเมื่อฝนตกเป็นเวลานานความดันของน้ำในดินก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความดันในช่องว่างของดินที่ใกล้กับชั้นหินรองรับชั้นนั้น ๆ ด้วย (Campbell, 1974; Rice and Foggin, 1971; Nwajide *et al.*, 1988) และความดันของน้ำในดินก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความดันในช่องว่างในดิน ในชั้นที่ใกล้กับชั้นหินที่รองรับกับชั้นดินนั้น ๆ ไปด้วย การพังทลายหรือ การเลื่อนไหลลงลาดเขาจะเกิดขึ้นเมื่อความดันของช่องว่างภายในดินสูงถึงระดับหนึ่ง ในขณะเดียวกันแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคดินซึ่งเป็นผลจากแรงดึงดูดระหว่างอากาศและน้ำในช่องว่างก็จะลดลง เนื่องจากน้ำเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างเหล่านั้น ในจุดที่อยู่ในสภาพสมดุลก่อนที่จะเริ่มเคลื่อนไหล (เมื่อสถานะที่ในชั้นดินมี shearing stress เท่ากับ shearing resistance หรือ ดินเริ่มอิ่มตัว) (Campbell, 1974 ; Rice and Foggin, 1971 ; Nwajide *et al.*, 1988)

5.3 สภาพน้ำขณะดินอิ่มตัวของดิน

สมบัติทางกายภาพนี้มีผลต่อระยะเวลาในการซึมผ่านของน้ำฝนที่ตกลงมาสู่ผิวดิน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อัตราการซึมผ่านของดินในตอนบนของดินในทุกบริเวณมีค่าสูงมาก ทำให้เมื่อฝนตกลงมา น้ำก็จะไหลซึมลงสู่ดินและผ่านชั้นดินต่าง ๆ ลงสู่ระดับลึกภายในหน้าตัดดินได้อย่างรวดเร็ว หากไม่มีลักษณะหรือชั้นที่กีดขวางการไหลซึมของน้ำในระดับตื้น หรือภายในหน้าตัดดิน หากพบชั้นกีดขวางในระดับตื้น ยกตัวอย่างเช่น ที่ใต้ชั้นดินบน การถล่มของดินก็จะไม่เกิดในตอนบนของสภาพภูมิประเทศ แต่จะมีการสูญเสียดินในรูปแบบของการกร่อน (erosion) ที่ทำให้เกิดสภาพภูมิประเทศที่เป็นร่องน้ำในระบบภูเขา ขณะที่ในตอนล่างหรือปลายเนินก็จะเกิดการกร่อนใน

ลักษณะที่เป็นร่องลึก (gully erosion) เนื่องจาก มีการสะสมของน้ำและมวลวัสดุต่าง ๆ ที่ถูกพัดพามากับน้ำมากขึ้น ทำให้เกิดแรงกระแทกและกัดเซาะให้เกิดลักษณะร่องลึก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

อย่างไรก็ตาม หากพบชั้นที่เกิดขบวนการไหลของน้ำที่ระดับลึก แต่ไม่ลึกมากพอที่จะทำให้ดินมีปริมาตรในการรองรับน้ำที่ซึมลงมาตามแนวดิ่งได้อย่างรวดเร็วมากพอ ดังเช่นดินที่ทำการศึกษาในทุกบริเวณ น้ำก็จะสะสมอยู่ในตอนบนของชั้นที่น้ำเริ่มไหลช้า และหากชั้นที่มีการสะสมของน้ำ ดินมีสมบัติที่เปลี่ยนเป็นสภาพเหลวได้ง่าย ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางค่าดัชนีพลาสติกชั้นดังกล่าวก็จะเกิดการเลื่อนไถล ก่อให้เกิดแผ่นดินถล่มในที่สุด สำหรับความยากง่ายต่อการเกิดการถล่มจะขึ้นกับค่าดัชนีดังกล่าวที่มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความลาดเทของพื้นที่ ชนิดและความหนาแน่นของพืชพรรณที่ปกคลุมด้วย

5.4 การแจกกระจายของอนุภาคดิน

การแจกกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ 1 และ 2 เนื่องจาก ดินบริเวณที่ 1 และ 2 มีลักษณะของเนื้อดินค่อนข้างแน่นในตอนล่างของหน้าตัดดิน เนื่องจากมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสะสมอยู่ค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในชั้นล่างสุดมีปริมาณอนุภาคดินเหนียว เท่ากับ ร้อยละ 423.0 และ 806.9 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งทำให้ชั้นเหล่านี้มีความหนาแน่นรวมสูงตามไปด้วย ดังนั้น ชั้น Bt7 ซึ่งอาจรวมไปถึงชั้น Bt6 ของดินทั้งสองบริเวณจึงมีความสามารถในการกักขังการไหลซึมผ่านของน้ำในลักษณะที่คล้ายคลึงกับดินในบริเวณอื่นที่พบชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินภายในหน้าตัดดิน (บริเวณที่ 3 5 และ 6) และชั้นควอร์ตซ์เวน (บริเวณที่ 4)

นอกจากนี้ ลักษณะการแจกกระจายของอนุภาคดินขนาดต่าง ยังมีผลต่อสมบัติการเกาะตัวกันและความสามารถในการรองรับน้ำก่อนที่จะเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวด้วย โดยดินบริเวณที่ 3 ซึ่งมีปริมาณของอนุภาคทรายและอนุภาคทรายแป้งสะสมอยู่มาก คือ ร้อยละ 258.0 และ 348.7 กรัมในชั้นที่วางตัวอยู่บนชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน เช่นเดียวกับดินบริเวณที่ 4 มีปริมาณการสะสมอนุภาคทรายแป้งมาก คือ ร้อยละ 392.8 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดินบริเวณที่ 5 ชั้นดังกล่าวมีการสะสมอนุภาคทรายสูงในปริมาณสูงมาก คือ ร้อยละ 621.1 กรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินควอร์ตซ์ไซต์ และดินบริเวณที่ 6 มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายสะสมมาก คือ ร้อยละ 530.9 กรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้การเกาะตัวกันของดินไม่ดี และปริมาณน้ำที่ได้รับก่อนที่จะเกิดการเหลวตัวของดินมีน้อย ซึ่งตรงกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่า ดินเมื่อวางตัวอยู่บนชั้นหินผุ โดยเฉพาะ

ดินที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายมาทับถมโดยแรงโน้มถ่วงของโลกที่จับตัวกันแน่น และจับตัวกันอย่างหลวม ๆ มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มได้ง่าย ซึ่งรวมถึงดินที่มีหินกรวดมนเป็นวัตถุต้นกำเนิดดิน ที่พบบนพื้นที่ที่มีความลาดชันร้อยละ 41-80 ส่วนชนิดของหินที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่มีหินทราย หินควอร์ตไซต์ กลุ่มเนื้อดินเป็นเนื้อดินทราย จะมีระดับความรุนแรงในการเกิดแผ่นดินถล่มมากที่สุด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546) และจากการศึกษาของสราวุธ (2539) พบว่า ดินชั้นที่อยู่บนชั้นหินผุที่ยังแข็งแรงจะมีแรงยึดเกาะระหว่างชั้นดินกับชั้นหินน้อย เมื่อดินอิ่มตัวมักเกิดแผ่นดินถล่มตามแนวต่อของชั้นดินและหินได้ง่าย

5.5 ความหนาแน่นรวม

บริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 6 บริเวณ ความหนาแน่นรวมของดินในชั้นดินบน มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงระดับค่อนข้างต่ำ (1.22-1.23 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ส่วนในดินล่าง อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (1.06-1.51 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกภายในหน้าตัดดินที่มีการถล่ม เป็นที่น่าสังเกตว่า ค่าความหนาแน่นรวมสูงสุดมักพบในชั้นที่อยู่เหนือชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน หรือชั้นที่อยู่ในตอนล่างสุดของหน้าตัดดิน ยกตัวอย่างเช่น ดินบริเวณที่ 4 มีชั้นที่มีการสะสมปริมาณอนุภาคทรายแป้งอยู่มากจนถึงตอนล่างของหน้าตัดดิน ทำให้มีค่าความหนาแน่นรวมของดินค่อนข้างสูง คือ 1.55 เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากอนุภาคนาดังกล่าวจะลงไปแทรกตามช่องว่างในดิน และยังทำให้อัตราการซึมของน้ำจากชั้นนี้ลงไปค่อนข้างช้า ประกอบกับการพบแนวควอร์ตซ์เวิน (quartz vein) วางตัวเป็นแนวเกือบขนานกับชั้นผิวดิน ซึ่งน่าจะไปชะลอการไหลของน้ำตามแนวดิ่ง ทำให้เกิดการสะสมน้ำในตอนบนของหน้าตัดดินจนถึงชั้นดังกล่าว พร้อมกันนี้ มีค่าสภาพการนำน้ำอิ่มตัวของดินในดินตอนบนอยู่ในระดับเร็วถึงเร็วมาก โดยมีค่าตั้งแต่ 22.45-28,752.89 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ทำให้เมื่อมีฝนตกลงมาน้ำสามารถซึมลงสู่ชั้นดินตอนล่างได้อย่างรวดเร็ว หากฝนตกในปริมาณค่อนข้างมากและต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ก็จะทำให้เกิดการอิ่มตัวด้วยน้ำในตอนล่างของหน้าตัดดิน หรือตอนบนของชั้นต่อเนื่องกับชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน จนทำให้เกิดการถล่มของดินในที่สุด ซึ่งคล้ายคลึงกับกรณีของดินในบริเวณที่ 5 สำหรับค่าความหนาแน่นรวมของดินในบริเวณที่ 1 และ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกแต่ไม่มากนักเนื่องจากเนื้อดินส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยอนุภาคนาดินเหนียว เพราะฉะนั้นการถล่มของดินจะไปเกี่ยวข้องกับอัตราการไหลซึมของน้ำ ส่วนกรณีของดินในบริเวณที่ 3 และ 6 ความหนาแน่นรวมของดินอาจจะไม่มีผลในเรื่องการชะลอการไหลของน้ำมากนัก เนื่องจากพบชั้นวัตถุต้นกำเนิดดินในระดับที่ตื้นกว่า ทำให้เกิดการสะสมน้ำในตอนบนของชั้นหินผุได้อย่างรวดเร็ว

5.6 ค่าดัชนีพลาสติก

จากการศึกษาของพิสุทธิ์ และคณะ (2533) พบว่า ดินที่ศึกษาจากพื้นที่แผ่นดินถล่มเกิดในอำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช ทางกายภาพ ในชั้นหินผุ เป็นดินชั้นบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคน้ำดินทรายร้อยละ 50-65 อนุภาคน้ำดินทรายแป้งร้อยละ 10-25 อนุภาคน้ำดินเหนียวร้อยละ 20-25 ดินชั้นล่างเป็นดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคน้ำดินทรายร้อยละ 30-45 เป็นดินที่มีอนุภาคน้ำดินทรายในปริมาณที่ค่อนข้างสูง มีอัตราการซึมของน้ำและความพรุนค่อนข้างสูง มีสภาพการนำน้ำของดินอยู่ในระดับที่เร็ว คือ 28-87 เซนติเมตรต่อชั่วโมง มีค่าความหนาแน่นรวมของดินส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่าง 1.2-1.4 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าดัชนีพลาสติก คือ 6.06 และ 8.69 จึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดินจึงมีน้อยทำให้เกิดการพังทลายได้ง่าย

