



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา สาขา ปฐพีวิทยา
สาขา ภาควิชา

เรื่อง การกำเนิด การจำแนก และศักยภาพทางการเกษตรของดินสีแดง ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

Genesis, Classification and Agricultural Potential of Red Soils in Upper Part of Northern Thailand

นามผู้วิจัย นายเฉลิมราช จิตรเจริญพร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์เอิบ เขียวรีนนรมณ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์อัญชลิ สุทธิประการ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ค.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การกำเนิด การจำแนก และศักยภาพทางการเกษตรของดินสีแดง
ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

Genesis, Classification and Agricultural Potential of Red Soils
in Upper Part of Northern Thailand

โดย

นายเฉลิมราช จิตรเจริญพร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2554

เฉลิมราช จิตรเจริญพร 2554: การกำเนิด การจำแนก และศักยภาพทางการเกษตรของดินสีแดง ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศาสตราจารย์เอิบ เขียวรัตน์, Ph.D. 159 หน้า

การศึกษากำเนิด การจำแนก และศักยภาพทางการเกษตรของดินสีแดงในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยทำโดยคัดเลือกดินที่เป็นตัวแทน 7 บริเวณ ในพื้นที่ของ 4 ชุมชน ได้แก่ ชุมชนแม่แดง 2 บริเวณ ชุมชนหนองมด ชุมชนเชียงแสน ชุมชนเชียงของ ชุมชนละ 1 บริเวณ และอีก 2 บริเวณคือบริเวณดินสีแดงในอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ และในอำเภอแม่เจดีย์ จังหวัดเชียงราย วิธีการศึกษาประกอบด้วยการศึกษาชั้นฐานวิทยาของดินในสนาม และการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทางด้านจุลชีววิทยา ทางกายภาพ เคมี และแร่วิทยาในห้องปฏิบัติการตามวิธีมาตรฐาน กับประเมินความอุดมสมบูรณ์และสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ผลการศึกษาพบว่าดินทุกบริเวณเป็นดินลึกมาก วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนตกร้าง และตะกอนคาคเซิงเขาที่สลายตัวมาจากหินอัคนีทั้งสี่เหลี่ยมและสี่ขา ดินมีพัฒนาการสูง เป็นดินเนื้อละเอียดและมีโครงสร้างดีไม่เพียงพอจำกัดในการใช้ทางการเกษตร ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ดินเป็นกรดรุนแรงถึงปานกลาง (pH 4.4-6.8) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง ($1.04-41.39 \text{ g kg}^{-1}$) ปริมาณไนโตรเจนรวมต่ำมากถึงต่ำ ($0.27-1.83 \text{ g kg}^{-1}$) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ($0.00-295.1 \text{ mg kg}^{-1}$) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ($5.6-157.0 \text{ mg kg}^{-1}$) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูง ($7.5-23.0 \text{ cmol kg}^{-1}$) ค่าความเป็นกรดที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก ($4.36-21.34 \text{ cmol kg}^{-1}$) และค่าร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ($2.88-69.30\%$) โดยดินส่วนใหญ่มีแร่เหล็กโอลิไนต์เป็นแร่หลักในอนุภาคขนาดดินเหนียว และแร่ควอตซ์เป็นแร่หลักในกลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้ง ดินจัดอยู่ในกลุ่มดิน Kandiusult และKandius tox กลุ่มดินละ 2 บริเวณ และจัดอยู่ในกลุ่มดินKandiudox Kandiidult และ Paleudult กลุ่มดินละ 1 บริเวณ

ดินมีหน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ Chk 3 บริเวณ, LCh 2 บริเวณ, Ch และ Chk หน่วยละ 1 บริเวณ ข้อจำกัดของดินเหล่านี้ส่วนใหญ่คือ เป็นกรด ขาดฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ อาจเลือกใช้ดินทำการเกษตรได้แต่ต้องมีการจัดการเรื่องธาตุอาหารพืช และควรใช้ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมี ร่วมกับการเลือกชนิดพืชที่ปลูก โดยดินมีสมบัติทางกายภาพเหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชทั้งไม้ผล และพืชไร่ แต่พื้นที่ส่วนใหญ่มีความชื้น ต้องมีการจัดการและการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียหน้าดิน โดยการไหลบ่าของน้ำและการกร่อนดิน และรักษาสภาพแวดล้อมทั่วไปให้ยั่งยืนต่อการใช้ที่ดิน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Chaleamraj Jitjalearnporn 2011: Genesis, Classification and Agricultural Potential of Red Soils in Upper Part of Northern Thailand. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Professor Irb Kheoruenromne, Ph.D. 159 pages.

The study on properties and agricultural potential of red soils in upper part of Northern Thailand was carried out on seven selected areas in Chiang Mai and Chiang Rai provinces. Methods of study included analysis of soil morphology in the field, laboratory analysis on physicochemical properties and mineralogical characteristics of soil samples according to standard methods. Assessment of the soil fertility status and fertility capability was included.

Results of the study revealed that these soils are very deep soils. The soils have developed on residuum and colluvium derived from weathered basic igneous rock. They are highly developed having fine texture and good structure. These soils are extremely acidic to neutral (pH 4.4-6.8) and their organic matter content ranges from very low to high (1.04-41.3 g kg⁻¹), very low to low total nitrogen (0.27-1.83 g kg⁻¹), very low to very high available phosphorus (0.00-295.1 mg kg⁻¹) and very low to very high available potassium (5.6-157.0 mg kg⁻¹). They have moderately low to high cation exchange capacity (7.49-23.00 cmol kg⁻¹) moderate to very high extractable acidity (4.36-21.34 cmol kg⁻¹) and low to medium base saturation percentage (2.88-69.30%). The soils have kaolinite as the major mineral in clay fraction and quartz in silt fraction. These soils include two areas each of Kandiuustult and Kandiuustox and one area each of Kandiuudox, Kandiuudult and Paleudult.

These soils have low to medium fertility. Their agriculture limitation encompasses being acidic, insufficient available phosphorus and potassium. Their agricultural land use needs nutrient management with proper crop type selection. Nevertheless, for soils occupying sloping areas, proper soil and water conservation management is needed to maintain general environment for sustainable land use.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร. เอิบ เขียวรื่นรมณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รศ.ดร. อัญชลี สุทธิประการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาทั้งในด้านการเรียน การวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ ดร. วันเพ็ญ ศิริกุลพิสุทธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และ ผศ.ดร. สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เพิ่มเติมจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาปรัชญา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้การอบรมสั่งสอนวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปรัชญา และกรมพัฒนาที่ดินทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ พี่ดาวจรัส เกตุโรจน์ พี่กมลวรรณ เหล่าพูลกิจ พี่วรชาติ วิศวพัฒน์ พี่ภาววรรณ อินทร์สมบูรณ์ พี่ธนนท์ เจริญชาติ พี่วิทยา จินดาหลวง คุณบุณชกริก ฉิมชาติ และน้องวรรณที่ สนับสนุน ที่ช่วยเหลือการปฏิบัติงานในภาคสนามและการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการด้วยดีเสมอมา รวมทั้งเพื่อน พี่ น้อง ชาวปรัชญาทุกท่าน

ท้ายสุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวจิตรเจริญพรและครอบครัวบ้านจากทุกท่าน ที่ได้อบรมเลี้ยงดูสั่งสอนข้าพเจ้า เป็นกำลังใจ และคอยสนับสนุนในการศึกษาตลอดมา

เฉลิมราช จิตรเจริญพร
มิถุนายน 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	30
ผลการศึกษาและวิจารณ์	37
สรุปและข้อเสนอแนะ	100
สรุป	100
ข้อเสนอแนะ	102
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	103
ภาคผนวก	121
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	159

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของจังหวัดในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ปี 2543-2550	19
2	ลักษณะทั่วไปของดินสีแดงที่ทำการศึกษา	38
3	สภาพแวดล้อมทั่วไปของดินสีแดงในบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา	39
4	ผลการวิเคราะห์และปริมาณองค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวและทรายแป้ง ของดินที่ทำการศึกษา	90
5	ผลการจำแนกดินสีแดงที่ทำการศึกษา	94
6	ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สูงที่ทำการศึกษา ประเมินโดยใช้สมบัติทางเคมีบางประการ	96
7	สมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สูงที่ทำการศึกษา จำแนกโดยใช้สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และแร่วิทยาบางประการ	97
ตารางผนวกที่		
1	สมบัติทางกายภาพของดินสีแดงที่ทำการศึกษา	144
2	สมบัติทางเคมีของดินสีแดงที่ทำการศึกษา	146
3	ปริมาณเหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีสที่สกัดด้วย dithionite-citrate-bicarbonate, ammonium oxalate และ sodium pyrophosphate ของดินสีแดงที่ทำการศึกษา	150
4	การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน	150
5	ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	154
6	เกณฑ์การแบ่งระดับสภาพกรดที่สกัดได้	157
7	เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน	157
8	ระดับชั้นของค่าสภาพน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ	158
9	วิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการประเมินจากผลการวิเคราะห์ดิน	158

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างของดินที่ทำการศึกษา	18
2	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 1 บริเวณบ้านปานกว้าง ตำบลอินทขิล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่	40
3	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 2 บริเวณบ้านปานกว้าง ตำบลอินทขิล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่	42
4	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 3 บริเวณบ้านโป่งกุ่ม ตำบลป่าเมี่ยง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่	44
5	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 4 บริเวณบ้านโจ้โก้ ตำบลเวียง อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย	46
6	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 5 บริเวณบ้านแม่เจดีย์ ตำบลเวียง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย	48
7	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 6 บริเวณบ้านป่าอ้อ ตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย	50
8	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 7 บริเวณบ้านใหม่บัวแดง ตำบลแม่ข้าวต้ม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย	52
9	ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดินพีดอน 1 และ 2	56
10	ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดินพีดอน 3 และ 4	59
11	ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดินพีดอน 5	61
12	ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดินพีดอน 6 และ 7	63
13	การจำแนกประเภทเนื้อดินตามสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวของดินสีแดงที่ทำการศึกษา	66
14	ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคทราย (ก) อนุภาคขนาดทรายแป้ง (ข) และอนุภาคขนาดดินเหนียว (ค) กับระดับความลึกของดินสีแดงที่ทำการศึกษา	67
15	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมกับระดับความลึกของดินสีแดงที่ทำการศึกษา	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพน้ำ กับชั้นกำเนิดดินตามระดับความลึกของดินสีแดงที่ทำการศึกษา	70
17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชดินที่วัดในน้ำ (ก) ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (ข) และผลต่างระหว่างค่าพีเอชดินที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับในน้ำ (ค) กับความลึกของหน้าตัดดินสีแดงที่ทำการศึกษา	72
18	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ก) และปริมาณไนโตรเจนรวม (ข) กับความลึกของหน้าตัดดินที่ทำการศึกษา	74
19	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ก) และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (ข) กับความลึกของหน้าตัดดินที่ทำการศึกษา	76
20	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ และปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ กับความลึกของหน้าตัดดินที่ทำการศึกษา	79
21	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรดที่สกัดได้ (ก) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (ข) อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (ค) กับความลึกของหน้าตัดดินที่ทำการศึกษา	81
22	ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับความลึกของดินที่ทำการศึกษา	82
23	ความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กที่สกัดได้ด้วย dithionite-citrate-bicarbonate (Fe_d), ammonium oxalate (Fe_o) และ sodium pyrophosphate (Fe_p) กับความลึกของดินตามชั้นกำเนิดดินสีแดงที่ทำการศึกษา	84
24	ความสัมพันธ์ระหว่างอะลูมิเนียมที่สกัดได้ด้วย dithionite-citrate-bicarbonate (Al_d), ammonium oxalate (Al_o) และ sodium pyrophosphate (Al_p) กับความลึกของดินตามชั้นกำเนิดดินสีแดงที่ทำการศึกษา	86
25	ความสัมพันธ์ระหว่างแมงกานีสที่สกัดได้ด้วย dithionite-citrate-bicarbonate (Mn_d), ammonium oxalate (Mn_o) และ sodium pyrophosphate (Mn_p) กับความลึกของดินตามชั้นกำเนิดดินสีแดงที่ทำการศึกษา	87

การกำเนิด การจำแนก และศักยภาพทางการเกษตรของดินสีแดง ในภาคเหนือตอนบน ของประเทศไทย

Genesis, Classification and Agricultural Potential of Red Soils in Upper Part of Northern Thailand

คำนำ

ดินสีแดง เป็นดินที่มีเหล็กออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่สูง ลักษณะของสีที่มองเห็นจะคล้ายกับสีของสนิมเหล็กเป็นดินที่มีการแพร่กระจายในเขตร้อน (Tropics) และเขตกึ่งร้อน (Subtropics) เช่น บริเวณส่วนใหญ่ของทวีปอเมริกาใต้และแอฟริกา รวมทั้งบางส่วนของเอเชียอาคเนย์ (Sanchez, 1976; Brady and Weil, 2008) ดินสีแดงในประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณร้อยละ 21 ของพื้นที่เพาะปลูก (บุญญา และคณะ, 2549; Moncharoen, 1992) เป็นดินที่มีการชะละลายสูง และมีพัฒนาการสูงหรือเกิดจากการผุพังที่รุนแรง จากการประเมินศักยภาพของดินต่อการปลูกพืชเศรษฐกิจพบว่าดินมีความเหมาะสมกับการปลูกพืชไร่ ไม้ผล บางบริเวณเหมาะสมกับการปลูกยางพารา (บุญญา และคณะ, 2549) จากการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบประจุของดินออกซิซอลส์ที่มีสีแดงทำใน 4 ชุดดินคือชุดดินปากช่อง ชุดดินอ่าวลึก ชุดดินโชคชัย และชุดดินท่าใหม่ ลักษณะรอยพิมพ์ประจุของดินแสดงว่า ดินสามารถดูดซับแคตไอออนได้ดีกว่าแอนไอออน แต่ปริมาณการดูดซับในแต่ละชุดดินแตกต่างกัน (รฐนนท์, 2550)

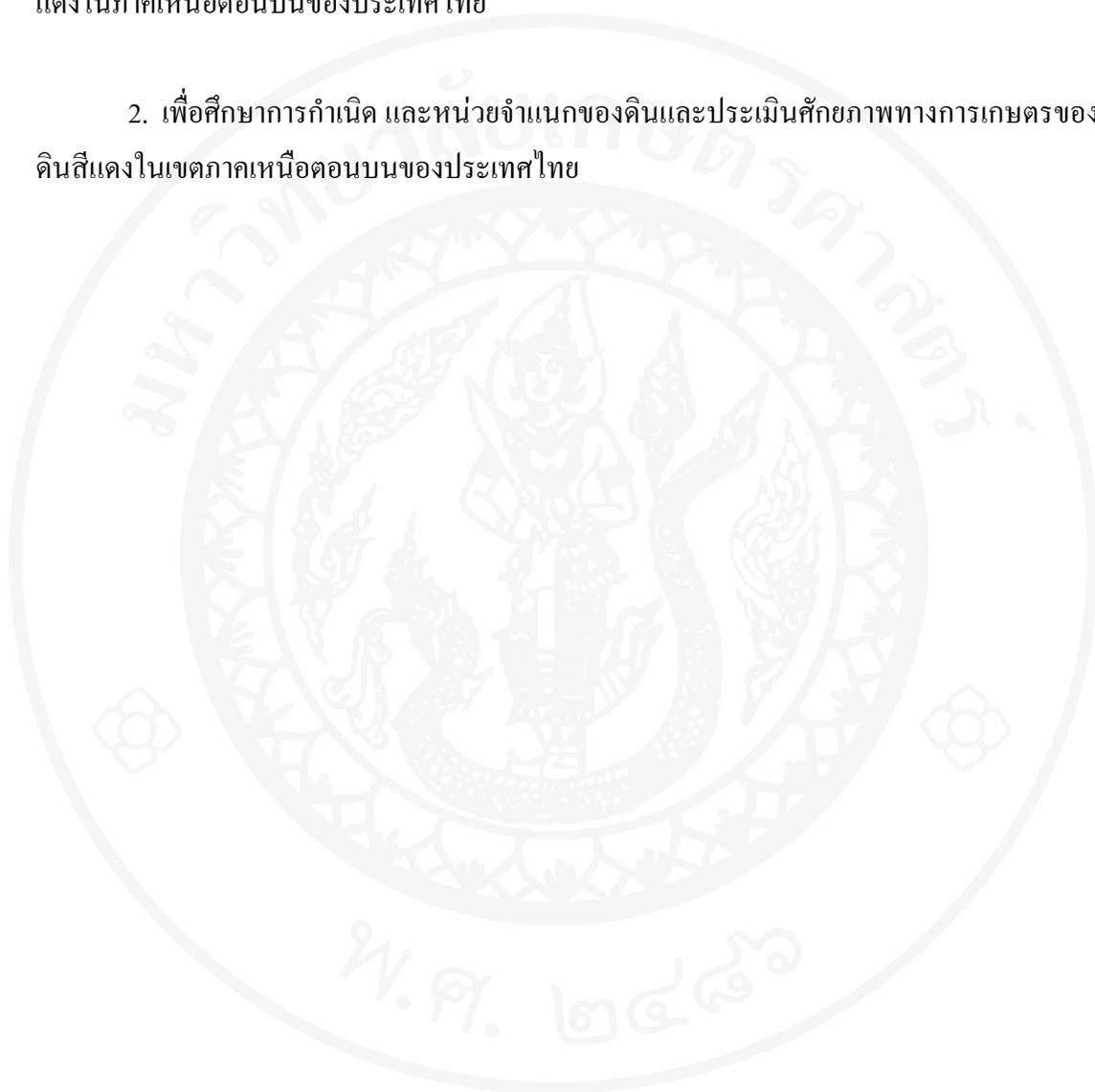
สีแดงของดินเกิดจากอิทธิพลของเหล็กออกไซด์ เช่น แร่ฮีมาไทต์ (hematite) (Suddiprakarn *et al.*, 1985) องค์ประกอบเชิงแร่ของดินสีแดงส่วนใหญ่มักไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละชั้นดิน (สมศรี, 2529; Sanchez, 1976) การผุพังสลายตัวที่เกิดขึ้นทำให้แร่ปฐมภูมิที่มีองค์ประกอบของเหล็ก สลายตัวเกิดเป็นเหล็กออกไซด์ ในรูปของสารอสัณฐาน (amorphous materials) ซึ่งจะไปเคลือบอนุภาคของดิน และสะสมรวมกับอนุภาคของแร่ดินเหนียว (Uehara, 1979) เมื่อเวลาผ่านไปจะเปลี่ยนไปเป็นสารมีผลึก (Suddhiprakarn *et al.*, 1985) โดยสมบัติของออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของเหล็กในดิน จะช่วยให้อนุภาคดินเชื่อมเกาะกันเป็นเม็ดดิน (soil aggregate) ได้ดี ทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

บริเวณที่ดอนในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย พบว่ามีการกระจายตัวของดินสีแดง เป็นบริเวณค่อนข้างกว้างขวาง ปัจจุบันการเสื่อมโทรมของดินมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้น จากการใช้ที่ดินที่ไม่เหมาะสมตามศักยภาพรวมถึงการตัดไม้ทำลายป่า และการทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์เกินสมรรถนะของดินเป็นสาเหตุที่อาจทำให้ดินเสื่อมโทรม

ปัจจุบัน มีการแข่งขันทางการเกษตรสูงและมีเทคโนโลยีใหม่เพิ่มเข้ามาในระบบการเกษตร ซึ่งอาจมีแนวทางทำให้ดินสีแดงมีความสามารถที่จะให้ผลผลิตทางการเกษตรดีขึ้น จากมีการจัดการที่เหมาะสม แต่ข้อมูลการศึกษาดินสีแดงในเขตภาคเหนือยังมีอยู่น้อย จึงมีความสนใจที่จะศึกษาในหัวข้อนี้ขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ เคมี แร่วิทยา และจุลสัณฐานวิทยาของดินสีแดงในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาการกำเนิด และหน่วยจำแนกของดินและประเมินศักยภาพทางการเกษตรของดินสีแดงในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย



การตรวจเอกสาร

1. สมบัติของดินสีแดง

การที่ดินมีสีแดงเนื่องจากมีเหล็กออกไซด์เป็นองค์ประกอบ โดยส่วนใหญ่ดินสีแดงจะพบในบริเวณที่ค่อนข้าง ดินสีแดงจะมีเหล็กออกไซด์ในปริมาณที่สูงและมีการระบายน้ำดี ออกไซด์ของเหล็กในดินสีแดงจะอยู่ในรูปของแร่ฮีมาไทต์ (hematite) และ เกอไทต์ (goethite) (เสาวนุช และคณะ, 2549; Suddiprakarn *et al.*, 1985)

ดินสีแดงส่วนใหญ่เป็นดินที่ผ่านการผุพังสลายตัวมาอย่างรุนแรง องค์ประกอบเชิงแร่จึงไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละชั้นดิน การผุพังสลายตัวที่เกิดขึ้นนั้นจะทำให้แร่ปฐมภูมิที่มีองค์ประกอบของเหล็ก สลายตัวเกิดเป็นเหล็กออกไซด์ ในรูปของสารออสถฐาน ซึ่งจะไปเคลือบอนุภาคต่าง ๆ ของดิน และสะสมรวมกับอนุภาคของดินเหนียว (สมศรี, 2529; Wiriyakitnateekul, 2005) เมื่อเวลาผ่านไปจะเปลี่ยนไปเป็นสารมีผลึก (Suddiprakarn *et al.*, 1985) โดยสมบัติของออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของเหล็กในดิน จะช่วยให้อนุภาคดินเชื่อมเกาะกันเป็นเม็ดดิน (soil aggregate) ได้ดีขึ้น จึงทำให้โครงสร้างดินดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

มีการวิจัยพบว่าการเพิ่มขึ้นของเหล็กออกไซด์ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของช่องว่างขนาดใหญ่ (macropore) มีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน (สมศรี, 2529) ดินสีแดงที่เกิดจากหินดินดาน มีแร่ฮีมาไทต์และแร่เกอไทต์เป็นองค์ประกอบสำคัญ ส่วนแร่ดินเหนียวเป็นแร่เคลโอไลต์และอิลไลต์ เหล็กออกไซด์ในดินแดงจะมีอนุภาคขนาดเล็ก (ประมาณ 10 nm) และมักจะเกิดพลินไทต์ (plinthite) สะสมอยู่ในชั้นดินล่าง (เอิบ, 2548)

การศึกษาองค์ประกอบทางแร่ในดินแดงที่สลายตัวจากหินแกรนิต โดยใช้วิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction analysis) พบว่า ในอนุภาคขนาดทรายละเอียดแร่ปฐมภูมิจะเป็นแร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และไมกาเป็นส่วนใหญ่ และมีแร่หนัก (heavy mineral) ในปริมาณเล็กน้อย ส่วนแร่ดินเหนียวเป็นแร่เคลโอไลต์ อิลไลต์และเวอร์มิคิวไลต์ ตลอดจนไฮดรอกไซด์ที่มีผลึก (crystalline hydrous oxides) ของเหล็กและอะลูมิเนียม (สมศรี, 2529)

Wiryakitnateekul (2005) ได้ศึกษาดินสีแดงและดินสีเหลืองในประเทศไทย พบว่า เกลโอลิน (kaolin) เป็นกลุ่มดินเหนียวหลักในดินสีแดงและดินสีเหลือง ความแตกต่างระหว่างเกอไทต์และฮีมาไทต์อยู่ที่วัตถุต้นกำเนิดดินต่างกัน โดยที่แร่ฮีมาไทต์จะมีมากในดินที่มีการพัฒนามาจากหินบะซอลต์ ส่วนแร่เกอไทต์พบมากในดินที่มีการพัฒนามาจากหินดินดานและหินปูน

ลักษณะเด่นของดินที่ผ่านกระบวนการผุพังอย่างรุนแรงในเขตร้อนชื้นคือ การมีแร่เคลโอลินไนต์ เหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ในส่วนที่มีอนุภาคขนาดดินเหนียว การสะสมเหล็กออกไซด์ในดินมีผลกระทบต่อสมบัติต่าง ๆ ของดินได้ ในดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำออกไซด์ของเหล็กมักจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดสีแก่ดิน (Yassoglou *et al.*, 1997) สีแดงของดินอาจเป็นผลมาจากเหล็กที่อยู่ในรูปต่าง ๆ กัน ความสัมพันธ์ของสปีกับสารประกอบของเหล็กมีความซับซ้อนมาก สีของดินขึ้นอยู่กับความหนาของสารเคลือบและการแพร่กระจายของสารในพื้นที่เนื้อของดิน นอกจากนี้สภาพภูมิประเทศก็มีผลต่อสีดิน เช่น ดินที่เกิดจากวัสดุตกค้างของหินบะซอลต์ ที่เกิดในที่สูงและมีอากาศแห้งจะมีชั้น B ที่มีสีแดง ขณะที่ในพื้นที่ต่ำลงมาพบแร่เกอไทต์เท่านั้นและดินชั้น B มีสีออกเหลืองซึ่งสภาพแวดล้อมของดินจะมีผลต่อการเกิดฮีมาไทต์หรือเกอไทต์ และส่งผลให้ดินมีสีแดงหรือสีเหลืองตามชนิดของแร่เหล็กออกไซด์ (Hradi *et al.*, 2003) แร่เหล็กออกไซด์ถึงแม้ว่าจะมีความเข้มข้นต่ำในดิน แต่สามารถทำให้เกิดสีแก่ดินได้มาก สีของดินจะสามารถใช้บอกชนิดของแร่เหล็กออกไซด์ได้ โดยเฉพาะแร่ฮีมาไทต์จะมีสีแดง และแร่เกอไทต์มีสีน้ำตาลปนเหลือง (Scheinost and Schwertmann, 1999) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแร่ฮีมาไทต์กับสีของดินมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์ทางตรง คือ ถ้าปริมาณแร่ฮีมาไทต์เพิ่มขึ้น สีของดินจะแดงขึ้น นอกจากนี้เหล็กออกไซด์สามารถจะเกิดปฏิกิริยาการเพิ่มกลุ่มไฮดรอกซิลที่บริเวณพื้นที่ผิวของเหล็กออกไซด์ ทำให้เหล็กออกไซด์มีโครงสร้างของผิวหน้าช่วยในการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากกลุ่มไฮดรอกซิลเป็น กลุ่มที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีมาก (Yassoglou *et al.*, 1997) เหล็กออกไซด์ที่มีกลุ่มไฮดรอกซิลนี้สามารถจะดูดซับโมเลกุลของน้ำ แต่จะดูดซับได้มาน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของออกไซด์ด้วย (Sparks, 1995; Brady and Weil, 2008)

ดินเขตร้อนส่วนใหญ่มีสีแดง ในอดีตมีคนตั้งชื่อดินเขตร้อนหลายบริเวณแตกต่างกัน เช่น Red Earth, Ferralitic Soil, Red Tropical Latosol และ Red Tropical Loam (อภิศักดิ์, 2543; Beinroth *et al.*, 1996) การเกิดสีของดินแดงในเขตร้อน ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศเหมาะสมในการส่งเสริมการผุพังของวัตถุต้นกำเนิดดินอย่างรุนแรง (อภิศักดิ์, 2543; Sanchez, 1976; Beinroth *et al.*, 1996; Tawornpruek, 2005) แคลไออนที่เป็นต่างในดินถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดิน

ทำให้เกิดแร่ดินเหนียวที่มีกิจกรรมต่ำ เช่น แร่เคลโอไลไนต์ เมื่อธาตุเหล็กถูกปลดปล่อยออกจากแร่ปฐมภูมิจะเกิดกระบวนการเติมออกซิเจน (oxidation) ของเหล็กกลายเป็นเหล็กออกไซด์อิสระ (Suddhiprakarn *et al.*, 1985) ที่มีสีแดงตามสภาพความชื้นที่มีอยู่ในดินขณะนั้น สีของแร่เหล็กจะเด่นมากถึงแม้ปริมาณเหล็กออกไซด์ในดินจะมีอยู่น้อย (อภิศักดิ์, 2543; Scheinost and Schwertmann, 1999)

Schaetzl and Anderson (2005) พบว่าดินแดงเกิดจากตะกอนน้ำพาเก่า (old alluvium) ในบริเวณที่เป็นตะพักลุ่มน้ำขึ้นสูงหรือชั้นกลางที่ดินมีการพัฒนาการดี

ดินที่เกิดจากตะกอนลาดเชิงเขา (colluvial sediment) มักจะเป็นดินลึก ส่วนดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดที่เกิดอยู่กับที่ (residual material) จะลึกปานกลางและดินจะค่อนข้างตื้นเมื่ออยู่บนพื้นที่ลาดชัน ซึ่งดินเหล่านี้จะมีสีแดงหรือสีเหลือง มีการพัฒนาค่อนข้างสูง และมีการผันแปรตามสภาพภูมิประเทศ ตั้งแต่ความลาดชันมากจนถึงน้อย (Graham and Buol, 1990 ; Brady and Weil, 2008)

ดินสีแดงอาจเกิดจากหินต้นกำเนิด และวัตถุต้นกำเนิดที่แตกต่างกันออกไป ดินที่เกิดจากหินแกรนิตที่มีส่วนประกอบของเหล็กที่คงทนต่อการสลายตัวเหลือตกค้างอยู่จะทำให้เกิดสีแดง สีน้ำตาลถึงสีเหลือง นอกจากนี้สีโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับอินทรีย์วัตถุ ชนิดแร่ดินเหนียว สารประกอบเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ไทเทเนียม (Ti) ในเขตร่อนการผุพังของหินแกรนิตจะได้แร่เคลโอไลไนต์ (สารคาม, 2528; Buol *et al.*, 2003) นอกจากนี้ที่กล่าวมาแล้ว ยังพบว่าเกิดเซสควิวออกไซด์ (sesquioxides) ด้วย

Zhang and Xu (2005) พบว่า ปริมาณธาตุอาหารพืชในดินสีแดงมีความแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะการใช้ที่ดิน โดยพบว่าพื้นที่ปลูกฝักจะมีการสูญเสียธาตุอาหารมากที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่ปลูกข้าวหรือทุ่งหญ้า สวนชา สวนส้ม พื้นที่ป่า และพื้นที่รกร้าง ตามลำดับ

ดินสีแดงมักจะเป็นดินลึกมีองค์ประกอบเชิงแร่ที่เป็นออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ของเหล็ก และอะลูมิเนียมอยู่สูง เป็นผลให้สมบัติของอนุภาคดินเหนียว โดยเฉพาะในด้านการกักเก็บธาตุอาหารพืชไม่เหมือนแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 (Brady and Weil, 2008) โดยที่มีการขยายตัวและความ

เหนียวน้อยกว่า มีความคงทนต่อการชะละลายมากกว่า มีอำนาจในการดูดซับไอออนน้อยกว่า และ จะพบในเขตร้อนชื้นเท่านั้น (สมศรี, 2529)

บุญญา และคณะ (2549) ได้ศึกษาการแจกกระจายของอนุภาคดินเหนียวตามความลึกของ ดินสีแดงในอันดับออกซิซอลล์และอัลทิสซอลล์ พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของอนุภาคขนาดดินเหนียวใน ชั้นดินล่างตอนบน และปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก แสดงให้เห็นว่าเป็นดินที่มีพัฒนาการสูง มีอิทธิพลของการเคลื่อนย้ายเชิงกลของอนุภาคขนาดเล็ก รวมทั้ง กระบวนการซีมิชะไปสะสมในชั้นดินล่าง และการแจกกระจายของอินทรีย์วัตถุตามความลึกของ ดินสีแดงในอันดับออกซิซอลล์และอัลทิสซอลล์ พบว่าดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงในชั้นดินบน และ ลดลงอย่างชัดเจนในชั้นดินล่างตอนบน ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูงภายใต้สภาพการชะละลายและ กระบวนการย่อยสลายอย่างรุนแรงของดินเขตร้อน มีบทบาทต่อความเป็นประโยชน์ทางด้านสมบัติ ทางเคมีไม่มากนัก แต่เพิ่มความสามารถในการเก็บรักษาความชื้นในดินให้นานขึ้น

2. กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินสีแดง

2.1 Podzolization

Podzolization เป็นกระบวนการที่มีการเคลื่อนย้ายเซสควิวออกไซด์ออกจากชั้นดิน (เอิบ , 2548; Buol *et al.*, 2010; Schaetzel and Anderson, 2005) มีการเคลื่อนย้ายภายในหน้าตัดดิน บางครั้งเกิดจากสารละลายเหล็กพวก Fe^{2+} , Fe^{3+} ไปสะสมในชั้นดินล่างหรือชั้นสะสม (Buol *et al.*, 2010; Schaetzel and Anderson, 2005) หรือการเคลื่อนย้ายพวกอินทรีย์วัตถุ ทำให้เกิดการสะสมของ ซิลิกา หรือมีความเข้มข้นของซิลิกาเพิ่มขึ้นในชั้นที่มีสารต่าง ๆ เคลื่อนย้ายออกไป (เอิบ, 2548 ; Buol *et al.*, 2010; Schaetzel and Anderson, 2005) ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เกิด Podzol ที่วัตถุต้น กำเนิดดินมีซิลิกาสูง และในดินชั้นล่างจะมีสีแดง แดงปนเหลือง หรือสีเหลือง และมีการสะสม อนุภาคดินเหนียวในดินล่าง ส่วนใหญ่พบในบริเวณอากาศหนาวจนถึงบริเวณที่อบอุ่นที่มีความชื้นสูง โดยปกติจะมีอุณหภูมิต่ำ ฝนตกชุก มีการสะสมอินทรีย์วัตถุสูงกว่าการผุพังสลายตัว และในการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ ทำให้ดินเป็นกรดจัด (พรเทพ, 2541; บรรณพิชญ์, 2551; Buol *et al.*, 2003; Schaetzel and Anderson, 2005)

2.2 Latosolization

Latosolization เป็นกระบวนการที่เกิดในเขตร้อนฝนตกชุก อุณหภูมิสูง การผุพังสลายตัวของแร่ธาตุและสลายตัวของอินทรีย์วัตถุสูง สารต่าง ๆ เหล่านี้จะละลายและทำปฏิกิริยากับน้ำ (solution and hydrolysis) ถูกชะละลายเคลื่อนย้ายออกไป สิ่งที่เหลืออยู่เป็นสารพวกเหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีส ถ้าสภาพการระบายน้ำดีจะเกิดออกซิเดชันเป็นเฮสคิวออกไซด์ ทำให้ดินมีสีแดงหรือสีเหลือง และการสลายตัวของหินและแร่เป็นไปอย่างรวดเร็วมาก ทำให้ดินมีชั้น B หนา และถ้าหากเฮสคิวออกไซด์จับตัวกันเป็นก้อนรวมกับพวกซิลิกา เรียกว่า ลูกกรัง หรือศิลาแลงซึ่งเกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมที่มีระยะดินเปียกและแห้งสลับกัน กระบวนการนี้เรียกว่า laterization (พรเทพ, 2541; บรรณพิชญ์, 2551; Buol *et al.*, 2010; Schaetzl and Anderson, 2005)

2.3 Rubification

Rubification เป็นกระบวนการที่เกิดต่อเนื่องมาจากกระบวนการเกิดสีน้ำตาล (braunification) ซึ่งเป็นการปลดปล่อยธาตุเหล็ก ออกจากแร่ปฐมภูมิเกิดเป็นเหล็กออกไซด์ และการกระจายของอนุภาคเหล็กออกไซด์ กับการรับน้ำเข้าไปในโมเลกุลของแร่ โดยที่ออกซิเดชันของเหล็กจะเพิ่มขึ้น และการแจกกระจายของเหล็กออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้ดินมีสีน้ำตาลปนแดง (Schwertmann and Taylor, 1989; Buol *et al.*, 2010; Schaetzl and Anderson, 2005)

2.4 Ferrugination

Ferrugination เป็นกระบวนการที่ดินเกิดออกซิเดชันของเหล็กมากขึ้นกว่า การเกิดสีน้ำตาลปนแดง ทำให้เหล็กส่วนใหญ่เป็นเหล็กออกไซด์ที่มีการแจกกระจายของอนุภาคเหล็กออกไซด์ อย่างกว้างขวางในเนื้อดิน ทำให้ดินมีสีแดง (เอิบ, 2548; Schwertmann and Taylor, 1989; Buol *et al.*, 2010; Schaetzl and Anderson, 2005)

3. การจำแนกดินสีแดง

ดินสีแดง พบว่ามีการแพร่กระจายในเขตร้อน และเขตกึ่งร้อน เช่น บริเวณส่วนใหญ่ของทวีปอเมริกาใต้และแอฟริกา รวมทั้งบางส่วนของเอเชียอาคเนย์ (Buol *et al.*, 2010; Sanchez *et al.*,

2003) ในระบบอนุกรมวิธานดิน ส่วนใหญ่อยู่ในอันดับแอลฟีซอลส์ (Alfisols) อัลติซอลส์ (Ultisols) และออกซิซอลส์ (Oxisols) (Sanchez *et al.*, 2003; Zhang and Xu, 2005; Soil Survey Staff, 2010)

ในประเทศไทย ดินสีแดงส่วนใหญ่จัดอยู่ในอันดับแอลฟีซอลส์ อัลติซอลส์ และออกซิซอลส์ เช่นเดียวกัน (เอิบ, 2548; Buol *et al.*, 2010; Soil Survey Staff, 2010)

ดินสีแดงมีทั้งในบริเวณที่เป็นที่ดอนบนผิวน้ำภูมิประเทศที่ค่อนข้างราบเรียบไปจนถึงบริเวณที่ลาดเชิงเขา ที่มีความลาดชันสูงได้ สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่ในบริเวณเขาสูงในภาคเหนือของประเทศไทย มีความลาดชันค่อนข้างสูง (16-85%) ประกอบด้วยดินหลายชนิดมีทั้งดินชั้นและลึก บางแห่งมีก้อนกรวดปะปนในเนื้อดิน ดินมีการระบายน้ำดี ถึงการระบายน้ำดีมากเกินไป ลักษณะเนื้อดิน สีดิน และปฏิกิริยาดินแตกต่างกันออกไป แล้วแต่ชนิดของหินที่เป็นวัตถุดิบกำเนิด และอายุหรือพัฒนาการของดิน (พรเทพ, 2541) ซึ่งในบริเวณนี้จะพบดินที่มีสีออกแดงอยู่โดยทั่วไป

4. การประเมินสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ระบบการจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Fertility Capability Soil Classification System: FCC) (เอิบ, 2548; Sanchez *et al.*, 1982; Buol, 1987; Sanchez *et al.*, 2003) เป็นระบบที่รวบรวมกลุ่มดินที่มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เป็นปัญหาต่อการจัดการด้านการเกษตร มาใช้ในการจำแนกดิน เน้นถึงคุณภาพของดินบนและดินล่าง ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตของพืช (เอิบ, 2548; Kheoruenromne, 1989) วัตถุประสงค์ของระบบการจำแนกระบบนี้ คือ จำแนกดินออกเป็นหมวดหมู่ โดยการรวบรวมชนิดดินที่มีความต้องการหรือมีข้อจำกัดในการจัดการด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินที่คล้ายคลึงกันให้เข้ามาอยู่ด้วยกัน โดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจดินและผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ การจำแนกเน้นที่ชั้นดินบนเป็นหลัก และชั้นดินล่างลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตร (หรือ 60 เซนติเมตร) จากผิวดิน (เอิบ, 2548; Sanchez *et al.*, 1982; Couto, 1988) องค์ประกอบของการจำแนกประกอบด้วย

4.1 การจำแนกระดับประเภท ใช้เนื้อดินของชั้นดินไทรพรวน หรือชั้นดินบนหนา 20 เซนติเมตร แล้วแต่ชั้น ไหนจะตื้นกว่ากันเป็นเกณฑ์ ประเภทของเนื้อดินใช้ตามระบบการจำแนกเนื้อ

ดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (Soil Survey Staff, 2010) และใช้อักษรอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เป็นสัญลักษณ์ ได้แก่

S = ดินบนเป็นทราย (Sandy topsoil): เนื้อดินที่จัดจำแนกเป็นทราย (sand) และทรายนดินร่วน (loamy sand)

L = ดินบนเป็นดินร่วน (Loamy topsoil): เนื้อดินมีปริมาณดินเหนียวเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า 350 กรัมต่อกิโลกรัม แต่ต้องไม่เป็นทราย หรือทรายนดินร่วน

C = ดินบนเป็นดินเหนียว (Clayey topsoil): เนื้อดินมีปริมาณดินเหนียวเป็นองค์ประกอบมากกว่า 350 กรัมต่อกิโลกรัม

O = ดินอินทรีย์ (organic soils): เป็นดินที่มีอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบมากกว่า 300 กรัมต่อกิโลกรัม ในช่วงความลึกอย่างน้อย 50 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน

4.2 การจำแนกประเภทของชั้นดินล่าง ใช้ลักษณะของเนื้อดินของชั้นดินล่าง การจำแนกประเภทย่อยลงไปในประเภทชั้นดินล่าง ใช้เฉพาะกรณีที่เนื้อดินล่างแตกต่างจากเนื้อดินบนอย่างชัดเจน หรือมีชั้นแข็งที่ขัดขวางการเจริญของรากพืช เกิดขึ้นในระยะความลึก 50 เซนติเมตร ถ้าดินบนและดินล่างมีเนื้อดินเหมือนกัน ไม่ต้องใส่สัญลักษณ์ของเนื้อดินล่างลงไป หน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน (fertility capability unit)

ดินล่างที่ใช้ในการจำแนกระดับประเภทดินล่าง เป็นดินที่อยู่ในช่วงความลึกระหว่างดินบนไปจนถึงความลึก 50 เซนติเมตร (หรือ 60 เซนติเมตร) (Sanchez *et al.*, 1982; Couto, 1988) อักษรที่ใช้ซึ่งจำแนกระดับประเภทดินล่างมี ดังนี้

S = ดินล่างเป็นทราย (Sandy subsoil): ใช้เช่นเดียวกับในประเภท

L = ดินล่างเป็นดินร่วน (Loamy subsoil): ใช้เช่นเดียวกับในประเภท

C = ดินล่างเป็นดินเหนียว (Clayey subsoil): ใช้เช่นเดียวกับในประเภท

R = ชั้นล่างเป็นหินแข็ง (Rock) ชั้นหินแข็ง หรือชั้นที่มีการเชื่อมตัวเป็นแผ่นแข็ง ทำให้รากพืชไม่สามารถงอกไชผ่านลงไปได้

4.3 หน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นการจำแนกที่เฉพาะเจาะจงยิ่งขึ้น โดยใช้สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางแร่วิทยา และสภาพแวดล้อมบางประการที่แสดงถึงข้อจำกัดในด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน มาประกอบกับลักษณะของเนื้อดิน ค่าจำกัดที่กำหนดไว้จะเป็นค่ากลางที่ใช้กับพืชทั่วไป ตัวแปรขยาย (modifier) ที่ระบุหน่วยใช้ต่อจากประเภทหรือประเภทชั้นดินต่าง ซึ่งอาจมีตัวแปรมากกว่าหนึ่งตัวก็ได้ ขึ้นอยู่กับปัญหาของดินที่พบ โดยตัวแปรจะเรียงลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อย และใช้ตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ตัวแปรต่าง ๆ มีดังนี้

g' = ชังน้ำถาวร (Constant saturation): ดินมีการชังน้ำอย่างถาวร ทำให้ไม่เกิดจุดประที่มีสีออกไปทางน้ำตาลหรือแดงในระยะความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ยกเว้นในบริเวณรอบรากพืช

g = ชังน้ำ (Gley): ดินหรือจุดประที่มีค่ารงค์ (chroma) เท่ากับ 2 หรือน้อยกว่าภายในระดับความลึก 60 เซนติเมตรจากผิวดิน และได้ชั้นดิน A ทั้งหมด หรือดินอิมตัวด้วยน้ำนานกว่า 60 วันในส่วนใหญ่ของรอบปี

d = แห้ง (Dry): ดินมีระบอบความชื้นเป็นอัลติก (ustic) แอริติก (aridic) หรือเซอริก (xeric) โดยดินล่างลึก 20-60 เซนติเมตร จะแห้งนานกว่า 90 วันสะสมในรอบปี

e = ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ (Low cation exchange capacity): ใช้เฉพาะชั้นดินบนลึก 20 เซนติเมตร หรือชั้นไทรพรวนแล้วแต่ว่าชั้นไหนตื้นกว่ากัน ดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) เมื่อวิเคราะห์โดยวิธีผลรวมของเบส (sum of bases) กับปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl-extractable Al) (ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล : effective CEC) น้อยกว่า 4 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนน้อยกว่า 7 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม เมื่อทำการวิเคราะห์โดยผลรวมของเบส ที่ pH 7 หรือดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนน้อยกว่า 10 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม เมื่อทำการวิเคราะห์โดยผลรวมแคตไอออนกับปริมาณธาตุอะลูมิเนียมและไฮโดรเจนที่สกัดได้ที่ pH 8.2

a = อะลูมิเนียมเป็นพิษ (Aluminum toxicity): ดินมีค่าความอิมตัวของธาตุอะลูมิเนียม (Al-saturation) มากกว่าร้อยละ 60 ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล หรือดินมีค่าความ