ดินแต่ละชนิดมีค่าดัชนีพลาสติกไม่เท่ากัน ดินที่มีค่าพลาสติกต่ำ ($PL=5$) เมื่อได้รับความชื้นเพียงเล็กน้อยจะเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวได้ง่ายกว่า ดินที่มีค่าพลาสติกสูง ($PL=20$) ซึ่งต้องได้รับความชื้นเข้าไปมากกว่า จึงเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลว (วรากร และคณะ, 2546) โดยจะเห็นได้ว่า ค่าดัชนีพลาสติกของดินในดินบริเวณที่ 1 ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ โดยเฉพาะในชั้น Bt 6 ที่ระดับความลึก ระหว่าง 153-181 เซนติเมตร ที่มีค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับร้อยละ 9.70 ขณะที่ชั้นอื่น ๆ ก็มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 20 เป็นส่วนใหญ่โดยเฉพาะในตอนล่างของหน้าตัดดิน ทำให้ชั้นดินเหล่านี้มีโอกาสในการเปลี่ยนสภาพเหลวสูงกว่าชั้นอื่น ๆ ทำให้เกิดการถล่มของแผ่นดินได้ง่าย ซึ่งคล้ายคลึงกับดินในบริเวณที่ 3 4 5 และ 6 ที่ชั้นดินในตอนล่างส่วนใหญ่มีค่าดัชนีพลาสติกต่ำกว่าร้อยละ 20 ทั้งสิ้น (ตารางผนวกที่ 2) กล่าวคือ เมื่อชั้นดินเหล่านี้ได้รับความชื้น ดินมีความยืดหยุ่นต่อการได้รับความชื้นในระดับหนึ่งก่อนที่จะเปลี่ยนสภาพเป็นเหลว

เมื่อจัดลำดับความยากง่ายในการเปลี่ยนสภาพเหลว ดินในบริเวณที่ 2 จะเปลี่ยนได้ยากที่สุด เนื่องจาก ในชั้นดินตอนล่าง (Bt5-Bt7) มีค่าดัชนีพลาสติกอยู่ในพิสัยร้อยละ 25.75-37.43 ส่วนดินในบริเวณที่ 3 และ 4 ชั้นดินที่วางตัวอยู่บนชั้นกีดขวางการซึมผ่านของน้ำมีค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับร้อยละ 18.67 และ 14.55 ตามลำดับ แสดงว่า ดินเป็นเป็นสภาพเหลวได้ง่ายกว่าดินในบริเวณที่ 2 ขณะที่ดินในบริเวณ 1 (ชั้น Bt6) และ 6 (ชั้น BCt) มีค่าดัชนีพลาสติกร้อยละ 9.70 และ 6.94 เพราะฉะนั้น ชั้นทั้งสองจะเปลี่ยนเป็นสภาพเหลวเมื่อได้รับน้ำในปริมาณที่น้อยกว่าชั้นดินของดินที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ ขณะที่ดินในบริเวณที่ 5 โดยเฉพาะชั้น Bt2 พบที่ระดับความลึกระหว่าง 30-57 เซนติเมตร มีค่าดัชนีพลาสติกเป็น 0 เนื่องมาจากเนื้อดินเป็นทรายจัดดินไม่สามารถทนต่อการ

เปลี่ยนแปลงความชื้นได้ พร้อมกันนี้ ในชั้นดิน Bt1 ความลึกระหว่าง 10-30 เซนติเมตร และ ชั้นดิน BCrt ความลึกระหว่าง 82-125 เซนติเมตร มีค่าดัชนีพลาสติกต่ำ คือ ร้อยละ 3.34 และ 3.62 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 5 ดังนั้นไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น ดินในบริเวณที่ 5 จึงน่าจะเปลี่ยนเป็นสภาพเหลวได้ง่ายที่สุด หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเมื่อได้รับน้ำในปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดินในบริเวณอื่น ดินก็จะเปลี่ยนเป็นสภาพเหลว

สำหรับดินบริเวณที่ 6 ซึ่งมีค่าดัชนีพลาสติก มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5-35 ทำให้ดินเมื่อได้รับความชื้นดินมีความยืดหยุ่นต่อการได้รับความชื้นก่อนที่จะเปลี่ยนสภาพเป็นเหลว โดยเฉพาะในชั้นดิน BCrt มีความลึกระหว่างร้อยละ 94-140 เนื่องจาก มีค่าร้อยละ 6.94 ในชั้นดินที่วางตัวอยู่บนชั้นหินผุ และชั้นหินผุที่พบน่าจะไปกีดขวางการไหลซึมผ่านของน้ำ และการโค้งงอของหินผุมิทิศทางที่ไม่แน่นอนทำให้เกิดการหลุดออกจากกันได้ง่ายด้วย ดังนั้นการเลื่อนไถลของดินในบริเวณดังกล่าวน่าจะเกิดได้ตั้งแต่ชั้นดินที่อยู่ตอนบนของชั้นหินผุลงไปถึงระดับลึกพอสมควร ซึ่งจากมวลดินอาจมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ และคุณสมบัติทางกายภาพได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับในตัวเอง โดยเฉพาะในมวลดินที่มีส่วนของเม็ดขนาดเล็กอยู่มาก คือ ดินเหนียว แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อความชื้นเปลี่ยนไป เป็นคุณสมบัติทางกายภาพของดินจะไวต่อความชื้นมากกว่ามวลดินที่มีขนาดใหญ่ (นันท์, 2526) ความชื้นในมวลดิน (water content) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน (shear strength) มวลดินที่มีสถานะแข็ง หรือความชื้นในมวลดินต่ำกำลังรับแรงเฉือนของดินจะมีค่าสูง และกำลังรับแรงเฉือนของดินจะลดลงเมื่อมวลดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นได้ไปทำลายแรงดึงดูดของอากาศในดิน ซึ่งทำให้แรงยึดเหนี่ยวในดินลดลง และปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นยังลดแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินด้วย ซึ่งกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ลดลงจะส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของลาดดิน อาจทำให้เกิดภัยพิบัติแผ่นดินถล่มได้ (วรากร และคณะ, 2550) ความเหนียวของดิน (plasticity) มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของดิน การอิมตัวของดิน เมื่อช่องว่างระหว่างอนุภาคดินมีน้ำบรรจุอยู่เต็มไปหมดแรงจับตัวระหว่างเม็ดดินจะน้อยลง ประกอบกับน้ำในดินมีความดันมากขึ้นทำให้เม็ดดินไม่สามารถยึดเหนี่ยวกันไว้ได้ จึงเกิดการเหลวตัวและง่ายต่อการถูกกระแทกให้เคลื่อนที่ไปกับน้ำ โดยที่อนุภาทรายจะมีค่าดัชนีพลาสติกต่ำมาก หรือไม่มีเลย ส่วนอนุภาทรายแป้งมีค่าดัชนีพลาสติกต่ำกว่าอนุภาคดินเหนียว (วรากร และคณะ, 2546) จากการศึกษาของสุวณี (2538) พบว่า ความแตกต่างในกลุ่มดินเหนียว เป็นผลมาจากวัตถุดิบกำเนิดที่แตกต่างกัน ดินที่สลายตัวมาจากหินดินดาน หินฟิไลต์ จะมีค่าดัชนีพลาสติกต่ำกว่าดินที่มาจากหินไนท์ หินชีสท์ และหินบะซอลต์

5.7 สภาพแวดล้อมของบริเวณที่เกิดดินถล่ม

บริเวณพื้นที่ศึกษา ทั้ง 6 บริเวณ ลักษณะที่ส่งเสริมที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม มีสภาพภูมิประเทศ เป็นบริเวณภูเขาที่มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางระหว่าง 1,373-1,662 เมตร ซึ่งตำแหน่งที่พบการเกิดแผ่นดินถล่มจะอยู่ในบริเวณพื้นที่ผิวสภาพภูมิประเทศที่เป็นตอนกลางของความลาดเทในระบบภูเขา (midslope) จนถึงตอนล่างในตำแหน่งที่ติดกับไหล่เขา (shoulderslope) มีความลาดชันของพื้นที่อยู่ในพิสัยร้อยละ 70-95 ที่อยู่ในตำแหน่งที่สูงมาก ลักษณะพืชพรรณและการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นป่าทุติยภูมิที่มีสภาพเป็นป่าดิบเขา โดยลักษณะดังกล่าวมีอิทธิพลต่อความรุนแรงและความยากง่ายต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม คือ ความลาดชัน ความยาวของความลาดชัน ทิศทางของความลาดชัน และภูมิสัณฐาน (วรากร และคณะ, 2546) ระดับความสูงของพื้นที่ที่มีความสูงมากกว่า 300 เมตร และพื้นที่ที่มีความลาดชันระหว่างร้อยละ 46-89 มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มมากที่สุด (Mehrotra *et al.*, 1991) ซึ่งการเกิดแผ่นดินถล่มที่ผ่านมาในประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี (2531) รายงานไว้ว่า การเกิดแผ่นดินถล่มที่อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนมากพบอยู่ในบริเวณพื้นที่ความลาดชันมากกว่าร้อยละ 30

ในบริเวณพื้นที่ศึกษา มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี 2,063.2 มิลลิเมตรต่อปี โดยที่ในช่วงกลางฤดูฝนปี 2549 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดในเดือนกรกฎาคม และเดือนสิงหาคม เท่ากับ 496.1 และ 450.9 มิลลิเมตร ซึ่ง Nilson and Turner (1975) รายงานว่า การเกิดแผ่นดินถล่มส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายหลังจากที่มีฝนตกติดต่อกัน 180 มิลลิเมตร พร้อมกันนี้ ปริญา และวันชัย (2532) ยังพบว่า เมื่อมีปริมาณฝนตกถึง 260 มิลลิเมตร ขึ้นไปภายใน 24 ชั่วโมง จะเกิดแผ่นดินถล่มมาจากไหล่เขา และภูมิประเทศเป็นที่สูงชันหากมีปริมาณน้ำฝนตกมาก และสภาพป่าเกิดการเปลี่ยนแปลงไป หรือการเปลี่ยนสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่รับน้ำเป็นปัจจัยกระตุ้นทำให้น้ำหลาก และแผ่นดินถล่มให้เกิดเร็วขึ้น ทำให้สภาพการอุ้มน้ำของดินน้อยลงจึงมีน้ำที่ไหลอยู่บริเวณพื้นผิวดินมากขึ้นรวมตัวกันมากขึ้น และดินขาดรากไม้ใหญ่ยึดเกาะก็จะถล่มเคลื่อนตัวลงมา (วรากร และคณะ, 2546) ซึ่งในกรณีศึกษาบริเวณอ่างขางนี้ ขณะที่เกิดแผ่นดินถล่มในปีดังกล่าว มีปริมาณฝนที่ตกมากกว่า 200 มิลลิเมตรในระยะเวลาเพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

บริเวณพื้นที่ศึกษาอยู่ในพื้นที่คอยอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ดินที่เกิดการถล่มทั้ง 6 บริเวณ พบอยู่ภายใต้ป่าทุติยภูมิที่เป็นป่าดิบเขา สภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูงชัน พบอยู่ที่ความสูงจากระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 1,373-1,662 เมตร มีความลาดชันตั้งแต่ร้อยละ 75-95 วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นเศษหินเชิงเขาวางตัวอยู่บนวัสดุตกค้างของหินแปรชนิดต่าง ๆ ได้แก่ หินชนวน หินฟิไลต์ และหินควอร์ตซ์ไซต์ ดินมีพัฒนาการตั้งแต่ระดับปานกลางถึงมีพัฒนาการพอสมควร สามารถจำแนกตามระบบอนุกรมวิธานดินถึงในระดับกลุ่มดินย่อยได้ ดังนี้