อิมิตัวด้วยกรด (acidity saturation) มากกว่าร้อยละ 67 ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่วิเคราะห์โดยผลรวมของเบส ที่ pH 7 หรือดินมีค่าความอิมิตัวด้วยกรดมากกว่าร้อยละ 86 ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่วิเคราะห์โดยผลรวมของเบสที่ pH 8.2 หรือดินมีพีเอชต่ำกว่า 5.0 เมื่อใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำ 1:1 ยกเว้นดินอินทรีย์ที่ใช้ค่าพีเอชต่ำกว่า 4.7 ค่าทั้งหมดนี้ใช้เฉพาะในระยะความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดินเท่านั้น

h = กรด (Acid): ดินมีค่าอิมิตัวด้วยธาตุอะลูมิเนียมร้อยละ 10-60 ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล หรือมีพีเอชอยู่ระหว่าง 5.0-6.0 เมื่อวัดในอัตราส่วน ดิน:น้ำ เป็น 1:1 ใช้เฉพาะในระยะความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดินเท่านั้น

i = เหล็กตรึงฟอสฟอรัสได้สูง (High P-fixation by iron): ดินมีอัตราส่วนของร้อยละของเหล็กอิสระ (% free Fe₂O₃) ต่อร้อยละของอนุภาคดินเหนียว (% clay) มากกว่า 0.15 และต้องมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวเป็นองค์ประกอบในเนื้อดินมากกว่า 350 กรัมต่อกิโลกรัม หรือดินมีสีสัน (hue) เป็น 7.5YR หรือแดงกว่า และมีโครงสร้างดินเป็นแบบเม็ดกลม (granular structure) ตัวแปรขยายนี้อาจใช้เฉพาะในกรณีที่มีการจำแนกระดับประเภทเป็นดินเหนียว (C) เท่านั้น และใช้เฉพาะกับชั้นดินไทรพรวนหรือภายในความลึก 20 เซนติเมตรจากผิวดิน แล้วแต่ว่าชั้นไหนจะตื้นกว่ากัน

x = สารอสัณฐาน (X-ray amorphous): ดินมีปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ด้วยสารละลายออกซาลेट (oxalate extractable Al) มากกว่าร้อยละ 1.4 หรือในคอนบน 20 เซนติเมตรจากผิวดิน มีค่าพีเอชดินมากกว่า 10 เมื่อวัดในน้ำยา 1M NaF หรือมีค่าเป็นบวกเมื่อใช้ NaF ในสนาม หรือมีหลักฐานอื่น ๆ ที่บอกได้ว่า ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวมีสารประกอบแอลโลเฟน (allophone) เป็นลักษณะเด่น

v = เวอร์ทิซอลส์ (Vertisols): เนื้อดินเป็นดินเหนียวจัดมาก มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวในเนื้อดินมากกว่า 350 กรัมต่อกิโลกรัม และมากกว่าร้อยละ 50 ของอนุภาคดินเหนียว จะเป็นประเภท 2:1 ที่สามารถขยายตัวได้ (2:1 expanding clays) หรือดินบนมีการขีดหดตัวอย่างรุนแรง หรือมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (coefficient of linear extensibility; COLE) มากกว่า 0.09

k = โปแทสเซียมสำรองต่ำ (Low K reserve): ดินมีแร่ที่สามารถสลายตัวได้ง่าย (weatherable mineral) ในอนุภาคขนาดทรายแป้งและทราย น้อยกว่าร้อยละ 10 ภายในความลึก 50

เซนติเมตร จากผิวหน้าดิน หรือมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.20 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้น้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 2 ในผลรวมของเบสถ้าดินมีเบสน้อยกว่า 10 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม

b = ค่าบ (Basic reaction): ดินที่มีสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตอิสระภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเกลือเจือจางจะเกิดฟองฟูหรือมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.3 หรือสูงกว่า

s = ความเค็ม (Salinity): ดินมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำเท่ากับหรือมากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายในความลึก 1 เมตรจากผิวหน้าดิน

n = เนตริก (Natric): ดินมีค่าความอิ่มตัวด้วยโซเดียมเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 15 ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน

c = ดินกรดจัด (Cat clay): ดินมีค่า pH ที่วัดเมื่อดินแห้งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.5 เมื่อใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเป็น 1:1 และมีจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซต์ที่มีค่าสีสัน เท่ากับ 2.5Y หรือเหลืองกว่า และค่ารงค์ (chroma) เท่ากับ 6 หรือสูงกว่าภายในความลึก 60 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน (ใช้กับประเภทที่จำแนกเป็น Cg และ Cg' เท่านั้น)

' = ก้อนกรวด (Gravel): สัญลักษณ์ (') หมายถึง ดินมีอนุภาคขนาดก้อนกรวดหรืออนุภาคที่หยาบมากกว่า (>2 มม.) อยู่ในเนื้อดินบนหรือเนื้อดินล่างร้อยละ 15-35 โดยปริมาตร (ตัวอย่างเช่น S'L = gravelly sand over loamy; SL' = sandy over gravelly loam) สัญลักษณ์ (") หมายถึง เนื้อดินในการจำแนกระดับประเภทหรือระดับประเภทดินล่าง มีอนุภาคขนาดก้อนกรวดหรืออนุภาคที่หยาบกว่า (>2 มม.) ปะปนอยู่เป็นประมาณร้อยละ 35 โดยปริมาตร (ตัวอย่างเช่น LC'' = loamy over clayey skeletal; L'C'' = gravelly loam over clayey skeletal)

% = ร้อยละของความลาดชัน (Slope): ใช้กรณีที่มีความประสงค์จะแสดงค่าร้อยละของความลาดชันในระบบการจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งค่าพิสัยร้อยละของความลาดชันจะเป็นค่าที่อยู่ในวงเล็บต่อจากสัญลักษณ์ของตัวแปรขยายสุดท้าย (ตัวอย่างเช่น Lb (3-

8%) = ดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนสม่่าเสมอ มีพีเอชดินเป็นด่าง มีค่าพิสัยของความลาดชันเท่ากับ 3-8%)

การแปลความหมายระดับประเภท และประเภทของชั้นดินล่าง

S: อัตราการแทรกซึมน้ำผ่านผิวหน้าดินสูง ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ต่ำ ดินส่วนใหญ่เป็นทรายที่ไม่มีธาตุอาหารพืช

L: อัตราการแทรกซึมน้ำผ่านผิวหน้าดินปานกลาง ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ปานกลาง การยึดหดตัวต่ำ

C: อัตราการแทรกซึมน้ำผ่านผิวหน้าดินต่ำ ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำดี มีศักยภาพสูงในการที่จะเกิดการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ถ้าพื้นที่มีความลาดชัน การไถพรวนจะทำให้ยากเมื่อดินแห้งหรือเปียกเกินไป ดินอาจมีน้ำขังได้ เมื่อมีสัญลักษณ์ของตัวแปรขยาย i รวมอยู่ด้วย (Ci) ดินนี้จะไถพรวนง่าย มีอัตราการแทรกซึมน้ำผ่านผิวหน้าดินสูง และความจุในการอุ้มน้ำต่ำ

O: ต้องทำการระบายน้ำออกจากพื้นที่ และเมื่อทำการระบายน้ำออก ดินจะเกิดการทรุดตัว อาจเกิดการขาดธาตุอาหารจุลภาค เช่น สังกะสี และทองแดง มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ยากำจัดวัชพืชในอัตราที่สูง

SC, LC, LR, SR: ดินมีโอกาสที่จะสูญเสียผิวหน้าดินเนื่องจากการกร่อนได้ง่าย ทำให้ชั้นดินล่างปรากฏให้เห็น ควรพิจารณาป้องกันการเกิดการกร่อนดินเป็นกรณีพิเศษ

การแปลความหมายระดับหน่วย

ถ้าตัวแปรขยายเพียงตัวเดียวในหน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน การแปลความหมายของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับข้อจำกัด หรือความต้องการในการจัดการดิน จะเป็นไปตามที่จะกล่าวต่อไปนี้ หากมีตัวแปรขยายมากกว่าหนึ่งขึ้นไป การจัดการดินก็จะแตกต่างกันออกไปบ้าง (เอิบ, 2548; บรรณพิชญ์, 2551; Eiumnoh, 1984; Couto, 1988; Kheoruenromne, 1989)

g': ดินมีความเปียกชื้น มีน้ำขังมากเกินไปสำหรับการปลูกพืชไร่ ยกเว้นจะมีการลงทุนอย่างสูงในการป้องกันความเปียกชื้นที่มากเกินไปของดิน จึงจะปลูกพืชไร่ได้

g: การสูญเสียธาตุไนโตรเจนของดิน จะเกิดขึ้นในชั้นดินล่างที่ขาดออกซิเจน การไถพรวนต้องให้เป็นไปตามความชื้นของดิน พืชหรือรากพืชอาจจะแข่งน้ำตายได้ ยกเว้นข้าวหรือพืชที่ต้องการน้ำมากบางชนิด ควรมีการระบายน้ำ การป้องกันน้ำท่วมในช่วงเวลาหนึ่งของปี เหมาะสำหรับเป็นดินปลูกข้าว

d: ความชื้นในดินจะจำกัดการใช้ดินปลูกพืช โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ควรมีการชลประทานหรือให้น้ำแบบอื่น ควรมีการกำหนดเวลาปลูกพืชให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ และชนิดของพืช ควรจะคำนึงถึงปริมาณธาตุไนโตรเจนที่จะสูญเสียไปกับน้ำฝนเมื่อเวลาฝนตก ปัญหาเกี่ยวกับการงอกของเมล็ดพืชจะเกิดขึ้นเสมอ ถ้าหากว่าการกระจายของฝนในช่วงแรกไม่สม่ำเสมอ

e: ดินมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้น้อย ทำให้ธาตุอาหารสูญเสียไปโดยการชะละลายลงสู่ชั้นใต้ดินได้ง่าย ธาตุอาหารที่ถูกชะละลายส่วนใหญ่ ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม การใส่ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารเหล่านี้ และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ควรแบ่งใส่ครั้งละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้งตามความต้องการของพืช ดินมีศักยภาพที่จะเกิดสภาพการถูกใส่ปุ๋ยมากเกินไป (overliming)

a: พืชที่ตอบสนองต่อความเป็นพิษของธาตุอะลูมิเนียม จะได้รับอันตราย เว้นแต่ว่าจะมีการใส่ปูน การใช้สารละลายดินจากชั้นที่อยู่ใต้ชั้นที่มีการใส่ปุ๋ยของพืชจะถูกจำกัด ดินมีความต้องการปูนสูง เว้นแต่ว่าจะมีตัวแปรขยาย e อยู่ด้วย ดินที่มีตัวแปรขยายนี้อยู่ด้วย แสดงว่า เมื่อใส่หินฟอสเฟตลงไป หินฟอสเฟตจะละลายได้เร็วมาก

h: ดินมีความเป็นกรดปานกลางถึงต่ำ การปลูกพืชที่ตอบสนองต่อธาตุอะลูมิเนียม เช่น ฝ้าย และ อัลฟัลฟา ควรจะมีการใส่ปูน และถ้าเป็นยางพารา การใส่ปูนจะทำให้ให้น้ำยางไหลดีขึ้น อาจเกิดความเป็นพิษของธาตุแมงกานีสขึ้นได้ในดินนี้

i: ดินมีความสามารถสูงในการตรึงธาตุฟอสฟอรัส ควรมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 5-10 กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกตาร์ สำหรับแต่ละค่าร้อยละของปริมาณอนุภาคดินเหนียว

ควรพิจารณาอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษถึงชนิดของปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในกรณีที่ดินเหนียว โครงสร้างของดินจะเป็นแบบก้อนกลม

x: ดินมีความสามารถสูงในการตรึงฟอสฟอรัส การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสควรใส่แบบโรยเป็นแถบหรือใส่ปุ๋ยชนิดที่ทำเป็นเม็ด ดินมีอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอินทรีย์ต่ำ

v: ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีสมบัติในการยึดและหดตัวได้ดี การไถพรวนทำได้ยากเมื่อดินแห้งหรือดินชื้นมากเกินไป ดินมักขาดธาตุฟอสฟอรัส แต่ดินมีความสามารถในการให้ผลผลิตสูง

k: ดินมีความสามารถต่ำในการให้ธาตุโพแทสเซียม ควรจะมีการตรวจสอบเกี่ยวกับความเป็นประโยชน์ของธาตุโพแทสเซียมให้แก่ดิน ดินมีสัถย์ที่จะเกิดความไม่สมดุลของธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม

b: ดินเป็นด่าง ควรหลีกเลี่ยงการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตในรูปแบบอื่น ๆ ที่ไม่ละลายน้ำ ดินมีสัถย์ในการที่จะขาดธาตุอาหารพืชพวกจุลธาตุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กและสังกะสี

s: ดินที่มีเกลือละลายน้ำได้ ต้องทำการระบายน้ำออกและมีการจัดการที่พิเศษสำหรับพืชที่ตอบสนองต่อความเค็มหรือปลูกพืชที่ทนทานต่อความเค็ม

n: ดินมีปริมาณธาตุโซเดียมอยู่ในระดับสูง ควรมีการจัดการดินเป็นพิเศษโดยเฉพาะในดินด่าง (alkaline soil) ซึ่งรวมถึงการใส่ยิปซัม และการระบายน้ำออกจากพื้นที่

c: ดินมีสัถย์ภาพที่จะเป็นดินกรดจัด ไม่ควรทำการระบายน้ำออกจากพื้นที่ เว้นแต่จะมีการจัดการเป็นพิเศษ ควรจะนำพันธุ์พืชที่ทนทานต่อระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาปลูก

ลักษณะทั่วไปของบริเวณที่ทำการศึกษา

สภาพทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของภาคเหนือตอนบน

1. ขนาดและที่ตั้ง

บริเวณที่ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างดินครอบคลุมพื้นที่ 8 จังหวัด ในภาคเหนือตอนบน คือ จังหวัด เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน น่าน แม่ฮ่องสอน แพร่ พะเยา ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 17 องศา 38 ลิปดา - 20 องศา 60 ลิปดาเหนือ และเส้นแวง ที่ 97 องศา 20 ลิปดา ถึง 101 องศา 10 ลิปดาตะวันออก มีเนื้อที่รวมประมาณ 85,852.254 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 53,657,658.75 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 16.7 ของพื้นที่ทั้งประเทศ มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

ทิศเหนือ ติดต่อกับประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งสหภาพพม่าและประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยมีแม่น้ำโขงเป็นเส้นแบ่งเขตพรมแดน

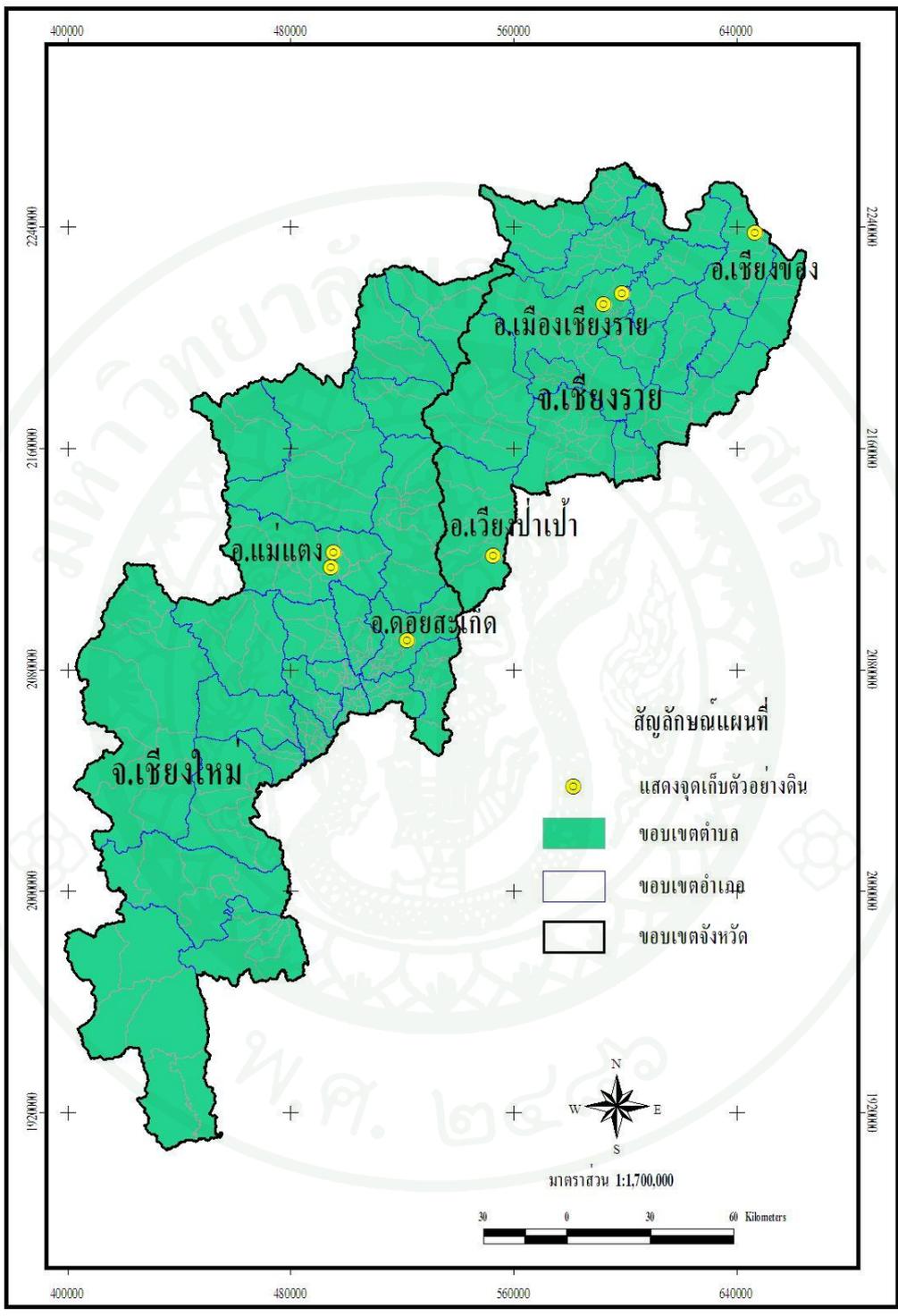
ทิศใต้ ติดต่อกับภาคเหนือตอนล่างบริเวณจังหวัดสุโขทัย จังหวัดอุตรดิตถ์ และจังหวัดตาก

ทิศตะวันออก ติดต่อกับประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยมีแม่น้ำโขงเป็นเส้นแบ่งเขตพรมแดน

ทิศตะวันตก ติดต่อกับประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งสหภาพพม่า โดยมีแม่น้ำสาละวิน และแนวสันเขาดินนงชัยเป็นเส้นแบ่งเขตแดน

2. สภาพภูมิอากาศ

พื้นที่ศึกษา มีภูมิอากาศแบบเขตร้อน และได้รับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากประเทศจีนพัดผ่าน แต่อุณหภูมิยังสูงกว่าจุดเยือกแข็ง ยกเว้นตามยอดเขาสูง อาจเกิดเกล็ดน้ำแข็ง ปริมาณฝน



ภาพที่ 1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างของดินที่ทำการศึกษา

อาจเปลี่ยนแปลงไปได้มากในแต่ละแห่ง มีฤดูแล้งที่ชัดเจน ฝนส่วนใหญ่เป็นฟ้าคะนอง ขึ้นอยู่กับระบบลมที่สำคัญซึ่งพัดตามฤดูกาล 2 ชนิดคือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

จากระบบการจำแนกสภาพภูมิอากาศของ Köppen (Peel *et al.*, 2007) พบว่าพื้นที่ศึกษามีลักษณะภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน (tropical savanna: Aw) โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพาเอาความชุ่มชื้นเข้าสู่ประเทศ ทำให้มีฝนตกชุกในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงปลายเดือนกันยายน

ภาคเหนือตอนบน ได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณต้นเดือนตุลาคมไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ขึ้นอยู่กับกำลังแรงของมรสุม ทำให้เกิดฤดูหนาวและอากาศแห้งแล้งโดยทั่วไป เนื่องจากพื้นที่ภาคเหนือตอนบนมีภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นเทือกเขา จึงทำให้สภาพภูมิอากาศค่อนข้างจะต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศ จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปี พ.ศ. 2504-2533 พบว่าภาคเหนือตอนบนมีปริมาณฝนระหว่าง 980-1,733 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ยของภาคเหนือตอนบนอยู่ระหว่าง 24-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 68-78

ภาคเหนือตอนบน แบ่งออกเป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน ช่วงเวลาของฤดูต่างๆ เป็นดังนี้

(1) ฤดูฝน เริ่มประมาณเดือนพฤษภาคม และสิ้นสุดประมาณเดือนพฤศจิกายน จำนวนวันที่มีฝนตกในรอบปี เฉลี่ย 105-140 วัน

(2) ฤดูหนาว เริ่มต้นราวเดือนพฤศจิกายน และสิ้นสุดกลางเดือนกุมภาพันธ์ อากาศหนาวเย็นในเดือนธันวาคมและมกราคม อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 18-23 องศาเซลเซียส

(3) ฤดูร้อน เริ่มในราวกลางเดือนกุมภาพันธ์ จนถึงเดือนพฤษภาคม ลักษณะอากาศโดยทั่วไปร้อนอบอ้าว เดือนเมษายนเป็นช่วงที่มีอากาศร้อนที่สุด มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27-31 องศาเซลเซียส (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548; สิทธานต์, 2551)

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของจังหวัดในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2543-2550

จังหวัด	ค่าเฉลี่ยปริมาณต่อเดือน (มม.) (ปี 2543 – 2550)											รวม	
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.		ธ.ค.
แม่ฮ่องสอน	8	3	6	67	190	209	248	201	251	123	28	12	1,345
เชียงราย	12	11	49	114	195	199	318	344	363	117	20	11	1,753
พะเยา	3	1	42	117	178	109	130	213	281	123	22	1	1,218
เชียงใหม่	4	1	19	72	222	155	159	184	300	76	26	6	1,223
ลำปาง	4	7	15	104	177	123	141	158	254	63	18	6	1,069
ลำพูน	2	1	10	67	181	153	132	129	251	74	24	1	1,024
แพร่	5	2	26	79	208	168	180	169	242	64	15	1	1,161
น่าน	3	8	31	114	184	176	203	241	209	48	3	4	1,224

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2553)

3. ปริมาณและการแจกกระจายของฝน

จากสถิติข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะภูมิอากาศ โดยใช้ข้อมูลสถิติในคาบ 30 ปี (ค.ศ. 1971-2000) ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีของภาคเหนือเฉลี่ยเท่ากับ 1,134 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณสูงสุดเฉลี่ยในเดือนสิงหาคม เท่ากับ 224.4 มิลลิเมตร ส่วนเดือนมกราคม พบว่าเป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 7.7 มิลลิเมตร สำหรับการกระจายของฝนพบว่าจำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยในรอบปีเท่ากับ 116.1 วัน โดยในเดือนสิงหาคมมีฝนตกสูงสุด (21 วัน) ฝนตกน้อยที่สุดคือเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ (เฉลี่ย 1 วัน) (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ, 2548; สิทธิพันธ์, 2551)

4. สภาพภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของภาคเหนือตอนบนส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ภูเขาและทิวเขาสูงทอดยาวในแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งเชื่อมต่อมาจากเทือกเขาหิมาลัยและเทือกเขาในแคว้นยูนนานของจีน และในบริเวณระหว่างแนวเขาเหล่านี้มีที่ราบระหว่างเขาหรือแอ่งระหว่างภูเขา (intermontane basin) เช่น บริเวณที่ราบเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง แพร่ และน่าน เป็นต้น ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า

แอ่ง (basin) โดยมีแม่น้ำสายสำคัญ ที่เกิดจากบริเวณทิวเขาสูงไหลผ่าน เช่น แม่น้ำกก อิง ปิง วัง ยม น่าน ป่าสัก และสาขา มีลักษณะ โครงสร้างและภูมิประเทศแตกต่างกันออกไปได้ 7 บริเวณ ดังต่อไปนี้ (สิทธานต์, 2551; กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

1. บริเวณด้านตะวันตกเฉียงเหนือ มีแนวทิวเขาแดนลาวเป็นพรมแดนระหว่างประเทศไทย กับสหภาพพม่า ส่วนทางตะวันตกของจังหวัดเชียงใหม่มีทิวเขาถนนธงชัย ซึ่งแยกจากทิวเขาแดนลาวทอดยาวลงไปทางใต้ เป็นเส้นแบ่งเขตจังหวัดเชียงใหม่กับแม่ฮ่องสอน และตอนบนของจังหวัดตากประกอบด้วยทิวเขาสลับซับซ้อน บริเวณจังหวัดแม่ฮ่องสอนมีที่ราบแคบ ๆ ระหว่างภูเขาบริเวณอำเภอเมือง และอำเภอแม่สะเรียง ซึ่งมีแม่น้ำยมไหลผ่าน แนวทิวเขาทางด้านนี้เดิมสันนิษฐานว่าเป็นพื้นที่เกือบราบ (peneplain) แต่จากการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาประกอบกับการสึกกร่อนจึงทำให้ภูมิประเทศขรุขระ

2. บริเวณที่ราบเชียงใหม่-ลำพูน ถัดจากเทือกเขาทางด้านตะวันตกของภาคเข้ามาเป็นที่ราบที่เกิดจากรอยเลื่อน การกัดเซาะสึกกร่อน และการทับถม ประกอบด้วยตะพักกลุ่มน้ำ (terrace) และที่ราบลุ่มมีแม่น้ำปิงไหลผ่าน พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกและเป็นแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญมากแห่งหนึ่งในภาคเหนือ

3. บริเวณตอนกลางของภาค ประกอบด้วยทิวเขาฝิ่ป็นน้ำ ซึ่งกั้นระหว่างจังหวัดเชียงใหม่กับเชียงราย และเชียงใหม่-ลำพูน กับลำปาง เป็นส่วนที่แบ่งให้น้ำไหลลงสู่ที่ราบที่สำคัญได้แก่ แม่น้ำวังไหลลงสู่แอ่งต่าง ๆ ในจังหวัดลำปาง และลงสู่แม่น้ำวังที่จังหวัดตาก ทิวเขาฝิ่ป็นน้ำอีกส่วนหนึ่งกั้นระหว่างจังหวัดลำปางกับแพร่ มีน้ำไหลลงที่ราบในจังหวัดลำปาง และแพร่อีกหลายสาย ทำให้บริเวณเหล่านี้มีความสำคัญในด้านการเกษตรกรรมมาจนถึงปัจจุบัน

4. บริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือ มีทิวเขาหลวงพระบางกั้นพรมแดนระหว่างประเทศไทยกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ตั้งแต่ด้านตะวันออกของอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ผ่านเทือกเขาสลับซับซ้อน แต่ก็ยังมีที่ราบแคบ ๆ ในเขตอำเภอทุ่งช้าง อำเภอปัว และอำเภอเมือง จังหวัดน่าน

5. บริเวณตอนบนของภาคเหนือ ในเขตจังหวัดเชียงราย มีที่ราบกว้าง ระบบลำน้ำส่วนใหญ่ไหลขึ้นไปทางทิศเหนือลงสู่แม่น้ำโขง เนื่องจากมีสภาพพื้นที่ลาดเทลงไปทางทิศเหนือ แม่น้ำที่

ไหลผ่านที่ราบมีทั้งการเกิดการกัดเซาะและทับถม ทำให้หลายบริเวณมีทางน้ำโค้งตัว (meanders) และทะเลสาบที่เกิดจากลำน้ำเก่า (oxbow lake) รวมทั้งบริเวณที่ทรุดต่ำขนาดกว้าง มีน้ำขังตลอดปี คือที่ราบพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา และที่ลุ่มชื้นแฉะในเขตอำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย

6. บริเวณตอนล่างของภาคเหนือ มีแนวทิวเขาฝืนน้ำทอดยาวไปทางด้านใต้ของจังหวัด ลำปางทางเหนือของจังหวัดอุตรดิตถ์ ทำให้ภูมิประเทศบริเวณนี้โดยทั่วไป ประมาณ 2 ใน 3 ของพื้นที่เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำ และที่ราบลูกคลื่นลอนชัน (rolling) เกิดจากอิทธิพลของแม่น้ำสายสำคัญ คือ ปิง ยม น่านและสาขา ซึ่งทำให้เกิดสภาพพื้นที่หลายประเภท กล่าวคือ มีทั้งที่ราบน้ำท่วม (floodplain) บริเวณริมแม่น้ำปิง ยม และน่าน ตะพักลุ่มน้ำ และที่ราบสูง (plateau) อยู่โดยทั่วไป ซึ่งนับว่าบริเวณเหล่านี้เป็นแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญที่สุดของภาคเหนืออีกด้วย

7. บริเวณด้านตะวันออก เป็นภูเขาและทิวเขาจรดขอบอาณาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ทิวเขาเพชรบูรณ์ 2 ซึ่งต่อเนื่องมาจากทิวเขาหลวงพระบาง ระหว่างทิวเขาเพชรบูรณ์ 1 กับทิวเขาเพชรบูรณ์ 2 มีที่ราบแคบ ๆ ในเขตอำเภอหล่มสัก และอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ราบนี้มีแม่น้ำป่าสักไหลผ่านลงไปทางใต้ ส่วนทางตะวันตกของทิวเขาสูงนี้เป็นที่ราบเชิงเขา (foothill) สลับกับเนินเขา (hill) ไปจรดกับบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำดังกล่าว (สิทธานต์, 2551)

5. แหล่งน้ำธรรมชาติ

เทือกเขาในภาคเหนือจะเป็นแหล่งต้นน้ำของแม่น้ำสายสำคัญของประเทศ แหล่งน้ำธรรมชาติ ประกอบด้วยแม่น้ำลำคลอง หนองและบึงธรรมชาติ มีพื้นที่รวมทั้งสิ้นประมาณ 590,947 ไร่ หรือ 0.56% ของพื้นที่ทั้งภาค แม่น้ำสายสำคัญในภาคเหนือมีดังนี้ (จุฑามาศ, 2528; นิวัตติ, 2532)

1) แม่น้ำปิง เป็นแม่น้ำสายใหญ่และยาวที่สุด ต้นน้ำอยู่บริเวณสาขาของภูเขาแดนลาวติดพรมแดนตอนเหนือบริเวณเส้นรุ้งที่ $19^{\circ} 30'$ - $19^{\circ} 45'$ และเส้นแวงที่ $98^{\circ} 50'$ - $99^{\circ} 00'$ ไหลผ่านลงมายังอำเภอเชียงดาว อำเภอแม่แตง อำเภอแม่อิง ผ่านกลางเมืองเชียงใหม่ลงไป กลายเป็นเส้นกั้นเขตจังหวัดเชียงใหม่กับลำพูน ผ่าน อำเภอสารภี อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอเมืองลำพูน อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอป่าซาง และ อำเภอบ้านโฮ่ง จังหวัดลำพูน อำเภอจอมทอง และ อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ ลงไปยังเขตจังหวัดตาก

2) แม่น้ำวัง ต้นกำเนิดจากท้องที่ อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ไหลลงทางใต้ผ่านอำเภอแจ้ห่ม อำเภอเมืองลำปาง เกาะคา เกิน และแม่พริก ไปจังหวัดตาก

3) แม่น้ำยม ต้นน้ำอยู่ที่สันเขาผีปันน้ำ จังหวัดแพร่ ไหลผ่านจังหวัดแพร่และ จังหวัดสุโขทัย

4) แม่น้ำน่าน มีลำห้วยหลายสาย จากภูเขาใหญ่หลาย ลูกเขตอำเภอปัว จังหวัดน่าน ไหลมารวมกันสู่ที่ราบต่ำ อำเภอทุ่งช้าง อำเภอปัว อำเภอท่าวังผา อำเภอเมืองน่าน อำเภอเวียงสา อำเภอนาน้อย แล้วไหลผ่านจังหวัดอุตรดิตถ์ สู่อำเภอพิชัย โลก

5) แม่น้ำกวัง ต้นน้ำอยู่ที่คอยผีปันน้ำ แล้วไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ผ่านที่ราบเชิงใหม่ ไหลเข้าเขตอำเภอเมืองลำพูนสู่อำเภอป่าซาง ยาวประมาณ 95 กิโลเมตร

6) แม่น้ำลี ต้นน้ำจากคอยขุนก้อง อำเภอลี จังหวัดลำพูน ไหลขึ้นทางเหนือลงสู่อำเภอป่าซาง อำเภอป่าซาง แม่น้ำสายนี้ยาวประมาณ 126 กิโลเมตร

7) แม่น้ำทา ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาขุนตาล อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ ไหลลงมาทางใต้ผ่านอำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน วกกลับมาทางเหนือผ่านระหว่างอำเภอซางและอำเภอลำพูน แล้วไหลลงสู่อำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน

8) แม่น้ำฝาง อยู่ในเขตอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นแม่น้ำที่ไหลย้อนขึ้นไปทางทิศเหนือ ต้นน้ำเป็นลำธารหลายสายไหลมารวมกันจากตอนใต้สุดของอำเภอฝาง แล้วไหลไปบรรจบกันทางทิศตะวันออกของตัวอำเภอฝาง และไหลไปบรรจบกับแม่น้ำกกที่บ้านท่าตอน แล้วไหลลงสู่อำเภอโขง

9) แม่น้ำแม่แตง ต้นน้ำเกิดจากลำธารหลายสายทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ไหลมารวมกับลำน้ำแม่ตองกลายเป็นลำน้ำแม่แตงไหลผ่าน อำเภอแม่แตง บรรจบกับแม่น้ำปิง

10) แม่น้ำแม่จัด ต้นน้ำเกิดจากลำห้วยหลายสายซึ่งไหลลงมาจากภูเขารอบ อำเภอพร้าว ทำให้เกิด แม่น้ำสายนี้ไหลผ่านทุ่งนา ใกล้ที่ว่าการ อำเภอพร้าว เข้าสู่แอ่งคอยสะเก็ด บรรจบกับแม่น้ำกัน แล้วรวมตัวกับแม่น้ำดาว แล้วไหลลงสู่แม่น้ำปิง

11) แม่น้ำแม่ขาน ต้นน้ำอยู่บนเทือกเขาบริเวณเส้นรุ้งที่ $18^{\circ} 53' - 19^{\circ} 00'$ และเส้นแวงที่ $98^{\circ} 33' - 98^{\circ} 38'$ บริเวณบ้านแม่ขานใหญ่ อำเภอสะเมิง ไหลบรรจบกับแม่น้ำปิงที่บริเวณบ้านท่ามะโอ อำเภอสันป่าตอง

12) แม่น้ำแม่กลาง ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาคอยอินทนนท์ หรือคอยอ่างกา เขตอำเภอจอมทอง ไหลผ่านตัวอำเภอจอมทองลงสู่แม่น้ำปิง

13) แม่น้ำแม่แจ่ม ต้นน้ำอยู่ที่เทือกเขาคอยหัวช้าง ในเขตอำเภอแม่แจ่ม บริเวณเส้นรุ้งที่ $19^{\circ} 05' - 19^{\circ} 08'$ และเส้นแวงที่ $98^{\circ} 15' - 98^{\circ} 20'$ ไหลบรรจบกับแม่น้ำปิงที่แม่แจ่ม

6. ลักษณะทางธรณีวิทยา ธรณีสังฐาน และวัตถุต้นกำเนิดดิน

ลักษณะทางธรณีวิทยาของภาคเหนือ ถูกจำแนกเป็นหมวดหมู่ตามชนิดชั้นหินและอายุ (กรมทรัพยากรธรณีวิทยา, 2527) ประกอบด้วยหินตะกอน หินแปร และหินอัคนี ยุคต่าง ๆ และการเรียงตัวกระจายในพื้นที่ภาคเหนือดังนี้

หินตะกอนและหินแปร (Sedimentary rock and metamorphic rocks)

ยุคพรีแคมเบรียน เป็นหินที่มีอายุเก่าแก่ที่สุด หินที่พบได้แก่ หินไนส์ (gneiss) ต่าง ๆ ปรากฏตามแนวของแอ่งเชียงใหม่ บริเวณคอยอินทนนท์ บริเวณอำเภอฮอด จังหวัดตาก และทางทิศตะวันตกของจังหวัดเชียงราย

ยุคแคมเบรียน ได้แก่ หินแปรที่เป็นควอตซ์ (quartz) ในกลุ่มหินตะรุเตา (Tarutao group) เรียงตัวในแนวเหนือใต้ตั้งแต่อำเภอแม่ลาน้อย แม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน และจากทางด้านอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน และจังหวัดตาก

ยุคออร์โดวิเซียน เป็นหินปูนกลุ่มหินทุ่งสง สีเทาเข้มถึงดำ อาจมีดินเหนียว หินดินดานหรือ หินทรายแทรกกระหว่างชั้นหิน พบที่บริเวณดอยสุเทพ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน จังหวัดลำปาง และจังหวัดตาก

ยุคไซลูเรียน ดีโวเนียน และคาร์บอนิเฟอรัส ได้แก่ กลุ่มหินตะนาวศรี (Tanaosi group) ประกอบด้วย

กลุ่มหินแก่งกระจาน เป็นชั้นหินที่อยู่ชั้นบน เป็นหินโคลน หินดินดาน หินทราย ที่เปลี่ยนเป็น ควอร์ตไซต์ บางแห่งมีการแทรกตัวของหินแกรนิต ทำให้เกิดหินแอนดีไซต์ ไรโอไลต์ หน่วยหินแก่งกระจาน พบบริเวณจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ตาก ลำปาง ลำพูน กำแพงเพชร และสุโขทัย

กลุ่มหินกาญจนบุรี เป็นชั้นหินรองลงมาจากหินแก่งกระจาน เป็นหินแปรจำพวกหินชนวน ฟิลไลต์ ควอร์ตไซต์และหินปูน

กลุ่มหินราชบุรี (Ratchaburi group) เป็นหินปูนสีเทา-ขาว หินดินดาน ส่วนใหญ่จะพบซาก ดึกดำบรรพ์ (fossils) จำนวนมาก พบบริเวณจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงราย ตาก อุทัยธานี กำแพงเพชร และอุตรดิตถ์

ยุคไทรแอสซิก

กลุ่มหินลำปาง (Lamphug group) ประกอบด้วย หินปูนสีเทาเข้ม สีเทาปนชมพู ตั้งแต่ไม่มี ชั้นถึงมีชั้นชัดเจน และมีซากดึกดำบรรพ์ กับหินดินดานสีเทาปนเขียว สีเทาเข้ม และสีเทาปนเขียว มะกอก เป็นชั้นบาง ซึ่งเป็นหินปูน หินทราย หินโคลน และหินภูเขาไฟ พบบริเวณทิศตะวันตกของ จังหวัดแม่ฮ่องสอน ตาก และสันเขาแนวเหนือ-ใต้ของจังหวัดเชียงราย แพร่ อุตรดิตถ์ สุโขทัย และ น่าน

กลุ่มหินโคราช (Korat group) ประกอบด้วย 3 หน่วยหินดังนี้

1) หน่วยหินภูกระดึง เป็นชั้นหินที่อยู่ล่างสุด เป็นหินทราย หินแป้ง และหินกรวดมน พบบริเวณด้านทิศตะวันตกของจังหวัดพะเยา อุดรดิตถ์

2) หน่วยหินพระวิหาร เป็นชั้นที่อยู่บนหน่วยหินภูกระดึง เป็นหินทราย หินทรายแป้ง ที่ทนทานต่อการผุกร่อน พบบริเวณจังหวัดพะเยา อุดรดิตถ์

3) หน่วยหินเสาขัว เป็นชั้นหินที่อยู่บนหน่วยหินพระวิหาร เป็นหินทรายแป้งสีเทา-แดง หินทรายและหินกรวดมน พบบริเวณจังหวัดพะเยา แพร่

กลุ่มหินกระบี่ (Krabi group) เป็นหินเนื้ออ่อน ได้แก่หินปูน หินทราย หินดินดาน และชั้นหินที่แปรสภาพจากอินทรีย์วัตถุ คือชั้นหินลิกไนต์หรือหินน้ำมัน บริเวณที่พบคือ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ พะเยา ลำปาง ลำพูน ตาก และที่ลุ่มภาคกลางตอนล่าง ชุดหินกระบี่เป็นแหล่งของทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญในด้านพลังงานทั้งถ่านหินและน้ำมันปิโตรเลียม

หินตะกอนทับถมยุคควอเทอร์นารี เป็นหินใหม่ที่เกิดจากการทับถมของตะกอน บริเวณลำน้ำและชายหาด พบในลักษณะการทับถมของตะกั้กลุ่มน้ำ (terrace deposit) และพื้นที่น้ำท่วมถึง

หินอัคนี (Igneous rock)

หินอัคนี ส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิต แอนดีไซต์ ไรโอไลต์ บะซอลต์ พอร์ไฟริชนิดต่างๆ ที่เกิดในยุคต่างๆ ดังนี้

ยุคคาร์บอนิเฟอรัส พบเป็นแนวเทือกเขาด้านทิศตะวันตกของเชียงใหม่ หินแกรนิตยุคไทรแอสซิก-จูแรสซิก ส่วนใหญ่จะเป็นพอร์ไฟริแกรนิตบริเวณที่พบได้แก่บริเวณเทือกเขาขุนตาล หินแกรนิตยุคครีเทเชียส-เทอร์เชียรี แหล่งใหญ่พบบริเวณ จังหวัดน่านและจังหวัดลำปาง

หินแอนดีไซต์ ไรโอไลต์ เป็นหินเกิดจากภูเขาไฟ แบ่งตามอายุ ได้แก่ ยุคคาร์บอนิเฟอรัส ตอนกลาง พบตอนบนของจังหวัดเชียงราย

ยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก ส่วนใหญ่เป็นหินแอนดิไซต์ ไรโอไลต์ แกรูบิไฟ พบบริเวณ
จังหวัดลำปาง ลำพูน แพร่ และจังหวัดเชียงราย

หินบะซอลต์ มีอายุระหว่างปลายยุคเทอร์เชียรี จนถึงยุคควอเทอร์นารี พบมากที่จังหวัดแพร่
ลำปาง เชียงราย

7. ธรณีสัณฐานวัตถุต้นกำเนิดดินและดินในภาคเหนือตอนบน

สภาพพื้นที่ของภาคเหนือตอนบน มีลักษณะทางธรณีสัณฐานที่แตกต่างกัน ซึ่งมีส่วน
สัมพันธ์กับการเกิดของดิน สามารถแบ่งย่อยออก ได้ดังต่อไปนี้ (นิวัติ, 2532; พรเทพ, 2541; วิโรจน์,
2548, สิทธานต์, 2551)

1. ตะพักกลุ่มน้ำระดับสูงและเนินตะกอนรูปพัดที่เกิดมาจากการทับถมของตะกอนลำน้ำเก่า
และหรือการทับถมของวัตถุที่ตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก (High alluvial terraces and fans of
old alluvium and colluvium) เป็นบริเวณที่เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำไหลที่มีอายุมากที่สุดซึ่ง
ภายหลังถูกกัดเซาะโดยน้ำทำให้สภาพภูมิประเทศเป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดถึงลอนชัน ความลาด
ชันอยู่ระหว่างร้อยละ 2-16 บางแห่งเกิดจากตะกอนที่ถูกพัดพาเอามาทับถมบริเวณปากทางของหุบ
เขา ทำให้เกิดสภาพพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายรูปพัดต่อเนื่อง สภาพพื้นที่แบบตะพักกลุ่มน้ำระดับสูง และ
เนินตะกอนรูปพัดนี้เกิดขึ้นโดยทั่วไปบริเวณแอ่งใหญ่ ที่มีการทับถมของตะกอนน้ำไหลซึ่งจะมี
ปริมาณ และการเรียงตัวที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละแอ่ง ดินที่เกิดขึ้นเป็นดินที่มีทั้งเนื้อหยาบและ
เนื้อละเอียดและบางแห่งมีกรวดปะปนอยู่ด้วย ดินบริเวณที่เป็นตะพักกลุ่มน้ำและเนินตะกอนรูปพัดที่
อยู่ในพื้นที่ที่ต่ำ มีลักษณะคล้าย กับตะพักกลุ่มน้ำระดับต่ำของตะกอนน้ำไหลกลางแก่กลางใหม่ ซึ่ง
เป็นดินที่มีการระบายน้ำเร็วหรือค่อนข้างเร็วมีจุดประตลอดหน้าตัดดิน จัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่
Paleaquults สำหรับที่มีการระบายน้ำค่อนข้างดีและดี จัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Paleustults และ
Dystropepts ส่วนบริเวณที่อยู่สูงที่สุดของลานตะพักลำน้ำระดับสูงและเนินตะกอนรูปพัดนี้มีสภาพ
พื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงลาดชันความลาดชันร้อยละ 4-16 ดินมีการระบายน้ำดีหรือดีมาก
เกินไป จัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Paleustults ดังนั้นลักษณะทางธรณีสัณฐานประเภทนี้จึงมีการใช้
ประโยชน์ของพื้นที่ ทั้งที่เป็นนาข้าว พืชไร่ ไม้ผล ทุ่งหญ้า ป่าไม้ สำหรับที่รกร้างว่างเปล่าจะพบอยู่
บริเวณริมของขอบของแอ่งต่าง ๆ ทั่วไป

2. พื้นที่ผิวเหลือค้ำจากการกัดกร่อน และที่ราบสูง โครงสร้างของหินหลากหลายชนิด (Dissected erosion surfaces and structural plateau occurring over various rocks) เป็นสภาพพื้นที่ที่เกิดขึ้นบริเวณเนินเขา และภูเขาซึ่งเป็นบริเวณขอบของตะพักลุ่มน้ำของแอ่งและหุบเขา สภาพพื้นที่บริเวณนี้เกิดมาจากการที่ภูเขาที่มีโครงสร้างของหินชนิดต่าง ๆ เช่น แกรนิต หินไนส์ ไมกาชีสต์ หินทราย หินชนวน หินปูน ถูกปรับระดับให้ต่ำลงและมีพื้นผิวยาวเรียบขึ้น โดยกระบวนการสลายตัว การกร่อนและกระบวนการเคลื่อนย้ายวัตถุ ทำให้ความลาดชันและระดับของพื้นที่ลดลงจากเดิม ทั้งนี้จะทำให้สภาพภูมิประเทศทั้งสองแบบมีพื้นที่ผิวที่หลงเหลือแตกต่างกันออกไป ลักษณะพื้นที่จึงเป็นทั้งลูกคลื่นลอนลาดหรือลอนชัน ความลาดชันอยู่ระหว่างร้อยละ 4-20 ดินที่เกิดขึ้นมักเป็นดินลึกถึงลึกมากและจำแนกแตกต่างกันออกไปตามวัตถุต้นกำเนิดดิน โดยทั่วไปเป็นกลุ่มดินใหญ่ Paleustults

3. ที่ราบสูงจากลาวาและส่วนที่หลงเหลือจากภูเขาไฟ (Lava plateau and volcano remnants) เป็นสภาพพื้นที่ที่เกิดจากการไหลของลาวาและชั้นของเถ้าถ่านภูเขาไฟ พื้นที่ลักษณะนี้มี ความลาดชันอยู่ระหว่างร้อยละ 2-16 แต่มักจะไม่เกินร้อยละ 6 หินภูเขาไฟดังกล่าวประกอบด้วย หินบะซอลต์ แอนดิไซต์ เป็นดินที่มีการระบายน้ำค่อนข้างดีถึงดี เนื้อละเอียดมีพีเอชดินอยู่ระหว่าง 6.0-8.0 เป็นทั้งดินลึกและดินตื้น จัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Haplustolls และ Ustropepts แต่ส่วนที่เป็น ลาวาในที่มีค่าความลาดชันน้อยกว่าร้อยละ 2 จะเกิดดินหลายชนิดปะปนกันมีทั้งที่มีการระบายน้ำ ท่วมขังลึกประมาณ 30 เซนติเมตร นาน 2-4 เดือนในช่วงฤดูฝนซึ่งใช้ประโยชน์ในการทำนา ส่วน ดินที่เกิดจากหินไรโอไลต์เป็นดินเนื้อละเอียดปานกลางมีกรวดหินปะปนมาก พื้นที่ลักษณะดังที่ กล่าวนี้ใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืชไร่ พืชไร่ พืชไร่ และที่รกร้างว่างเปล่าพบอยู่ในภาคเหนือ ตอนบน บริเวณจังหวัดลำปาง

4. บริเวณภูเขาหินปูน (Limestone outcrops) เป็นลักษณะของภูมิประเทศในภูเขาและ เทือกเขา ซึ่งมีความลาดชันสูงถึงสูงมากปกติจะมากกว่าร้อยละ 30 ซึ่งจะพบเป็นลักษณะของภูเขา หินปูนปรากฏอยู่เป็นหย่อม มีพืชพรรณปกคลุมอยู่น้อย บางแห่งมีลักษณะเป็นเขาโดด แต่บางแห่ง พบอยู่เชิงเขาซึ่งให้ดินทั้งดินตื้นและดินลึกมีการระบายน้ำดี เนื้อละเอียด มีพีเอชดินอยู่ระหว่าง 6.0-8.0 ส่วนมากจัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Haplustalfs และ Paleustalfs มักจะเป็นพื้นที่ป่าไม้หรือพื้นที่ ไม้ได้ใช้ประโยชน์พบอยู่แถบเทือกเขาทางทิศตะวันตกของภาคเหนือตอนบน ตั้งแต่บริเวณจังหวัด เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลงมาถึงจังหวัดตาก

5. ภูเขาและเทือกเขา (Hills and mountains) เป็นบริเวณที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 ในลักษณะภูเขาและทิวเขาสูงทอดยาวในแนวทิศเหนือ-ใต้ ความสูงของยอดเขาบางแห่งมากกว่า 2,000 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ยอดที่สูงที่สุด ได้แก่ ค่อยอินทนนท์ สูงถึง 2,565 เมตร (กรมป่าไม้, 2542) มีหินพื้นฐานอยู่หลายชนิดทั้งหินตะกอนและหินแกรนิต ซึ่งสลายตัวให้ดินชนิดต่างๆ ผันแปรไปตามชนิดของหิน ดินบนพื้นที่สูงอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับดินที่เกิดในที่ต่ำเนื่องจากความแตกต่างกันของลักษณะภูมิอากาศ และดินที่เกิดขึ้นบนไหล่เขาหรือเนินเขา อาจจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับดินที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ที่หลงเหลือจากการกัดกร่อนและที่ราบสูงได้ แต่ในปัจจุบันยังไม่ได้มีการสำรวจจำแนกดินในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว โดยที่จำแนกไว้แต่เพียงเป็นหน่วยพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (slope complex) เท่านั้น ซึ่งไม่มีรายละเอียดถึงคุณสมบัติและลักษณะของดิน และปัจจุบันในพื้นที่เหล่านี้ ส่วนใหญ่ยังคงสภาพเป็นป่าไม้ แต่ก็ได้ถูกบุกรุกทำลายลงไปเพื่อการใช้ประโยชน์จากไม้และการทำการเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นที่ภูเขาทางภาคเหนือตอนบนซึ่งมีชาวเขาเผ่าต่างๆ อาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก (นิวัตติ, 2532; พรเทพ, 2541; สิทธานต์, 2551)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แผนที่สภาพภูมิประเทศบริเวณภาคเหนือตอนบน มาตรฐาน 1 : 50,000 (กรมแผนที่ทหาร, 2521)
2. แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตรฐาน 1 : 500,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2527)
3. เครื่องมือการสำรวจดินภาคสนามมาตรฐาน (เอิบ, 2552; Soil Survey Division Staff, 1993)
4. เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินทางเคมี ภายภาพ จุลสัณฐานวิทยา และแร่วิทยา
5. เครื่องมือและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ผลและเก็บรวบรวมข้อมูล
6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ

วิธีการ

1. การออกศึกษาภาคสนามและเก็บตัวอย่าง

1.1 ศึกษาข้อมูลด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากเอกสารและแผนที่ชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างของดิน ในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

1.2 เขียนขอบเขตของพื้นที่ที่ทำการสำรวจก่อนที่จะออกไปสำรวจ โดยกำหนดและเลือกตำแหน่งที่จะทำการสำรวจและเก็บตัวอย่าง

1.3 ตรวจสอบลักษณะดินบริเวณที่จะทำการสำรวจจริงก่อนในการสำรวจรอบแรกเพื่อ ยืนยันดินที่ต้องการศึกษา

1.4 ขุดหน้าตัดดินตามตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยมีขนาด กว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 2 เมตร ตกแต่งหน้าดินให้สามารถมองเห็นลักษณะพื้นฐานวิทยาของดินได้ชัดเจน แบ่งชั้นดินตามชั้นกำเนิด ดิน (genetic horizon) ตรวจสอบสมบัติดินในแต่ละชั้น ทำคำบรรยายหน้าตัดดิน ตามวิธีการศึกษา ลักษณะพื้นฐานวิทยาของดินในภาคสนาม (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993) เพื่อศึกษาการเกิด ดิน การจำแนกดินและใช้การประเมินความอุดมสมบูรณ์และสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน

1.5 สังเกตและบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะภูมิประเทศ สภาพทางธรณีวิทยา สภาพแวดล้อมและลักษณะการใช้ที่ดินในบริเวณที่เก็บตัวอย่าง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการ วิเคราะห์การกำเนิดของตัวแทนดินที่ทำการศึกษา รวมทั้งมีการศึกษาถึงสภาพแวดล้อมบางประการ ที่แสดงถึงข้อจำกัดในด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

1.6 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ แยกออกเป็น 2 วิธี คือ

1.6.1 ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (Disturbed samples) เก็บดินทุกชั้นตามชั้นกำเนิดดินที่ แบ่งไว้ตลอดหน้าตัดดินชั้นละประมาณ 1-2 กิโลกรัม

1.6.2 ตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน (Undisturbed samples) เพื่อนำมาศึกษาสภาพหน้า น้ำของดิน โดยใช้กระบอกรับตัวอย่าง (core) และเพื่อศึกษาลักษณะทางจุลลักษณะพื้นฐานวิทยาของดิน โดยใช้กล่องคูเบียนา (Kubiena box) โดยเลือกเก็บเฉพาะชั้นที่เป็นตัวแทน (มรกต, 2532; เอิบ, 2552; Buol *et al.*, 2010)

2. การเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

2.1.1 นำตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม หลังจากนั้นนำมาศึกษาโดยในกล้องจุลทรรศน์นำมาวิเคราะห์ทางจุลทรรศน์ฐานวิทยาของดิน ส่วนในกระบอกตัวอย่างนำมาหาสภาพน้ำหนักและความหนาแน่นรวมของดิน

2.1.2 นำตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนมาผึ่งแดดให้แห้งในที่ร่ม แยกก้อนกรวด เศษหินแร่ และซากพืชที่มีขนาดใหญ่ออก แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และใช้ตัวอย่างที่เตรียมนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และทางแร่ของดิน

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

2.2.1 ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) โดยวิธีใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดินโดยไม่ทำลายโครงสร้าง core method (Blake and Hartge, 1986; Culley, 1993)

2.2.2 การกระจายของอนุภาคดิน (Particle size distribution) โดยวิธี pipette method (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Staff, 2010)

2.2.3 สภาพนำน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated hydraulic conductivity) โดยวิธีพลังงานขับน้ำผันแปร (variable head method) (Klute, 1965)

2.3 การวิเคราะห์ทางเคมี

2.3.1 พีเอช (pH) ดิน โดยใช้เครื่องมือวัดพีเอช (pH meter) ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำและดินต่อสารละลาย 1M KCl เท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996)

2.3.2 สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) โดยวัดสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดอิ่มตัวของดิน (saturation extract) วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง electrical conductivity bridge (Richards, 1954; Faithfull, 2002)

2.3.3 คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934; Faithfull, 2002) แล้วคำนวณหาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter content) จากสูตร $\text{organic matter content} = \text{organic carbon} \times 1.724$

2.3.4 ไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method (ทักนีย์ และ จงรักษ์, 2542; Jackson, 1965)

2.3.5 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorous) โดยวิธีการ Bray II แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง spectrophotometer (Bray and Kurtz, 1945)

2.3.6 โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available potassium) โดยสกัดด้วย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (Pratt, 1965) แล้ววัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

2.3.7 เบสที่สกัดได้ (Extractable bases) ซึ่งประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม โดยสกัดด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (Peech, 1945) แล้ววัดปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

2.3.8 ความเป็นกรดที่สกัดได้ (Extractable acidity) โดยวิธี bariumchloride triethanolamine pH 8.2 (Peech, 1945)

2.3.9 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity) โดยการชิมชะ แคตไอออน ด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) และแทนที่แอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10%) ในสภาพเป็นกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน แล้วคำนวณค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Chapman, 1965)

2.3.10 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (Base saturation percentage, % BS) โดยคำนวณจากค่าของปริมาณเบสที่สกัดได้ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) (Burt, 2004) จากสูตร

$$\text{Base saturation percentage} = (\text{Sum bases} / \text{Sum bases} + \text{extractable acidity}) \times 100$$

2.3.11 วิเคราะห์ปริมาณเหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีสในรูปอิสระโดยวิธี dithionite-citrate-bicarbonate (Mehra and Jackson, 1960) ในรูปออกไซด์โดยวิธี ammonium oxalate (McKeague and Day, 1996) และในรูปสารอินทรีย์โดยวิธี sodium pyrophosphate (McKeague, 1967)

2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของดิน

2.4.1 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ในกลุ่มอนุภาคดินเหนียว (clay minerals) ที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร โดยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction analysis; XRD) (Jackson, 1965; Whittig, 1965; Dutrow *et al.*, 2011) โดยการทำอนุภาคขนาดดินเหนียวให้อิ่มตัวด้วยโพแทสเซียม โพแทสเซียมเฟลทที่ 550 องศาเซลเซียส แมกนีเซียม และแมกนีเซียมที่อิ่มตัวด้วยเอทิลีนไกลคอล แล้ววิเคราะห์โดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับชนิดของแร่มาตรฐาน (standard minerals) (Whittig, 1965) และประเมินหาปริมาณของแร่ชนิดต่าง ๆ โดยวิธี relative peak height และ peak area (Jackson, 1965; Pawel *et al.*, 2007)

2.4.2 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ในกลุ่มอนุภาคทรายแป้ง (silt fraction) ขนาด 2 ถึง 50 ไมโครเมตร โดยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับชนิดของแร่มาตรฐาน (Brindley and Brown, 1980) สำหรับปริมาณของแร่ชนิดต่าง ๆ ประเมินโดยวิธี relative peak height และ peak area (Jackson, 1965; Pawel *et al.*, 2007)

2.5 การวิเคราะห์จุลสัณฐานวิทยาของดิน

2.5.1 ตัวอย่างดินที่เก็บมาจากภาคสนามโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ มีขั้นตอนการเตรียมทำแผ่นตัดบาง (thin section) เพื่อศึกษาจุลสัณฐานวิทยาของดิน โดยวิเคราะห์ผ่านกล้องจุลทรรศน์ (มรกต, 2532; Bullock *et al.*, 1985) ดังนี้

1) ถ่ายดินออกจากกล้องจุลทรรศน์ลงในกล่องกระดาษซึ่งบุพลาสติกเรียบร้อยแล้ว พร้อมทั้งเขียนรายละเอียด ชื่อชุดดิน ชั้นดิน และทำลูกศรชี้ทิศทางของตัวอย่างดินที่เก็บ

2) อบดินให้แห้งภายในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 สัปดาห์ หรือจนแน่ใจว่าความชื้นในดิน ไม่มีเหลืออยู่เลย หลังจากนั้นนำมาทำให้แข็งโดยการแทรกสาร (impregnation) ซึ่งเป็นน้ำยาผสมของอัลโพลิท ยูพี 001 อี ที่ใช้เป็นสารเชื่อม เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ เป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาและสไตรีน โมโนเมอร์ เป็นตัวทำเงื้องาง โดยเทน้ำยาที่ผสมดีแล้วลงในกล่องตัวอย่างดิน

3) นำไปใส่ในตู้อบสูญญากาศ (vacuum drying oven) ที่ความดัน 60 เซนติเมตรปรอท ประมาณ 6-8 ชั่วโมง จึงนำออกมาใส่ตู้ควีน คอยเติมน้ำยาให้ท่วมอยู่เสมอ ค่อยๆ เพิ่มความเข้มข้น และเพิ่มเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ทีละน้อย จนกว่าน้ำยาจะแข็งตัว จึงนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4) จากนั้นนำมาตัดด้วยเครื่องตัด ให้หนาประมาณ 5-8 เซนติเมตร นำมาขัดผิวหน้าด้านใดด้านหนึ่งของตัวอย่าง โดยใช้ผงขัดซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide powder) ผสมน้ำมัน นำตัวอย่างดินที่ขัดและเช็ดให้แห้งเรียบร้อยแล้ว อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง

5) นำตัวอย่างดินมาติดบนสไลด์ โดยใช้กาวที่มีส่วนผสมของอัลโพลิท ยูพี 001 อี กับไซโคลเฮกซะโนนเปอร์ออกไซด์ (cyclohexanone peroxide) และโคบอลต์ออกซีไดไฮดรอกไซด์ (cobaltoctate) หลังจากติดตัวอย่างสไลด์เรียบร้อยแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง

6) นำตัวอย่างที่ติดสไลด์แล้วมาตัดด้วยเครื่องตัดบาง และขัดด้วยผงขัดหยาบและละเอียด ตามลำดับ จนกระทั่งตัวอย่างมีความหนาประมาณ 0.03 มิลลิเมตร โดยสังเกต สีของแร่ควอตซ์จะมีสีเทา หรือเทาปนเหลือง เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดคูฮินและแร่ในสภาพ X-nicols จากนั้นปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ (cover glass) แล้วนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดคูฮินและแร่ เพื่อศึกษาทางจุลสัณฐานวิทยาของดิน (Bullock *et al.*, 1985)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และแร่วิทยา รวมถึงสภาพแวดล้อมบางประการเพื่อวิเคราะห์การกำเนิด การจำแนกดินและรวมถึงข้อจำกัดในด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

3.2 ประเมินสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ (Sanchez *et al.*, 1982) และความอุดมสมบูรณ์ (กองสำรวจดิน, 2523) ของดิน ประเมินศักยภาพทางการเกษตรของดินและเสนอแนวทางการวางแผนการใช้และการจัดการดิน

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการศึกษาลักษณะดินสีแดงในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยประกอบด้วยลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาของดินในสนาม จุดสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงแร่วิทยาของดิน การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำโดยคัดเลือกดินที่เป็นตัวแทน 7 บริเวณ โดยแต่ละบริเวณกำหนดให้เป็นพีดอน (Pedon) ซึ่งเป็นปริมาตรที่เล็กที่สุดที่สามารถบอกได้ว่าเป็นดินหนึ่ง (soil individual) (Buol *et al.*, 2010) และเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่สามารถจะอธิบายหน้าตัดดินได้ครบทุกลักษณะ (เอิบ, 2548)

1. ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของดินสีแดง

ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 7 บริเวณ แสดงไว้ในตารางที่ 2 และ 3 และคำอธิบายหน้าตัดดินในภาคผนวก

1.1 พีดอน 1 (Typic Kandiuustult, fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 2)

บริเวณบ้านปานกว้าง ตำบลอินทิล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ มีความสูง 385 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึกมาก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็น A-Bt วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำพาเฉพาะแห่ง (local alluvium) และตะกอนลาดเชิงเขา (colluvium) สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนชัน (rolling) มีความลาดชันประมาณร้อยละ 16 ดินมีการระบายน้ำดี มีการซาบซึมน้ำปานกลาง และมีการไหลบ่าของน้ำผิวดินเร็ว ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกเกินกว่า 200 เซนติเมตร จากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาคือเป็นป่าเต็งรังและมีการปกคลุมของไม้พื้นล่างในปริมาณค่อนข้างสูง

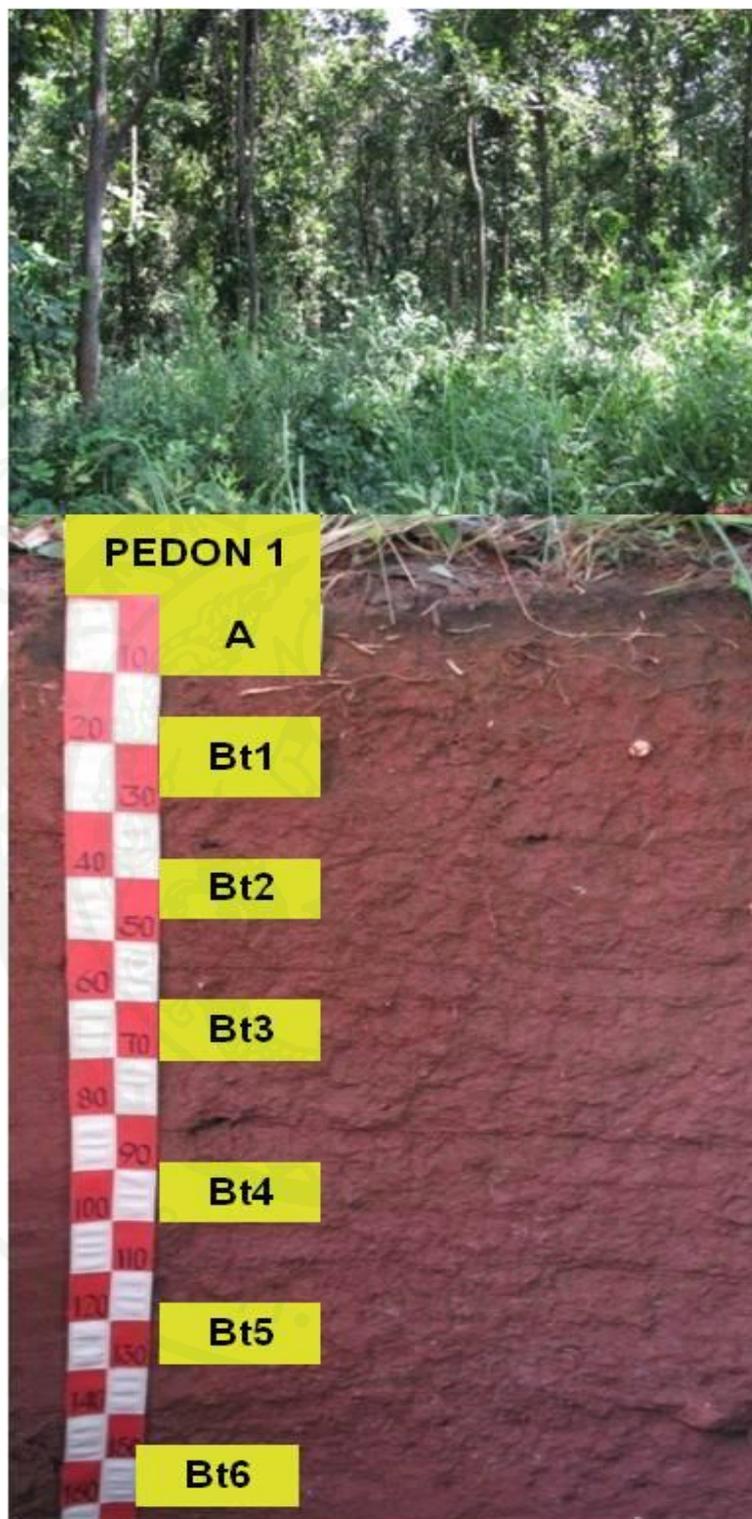
ดินบนลึก 8 เซนติเมตร มีสีดำ เนื้อดินเป็นดินร่วนบนทราย มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรงปานกลาง พบชิ้นส่วนของถ่านไม้ที่เกิดจากไฟไหม้ป่าในปริมาณน้อย และอนุภาคทรายหลากหลายสีในปริมาณน้อย เป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.5)

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปของดินสีแดงที่ทำการศึกษา

Pedon	Thickness of surface soil (cm.)	Effective depth (cm.)	Profile development	Slope (%)	Elevation (m.)	Relief	Landform	Parent Material
1	8	170+	A-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6	16	385	Rolling	Upper mid-slope	Local alluvium and colluvium
2	20	188+	Ap-Bt1-Bt2-Bt3-Bto1-Bto2-Btc	3	410	Undulating	Upper dissected footslope	Residuum derived from fine-grained basic igneous rock
3	20	200+	A-Bo-Bto1-Bto2-Bto3-Bto4-Bto5	8	492	Rolling	Top of lava corrosion plain	Residuum derived from basalt
4	10	200+	A-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6-Bv1-Bv2	5	370	Undulating	Top of low residual hill	Residuum derived from Andisite
5	30	200+	A-Bto-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5	17	608	Hilly	Upper mid-slope of lava corrosion plain	Residuum derived from basalt
6	20	200+	A-AB-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6	8	425	Rolling	Top of dissected residual plain	Residuum derived from metamorphic rock
7	20	200+	Ap-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6	14	381	Rolling	Lower footslope of dissected residual hill	Mixed colluvium and residuum derived from granite

ตารางที่ 3 สภาพแวดล้อมทั่วไปของดินสีแดงในบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา

Pedon	Climate type	Land use	Drainage	Permeability	Runoff
1	Semi-humid subtropical	Degraded dipterocarp forest with relatively good ground cover	Well drained	Moderate	Rapid
2	Semi-humid subtropical	Mung bean field and others include mango, teak plantation, banana and bamboo	Well drained	Rapid	Slow
3	Semi-humid subtropical	Mixed deciduous forest and dipterocarp forest	Well drained	Moderate	Moderate
4	Semi-humid subtropical	Mixed deciduous forest remnants with teak regrowth	Well drained	Moderate	Moderate
5	Semi-humid subtropical	Deciduous mixed with teak plantation	Well drained	Moderate	Moderate
6	Semi-humid subtropical	Left idle as a borrow pit with teak plantation nearby	Well drained	Moderate	Moderate
7	Semi-humid subtropical	Litchie and tamarind orchard	Well drained	Moderate	Moderate



ภาพที่ 2 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 1 บริเวณบ้านปานกว้าง ตำบลอินทขิล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

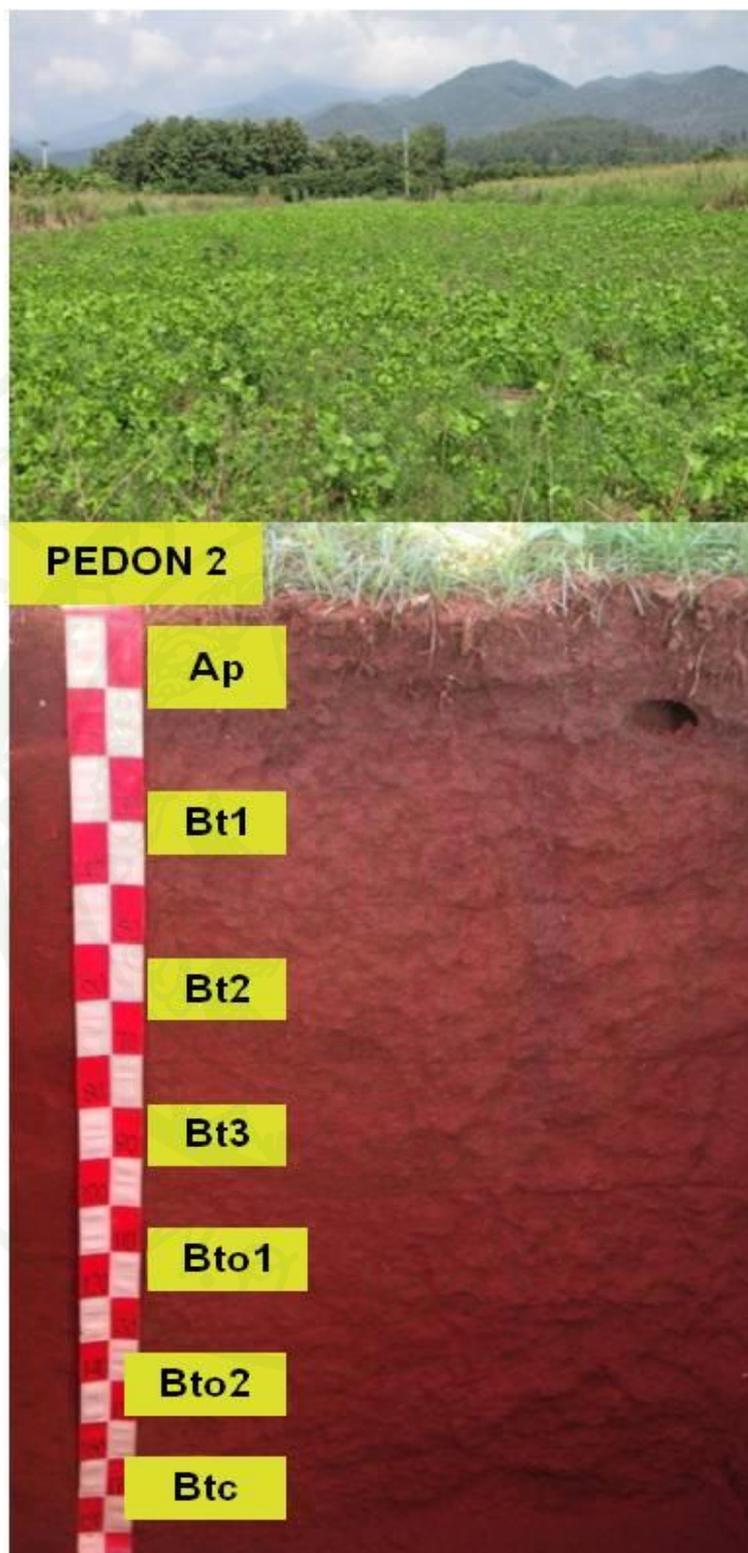
ดินล่างลึก 8-170+ เซนติเมตรในตอนบนของชั้นดินล่าง ที่ระดับความลึก 8-85 เซนติเมตร ดินมีสีแดงคล้ำ เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยม มุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรงปานกลาง เริ่มพบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดินและผนังช่องว่างในปริมาณน้อยถึงค่อนข้างมากและเริ่มมีความชัดเจนขึ้นเรื่อย ๆ จากบนลงล่าง ที่ระดับความลึก 85-140 เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินร่วนปนเหนียว มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรงปานกลาง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดินและผนังช่องว่างในปริมาณค่อนข้างมากและชัดเจนมากแต่จะค่อย ๆ ลดความชัดเจนลงตลอดชั้นที่มีการสะสมดินเหนียว ที่ระดับความลึก 140-170+ เซนติเมตร มีสีดินสีแดง มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดินและผนังช่องว่างในปริมาณค่อนข้างมากและชัดเจนมาก ดินเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0)

1.2 พืดอน 2 (Typic Kandustox , fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 3)

บริเวณบ้านปานกว้าง ตำบลอินทิล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ มีความสูง 410 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึกมาก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็น Ap-Bt-Bto-Btc วัตถุต้นกำเนิดเป็นวัสดุตกค้างที่สลายตัวมากจากหินบะซอลต์ สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด (undulating) มีความลาดชันประมาณร้อยละ 3 ดินมีการระบายน้ำดี มีการซาบซึมน้ำเร็ว และมีการไหลบ่าของน้ำผิวดินช้า ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกเกินกว่า 190 เซนติเมตร จากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษา คือ มีการปลูกข้าว ปลูกมะม่วง ปลูกสัก และกล้วย

ดินบนลึก 20 เซนติเมตร มีสีดินเป็นสีน้ำตาลคล้ำ เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลางมีความคงทนปานกลาง ดินเป็นกรดปานกลาง (pH 6.0)

ดินล่างลึก 20-188+ เซนติเมตร ตอนบนของชั้นดินล่างที่ระดับความลึก 20-158/165 เซนติเมตร ดินมีสีน้ำตาลปนแดงคล้ำ เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุม



ภาพที่ 3 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 2 บริเวณบ้านปานกว้าง ตำบลอินทขิล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

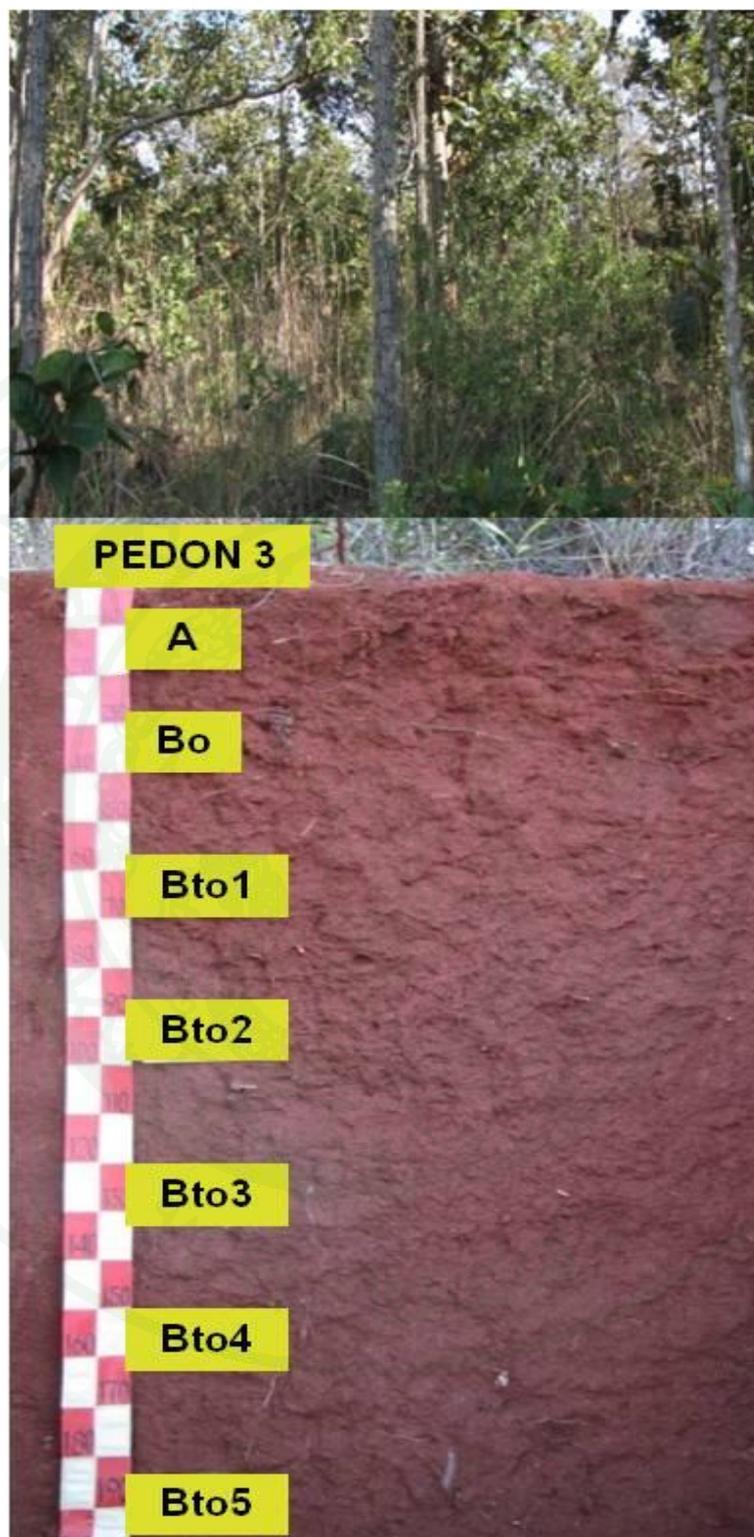
มน และบางส่วนเป็นแบบก้อนกลม มีขนาดละเอียด ถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลาง เริ่มมีลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผนังช่องว่างในปริมาณน้อย และไม่ค่อยชัดเจน นอกจากนี้พบว่ามีการสะสมมวลก้อนกลมของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์น้อย และค่อย ๆ ชัดเจนขึ้นเรื่อย ๆ จนบนลงล่าง ที่ระดับความลึก 165-188+ เซนติเมตร ดินมีสีน้ำตาลปนแดงคล้ำ เนื้อดินเป็นดินเหนียวผสมกรวดในปริมาณมาก มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และมีก้อนกรวดแทรกอยู่ในโครงสร้างดิน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลาง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณบนผิวหน้าเม็ดดิน และผนังช่องว่างในปริมาณน้อยมาก และไม่ค่อยชัดเจน นอกจากนี้พบว่ามีการสะสมมวลก้อนกลมของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์จำนวนมาก ดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.0)

1.3 พีคอน 3 (Typic Kandistox, very fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 4)

บริเวณบ้านโป่งกุ่ม ตำบลป่าเมียง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ มีความสูง 492 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึกมาก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็น A-Bo-Bto วัตถุต้นกำเนิดเป็นวัสดุตกค้างที่สลายตัวมาจากหินบะซอลต์ สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนชัน (rolling) มีความลาดชันประมาณร้อยละ 8 ดินมีการระบายน้ำดี มีการซาบซึมน้ำปานกลาง และมีการไหลบ่าของน้ำผิวดินปานกลาง ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกเกินกว่า 4 เมตรจากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาก่อนเป็นป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง

ดินบนหนาประมาณ 20 เซนติเมตร เนื่องจากพื้นที่ยังคงมีสภาพเป็นป่าไม้จึงทำให้ดินบนมีการสะสมซากพืชต่าง ๆ ในปริมาณมาก ดินมีสีเป็นสีแดงคล้ำ เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และบางส่วนเป็นแบบก้อนกลม มีขนาดละเอียดปานกลางถึงหยาบ มีความคงทนแข็งแรงปานกลาง และผนังช่องว่างพบในปริมาณน้อยถึงมากและขนาดเล็กมากถึงเล็ก และพบรากพืชขนาดเล็กมาก ๆ ถึงปานกลางในปริมาณค่อนข้างมาก ดินเป็นกรดปานกลาง (pH 6.0)

ดินล่างลึก 20-200+ เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินเหนียวและดินมีสีแดงคล้ำตลอดหน้าตัดดิน ในตอนบนของชั้นดินล่างที่ระดับความลึก 20-50 เซนติเมตร มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และบางส่วนเป็นแบบก้อนกลม มีขนาดละเอียด ถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรง



ภาพที่ 4 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 3 บริเวณบ้านโป่งกุ่ม ตำบลป่าเมียง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

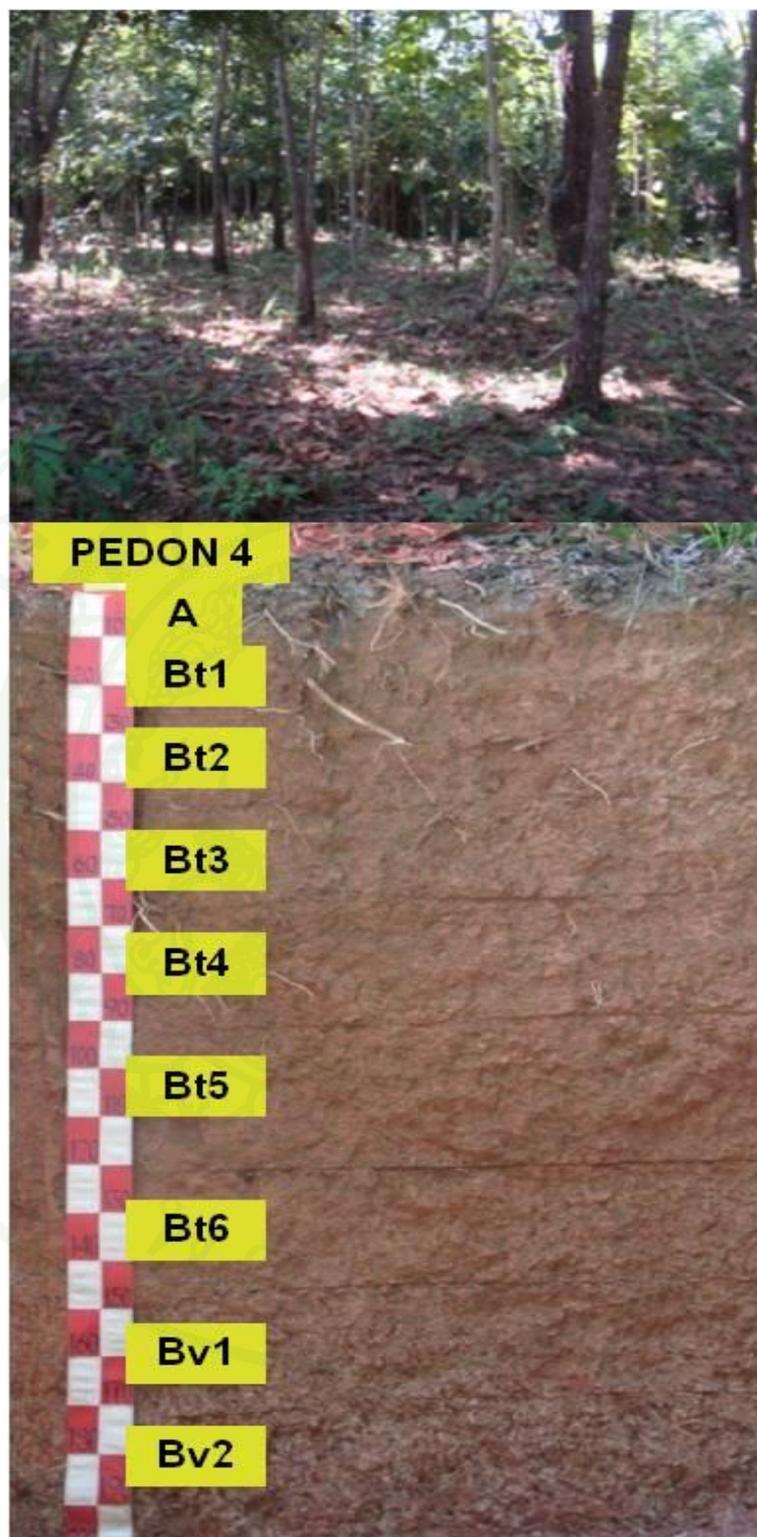
พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดิน และผนังช่องว่างในปริมาณน้อยและชัดเจน ที่ระดับความลึก 50-140 เซนติเมตร มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และบางส่วนเป็นแบบก้อนกลม มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดิน และผนังช่องว่างในปริมาณน้อยถึงค่อนข้างมาก และบางชั้นไม่ค่อยชัดเจน นอกจากนี้พบว่ามีการสะสมมวลก้อนกลมของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์น้อยมาก ที่ระดับความลึกที่ 140-170 เซนติเมตร มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรง และที่ระดับความลึกที่ 170-200 เซนติเมตร มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และบางส่วนเป็นแบบก้อนกลม มีขนาดละเอียดถึงหยาบ มีความคงทนแข็งแรง ดินเป็นกรดปานกลาง (pH 6.0)

1.4 พีคอน 4 (Typic Kandiodox, fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 5)

บริเวณบ้านไจ้ไ้ ตำบลเวียง อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย มีความสูง 370 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึกมาก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็น A-Bt-Bv วัตถุต้นกำเนิดเป็นวัสดุตกค้างที่สลายตัวมากจากหินแอนดิไซต์ สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชันประมาณร้อยละ 5 ดินมีการระบายน้ำดี มีการซาบซึมน้ำปานกลาง และมีการไหลบ่าของน้ำผิวดินปานกลาง ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกเกินกว่า 2 เมตรจากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาคือเป็นป่าเบญจพรรณ และป่าสัก

ดินบนหนาประมาณ 10 เซนติเมตร ดินมีสีเป็นสีน้ำตาลเข้ม เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรง และพบร่องแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย นอกจากนี้ยังพบก้อนของแมงกานีสออกไซด์ ดินเป็นกรดจัด (pH 5.5)

ดินล่างลึก 10-200 เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัดดิน ในตอนบนของชั้นดินล่างที่ระดับความลึก 10-70 เซนติเมตร ดินมีสีเหลืองปนแดง มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และบางส่วนเป็นแบบก้อนกลม มีขนาดละเอียด ถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลางถึงแข็งแรง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดินและผนังช่องว่างในปริมาณค่อนข้างมากและชัดเจน ที่ระดับความลึก 70-125 เซนติเมตรดินมีผสม ตั้งแต่สีเหลืองปนแดงจนถึงสีน้ำตาลเข้ม มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และแบบกึ่งก้อนเหลี่ยมมุมมน มี