บริเวณที่ 1 จำแนกเป็น Typic Hapludult

บริเวณที่ 2 จำแนกเป็น Typic Palehumult

บริเวณที่ 3 จำแนกเป็น Typic Hapludalf

บริเวณที่ 4 จำแนกเป็น Typic Haplohumult

บริเวณที่ 5 จำแนกเป็น Typic Hapludult

บริเวณที่ 6 จำแนกเป็น Typic Haplohumult

ตำแหน่งบนสภาพภูมิประเทศที่เกิดการถล่มจากตัวอย่างที่ทำการศึกษา พบว่า เกิดการถล่มตั้งแต่ตอนบนของส่วนกลางของลาดเขา (midslope) ต่อเนื่องไปจนถึงตอนล่างของไหล่เขา (lower shoulder slope) โดยลักษณะดินที่เสี่ยงต่อการเกิดการถล่มของดิน ได้แก่

1) สภาพน้ำขังขณะดินอิ่มตัวที่มีค่าเร็วมากในตอนบนของหน้าตัดดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูง เนื้อดิน และความหนาแน่นรวมของดิน

2) ค่าดัชนีพลาสติกของดิน ซึ่งชั้นดินในตอนล่างส่วนใหญ่ต่ำกว่าร้อยละ 20 ทำให้ดินในชั้นเหล่านี้เปลี่ยนเป็นสภาพเหลวได้อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับน้ำในปริมาณไม่มากนัก

3) ลักษณะของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นตะกอนหินคาบเชิงเขาวางตัวบนวัสดุตกค้างของหินชนวน ฟิไลต์ และควอร์ตซ์ไซต์หินต้นกำเนิด ซึ่งเป็นตัวกำหนดสมบัติทางกายภาพของดินที่ง่ายต่อการเกิดดินถล่ม อันได้แก่ เนื้อดิน ความหนาแน่นรวม สภาพการนำน้ำ และดัชนีพลาสติก

4) การพบชั้นที่เกิดขบวนการไหลซึมของน้ำลงสู่ระดับลึกภายในหน้าตัดดิน ซึ่งเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของชั้นดินภายในหน้าตัดดินที่เกิดการเลื่อนไถล ประกอบด้วย

4.1 ชั้นดินที่พบวางตัวอยู่บนชั้นที่มีการสะสมอนุภาคดินเหนียว และชั้นที่มีปริมาณทรายแป้งสูง ซึ่งชั้นดังกล่าวมีค่าความหนาแน่นรวมค่อนข้างสูง ทำให้อัตราการซึมของน้ำจากชั้นนี้ลงไปค่อนข้างช้า

4.2 ชั้นดินที่พบวางตัวอยู่บนแนวควอร์ตซ์เวิน (quartz vein) ที่วางตัวเป็นแนวเกือบขนานกับชั้นผิวดิน ซึ่งเป็นแนวที่ชลอการไหลของน้ำ

4.3 ชั้นดินที่วางตัวอยู่บนชั้นหินผุที่ปรากฏภายในหน้าตัดดิน ซึ่งหินต้นกำเนิดเหล่านี้มีการวางตัวขบวนการไหลของน้ำในแนวตั้งทั้งสิ้น

อย่างไรก็ตาม หากพบชั้นเหล่านี้ในระดับตื้น หรือพบวางตัวอยู่ใกล้ชั้นผิวดิน พื้นที่เหล่านั้นก็จะไม่เกิดการถล่มแต่จะเกิดการสูญเสียดินในลักษณะของการกร่อนดินแทน

ข้อเสนอแนะ

1) พื้นที่ศึกษาไม่ควรนำมาใช้เพื่อการเกษตรกรรม เนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มสูงมาก และพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ทำให้เป็นอุปสรรคต่อเขตกรรม การจัดการด้านการอนุรักษ์ดินทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายมาก จึงควรสงวนไว้เป็นพื้นที่ป่าเพื่อรักษาต้นน้ำลำธาร

2) การใช้พื้นที่เพื่อสร้างสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ อาทิเช่น บ้านเรือนที่อยู่อาศัย ถนน แหล่งน้ำ จะต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยเฉพาะปัญหาการเกิดดินถล่ม หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้พื้นที่ที่พบดินที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับที่ได้ทำการศึกษา จะต้องมีการป้องกันการเกิดดินถล่มที่เหมาะสม โดยเฉพาะมาตรการทางกลจะต้องคัดเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะดิน ความลาดชัน และลักษณะของน้ำฝนที่ตกในพื้นที่

3) ควรเร่งปลูกต้นไม้เสริมในพื้นที่เหล่านี้ โดยเฉพาะพืชยืนต้นที่มีรากลึก โดยควรจะใช้กล้าที่ได้จากการเพาะเมล็ดเพื่อจะได้ต้นไม้ที่มีรากแก้ว ซึ่งช่วยในการเกาะยึด และควรจะใช้พรรณไม้ท้องถิ่น เนื่องจากไม่ต้องการการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศ

4) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านความสัมพันธ์ระหว่างแร่ดินเหนียวกับความคงทนของเม็ดดิน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความชัดเจนมากขึ้น เช่นเดียวกับการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่มากพอ สำหรับการวางแผนจัดการและกำหนดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในบริเวณอื่นต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี. 2531. การพังทลายของดินจากน้ำท่วมภาคใต้ปี 2531. ม.ป.ท.

กรมทรัพยากรธรณี. 2544. ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ การประเมินภัยพิบัติและดัชนีชี้วัดการแจ้งเตือนภัยสำหรับดินถล่ม. ม.ป.ท.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2540. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2546. พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มและอุทกภัยในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. คู่มือการจัดการดินสำหรับการปลูกพืชในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงอ่างขาง. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. รายงานการสำรวจ จำแนกและวางแผนการใช้ที่ดิน พื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงอ่างขาง ตำบลม่อนปิ่น ตำบลแม่งอน อำเภอฝางจังหวัดเชียงใหม่. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มและอุทกภัย ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคกลาง. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มและอุทกภัย ภาคเหนือ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการการจัดทำพจนานุกรมปฐพีวิทยา. 2551. พจนานุกรมปฐพีวิทยา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณะทรัพยากรธรรมชาติ. 2539. การจัดการสาธารณภัยในภาคใต้ของประเทศไทย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2526. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมธรณีวิทยา. 2530. พจนานุกรมธรณีวิทยา. โรงพิมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

นงคราญ กาญจนประเสริฐ 2529. การศึกษาลักษณะวินิจัยที่สำคัญในการพัฒนาการของดินและ

ศักยภาพของดินอันดับอัลฟิโซลส์และอินเซปติโซลส์ บริเวณลุ่มน้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์

ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นวลศรี กาญจนกุล. 2543. ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทย. กองวิเคราะห์ดิน กรม

พัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ตั้งธรรม และปรีชา กุรัตน. 2516. ดินเลื่อนไหลในป่าดิบเขาดอยปู่ เชียงใหม่. การวิจัยลุ่ม

น้ำห้วยคอกม้า. 16 ตุลาคม 2516. อ้างอิง Sheng, T.C. 1966. "Landslide classification and

studies of Taiwan". Chinese-American Joint Commission on Reconstruction. Forestry Series No.10.

นิวัติ เรืองพานิช. 2513. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและลักษณะการไหลของน้ำในลำธารลุ่ม

น้ำห้วยคอกม้า ดอยปู่ จังหวัดเชียงใหม่. การวิจัยลุ่มน้ำคอกม้า เล่มที่ 6 วิชาอนุรักษ์วิทยา

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นันท์ ไกรฤกษ์. 2526. ข้อมูลที่ใช้พิจารณาความเหมาะสมของดินด้านวิศวกรรม เสนอในการ

สัมมนาเชิงปฏิบัติงานเรื่องโครงการจัดระบบการใช้ประโยชน์แผ่นดิน. กองสำรวจดิน

และจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

- บุญยงค์ ภูผาเรือง. 2522. การสำรวจจำแนกดินและการกำหนดศักยภาพของที่ดินในบริเวณ
เทือกเขาอ่างซาง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปริญญา นุตาชัย และวันชัย โสภณสกุลรัตน์. 2532. การป้องกันอุทกภัยภาคใต้ เอกสาร
ประกอบการสัมมนา. เล่มที่ 1 วันที่ 17-18 สิงหาคม 2532. โรงแรม เจ บี หาดใหญ่ สงขลา,
34 หน้า.
- ปฎิเวธ เฉลิมพงษ์. 2546. แนวทางการจัดการชุมชนในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินถล่มของกลุ่มน้ำชายฝั่ง
ทะเลตะวันออก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรเทพ ศรีสุข. 2541. ลักษณะของดินที่สูงบริเวณลุ่มน้ำแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิสิทธิ์ ชีรดิกร, ชัยยันต์ หินทอง และวรวิทย์ ดันตนิช. 2532. รายงานเบื้องต้นขั้นแรกสภาพ
ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่อุทกภัยภาคใต้. น. 10-21. ในรายงานการสำรวจธรณีวิทยาฉบับที่
018(1). กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.
- พิสุทธิ์ วิจารณ์, สุรินทร์ ไวยเจริญ, สติระ อุดมศรี, อนุวัตร โพธิ์นาม และสุพร บุญประคับ.
2533. รายงานการศึกษาสาเหตุและการประเมินผลความเสียหายบริเวณพื้นที่อุทกภัยของ
จังหวัดนครศรีธรรมราชและสุราษฎร์ธานี ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะดินและธรณีวิทยา.
กองสำรวจดินและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ราชบัณฑิตยสถาน. 2523. พจนานุกรมภูมิศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน เล่ม 2.
ห้างหุ้นส่วนจำกัดนนทชัย, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2537. รายงานฉบับสุดท้าย โครงการศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทก
ภัยและภัยธรรมชาติในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.
- วรารกร ไม้เรียง และคณะ. 2546. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาแผนหลักการจัดการภัย
ธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินถล่ม. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

สง่า ตั้งชวาล. 2524. **ธรณีวิศวกรรมพื้นฐาน**. บริษัททราเวล แอนด์ไวเซอรั, กรุงเทพฯ.

สมิทธ ธรรมสโรช. 2534. **ภัยธรรมชาติในประเทศไทย**. สำนักพิมพ์กรมอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพฯ.

สราวุธ นาแรมงาม. 2539. **การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และค่าปัจจัยความปลอดภัยเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มน้ำตาปี จังหวัดนครศรีธรรมราช**.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนทร อัครชนกุล. 2529. **หลักการปฐพีฟิสิกส์**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาลัยเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์, วรวัชร ตอวิวัฒน์ และวรากร ไ้ม่เรียง. 2550. **การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเพื่อสนับสนุนการเตือนภัยดินถล่มจากฝนตกหนัก**. เอกสารประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12. คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุภัทท์ วงศ์วิเศษสมใจ. 2532. **วิเคราะห์สถานการณ์อุทกภัยภาคใต้**. เอกสารเล่ม 1 ประกอบการ
สัมมนา เรื่อง อุทกภัยภาคใต้ โศกนาฏกรรมที่น่าจะหลีกเลี่ยงได้ สมาคมอนุรักษ์ศิลปกรรม
และสิ่งแวดล้อม วันที่ 18-19 มกราคม 2532, กรุงเทพฯ.