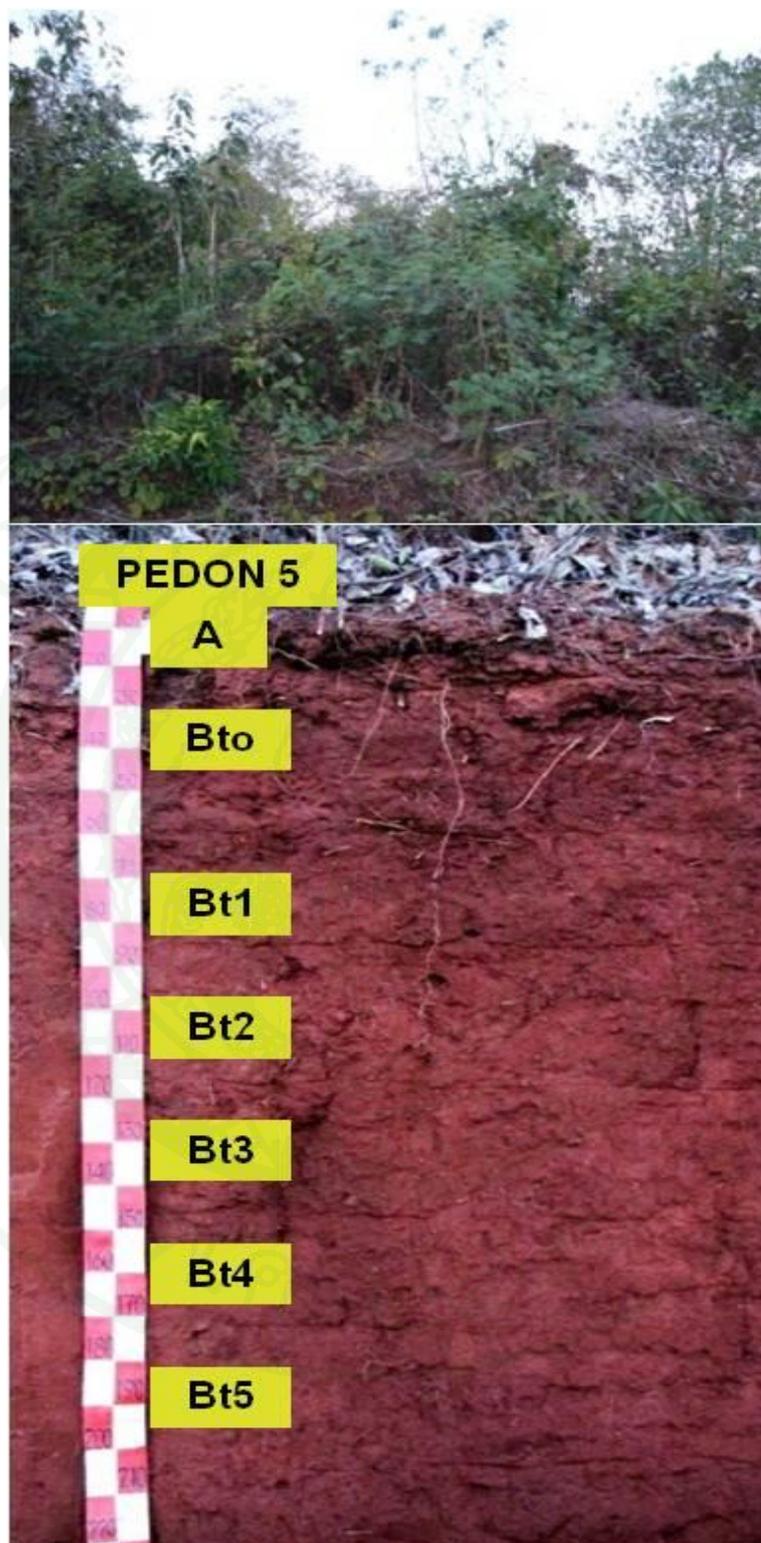
ภาพที่ 5 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 4 บริเวณบ้าน ไร่ไร่ ตำบลเวียง
อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย

ขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลาง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดิน และผนังช่องว่างในปริมาณค่อนข้างมาก และชัดเจน และลดลงตามระดับความลึก นอกจากนี้พบที่มีการสะสมมวลก้อนกลมของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์น้อย และพบแร่ควอร์ตแทรกตัวอยู่ด้วยในบางชั้น ที่ระดับความลึก 125-150 เซนติเมตร ดินมีสีผสมระหว่างสีแดงและสีน้ำตาลเข้ม มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลาง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดิน และผนังช่องว่างในปริมาณค่อนข้างมาก และชัดเจน และลดลงตามระดับความลึก พบร่องแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย นอกจากนี้ยังพบลักษณะการสะสมเหล็กออกไซด์เป็นแบบจุดเล็ก ๆ และที่ระดับความลึก 150-200+ เซนติเมตร ดินมีสีผสมระหว่างสีแดงและสีเหลืองปนแดง มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลาง และในตอนล่างมีโครงสร้างแบบศิลาแดงอ่อน (plinthite structure) ผสมอยู่ด้วย พบลักษณะเหล็กออกไซด์ที่แยกออกมา และดินเหนียวคล้ายศิลาแดงอ่อน ดินเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0)

1.5 พืดอน 5 (Typic Kandustult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 6)

บริเวณบ้านแม่เจดีย์ ตำบลเวียง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย มีความสูง 608 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึกมาก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็น A-Bto-Bt วัตถุต้นกำเนิดเป็นวัสดุตกค้างที่สลายตัวมากจากหินบะซอลต์ สภาพพื้นที่เป็นเนินเขา (hilly) มีความลาดชันประมาณร้อยละ 17 ดินมีการระบายน้ำดี มีการซาบซึมน้ำปานกลาง และมีการไหลบ่าของน้ำผิวดินปานกลาง ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกเกินกว่า 2.2 เมตรจากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาคือเป็นป่าเบญจพรรณ และป่าสัก

ดินบนหนาประมาณ 30 เซนติเมตร ดินมีสีเป็นสีน้ำตาลปนแดงเข้ม เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และบางส่วนเป็นแบบก้อนกลม มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดินและผนังช่องว่างในปริมาณน้อยและชัดเจน พบชิ้นส่วนของหินผุเล็กน้อย ดินเป็นกรดปานกลาง (pH 6.0)



ภาพที่ 6 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 5 บริเวณบ้านแม่เจดีย์ ตำบลเวียง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย

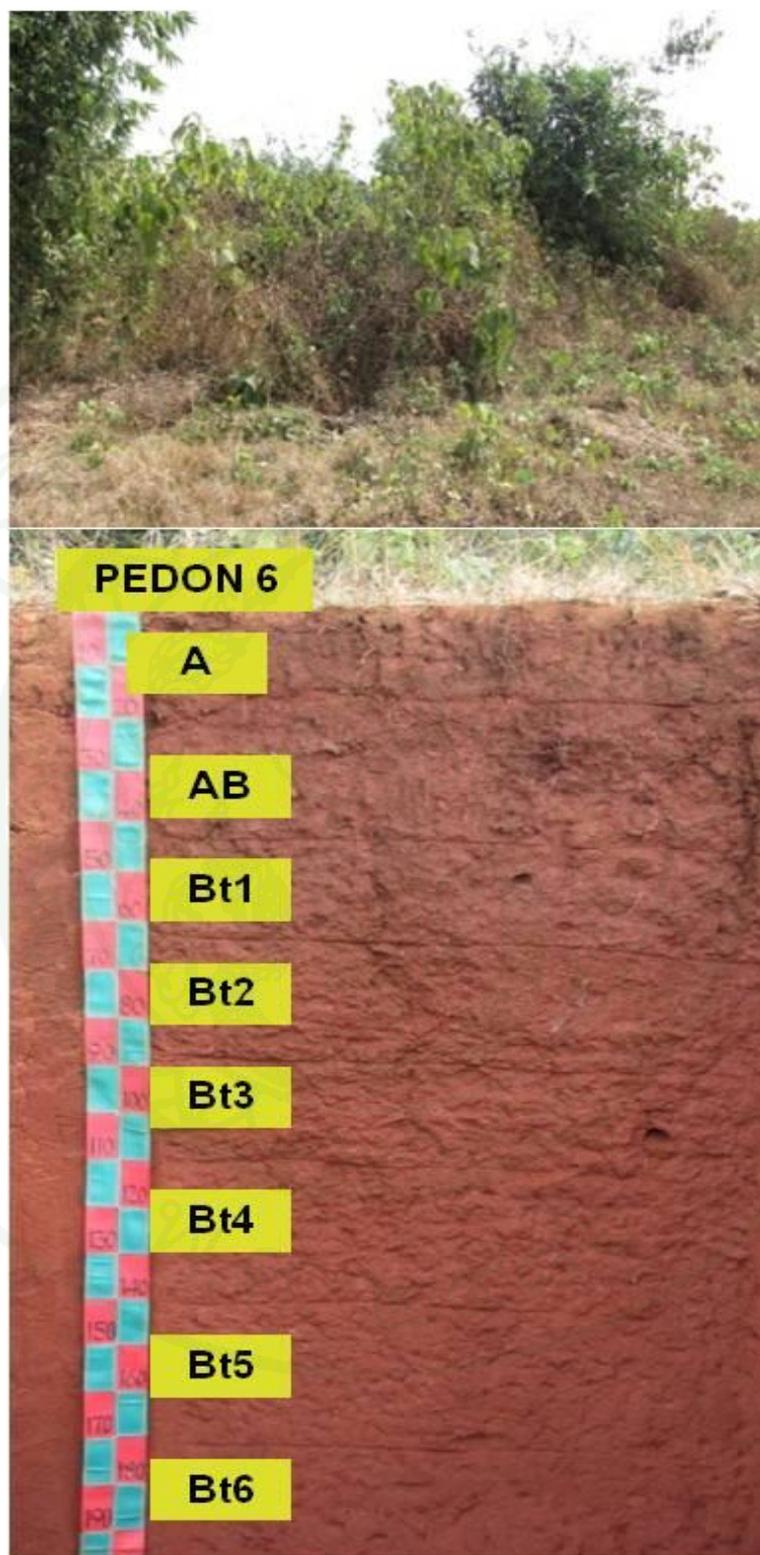
ดินล่างลึก 30-200+ เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินเหนียวและดินมีสีแดงเข้มตลอดหน้าตัดดิน ในตอนบนของชั้นดินล่างที่ระดับความลึก 10-85 เซนติเมตร ดินมีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และบางส่วนเป็นแบบก้อนกลม มีขนาดละเอียดถึงหยาบ มีความคงทนปานกลางถึงแข็งแรง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดินและผนังช่องว่างในปริมาณน้อยถึงค่อนข้างมาก และชัดเจน ลดลงตามความลึกนอกจากนี้ยังพบแร่ควอร์ตแทรกตัวอยู่ขนาดเล็กในปริมาณน้อยมาก และพบร่องแตกกระแหงขนาดเล็ก ที่ระดับความลึก 85-200 เซนติเมตร มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลาง พบลักษณะการสะสมดินเหนียว เป็นการเคลือบบริเวณ ผิวหน้าเม็ดดิน และ ผนังช่องว่างในปริมาณค่อนข้างมาก และชัดเจน และพบว่ามีหินที่เกิดการผุพังแทรกตัว มีขนาดเล็กมาก ในปริมาณน้อย และในชั้นล่างลงไปพบการสะสมมวลก้อนกลมของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.5-5.5)

1.6 พืดอน 6 (Rhodic Kandudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 7)

บริเวณบ้านป่าอ้อ ตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย มีความสูง 425 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึกมาก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็น A-AB-Bt วัสดุต้นกำเนิดเป็นวัสดุตกค้างที่สลายตัวมากจากหินแปร สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนชัน มีความลาดชันประมาณร้อยละ 8 ดินมีการระบายน้ำดี มีการซาบซึมน้ำปานกลาง และมีการไหลบ่าของน้ำผิวดินปานกลาง ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกเกินกว่า 2 เมตรจากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาคือพื้นที่รกร้าง

ดินบนหนาประมาณ 15-20 เซนติเมตร ดินมีสีเป็นสีน้ำตาลปนแดงเข้ม เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรง พบแร่ควอร์ตแทรกตัวอยู่ในปริมาณน้อย ดินเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5)

ดินล่างลึก 20-200 เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัดดิน ในตอนบนของชั้นดินล่างที่ระดับความลึก 20-61 เซนติเมตร ดินมีสีน้ำตาลปนแดงเข้ม มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียด ถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดินและผนังช่องว่างในปริมาณน้อย และชัดเจน นอกจากนี้



ภาพที่ 7 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 6 บริเวณบ้านป่าอ้อ ตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

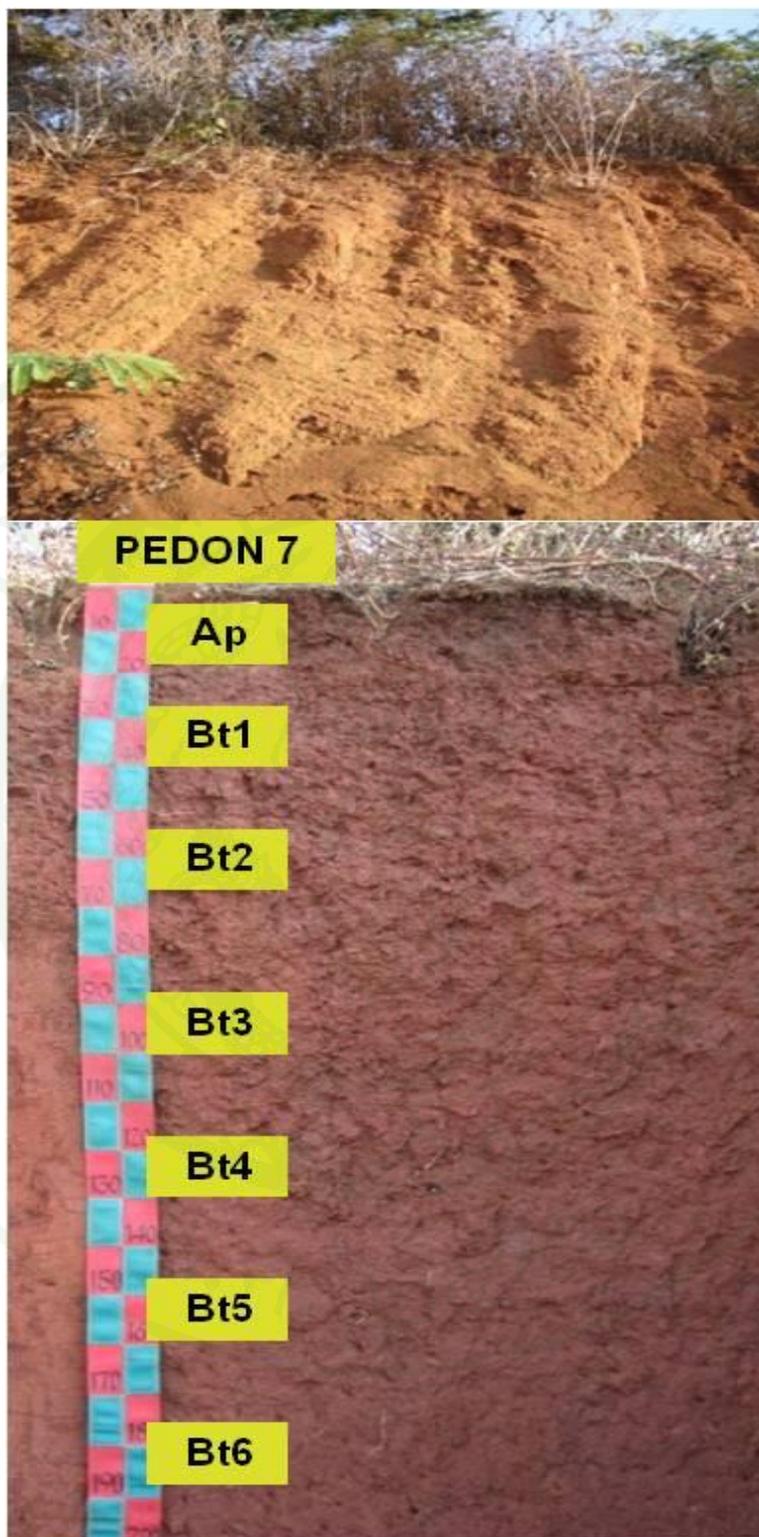
พบเศษชิ้นส่วนของหินผุขนาดเล็กในปริมาณน้อยมาก ที่ระดับความลึก 61-140 เซนติเมตรดินมีสี แดงคล้ำ มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และบางส่วนเป็นแบบก้อนกลม มีขนาด ละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลาง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณ ผิวหน้าเม็ดดินและผนังช่องว่างในปริมาณน้อยถึงค่อนข้างมาก และชัดเจน และพบเศษชิ้นส่วนของ หินผุขนาดเล็กในปริมาณน้อยมาก และเริ่มพบร่องแตกกระแหงขนาดเล็กที่ระดับที่ลึกลงไป ที่ระดับ ความลึก 140-200 เซนติเมตรดินมีสีแดงเข้มผสมกับสีแดงคล้ำ มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยม มุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลาง พบเศษชิ้นส่วนของหินผุขนาดเล็กใน ปริมาณน้อยมาก และพบร่องแตกกระแหงขนาดเล็กปริมาณน้อย ดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.5-5.5)

1.7 ดินพีดอน 7 (Typic Paleudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 8)

บริเวณบ้านใหม่บัวแดง ตำบลแม่ข้าวต้ม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย มีความสูง 381 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึกมาก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็น Ap-Bt วัตถุต้นกำเนิดเป็นวัสดุตกค้างที่สลายตัวมากจากหินแกรนิต สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนชัน มีความลาดชันประมาณร้อยละ 14 ดินมีการระบายน้ำดี มีการซาบซึมน้ำปานกลาง และมีการไหลบ่า ของน้ำผิวดินปานกลาง ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกเกินกว่า 3 เมตรจากผิวดิน สภาพการ ใช้น้ำดินขณะทำการศึกษาก่อนการปลูกไม้ผล

ดินบนหนาประมาณ 20 เซนติเมตร ดินมีสีเป็นสีน้ำตาลปนแดงเข้มผสมกับสีแดงเข้ม เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มี ความคงทนแข็งแรง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดินและผนัง ช่องว่างในปริมาณน้อย และชัดเจน นอกจากนี้ ยังพบเศษชิ้นส่วนของแร่ควอร์ตรูปร่างกลมปริมาณ น้อยมาก พบการสะสมมวลก้อนกลมของเหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ในปริมาณน้อย ดินเป็นกรด จัด (pH 5.5)

ดินล่างลึก 20-200 เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัดดิน ที่ระดับความลึก 20-110 เซนติเมตร ดินมีสีผสมระหว่างสีแดงเข้มจนถึงสีน้ำตาลปนแดงเข้ม มีโครงสร้างของดิน แบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรง พบลักษณะการสะสมดิน



ภาพที่ 8 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของดินพีดอน 7 บริเวณบ้านใหม่บัวแดง ตำบลแม่ข้าวต้ม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

เหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดินและผนังช่องว่างในปริมาณค่อนข้างมากและชัดเจน นอกจากนี้ยังพบแร่ควอร์ตและหินที่มีการผุพังสลายตัวแทรกตัวอยู่ ปริมาณน้อยมากถึงน้อย ที่ระดับความลึก 110-200 เซนติเมตร ดินมีสีผสมระหว่างสีแดงถึงสีน้ำตาลปนแดง มีโครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนและในตอนล่างมีโครงสร้างแบบกึ่งก้อนเหลี่ยมมุมคม ขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนแข็งแรง พบลักษณะการสะสมดินเหนียวเป็นการเคลือบบริเวณผิวหน้าเม็ดดินและผนังช่องว่างในปริมาณค่อนข้างมากและชัดเจน พบแร่ควอร์ตและหินที่มีการผุพังสลายตัวแทรกตัวอยู่ ปริมาณน้อยมากถึงน้อย พบร่องแตกกระแหงขนาดเล็กที่ระดับที่ลึกลงไป ดินเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0)

ผลการศึกษาดัชนีฐานวิทยาศาสตร์ของดิน โดยแต่ละบริเวณ พบว่า ส่วนใหญ่ดินที่ทำการศึกษามีความหนาของชั้นดินบนประมาณ 10-30 เซนติเมตร ยกเว้น พีดอน 1 มีความหนาของชั้นดินบน 8 เซนติเมตร มีความลาดชันผิวหน้าอยู่ในช่วงร้อยละ 3-17 สภาพภูมิประเทศเป็นเนินเขา ลูกคลื่นลอนลาด และลูกคลื่นลอนชัน วัตถุต้นกำเนิดเป็นวัสดุตกค้างที่สลายตัวมาจากหินอัคนีสีเข้มและสีจาง ยกเว้นพีดอน 1 ที่มาจากตะกอนน้ำพาเฉพาะที่ทับตะกอนคาบเชิงเขา ดินส่วนใหญ่มีการระบายน้ำดี การซาชซึมน้ำปานกลาง และการไหลบ่าของน้ำอยู่ในระดับปานกลาง

ดินสีแดงที่ทำการศึกษาล้วนส่วนใหญ่เป็นดินลึกมาก เนื่องจากการผุพังอยู่กับที่มีอิทธิพลลงไปถึงระดับลึก และมีอิทธิพลการผุพังอยู่กับที่มากกว่าการกร่อน เนื่องจากสภาพพื้นที่ดินสีแดงที่ศึกษาอยู่ในเขตร้อน สภาพภูมิอากาศเป็นแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศแตกต่างจากบริเวณที่ราบ และมีความแปรปรวนของอุณหภูมิและปริมาณฝนที่มาก จึงส่งผลให้เกิดการผุพังสลายตัวทางเคมีเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรุนแรง (พรเทพ, 2541; อภิศักดิ์, 2543; เอิบ, 2548; Buol *et al.*, 2010)

สีดินที่ทำการศึกษามีหลายสีตั้งแต่สีน้ำตาลถึงน้ำตาลปนแดง สีแดงถึงเหลืองจนเป็นสีผสม พบว่าส่วนใหญ่ดินที่ทำการศึกษาในชั้นดินบนจะมีสีคล้ำกว่าชั้นดินล่างอย่างชัดเจน เนื่องจากชั้นดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่วิเคราะห์ได้ โดยในดินบนจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ในชั้นดินล่างส่วนใหญ่จะมีสีดินเป็นสีน้ำตาลปนสีแดงถึงแดงจนเป็นสีผสม เป็นผลมาจากออกไซด์ของเหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีส ไม่พบจุดประในดิน และความชื้นที่แตกต่างกัน และแสดงถึงดินมีการระบายน้ำดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Buol *et al.*, 2010)

เนื้อดิน โดยส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ยกเว้นพืดอน 4 ที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง และพบว่าในชั้นดินบนมีเนื้อดินหยาบกว่าในชั้นดินล่าง ก็เนื่องมาจากการกร่อนและการชะละลายอนุภาคขนาดเล็ก ไปจากหน้าตัดดินตอนบน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยกระบวนการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) ของอนุภาคขนาดเล็ก และกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (eluviation) ไปสะสมในชั้นดินล่าง (Buol *et al.*, 2010)

โครงสร้างดินในชั้นดินบนในทุกพืดอนส่วนใหญ่ จะมีโครงสร้างดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลางในพืดอน 1, 2 และ 3 ส่วนพืดอนที่เหลือมีความคงทนแข็งแรง ส่วนในชั้นดินล่างโดยภาพรวมในดินทุกพืดอนจะมีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ก้อนเหลี่ยมมุมคม และกึ่งก้อนเหลี่ยมมุมคม ขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลางถึงแข็งแรง แสดงว่าดินมีพัฒนาการปานกลางถึงสูง

การยึดตัวของดิน เมื่อดินแห้ง โดยส่วนใหญ่จะทำให้แตกออกจากกันได้ง่าย และมีบ้างในบางพืดอนคือ พืดอน 4 และ 7 ที่แตกออกจากกันได้ยากโดยจะต้องใช้มือทั้งสอง ส่วนดินชั้นเม็ดดินจะแตกออกจากกันได้ง่ายเมื่อใช้แรงกด และการยึดตัวของดินเปียกสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ในทุกพืดอน

ดินในสนามเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดปานกลาง โดยส่วนใหญ่จะมีดินเป็นกรด เนื่องมาจากดินมีการระบายน้ำดี ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการชะละลายประจุบวกที่เป็นค่าออกไปจากหน้าตัดดิน แล้วมีไฮโดรเจนไอออนมาสะสมอยู่ที่ผิวอนุภาคแทน จึงทำให้ดินแสดงความเป็นกรด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Zhang *et al.*, 2007b; Brady and Weil, 2008)

จากผลการศึกษาสัณฐานวิทยาสนามของดิน คือลักษณะต่างๆ ในดินที่กล่าวมารวมถึงพัฒนาการของหน้าตัดดินพบว่าทุกพืดอนมีการสะสมดินเหนียว (Bt) ผิวเคลือบของดินเหนียวมีแบบเคลือบตามผิวเม็ดดินและผนังช่องว่าง และมีการสะสมเหล็กออกไซด์ (Bo-Bto) แสดงว่าดินมีพัฒนาการค่อนข้างสูงถึงสูง (เอิบ, 2548; Soil Survey Staff, 2010)

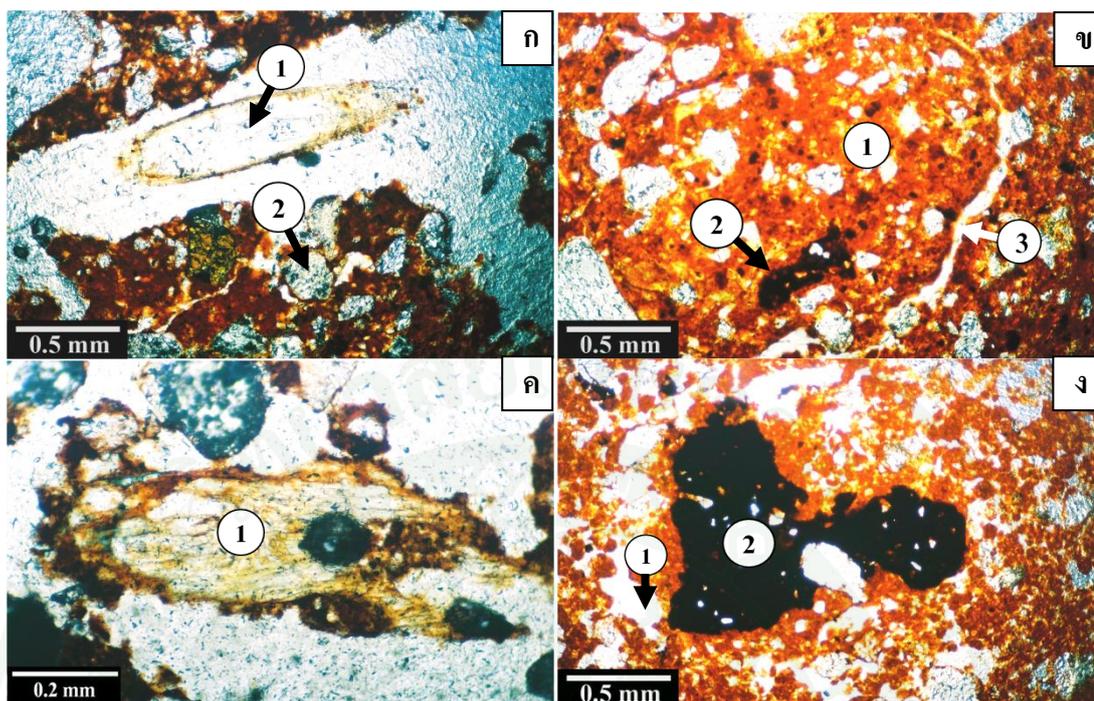
2. จุดตั้งฐานวิทยา

จากการศึกษาลักษณะทางจุดตั้งฐานวิทยาในชั้นดินที่เป็นตัวแทนของดินสีแดง ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยวิธีการทำแผ่นตัดบาง และใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดดูหินแร่ จากตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนในแต่ละพืดอน โดยมีคำอธิบายลักษณะทางจุดตั้งฐานวิทยาของดิน แสดงไว้ในภาคผนวก สรุปได้ดังนี้

พืดอน 1 (Typic Kandiuistult, fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 9)

ดินบนมีโครงสร้างแบบ Bridged grain structure ผสมกับโครงสร้างแบบ intergrain microaggregate structure มีช่องว่างในดินเป็นแบบ simple packing voids และ vughs เล็กน้อย ประมาณร้อยละ 30 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาขนาดหยาบ โดยเป็นแร่ควอตซ์เป็นส่วนใหญ่ ขนาดทรายละเอียดจนถึงทรายหยาบปานกลางมีรูปร่างค่อนข้างกลม (subrounded) มีการจัดเรียงตัวและคั่นขนาดอยู่ในระดับต่ำ ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาขนาดดินเหนียวสีน้ำตาลปนเหลืองจนถึงสีส้ม ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาขนาดละเอียดเป็นแบบปิด (closed porphyric) มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric พบเศษเหลือของพีช อินทรีย์วัตถุชนิดที่ย่อยสลายแล้ว

ดินล่างมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน (subangular blocky structure) มีช่องว่างในดินเป็นส่วนใหญ่เป็นแบบ planar voids และ intrapedal vughs ประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียด (matrix) เป็นแร่ควอตซ์ที่ส่วนใหญ่มีขนาดทรายละเอียดจนถึงทรายหยาบปานกลาง มีรูปร่างค่อนข้างเหลี่ยมจนถึงกลม พบแร่ควอตซ์ที่มีเหล็กออกไซด์เข้าไปแทรกอยู่ในรอยแตก (runi-quartz) และแร่ควอตซ์แบบกลุ่มผลึก (polycrystalline quartz) ในช่วงความลึก 56-170 เซนติเมตร อนุภาคละเอียดเพิ่มขึ้น อินทรีย์วัตถุลดลง พบลักษณะการเคลือบของแร่ดินเหนียวตามช่องว่างและพบมวลก้อนกลมสีน้ำตาลเข้มของเหล็กออกไซด์ โดยส่วนใหญ่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric พบเศษเหลือของพีชที่ผุพังสลายตัว และอินทรีย์วัตถุชนิด organic pigment, punctuation และ amorphous organic fine material โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึกจนไม่พบในชั้นล่างสุดของหน้าตัดดิน พบดินเหนียวผสมกับเหล็กออกไซด์เคลือบตามผนังช่องว่าง พบสารก้อนกลมของเหล็กออกไซด์ที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นในเนื้อดิน และสารก้อนกลมแบบมีดทึบ (typic nodules) ที่มีขอบเขตชัดเจนจนถึงไม่ชัดเจน



ภาพที่ 9 ลักษณะทางจุลทรรศน์วิทยาของดินพีคอน 1 และ 2

- ก) ชั้นส่วนของเศษรากพืชที่กำลังย่อยสลาย (1) แร่ควอตซ์ที่มีรูปร่างค่อนข้างกลม (subrounded) (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับละเอียดแบบ open to closed porphyric ของดินพีคอน 1 ชั้น Bt1 ช่วงความลึก 0-8 เซนติเมตร (plane light)
- ข) แร่ควอตซ์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับละเอียดแบบ closed porphyric (1) และสารก่อก้อนแบบ impregnative nodules (2) ช่องว่างแบบ planar voids (3) ของดินพีคอน 1 ชั้น Bt5 ช่วงความลึก 111-140 เซนติเมตร (plane light)
- ค) เศษชั้นส่วนของรากพืช (1) ของดินพีคอน 2 ชั้น Ap ช่วงความลึก 0-20 เซนติเมตร (plane light)
- ง) ช่องว่างแบบ vughs (1) และสารก่อก้อนแบบ impregnative nodules (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับละเอียดแบบ open to closed porphyric ของดินพีคอน 2 ชั้น Bto1 ช่วงความลึก 100-130 เซนติเมตร (plane light)

พีคอน 2 (Typic Kandiuostox , fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 9)

ดินบนมีโครงสร้างแบบเม็ดกลม มีช่องว่างในดินเป็นแบบ compound packing voids และมี vughs และ vesicles เล็กน้อย มีการเชื่อมต่อกันระหว่างช่องว่าง มีช่องว่างรวมประมาณร้อยละ 30 โดยปริมาตร มีอนุภาคขนาดหยาบ โดยเป็นแร่ควอตซ์เป็นส่วนใหญ่ ขนาดทรายละเอียดจนถึงทรายหยาบปานกลางมีรูปร่างค่อนข้างกลม พบแร่ควอตซ์ที่มีเหล็กออกไซด์เข้าไปแทรกอยู่ในรอยแตก มีเศษชิ้นส่วนของแร่ควอตซ์ที่แตกหักปริมาณน้อยมาก มีการจัดเรียงตัวและคัดขนาดอยู่ในระดับต่ำ ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวสีน้ำตาลปนแดงถึงสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบปิด มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric พบเศษเหลือของพืช อินทรีย์วัตถุชนิดที่ย่อยสลายแล้ว พบสารก้อนกลมของเหล็กออกไซด์ที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นในเนื้อดิน และสารก้อนกลมของแมงกานีสที่รวมตัวกับเหล็ก (manganiferrous nodules)

ดินล่างมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดของเม็ดดินที่หลากหลาย มีช่องว่างในดินเป็นส่วนใหญ่เป็นแบบ unaccommodated planar voids และ vughs โดยมีปริมาณช่องว่างรวมประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร มีอนุภาคขนาดหยาบเป็นแร่ควอตซ์ที่ส่วนใหญ่มีขนาดทรายละเอียดถึงขนาดหยาบ รูปร่างค่อนข้างกลม มีการจัดเรียงตัวและคัดขนาดอยู่ในระดับกลาง ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวสีแดงถึงสีน้ำตาลปนเหลือง ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบปิด โดยส่วนใหญ่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric พบเศษเหลือของพืชที่ผุพังสลายตัว และอินทรีย์วัตถุชนิด organic pigment โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึกจนไม่พบในชั้นล่างสุดของหน้าตัดดิน พบดินเหนียวผสมกับเหล็กออกไซด์เคลือบตามผนังช่องว่าง พบสารก้อนกลมของเหล็กออกไซด์ที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นในเนื้อดิน และสารก้อนกลมแบบมีดทับ และมีขนาดที่แตกต่างกัน

พีคอน 3 (Typic Kandiuostox, very fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 10)

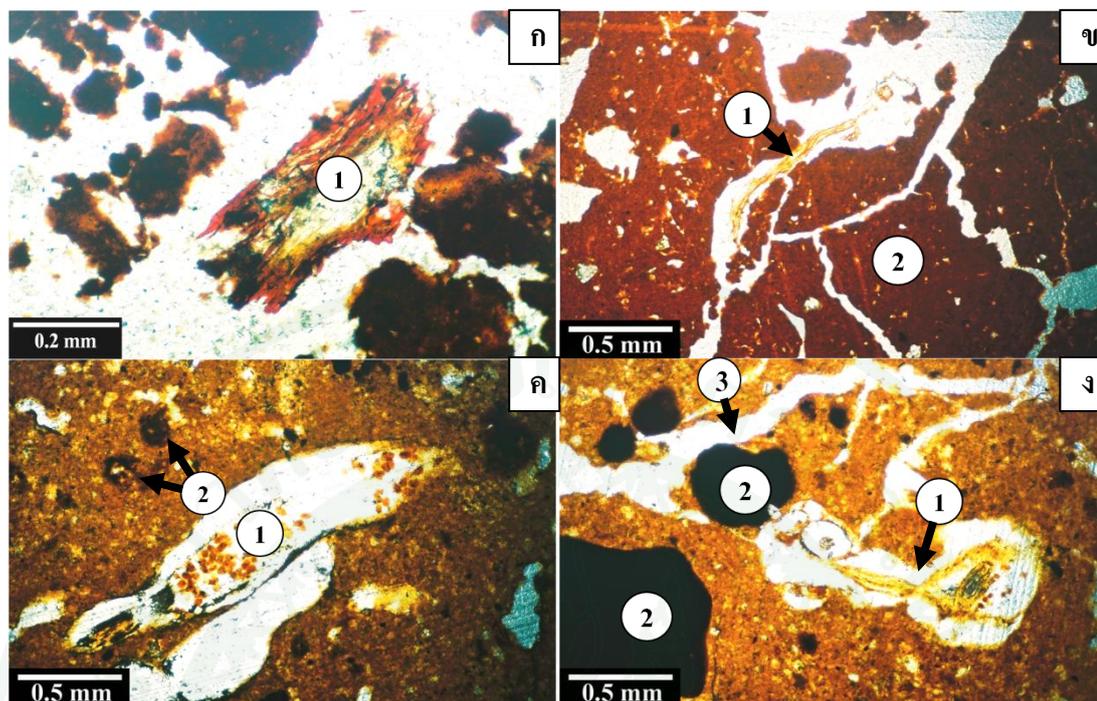
ดินบนมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนและมีโครงสร้างแบบเม็ดกลมแทรกตัวอยู่ด้วย มีช่องว่างในดินเป็นส่วนใหญ่เป็นแบบ unaccommodated planar voids โดยมีปริมาณช่องว่างรวมประมาณร้อยละ 30 โดยปริมาตร มีอนุภาคขนาดหยาบเป็นแร่ควอตซ์ มีขนาดละเอียดรูปร่างค่อนข้างกลม มีการจัดเรียงตัวและคัดขนาดอยู่ในระดับกลาง ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาค

ขนาดดินเหนียวสีแดง ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด (open porphyric) โดยส่วนใหญ่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric พบเศษเหลือของพืชที่ผุพังสลายตัว และอินทรีย์วัตถุชนิด organic pigment และร่องรอยของสิ่งมีชีวิตในดิน พบดินเหนียวผสมกับเหล็กออกไซด์เคลือบตามผนังช่องว่าง พบสารก่อก้อนกลมของเหล็กออกไซด์ที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นในเนื้อดิน และสารก่อก้อนกลมแบบมีคทีบ ที่มีขอบเขตชัดเจนจนถึงไม่ชัดเจน โดยมีขนาดที่แตกต่างกัน

ดินล่างมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนผสมกับโครงสร้างแบบก่อก้อนกลม มีช่องว่างในดินเป็นส่วนใหญ่เป็นแบบ compound packing voids และมีบ้างเป็นแบบ channels และ vesicles ประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร มีอนุภาคขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียด เป็นแร่ควอตซ์ที่ส่วนใหญ่มีขนาดละเอียด รูปร่างค่อนข้างกลม มีการจัดเรียงตัวและคัดขนาดอยู่ในระดับปานกลาง และพบแร่ควอตซ์ที่มีเหล็กออกไซด์เข้าไปแทรกอยู่ในรอยแตก อนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวสีแดง ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด โดยส่วนใหญ่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric และแบบ porostriated b-fabric บ้างเล็กน้อย พบเศษเหลือของพืชที่ผุพังสลายตัว และอินทรีย์วัตถุชนิด organic pigment และ amorphous organic fine material โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึกจนไม่พบในชั้นล่างสุดของหน้าตัดดิน พบดินเหนียวผสมกับเหล็กออกไซด์เคลือบตามผนังช่องว่าง พบสารก่อก้อนกลมของเหล็กออกไซด์ที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นในเนื้อดิน และสารก่อก้อนกลมแบบมีคทีบ และในช่วงตอนบนของชั้นดินล่าง ในระดับความลึก 50-80 เซนติเมตร (ชั้น Bto1) มีการเพิ่มขึ้นของอนุภาคขนาดละเอียด และพบสารก่อก้อนกลมของเหล็กออกไซด์ และในระดับความลึก 170-200+ เซนติเมตร (ชั้น Bto5) มีอนุภาคหยาบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

พืดอน 4 (Typic Kandiodox, fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 10)

ดินบนมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนเป็นโครงสร้างหลัก มีช่องว่างในดินเป็นแบบ accommodated planar voids และ vesicle มีการเชื่อมต่อกันระหว่างช่องว่าง มีช่องว่างรวมประมาณร้อยละ 1 โดยปริมาตร มีอนุภาคขนาดหยาบ โดยเป็นแร่ควอตซ์เป็นส่วนใหญ่ ขนาดอนุภาคทรายแป้งจนอนุภาคขนาดทราย มีการจัดเรียงตัวและคัดขนาดอยู่ในระดับกลาง ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวถึงทรายแป้งสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลปนเหลือง ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ



ภาพที่ 10 ลักษณะทางจุลทัศน์ฐานวิทยาของดินพีคตอน 3 และ 4

- ก) เศษชิ้นส่วนของพีชที่กำลังย่อยสลาย (1) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับละเอียดแบบ open porphyric ของดินพีคตอน 3 ชั้น A ช่วงความลึก 0-20 เซนติเมตร (plane light)
- ข) เศษชิ้นส่วนของพีชที่กำลังย่อยสลาย (1) โครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน (subangular blocky structure) (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับละเอียดแบบ open porphyric ของดินพีคตอน 3 ชั้น Bto5 ช่วงความลึก 170-200 เซนติเมตร (plane light)
- ค) ชิ้นส่วนของพีชที่ยังสมบูรณ์ และสปอร์ของพีช (1) และสารก้อนกลมแบบ impregnative nodules (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับละเอียดแบบ open porphyric ของดินพีคตอน 4 ชั้น A ช่วงความลึก 0-10 เซนติเมตร (plane light)
- ง) ชิ้นส่วนของพีช (1) แสดงสารก้อนกลมแบบ typic nodules (2) ช่องว่างแบบ channels (3) ของดินพีคตอน 4 ชั้น A ช่วงความลึก 0-10 เซนติเมตร (plane light)

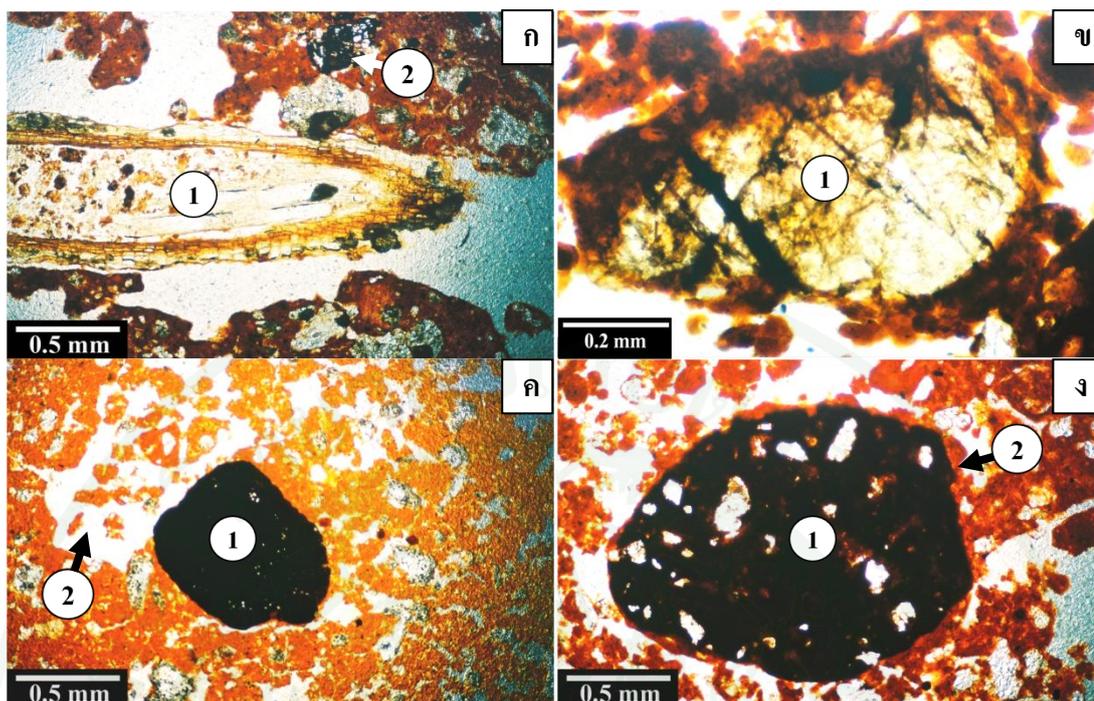
undifferentiated b-fabric พบเศษเหลือของพีช รากพีชขนาดเล็ก อินทรีย์วัตถุชนิดที่ย่อยสลายแล้ว พบสารก่อก้อนกลมของเหล็กออกไซด์สีน้ำตาลปนแดงเข้ม

ดินล่างมีลักษณะคล้ายดินบน แต่มีอนุภาคขนาดละเอียดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และพบสารมวลกลมของเหล็กออกไซด์เพิ่มขึ้น และอินทรีย์วัตถุลดลงตลอดหน้าตัดดิน

พีคอน 5 (Typic Kandistult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 11)

ดินบนมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนและมีโครงสร้างแบบเม็ดกลมแทรกตัวอยู่ด้วย มีช่องว่างในดินเป็นส่วนใหญ่เป็นแบบ compound packing voids โดยมีปริมาณช่องว่างรวมประมาณร้อยละ 35 โดยปริมาตร มีอนุภาคขนาดหยาบเป็นแร่ควอตซ์ มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง รูปร่างค่อนข้างกลมถึงกลม มีการจัดเรียงตัวและค้ำขนาดอยู่ในระดับกลาง ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวสีแดงถึงน้ำตาลปนแดง ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบเปิดถึงปิด (open to closed porphyric) โดยส่วนใหญ่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric และแบบ porostriated b-fabric บ้างเล็กน้อย พบเศษเหลือของพีชที่ผุพังสลายตัว รากพีชที่ยังมีชีวิตและเศษถ่านไม้เล็กน้อย พบดินเหนียวผสมกับเหล็กออกไซด์เคลือบตามผนังช่องว่าง พบสารก่อก้อนกลมของเหล็กออกไซด์ที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นในเนื้อดิน

ดินล่างมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนผสมกับโครงสร้างแบบก้อนกลม มีช่องว่างในดินเป็นส่วนใหญ่เป็นแบบ compound packing voids ประมาณร้อยละ 30 โดยปริมาตร มีอนุภาคขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียด เป็นแร่ควอตซ์ที่ส่วนใหญ่มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง รูปร่างค่อนข้างกลมถึงกลม และแตกหัก มีการจัดเรียงตัวและค้ำขนาดอยู่ในระดับปานกลาง และพบแร่ควอตซ์ที่มีเหล็กออกไซด์เข้าไปแทรกอยู่ในรอยแตก อนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวสีแดง ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบเปิดถึงปิด โดยส่วนใหญ่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric พบเศษเหลือของพีชที่ผุพังสลายตัว และ และ amorphous organic fine material โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึกจนไม่พบในชั้นล่างสุดของหน้าตัดดิน พบดินเหนียวผสมกับเหล็กออกไซด์เคลือบตามผนังช่องว่าง ในระดับความลึก 172-200+ เซนติเมตร (ชั้น Bt5) พบดินเหนียวเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 11 ลักษณะทางจุลทัศน์ฐานวิทยาของดินพืดอน 5

- ก) เศษชิ้นส่วนรากพีชขนาดใหญ่ (1) แสดงสารก้อนกลมแบบ typical nodules (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยากับละเอียดแบบ open to closed porphyric ของดินพืดอน 5 ชั้น A ช่วงความลึก 0-30 เซนติเมตร (plane light)
- ข) แร่ runi-quartz (1) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยากับละเอียดแบบ open to closed porphyric ของดินพืดอน 5 ชั้น Bt3 ช่วงความลึก 115-146 เซนติเมตร (plane light)
- ค) สารก้อนกลมแบบ impregnative nodules (1) ช่องว่างแบบ compound packing voids (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยากับละเอียดแบบ open to closed porphyric ของดินพืดอน 5 ชั้น Bt1 ช่วงความลึก 60-85 เซนติเมตร (plane light)
- ง) สารก้อนกลมแบบ impregnative nodules (1) การเคลือบของแร่ดินเหนียวรอบ impregnative nodules (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยากับละเอียดแบบ open to closed porphyric ของดินพืดอน 5 ชั้น Bto ช่วงความลึก 30-60 เซนติเมตร (plane light)

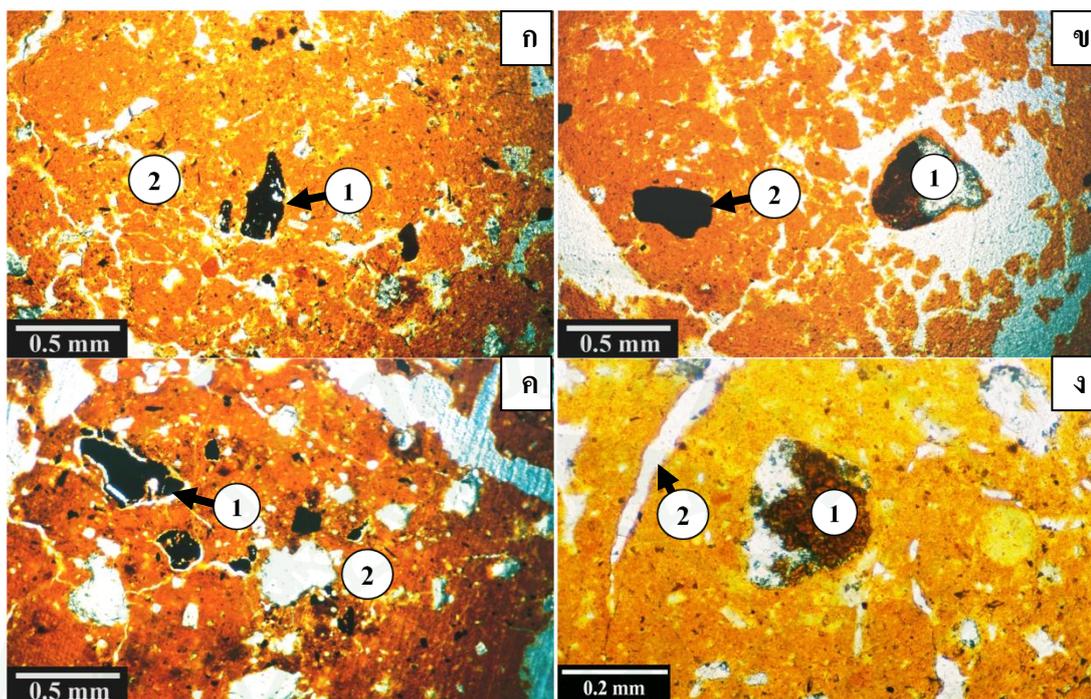
พีคอน 6 (Rhodic Kandudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 12)

ดินบนมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีช่องว่างในดินเป็นส่วนใหญ่เป็นแบบ planar voids และ vughs ประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร มีอนุภาคขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียด เป็นแร่ควอตซ์เป็นส่วนใหญ่มีขนาดทรายละเอียดจนถึงทรายหยาบปานกลาง มีรูปร่างค่อนข้างเหลี่ยม ค่อนข้างกลม พบเศษชิ้นส่วนของหินดินดาน มีการจัดเรียงตัวและค้ำขนาดอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวจนถึงทรายแป้งละเอียดสีน้ำตาลปนแดง จนถึงสีแดง ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด โดยส่วนใหญ่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric พบเศษเหลือของพืชที่ผุพังสลายตัว และอินทรีย์วัตถุชนิด organic pigment, punctuation และ amorphous organic fine material และพบร่องรอยของสิ่งมีชีวิตในดิน

ดินล่าง มีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีช่องว่างในดินเป็นส่วนใหญ่เป็นแบบ compound packing voids และมีบั้งเป็นแบบ vesicles ประมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีอนุภาคขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียด เป็นแร่ควอตซ์ที่ส่วนใหญ่มีขนาดทรายละเอียด รูปร่างค่อนข้างกลม มีการจัดเรียงตัวและค้ำขนาดอยู่ในระดับกลาง ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวจนถึงทรายแป้งละเอียดสีแดงถึงสีแดงปนเหลือง ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด โดยส่วนใหญ่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric แบบ porostriated b-fabric บ้างเล็กน้อย และอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มลดลงตามความลึกจนไม่พบในชั้นล่างสุดของหน้าตัดดิน พบดินเหนียวผสมกับเหล็กออกไซด์เคลือบตามผนังช่องว่าง พบสารก้อนกลมของเหล็กออกไซด์ที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นในเนื้อดิน และสารก้อนกลมแบบมีดทับ

พีคอน 7 (Typic Paleudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 12)

ดินบน มีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีช่องว่างในดินเป็นส่วนใหญ่เป็นแบบ accommodated planar voids และมีเป็นแบบ channel บางเล็กน้อย โดยมีช่องว่างรวมประมาณร้อยละ 30 โดยปริมาตร มีอนุภาคขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียด เป็นแร่ควอตซ์ที่ส่วนใหญ่มีขนาดทรายละเอียดจนถึงทรายหยาบปานกลาง มีรูปร่างค่อนข้างเหลี่ยมถึงค่อนข้างกลม มีการจัดเรียงตัวและค้ำขนาดอยู่ในระดับต่ำ ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวจนถึงทรายแป้งละเอียดสี



ภาพที่ 12 ลักษณะทางจุลทัศน์ฐานวิทยาของดินพีคตอน 6 และ 7

- ก) เศษชิ้นส่วนของถ่านไม้ (charcoal) (1) โครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน (subangular blocky structure) (2) ที่มีความสัมพันธ์กันแบบ open porphyric ของดินพีคตอน 6 ชั้น Ap ช่วงความลึก 0-15/20 เซนติเมตร (plane light)
- ข) แร่ควอตซ์ที่มีลักษณะถูกเหล็กออกไซด์เคลือบ (1) สารก้อนกลมแบบ typic nodules (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับละเอียดแบบ open porphyric ของดินพีคตอน 6 ชั้น Bt3 ช่วงความลึก 86-110 เซนติเมตร (plane light)
- ค) เศษชิ้นส่วนของถ่านไม้ (charcoal) (1) โครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน (subangular blocky structure) (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับละเอียดแบบ open porphyric ของดินพีคตอน 7 ชั้น Ap ช่วงความลึก 0-20 เซนติเมตร (plane light)
- ง) สารก้อนกลมแบบ typic nodules (1) ช่องว่างแบบ channels (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับละเอียดแบบ open porphyric ของดินพีคตอน 7 ชั้น Bt3 ช่วงความลึก 80-110 เซนติเมตร (plane light)

น้ำตาลปนแดงถึงสีแดง ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด โดยส่วนใหญ่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาคละเอียดแบบ undifferentiated b-fabric พบเศษเหลือของพีชที่ผุพังสลายตัว และอินทรีย์วัตถุชนิด organic pigment, punctuation และ amorphous organic fine material และยังพบเศษถ่านไม้บางเล็กน้อย พบดินเหนียวผสมกับเหล็กออกไซด์สีเหลืองปนน้ำตาลเคลือบตามผนังช่องว่าง

ดินล่างมีลักษณะคล้ายกับดินบนแต่ปริมาณอนุภาคขนาดละเอียดเพิ่มขึ้น และมีเนื้อดินเหนียวเพิ่มขึ้นด้วย และยังพบสารมวลกลมของเหล็กออกไซด์สีน้ำตาลเข้มที่ระดับความลึก 140-170 เซนติเมตร (Bt5)

จากผลการศึกษาลักษณะจุลสัณฐานวิทยาของดินสีแดงที่ทำการศึกษาทั้ง 7 พืดอน พบว่าโดยส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นเนื้อดินละเอียด เมื่อพิจารณาจากปริมาณของอนุภาคหยาบต่ออนุภาคละเอียด พบว่าปริมาณของอนุภาคละเอียดมีอยู่สูงมากในเกือบทุกพืดอน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะหินที่เป็นวัตถุต้นกำเนิดดินที่ส่วนใหญ่เป็นหินอัคนีสีเข้ม มีองค์ประกอบในอนุภาคขนาดหยาบเป็นแร่ควอตซ์ และบางพืดอนพบเศษชิ้นส่วนของหินที่เป็นวัตถุต้นกำเนิดดิน มีความแตกต่างของวัสดุระหว่างตอนบนและตอนล่างของหน้าตัดดิน ทำให้โครงสร้างขนาดเล็กของดินแตกต่างกันโดยวัสดุในตอนบนมีเนื้อหยาบกว่าในตอนล่าง อนุภาคหยาบส่วนใหญ่เป็นแร่ควอตซ์ที่มีรอยแตก บางบริเวณมีเหล็กออกไซด์แทรกอยู่ในรอยแตก และอนุภาคหยาบส่วนใหญ่มีรูปร่างค่อนข้างเหลี่ยมถึงค่อนข้างกลมที่มีขนาดอยู่ในพิสัยขนาดทรายถึงทรายแป้งแสดงให้เห็นว่าวัตถุต้นกำเนิดดินถูกเคลื่อนย้ายโดยอิทธิพลของน้ำและถูกพัดพามาทับถมในบริเวณที่ไม่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดมากนัก (เอิบ, 2548; Buol *et al.*, 2010) ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นตะกอนดาเดเซงเขาในพืดอน 1 และ 7 ซึ่งกระบวนการเกิดดินในส่วนนี้ บ่งชี้ว่าการเกิดของดินไม่ได้มีเพียงแต่การผุพังอยู่กับที่เท่านั้น

ในดินล่างพบลักษณะที่เกิดจากกระบวนการทางดิน คือ การเคลื่อนย้ายดินบนมาสะสมในดินล่าง โดยการเคลื่อนย้ายดินเหนียวมาตามช่องว่างในดิน (eluviated clay) หรือการบรรจุ (infill) และการเคลือบของดินเหนียวในช่องว่างดิน โดยกระบวนการสะสมหรือการเคลื่อนย้ายเข้า (illuviation) ซึ่งพบในทุกพืดอนของดินสีแดงที่ทำการศึกษา และนอกจากนั้นบางส่วนมีการเคลือบแบบ microlaminated ซึ่งพบว่าลักษณะดังกล่าวโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มนำเพิ่มขึ้นตามความลึก แสดง

ถึงการเป็นชั้นวินิจฉัยอาร์จิลิกและแคนดิก และการมีพัฒนาการของหน้าตัดดินดี (บรรณพิชญ์, 2551; Buol *et al.*, 2010)

ในดินล่างของดินในแต่ละพืดอนพบลักษณะที่เกิดจากกระบวนการทางดินอื่น ๆ อีก คือพบมวลก้อนกลมของเหล็กออกไซด์ที่จับตัวกันปานกลางถึงแน่นมาก และบางบริเวณพบมวลก้อนกลมแบบมีจุดกลาง และแบบธรรมดาของเหล็กออกไซด์ ซึ่งมวลก้อนกลมมีลักษณะและรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ ยังพบมวลก้อนกลมของแมงกานีสที่รวมตัวกับเหล็ก ที่จับตัวกันน้อยถึงแน่นปานกลาง โดยจะเกิดร่วมกับมวลก้อนกลมของเหล็กออกไซด์

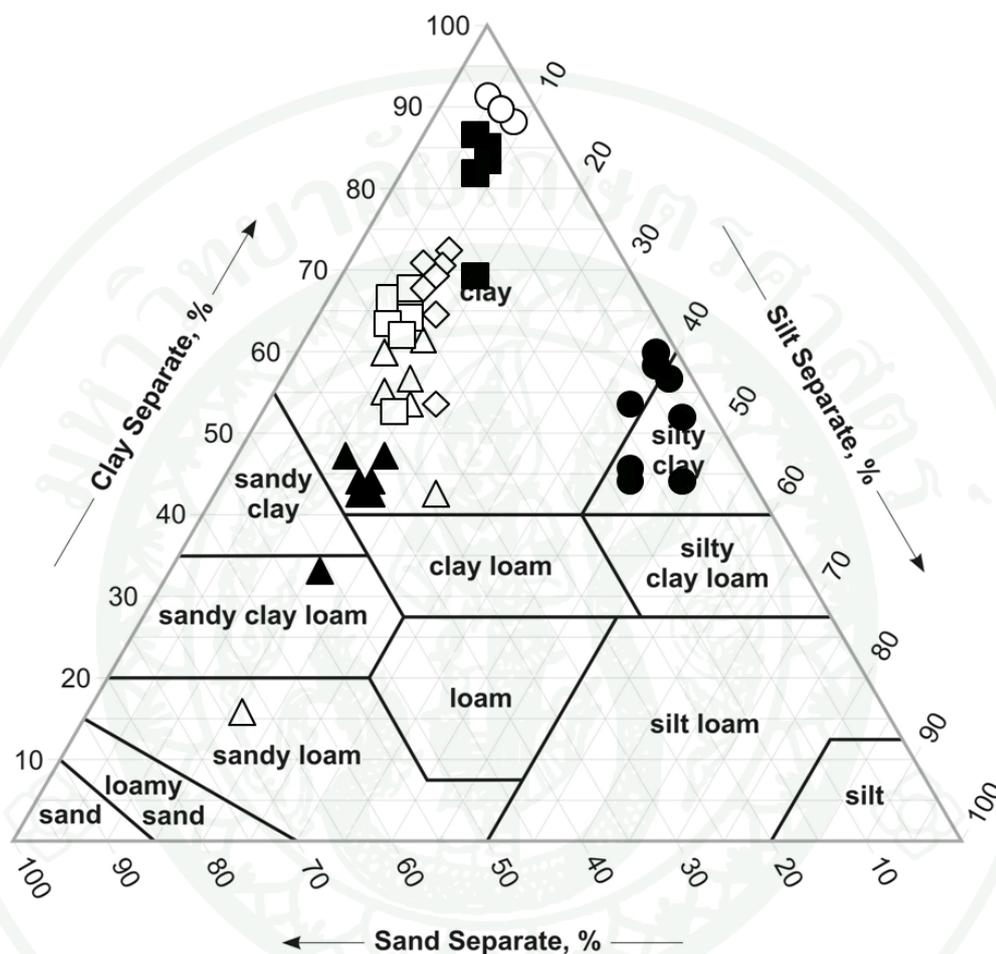
3. สมบัติทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 7 พืดอน ประกอบด้วยการแจกกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน และสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ตามตารางผนวกที่ 1 และใช้เกณฑ์แบ่งระดับค่าวิเคราะห์ตามตารางผนวกที่ 4, 7 และ 8

3.1 การแจกกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดิน

ผลการศึกษาการแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่างๆ แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 13 และ 14 พบว่า การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายของดินสี่แดงที่ทำการศึกษา โดยภาพรวมส่วนใหญ่มีการสะสมของอนุภาคขนาดทรายลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน และมีความแปรปรวนบ้างในบางพืดอน โดยอนุภาคทรายในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 33-694 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 26-423 กรัมต่อกิโลกรัม การที่มีอนุภาคทรายสูงในชั้นดินบน แล้วค่อยๆ มีค่าลดลงตามความลึก คาดว่าน่าจะเนื่องมาจากสาเหตุ 3 ประการใหญ่ๆ คือ 1) อิทธิพลที่เกิดจากการกร่อน ซึ่งทำให้อนุภาคขนาดเล็กถูกพัดพาไปจากผิวดิน ทำให้เหลืออนุภาคทรายในชั้นดินบนอยู่มาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) 2) เกิดจากการชะละลายในหน้าตัดดิน โดยน้ำจะชะพาเอาอนุภาคขนาดเล็กลงไปสะสมในชั้นดินล่าง (อภิสิทธิ์, 2527; Buol *et al.*, 2010) และ 3) เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) ของอนุภาคแร่ขนาดเล็กจากชั้นดินบนลงสู่ชั้นดินล่าง (เอิบ, 2548) และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 7 พืดอน พบว่าการแจกกระจายอนุภาค

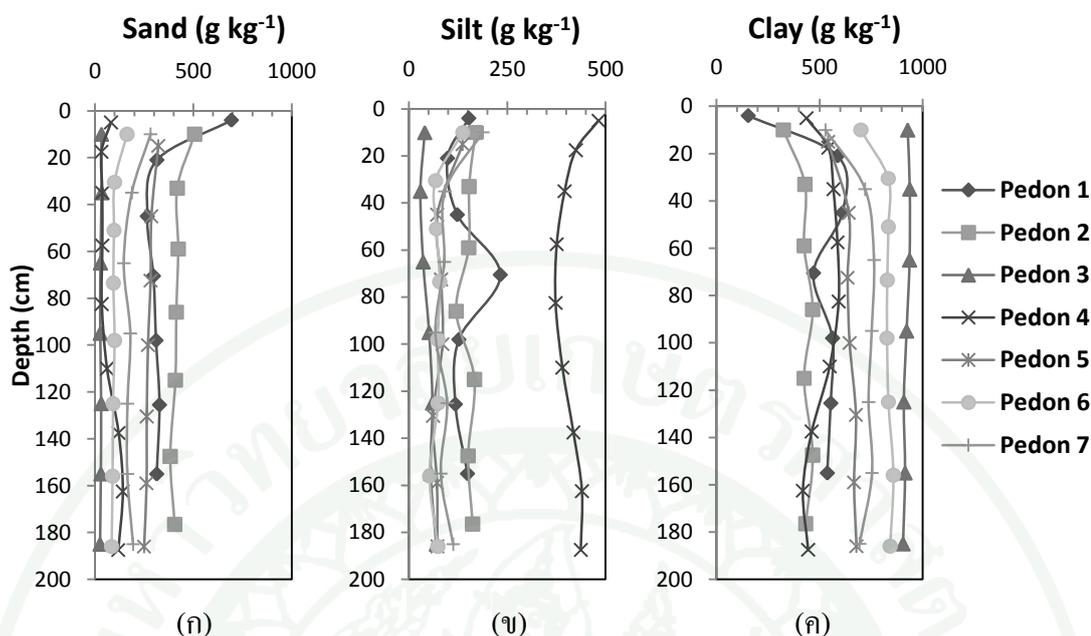
ขนาดทรายจะมีมากที่สุดในพีคตอน 2 รองลงมาคือ พีคตอน 1, 5, 7, 6, 4 ตามลำดับ และต่ำที่สุดในพีคตอน 3 ทุกพีคตอนมีความแปรปรวนของอนุภาคทรายไม่มากนัก



△ Pedon 1 ▲ Pedon 2 ○ Pedon 3 ● Pedon 4 □ Pedon 5 ■ Pedon 6 ◇ Pedon 7

ภาพที่ 13 การจำแนกประเภทเนื้อดิน ตามสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ของดินสีแดงที่ทำการศึกษา

การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายแป้งของดินสีแดงที่ทำการศึกษาโดยภาพรวมมีความแปรปรวนไม่มากนัก โดยอนุภาคทรายแป้งในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 41-482 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 30-440 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกัน

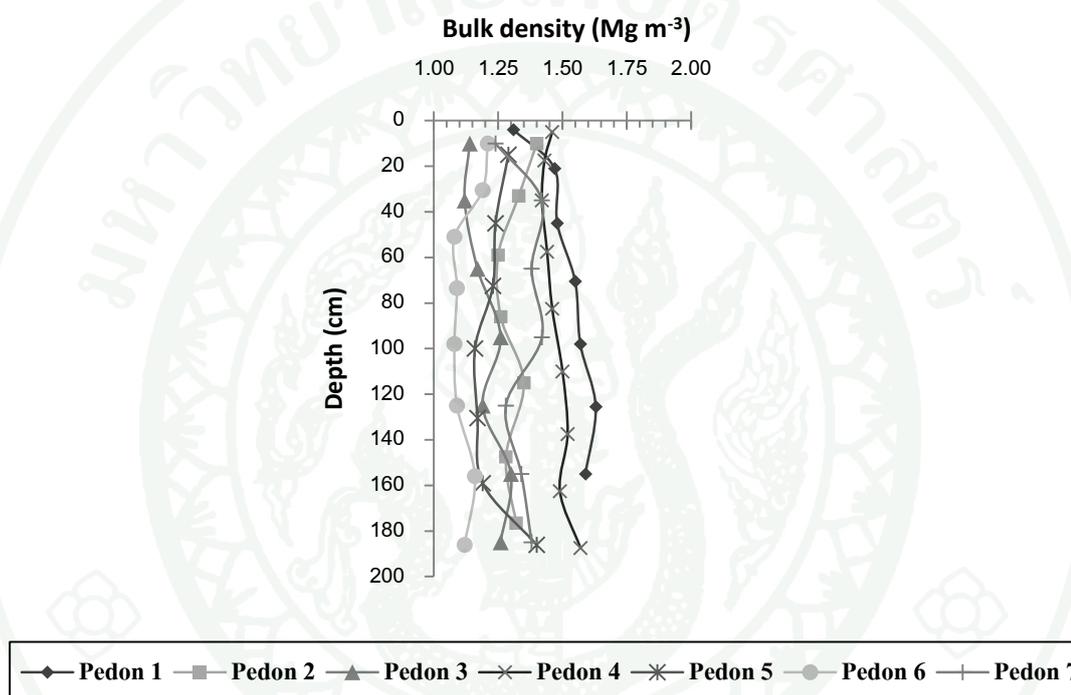


ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคทราย (ก) อนุภาคขนาดทรายแป้ง (ข) และอนุภาคขนาดดินเหนียว (ค) กับระดับความลึกของดินสีแดงที่ทำการศึกษา

เป็นช่วงๆ แต่อยู่ในพิสัยที่ไม่กว้างนัก และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 7 พืดอน พบว่าการแจกกระจายอนุภาคขนาดทรายแป้งจะมีมากที่สุดในพืดอน 4 อาจเป็นผลมาจากวัตถุต้นกำเนิด และต่ำสุดในพืดอน 3 (ภาพที่ 14)

ส่วนการแจกกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียว (ภาพที่ 14) ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 154-926 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 425-937 กรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 7 พืดอน พบว่าการแจกกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวจะมากที่สุดในพืดอน 3 รองลงมาคือ 6, 7, 5, 4, 1 ตามลำดับ และต่ำสุดในพืดอน 2 โดยภาพรวมส่วนใหญ่มีการสะสมของอนุภาคขนาดดินเหนียวจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงดินล่างตอนบน และคงที่ในดินล่างของหน้าตัดดิน และมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้ามกับการสะสมของอนุภาคขนาดทราย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดี (อภิลิทธิ, 2527; Buol *et al.*, 2010) มีการเคลื่อนย้ายของอนุภาคดินเหนียวจากบางส่วนจากดินบนสู่ดินล่าง ทำให้คงเหลืออนุภาคขนาดใหญ่ในชั้นดินบนเป็นผลมาจากการกระบวนการเคลื่อนย้ายเชิงกล (lessivage) และกระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (eluviation) (Buol *et al.*, 2010; Soil Survey Staff, 2010) สำหรับดินล่างที่มีการแจกกระจายอนุภาคขนาดละเอียดมากขึ้น โดยมีการสะสมอนุภาคดินเหนียวในดินล่างตลอดจนมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของแร่ปฐมภูมิในดิน (Trakoonyingcharoen, 2006)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคขนาดต่างๆ ของดินทั้ง 7 พีดอน แล้วนำค่าวิเคราะห์ได้เทียบหาประเภทชั้นเนื้อดินจากตารางสามเหลี่ยมแสดงความสัมพันธ์ของอนุภาคดิน โดยใช้เกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (เอิบ, 2548; Soil Survey Staff, 2010) (ภาพที่ 13) พบว่าดินที่ทำการศึกษาร้อยละส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มดินเหนียว (clayey) ยกเว้นพีดอน 4 ที่อยู่ในกลุ่มดินเหนียวปนทรายแป้ง ดินที่ทำการศึกษาร้อยละใหญ่มีสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินละเอียดไม่เป็นข้อจำกัดในการใช้ทางการเกษตร (Hewitt, 2004)



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมกับระดับความลึกของดินสี่แดงที่ทำการศึกษา

3.2 ความหนาแน่นรวมของดิน

ความหนาแน่นรวมของดินโดยวิธี core method (Blake and Hartge, 1986) พบว่ามีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างสูง ดังแสดงไว้ในตารางผนวกที่ 7 และภาพที่ 15 โดยในชั้นดินบน มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง อยู่ในพิสัย 1.14-1.46 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนในชั้นดินล่างจะอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างสูง (1.08-1.63 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยทั่วไปดินบนมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่าเนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า และมีการเคลื่อนย้ายดินเหนียวสู่ดินล่างซึ่งอนุภาคจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ในที่ว่างต่าง ๆ ในดิน ทำให้ดินแน่นทึบขึ้น (คณาจารย์ภาควิชา

ปฐพีวิทยา, 2548; Adam, 1973; Marshall and Holmes, 1979; Owens and Watson, 1979; Calvert *et al.*, 1980; Brady and Weil, 2008) จากการศึกษาเนื้อดินเป็นเนื้อปานกลางถึงละเอียด ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินไม่มีปัญหาต่อการปลูกพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Brady and Weil, 2008)

3.3 สภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ

การวิเคราะห์สภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดินทุกชั้นกำเนิดดิน โดยวิธีพลังงานขับน้ำผันแปร (variable head method) (Klute, 1965) พบว่า มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงเร็วมาก โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.08 ถึง 2558.82 เซนติเมตรต่อชั่วโมง (O'Neal, 1952) ดังแสดงไว้ในตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 16

พืดอน 1 มีสภาพน้ำในชั้นดินบน 165.42 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.08 ถึง 44.49 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น Bt2

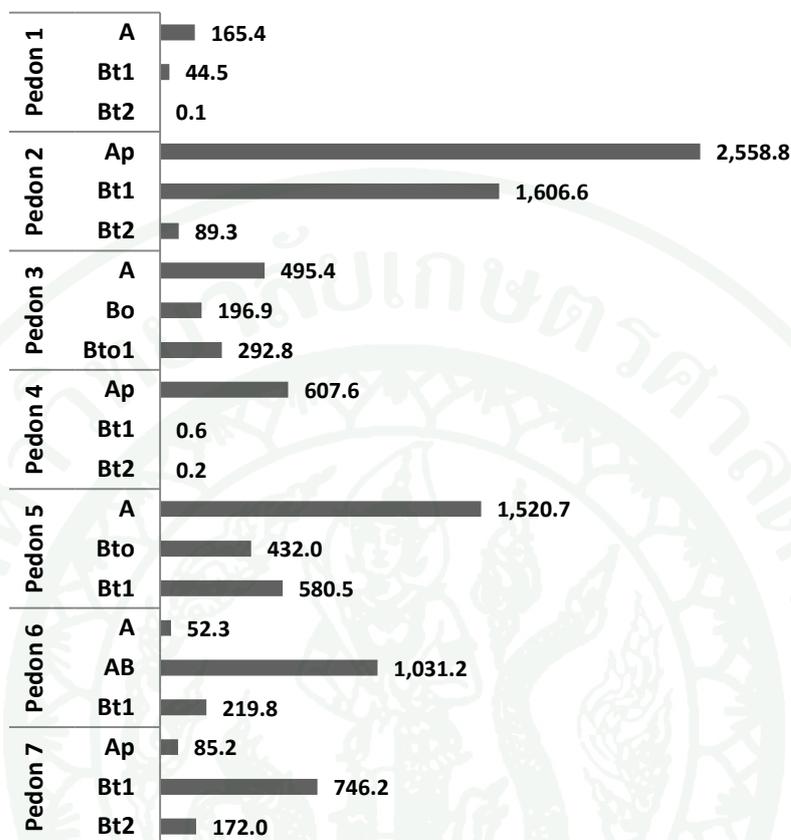
พืดอน 2 มีสภาพน้ำในชั้นดินบน 2558.82 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 89.26-1606.61 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น Ap

พืดอน 3 มีสภาพน้ำในชั้นดินบน 495.35 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 196.88 ถึง 292.83 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น A

พืดอน 4 มีสภาพน้ำในชั้นดินบน 607.56 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.55 ถึง 0.16 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น Ap

พืดอน 5 มีสภาพน้ำในชั้นดินบน 1520.69 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 431.98 ถึง 580.47 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น A

พืดอน 6 มีสภาพน้ำในชั้นดินบน 52.33 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 219.77 ถึง 1031.18 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น AB

Hydraulic conductivity (cm hr^{-1})

ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพน้ำ กับชั้นกำเนิดดินตามระดับความลึกของ ดินสีแดงที่
ทำการศึกษา

พีดอน 7 มีสภาพน้ำในชั้นดินบน 85.19 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่างมี
ค่าอยู่ในพิสัย 171.97 ถึง 746.16 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น Bt1

สภาพน้ำ เป็นค่าที่แสดงความยากง่ายของน้ำที่จะสามารถเคลื่อนที่ในดินได้ อัตรา
การเคลื่อนที่ของน้ำในเวลาใดเวลาหนึ่งจะขึ้นอยู่กับสมบัติต่าง ๆ ของดิน (เอิบ, 2548) โดยปกติจะ
ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดิน ชนิดของเนื้อดิน ขนาด รูปร่าง การเชื่อมโยง ความต่อเนื่องความคด
เคี้ยว ความคงทน การแจกกระจายของช่องว่างในดิน และชนิดของไอออนที่จะทำให้อนุภาคดินฟุ้ง
กระจาย (Hillel, 1998; Juma, 2001) การที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำในชั้นดินล่างโดยส่วนใหญ่อยู่ใน
ในระดับต่ำมากและต่ำกว่าในช่วงชั้นบนของหน้าตัดดิน เนื่องมาจากดินล่างมีความหนาแน่นรวม

และการแจกกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวสูงกว่า ซึ่งสภาวะเช่นนี้ทำให้ช่องว่างขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง (Goldberg and Foster, 1990) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาที่พบว่าในชั้นดินบนโดยส่วนใหญ่มีช่องว่างมากกว่าในชั้นดินล่าง และในชั้นดินล่างนั้นมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคขนาดดินเหนียวจากชั้นดินบนไปสะสมในชั้นดินล่าง ซึ่งเป็นลักษณะการเคลื่อนตามผนังช่องว่าง และบรรจุในช่องว่าง นอกจากนี้การที่ในช่วงชั้นดินบนมีค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำโดยส่วนใหญ่สูงกว่าช่วงชั้นดินล่างเนื่องจากดินบนมีโครงสร้างดินดีกว่า มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า ซึ่งง่ายต่อการเกิดเม็ดดิน และมีโครงสร้างที่เสถียร (Iwata et. al, 1995; Juma, 2001) และในพีดอน 2 ในชั้นดินบนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำสูงมาก อาจเนื่องมาจากเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และขณะที่เก็บตัวอย่างพื้นที่มีการไถพรวนได้ไม่นาน จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของพีดอนสูงมาก

จากการศึกษาสมบัติทางกายของดินสีแดงที่ทำการศึกษา พบว่าดินทั้ง 7 พีดอน มีความเหมาะสมต่อการเกษตร เนื่องจากโดยส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินเนื้อละเอียด มีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับต่ำ รวมถึงมีค่าสัมประสิทธิ์ในการนำน้ำเข้ามาถึงเร็วมาก อาจทำให้ดินขาดความชื้นได้ง่าย (เอิบ, 2548)

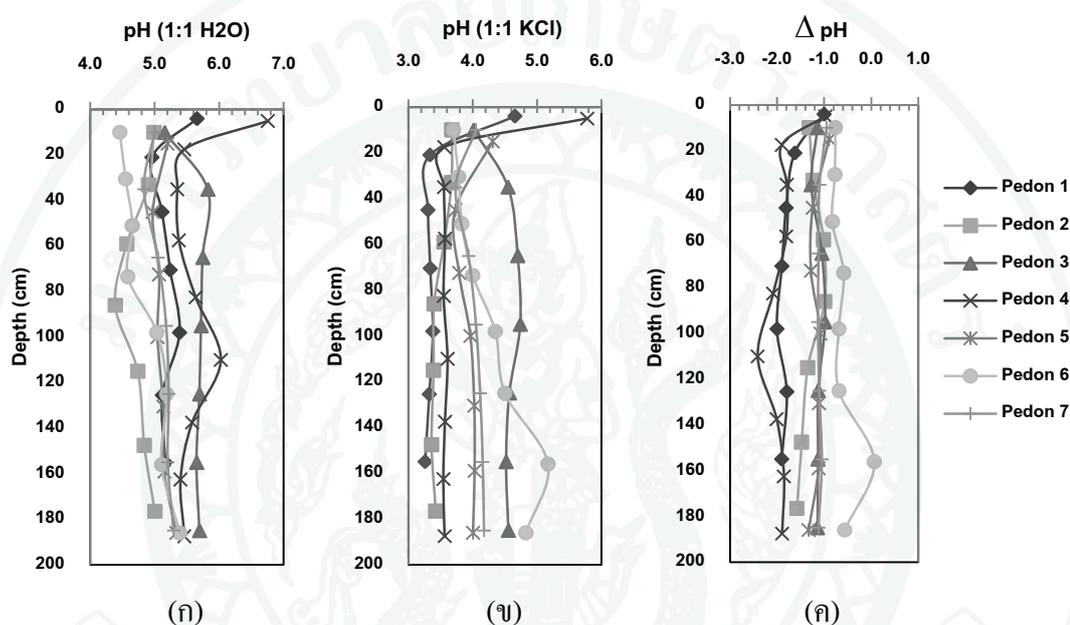
4. สมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินสีแดงที่ทำการศึกษา เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน แสดงตามตารางผนวกที่ 2 (นงคราญ, 2529; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

4.1 พีเอช (pH)

ผลการวิเคราะห์พีเอชของดินในห้องปฏิบัติการกรณีใช้ดินต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1:1 พบว่าดินที่ทำการศึกษาทั้ง 7 พีดอน เป็นกลางถึงเป็นกรดรุนแรง (pH 4.4-6.8) ชั้นดินบนมีพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกลางถึงกรดรุนแรง (pH 4.5-6.8) ส่วนชั้นดินล่างมีพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกรดปานกลางถึงกรดรุนแรง (pH 4.4-6.0) ค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มตามความลึกในพีดอน 6 และในพีดอน 1, 2 และ 3 จะมีความแปรปรวนบ้างในหน้าตัดดิน โดยมีพิสัยไม่กว้างนัก และในพีดอน 5 และ 7 ค่อนข้างคงที่ แต่ก็มีค่าความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน ส่วนในพีดอน 4 มีค่าพีเอชดินสูงในดินบนซึ่งมีค่าถึง 6.76 (เป็นกลาง) และมีแนวโน้มลดลงตามลำดับความลึก โดยมีความแปรปรวนบ้างในหน้าดิน

โดยมีพิสัยไม่กว้างนัก (ภาพที่ 20) ส่วนค่าพีเอชดินต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 1:1 อยู่ในช่วงเป็นกรดปานกลางถึงกรดรุนแรงมาก (pH 3.3-5.8) โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึกในพีดอน 1, 2, 4 และ 5 โดยมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน และมีแนวโน้มเพิ่มตามความลึกตามความลึกในพีดอน 6 โดยมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน ส่วนในพีดอน 3 และ 7 ค่อนข้างคงที่ แต่ก็มีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชดินที่วัดในน้ำ (ก) ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (ข) และผลต่างระหว่างค่าพีเอชดินที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับในน้ำ (ค) กับความลึกของหน้าตัดดินสีแดงที่ทำการศึกษา

ค่าพีเอชดินเป็นเครื่องช่วยวินิจฉัยถึงสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง ระดับการผูกพันอยู่กับที่ ปริมาณการชะละลาย ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางชนิด และสภาพความเป็นพิษของดินต่อพืช (Brady and Weil, 2008; Buol *et al.*, 2010) การที่ดินมีพีเอชเป็นกรดนั้น เป็นลักษณะดินทั่วไปในเขตร้อนที่มีพัฒนาการค่อนข้างดี และมีการชะละลายสูง (Sanchez, 1976; Eiumnroh, 1984) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการชะละลายแคตไอออนที่เป็นด่างออกไปจากหน้าตัดดิน แล้วมีไฮโดรเจนไอออนมาสะสมอยู่ที่ผิวอนุภาคดิน การที่ดินมีค่าพีเอชดินเป็นกรดมากกว่าแสดงถึงมีการชะละลายที่มากกว่าและพัฒนาการค่อนข้างสูงกว่าด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Brady and Weil, 2008) และค่าพีเอชดินที่ต่ำกว่า 5.5 ธาตุฟอสฟอรัสจะรวมตัวกับสารประกอบกับเหล็ก

และอะลูมิเนียมซึ่งละลายยาก และไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช และธาตุอะลูมิเนียมจะละลายออกมามากอาจเป็นผลให้อะลูมิเนียมเป็นพิษต่อพืชได้ (Havlin *et al.*, 2005)

จากการศึกษา พบว่า ค่าพีเอชดินที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้น้ำมีค่าสูงกว่าค่าวิเคราะห์โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ แสดงให้เห็นว่าผลรวมประจุสุทธิของดินมีผลลัพท์ของประจุในดินรวมเป็นลบ จึงบ่งชี้ได้ว่าธรรมชาติของระบบดินเกิดการดูดซับแคตไอออนที่ผิวอนุภาคดินได้ดีกว่าแอนไอออน (Van and Peech, 1972; Sanchez, 1976)

4.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

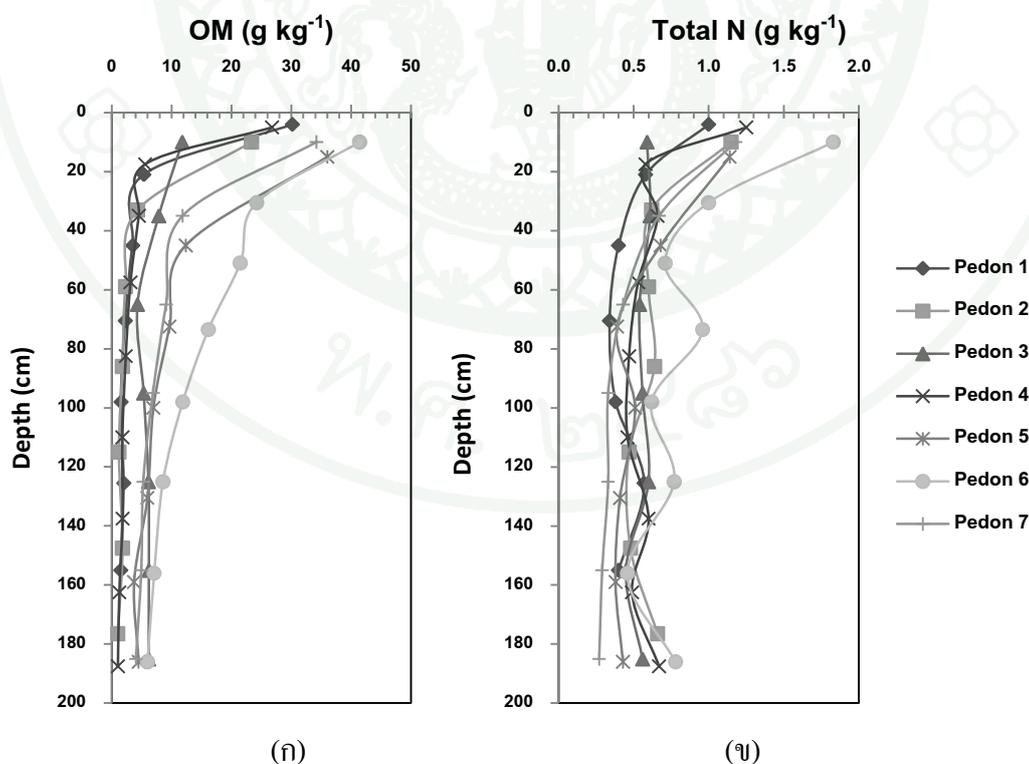
ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินสี่แดงที่ทำการศึกษาทั้ง 7 พืดอน พบว่า มีค่าแตกต่างกัน ตั้งแต่ต่ำมากถึงสูง โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 11.77-41.39 กรัมต่อกิโลกรัม ชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 1.04-24.23 กรัมต่อกิโลกรัมการแจกกระจายมีแนวโน้มเหมือนกันทุกหน้าตัดดิน คือ มีค่าสูงในชั้นดินบน และลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน (ภาพที่ 18)

สำหรับพื้นที่เขตร้อนที่มีอุณหภูมิค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุจะมีความผันแปรขึ้นกับปริมาณฝนที่ตก ถ้าฝนตกมากพืชพรรณเจริญเติบโตอินทรีย์วัตถุในดินมีค่ามากตามไปด้วย (อภิศักดิ์, 2543) ด้วยเหตุนี้เองจึงพบว่าดินที่ทำการศึกษาในชั้นดินบนจึงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับที่สูง การที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นดินบนสูงกว่าชั้นดินล่างของทุกดิน เป็นผลมาจากการผุพังสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินตามธรรมชาติ โดยเฉพาะในดินที่พัฒนาในสภาพป่าไม้ (Thomson and Troch, 1978) และชั้นส่วนที่สลายตัวหลงเหลือจากการเกษตรกรรม ตลอดจนรากพืชที่ขึ้นปกคลุมอยู่บนผิวดิน เมื่อสลายตัวจึงทำให้มีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินบน ส่วนในชั้นดินล่างโอกาสที่อินทรีย์สารต่างๆ จะลงไปสะสมอยู่น้อย ประกอบกับอยู่ในเขตร้อนการย่อยสลายอินทรีย์สารในชั้นดินบนจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว การชะละลายลงไปสะสมในดินจึงเกิดขึ้นได้น้อย จึงทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นดินล่างต่ำ (Virgo and Holmes, 1977; Baize, 1993; Brady and Weil, 2008) สำหรับความแตกต่างของอินทรีย์วัตถุในดินบนของแต่ละบริเวณ เกี่ยวข้องกับพืชพรรณธรรมชาติ สัณฐานภูมิประเทศ และการใช้ที่ดิน เป็นประการสำคัญ (Tangsinmankong, 2004; Chibsa and Asefa, 2009)

4.3 ปริมาณไนโตรเจนรวม

ปริมาณไนโตรเจนรวมของดินสี่แดงที่ท่าศึกษาทั้ง 7 พีดอน พบว่ามีปริมาณอยู่ในช่วงต่ำมากถึงต่ำ โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.59-1.83 กรัมต่อกิโลกรัม ชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.27-1.00 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 18) โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึก และชั้นดินบนมีปริมาณไนโตรเจนรวมสูงกว่าชั้นดินล่างอย่างชัดเจนในทุกพีดอน ยกเว้นในพีดอน 3 ซึ่งค่อนข้างคงที่ แต่ก็มี ความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดินเป็นไปในลักษณะเดียวกับปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Brady and Weil, 2008; Kalembasa, 2008)

โดยทั่วไปหินและแร่ซึ่งให้กำเนิดดินนั้นไม่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (ไพบูลย์, 2528; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดินที่ศึกษาพบว่าปริมาณไนโตรเจนรวมจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ดังนั้นความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินจึงขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนอินทรีย์เป็นไนโตรเจนอนินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ (Mengesha, 2004) อย่างไรก็ตามการที่มีปริมาณไนโตรเจนรวมต่ำมากเกิดจากการนำไปใช้ของพืชและจุลินทรีย์ในดิน และจากกระบวนการชะละลาย และบางส่วนสูญหายไปในรูปแบบของแก๊สในดิน (ไพบูลย์, 2528; Orlov, 1992; Kononova, 1996; Robertson and Groffman, 2007)



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ก) และปริมาณไนโตรเจนรวม (ข) กับความลึกของหน้าตัดดินที่ท่าการศึกษา

4.4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินสีแดงที่ทำศึกษาทั้ง 7 พืดอน พบว่ามีปริมาณอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้ตามความลึกมีลักษณะแปรปรวน แต่โดยส่วนใหญ่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดในชั้นดินบน โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.3-295.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากผลการศึกษาสังเกตได้ว่าพืดอน 1, 2 และพืดอน 7 ในชั้นดินบนมีค่าสูงกว่าพืดอนอื่น ๆ คือ 21.1, 295.1 และ 17.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในพืดอน 2 ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดการดินและปุ๋ยในการเพาะปลูก ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.0-44.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยที่พืดอนที่ 7 มีลักษณะการสะสมที่สูงกว่าชั้นดินบนที่ชั้น Bt1 คือ 44.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 19)