สุรินทร์ ไวยเจริญ. 2549. **การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากดินถล่มในประเทศไทย**. กรมพัฒนา
ที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุวณี ศรีธวัช ณ อรุณยา. 2538. **การวินิจฉัยคุณภาพของดินด้านปฐพีกลศาสตร์ตามกลุ่มชุดดินในประเทศไทย**. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ โพธิ์สัตย์. 2547. **ดินถล่มหรือโคลนถล่ม**. วารสารราชบัณฑิตยสถาน. กองธรรมศาสตร์
และการเมือง, ราชบัณฑิตยสถาน.

อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ. 2527. **การกำเนิดและการจำแนกดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2530. **ธรณีสัณฐานวิทยา**. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรินทร์มย์. 2530. **บทปฏิบัติการการสำรวจดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2534. **ดินของประเทศไทย**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2542. **คู่มือปฏิบัติการการสำรวจดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. **การสำรวจดิน: มโนทัศน์ หลักการและเทคนิค**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะ
เกษตร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Aboshi, H. 1979. **Failure of Granit Slopes in Chugoku District under Heavy Rain: Shearng
Strength at Failure**. Natural District Science, Vol. 1.

Aung, Z. 1991. **The Study of Landslides Susceptibility Using the GIS Approach (West of
Amphoe Phi Pun, Nakorn Sithammarat Province)**. Master Thesis, Asian Institute of
Technology, Patumtanee. M.Sc. Thesis, AIT, Bangkok.

Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363-382. *In* A. Klute (ed.). **Methods of
Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods**. 2nd ed. Amer. Soc. of
Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Brady, N.C. 1990. **The Nature and Properties of Soil**. 10th ed. Macmillan Publishing
Company, New York.

- Brasher, B.R., L.E. Weloh and W.D. Nettleton. 1972. Characteristics of Soil Subject to Creep and Landslide in Californai. **Soil Sci. Soc. Amer** 36.
- Brindley, G.W. and G. Brown. 1980. **Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification**. Mineralogical Society Monograph. No.5. Spottiswoode Ballantyne Ltd., Longdon.
- Bromhead, E.N. 1992. **The Stability of Slopes**. St. Edmundsbury Press, Bury St. Edmunds, Suffolk, UK.
- Buol, S.W., F.D. Hole and R.J. McCracken. 1989. **Soil Genesis and Classification**. The Iowa State Univ. Press. Ames.
- Campbell, R.H. 1975. **Debris Flows Originating from Soil Slips During Rainstorm in Southern California**. Quarterly Journal of Engineering Geology. Vol.7.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891-901. *In* C.A. Black (ed.). **Methods of Soil Analysis. Part II**. Agronomy No 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Church, M. and M.J. Miles. 1987. **Meteorological Antecedents to Debris Flow in Southwestern British Columbia; Some Case Studies**. Reviews in Engineering Geology, Vol. VII. Geological Society of America.
- Coe J.A., J.A. Micheal, R.A. Crovelli and W.Z. Savage. 2000. **Preliminary Map Showing Landslide Densities, Mean Recurrence Intervals and Exceedance Probabilities as Determined from Historic Record**. Seattle, Washington. Open-File Report 00-303, on line edition, U.S. Geological Survey.

Day, D.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 546-566. *In* C.A.Black (ed.).

Methods of Soil Analysis. Part I. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc.,
Madison, Wisconsin, USA.

E.C.J. Mohr, F.A. van Baren and Schuylenborgh. 1972. **Tropical Soils.** Mouton-Ichtiarbaru Van
Hoeve, the Hague Paris Djakarta.

Ellison, L. and J.E.C. Drake. 1954. Soil-mantle movement in relation to forest clearing in
Southeastern Queensland. **Ecol.** 1(35): 380-388 p.

Fanning, D.S. and M.C.B. Fanning. 1989. **Soil Morphology, Genesis and Classification.** John
Wiley and Sons, Inc., New York.

FEMA. 1998. Fact Sheet: **Landslides and Mudflows.** <http://fema.gov/library/landslif.htm>,
31/8/40.

Foth, H.D. 1990. **Fundamentals of Soil Science.** John Wiley and Sons, Inc., New York.

Greenland, D.J. and J.M.L. Kowel. 1960. Nutrient content of the moist tropical forest of Ghana.
Plant and Soil 12:154-174.

Greenway, D.R. 1987. **Vegetation and Slope Stability**, pp 187-230. *In*: M.G. Anderson and
K.S. Richards (editors).

Hall, G.F. 1983. Pedology and geomorphology. p. 117-140, *In* L.P. Wilding *et al.* (eds.).
Pedogenesis and Soil Taxonomy. Elsevier Science Publishers.

Hansen, A. 1984. **Landslide Hazard Analysis**, Chap. 13. *In* D. Brunsten and D.B. Prior
(editors.).

Hoover and M.D. 1950. Hydrological characteristics of South Carolina piedmont forest soil.

Soil Science Society Amer. Proc. 14: 353-358.

Hornbeck, J. W. and K.G. Reinhart. 1964. **Water Quality and Soil Erosion as Affected in**

Steep Terrain. Jour. Soil and Conservation.

Jackson, M.L. 1965. **Soil Chemical Analysis.** Advanced Course. Dept. of Soils, University of

Wisconsin, Wisconsin, USA.

Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soil. **Soil Sci.**

68: 15-24.

Koppen. 1990. **Climate Classification.** [http. En. Wikipedia.org/wiki/.,6/3/2007](http://En.Wikipedia.org/wiki/.,6/3/2007).

Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soils, pp. 210-

220. *In* C.A. Black (ed.). **Methods of Soil Analysis. Part I.** Agronomy No. 9. Amer.

Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for**

Thailand. Dep. Of Land Development, Min. of Agri. and Coop., Bangkok.

Lessing, P., P. C. Messenia and R. F. Fonner. 1983. Landslides risk assessment. **Environmental**

Geology. 5 (2): 93-99.

Mehrotra, S. Sarkar and R. Dhamaraju. 1991. **Landslide hazard assessment in Rishikesh Tehri**

Area, Garhwal Himalaya, India. *In* D. H. Bell (ed.). Landslides Glissement De

Terrain. Geology Department, Univ. of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

Meixner, R.E. and M.J. Singer. 1981. Use of morphology rating system to evaluate soil

formation and discontinuities. **Soil Sci.** 131: 114-123.

- Miura, N. 1979. A Mechanism of Deterioration of Decomposed Granite Soils Due to Submergence. **Natural Disaster Science** 1: 67-76.
- Namuwaya Sheila D.C. 2006. **Predictive Modelling of Rainfall Induced Landslides in a Tropical Environment: A Case of Ang Khang and Wang Chin Districts in Northern Thailand.** International Institute of Geo-Information Sci. and Earth Observation Enschede, Netherlands.
- National Soil Survey Center. 1996. **Soil Survey Laboratory Methods Manual.** Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, Department of Agriculture, USA.
- Nilsen and Turner. 1975. **The Influence of Rainfall and Ancient Landslide Deposits on Recent Landslide (1950-71) in Urban Areas of Contra Costa County.** California, U.S. Geological Surveys Bulletin No. 1388.
- Nilsen, T.H., F.A. Taylor and R.M. Dean. 1976. **Natural Conditions that Control Landsliding in the San Francisco Bay Region-An Analysis Based on Data from the 1968-69 and 1972-73 Rainy Seasons.** U.S. Geological Surveys Bulletin, No. 1424.
- Nwajide, C.O., C.O. Okagbue and A.C. Umeji. 1988. **Slump Debris Flows in the Akovolwo Mountainous Areas of Benue State.** Natural Hazard 1, Nigeria.
- Okuda, S., K. Ashida, Y. Gocho, K. Okunishi, T. Sawada and K. Yokoyama. 1983. Characteriss of heavy rainfall and debris hazard. **Natural Disaster Science** 1(2): 44-55.
- O'Neal, A.M. 1952. A key for evaluating soil permeability by means of certain field clues. **Soil Sci. Am. Proc.** 16: 312-315.

- Piersson, T.C., R.M. Iverson and S.D. Ellen. 1991. **Landslides: Spatial and Temporal Distribution of Shallow Landslides during Intense Rainfall, Southeastern Oahu, Hawaii.** Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- Rice, R.M. and Foggin, G.T. 1971. Effect of high intensity storms in soil slippage on mountainous watersheds in Southern California. **Water Res.** 7: 1485-1496.
- Roth, R.A. 1983. Factors effecting landslide-susceptibility in San Mateo County. **California Bull. of the Assoc. of eng. Geol.** XX(4): 355-372.
- Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soil in the Tropics.** Jonh Wiley and Sons, Inc., Naw York.
- Sanchez, P.A. , J.H. Villachica and D.E. Bandy. 1983. Soil fertility dynamics after cleaning atropical rainforest in Peru.. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 47: 1171-1178.
- Sassa, K. 1985. **The Geotechnical Classification of Landslides.** Proceeding IVth International Conference and Field Workshop on Landslides. Tokyo: 31-40.
- Schaetzl, R.J., and S. Anderson. 2005. **Soil Genesis and Geomorphology.** Cambridge University Press, UK.
- Selby, M.J. 1993. **Hillslope Materials and Processes.** Oxford University Press Inc., Naw York.
- Skempton, A. W. and J. N. Hutchinson. 1969. **Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations.** 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Mexico City, State of the Art Volume: 291-340.
- Soil Conservation Service. 1984. **Procedures for Collecting Soil Samples and Method of Analysis for Soil Survey Investigation.** No. 1 (revised) U.S. Dep. Agr., Washington D.C.

- Soil Survey Division Staff. 1975. **Soil Taxonomy – A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting**. U.S. Dept. of Agric., U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual**. U.S. Dep. of Agr. Handbook No. 18, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Tamontin, C. 1978. **Investigation of Landslides along Doi Inthanon Highway**. Master Thesis, Asian Institute of Technology, Patumtanee.
- The Province of British Columbia. 1997. **Landslide Types**. At: [http://www. Anaheim-landslide.com/typs.htm](http://www.Anaheim-landslide.com/typs.htm), Feb 19. 2007.
- Thompson, L.M. and F.R. Troeh. 1978. **Soils and Soil Fertility**. 4th ed., McGraw – Hill Inc., New York.
- Trimble, G. R., C. E. Hale and H.S. Potter. 1951. **Effect of Soil Cover Condition on Soil-Water Relationships**. USDA Forest Serv., NE. Forest Exp. Station.
- Varnes, D. J. 1978. Slope movement types and processes, pp. 11-33. *In* R.L. Schuster and R.J. Krizek (eds.). **Landslides Analysis and Control, Transportation**. Special Report No 176. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter: a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science** 37: 29-35.
- Wang. 1979. Adopted from <http://www.ce.washington.edu/~liquefaction>. 04/12/2006.
- Watkins, S.J. 1975. **Our Geological Environment**. W.B. sounders Co., Philadelphia.

Young, A. 1976. **Tropical Soils and Soil Survey**. Cambridge Univ. Press, London.

Zinck J.A., J. Lopez, G.I. Metternicht, D.P. Shrestha and L. Vazquez-Selem. 1976. **Mapping and Modeling Mass Moments and Gullies in Mountainous Areas Using Remote Sensing and GIS Techniques**. ITC journal, 2001.