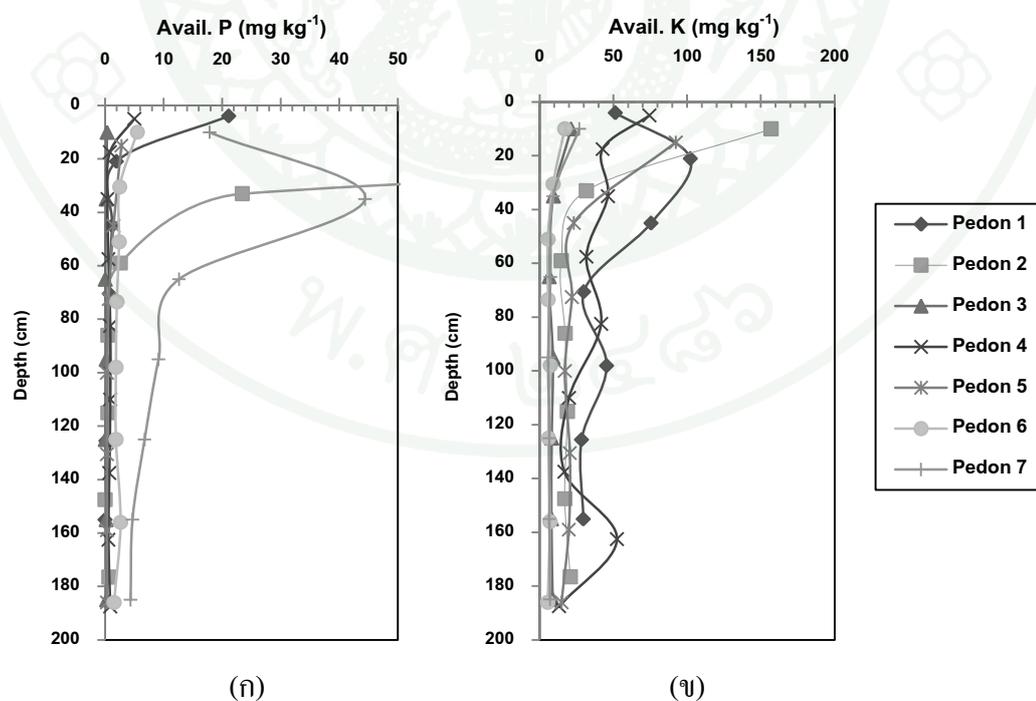
การที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของดินที่มีพัฒนาการดี (วรพันธ์, 2531; Sanchez *et al.*, 1983) และดินผ่านการชะละลายมานาน ทำให้มีปฏิกิริยาดินต่ำ ฟอสเฟตจะถูกตรึงโดยไอออนบวกที่ละลายได้พวก Fe^{+2} , Al^{+3} และไฮดรอกซิลออกไซด์ของเหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีส เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยากของสารประกอบเหล็กฟอสเฟตและสารประกอบอะลูมิเนียมฟอสเฟต ยังส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินลดต่ำลง (ชัยฤกษ์, 2536; Sanchez, 1976; Havlin *et al.*, 2005; Brady and Weil, 2008) นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินโดยอยู่ในรูปฟอสเฟตอินทรีย์ (Tisdal and Nelson, 1975; Sanchez, 1976) และการที่มีปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง (Brady and Weil, 2008) เป็นเพราะปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้น มีแร่ดินเหนียวชนิดเคโอลิไนต์ มีกลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ในชั้นอะลูมินาสามารถแลกเปลี่ยนกับฟอสฟอรัสได้ (Havlin *et al.*, 2005) จึงทำให้ดินบนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าในดินล่าง แต่ก็มีสภาพแปรปรวนบ้างในบางหน้าตัดดิน ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินล่างบางชั้นสูงกว่าชั้นดินบน ซึ่งคาดว่าเกิดจากผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยและการพัดพามาจากบริเวณอื่น

4.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของดินสีแดงที่ทำศึกษาทั้ง 7 พืดอน พบว่ามีปริมาณอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 17.1-157.0 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม โดยชั้นดินบนพีคอน 2, 4 และ 5 มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก คือ 157.0, 74.4 และ 92.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และชั้นดินบนพีคอน 3, 6 และ 7 มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำมาก ($17.1-27.0 \text{ mg kg}^{-1}$) ส่วนพีคอน 1 มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ (51.4 mg kg^{-1}) ส่วนในดินล่างปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 5.6-52.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้นพีคอน 1 อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 28.4-102.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึก และมีความแปรปรวนบ้างในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 19)

การที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงสุดในชั้นดินบน และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก เป็นผลมาจากอิทธิพลของอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการสะสมอยู่ในชั้นดินบนมากกว่าชั้นดินล่าง อินทรีย์วัตถุเป็นสารที่มีความสามารถในการดูดซับธาตุไอออนบวกได้สูง และชั้นตอนในการสลายตัวของอินทรีย์สารมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์บางส่วนให้กับดิน จึงยังคงมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระบบของดินได้มาก จึงพบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงในชั้นดินบน และมีปริมาณต่ำในชั้นดินล่าง (Sanchez, 1976; Brady and Weil, 2008)



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ก) และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (ข) กับความลึกของหน้าตัดดินที่ทำการศึกษา

4.6 ปริมาณเบสที่สกัดได้

4.6.1 ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้

ดินสีแดงที่ทำการศึกษามีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ต่ำมากจนถึงสูง โดยชั้นดินบนในพืดอน 3 และ 6 มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.12-0.31 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ในพืดอน 1, 2, 4, 5 และ 7 มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 2.46-11.29 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างในทุกพืดอนอยู่ในระดับต่ำทั้งหมด ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.01-1.37 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามความลึกอย่างชัดเจน โดยมีความแปรปรวนบ้าง ยกเว้นในพืดอน 3 และ 6 ซึ่งค่อนข้างคงที่ แต่ก็มีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 20)

4.6.2 ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้

ดินสีแดงที่ทำการศึกษามีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ต่ำมากจนถึงปานกลาง โดยชั้นดินบนส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.36-1.94 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพืดอน 6 ที่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมาก คือ 0.095 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.045-1.78 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยภาพรวมจะอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ ยกเว้นพืดอน 1, 2 และ 7 ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลาง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 1.02-1.78 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามความลึกอย่างชัดเจน ยกเว้นพืดอน 3, 4 และ 6 ซึ่งค่อนข้างคงที่ โดยมีความแปรปรวนบ้างแต่พืดอน 4 จะมีความแปรปรวนมาก ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ภาพที่ 20)

4.6.3 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้

ดินสีแดงที่ทำการศึกษามีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับที่แตกต่างกันตั้งแต่ต่ำมากจนถึงปานกลาง โดยชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย

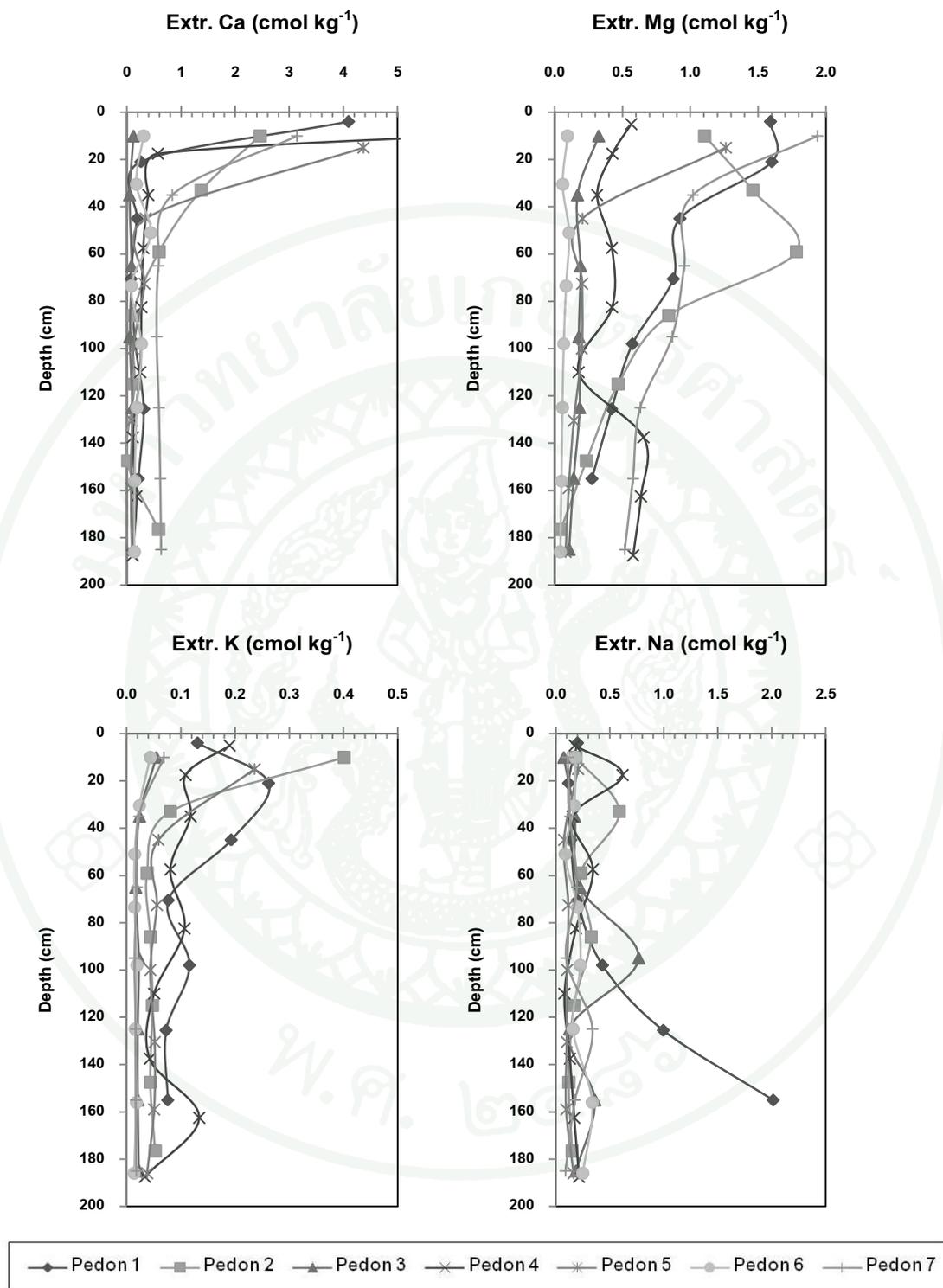
0.04-0.24 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพีคตอน 2 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลาง คือ 0.40 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.01-0.26 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามความลึกโดยมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 23)

แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมที่สกัดได้ ในแต่ละพีคตอนมีความแตกต่างกัน และมีความแปรปรวนบ้างในหน้าตัดดิน ซึ่งเป็นผลมาจากความไม่สม่ำเสมอของวัตถุดิบกำเนิดดิน การจัดการปุ๋ยและอัตราการชะละลายที่ไม่เท่ากันในแต่ละหน้าตัดดิน (Sanchez *et al.*, 1983; Schaetzl and Anderson, 2005; Brady and Weil, 2008)

4.6.4 ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้

ดินสีแดงที่ทำการศึกษามีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้อยู่ในระดับที่ต่างกัน ตั้งแต่ต่ำมากจนถึงสูงมาก โดยชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.11-0.20 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพีคตอน 3 ซึ่งมีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมาก คือ 0.07 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง โดยมีค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.08-0.62 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพีคตอน 1 ที่มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก ในตอนกลางจนถึงตอนล่างของหน้าตัดดิน ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.43-2.01 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และพีคตอน 3 ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.13-0.77 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งลักษณะแปรปรวนมาก เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณโซเดียมที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีแนวโน้มค่อนข้างสม่ำเสมอโดยมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน ยกเว้นพีคตอน 1 ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากวัตถุดิบกำเนิดดิน (ภาพที่ 20)

จากผลการวิเคราะห์ดินสีแดงที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่มีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ต่ำ เนื่องจากปริมาณโซเดียมในดินมีความสัมพันธ์ในทางลบกับธาตุไอออนบวกอื่น ๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม เนื่องจากดินโดยส่วนใหญ่จะมีแรงดึงดูดไอออนของแคลเซียม และแมกนีเซียมได้ดีกว่าโซเดียม ประกอบกับโซเดียมเป็นธาตุที่ละลายน้ำได้สูง และเคลื่อนย้ายได้ง่าย จึงทำให้โซเดียมสูญหายไปจากหน้าตัดดินได้ง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Brady and Weil, 2008)



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ และปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ กับความลึกของหน้าตัดดินที่ทำการศึกษา

4.7 ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้

ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้หาได้จากผลรวมของปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และ โซเดียมที่สกัดได้ จากดินที่ศึกษาพบว่าในชั้นดินบนมีค่าตั้งแต่ต่ำมากถึงปานกลาง อยู่ในพิสัย 0.57-12.22 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าต่ำมากอยู่ในพิสัย 0.32-2.58 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ชนิดของเบสที่สกัดได้โดยส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำมาก แสดงว่าดินได้รับอิทธิพลการชะละลายที่รุนแรงพอที่จะเคลื่อนย้ายเบสบางส่วนออกไปจากหน้าตัดดิน (Bloom and Grigal, 1985; Bloom, 2000; Buol *et al.*, 2010)

เมื่อพิจารณาระหว่างปริมาณเบสรวมที่สกัดได้กับปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน แสดงว่าปริมาณของเบสรวมที่สกัดได้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแคลเซียม เนื่องจากมีปริมาณที่สกัดได้สูงกว่าเบสตัวอื่น ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินที่มีการพัฒนาการสภาพป่าไม้ในเขตร้อน (Buol *et al.*, 2010) ซึ่งบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษาคือพื้นที่ป่าและพื้นที่ป่าที่เปิดนำมาใช้ในการเกษตร (สมชาย และคณะ, 2542)

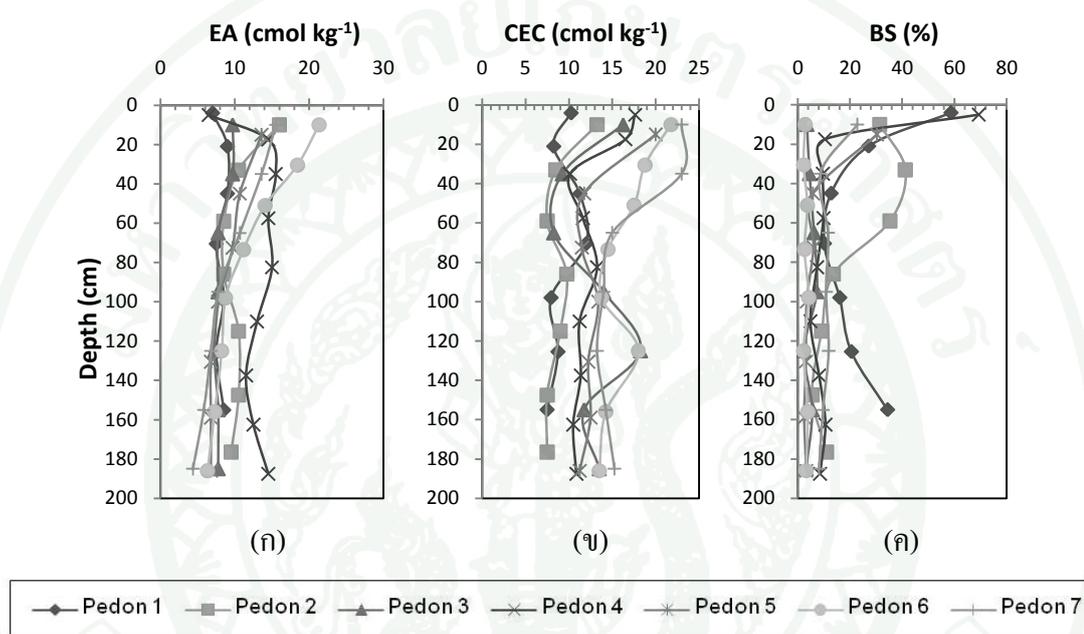
4.8 ปริมาณสภาพกรดที่สกัดได้

ปริมาณสภาพกรดที่สกัดได้ของดินสีแดงที่ทำการศึกษา ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 6.5-21.3 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 4.4-18.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณสภาพกรดที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีการแจกกระจายไม่สม่ำเสมอ (ภาพที่ 21)

4.9 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ผลการวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินสีแดงที่ทำการศึกษาทั้ง 7 บริเวณ โดยวิธีการชะละลายแคตไอออนด้วยสารละลาย $1M NH_4OAc$ (pH 7.0) (Chapman, 1965) พบว่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 7.5-23.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 24) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในชั้นดินบนอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 10.3-23.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยพีดอน 1 และ 2 อยู่ในระดับปานกลาง ส่วนพีดอน 3 และ 4 อยู่ในระดับ

ค่อนข้างสูง และพีคอน 5, 6 และ 7 อยู่ในระดับสูง ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 7.5-23.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ยกเว้นพีคอน 1 และ 2 มีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำคาดว่าเป็นผลมาจากชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียวที่แตกต่างกัน (Sanchez, 1976; Young, 1976; Yukselen and Kaya, 2008) (ภาพที่ 21)

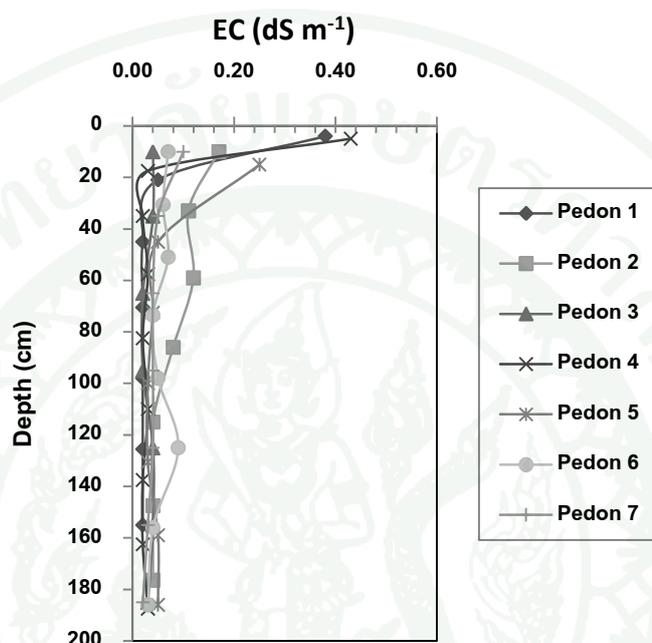


ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเป็นกรดที่สกัดได้ (ก) ปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (ข) ค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (ค) กับความลึกของ หน้าตัดดินที่ทำการศึกษา

4.10 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส

ค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสของดินสีแดงที่ทำการศึกษา ทั้ง 7 พีคอน พบว่าในชั้นดินบนจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง อยู่ในพิสัย ร้อยละ 2.9-69.3 โดยดินส่วนใหญ่มีค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยเบสอยู่ในระดับต่ำ ยกเว้นพีคอน 1 และ 4 มีค่าอยู่ในระดับปานกลางคือ มีค่าร้อยละ 58.7 และ 69.3 ตามลำดับ ส่วนในชั้นดินล่างโดยส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในระดับต่ำ มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 2.3-34.4 ยกเว้น ในดินล่างตอนบนของพีคอน 2 ที่มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ

ละ 35.3-41.2 โดยภาพรวมจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำและมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งแสดงถึงดินมีพัฒนาการสูง (Zhang *et al.*, 2007a) (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับความลึกของดินที่ทำการศึกษา

4.11 การนำไฟฟ้าของดิน

ค่าการนำไฟฟ้าของดินสีแดงที่ทำการศึกษาทั้ง 7 พีดอนโดยวัดสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดคอลลิมตัวของดิน พบว่า มีค่าอยู่ในระดับต่ำมาก โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.02-0.43 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งน้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (ภาพที่ 22) แสดงว่าดินที่ทำการศึกษาไม่เป็นดินเค็มหรือไม่มีอิทธิพลของเกลือจากวัตถุต้นกำเนิด ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (บรรณพิชญ์, 2551; Li *et al.*, 1999)

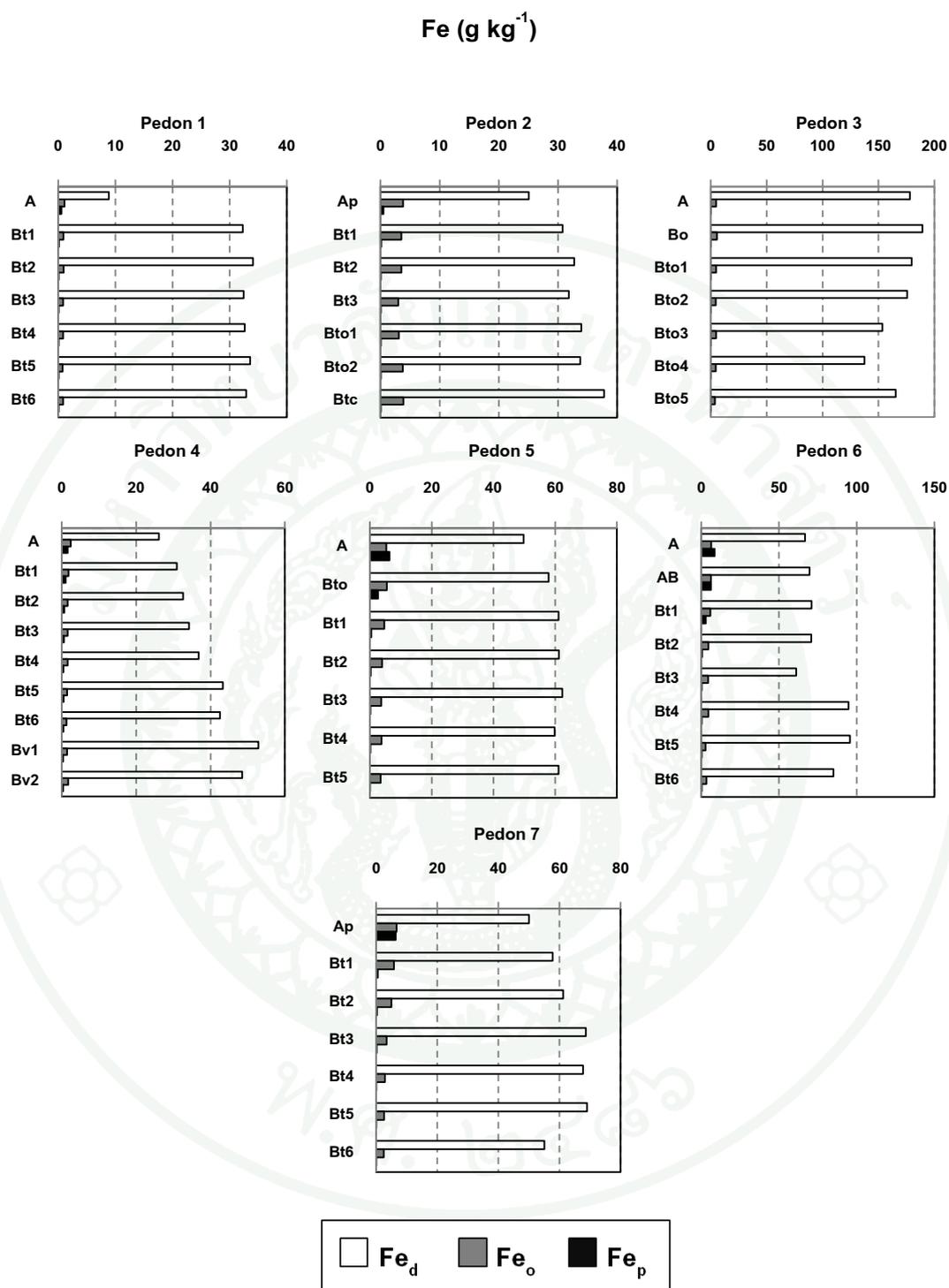
4.12 ปริมาณเหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีส

4.12.1 เหล็ก (ภาพที่ 23)

(ก) ปริมาณเหล็กอิสระที่สกัดด้วยวิธีไดไซโอไนต์-ซิเตรต-ไบคาร์บอเนต (dithionite-citrate-bicarbonate; Fe_D) ซึ่งอยู่ในรูปสารออสถฐาน และรูปที่มีผลึก โดยเฉพาะแร่ฮีมาไทต์เกอไทต์ ผลการศึกษาทั้ง 7 พืดอน พบว่า ปริมาณเหล็กอิสระของชั้นบนในแต่ละหน้าตัดดินมีค่าแตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 8.87-178.05 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณเหล็กอิสระในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 30.79-189.41 กรัมต่อกิโลกรัม โดยพืดอน 3 มีปริมาณเหล็กอิสระมากที่สุด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณเหล็กอิสระภายในแต่ละพืดอนพบว่า การสะสมเหล็กอิสระในดินมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึก และมีความแปรปรวนบ้างการที่ตอนบนมีปริมาณเหล็กอิสระต่ำกว่าในชั้นดินล่าง เนื่องจากในชั้นตอนบนมีการชะละลายสูง ดินที่สูงมีพัฒนาการมาก ทำให้เหล็กถูกชะละลายลงมาข้างล่างพร้อมกับอนุภาคดินเหนียว (กรรณิการ์ และคณะ, 2529) เมื่อพิจารณาสีดินในชั้นดินล่างจากดินที่ทำการศึกษามีสีตั้งแต่ น้ำตาลปนแดงจนถึงแดง โดยส่วนใหญ่ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กที่สกัดได้ (บรรณพิชญ์, 2551; Trakoonyingcharoen *et al.*, 2006)

(ข) ปริมาณเหล็กที่สกัดด้วยวิธีแอมโมเนียมออกซาเลต (ammonium oxalate; Fe_o) เหล็กที่สกัดได้โดยวิธีนี้อยู่ในรูปออสถฐาน รูปที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ (active Fe) เช่น เฟอร์ริไฮไดรต์ (ferrihydrite) และในรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน ผลการศึกษาทั้ง 7 พืดอน พบว่า ปริมาณเหล็กในชั้นดินบน มีค่าอยู่ในพิสัย 1.08-6.69 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณเหล็กในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.73-6.25 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่า โดยส่วนใหญ่มีปริมาณเหล็กลดลงตามความลึก แสดงว่ามีเหล็กรูปออสถฐาน และรูปเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนสูงในชั้นดินบนซึ่งอาจเกิดเนื่องจากอิทธิพลของอินทรีย์วัตถุซึ่งมีอยู่สูงในชั้นดินบน ซึ่งดินที่ศึกษามีพีเอชดินเป็นกรด ทำให้มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยเฉพาะการตรึงธาตุอาหารพืช (บรรณพิชญ์, 2551; Trakoonyingcharoen *et al.*, 2006)

(ค) ปริมาณเหล็กที่สกัดด้วยวิธีโซเดียมไพโรฟอสเฟต (sodium pyrophosphate; Fe_p) เหล็กที่สกัดโดยวิธีนี้อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน ผลการศึกษาทั้ง 7 พืดอน พบว่า ปริมาณเหล็กในชั้นดินบน มีค่าอยู่ในพิสัย 0.05-8.52 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณเหล็กในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.02-6.16 กรัมต่อกิโลกรัม การวิเคราะห์เหล็กโดยวิธีนี้ทำให้ทราบว่าเหล็กที่มีในรูปนี้มักตรึงฟอสฟอรัสในดิน (ผจงจิตต์, 2545) ปริมาณเหล็กในรูปนี้มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จะเห็นได้จากพืดอน 5 และ 6 ที่ปริมาณเหล็กในรูปสารอินทรีย์เชิงซ้อนมากกว่าพืดอนอื่นๆ ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่าพืดอนอื่นๆ ด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กที่สกัดได้ด้วย dithionite-citrate-bicarbonate (Fe_d), ammonium oxalate (Fe_o) และ sodium pyrophosphate (Fe_p) กับความลึกของดินตามชั้นกำเนิดดินสีแดงที่ทำการศึกษา

4.12.2 อะลูมิเนียม (ภาพที่ 24)

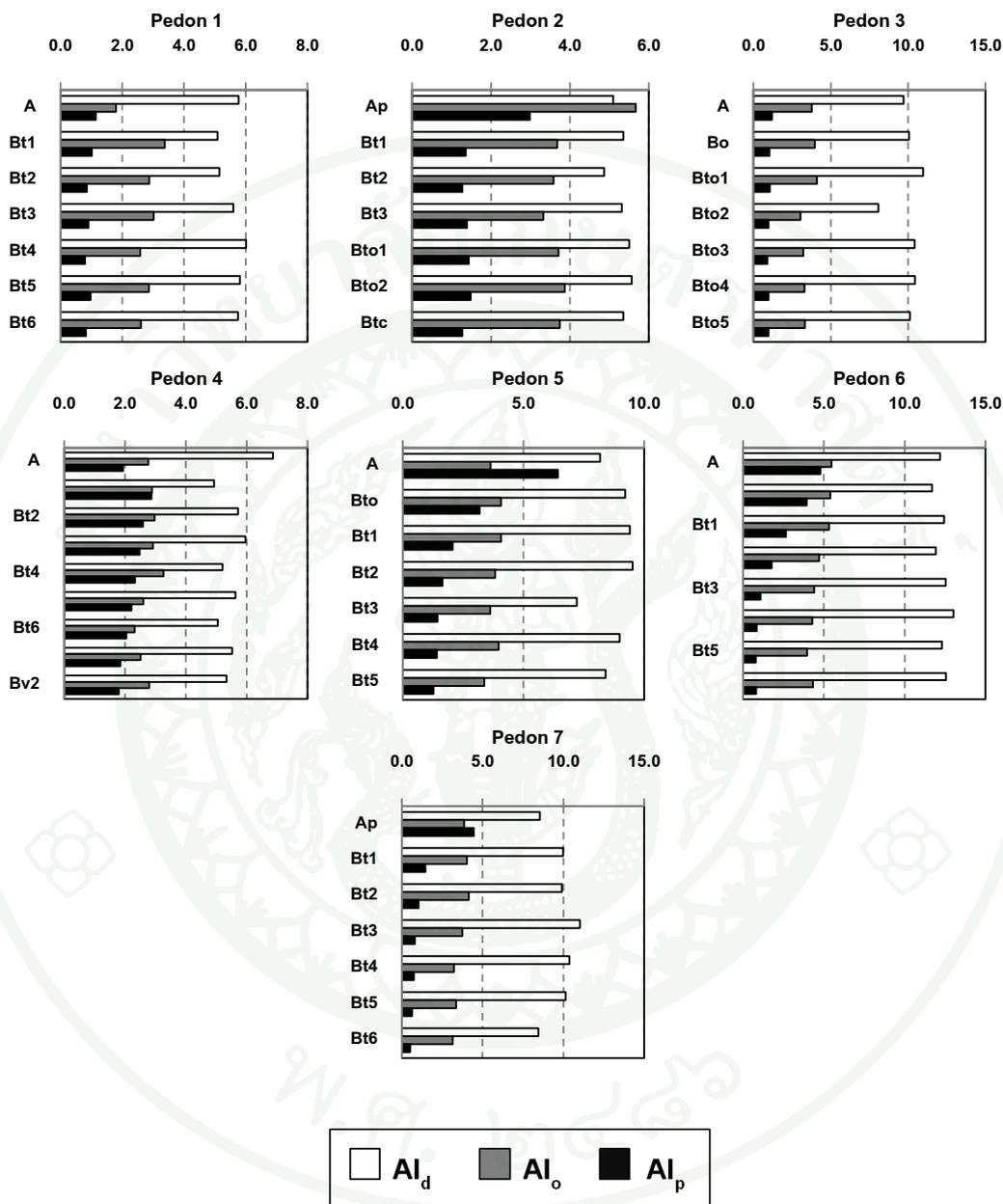
(ก) ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดด้วยวิธีไดไซโอไนต์-ซิเตรต-ไบคาร์บอเนต (dithionite-citrate-bicarbonate; Al_d) ซึ่งอยู่ในรูปที่มีผลึก และรูปอสัณฐาน และสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน รวมทั้งที่อยู่ในลักษณะการแทนที่สารประกอบอื่น ๆ เช่น เหล็กออกไซด์ (ผจงจิตต์, 2545; Olson and Roscoe, 1982) ผลการศึกษาทั้ง 7 พืดอน พบว่า ปริมาณอะลูมิเนียมอิสระของชั้นบนในแต่ ละหน้าตัดดิน มีค่าแตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 5.09-12.19 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณ อะลูมิเนียมอิสระในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 4.86-13.02 กรัมต่อกิโลกรัม

(ข) ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดด้วยวิธีแอมโมเนียมออกซาเลต (ammonium oxalate; Al_o) ซึ่งอยู่ในรูปอสัณฐาน รูปที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี และรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (McKeague and Day, 1996; National Soil Survey Center, 1996) ผลการศึกษาทั้ง 7 พืดอน พบว่า ปริมาณอะลูมิเนียมในชั้นดินบน มีค่าอยู่ในพิสัย 1.79-5.48 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณ อะลูมิเนียมในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 2.31-5.32 กรัมต่อกิโลกรัม

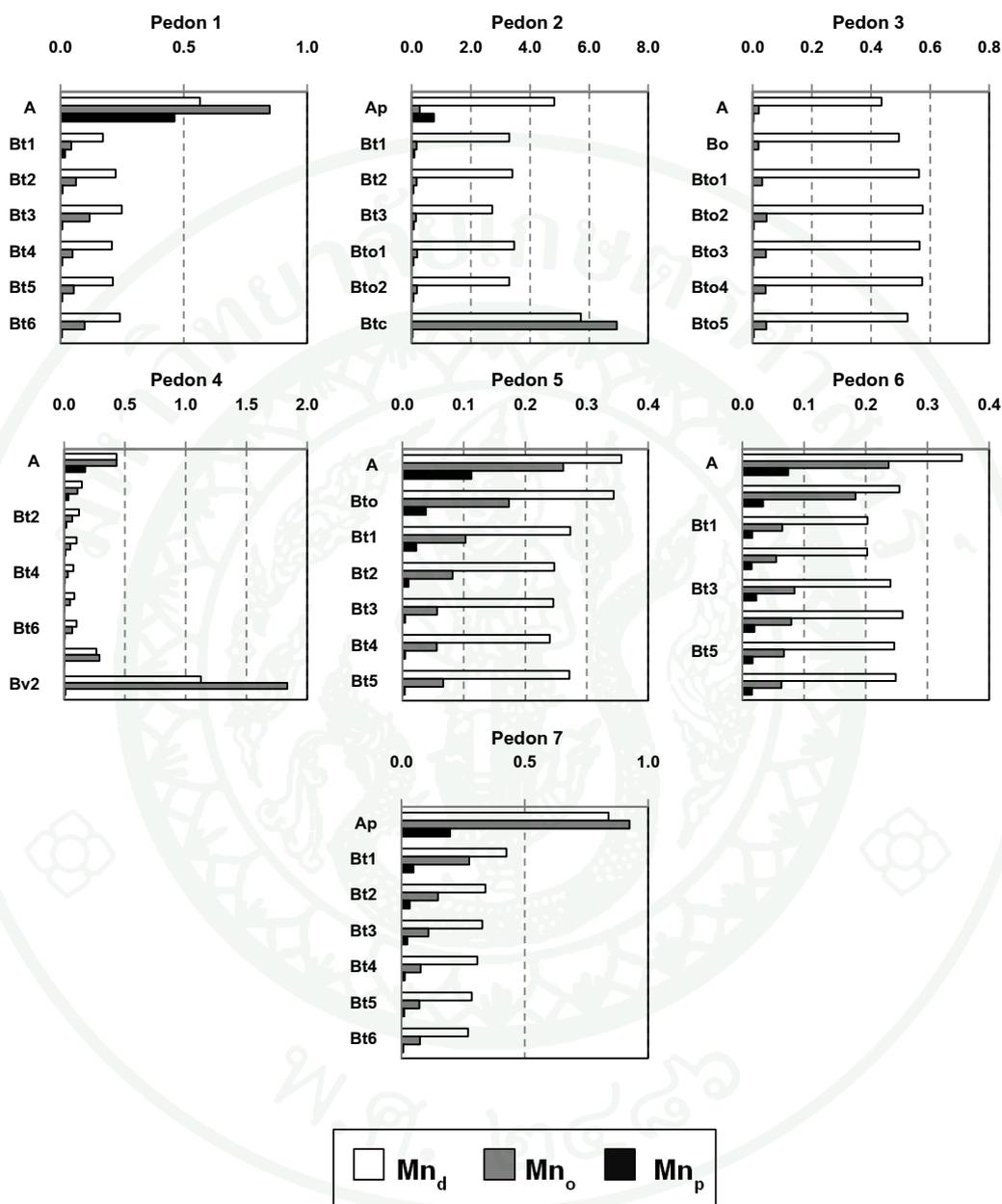
(ค) ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดด้วยวิธีโซเดียมไพโรฟอสเฟต (sodium pyrophosphate; Fe_p) ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (McKeague, 1996; National Soil Survey Center, 1996) ผลการศึกษาทั้ง 7 พืดอน พบว่า ปริมาณอะลูมิเนียมในชั้นดินบน มีค่าอยู่ใน พิสัย 1.15-6.42 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณอะลูมิเนียมในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.51-3.93 กรัม ต่อกิโลกรัม

4.12.3 แมงกานีส (ภาพที่ 25)

(ก) ปริมาณแมงกานีสที่สกัดด้วยวิธีไดไซโอไนต์-ซิเตรต-ไบคาร์บอเนต (dithionite-citrate-bicarbonate; Mn_d) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเหล็กอิสระ แมงกานีสที่สกัดโดยวิธี นี้อยู่ในรูปผลึก รูปอสัณฐาน รูปที่รีดิวซ์ได้ง่าย และรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Mehra and Jackson, 1960; National Soil Survey Center, 1996) ผลการศึกษาดินที่สูงทั้ง 7 บริเวณ พบว่า ปริมาณแมงกานีสของดินชั้นบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.36-4.81 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่าง มีค่า อยู่ในพิสัย 0.08-5.72 กรัมต่อกิโลกรัม

Al (g kg^{-1})

ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างอะลูมิเนียมที่สกัดได้ด้วย dithionite-citrate-bicarbonate (Al_d), ammonium oxalate (Al_o) และ sodium pyrophosphate (Al_p) กับความลึกของดินตามชั้น กำหนดดินสีแดงที่ทำการศึกษา

Mn (g kg^{-1})

ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างแมงกานีสที่สกัดได้ด้วย dithionite-citrate-bicarbonate (Mn_d), ammonium oxalate (Mn_o) และ sodium pyrophosphate (Mn_p) กับความลึกของดินตามชั้นกำเนิดดินสีแดงที่ทำการศึกษา

(ข) ปริมาณแอมแกเนียนิสที่สกัดด้วยวิธีแอมโมเนียมออกซาเลต (ammonium oxalate; Mn_o) แอมแกเนียนิสที่สกัดโดยวิธีนี้อยู่ในรูปอสัณฐาน และรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (McKeague and Day, 1996; National Soil Survey Center, 1996) ผลการศึกษาดินที่สูงทั้ง 7 บริเวณ พบว่าปริมาณแอมแกเนียนิสของดินชั้นบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.02-0.94 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่าง มีค่าอยู่ในพิสัย 0.02-6.94 กรัมต่อกิโลกรัม

(ค) ปริมาณแอมแกเนียนิสที่สกัดด้วยวิธีโซเดียมไพโรฟอสเฟต (sodium pyrophosphate; Mn_p) แอมแกเนียนิสที่สกัดโดยวิธีนี้อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (McKeague, 1967; National Soil Survey Center, 1996) ผลการศึกษาดินที่สูงทั้ง 7 บริเวณ พบว่าปริมาณแอมแกเนียนิสของดินชั้นบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.00-0.75 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่าง มีค่าอยู่ในพิสัย 0.00-0.09 กรัมต่อกิโลกรัม

จากการศึกษาปริมาณแอมแกเนียนิสในดินที่ทำการศึกษา พบว่า มีค่าต่ำกว่าเหล็กและอะลูมิเนียมอาจเนื่องมาจากเป็นเพราะ 1) วัตถุประสงค์กำเนิดดินโดยทั่วไปมีแอมแกเนียนิสออกไซด์ต่ำ (ไพบูลย์, 2528; พรพนา, 2546; ดวงพร, 2548) 2) ในสภาพแวดล้อมที่มีการผูกพันอยู่กับที่ค่าปฏิกิริยาดินจะทำให้เหล็กตกตะกอนเคมีได้ง่ายโดยกระบวนการออกซิเดชัน แต่ไอออนของแอมแกเนียนิสยังคงมีอยู่ในสารละลายได้ จึงมีโอกาสสูญเสียไปจากหน้าตัดดินได้ง่ายกว่าเหล็ก (McFarlane, 1976)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก อะลูมิเนียม และแอมแกเนียนิส โดยการสกัดด้วยสารละลายต่าง ๆ พบว่า มีปริมาณเหล็ก อะลูมิเนียม และแอมแกเนียนิสในดินที่ทำการศึกษาอยู่ในรูปอิสระมากกว่ารูปอื่น ๆ ซึ่งได้จากการสกัดด้วยวิธีไดโรไอออนต์-ซีเทรต-ไบคาร์บอเนต ซึ่งมีปริมาณเหล็กมากที่สุด เนื่องจากผ่านกระบวนการผูกพันอยู่กับที่มานาน ทำให้มีการสะสมเหล็กมากขึ้น และดินที่ทำการศึกษามีค่าปฏิกิริยาดินในช่วง 4-6 ทำให้มีค่า Eh สูงและมีการออกซิไดซ์เพิ่มขึ้น จึงทำให้สารประกอบเฟอร์ริกมีความเสถียรมากกว่า สารประกอบของอะลูมิเนียมและแอมแกเนียนิส ซึ่งสามารถสูญเสียหรือเปลี่ยนรูปไปได้ง่ายกว่า (McFarlane, 1976)

5. สมบัติทางแร่วิทยา

ผลการศึกษาด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) แล้วเปรียบเทียบกับ ชนิดของแร่มาตรฐาน (Whittig, 1965; Pawel *et al.*, 2007) โดยทำการวิเคราะห์แร่ในอนุภาคขนาด ดินเหนียว และทรายแป้งดังแสดงในตารางที่ 4

5.1 องค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว

พืดอน 1 แร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคโอลิไนต์ โดยมีการแจกกระจายในปริมาณสูงมากตลอดหน้าตัดดิน (>60%) ส่วนแร่อิลไลต์ พบปริมาณเล็กน้อย ตลอดหน้าตัดดิน และพบแร่กิบbsite ในชั้นดินบนในปริมาณเล็กน้อย

พืดอน 2, 3 และ 5 แร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคโอลิไนต์ โดยมีการแจกกระจายในปริมาณสูงตลอดหน้าตัดดิน (60%) ส่วนแร่กิบbsite แร่เวอร์มิคิวไลต์ที่มีชั้นอะลูมิเนียมสองชั้น แร่ควอตซ์ แร่ฮีมาไทต์ พบปริมาณเล็กน้อยตลอดหน้าตัดดิน ยกเว้นใน พืดอน 3 ที่ไม่พบ แร่เวอร์มิคิวไลต์ที่มีชั้นอะลูมิเนียมสองชั้น และแร่ควอตซ์ในชั้น Bto1

พืดอน 4 แร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคโอลิไนต์ โดยมีการแจกกระจายในปริมาณสูงตลอดหน้าตัดดิน (60%) พบแร่อิลไลต์ แร่กิบbsite แร่เวอร์มิคิวไลต์ที่มีชั้นอะลูมิเนียมสองชั้น ปริมาณเล็กน้อยตลอดหน้าตัดดิน

พืดอน 6 แร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคโอลิไนต์ โดยมีการแจกกระจายในปริมาณสูง (60%) ตลอดหน้าตัดดินและพบแร่ฮีมาไทต์ และแร่กิบbsite ปริมาณเล็กน้อยตลอดหน้าตัดดิน โดยในชั้นดินบนพบแร่ควอตซ์ ปริมาณเล็กน้อย

พืดอน 7 แร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคโอลิไนต์ โดยมีการแจกกระจายในปริมาณสูง (60%) ตลอดหน้าตัดดินและพบแร่ แร่ควอตซ์ ปริมาณเล็กน้อยตลอดหน้าตัดดิน และพบแร่กิบbsite ในช่วงความลึก 20-50 และ 80-110 เป็นปริมาณเล็กน้อย และพบแร่ฮีมาไทต์ในชั้นดินบน

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์และปริมาณองค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวและทรายแป้ง ของดินที่ทำการศึกษา

Depth (cm)	Horizon	Clay Fraction						Silt Fraction	
		Kao.	Ill.	HIV.	Gib.	Hem.	Qtz.	Qtz.	Clay 0.7 nm
Pedon 1 Typic Kandiusult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic									
0-8	A	xxxx	tr.	-	tr.	-	-	xxxx	-
8-34	Bt1	xxxx	tr.	-	-	-	-	xxxx	-
56-85	Bt3	xxxx	tr.	-	-	-	-	xxxx	-
Pedon 2 Typic Kandiuistox, fine, kaolinitic, isohyperthermic									
0-20	Ap	xxxx	-	tr.	tr.	tr.	tr.	xxxx	-
20-46	Bt1	xxxx	-	tr.	tr.	tr.	tr.	xxxx	tr.
72-100	Bt3	xxxx	-	tr.	tr.	tr.	tr.	xxxx	-
Pedon 3 Typic Kandiuistox, very fine, kaolinitic, isohyperthermic									
0-20	A	xxxx	-	tr.	tr.	tr.	tr.	xxxx	tr.
20-50	Bo	xxxx	-	tr.	tr.	tr.	tr.	xxxx	tr.
50-80	Bto1	xxxx	-	-	tr.	tr.	-	xxxx	tr.
Pedon 4 Typic Kandiuodox, fine, kaolinitic, isohyperthermic									
0-10	A	xxxx.	tr.	tr.	tr.	-	tr.	xxxx	-
10-25	Bt1	xxx	tr.	tr.	tr.	-	tr.	xxxx	-
45-70	Bt3	xxx	tr.	tr.	tr.	-	tr.	xxxx	-
Pedon 5 Typic Kandiusult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic									
0-30	A	xxxx	-	tr.	tr.	tr.	tr.	xxxx	-
30-60	Bto	xxxx	-	tr.	tr.	tr.	tr.	xxxx	-
60-85	Bt1	xxxx	-	tr.	tr.	tr.	tr.	xxxx	tr.
Pedon 6 Rhodic Kandiuult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic									
0-15/20	A	xxxx	-	-	tr.	tr.	tr.	xxxx	tr.
41-61	Bt1	xxxx	-	-	tr.	tr.	-	xxxx	tr.
86-110	Bt3	xxxx	-	-	tr.	tr.	-	xxxx	tr.
Pedon 7 Typic Paleudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic									
0-20	Ap	xxx	-	-	-	tr.	tr.	xxxx	tr.
20-50	Bt1	xxx	-	-	tr.	-	tr.	xxxx	tr.
80-110	Bt3	xxx	-	-	tr.	-	tr.	xxxx	tr.

หมายเหตุ Kao. = Kaolinite, HIV. = Hydroxyl-Al interlayered vermiculite, Ill. = Illite, Gib. = Gibbsite, Hem. = Hematite, Qtz. = Quartz, xxxx = Dominant (> 60%), xxx = Large (40 - 60%), xx = Medium (20 - 40%), x = Small (5 - 20%), tr. = Trace (<5%), - = not detected

สมบัติทางแร่วิทยาในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินสีแดงทั้ง 7 พืดอน ที่ทำการศึกษาพบแร่หลักในเกือบทุกบริเวณ คือ แร่เคลโอไลไนต์ ซึ่งในแต่ละบริเวณมีปริมาณแตกต่างกัน ตั้งแต่ปริมาณปานกลางถึงสูงมาก บางบริเวณพบแร่ดินเหนียวชนิดอื่น ๆ ร่วมอยู่ด้วย เช่น แร่เวอร์มิคิวไลต์ที่มีชั้นอะลูมิเนียมสอดชั้น แร่อิลไลต์ แร่ฮีมาไทต์ แร่กิบบ์ไซต์ และแร่ควอตซ์ การที่พบว่าแร่เคลโอไลไนต์เป็นแร่หลักในดินสีแดงที่ทำการศึกษา แสดงว่าดินมีการระบายน้ำค่อนข้างดีจนถึงดีและ/หรือเป็นดินที่ผ่านกระบวนการผุพังสลายตัวมานาน สภาพที่มีการระบายน้ำดีทำให้มีการชะละลายสูง จึงทำให้ธาตุที่เป็นเบสถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดินได้ง่าย ทำให้มีไฮโดรเจนในสภาพไอออนมาสะสมที่ผิวอนุภาคดินมากขึ้น เป็นเหตุให้มีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนสูง ดินเป็นกรด ซึ่งเหมาะสมต่อการเกิดแร่เคลโอไลไนต์ (อัญชลี, 2534; เอิบ, 2548; Goudic, 1973; Gilkes and Suddhiprakarn, 1979; Brady and Weil, 2008)

5.2 องค์ประกอบเชิงแร่ในอนุภาคขนาดทรายแป้ง

ผลการศึกษาด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่าองค์ประกอบเชิงแร่ในอนุภาคขนาดทรายแป้งของทุกหน้าตัดดินมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ เป็นแร่ควอตซ์ ซึ่งมีปริมาณสูงมาก นอกจากนี้แร่อื่น ๆ ที่พบ ได้แก่ แร่ดินเหนียว 7 นาโนเมตร ปริมาณเล็กน้อยในบางหน้าตัดดิน

การที่พบแร่ควอตซ์เป็นแร่หลักในกลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้งนั้น เนื่องมาจากแร่ควอตซ์เป็นแร่ที่ทนทานต่อการสลายตัวมากกว่าแร่ชนิดอื่น โดยแร่ชนิดอื่นมีการสลายตัวเล็กน้อยลงเป็นแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว หรือเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ดินเหนียวชนิดใหม่ขึ้นมา (Brikeland, 1974; Trakoonyingcharoen *et al.*, 2006; Brady and Weil, 2008; Buol *et al.*, 2010) แต่ควอตซ์จะมีความคงทนต่อการสลายตัวทั้งทางกายภาพและเคมี จึงทำให้พบในอนุภาคขนาดทรายแป้งได้ (อัญชลี, 2534; Calvert *et al.*, 1980) เนื่องจากแร่ควอตซ์มีการจัดเรียงอะตอมในโครงสร้างเป็นแบบผลึกโควาเลนต์ (covalent crystal) ซึ่งแรงแบบโควาเลนต์ เป็นแรงดูดยึดที่แข็งแกร่งมากที่สุดในบรรดาพันธะเคมีด้วยกัน ส่งผลให้แร่ควอตซ์ทนทานต่อการผุพังสลายตัว (ไพบูลย์, 2546) แต่อย่างไรก็ตามแร่ควอตซ์ทนทานต่อการสลายตัวมากที่สุดหากมีอนุภาคขนาดทราย เมื่อมีอนุภาคขนาดทรายแป้ง แร่ควอตซ์จะมีขนาดเล็กลงอย่างช้า ๆ แต่จะผุพังสลายตัวได้ง่ายขึ้นเมื่อมีอนุภาคเล็กลงขนาดดินเหนียว (Jackson, 1965; Ollier, 1969) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบแร่ควอตซ์ในอนุภาคดินเหนียวด้วย ในแร่กลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้งนี้

6. การกำเนิดของดินสีแดง

สำหรับปัจจัยในการสร้างตัวของดิน ประกอบไปด้วยสภาพภูมิอากาศ วัตถุต้นกำเนิดดิน พืชพรรณธรรมชาติ สภาพภูมิประเทศ และเวลา (เอิบ, 2548; Buol *et al.*, 2010) โดยดินสีแดงในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน และมีความสูงจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ย

โดยทั่วไปอิทธิพล และความสัมพันธ์ของวัตถุต้นกำเนิดดินกับดินจะมีมาก เมื่อเป็นดินใหม่ หรือดินที่มีอายุน้อย เนื่องจากกระบวนการสร้างดินยังเกิดและดำเนินไปไม่มากนัก แต่เมื่อมีการผุพัง อยู่กับที่มากขึ้นและกระบวนการสร้างดินดำเนินไปเรื่อย ๆ ความสำคัญของวัตถุต้นกำเนิดดินจะลดลง (Buol *et al.*, 2010) จากการสำรวจภาคสนาม พบว่าดินที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่เกิดจากวัสดุ ตกค้าง และตะกอนคาคเซิงเขา ที่ผุพังสลายตัวมาจากหินอัคนีทั้งสีเข้มและสีจาง และในพีดอน 1 เกิดจากตะกอนน้ำพาเฉพาะที่และตะกอนคาคเซิงเขา โดยกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี ทำให้ เกิดชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน และเกิดกระบวนการสร้างดิน ซึ่งลักษณะของกระบวนการสร้างดินมี องค์ประกอบและปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่สลับซับซ้อน มีลำดับขั้นตอนต่าง ๆ มากมาย รวมทั้ง ปฏิริยาที่อยู่ยาก โดยเหตุการณ์ดังกล่าวอาจจะเกิดขึ้นพร้อมกันหรือมีขั้นตอนต่อเนื่องกัน และอาจมี อิทธิพลในด้านส่งเสริมหรือหักล้างกันได้ ปัจจัยในการสร้างตัวของดินต่าง ๆ และกระบวนการทาง ดินทำให้น้ำตัดดินมีความแตกต่างกันออกไป (เอิบ, 2548; Buol *et al.*, 2010)

จากการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาสนาม จุดสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และแร่วิทยาของดินสีแดง พบว่ากระบวนการสร้างดินที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาสีดิน คือ กระบวนการ ปลดปล่อยธาตุเหล็กออกจากแร่ปฐมภูมิ กลายเป็นแร่เหล็กออกไซด์เพิ่มขึ้นเกิดกระบวนการ ออกซิเดชันและกระบวนการรับน้ำเข้าโมเลกุล (hydration) ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ดินเกิดเป็นสีน้ำตาล น้ำตาลปนแดง และสีแดงตามลำดับ เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องกันไป คือ braunification, rubification และ ferrugination ที่เกิดขึ้นในหน้าตัดดิน พบว่าในชั้นดินบนนั้นจะมีสีคล้ำกว่าในชั้น ดินล่าง ก็เนื่องมาจากการผุพังและเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมี ของเศษซากพืชที่ทับถมในชั้น ดินบนทำให้เกิดกระบวนการเพิ่มเติม (enrichment) และต่อมาก็สลายตัว (decomposition) ของเศษ ซากพืชและสัตว์ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์กลายเป็นอินทรีย์วัตถุและฮิวมัสเกิดขึ้น (humification) ด้วยเหตุนี้เองจึงส่งผลให้ดินบนมีสีคล้ำ (Buol *et al.*, 2010) ส่วนในพีดอน 4 พบว่ามีชั้น Bv เกิดขึ้น เนื่องจากกระบวนการสูญเสียซิลิกา (desilication) เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายทางเคมีของซิลิกา ทำ ให้เกิดความเข้มข้นของเซสควิออกไซด์ขึ้นในดิน เช่นพวกกิบbsite เกอไทต์ ซึ่งอาจทำให้เกิดพวก

หินเหล็ก (ironstone) ขึ้น เช่นพวกศิลาแลง และพลินไทต์ หรือเกิดมวลพวก (concretions) ของพวก เซสควิออกไซด์ขึ้น กระบวนการนี้เกิดในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง และมีการชะละลายสูง และมีชื่อเรียกต่างๆ มากมาย เช่น ferrallization, ferritization, allitization เป็นต้น

สมบัติทางเคมีนั้นพบว่าสอดคล้องกับกระบวนการต่าง ๆ ข้างต้นที่กล่าวมา คือ พบว่าดินมีพีเอชต่ำ มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ปริมาณเบสที่สกัดได้โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับต่ำและมีแนวโน้มลดลงตามความลึกก็เนื่องมาจากดินมีการชะละลาย (leaching) ที่สูง

สมบัติทางแร่วิทยา ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เป็นแร่หลักเป็นแร่ที่มีกิจกรรมต่ำ คือแร่เคโอลิไนต์ และอาจมีบ้างที่เป็นแร่ควอตซ์ อิลไลต์ เป็นปริมาณเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าดินที่สูงที่ทำการศึกษามีพัฒนาการมานานหรือมีการผุพังสลายตัวรุนแรงและมีการชะละลายสูง

7. ผลการจำแนกดินสีแดง

จากผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา จุลสัณฐานวิทยา แร่วิทยา สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 7 พืดอน สามารถจำแนกดินที่ศึกษาตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Survey Staff, 2010) ดังตารางที่ 5 ได้ดังต่อไปนี้

7.1 การจำแนกชั้นสูง

การจำแนกในชั้นอันดับ (order) พบว่าดินที่ทำการศึกษาจำแนกได้ 2 อันดับ ดังนี้ คือ พืดอน 1, 5, 6 และ 7 เป็นดินที่มีการพัฒนาของหน้าตัดดินดี มีการสะสมของอนุภาคดินเหนียวที่เคลื่อนย้ายจากชั้นดินบนมาอยู่ในชั้นดินล่างอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นลักษณะของการเป็นชั้นดินล่างวินิจัยอาร์จิลลิก (argillic horizon) และมีค่าอิมพัลส์ต่ำกว่าร้อยละ 35 ในช่วงระยะความลึก 1.25 เมตร จึงจัดอยู่ในอันดับอัลทิซอลส์ (Ultisols) ส่วนพืดอน 2, 3 และ 4 มีชั้นดินล่างวินิจัยออกซิกคือดินเหนียวในชั้นมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเท่ากับ 16 เซนติโมลต่อกิโลกรัม หรือน้อยกว่า และมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเชิงประสิทธิผลเท่ากับ 12 เซนติโมลต่อกิโลกรัมหรือน้อยกว่า และแสดงการผุพังอยู่กับที่สูง จึงจัดอยู่ในอันดับออกซิซอลส์ (Oxisols) การจำแนกในชั้นอันดับย่อย (suborder) พบว่าดินที่ทำการศึกษาที่มีระบอบความชื้นแบบยูดิก (udic) คือจะไม่แห้งในส่วนหนึ่ง

ตารางที่ 5 ผลการจำแนกดินสีแดงที่ทำการศึกษา

Site	Order	Suborder	Great group	Subgroup	Family
Pedon 1	Ultisols	Ustult	Kandiustult	Typic Kandiustult	fine, kaolinitic, isohyperthermic
Pedon 2	Oxisols	Ustox	Kandiustox	Typic Kandiustox	fine, kaolinitic, isohyperthermic
Pedon 3	Oxisols	Ustox	Kandiustox	Typic Kandiustox	very fine, kaolinitic, isohyperthermic
Pedon 4	Oxisols	Udox	Kandiudox	Typic Kandiudox	fine, kaolinitic, isohyperthermic
Pedon 5	Ultisols	Ustult	Kandiustult	Typic Kandiustult	very fine, kaolinitic, isohyperthermic
Pedon 6	Ultisols	Udult	Kandiudult	Rhodic Kandiudult	very fine, kaolinitic, isohyperthermic
Pedon 7	Ultisols	Udult	Paleudult	Typic Paleudult	very fine, kaolinitic, isohyperthermic

ส่วนใดนานถึง 90 วัน คือ พีดอน 4, 6 และ 7 ส่วนที่เหลือจัดอยู่ในระบอบความชื้นแบบอัสติก (ustic) คือ มีความชื้นจำกัด มีเพียงพอเฉพาะในฤดูปลูกพืชเท่านั้น การจำแนกในชั้นกลุ่มดินใหญ่ (great group) พบว่า พีดอน 7 มีชั้นดานบางมากเกิดจากการเชื่อมตัวของเหล็กและอะลูมิเนียม กับแร่ดินเหนียวซิลิเกตที่มีกิจกรรมต่ำ จึงจัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Paleudults ส่วนพีดอนที่เหลือมีลักษณะเป็นชั้นดินล่างที่มีความต่อเนื่อง หากการเปลี่ยนแปลงเนื้อดินจากชั้นดินบนสู่ชั้นแกนดิก เนแบบแตกต่างกันอย่างทันทีทันใด (abrupt) และไม่มีแนวสัมผัสดินแน่น จึงจัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Kandiudult, Kandiustult, Kandiustox, Kandiudox (เอิบ, 2548)

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินย่อย (subgroup) พบว่าทุกพีดอนไม่แสดงลักษณะอื่นใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มดินใหญ่ จึงจัดจำแนกเป็น “Typic” ยกเว้นพีดอน 6 ที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นสีแดงจัดมาก

7.2 การจำแนกชั้นต่ำ

การจำแนกชั้นเนื้อดิน พบว่า พีค่อน 3, 5, 6 และ 7 อยู่ในชั้นเนื้อดิน “very-fine” เนื่องจากดินมีเนื้อละเอียด และมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวสูงกว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ส่วนพีค่อน 1, 2 และ 4 อยู่ในชั้นเนื้อดิน “fine” คือเป็นดินเนื้อละเอียดที่มีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวน้อยกว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก

การจำแนกชั้นแร่วิทยา จำแนกได้เป็น “kaolinitic” โดยพบว่าทุกพีค่อนในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว พบแร่เคโอลินในสัดส่วนที่มาก จึงจำแนกเป็นชั้นแร่วิทยา “kaolinitic”.

การจำแนกชั้นอุณหภูมิดิน พบว่า ทุกพีค่อนจัดอยู่ในชั้นอุณหภูมิดิน Isohyperthermic เนื่องจากมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีมากกว่าหรือเท่ากับ 22 องศาเซลเซียส และมีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อนและฤดูหนาว แตกต่างกันไม่เกิน 6 องศาเซลเซียส

8. การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินสีแดง

จากผลการศึกษาของดินสีแดงในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ทั้งหมด 7 บริเวณ ซึ่งประกอบด้วย 7 พีค่อน นำมาสู่การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยใช้หลักเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งใช้ผลการวิเคราะห์ดินทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (กองสำรวจดิน, 2523) ทั้งนี้ได้แสดงวิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้ในตารางผนวกที่ 9 พบว่าในชั้นดินบน ส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ยกเว้นพีค่อน 3 ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ส่วนในชั้นดินล่างพบว่ามีส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ยกเว้นในพีค่อน 7 ที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางดังแสดงตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สูงที่ทำการศึกษา ประเมินโดยใช้สมบัติทางเคมีบางประการ (กองสำรวจดิน, 2523)

Site	Depth (cm)	OM ^{1/} g kg ⁻¹	Avail.P ^{2/} mg kg ⁻¹	Avail.K ^{3/} mg kg ⁻¹	CEC ^{4/} cmol kg ⁻¹	BS ^{5/} %	Total Score	Fertility level
Pedon 1	Topsoil ^{6/}	30.2 (2)	21.1 (2)	51.4 (1)	10.3 (2)	58.7 (2)	9	medium
	Subsoil ^{7/}	4.4 (1)	1.6 (1)	89.0 (2)	9.8 (1)	20.0 (1)	6	low
Pedon 2	Topsoil	23.3 (2)	295.1 (3)	157.0 (3)	13.2 (2)	31.4 (1)	11	medium
	Subsoil	3.3 (1)	13.0 (2)	23.3 (1)	8.0 (1)	38.3 (2)	7	low
Pedon 3	Topsoil	11.8 (1)	0.3 (1)	21.4 (1)	16.3 (2)	3.5 (1)	6	low
	Subsoil	6.1 (1)	0.1 (1)	7.9 (1)	8.8 (1)	5.4 (1)	5	low
Pedon 4	Topsoil	26.8 (2)	5.0 (1)	74.4 (2)	17.6 (2)	69.3 (2)	9	medium
	Subsoil	4.4 (1)	0.6 (1)	40.3 (1)	12.8 (2)	10.0 (1)	6	low
Pedon 5	Topsoil	36.0 (3)	2.8 (1)	92.4 (3)	20.0 (2)	30.4 (1)	10	medium
	Subsoil	12.4 (1)	1.4 (1)	23.2 (1)	11.8 (2)	5.9 (1)	6	low
Pedon 6	Topsoil	41.4 (3)	5.5 (1)	17.1 (1)	21.8 (2)	2.9 (1)	8	medium
	Subsoil	22.9 (2)	2.5 (1)	7.5 (1)	18.1 (2)	3.0 (1)	7	low
Pedon 7	Topsoil	34.2 (2)	17.9 (2)	27.0 (1)	23.0 (2)	22.9 (1)	8	medium
	Subsoil	10.5 (1)	28.5 (3)	8.3 (1)	19.0 (2)	10.2 (1)	8	medium

หมายเหตุ ^{1/} OM = organic matter, ^{2/} Avail. P = available phosphorus ^{3/} Avail. K = available potassium ^{4/} CEC = cation exchange capacity ^{5/} BS = base saturation ^{6/} Topsoil = ชั้นดินบน (Ap) ^{7/} Subsoil = ชั้นดินล่าง (Ap-60 เซนติเมตร) วิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินใช้วิธีให้คะแนน (ตัวเลขคะแนนอยู่ในวงเล็บในตาราง) ถ้าคะแนนรวมเท่ากับ 7 หรือน้อยกว่า ถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ คะแนนรวมอยู่ระหว่าง 8-12 ถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง คะแนนรวมเท่ากับ 13 หรือมากกว่า ถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง

9. การประเมินสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์และแนวทางการใช้ดินสีแดง

จากผลการศึกษาดินสีแดงในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ทั้งหมด 7 บริเวณ ซึ่งประกอบด้วย 7 พืดอน นำมาสู่การประเมินสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดังแสดงในตารางที่ 7 เพื่อนำไปสู่แนวทางในการจัดการดิน ดังนี้

พีดอน 4 6 และ 7 จำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เป็น Chk มีลักษณะทั่วไป คือดินบน และดินล่างเป็นดินเหนียว อัตราการแทรกซึมน้ำผ่านผิวหน้าดินต่ำ ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำดี มีศักย์สูงในการที่จะเกิดการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ถ้าพื้นที่มีความลาดชันดินเป็นกรด ควรมีการใส่ปูน และเพิ่มปุ๋ยฟอสฟอรัส เนื่องจากมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมาก และดินมีโพแทสเซียมสำรองต่ำ และดินมีศักย์ที่จะเกิดความไม่สมดุลของธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม

ตารางที่ 7 สมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สูงที่ทำการศึกษา จำแนกโดยใช้สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และแร่วิทยาบางประการ

Site	Horizon ^{1/} (cm)	Texture	2:1 expanding clay	pH 1:1 H ₂ O	Avail.K mg kg ⁻¹	%Fe ₂ O ₃ / %clay	FCC ^{2/}
Pedon 1	Topsoil	Sandy	<50%	5.66	51.40	0.060	LCh
	Subsoil	Clayey	<50%	5.04	89.00	0.060	
Pedon 2	Topsoil	Sandy	<50%	4.99	156.95	0.080	LCh
	Subsoil	Clayey	<50%	4.74	23.26	0.075	
Pedon 3	Topsoil	Clayey	<50%	5.16	21.39	0.190	Chik
	Subsoil	Clayey	<50%	5.79	7.94	0.195	
Pedon 4	Topsoil	Clayey	<50%	6.76	74.43	0.060	Chk
	Subsoil	Clayey	<50%	5.40	40.26	0.060	
Pedon 5	Topsoil	Clayey	<50%	5.20	92.39	0.090	Ch
	Subsoil	Clayey	<50%	4.97	23.17	0.090	
Pedon 6	Topsoil	Clayey	<50%	4.46	17.13	0.100	Chk
	Subsoil	Clayey	<50%	4.61	7.51	0.085	
Pedon 7	Topsoil	Clayey	<50%	5.00	26.97	0.090	Chk
	Subsoil	Clayey	<50%	4.95	8.26	0.080	

หมายเหตุ ^{1/} Topsoil = Ap or 0-20 cm, Subsoil = horizon under Ap or 20-50/60 cm depth interval

^{2/} L = loamy, C = clayey, i = %Fe₂O₃/%clay < 0.15, h = pH range 5.0-6.0, k = Avail.K < 75 mg kg⁻¹

พีดอน 1 และ 2 จำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เป็น LCh มีลักษณะทั่วไป คือดินบนเป็นดินร่วน และดินล่างเป็นดินเหนียว ลักษณะดินไถพรวนง่าย ดินเป็นกรด ควรมีการใส่ปูนเพื่อปรับ pH ให้เหมาะสมต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่างๆ ต่อพืช

พีดอน 3 จำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เป็น Chik มีลักษณะทั่วไปคือดินบนและดินล่างเป็นดินเหนียว มีข้อจำกัดทางการเกษตรคือดินเป็นกรด ควรมีการใส่ปูน ดินมีความสามารถสูงในการตรึงธาตุฟอสฟอรัส ควรมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 5-10 กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกตาร์ สำหรับแต่ละค่าร้อยละของปริมาณอนุภาคดินเหนียวควรพิจารณาอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษถึงชนิดของปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในกรณีที่ดินเป็นดินเหนียวโครงสร้างของดินจะเป็นแบบก้อนกลม และดินมีโพแทสเซียมสำรองต่ำ และดินมีศักยภาพที่จะเกิดความไม่สมดุลของธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม

พีดอน 5 จำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เป็น Ch มีลักษณะทั่วไปคือดินบนและดินล่างเป็นดินเหนียว มีข้อจำกัดทางการเกษตรคือดินเป็นกรด ควรมีการใส่ปูน เพื่อปรับ pH ให้เหมาะสมต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่างๆ ต่อพืช

จากผลการศึกษาดินทั้ง 7 บริเวณ ทุกบริเวณที่ทำการศึกษามีทั้งการใช้ที่ดินในการเกษตรกรรมและเป็นพื้นที่ป่า โดยพีดอนที่ 2 และ 7 มีการใช้ที่ดินในการเกษตรกรรม ส่วนพีดอนที่เหลือเป็นพื้นที่ป่า ซึ่งมีรูปแบบการทำการเกษตร ชนิดของป่าและชนิดพืชที่แตกต่างกันออกไป เมื่อพิจารณาจากสมบัติทางกายและเคมีของดินนั้น จากการใช้ระบบสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เอิบ, 2548; Sanchez *et al.*, 1982) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 พบว่า ดินที่ทำการศึกษานี้มีข้อจำกัดของดิน คือ พีเอชดินเป็นกรด มีธาตุโพแทสเซียมต่ำ และบางพื้นที่มีความสามารถสูงในการตรึงธาตุฟอสฟอรัส หากพิจารณาถึงการใช้ทางการเกษตรนั้น พื้นที่ที่มีความสามารถรองรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ แต่ต้องมีการจัดการในเรื่องของธาตุอาหารพืช ซึ่งแนวทางในการจัดการธาตุอาหารพืชนั้นควรมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม และเนื่องจากดินเป็นกรดจากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ ควรมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสด้วย ร่วมกับการใส่ปุ๋ยพืชสด เนื่องจากการใส่ปุ๋ยพืชสดทำให้ธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินเป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะปุ๋ยพืชสดตระกูลถั่วบางชนิดที่มีระบบรากลึก สามารถดึงธาตุอาหารพืชที่อยู่ลึกในดินขึ้นมา เมื่อมีการไถกลบจะเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินบนได้โดยเฉพาะไนโตรเจน นอกจากนี้ปุ๋ยพืชสดยังช่วยเพิ่มธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมให้สูงขึ้นด้วย (Sangakkara *et*

al., 2004; Astier *et al.*, 2006) และสามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ให้แก่ดิน (Singh *et al.*, 2006) สำหรับพีดคอน 3 ที่มีความสามารถสูงในการตรึงธาตุฟอสฟอรัส ควรพิจารณาอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษถึงชนิดของปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส นอกจากนี้ควรมีการใส่ปูน ซึ่งการใช้ปูนในการปรับปฏิกิริยาของดิน จะช่วยเพิ่มปริมาณความอึดตัวของเบส เพิ่มแคลเซียม และแมกนีเซียมให้แก่ดิน รวมถึงการดูดดึงธาตุอาหารพืชได้ดี (Yamoah *et al.*, 1999) อย่างไรก็ตามพื้นที่ดินสีแดงที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีความชันพอควร อีกทั้งเนื้อดินยังเป็นดินเหนียว เกิดการไหลบ่าของน้ำดินได้ง่าย ดังนั้นหากนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรจึงต้องมีมาตรการเชิงอนุรักษ์ดินและน้ำควบคู่ไปด้วย (Samrit *et al.*, 2007)

แนวทางจัดการดิน และควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกพืชในพื้นที่ศึกษา คือ ระบบวนเกษตรบนโครงสร้างอนุรักษ์ดิน ซึ่งเป็นรูปแบบการใช้ที่ดินที่อยู่กลางระหว่างการเกษตรและการป่าไม้ โดยจัดให้มีระบบการปลูกพืชสลับแนว (alley cropping) ตามแนวระดับของความลาดชัน พร้อมกับการปลูกพืชอาหารควบลงไประหว่างแถวไม้พุ่มนั้น (Kang *et al.*, 1981) เป็นรูปแบบการปลูกพืชหลายชนิด (multiple cropping) ที่มีความละเอียดมากขึ้น รูปแบบของการเกษตรแบบแถวพุ่มไม้นี้ อาจนำมาใช้ในทุกสภาพนิเวศ ซึ่งรูปแบบการเกษตรนี้มักจะพบอยู่ในบริเวณพื้นที่สูงทั่วไป เนื่องจากแถวไม้พุ่มมักจะปลูกเพื่อควบคุมการไหลบ่าของน้ำที่ผิวดินลดการกระทบของเม็ดฝนกับผิวดิน และยังเป็นแนวกำบังลมอีกด้วย นอกจากนี้ประโยชน์ของแถวไม้พุ่มยังอาจก่อให้เกิดชั้นบันไดธรรมชาติ เป็นแหล่งไม้เชื้อเพลิง อาหารสัตว์ และปุ๋ยพืชสด (มณฑล, 2535) ซึ่งปุ๋ยพืชสดจะช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน ทำให้ดินร่วนซุย และอุ้มน้ำได้ดีขึ้น (MacRae and Mehuys, 1985) และทำให้ความหนาแน่นของดินลดลง เพิ่มช่องว่างในดินได้ (Manndal *et al.*, 2003) ทำให้เกิดเม็ดดิน ความสามารถในการเก็บกักน้ำของดินเพิ่มมากขึ้น (Singh *et al.*, 2006) ซึ่งเป็นการลดการไหลบ่าของน้ำผิวดิน และลดการกร่อนของดินได้ด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากผลการศึกษาดินสีแดงในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย 7 บริเวณ ซึ่งประกอบด้วยการเก็บตัวอย่างแบบพืดอน 7 บริเวณ ตั้งแต่ระดับความสูง 370-608 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง โดยส่วนใหญ่ดินเกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นวัสดุตกค้าง และตะกอนดาควิซิงเขาที่สลายตัวมาจากหินอัคนีทั้งสีเข้มและสีจาง และบางบริเวณเป็นตะกอนน้ำพาเฉพาะที่ ดินเป็นดินลึกมาก ลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเนินเขา และลูกคลื่นลอนลาด ลูกคลื่นลอนชัน ดินมีการระบายน้ำดี

ลักษณะทางจุลทรรศน์วิทยาที่เด่นของดิน คือ ดินมีเนื้อดินละเอียด พบการรวมตัวของเหล็กออกไซด์เป็นสารก้อนกลม และมีลักษณะการเคลือบของแร่ดินเหนียวในชั้นดินล่างในทุกพืดอน ซึ่งแสดงเป็นชั้นดินล่างวินิจลียอาร์จิลลิก (argillic horizon) แสดงว่าดินมีพัฒนาการดี และบางบริเวณพบชั้นส่วนของหินวัตถุต้นกำเนิดดินที่อยู่ในช่วงการผุพังสลายตัว ซึ่งแสดงถึงระดับพัฒนาการปานกลางดังสอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาสนาม สมบัติทางกายภาพ และเคมี

สมบัติทางกายภาพของดินสีแดงที่ทำการศึกษา พบว่ามีเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นเนื้อดินละเอียด มีแนวโน้มการแจกกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวในหน้าตัดดินเด่นชัดกว่าอนุภาคขนาดทราย และทรายแป้ง โดยมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างสูง ($1.08-1.63 \text{ Mg m}^{-3}$) โดยชั้นดินบนมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่าดินล่าง ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าอยู่ในระดับช้ามากถึงเร็ว (0.08 ถึง $2558.82 \text{ cm hr}^{-1}$)

สมบัติทางเคมีของดินสีแดงที่ทำการศึกษา พบว่าดินเป็นกรดรุนแรงถึงปานกลาง (pH 4.4-6.8) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง ($1.04-41.39 \text{ g kg}^{-1}$) ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในต่ำมากถึงต่ำ ($0.27-1.83 \text{ g kg}^{-1}$) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ($0.00-295.11 \text{ mg kg}^{-1}$) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ($5.61-156.95 \text{ mg kg}^{-1}$) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูง ($7.49-23.00 \text{ cmol kg}^{-1}$) ค่าความเป็นกรดที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก ($4.36-21.34 \text{ cmol kg}^{-1}$) และค่าร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ($2.88-69.30\%$)

จากผลการศึกษาทางแร่วิทยา พบว่าดินส่วนใหญ่มีแร่เคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบเชิงแร่หลักในกลุ่มขนาดอนุภาคดินเหนียว และมีแร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบเชิงแร่หลักในอนุภาคขนาดทรายแป้ง การกำเนิดของดิน พบว่ามีกลุ่มกระบวนการสร้างดินที่สำคัญ คือ การเพิ่มเติม (additions) ซึ่งมีกระบวนการย่อยคือ กระบวนการเพิ่มเติม (enrichment) กลุ่มกระบวนการสูญเสีย (losses) ซึ่งมีกระบวนการย่อย คือ กระบวนการชะละลาย (leaching) และสลายตัว (decomposition) กลุ่มกระบวนการเคลื่อนย้าย (translocation) มีกระบวนการย่อย คือ กระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุออกไปสะสมในชั้นดิน (illuviation), กระบวนการสูญเสียซิลิกา (desilication), กระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (eluviations) และกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพ (transformation) มีกระบวนการย่อย คือ กระบวนการสลายตัว (decomposition) และกระบวนการที่ทำให้เกิดสีดิน คือดินมีสีน้ำตาล (braunification) สีน้ำตาลปนแดง (rubification) และสีแดง (ferrugination) โดยมีปัจจัยที่เด่นชัด คือ สภาพภูมิอากาศ และระดับความสูงที่ทำให้อุณหภูมิเย็นกว่าสภาพทั่วไปของเขตร้อนที่ระดับความสูงน้อยกว่า

การจำแนกดินสีแดงที่ทำการศึกษา จากการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา จุดสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ เคมี และแร่วิทยา พบว่าดินจำแนกตามระบบอนุกรมวิธานดินเป็นดินในอันดับอัลทิซอลส์ (Ultisols) และ ออกซิซอลส์ (Oxisols) ที่มีสภาพความชื้นภายในดินค่อนข้างต่อเนื่อง โดยมีชั้นอนุกรมวิธานดิน ดังต่อไปนี้

พีคอน 1 Typic Kandistult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic

พีคอน 2 Typic Kandistox, fine, kaolinitic, isohyperthermic

พีคอน 3 Typic Kandistox, very fine, kaolinitic, isohyperthermic

พีคอน 4 Typic Kandiodox, fine, kaolinitic, isohyperthermic

พีคอน 5 Typic Kandistult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic

พีคอน 6 Rhodic Kandiodult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic

พีคอน 7 Typic Paleudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic

ดินมีหน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ Chk 3 บริเวณ, LCh 2 บริเวณ, Ch และ Chik หน่วยละ 1 บริเวณ ข้อจำกัดของดินเหล่านี้ส่วนใหญ่คือ เป็นกรด ขาดฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ อาจเลือกใช้ดินทำการเกษตรได้แต่ต้องมีการจัดการเรื่องธาตุอาหารพืช และควรใช้ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีร่วมกับการเลือกชนิดพืชที่ปลูก โดยดินมีสมบัติทางกายภาพเหมาะสม

ต่อการเพาะปลูกพืชทั้งไม้ผล และพืชไร่ แต่พื้นที่ส่วนใหญ่มีความชื้น ต้องมีการจัดการและการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมเพื่อลดการไหลบ่าหน้าดินของน้ำและการกร่อน และรักษาสภาพแวดล้อมทั่วไปให้ยั่งยืนต่อการใช้ที่ดินต่อไป

ข้อเสนอแนะ

เนื่องด้วยปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลัก ประชากรส่วนใหญ่ในประเทศมีอาชีพเกษตรกรรม อีกทั้งในแต่ละปีมีการบุกเบิกพื้นที่ป่าเพื่อทำการเกษตรเป็นจำนวนมาก และพื้นที่ส่วนใหญ่ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเป็นดินสีแดง ถ้ามีการบุกเบิกทำลายป่าไปแล้ว ก็ควรมีการจัดการดูแลเพื่อรักษาสภาพดินให้เหมาะสม เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลพอสมควรจึงทำให้มีภูมิอากาศและอุณหภูมิที่แตกต่างจากพื้นที่อื่น อีกทั้งยังมีธาตุอาหารพืชค่อนข้างต่ำ หากต้องการที่จะทำการเกษตร ควรมีการดูแลเป็นพิเศษและควรเลือกไม้ผลในการปลูกควบคู่กับการจัดการเฉพาะหลุมไปด้วย เพราะการจัดการเฉพาะหลุมจะเน้นเป็นจุด เหมาะสมกับพื้นที่ที่ขาดความอุดมสมบูรณ์เนื่องจากการขาดธาตุอาหาร การที่เลือกไม้ผลเพราะไม้ผลเหมาะกับการจัดการเฉพาะหลุม หากเลือกพืชไร่เป็นการปลูกทั่วพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องลงทุนกับปุ๋ยเพื่อการจัดการธาตุอาหารสูง

ควรมีการพิจารณาการอนุรักษ์ดินและน้ำเป็นพิเศษ เนื่องจากสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่มีความชื้นและอีกทั้งเนื้อดินเป็นเนื้อละเอียด และเป็นดินเหนียวถึงแม้ กลุ่มดินเหนียวจะมีแร่เคโอลิไนต์เป็นกลุ่มหลักที่มีสมบัติในการยึดเหนี่ยวตัว แต่หากมีฝนตกในปริมาณที่มากพอ ทำให้ดินต้องอุ้มน้ำในปริมาณสูงอาจทำให้การไหลบ่าของหน้าดินได้ จึงควรมีการจัดการเป็นพิเศษ หากจะทำการเกษตรบนพื้นที่ดินสีแดง ควรมีการปลูกไม้ที่มีลักษณะข้งรากลึก หรือการปลูกพืชแบบขั้นบันไดมาประยุกต์ใช้ในการจัดการดิน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมแผนที่ทหาร. 2521. แผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000.

กรมทรัพยากรธรณี. 2527. แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตรฐาน 1:250,000.

กรมป่าไม้. 2542. อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์. สำนักพิมพ์สารคดี ในนามบริษัท วิริยะธุรกิจ จำกัด, กรุงเทพฯ.

กองสำรวจดิน. 2516. รายงานการสำรวจดินจังหวัดเชียงราย. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2519. รายงานแผนที่จังหวัดเชียงใหม่. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2520. ลักษณะและคุณภาพของที่ดินที่ใช้ในการประเมินคุณค่าที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2522. รายงานการสำรวจดิน จังหวัดเชียงใหม่. ฉบับที่ 204. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปฐพีวิทยา. 2551. พจนานุกรมปฐพีวิทยา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จุฑามาศ รักขานาม. 2528. การประยุกต์ตัวแปรทางกายภาพเพื่อประเมินชั้นความสำคัญของพื้นที่
ในเขตลุ่มน้ำภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2536. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ : การ
วิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ดวงพร วิฑูรจิตต์. 2548. สมบัติทางเคมีและแร่วิทยาของศิลาแลง และศิลาแลงอ่อนบางชนิดที่พบใน
ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นงคราญ กาญจนประเสริฐ. 2529. การศึกษาลักษณะวินิจฉัยที่สำคัญในพัฒนาการของดินและ
ศักยภาพของดินอันดับแอลฟิซอลส์และอินเซปติซอลส์บริเวณลุ่มน้ำแม่กลอง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิวัติ อนุศักดิ์. 2532. การกำเนิดของดินบนที่สูงที่เกิดจากหินแกรนิตในภาคเหนือตอนบนของ
ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บุรี บุญสมภพพันธ์. 2515. การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางแร่ของดิน
Oxisols สี่ชนิดในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญยงค์ ภูผาเรือง. 2523. การสำรวจจำแนกดินและการกำหนดศักยภาพของที่ดินในบริเวณ
เทือกเขาอ่างซาง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์. 2551. ลักษณะและสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สูง ในบริเวณเขา
ก่อ จังหวัดเพชรบูรณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประมวลพงษ์ สิ้นธุเสน. 2527. องค์ประกอบเชิงแร่และคุณสมบัติทางเคมีของดินเหนียวและดินแดงที่พบในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญญา ตระกูลยิ่งเจริญ, เอิบ เขียวรีนรมณ์ และ อัญชลี สุทธิประการ. 2549. สมบัติและศักยภาพของดินสีแดงในอันดับออกซิซอลส์และอัลทิสอลส์ในประเทศไทยสำหรับพืชเศรษฐกิจ, หน้า 186-193. ใน เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 สาขาพืช. กรุงเทพฯ.

ผจงจิตต์ ศรีสุข. 2545. สมรรถนะความแอมูมสมบูรณ์ของดินศิลาแลงในเขตชายฝั่งทะเลตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรพนา เหล่าสุวรรณ. 2546. ลักษณะและสมบัติของศิลาแลง และดินศิลาแลงบางชนิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรเทพ ศรีสุข. 2541. ลักษณะของดินที่สูงบริเวณลุ่มน้ำแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิบูลย์ กังแฮ. 2526. การศึกษาลักษณะและความเหมาะสมต่อการปลูกพืช ของดินไหล่บางชนิดในภาคเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2528. เคมีของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. เคมีดิน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เล็ก มอญเจริญ. 2523. การสำรวจและจำแนกดินไร่ของประเทศไทย. วารสารพัฒนาที่ดิน 17 (182): 19-35.

รฐนนท์ เจริญชาศรี. 2550. ลักษณะรอยพิมพ์ประจุของดินออกซิซอลด์ที่มีสีแดงในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรพันธ์ เกียรติชิมกุล. 2531. การศึกษาคุณสมบัติและการกำเนิดของดินสีแดงและดินสีเหลืองในภาคตะวันตกของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มณฑล จำริญญฤกษ์พิลึก. 2535. ระบบวนเกษตรบนที่สูง. น.106-125. ใน การพัฒนาป่าไม้ในสูง. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร KUFF/LAO/SIDA Highland Forest Development. ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มรกต ทัพพะกุล ณ อุทยาน. 2532. จุลสัณฐานวิทยาของดิน. กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เสาวนุช ถาวรพฤษย์, เอิบ เขียวรัตน์, อัญชลี สุทธิประการ, และ อาร์ เจ จิลค์. 2549. แนวทางการจัดการดินออกซิซอลด์ที่มีสีแดงภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อนในประเทศไทย หน้า 153-160. ใน เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 สาขาพืช. กรุงเทพฯ.

สิทธิธนต์ ชมพูแก้ว. 2551. ศักยภาพของดินที่ใช้ปลูกลำไยในภาคเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศรี วัชรสินธุ์. 2529. คุณสมบัติการจำแนกและศักยภาพในการปลูกพืชไร่ของดินแดงและดินเหลืองในภาคเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาย อ่อนอาษา, ชลดา เต็มคุณธรรม, บุญมา ดีแสง และแสงจันทร์ ศรีสายเชื้อ. 2542. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน ภายหลังการทำลายป่าเพื่อใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ในพื้นที่ต้นน้ำ อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สารคาม แก้วทาสี. 2528. การกำเนิดของดินจากการผุพังอยู่กับที่ของหินแกรนิต ในภาคเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัญชลี สุทธิประการ. 2534. แร่ในดิน เล่ม 1 และ 2. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

อภิศักดิ์ โพธิ์ปิ่น. 2543. ดินเขตร้อน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2548. การสำรวจดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2 ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2552. คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Adam, W.A. 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated Podzolic Soils. **Soil Sci. J.** 24:10-17.

Alwis, K.A. de and D.J. Pluth. 1976. The red latosols of Srilanka: I. Macromorphological, physical and chemical properties, genesis and classification. II Mineralogy and weathering. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 40: 912-928.

Astier, M., J.M. Mass, J.D. Etchevers-Barra, JJ. Pena and F. de Leon. Gonzalez. 2006. Short-term green manure and tillage management effects on maize yield and soil quality in an Andisol. **Soil Tillage Res.** 88: 153-159.

- Baize, D. 1993. **Soil Science Analysis: A Guide to Current Use.** John Wiley and Sons, Ltd., England.
- Baldwin, M., C.E. Kellogg and J. Thorp. 1938. Soil Classification, pp. 979-1001. *In* **Soils and Men, Yearbook of Agriculture.** U.S. Dept. Agr., U.S. Govt. Printing Office, Washington. D.C.
- Beinroth, F.H., H. Eswaran, F. Palmieri and P.F. Reich. 1996. **Properties, Classification and Management of Oxisols.** Department of Agronomy and Soils, University of Puerto Rico.
- Bennema, J. 1967. The red and yellow soils of the tropical and subtropical upland, pp. 72-82. *In* J.V. Drew, ed. **Selected Paper in Soil Formation and Classification.** Soil Sci. Soc. Amer. Special Pub. No. 1, Madison, Wisconsin.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363-382. *In* A. Klute, ed. **Methods of Soil Analysis. Part I.** 2nd ed. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.
- Bloom, P.R. 2000. Soil pH and pH Buffering, pp. B333-B352. *In* M.E. Sumner, ed. **Handbook of Soil Science.** CRC Press LLC.
- _____ and D.F. Grigal. 1985. Modeling soil response to acidic deposition in non-sulfate adsorbing soils. **J. Environ. Qual.** 14: 481-495.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soils.** 14th ed., Pearson-Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. **Soil Sci.** 59: 39-45.