ภาคผนวก

คำอธิบายหน้าตัดดิน
(Soil profile description)

LANDSLIDES 1

I Information on the site

Profile symbol	: LS-1
Soil name	: -
Classification	: Typic Hapludult
Date of examination	: 24 th April 2007
Described by	: Somchai Anusontpornperm, Thitichaya Tongsiri, Naruemol Wasuwan, Kamolwan Laopoolkit, Wittaya Jindaluang, Napaporn Panyachai, Nakkarin Sobprasonk and Naruenatre Kiatsuemkajorn
Location	: Secondary forest area opposite plot 2000, Tambon Mon Pin, Amphoe Fang, Changwat Chiangmai
Elevation	: Approximately 1,444 m (MSL)
Sheet name of topographic map	: Amphoe Fang
Map sheet number	: 4848 IV Co-ordinate: 47Q 0504762 UTM: 2202744
Landform	
1. Physiographic position	: Upper middle valley side slope of the lower middle part of spur
2. Surrounding landform	: Very steep
3. Slope on which profile site	: 70% (aspect: 104°NW Azim.)
Land use	: Secondary forest, mainly bushes and some weeds with remnant of some dry evergreen forest tree species
Annual rainfall	: Approximately 2063.2 mm
Mean temperature	: Approximately 17.8 °C
Climate	: Humid subtropical
Others	: -

II General information on the soil

Parent material	: Colluvium of mixed metamorphic rocks over residuum derived from slate
Drainage	: Well drained
Permeability	: Rapid
Runoff	: Rapid
Depth of ground water	: Deeper than 2.0 m at time of sampling
Erosion	: Class 2

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-20	(7.5YR 4/6) (95%) mixed with (7.5YR 4/6) (5%) ; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, slightly sticky and very plastic; many very fine, few fine vesicular and few fine single tubular pores; many very fine, common fine and few medium roots; few medium dead roots; very strongly acid (field pH 5.0); gradual, smooth boundary to Bt1
Bt1	20-48	(7.5YR 5/8); clay; strong fine, and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, slightly sticky and very plastic; common faint clay coating on faces of peds; common very fine, few fine vesicular and few very fine single tubular pores; many very fine, common fine and few medium roots; few medium dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual, smooth boundary to Bt2
Bt2	48-72	(7.5YR 5/6); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, slightly sticky and very plastic; many faint clay coating on faces of peds and pore walls; few small spots of highly weathered rock fragment; common very fine, fine vesicular and few fine single tubular pores; common very fine, fine and few medium roots; few medium dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual, smooth boundary to Bt3
Bt3	72-101	(7.5YR 5/8); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; many faint clay coating on faces of peds and pore walls; few small angular gravel of highly weathered rock fragment; common very fine and fine vesicular pores; few very fine and medium roots; a large hole of termite nest; few medium dead roots; very strongly acid (field pH 5.0); gradual, smooth boundary to Bt4
Bt4	101-128	(7.5YR 5/6) (90%), (7.5YR 7/8) (5%) weathered rock fabric and (10YR 2/1) (5%) weathered rock surfaces; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and very plastic; common faint clay coating on faces of peds and pore walls; common very small to large angular gravel of highly weathered rock fragment; few very fine and fine vesicular pores; few very fine and medium roots; few medium dead roots; very strongly acid (field pH 5.0); gradual, smooth boundary to Bt5
Bt5	128-153	(5YR 5/8) (65%), (10YR 2/1) (30%) weathered rock fabric and (2.5YR 6/6) (5%) rock surface; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and very plastic; few faint clay coating on faces of peds; common very small to large angular gravel of highly weathered angular rock fragment; few very fine and fine vesicular pores; few very fine and medium roots; very strongly acid (field pH 5.0); clear, smooth boundary to Bt6
Bt6	153-181	(7.5YR 5/6) (75%), (2.5YR 6/6) (20%) weathered rock fabric and (10YR 2/1) (5%) rock surface; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and moderately plastic; few faint clay coating on faces of peds; common very small to large angular gravel of highly weathered angular rock fragment; very few very fine and fine vesicular pores; very few very fine and medium roots; few traces of dead roots; very

Bt7	181-200+	strongly acid (field pH 5.0); clear, smooth boundary to Bt7 (5YR 4/6) and (10YR 3/2) (5%) weathered rock fabric; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and slightly plastic; few faint clay coating on faces of peds; common very small to large angular gravel of highly weathered angular rock fragment; very few very fine and fine vesicular pores; very few very fine and medium roots; moderately acid (field pH 6.0).
-----	----------	--

LANDSLIDES 2

I Information on the site

Profile symbol	: LS-2
Soil name	: -
Classification	: Typic Palehumult
Date of examination	: 24 th April 2007
Described by	: Somchai Anusontpornperm, Thitichaya Tongsiri, Naruemol Wasuwan, Kamolwan Laopoolkit, Wittaya Jindaluang, Napaporn Panyachai, Nakkarin Sobprasonk and Naruenatre Kiatsuemkajorn
Location	: Secondary forest area opposite plot 2000, Tambon Mon Pin, Amphoe Fang, Changwat Chiangmai
Elevation	: Approximately 1,483 m (MSL)
Sheet name of topographic map	: Amphoe Fang
Map sheet number	: 4848 IV Co-ordinate: 47Q 0504814 UTM: 2202792
Landform	
1. Physiographic position	: Upper middle valley side slope of the upper middle part of spur
2. Surrounding landform	: Very steep
3. Slope on which profile site	: 75% (aspect: 119°NW Azim.)
Land use	: Secondary forest mainly bushes and some weeds with remnant of dry evergreen tree species
Annual rainfall	: Approximately 2063.2 mm
Mean temperature	: Approximately 17.8 °C
Climate	: Humid subtropical
Others	: -

II General information on the soil

Parent material	: Colluvium mainly derived from slate
Drainage	: Well drained
Permeability	: Rapid
Runoff	: Rapid
Depth of ground water	: Deeper than 2.0 m at time of sampling
Erosion	: Class 2

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-20	(7.5YR 4/6); clay loam; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, moderately sticky and very plastic; common very fine and very few fine vesicular pores; common very fine, medium and coarse roots; few traces of dead roots; few traces of charcoal ;very strongly acid (field pH 5.0); clear, smooth boundary to Bt1
Bt1	20-50	(5YR 4/6); clay; strong fine, and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, slightly sticky and very plastic; few faint clay coating on faces of peds; common very fine and very few fine vesicular pores; many very fine, fine and common medium roots; strongly acid (field pH 5.5); diffuse, smooth boundary to Bt2
Bt2	50-72	(5YR 4/6); clay; strong very fine, fine and medium subangular blocky

		structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and very plastic; common faint clay coating on faces of peds; common very fine vesicular and few fine single tubular pores; common very fine, fine and medium roots; strongly acid (field pH 5.5); diffuse , smooth boundary to Bt3
Bt3	72-96	(5YR 4/6); clay; strong very fine, fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; common faint clay coating on faces of peds; many very fine, few fine vesicular, few very fine and fine single tubular pores; common very fine, fine and medium roots; very strongly acid (field pH 5.0); gradual, smooth boundary to Bt4
Bt4	96-122	(2.5YR 4/4) (90%) and (10YR 6/8) (10%) weathered rock fabric; clay; moderate very fine and fine subangular blocky structure; soft dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; common faint clay coating on faces of peds; many very fine, few fine vesicular, few very fine and fine single tubular pores; common very fine, fine and medium roots; common medium angular gravel of highly weathered slate; moderately acid (field pH 6.0); clear, smooth boundary to Bt5
Bt5	122-148	(2.5YR 4/6) (90%) and (7.5YR 6/5) (10%) weathered rock fabric; clay; moderate very fine and fine subangular blocky structure; soft dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; common faint clay coating on faces of peds; few small angular gravel of fresh quartz; many very fine, few fine vesicular and few fine single tubular pores; common very fine, fine and medium roots; common medium angular gravel of highly weathered slate; moderately acid (field pH 6.0); clear, smooth boundary to Bt6
Bt6	148-170	(5YR 4/6) (90%) and (7.5YR 5/8) (10%) weathered rock fabric; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; few faint clay coating on faces of peds; few very fine, very few fine vesicular and few very fine single tubular pores; few very fine and fine roots; common medium angular gravel of highly weathered slate; moderately acid (field pH 6.0); gradual, smooth boundary to Bt7
Bt7	170-200+	(5YR 4/6) (90%) and (10YR 6/8) (10%) weathered rock fabric; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; few faint clay coating on faces of peds; few very fine, very few fine vesicular and few very fine single tubular pores; few very fine and fine roots; common medium angular gravel of highly weathered slate; moderately acid (field pH 6.0).

LANDSLIDES 3

I Information on the site

Profile symbol	: LS-3
Soil name	: -
Classification	: Typic Hapludalf
Date of examination	: 24 th April 2007
Described by	: Somchai Anusontpornperm, Thitichaya Tongsiri, Naruemol Wasuwan, Kamolwan Laopoolkit, Wittaya Jindaluang, Napaporn Panyachai, Nakkarin Sobprasonk and Naruenatre Kiatsuemkajorn
Location	: Secondary forest area near plot 2000, Tambon Mon Pin, Amphoe Fang, Changwat Chiangmai
Elevation	: Approximately 1,512 m (MSL)
Sheet name of topographic map	: Amphoe Fang
Map sheet number	: 4848 IV Co-ordinate: 47Q 0504833 UTM: 2202992
Landform	
1. Physiographic position	: upper middle backside slope of shifted mountain
2. Surrounding landform	: Very steep
3. Slope on which profile site	: 85% (aspect: 142°NW Azim.)
Land use	: Secondary forest, mainly weeds with bamboo and remnant of dry evergreen forest tree species
Annual rainfall	: Approximately 2063.2 mm
Mean temperature	: Approximately 17.8 °C
Climate	: Humid subtropical
Others	: -

II General information on the soil

Parent material	: Colluvium over residuum derived from slate
Drainage	: Well drained
Permeability	: Rapid
Runoff	: Rapid
Depth of ground water	: Deeper than 2.0 m at time of sampling
Erosion	: Class3

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-20/30	(5YR 3/3) (90%) and (10YR 7/8) (10%) weathered rock fabric; clay loam; strong very fine and fine subangular blocky partly breaking into strong very fine granular structure; soft dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; few small angular gravel of slightly weathered slate; many very fine, few fine vesicular and few very fine dendritic tubular pores; many very fine, fine and very coarse roots; few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); abrupt, wavy boundary to Bt1
Bt1	30-50	(2.5YR 4/6) (90%) and (10YR 7/8) (10%) weathered rock fabric; clay loam; strong very fine and fine subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and very plastic; few faint clay coating on faces of peds; few small angular gravel of slightly weathered slate; many very fine and few fine vesicular pores; many very fine, fine and few medium roots; moderately acid (field pH 6.0); gradual, smooth boundary to Bt2

Bt2	50-70	(2.5YR 4/8) (85%) and (10YR 6/8) (15%) weathered rock fabric; clay; moderate very fine and fine subangular blocky structure; soft dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; few faint clay coating on faces of peds and surfaces of weathered rock fragment; many small and common medium angular gravel of slightly weathered slate; common very fine vesicular pores; many very fine, few fine and common medium roots; moderately acid (field pH 6.0); clear, smooth boundary to Bt3
Bt3	70-100	(2.5YR 4/6) (80%) and (10YR 7/6) (20%) weathered rock fabric; clay; moderate very fine and fine subangular blocky structure; soft dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; few faint clay coating on faces of peds and surfaces of weathered rock fragment; many small and common medium angular gravel of slightly weathered slate; common very fine vesicular pores; many very fine, few fine and medium roots; moderately acid (field pH 6.0); clear, smooth boundary to BCrt
BCrt	100-125	(2.5YR 4/6) (80%) and (10YR 7/6) (20%) weathered rock fabric; clay; moderate very fine and fine subangular blocky structure; soft dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; few faint clay coating on faces of peds and surfaces of weathered rock fragment; many medium and large angular gravel of slightly weathered slate; many very fine vesicular pores; common very fine and few fine roots; few small gravel of fresh quartz; moderately acid (field pH 6.0); clear, smooth boundary to Crt
Crt	125-200+	(2.5YR 4/6) (75%), (10YR 7/6) (20%) weathered rock fabric and (10YR 2/1) (5%) weathered rock surfaces; clay; mainly retaining rock structure parting into differentiated weathering of slate; slightly hard dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; few faint clay coating on faces of peds and surfaces of weathered rock fragment; many very fine vesicular and very few very fine simple tubular pores; very few fine roots; few medium dead roots; moderately acid (field pH 6.0).

LANDSLIDES 4

I Information on the site

Profile symbol	: LS-4
Soil name	: -
Classification	: Typic Haplohumult
Date of examination	: 25 th April 2007
Described by	: Somchai Anusontpornperm, Thitichaya Tongsiri, Naruemol Wasuwan, Kamolwan Laopoolkit, Wittaya Jindaluang, Napaporn Panyachai, Nakkarin Sobprasonk and Naruenatre Kiatsuemkajorn
Location	: Natural forest area, Ban Suay Thang, Tambon Mae Ngon, Amphoe Fang, Changwat Chiangmai
Elevation	: Approximately 1,373 m (MSL)
Sheet name of topographic map	: Amphoe Fang
Map sheet number	: 4848 IV Co-ordinate: 47Q 0505270 UTM: 2190976
Landform	
1. Physiographic position	: Upper middle back slope
2. Surrounding landform	: Very steep
3. Slope on which profile site	: 85% (aspect: 55°NW Azim.)
Land use	: Secondary forest with remnant of dry evergreen forest tree species and some fast growing trees.
Annual rainfall	: Approximately 2063.2 mm
Mean temperature	: Approximately 17.8 °C
Climate	: Humid subtropical
Others	: -

II General information on the soil

Parent material	: Colluvium over residuum possibly derived from phyllite
Drainage	: Well drained
Permeability	: Rapid
Runoff	: Rapid
Depth of ground water	: Deeper than 2.0 m at time of sampling
Erosion	: Class 3

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-29	(10YR 4/4); clay loam; moderate very fine and fine subangular blocky structure; soft dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; many very fine and fine vesicular pores; many very fine, fine, medium and coarse roots; very strongly acid (field pH 5.0); clear, smooth boundary to Bt1
Bt1	29-46	(7.5YR 4/6) (30%) mixed with (5YR 4/6) (70%); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; many prominent clay coating on faces of peds and pore walls; common dark spots of organic matter accumulation; many very fine, fine vesicular and few very fine dendritic tubular pores; common very fine, fine, many medium and

		coarse roots; strongly acid (field pH 5.5); clear, smooth boundary to Bt2
Bt2	46-68	(5YR 4/6); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, friable moist, moderately sticky and very plastic; many prominent clay coating on faces of peds and pore walls; many very fine, few fine vesicular, few very fine and fine simple tubular pores; few very fine, fine and many medium roots; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual, smooth boundary to Bt3
Bt3	68-93	(5YR 5/8); clay; strong medium and coarse subangular blocky structure; hard dry, firm moist, moderately sticky and very plastic; many prominent clay coating on faces of peds and pore walls; very few small angular gravel of highly weathered phyllite; many very fine, few fine vesicular, few fine simple and few very fine dendritic tubular pores; few very fine, fine and common medium roots; common traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual, smooth boundary to Bt4
Bt4	93-110/122	(5YR 5/8) (95%) and (7.5YR 8/1) (5%) weathered rock fabric; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, slightly sticky and very plastic; many prominent clay coating on faces of peds and pore walls; few small angular gravel of slightly weathered quartz; many very fine vesicular and few very fine dendritic tubular pores; few very fine, fine and common medium roots; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); abrupt, wavy boundary to Bt5
Bt5	122-155	(5YR 5/8) (95%) and (7.5YR 8/1) (5%) weathered rock fabric; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, slightly sticky and very plastic; many prominent clay coating on faces of peds, pore walls and surfaces of rock fragment; many small and medium angular gravel of slightly weathered quartz accumulating horizontally; many very fine vesicular and few very fine dendritic tubular pores; few very fine and medium roots; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 5.0); abrupt, wavy boundary to Bt6
Bt6	150-170	(5YR 5/6) (90%) and (7.5YR 8/1) (5%) weathered rock fabric; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, slightly sticky and very plastic; many prominent clay coating on faces of peds, pore walls and surfaces of rock fragment; very few small angular gravel of slightly weathered quartz; many very fine vesicular and few very fine dendritic tubular pores; very few very fine roots; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual, smooth boundary to Bt7
Bt7	170-200+	(2.5YR 5/8) (75%) mixed with (10YR 7/6) (20%) and (7.5YR 8/1) (5%) weathered rock fabric; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, slightly sticky and very plastic; common prominent clay coating of faces of peds and pore walls; common small and medium angular gravel of slightly weathered quartz accumulating horizontally and vertically; many very fine vesicular and few very fine dendritic tubular pores; very few very fine roots; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5).

LANDSLIDES 5

I Information on the site

Profile symbol	: LS-5
Soil name	: -
Classification	: Typic Hapludult
Date of examination	: 25 th April 2007
Described by	: Somchai Anusontpornperm, Thitichaya Tongsiri, Naruemol Wasuwan, Kamolwan Laopoolkit, Wittaya Jindaluang, Napaporn Panyachai, Nakkarin Sobprasonk and Naruenatre Kiatsuemkajorn
Location	: Natural forest area, Ban Suay Thang, Tambon Mae Ngon, Amphoe Fang, Changwat Chiangmai
Elevation	: Approximately 1,373 m (MSL)
Sheet name of topographic map	: Amphoe Fang
Map sheet number	: 4848 IV Co-ordinate: 47Q 0505632 UTM: 2192674
Landform	
1. Physiographic position	: Shoulder valley side slope of the upper part of spur
2. Surrounding landform	: Very steep
3. Slope on which profile site	: 90% (aspect: 183°NW Azim.)
Land use	: Secondary forest with remnant of dry evergreen forest species and some weeds.
Annual rainfall	: Approximately 2063.2 mm
Mean temperature	: Approximately 17.8 °C
Climate	: Humid subtropical
Others	: -

II General information on the soil

Parent material	: Colluvium over residuum derived from quartzite
Drainage	: Well drained
Permeability	: Rapid
Runoff	: Rapid
Depth of ground water	: Deeper than 2.0 m at time of sampling
Erosion	: Class 3

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-10	(7.5YR 4/4) (60%) mixed with (10YR 3/1) (30%) and (7.5YR 5/6) (10%) mottles; sandy loam; moderately weak very fine, and fine subangular blocky structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and slightly plastic; common very fine and few fine vesicular pores; many very fine, fine and medium roots; strongly acid (field pH 5.5); clear, smooth boundary to Bt1
Bt1	10-30	(10YR 6/8) (20%) mixed with (7.5YR 5/6) (5%); sandy loam; moderately weak very fine, and fine subangular blocky structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coating on faces of peds, pore wall and clay bridges between sand grains; few small and medium angular gravel of slightly weathered quartzite; many very fine, few fine vesicular and few fine simple tubular pores; many very fine, few fine, medium and

		coarse roots; strongly acid (field pH 5.5); clear, smooth boundary to Bt2
Bt2	30-57	(10YR 5/8) (80%) mixed with (7.5YR 6/8) (20%); sandy loam; moderately weak fine, and medium subangular blocky structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and slightly plastic; many distinct clay coating on faces of peds, pore wall and bridges between sand grains; common small and medium angular gravel of slightly weathered quartzite; many very fine and few fine vesicular pores; few very fine and fine roots; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual, smooth boundary to Bt3
Bt3	57-82	(10YR 6/8) (80%) mixed with (7.5YR 6/8) (15%) and (10YR 5/1) (5%) rock fabric; sandy loam; moderately weak fine, and medium subangular blocky structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and non plastic; many prominent clay coating on faces of peds, pore wall and clay bridges between sand grains; many small and medium angular gravel of highly weathered quartzite; few very fine vesicular and few very fine simple tubular pores; very few very fine and common medium roots; few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); clear, smooth boundary to BCrt
BCrt	82-100/125	(7.5YR 7/8) (50%) with (10YR 5/1) (40%) rock fabric, (10YR 7/8) (5%) and (5YR 5/8) (5%) mottles along rock cleavages; sandy loam; moderately weak fine, and medium subangular blocky and half of the horizon retaining original rock structure; soft dry, very friable moist, non sticky and non plastic; many prominent clay coating on faces of peds, pore walls and clay bridges between sand grains; few very fine vesicular pores; very few very fine, common medium and coarse roots; few traces of dead roots, a large hole of beaver nest; moderately acid (field pH 6.0); clear, smooth boundary to Crt
Crt	125-200+	(7.5YR 6/8) (30%) with (10YR 5/1) (60%) rock fabric, (10YR 7/8) (5%) and (5YR 5/8) mottles along rock cleavages; sandy loam; mainly retaining rock structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and moderately plastic; many prominent clay coating on faces of peds, pore wall and clay bridges between sand grains; few very fine vesicular pores; very few very fine and few medium roots; strongly acid (field pH 5.5).

LANDSLIDES 6

I Information on the site

Profile symbol	: LS-6
Soil name	: -
Classification	: Typic Haplohumult
Date of examination	: 25 th April 2007
Described by	: Somchai Anusontpornperm, Thitichaya Tongsiri, Naruemol Wasuwan, Kamolwan Laopoolkit, Wittaya Jindaluang, Napaporn Panyachai, Nakkarin Sobprasonk and Naruenatre Kiatsuemkajorn
Location	: Natural forest area, Ban Suay Thang, Tambon Mae Ngon, Amphoe Fang, Changwat Chiangmai
Elevation	: Approximately 1,623 m (MSL)
Sheet name of topographic map	: Amphoe Fang
Map sheet number	: 4848 IV Co-ordinate: 47Q 0505346 UTM: 2195394
Landform	
1. Physiographic position	: Upper middle backside slope
2. Surrounding landform	: Very steep
3. Slope on which profile site	: 95% (aspect: 340°NW Azim.)
Land use	: Secondary forest with remnant of dry evergreen forest species and some weeds.
Annual rainfall	: Approximately 2063.2 mm
Mean temperature	: Approximately 17.8 °C
Climate	: Humid subtropical
Others	: -

II General information on the soil

Parent material	: Colluvium over residuum derived from slate
Drainage	: Well drained
Permeability	: Rapid
Runoff	: Rapid
Depth of ground water	: Deeper than 2.0 m at time of sampling
Erosion	: Class 3

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-20	(10YR 2/1); sandy loam; moderately very fine and fine subangular blocky mixed with strong fine and medium granular structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and slightly plastic; many very fine and fine vesicular pores; many very fine, fine and medium roots; few small angular gravel of weathered slate; moderately acid (field pH 6.0); abrupt, smooth boundary to Bt1
Bt1	20-42	(10YR 3/2) (95%) with (5YR 5/6) (3%) and (2.5Y 5/1) (2%) rock fabrics; sandy loam; moderately very fine, and fine subangular blocky structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and plastic; few faint clay coating on faces of peds; common very fine and few fine vesicular pores; many very fine, fine and medium roots; common small angular gravel of weathered slate; moderately acid (field pH 6.0); gradual, smooth boundary to Bt2
Bt2	42-63	(10YR 4/3) (80%) with (10 YR 8/1) (15%) weathered rock fabric and

		(5YR 4/4) (5%) rock surface; slightly stony sandy loam; moderately very fine, fine and medium subangular blocky structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and moderately plastic; few faint clay coating on faces of peds and pore walls; many very fine, few fine vesicular and few very fine simple tubular pores; many very fine and fine roots; common small and medium boulders of weathered slate; very strongly acid (field pH 4.5); gradual, smooth boundary to Bt3
Bt3	63-94	(10YR 5/4) (80%) with (10YR 5/1) (20%) rock surface; stony sandy loam; moderately very fine, and fine subangular blocky structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and moderately plastic; few faint clay coating on faces of peds and rock fragment surfaces; many very fine and fine vesicular pores; common very fine and medium roots; common small and medium boulders of weathered slate; very strongly acid (field pH 5.0); abrupt, smooth boundary to BCrt
BCrt	94-140	(10YR 7/6) (70%) with (5 YR 7/2) (10%) weathered rock fabric and (7.5YR 6/6) (20%) rock surface; very stony; sandy loam; weak fine, and medium subangular blocky partly retaining rock structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and moderately plastic; few faint clay coating on faces of peds, rock fragment surfaces and clay bridges between sand grains; common very fine and fine vesicular pores; few very fine and fine roots; many fine to large angular gravel, pebbles and boulders of weathered slate; very strongly acid (field pH 5.0); abrupt, smooth boundary to Crt
Crt	140-200+	(10YR 7/4) (5%) mixed with (10YR 7/8) (5%) with (7.5 YR 8/6) (60%) rock fabric (5YR 5/6) and (5YR 5/6) (30%) rock surface; mainly retaining original rock structure; soft dry, very friable moist, slightly sticky and moderately plastic; few faint clay coating on faces of peds, rock fragment surfaces and clay bridges between sand grains; common very fine and fine vesicular pores; few very fine roots; very strongly acid (field pH 4.0).

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของบริเวณที่ทำการศึกษา เฉลี่ยตั้งแต่ปี 2532-2549

เดือน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
มกราคม	21.3	4.3	12.8	85.5	42.0	63.7	22.9
กุมภาพันธ์	23.1	5.6	14.3	83.5	37.1	60.3	22.1
มีนาคม	25.9	9.1	17.5	88.4	37.4	62.9	35.6
เมษายน	27.6	12.3	19.9	83.6	36.7	60.1	74.8
พฤษภาคม	25.7	15.5	20.6	82.8	47.4	65.1	246.8
มิถุนายน	24.6	16.9	20.8	81.3	54.8	68.1	232.7
กรกฎาคม	24.0	17.0	20.5	88.5	64.4	76.4	303.5
สิงหาคม	23.5	16.9	20.2	86.4	66.6	76.5	418.6
กันยายน	23.6	15.9	19.7	86.8	63.1	74.9	365.8
ตุลาคม	22.7	14.1	18.4	85.6	62.2	73.9	243.0
พฤศจิกายน	21.2	9.9	15.5	83.6	54.5	69.0	71.4
ธันวาคม	19.5	6.3	12.9	85.5	52.8	69.2	26.2
รวม	282.6	143.9	213.2	1,021.5	618.9	820.2	2,063.2
เฉลี่ย	23.6	12.0	17.8	84.7	51.3	68.0	173.7

ที่มา: สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง (2532-2549)

ตารางผนวกที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษาและค่าดัชนีพลาสติกของดิน

Profile	Horizon	Depth	Sand	Silt	Clay	Particle size class	Bulk	Hydraulic conductivity	Plasticity (%)
			(-----g kg ⁻¹ -----)				density	coefficient	index
			USDA Grading				(Mg m ⁻³)	(cm hr ⁻¹)	
บริเวณที่ 1 (พีดอน 1): Typic Hapludult									
LS-1	A	0-20	113.9	442.0	444.1	Clay	1.23	1,243.7	23.84
	Bt1	20-48	119.9	498.4	381.7	Silty clay loam	1.34	3,121.6	11.66
	Bt2	48-72	124.4	475.3	400.3	Silty clay	1.06	4,061.4	29.78
	Bt3	72-101	184.4	447.2	368.5	Silty clay loam	1.12	1,926.4	15.89
	Bt4	101-128	274.5	416.0	309.5	Clay loam	1.06	-	15.65
	Bt5	128-153	268.7	388.7	342.6	Clay loam	1.12	-	14.00
	Bt6	153-181	230.9	441.3	327.8	Clay loam	1.23	-	9.70
	Bt7	181-200+	328.7	248.3	423.0	Clay	1.07	-	19.01

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Profile	Horizon	Depth	Sand	Silt	Clay	Particle size class	Bulk	Hydraulic conductivity	Plasticity (%)
			(-----g kg ⁻¹ -----)				density	coefficient	index
		(cm)	USDA Grading				(Mg m ⁻³)	(cm hr ⁻¹)	
บริเวณที่ 2 (พีดอน 2): Typic Palehumult									
LS-2	A	0-20	101.6	401.0	497.5	Clay	1.04	244.1	19.50
	Bt1	20-50	58.5	386.9	554.6	Clay	1.06	4,107.6	13.89
	Bt2	50-72	46.3	275.1	678.7	Clay	0.97	2,468.7	17.56
	Bt3	72-96	40.3	272.5	687.2	Clay	0.87	3,194.8	29.99
	Bt4	96-122	49.9	274.3	675.9	Clay	0.89	-	21.10
	Bt5	122-148	68.5	298.2	633.4	Clay	1.02	-	29.41
	Bt6	148-170	67.7	125.3	806.9	Clay	1.06	-	25.75
	Bt7	170-200+	85.3	314.4	600.3	Clay	1.23	-	37.43

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Profile	Horizon	Depth	Sand	Silt	Clay	Particle size class	Bulk	Hydraulic conductivity	Plasticity (%)
			(-----g kg ⁻¹ -----)				density	coefficient	index
		(cm)	USDA Grading				(Mg m ⁻³)	(cm hr ⁻¹)	
บริเวณที่ 3 (พีดอน 3): Typic Hapludalf									
LS-3	A	0-20/30	277.1	418.7	304.1	Clay loam	0.95	3,674.0	36.87
	Bt1	30-50	258.0	384.6	357.4	Clay loam	1.07	1,813.9	18.46
	Bt2	50-70	174.2	448.4	377.4	Silty clay loam	1.06	739.8	15.69
	Bt3	70-100	258.2	348.7	393.1	Clay loam	1.22	1,026.9	18.67

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Profile	Horizon	Depth	Sand	Silt	Clay	Particle size class	Bulk	Hydraulic conductivity	Plasticity
			(-----g kg ⁻¹ -----)				density	coefficient	index
		(cm)	USDA Grading				(Mg m ⁻³)	(cm hr ⁻¹)	
บริเวณที่ 4 (พืดอน 4): Typic Haplohumult									
LS-4	A	0-29	156.8	413.0	430.2	Silty clay	0.65	1,916.9	17.62
	Bt1	29-46	159.9	241.2	598.9	Clay	1.02	845.2	15.35
	Bt2	46-68	169.5	352.9	477.6	Clay	1.15	327.4	18.78
	Bt3	68-93	176.9	391.7	431.5	Clay	1.49	69.2	15.52
	Bt4	93-110/122	184.2	430.7	385.0	Silty clay loam	1.48	-	25.30
	Bt5	122-150	307.2	368.3	324.5	Clay loam	1.53	-	14.55
	Bt6	150-170	317.5	387.0	295.5	Clay loam	1.57	-	14.55
	Bt7	170-200+	321.7	392.8	285.5	Clay loam	1.48	-	20.62

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Profile	Horizon	Depth	Sand	Silt	Clay	Particle size class	Bulk	Hydraulic conductivity	Plasticity
			(-----g kg ⁻¹ -----)				density	coefficient	index
		(cm)	USDA Grading				(Mg m ⁻³)	(cm hr ⁻¹)	
บริเวณที่ 5 (พีดอน 5): Typic Hapludult									
LS-5	A	0-10	614.4	191.0	194.6	Sandy loam	1.08	757.1	12.62
	Bt1	10-30	619.6	180.9	199.5	Sandy loam	1.23	683.0	3.62
	Bt2	30-57	658.8	109.0	232.1	Sandy clay loam	1.48	365.6	0.00
	Bt3	57-82	642.5	175.7	181.8	Sandy loam	1.49	178.4	6.60
	BCrt	82-100/125	621.1	126.0	252.9	Sandy clay loam	1.67	-	3.34

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Profile	Horizon	Depth (cm)	Sand	Silt	Clay	Particle size class	Bulk	Hydraulic conductivity	Plasticity
			(-----g kg ⁻¹ -----)				density	coefficient	index
			USDA Grading				(Mg m ⁻³)	(cm hr ⁻¹)	
บริเวณที่ 6 (พีดอน 6): Typic Haplohumult									
LS-6	A	0-20	577.0	98.4	324.6	Sandy clay loam	1.20	586.9	12.07
	Bt1	20-42	520.9	225.7	253.4	Sandy clay loam	1.14	1,232.3	21.28
	Bt2	42-63	526.4	203.9	269.8	Sandy clay loam	1.22	1,162.8	12.13
	Bt3	63-94	487.3	234.1	278.6	Sandy clay loam	1.28	880.5	15.99
	BCrt	94-140	530.9	216.5	252.7	Sandy clay loam	-	-	6.94

ตารางผนวกที่ 3 แสดงการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษา

Profile	Horizon	Depth	pH		OM	Extractable base				Sum	Extr.	CEC		BS	
code			H ₂ O	KCl		Ca	Mg	Na	K	bases	acidity	by sum	by NH ₄ OAc	by sum	
		(cm)			(g kg ⁻¹)	(-----cmol kg ⁻¹ -----)									(%)
บริเวณที่ 1 (พีคอน 1): Typic Hapludult															
LS-1	A	0-20	4.7	3.8	38.67	1.04	0.22	0.55	0.25	6.28	21.14	21.14	18.40	22.90	
	Bt1	20-48	4.6	3.7	12.34	0.75	0.11	1.27	0.12	7.79	9.49	9.49	6.62	45.07	
	Bt2	48-72	4.9	3.7	6.54	0.62	0.09	0.93	0.09	7.37	10.58	10.58	10.60	41.06	
	Bt3	72-101	5.0	3.6	4.56	0.75	0.14	1.23	0.10	6.44	12.63	12.63	12.61	33.78	
	Bt4	101-128	5.4	3.7	3.75	0.46	0.07	1.10	0.11	7.36	11.54	11.54	26.74	38.94	
	Bt5	128-153	5.4	3.5	3.98	0.47	0.13	0.39	0.09	4.31	12.71	12.71	14.23	25.32	
	Bt6	153-181	4.5	3.7	2.63	0.31	0.09	0.36	0.09	3.83	13.75	13.75	14.69	21.79	
	Bt7	181-200+	4.7	3.7	3.75	0.42	0.19	1.41	0.12	2.92	15.68	15.68	13.72	15.70	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Profile code	Horizon	Depth (cm)	pH		OM (g kg ⁻¹)	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS by sum
			H ₂ O	KCl		Ca	Mg	Na	K			by sum	by NH ₄ OAc	
(-----cmol kg ⁻¹ -----)														
บริเวณที่ 2 (พีคอน 2): Typic Palehumult														
LS-2	A	0-20	5.7	4.0	85.52	2.00	0.98	0.52	0.50	4.00	40.95	40.95	45.65	8.90
	Bt1	20-50	4.6	3.7	41.64	1.15	0.19	1.26	0.12	2.72	18.02	18.02	17.69	13.11
	Bt2	50-72	5.2	4.0	18.79	0.98	0.07	1.38	0.09	2.52	16.85	16.85	15.69	13.01
	Bt3	72-96	5.2	4.3	10.34	0.91	0.07	0.89	0.07	1.94	13.67	13.67	13.55	12.43
	Bt4	96-122	5.4	4.1	7.88	0.73	0.08	0.32	0.07	1.20	12.71	12.71	5.24	8.63
	Bt5	122-148	5.4	4.1	7.57	0.58	0.06	0.61	0.07	1.32	11.62	11.62	20.24	10.20
	Bt6	148-170	5.4	4.0	3.93	0.45	0.09	0.70	0.06	1.30	6.38	6.38	12.96	16.94
	Bt7	170-200+	5.4	4.0	3.24	0.45	0.15	0.50	0.07	1.18	10.51	10.51	5.74	10.10

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Profile	Horizon	Depth	pH		OM	Extractable base				Sum	Extr.	CEC		BS	
code			H ₂ O	KCl		Ca	Mg	Na	K	bases	acidity	by sum	by NH ₄ OAc	by sum	
		(cm)			(g kg ⁻¹)	(-----cmol kg ⁻¹ -----)									(%)
บริเวณที่ 3 (พีคอน 3): Typic Hapludalf															
LS-3	A	0-20/30	5.9	4.4	82.76	39.35	15.71	14.45	1.13	70.63	29.28	29.28	44.60	70.69	
	Bt1	30-50	5.4	4.0	33.73	57.28	23.82	18.13	0.23	99.46	18.90	18.90	36.12	84.03	
	Bt2	50-70	5.6	4.0	20.58	63.68	19.27	15.90	0.30	99.14	18.97	18.97	33.19	83.94	
	Bt3	70-100	5.3	3.5	7.89	61.23	15.73	21.60	0.20	98.75	16.81	16.81	30.14	85.45	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Profile	Horizon	Depth	pH		OM	Extractable base				Sum	Extr.	CEC		BS	
code			H ₂ O	KCl		Ca	Mg	Na	K	bases	acidity	by sum	by NH ₄ OAc	by sum	
		(cm)			(g kg ⁻¹)	(-----cmol kg ⁻¹ -----)									(%)
บริเวณที่ 4 (พีคอน 4): Typic Haplohumult															
LS-4	A	0-29	4.5	3.8	63.42	0.21	0.13	1.26	0.30	1.90	25.99	25.99	19.72	6.81	
	Bt1	29-46	4.8	3.7	27.83	0.23	0.09	1.20	0.23	1.76	13.68	13.68	13.41	11.40	
	Bt2	46-68	4.5	3.6	11.94	0.14	0.06	0.36	0.13	0.69	9.36	9.36	9.49	6.86	
	Bt3	68-93	4.8	3.6	9.34	0.11	0.04	1.05	0.08	1.27	2.11	6.25	6.23	37.55	
	Bt4	93-110/122	5.0	3.6	6.18	0.23	0.05	0.53	0.08	0.89	3.14	2.11	6.49	22.10	
	Bt5	122-150	5.1	3.9	3.90	0.11	0.03	1.25	0.07	1.46	1.06	3.14	6.73	57.95	
	Bt6	150-170	5.3	3.9	2.71	0.12	0.02	0.97	0.06	1.16	6.28	1.06	5.25	15.59	
	Bt7	170-200+	5.2	3.9	2.60	0.13	0.02	0.95	0.05	1.15	6.28	7.43	4.75	15.47	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Profile code	Horizon	Depth (cm)	pH		OM (g kg ⁻¹)	Extractable base				Sum bases	Extr. acidity	CEC		BS by sum
			H ₂ O	KCl		Ca	Mg	Na	K			by sum	by NH ₄ OAc	
(-----cmol kg ⁻¹ -----)														
บริเวณที่ 5 (พีคอน 5): Typic Hapludult														
LS-5	A	0-10	4.5	3.8	49.07	0.14	0.20	0.42	0.32	1.08	18.78	18.78	13.67	5.44
	Bt1	ต.ล.-30	4.9	3.6	10.53	0.18	0.19	0.93	0.28	1.59	11.54	11.54	11.92	12.11
	Bt2	30-57	5.1	3.6	4.26	0.20	0.12	1.51	0.12	1.94	3.15	3.15	5.74	38.12
	Bt3	57-82	4.9	3.6	5.20	0.12	0.05	1.03	0.13	1.33	1.05	1.05	6.24	55.78
	BCrt	82-100/125	4.8	3.6	2.69	0.13	0.04	0.24	0.09	0.50	2.09	2.09	6.48	19.29

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Profile	Horizon	Depth	pH		OM	Extractable base				Sum	Extr.	CEC		BS	
code			H ₂ O	KCl		Ca	Mg	Na	K	bases	acidity	by sum	by NH ₄ OAc	by sum	
		(cm)			(g kg ⁻¹)	(-----cmol kg ⁻¹ -----)									(%)
บริเวณที่ 6 (พีคอน 6): Typic Haplohumult															
LS-6	A	0-20	5.5	3.8	58.76	3.87	0.48	1.39	0.99	6.72	18.94	18.94	25.13	26.19	
	Bt1	20-42	4.9	3.7	35.18	1.04	0.29	1.55	0.83	3.70	18.95	18.95	19.67	16.33	
	Bt2	42-63	4.9	3.6	19.31	0.59	0.29	1.05	0.42	2.35	13.68	13.68	12.24	14.66	
	Bt3	63-94	5.1	3.7	9.31	0.52	0.20	1.14	0.39	2.25	6.25	6.25	11.16	26.46	
	BCrt	94-140	5.1	3.7	7.16	0.23	0.14	0.75	0.32	1.44	3.16	3.16	8.72	31.33	

ตารางผนวกที่ 4 ระดับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มของชุดหิน (ใช้ชนิดหินเด่นเป็นเกณฑ์แยก)

ลำดับ	ระดับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	คำอธิบาย
1	สูงมาก	หินแกรนิตเด่น อัตราการผุพังสูง มีการสะสมตัวของดินที่ผุพังอยู่กับที่สูง
2	สูง	หินดินดานและหินโคลนเด่น อัตราการผุพังสูง มีการสะสมตัวของดินที่ผุพังอยู่กับที่น้อยกว่าแกรนิต
3	ปานกลาง	หินทรายและหินทรายแป้ง อัตราการผุพังปานกลาง มีการสะสมตัวของดินที่ผุพังอยู่กับที่ปานกลาง
4	น้อย	หินควอร์ตไซต์ หินทรายและหินทรายแป้งเด่น โดยทั่วไปมีลักษณะคล้าย ๆ กับระดับ 3 เพียงแต่ชุดนี้มีหินควอร์ตไซต์เด่นซึ่งมีความทนทานต่อการผุพังสูง
5	น้อยมาก	หินปูนและหินโดโลไมท์ อัตราการผุพังปานกลาง มีการสะสมตัวของดินที่ผุพังอยู่กับที่ค่อนข้างน้อย

ที่มา : (กรมทรัพยากรธรณี 2549)

ตารางผนวกที่ 5 จำแนกชั้นการกร่อนดิน (Erosion classes)

ชั้น	ปริมาณการสูญเสียหน้าดิน
1	สูญเสียชั้นดิน A < 20 %
2	สูญเสียชั้นดิน A 20-75 %
3	สูญเสียชั้นดิน A > 75 %
4	สูญเสียชั้นดิน A หหมด และอาจสูญเสียชั้น B หรือ C ด้วย

ตารางผนวกที่ 6 การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน

คำเรียกทั่วไป		ชื่อชั้นของเนื้อดินหลัก
ดินทราย (sandy)	เนื้อหยาบ.....	ได้แก่ พวกทรายชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่ทรายหยาบมากถึงทรายละเอียดมาก และทรายปนดินร่วนถึงทรายละเอียดมากปนดินร่วน
	เนื้อหยาบปานกลาง.....	ได้แก่ พวกดินร่วนปนทรายชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่ดินร่วนปนทรายหยาบถึงดินร่วนปนทรายละเอียด
ดินร่วน (loamy)	เนื้อปานกลาง.....	ได้แก่ ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้ง และทรายแป้ง
	เนื้อละเอียดปานกลาง.....	ได้แก่ ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
ดินเหนียว (clayey)	เนื้อละเอียด.....	ได้แก่ ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินเหนียว

ตารางผนวกที่ 7 ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี (Land Classification
Division and FAO Project Staff, 1973)

1. ปฏิกริยาของดิน (Soil reaction), pH (ดิน : น้ำ = 1 : 1)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรง (ultra acid)	< 3.5
เป็นกรดจัดมาก (extremely acid)	3.5-4.5
เป็นกรดจัด (very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดแก่ (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างอ่อน (mildly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างแก่ (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัด (extremely alkaline)	> 9.0

2. อินทรีย์วัตถุ (organic matter) (% organic carbon x 1.724)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	< 5
ต่ำ (L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ (ML)	10-15
ปานกลาง (M)	15-25
ค่อนข้างสูง (MH)	25-35
สูง (H)	35-45
สูงมาก (VH)	> 45

3. อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation percentage)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (%)
ต่ำ (L)	5-10
ปานกลาง (M)	15-25
สูง (H)	35-45

4. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (cmol kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	< 3
ต่ำ (L)	3-5
ค่อนข้างต่ำ (ML)	5-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-20
สูง (H)	20-30
สูงมาก (VH)	> 30

5. ปริมาณต่างรวมที่สกัดได้ (extractable bases) (NH₄OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (cmol kg ⁻¹)				
	Extr. Ca	Extr. Mg	Extr. K	Extr. Na	Extr. Base
ต่ำมาก (VL)	< 2.0	< 0.3	< 0.2	< 0.1	< 2.6
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3	2.6-6.6
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7	6.6-14.3
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0	14.3-31.2
สูงมาก (VH)	> 20	> 8.0	> 1.2	> 2.0	> 31.2

ตารางผนวกที่ 8 เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นของดิน

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (เมกกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ต่ำ (L)	< 1.2
ค่อนข้างต่ำ (ML)	1.2-1.4
ปานกลาง (M)	1.4-1.6
ค่อนข้างสูง (MH)	1.6-1.8
สูง (H)	1.8-2.0
สูงมาก (VH)	> 2.0

ที่มา : นงคราญ (2529)

ตารางผนวกที่ 9 เกณฑ์การแบ่งระดับความเป็นกรดที่สกัดได้

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (cmol kg ⁻¹)
ต่ำ (L)	< 1.0
ค่อนข้างต่ำ (ML)	1.0-2.0
ปานกลาง (M)	2.0-5.0
ค่อนข้างสูง (MH)	5.0-10.0
สูง (H)	10.0-20.0
สูงมาก (VH)	> 20.0

ที่มา : นงคราญ (2529)

ตารางผนวกที่ 10 ระดับชั้นของค่าสภาพการนำน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ระดับ (rating)	ค่าสภาพนำน้ำขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (cm/hr)
ช้ามาก (very slow)	< 0.125
ช้า (slow)	0.125-0.50
ช้าปานกลาง (moderately slow)	0.50-2.00
ปานกลาง (moderate)	2.00-6.25
เร็วปานกลาง (moderately rapid)	6.25-12.50
เร็ว (rapid)	12.50-25.00
เร็วมาก (very rapid)	> 25.00

ที่มา : O'Neal (1952)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวฐิติชญาณ์ ดงศิริ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	4 พฤศจิกายน 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการเกษตร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-