- Brikeland, P.W. 1974. **Pedology, Weathering and Geomorphological Research.** Oxford Univ. Press, New York.
- Brindley, G.W. and G. Brown. 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification, pp. 305-359. *In* G.W. Brindley and G. Brown, eds. **Crystal Structure of Clay Minerals and Their X-ray Identification. Mineralogical Society Monograph. No. 5.** Spottiswoode Ballantyne Ltd., London.
- Bullock, P., N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops, T. Turisna, U. Bablel, J. Agrilar, H.J. Altemuller, E.A. Fitzpatrick, S.T. Kowalinski, G.K. Rutherford and E.A. Yarilova. 1985. **Handbook for Thin Section Description.** Waine Research, Albrighton, United Kingdom.
- Buol, S.W. 1987. Fertility capability classification system and its utilization, pp. 317-331. *In* **Soil Management under Humid Conditions in Asia (ASIALAND).** IBSRAM Proceedings No. 5, Bangkok.
- _____, R.J. Southard, R.C. Graham and P.A. McDaniel. 2010. **Soil Genesis and Classification.** 5th eds. Iowa State Press. A Blackwell Pub Co., Ames.
- Burt, R. 2004. **Soil survey laboratory methods manual.** Soil Survey Investigations Report No. 42 V. 4 United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Calvert, C.S., S.W. Buol and S.B. Weed. 1980. Mineralogical characteristics and transformation of a vertical rock saprolite-soil sequence in the North Carolina piedmont : I Profile morphology, chemical composition and mineralogy. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 44: 1096-1103.

- Chapman, N. 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., Madison, Wisconsin, USA.
- Chibsa, T. and A. Asefa. 2009. Assessment of Soil Organic Matter under Four Land Use Systems in the Major Soils of Bale Highlands, South East Ethiopia b. Factors Affecting Soil Organic Matter Distribution. **World Applied Sci. J.** 6(11): 1506-1512.
- Couto, W. 1988. The fertility capability classification system, pp. 207-213. *In* **First Training Workshop on Site Selection and Characterization.** IBSRAM Technical Notes No. 1, Bangkok.
- Culley, J.L.B. 1993. Density and compressibility, pp. 529-540. *In* M.R. Carter, ed. **Soil Sampling and Methods of Analysis.** Canadian Society of soil Science, Lewis publishers, Boca Raton , FL.
- Davy, B.G. , J.D. Russell and M.J. Wilson. 1975. Iron oxide and clay minerals and their relation to colours of red and yellow podzolic soils near Sydney , Australia. **Geoderma** 14: 125-138.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis, pp. 545-567. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis. Part I.** Agronomy, No.9. Amer. Soc. of Agron. Inc.,Madison, Wisconsin, USA.
- Dutrow, B.L., Louisiana State University, C.M. Clark, Eastern Michigan University. 2011. **X-ray Powder Diffraction (XRD).** Montana State Uni. Available Source: http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html
- Eiumnoh, A. 1984. Application of soil taxonomy to fertility capability classification of problem soils in the S.E. Coast of Thailand, pp. 169-190. *In* **Ecology and Management of Problem Soils in Asia.** FFTC Book Series No. 27. Taipei, Taiwan.

- Eswaran, H. and W.C. Bin. 1978. A study of a deep weathering profile on granite in Peninsular Malaysia. I. Physico chemical and micromorphological properties. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 42: 144-149.
- Faithfull, N.T. 2002. **Methods in Agricultural Chemical Analysis.** CAB International, Wallingford, UK.
- Gilkes, R.J. and A. Suddhiprakarn. 1979. Biotite alteration in deeply weathered granite. II. The oriented growth of secondary minerals. **Clays Clay Miner.** 27: 361-367.
- Goldberg, S. and H.S. Foster. 1990. Flocculation of reference clays and arid-zone soil clay. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 54: 714-718.
- Gorbunov, N.I. 1968. Occurrence of clay minerals in soils as related to fertility, pp. 61-65. *In* **Transaction of the Ninth International Congress of Soil Science.** Adelaide.
- Goss, D.W. and B.L. Allen. 1968. A genetic study of two soils developed on granite in Llano Country, Texas. **Soil Sci. Amer. Proc.** 32: 409-413.
- Goudic, A. 1973. **Duricrust in Tropical and Subtropical Landscapes.** Oxford University Press, London.
- Graham, R. C. and S. W. Buol. 1990. Soil-geomorphic relations on the Blue Ridge Front: II. Soil characteristics and pedogenesis. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 54: 1367-1376
- Grim, R.E. 1968. **Clay Mineralogy.** McGraw-Hill Book Co., New York.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizer: an Introductio to Nutrient Management.** 7th ed., Prince-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

- Hewitt, A. 2004. **Soil properties for plant growth: A guide to recognising soil attributes relevant to plant growth and plant selection.** Landcare Research Science Series No. 26 Lincoln, Canterbury, New Zealand.
- Hillel, D. 1998. **Environment Soil Physics.** Academic Press, San Diego, U.S.A.
- Hradi, D., T. Grygar, J. Hradilova and P. Bezdicka. 2003. Clay and iron oxide pigments in the history of painting. **Applied Clay Sci.** 22: 223 - 236.
- Iwata, S., T. Tabuchi and B.P. Warkentin. 1995. **Soil Water Interaction; Mechanisms and Applications.** 2nd ed. Macel Dekker, Inc., Madison Avenue, New York, USA.
- Jackson, M.L. 1965. **Soil Chemistry Analysis.** Advanced Courses Dept. of Soils, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.
- Juma, N.G. 2001. **The Pedosphere and Its Dynamics: : A Systems Approach to Soil Science.** Salman Productions Inc., Edmonton, Alberta, Canada.
- Kahr, G. and F.T. Madsen. 1995. Determination of the cation exchange capacity and the surface area of bentonite, illite and kaolinite by methylene blue adsorption. **Applied Clay Sci.** 9: 327-336
- Kalembasa, D. 2008. Carbon and nitrogen in organic matter fractions of Histosols located in upper valley of Liwiec river [Poland]. **Roczniki Gleboznawcze J.** 59(2): 98-103.
- Kang, B.T. G.F. Wilson, and L. Sipkens. 1981. Alley cropping mize and leucaena in Southern Nigeria. **Plant Soil** 63:165.

- Kheoruenromne, I. 1989. The fertility capability soil classification system: applications and interpretation for crop production planning, pp. 235-249. *In Asialand Workshop on the Establishment of Soil Management Experiments on Sloping Lands*. IBSRAM Technical Notes No. 3, Bangkok.
- Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soils. **Soil Sci.** 68: 15-24.
- Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil, pp. 210-220. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis. Part I**. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA.
- Kononova, M.M. 1966. **Soil Organic Matter**. Pergamon Press, New York.
- Krishna Murti, G.S.R. and K.V.S. Satyanarayana. 1971. Influence of chemical characteristics in the development of soil colour. **Geoderma** 5: 243-248.
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand**. Dept. of Land Development, Ministry of Agri. And Coop., Bangkok.
- Li, H.X., X.M. Zhang, X.C. Chen, and W.S. Lu. 1999. Soil and Water Conservation Strategies on the Red and Yellow Soils of South China, pp. 165-170. *In Sustaining the Global Farm*. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- MacRae, R.J. and G.R. Mehuys. 1985. The effect of green manuring on the physical properties of temperate-area soils. **Adv. Soil Sci.** 3: 71-94.

- Mannal, U.K., G. Singh, U.S. Victor and K.L. Sharma. 2003. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. **Europ. J. Agron.** 19: 225-237.
- Marshall, T.J. and J.W. Holmes. 1979. **Soil Physics.** Cambridge University Press, London.
- McCaleb, S.B. 1959. The genesis of the red-yellow podzolic soils, pp. 61-71. *In* J.V. Drew, ed. **Selected Paper in Soil Formation and Classification.** Soil Sci. Soc. Amer. Special Pub. No. 1, Madison, Wisconsin.
- McFarlane, M.J. 1976. **Laterite and Landscape.** Academic Press, London.
- McKeague, J.A. 1967. An evaluation of 0.1 M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. **Can. J. Soil Sci.** 46: 13-22.
- _____ and J.H. Day. 1996. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Can. J. Soil Sci.** 46: 13-22.
- Mehra, O.P. and M.L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays in a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium. **Clays Clay Miner.** 7: 317-327.
- Melfi, A.J., C.C. Cerri, B.I. Kronberg, W.S. Fyfe and B. McKinnon. 1983. Gronic weathering : A Brazillian study. **J. Soil Sci.** 34:841-851.
- Mengesha, Y.G.S. 2004. **Modeling of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer Recommendations for Maize (Zea Mays L.) Grown on Alfisols of Northwestern Ethiopia.** Ph.D. dissertation, Kasetsart University.

Moncharoen, L. 1992. Red soils of Thailand, pp. 21–26. *In* G. Zitong, ed. **Proceedings of the International Symposium on Management and Development of Red Soils in Asia and Pacific Region**. Science Press, Beijing.

National Soil Survey Center. 1996. **Soil Survey Laboratory Method Manual**. Soil Survey Investigation. Report No. 42, Version 3.0 National Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.

Oilier, C.D. 1969. **Weathering**. Oliver and Boyd, Edinburgh.

Olson, R.V. and Jr.E. Roscoe. 1982. Iron, pp. 301-312. *In* C.A. Black (ed.). **Methods of Soil Analysis. Part II**. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

O'Neal, A.M. 1952. **Pedology** (translation from French). George Allen and Unwin Ltd., London.

Orlov, D.S. 1992. **Soil Chemistry**. A.A. Balkema Puplicher, Brookfield

Oughton, G.A. 1972. **Proposal for a Highland Zonal Development Project**. Tribal Research Centre, Chiang Mai, Thailand.

Owens, L.B. and J.P. Watson. 1979. Rate of weathering and soil formation on granite in Rhodesia. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 43:160-166.

Panichapong, S.C., L. Moncharoen, S. Rojanasoonthon, P. Vijarnsorn, C. Jongpakdee, P.R. Michael and W.A. Bailey. 1978. **Characteristics of Some Soils in Thailand**. Tour guide for the international soil classification workshop. Soil Survey Division, Land Development Department, Bangkok.

- Pawel L.U., T.B. Edmund, M.G. David, N. Sreedevi and C.B. Neil. 2007. Electrophoretic method for assessment of substrate promiscuity of a heterogeneous biocatalyst using an area imaging ultraviolet detector. **The Royal Soc. of Chem.** 132: 979-982.
- Peech, M. 1945. Determinations of exchangeable cations and exchange capacity of soils rapid micromethods utilizing centrifuge and spectrophotometer. **Soil Sci.** 59: 25-28.
- Peel, M.C., B.L. Finlayson and T.A. McMahon. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth Syst. Sci.** 11: 1633-1644.
- Pratt, P.E. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. In C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis. Part II.** Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin, USA.
- Richards, L.A. 1954. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils.** U.S. salinity Laboratory, U.S. Dept. Agr. Hbk. 60.
- Robertson, G.P. and P.M. Groffman. 2007. Nitrogen transformation, pp 341-364 In E.A. Paul, ed. **Soil Microbiology, Biochemistry and Ecology.** Springer, New York, USA.
- Samrit, B., I. Kheoruenromne, A. Suddhiprakarn. 2007. Properties and agricultural potential of highland soils in Khao Kho area, Phetchabun Province, p.252. In **The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand. Science and Technology for Global Sustainability.** Walailuk University, Nakhon Si Thammarat, Thailand.
- Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soil in the Tropics.** John Wiley and Son, Inc., New York.
- _____, W. Cauto and S.W. Buol. 1982. The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification. **Geoderma** 27: 283-309.

Sanchez, P.A., J.H. Villachica and D.E. Bandy. 1983. Soil fertility dynamics after cleaning a tropical rainforest in Peru. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 47:1171-1178.

_____, C.A. Palm and S.W. Buol. 2003. Fertility capability soil classification : a tool to help assess soil quality in the tropics. **Geoderma** 114: 157-185.

Sangakkara, U.R., M. Liedgens, A. Soldati and P. Stamp. 2004. Root and shoot growth of maize (*Zea mays*) as affected by incorporation of *Crotalaria juncea* and *Tithonia diversifolia* as green manures. **J. Agron. Crop Sci.** 190: 339-346.

Schaetzl, R.J. and S. Anderson. 2005. **Soils: Genesis and Geomorphology**. Cambridge University Press.

Scheinost, A.C. and U. Schwertmann. 1999. Color identification of iron oxides and hydroxysulfates: Use and limitation. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 63: 1463-1471.

Schwertmann, U. and R.M. Taylor. 1989. Iron oxides. In J.B. Dixon and S. B. Weed, eds. **Minerals in Soil Environments, 2nd ed.** SSSA Book Series, No. 1. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, pp. 379-438.

Singh, G., S.K. Jalota and Y. Singh. 2006. Manuring and residue management effects on physical properties of a soil under the rice wheat system in Punjab, India. **Soil Tillage Res.** (in press).

Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual**. United States Department of Agriculture Handbook No. 18. United State Department of Agriculture, United States Government Printing Office, Washington, D.C.

Soil Survey Staff. 2010. **Key to Soil Taxonomy**, 10th ed. Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture, Washington, D.C.

- Sparks, D.L. 1995. **Environmental Soil Chemistry**. Academic Press, San Diego.
- Suddhiprakarn, A., I. Kheoruenromn, P. Sindusen and K. Yoothong. 1985. Clay minerals and iron oxides of selected red and yellow soils in Northeast Plateau and Southeast Coast, Thailand. **Kasetsart J.** 19: 265-271.
- Tangsinmankong, W. 2004. **Carbon stocks in Soil of Mixed Deciduous Forest and Teak Plantation**. M.S. Thesis, Mahidol University.
- Tawornpruek, S. 2005. **A Comparison of Properties of Red Oxisols Under Tropical Savanna and Tropical Monsoonal Climates in Thailand**. Ph.D. Thesis, Kasetsart University, Bangkok.
- Thompson, L.M. and F.R. Troeh. 1978. **Soil and Soil Fertility**. 4th ed. McGraw-Hill Inc., New York.
- Thomus, G.W. 1982. Exchange cations, pp. 159-165. In A.L. Page ed. **Methods of Soil Analysis. Part II**. 2nd ed., Amer. Soc. of Agron., Inc., Madison, USA.
- Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1975. **Soils Fertility and Fertilizers**. Macmillan Publ, New York.
- Trakoonyingcharoen, P., I. Kheoruenromne, A. Suddhiprakarn and R.J. Gilkes. 2006. Properties of kaolins in red Oxisols and red Ultisols in Thailand. **Applied Clay Sci.** 32:25-39.
- Van Raij, B. and M. Peech. 1972. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 36: 587-593.
- Virgo, K.J. and D.A. Holmes. 1977. Soils and landform features of mountainous terrain in South Thailand. **Geoderma** 18: 207-225.

- Uehara, G. 1979. Mineralo-chemical properties of Oxisols, pp. 45-60. *In Proceedings of 2nd International Soil Classification Workshop, Part I.* Thailand.
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chroma acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-35.
- Whittig, L.D. 1965. X-ray diffraction technique for minerals identification and mineralogical composition, pp. 671-698. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis. Part II.** Monograph No. 9. American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin.
- Wiriyakitnateekul, W.P. 2005. **The Properties of Clays in Red and Yellow Soil of Thailand.** Ph.D. Dissertation, Kasetsart University.
- Yassoglou, N., C. Kosmas and N. Moustakas. 1997. The red soils, their origin, properties, use and management in Greece. *Catena* 28: 261-278.
- Young, A. 1976. **Tropical soils and Soil Survey.** Cambridge Univ. Press, London.
- Yukselen Y. and A. Kaya. 2008. Suitability of the methylene blue test for surface area, cation exchange capacity and swell potential determination of clayey soils. *Eng. Geol.* 102: 38-45.
- Zhang, H., G.L. Zhang, Y.G. Zhao, W.J. Zhao, Z.P. Qi. 2007a. Chemical degradation of a Ferralsol (Oxisol) under intensive rubber (*Hevea brasiliensis*) farming in tropical China. *Soil Tillage Res.* 93: 109-116.
- Zhang, J.E., Y. Ouyang and D.J. Ling. 2007b. Impacts of simulated acid rain on cation leaching from the Latosol in south China. *Chemosphere* 67: 2131-2137.

Zhang, M.K. and J.M. Xu. 2005. Restoration of surface soil fertility of an eroded red soil in southern China. **Soil Tillage Res.** 80: 13-21.





ภาคผนวก

คำอธิบายหน้าตัดดิน (Soil profile description)

Pedon 1

I Information on the site

Profile symbol	: Pedon 1
Soil name	: Mae Taeng (Mt) series 1
Classification	: Typic Kandiuustult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic
Date of examination	: October 30, 2009
Described by	: Irb Kheoruenromne, Wipawan Thaymuang, Daojarat Katerote, Boontarik Chimchart, Worachart Wisawapipat, Chaleamraj Jitjalearnporn
Location	: Ban Pang Kwang, Tambon Inthakhil, Amphoe Mae Taeng, Changwat Chiang Mai.
Elevation	: Approximately 385 m (MSL)
Map sheet number	: 5339 III Coordination: 47Q 0494497 ^E , 2116802 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Upper mid-slope
2. Surrounding landform	: Rolling
3. Slope on which profile site	: 16% Aspect: 61 Azimuth
Land use	: Degraded dipterocarp forest with relatively good ground cover
Annual rainfall	: Approximately 1400 mm
Mean temperature	: Approximately 26 °C
Climate	: Tropical savanna
Others	: Forest plantation and dry tropical fruit orchards

II General information on the soil

Parent material	: Local alluvium and colluvium
Drainage	: Well drained
Permeability	: Moderate
Runoff	: Rapid
Depth of ground water	: Deeper than 200 cm at time of sampling

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Ap1	0-8	Black (5YR 2.5/1); sandy loam; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and slightly plastic; few very fine, fine and medium vesicular and few tubular pores; many very fine, fine, medium and few coarse roots; few variegated sands and few charcoal fragments; common traces of dead roots; slightly acid (field pH 6.5); abrupt and smooth boundary to Bt1.
Bt1	8-34	Dark red (2.5YR 3/6); sandy clay loam; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard dry, friable moist, moderately sticky and moderately plastic; few faint clay coats on pore walls and ped faces; common very fine, few fine and medium vesicular and few tubular pores; common very fine, fine, medium and few coarse roots; common quartz fragments and few variegated sand; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 5); clear and smooth boundary to Bt2.
Bt2	34-56	Dark red (2.5YR 3/6); slightly gravelly sandy clay loam; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard dry, slightly friable moist, moderately sticky and moderately plastic; common distinct clay coats on ped faces and pore walls; common very fine,

		few fine vesicular and few tubular pores; few very fine, common fine, medium and few coarse roots; few quartz fragments and charcoal fragments; few traces of dead roots and few iron-manganese oxide nodules; very strongly acid (field pH 5); clear and smooth boundary to Bt3.
Bt3	56-85	Dark red (2.5YR 3/6); slightly gravelly sandy clay loam; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard dry, friable moist, moderately sticky and moderately plastic; common distinct clay coats on ped faces and pore walls; few very fine, common fine and medium vesicular and few tubular pores; few very fine, fine, medium and coarse roots; few quartz fragments; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); gradual and smooth boundary to Bt4.
Bt4	85-111	Dark red (2.5YR 3/6); clay loam; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard dry, friable moist, moderately sticky and moderately plastic; common prominent clay coats on ped faces and pore walls; few very fine, fine and medium vesicular and few tubular pores; very few very fine, fine and coarse roots; few quartz fragments and fine iron-manganese oxide nodules; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); clear and smooth boundary to Bt5.
Bt5	111-140	Red (2.5YR 4/6); clay loam; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard dry, friable moist, moderately sticky and moderately plastic; common distinct clay coats on ped faces and pore walls; very few very fine, few fine and medium vesicular and few tubular pores; very few very fine and fine roots; few quartz fragments and fine iron-manganese oxide nodules; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); gradual and smooth boundary to Bt6.
Bt6	140-170	Red (2.5YR 4/6); sandy clay loam; strong fine and medium semi-angular blocky structure; very hard dry, friable moist, moderately sticky and slightly plastic; common prominent clay coats on ped faces and pore walls; very few very fine, few fine and medium vesicular and few tubular pores; very few very fine and fine roots; common quartz fragments and fine iron-manganese oxide nodules; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5)

Pedon 2**I Information on the site**

Profile symbol	: Pedon 2
Soil name	: Mae Taeng (Mt) series 2
Classification	: Typic Kandiuustox, fine, kaolinitic, isohyperthermic
Date of examination	: October 30, 2009
Described by	: Irb Kheoruenromne, Wipawan Thaymuang, Daojarat Katerote, Boontarik Chimchart, Worachart Wisawapipat, Chaleamraj Jitjalearnporn
Location	: Ban Pang Kwang, Tambon Inthakhil, Amphoe Mae Taeng, Changwat Chiang Mai.
Elevation	: Approximately 410 m (MSL)
Map sheet number	: 5339 III Coordination: 47Q 0495650 ^E , 2122209 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Upper dissected footslope
2. Surrounding landform	: Undulating
3. Slope on which profile site	: 3% Aspect: 133 Azimuth
Land use	: Mung bean field and others include mango teak plantation
banana bamboo	
Annual rainfall	: Approximately 1400 mm
Mean temperature	: Approximately 26 °C
Climate	: Tropical savanna
Others	: Mostly agricultural

II General information on the soil

Parent material	: Residuum derived from fine- grained basic igneous rock
Drainage	: Well drained
Permeability	: Moderate
Runoff	: Moderate
Depth of ground water	: Deeper than 190 cm at time of sampling

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Ap	0-20	Dark brown (7.5YR 3/2); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; many very fine and fine vesicular pores; many very fine, fine and few medium roots; few fine quartz fragments and common organic fragments; common traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); abrupt and smooth boundary to Bt1.
Bt1	20-46	Reddish brown (2.5YR 4/4) 60%, Dark brown (7.5 YR 3/2) 40%; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure partially parting to fine granular structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; few faint clay coats on pore walls mainly; many very fine and fine vesicular pores; common very fine, fine and few medium roots; common very fine sand grains embedded in clay matrix; few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); clear and smooth boundary to Bt2.
Bt2	46-72	Dark reddish brown (2.5YR 2.5/4); clay; moderate fine and medium subangular blocky partially parting to fine granular structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; few faint clay coats on pore walls; common very fine, fine and few medium vesicular and few simple tubular

		pores; few very fine, fine and medium roots; few fine variegated sands and few fine manganese oxide nodules, few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.0); clear and smooth boundary to Bt3.
Bt3	72-100	Dark reddish brown (2.5YR 2.5/4); clay; moderate fine and medium subangular blocky partially parting to fine granular structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; few faint clay coats on pore walls; many very fine and common fine vesicular and few tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few distinct of manganese oxide nodules and few fine variegated sands; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 4.5); clear and smooth boundary to Bto1.
Bto1	100-130	Dark reddish brown (2.5YR 2.5/4); clay; moderate fine and medium subangular blocky partially parting to fine granular structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and slightly plastic; few faint clay coats on pore walls; many very fine and common fine vesicular and few tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few distinct of manganese oxide nodules and few fine variegated sands; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.0); gradual and smooth boundary to Bto2.
Bto2	130-158/165	Dark reddish brown (2.5YR 2.5/4); clay; moderate fine and medium subangular blocky partially parting to fine granular structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and slightly plastic; few faint clay coats on pore walls; common very fine, fine and medium vesicular and few tubular pores; few very fine, fine and moderate roots; common fine manganese oxide nodules and few fine variegated sand; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.0); clear and wavy boundary to Btc.
Btc	165-188+	Dark reddish brown (2.5YR 2.5/4); very gravelly clay; moderate fine and medium subangular blocky structure parting along nodule; slightly hard, firm moist, slightly sticky and slightly plastic; very few faint clay coats on pore walls; few very fine, fine and common medium vesicular pores; very fine, very fine and fine roots; many manganese oxide nodules; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 4.5).

Pedon 3**I Information on the site**

Profile symbol	: Pedon 3
Soil name	: Unknown
Classification	: Typic Kandiuox, very fine, kaolinitic, isohyperthermic
Date of examination	: January 30, 2010
Described by	: Irb Kheoruenromne, Wipawan Thaymuang, Daojarat Katerote, Boontarik Chimchart, Worachart Wisawapipat, Chaleamraj Jitjalearnporn, Natthapol Chittamart
Location	: Ban Paong Gom Moo 4, Tambon Pa Maeng, Amphoe Doisaket, Changwat Chiang Mai
Elevation	: Approximately 492 m (MSL)
Map sheet number	: 5339 III Coordination: 47 Q 0521829 ^E , 2090439 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Top of lava corrosion plain
2. Surrounding landform	: Rolling
3. Slope on which profile site	: 8% Aspect: 244 Azimuth
Land use	: Mixed deciduous and dipterocarp forest
Annual rainfall	: Approximately 1300 mm
Mean temperature	: Approximately 24 °C
Climate	: Tropical savanna
Others	: Spared settlements and agriculture activity

II General information on the soil

Parent material	: Residuum derived from basalt
Drainage	: Well drained
Permeability	: Moderate
Runoff	: Moderate
Depth of ground water	: Deeper than 4 m at time of sampling

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-20	Dusky red (10R 3/4); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure parting to moderate medium and coarse granular structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and moderate plastic; many very fine, fine vesicular, few fine tubular pores; common very fine, many fine and common medium roots; few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); diffuse and smooth boundary to Bo.
Bo	20-50	Dusky red (10R 3/4); clay; strong fine and medium subangular blocky structure parting to strong coarse and medium granular structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderate plastic; few distinct clay coats on ped faces; many very fine, fine vesicular pores; common very fine, fine and medium roots; very few fine clay balls; very few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); clear and smooth boundary to Bt1.
Bt1	50-80	Dusky red (10R 3/4); clay; strong fine and medium subangular blocky structure parting to strong medium and coarse granular; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and moderately plastic; few faint clay coats on ped faces and pore walls; common very fine and fine vesicular, few fine tubular pores; common very fine, fine and few medium roots; very few fine iron oxide nodule and clay balls; few traces of dead roots; moderately acid (field pH

Bto2	80-110	6.0); clear and smooth boundary to Bto2. Dusky red (10R 3/4); clay; strong fine and medium subangular blocky structure parting to strong medium and coarse granular; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; common very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and common medium roots; very few fine iron oxide nodule and clay balls; few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); diffuse and smooth boundary to Bto3.
Bto3	110-140	Dusky red (10R 3/4); clay; strong fine and medium subangular blocky structure parting to strong medium and coarse granular; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and moderately plastic; common distinct clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; very few fine iron oxide nodule and clay balls; very few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); diffuse and smooth boundary to Bto4.
Bto4	140-170	Dusky red (10R 3/4); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and common medium roots; very few fine iron oxide nodule and clay balls; very few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); diffuse and smooth boundary to Bto5.
Bto5	170-200+	Dusky red (10R 3/4); clay; strong fine and medium subangular blocky structure parting to strong coarse granular; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and medium vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and common medium and one coarse roots; very few fine iron oxide nodule and clay balls and few fine cracks; very few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0)

Pedon 4**I Information on the site**

Profile symbol	: Pedon 4
Soil name	: Chiang Kong (Cg)
Classification	: Typic Kandiodox, fine, kaolinitic, isohyperthermic
Date of examination	: October 29, 2009
Described by	: Irb Kheoruenromne, Wipawan Thaymuang, Daojarat Katerote, Boontarik Chimchart, Worachart Wisawapipat, Chaleamraj Jitjalearnporn
Location	: Ban Jogo, Tambon Wiang, Amphoe Chiang Kong, Changwat Chiang Rai.
Elevation	: Approximately 370 m (MSL)
Map sheet number	: 5339 III Coordination: 47Q0646761 ^E , 2237748 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Top of low residual hill
2. Surrounding landform	: Undulating
3. Slope on which profile site	: 5% Aspect: 274 Azimuth
Land use	: Mixed deciduous forest remnants with teak regrowth
Annual rainfall	: Approximately 1800 mm
Mean temperature	: Approximately 26 °C
Climate	: Tropical savanna
Others	: Highway maintenance station

II General information on the soil

Parent material	: Residuum derived from Andisite
Drainage	: Well drained
Permeability	: Moderate
Runoff	: Moderate
Depth of ground water	: Deeper than 200 cm at time of sampling

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-10	Dark brown (7.5YR 3/3); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, moderately sticky and moderately plastic; few very fine and fine vesicular and fine simple tubular pores; common very fine, fine, medium and few coarse roots; few fine cracks and few manganese oxide nodules; common traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); abrupt and smooth boundary to Bt1.
Bt1	10-25	Yellowish red (5YR 4/6); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, slightly firm moist, moderately sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; common fine and medium vesicular and few fine tubular pores; common very fine, fine and medium roots; few fine cracks, few iron- manganese oxide nodules; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 5.0); clear and smooth boundary to Bt2.
Bt2	25-45	Yellowish red (5YR 4/6); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, moderately sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few iron- manganese oxide nodules and few fine cracks; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 5.0); gradual and smooth

		boundary to Bt3.
Bt3	45-70	Yellowish red (5YR 4/6); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure partially parting to strong granular structure; hard dry, firm moist, moderately sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few iron- manganese oxide nodules and few fine cracks; few traces of dead roots and very few black manganese oxide nodules; very strongly acid (field pH 5.0); clear and smooth boundary to Bt4.
Bt4	70-95	Red (2.5YR 4/8) 60%, Yellowish red (5YR 5/6) 40%; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, moderately sticky and very plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few iron- manganese oxide nodules and few fine cracks; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 5.0); clear and smooth boundary to Bt5.
Bt5	95-125	Strong brown (7.5YR 5/6) 30%, Red (2.5YR 4/8) 70%; clay; moderate fine and medium semi-angular blocky structure; hard dry, firm moist, moderately sticky and very plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls and clay coats decreases; common very fine and few fine vesicular and fine tubular pores; very few very fine, fine and medium roots; few iron- manganese oxide nodules and few fine cracks and few quartz fragments; very strongly acid (field pH 5.0); clear and smooth boundary to Bt6.
Bt6	125-150	Red (2.5YR 4/8) 45%, Strong brown (7.5 YR 5/6) 55%; clay; moderate fine and medium subangular structure; hard dry, firm moist, very sticky and very plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine, fine and medium vesicular and few fine tubular pores; very few very fine and fine roots; few fine cracks and few spotted iron-oxide accumulation; very strongly acid (field pH 4.5); clear and smooth boundary to Bv1.
Bv1	150-175	Red (2.5YR 4/6) 40%, Reddish yellow (7.5 YR 6/6) 60%; clay; moderate fine and medium subangular structure; very hard dry, very firm moist, moderately sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine, fine and medium vesicular and few fine tubular pores; practically no roots; common segregation iron-oxides and clay as plinthite; very strongly acid (field pH 4.5); clear and smooth boundary to Bv2.
Bv2	175-200+	Red (2.5YR 4/8) 50%, Reddish yellow (7.5 YR 6/6) 50%; clay; strong fine and medium subangular structure and plinthite structure; very hard dry, very firm moist, moderately sticky and moderately plastic; common distinct clay coats on ped faces and pore walls and nodules surface; few very fine, fine and medium vesicular and few fine tubular pores; practically no roots; common segregation of iron-oxides and few cracks; very strongly acid field pH 4.5.

Pedon 5**I Information on the site**

Profile symbol	: Pedon 5
Soil name	: Unknown
Classification	: Typic Kandistult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic
Date of examination	: January 30, 2010
Described by	: Irb Kheoruenromne, Wipawan Thaymuang, Daojarat Katerote, Boontarik Chimchart, Worachart Wisawapipat, Chaleamraj Jitjalearnporn, Natthapol Chittamart
Location	: Ban Mae Chedi, Tambon Mae Chedi, Amphoe Wiang Pa Pao, Changwat Chiang Rai.
Elevation	: Approximately 608 m (MSL)
Map sheet number	: 5339 III Coordination: 47 Q0552926 ^E , 2120952 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Upper mid-slope of lava corrosion plain
2. Surrounding landform	: Hilly
3. Slope on which profile site	: 17% Aspect: 78 Azimuth
Land use	: Deciduous mixed with teak plantation
Annual rainfall	: Approximately 1300 mm
Mean temperature	: Approximately 24 °C
Climate	: Tropical savanna
Others	: Agricultural

II General information on the soil

Parent material	: Residuum derived from basalt
Drainage	: Well drained
Permeability	: Moderate
Runoff	: Moderate
Depth of ground water	: Deeper than 220 cm at time of sampling

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-30	Dark reddish brown (2.5YR 3/4); clay; strong fine and medium subangular blocky partially parting to coarse and medium granular structure; slightly hard dry, slightly firm moist, moderately sticky and moderately plastic; few faint clay coats on pore walls mainly; many very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; many very fine, fine and medium roots; few fine weathered rock fragments; few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); clear and wavy boundary to Bto.
Bto	30-60	Dark red (2.5YR 3/6); clay; strong fine and medium subangular blocky structure partially parting to coarse and medium granular structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and moderate plastic; few faint clay coats on pore wall; common very fine and fine vesicular and very few fine tubular pores; many very fine, fine and common medium roots; very few fine weathered quartz fragments; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); clear and wavy boundary to Bto.
Bt1	60-85	Dark red (10R 3/6); clay; moderate fine and medium subangular blocky partially parting to medium and fine granular structure; slightly hard dry, friable moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; common very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; common very fine, fine and few medium roots; few fine quartz

		fragments and fine cracks, few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); clear and smooth boundary to Bt2.
Bt2	85-115	Dark red (10R 3/6); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; common very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; common very fine, fine and few medium roots; few fine quartz fragments and fine crack and few very fine weathered rock fragments; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual and smooth boundary to Bt3.
Bt3	115-146	Dark red (10R 3/6); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; common very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; common very fine, fine and few medium roots; few fine weathered rock fragments; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); clear and smooth boundary to Bt4.
Bt4	146-172	Dark red (10R 3/6); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; common very fine, fine and few medium roots; few very fine weathered rock fragments and fine rounded dark nodules of iron and manganese oxide; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); gradual and smooth boundary to Bt5.
Bt5	172-200+	Dark red (10R 3/6); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few very fine weathered rock fragments and fine rounded dark nodules of iron and manganese oxide; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5)

Pedon 6**I Information on the site**

Profile symbol : Pedon 6
 Soil name : Chiang San (Cs)
 Classification : Rhodic Kandudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic
 Date of examination : January 31, 2010
 Described by : Irb Kheoruenromne, Wipawan Thaymuang, Daojarat Katerote, Boontarik Chimchart, Worachart Wisawapipat, Chaleamraj Jitjalearnporn, Natthapol Chittamart
 Location : Ban Pa Oak, Tambon Nang Lae, Amphoe Muang, Changwat Chiang Rai.
 Elevation : Approximately 425 m (MSL)
 Map sheet number : 5339 III Coordination: 47 Q0592418^E, 2212000^N

Landform

1. Physiographic position : Top of dissected residual plain
 2. Surrounding landform : Rolling
 3. Slope on which profile site : 8% Aspect: 350 Azimuth
 Land use : Left idle as a borrow pit; Teak plantation nearby
 Annual rainfall : Approximately 1500 mm
 Mean temperature : Approximately 24 °C
 Climate : Tropical savanna
 Others : Agricultural and settlement

II General information on the soil

Parent material : Residuum derived from metamorphic rock
 Drainage : Well drained
 Permeability : Moderate
 Runoff : Moderate
 Depth of ground water : Deeper than 200 cm at time of sampling

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-15/20	Dark reddish brown (2.5YR 2.5/3); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, moderately sticky and moderately plastic; many very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; many very fine and fine roots; few quartz fragments and fine clay balls, common traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); clear and wavy boundary to AB.
AB	20-41	Dark reddish brown (2.5YR 3/4); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, slightly firm moist, moderately sticky and moderately plastic; few faint clay coats on ped face and pore walls; few very fine, common fine and few medium vesicular pores; many very fine and fine roots; very few fine weathered rock fragments, common traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); clear and smooth boundary to Bt1.
Bt1	41-61	Dark reddish brown (2.5YR 3/4); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; common very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; common very fine and fine roots; few very fine quartz fragments and weathered rock fragments, few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 5.0); clear and smooth boundary to Bt2.

Bt2	61-86	Dusky red (10R 3/4) 60%, Dark red (2.5YR 3/6) 40%; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; common very fine, fine and one large decaying roots; few quartz fragments and very fine weathered rock fragments; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 5.0); clear and smooth boundary to Bt3.
Bt3	86-110	Dusky red (10R 3/4) 60%, Dark red (2.5YR 3/6) 40%; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure partially parting to moderate fine granular structure; slightly hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; common very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine and fine roots; very few fine weathered rock fragments; few traces of dead roots; very strongly acid (field pH 5.0); clear and smooth boundary to Bt4.
Bt4	110-140	Dusky red (10R 3/4) 60%, Dark red (2.5YR 3/6) 40%; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; common very fine and few fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine and fine roots; very few fine weathered rock fragments and few fine cracks; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual and smooth boundary to Bt5.
Bt5	140-172	Dark red (2.5YR 3/6) 70%, Dusky red (10R 3/4) 30%; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; few faint clay coats on ped faces and pore walls; very few very fine, few fine and medium vesicular and fine tubular pores; very few very fine and fine roots; very few fine weathered rock fragment and few fine cracks; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual and smooth boundary to Bt6.
Bt6	172-200+	Dark red (2.5YR 3/6) 70%, Dusky red (10R 3/4) 30%; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, slightly firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; common very fine, fine and few medium vesicular and fine tubular pores; very few very fine and fine roots; very few fine weathered rock fragments and few fine cracks; strongly acid (field pH 5.5).

Pedon 7**I Information on the site**

Profile symbol	: Pedon 7
Soil name	: Nong Mod (Nm)
Classification	: Typic Paleudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic
Date of examination	: February 1, 2010
Described by	: Irb Kheoruenromne, Wipawan Thaymuang, Daojarat Katerote, Boontarik Chimchart, Worachart Wisawapipat, Chaleamraj Jitjalearnporn, Natthapol Chittamart
Location	: Ban Mai Bua Daeng Moo 15, Tambon Mae Khaw Tom, Amphoe Muang, Changwat Chang Rai
Elevation	: Approximately 381 m (MSL)
Map sheet number	: 5339 III Coordination: 47 Q0598895 ^E , 2215781 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Lower footslope of dissected residual hill
2. Surrounding landform	: Rolling
3. Slope on which profile site	: 14% Aspect: 96 Azimuth
Land use	: Litchic and tamarind orchard
Annual rainfall	: Approximately 1500 mm
Mean temperature	: Approximately 24 °C
Climate	: Tropical savanna
Others	: Agricultural and settlement

II General information on the soil

Parent material	: Mixed colluviums and residuum derived from granite
Drainage	: Well drained
Permeability	: Moderate
Runoff	: Moderate
Depth of ground water	: Deeper than 300 cm at time of sampling

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Ap	0-20	Dark reddish brown (5YR 3/3) 50%, Dark red (2.5YR 3/6) 50%; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, moderately sticky and moderately plastic; few faint clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular pores; many very fine and fine roots; few rounded quartz fragments and fine nodule of iron and manganese oxide; common traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); clear and smooth boundary to Bt1.
Bt1	20-50	Dark red (2.5YR 3/6) 60%, Dark reddish brown (5YR 3/3) 40%; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, moderately sticky and moderately plastic; common distinct clay coats on ped face pore walls; few very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; common very fine and fine roots; few quartz fragments and weathered rock fragments; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); clear and smooth boundary to Bt2.
Bt2	50-80	Red (2.5YR 4/8) 60%, Dark reddish brown (2.5YR 3/4) 40%; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, slightly sticky and very plastic; common distinct clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine and fine roots; very few quartz fragments and few dark streak in tubular pores;

		few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual and smooth boundary to Bt2.
Bt3	80-110	Red (2.5YR 4/8) 65%, Dark reddish brown (2.5YR 3/4) 35%; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, slightly sticky and very plastic; common distinct clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; very few very fine and fine roots; few quartz fragments; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); clear and smooth boundary to Bt4.
Bt4	110-140	Red (2.5YR 4/8) 65%, Reddish brown (2.5YR 4/4) 35%; clay; strong fine and medium semi-angular blocky structure; hard dry, firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common distinct clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few quartz and weathered rock fragments; few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); gradual and smooth boundary to Bt5.
Bt5	140-170	Red (2.5YR 4/8) 50%, Reddish brown (2.5YR 4/4) 40%, Yellowish brown (10YR 5/6) 10%; clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard dry, firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common distinct clay coats on ped faces and pore walls; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; very few very fine and fine roots; few quartz fragments and weathered rock fragments and few fine cracks; few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); gradual and smooth boundary to Bt6.
Bt6	170-200+	Red (2.5YR 4/8) 50%, Reddish brown (2.5YR 4/4) 40%, Yellowish brown (10YR 5/6) 10%; clay; strong fine and medium semi-angular blocky structure; hard dry, firm moist, slightly sticky and moderately plastic; common distinct clay coats on ped faces and pore walls; very few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; very few very fine and fine roots; few quartz fragments and weathered rock fragments and few fine cracks; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual and smooth boundary to Bt6.

คำอธิบายลักษณะทางจุลศีฐานวิทยาของดิน (Soil Micromorphology)

Pedon 1 Typic Kandiuult, fine, kaolinitic, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
Ap1	0-8	<p><u>Microstructure</u> Bridged grain structure mixed of intergrain microaggregate structure; voids mainly are simple packing voids and few vughs, interconnected; estimated total porosity 30%.</p> <p><u>Basic mineral components</u> The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 75:25. Coarse fraction: Quartz fragments (polycrystalline quartz and broken quartz) are dominant, fine sand sizes (20-150 μm), subrounded; very few runi-quartz and broken quartz; poorly sorted. Fine fraction: clay sized material, yellowish brown to orange, dotted and speckled appearance under transmitted light</p> <p><u>Basic organic components</u> Abundant weakly to highly decomposed plant tissue residues and few very fine root plant</p> <p><u>Groundmass</u> The c/f distribution pattern is closed porphyric, the b-fabric of the micromass is undifferentiated.</p> <p><u>Pedofeatures</u> Non present</p>
Bt1	8-34	<p>Clay increase, dark red in color. the microstructure is subangular blocky structure, voids are planar voids and intrapedal vughs; estimated total porosity 20%. The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 50:50; orgnic components decreased. The c/f distribution pattern is open to closed porphyric. Textural pedofeature: red clay, moderately to strongly oriented clay coating and infillings on some voids, cover about 1% of the thin section area. Amorphous pedofeature: Dark brown iron oxide impregnated nodules, sized 50-100 μm with diffuse boundaries, cover about 1-2% of the total area.</p>
Bt3	56-85	<p>Similar to upper horizon but fine fraction increase. The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 25:75. Orgnic components decreased. The textural clay, thick clay coatings present about 10% of the thin section area. Dark brown iron oxide impregnated iron oxide nodules, sized 100-150 μm with diffuse boundaries, cover about 2-3% of the total area.</p>

Bt5	111-140	Similar to upper horizon but the red to dark brown iron oxide nodules, sized 200-300 μm with sharp to diffuse boundaries increase to cover about 10% of the total area.
Bt6	140-170	As the above horizon.

Pedon 2 Typic Kandiuox, fine, kaolinitic, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
Ap	0-20	<p><u>Microstructure</u> Granular structure, various sized peds; voids mainly are compound packing voids, few vughs and vesicles, interconnected; estimated total porosity 30%.</p> <p><u>Basic mineral components</u> The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 30:70. Coarse fraction: Quartz fragments are dominant, very fine sand to very coarse sand size, subrounded; very few runi-quartz, cracked quartz and broken quartz; poorly sorted; few tourmaline. Fine fraction: Clay sized material, reddish brown to dark brown, dotted and cloudy appearance under transmitted light</p> <p><u>Basic organic components</u> Few, moderately to highly decomposed plant tissue residues</p> <p><u>Groundmass</u> The c/f distribution pattern is close porphyric, the b-fabric of the micromass is undifferentiated.</p> <p><u>Pedofeatures</u> Amorphous pedofeature: Dark brown to black Fe-Mn-oxide impregnative nodules and the typic nodules, sized up to 1500 μm with sharp to diffuse boundaries, cover about 10% of the total area.</p>
Bt1	20-46	<p><u>Microstructure</u> Subangular blocky structure various sized peds, voids mainly are unaccommodate planar voids, few vughs; estimated total porosity 20%.</p> <p><u>Basic mineral components</u> The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 20:80. Coarse fraction: Quartz fragments are dominant, very fine sand to very coarse sand size, subrounded; very few runi-quartz and broken quartz; moderately sorted. Fine fraction: Clay sized material, red to yellowish brown, dotted and speckled appearance under transmitted light</p> <p><u>Basic organic components</u> Very few highly decomposed plant tissue residues</p>

Groundmass

The c/f distribution pattern is open to closed porphyric, the b-fabric of the micromass is undifferentiated.

Pedofeatures

Textural pedofeature: Reddish brown clay, moderately to strongly oriented clay coating and infillings present on some voids and cover about 2% of the thin section area.

Amorphous pedofeature: Dark brown to black Fe-Mn-oxide impregnative nodules, sized up to 1500 μm with sharp to diffuse boundaries, cover about 10% of the total area.

Bto1	100-130	Similar to upper horizon but coarse fraction is slightly decreased. Organic components are not present.
Bto2	130-158/165	As the above horizon
Btc	165-188+	The amorphous pedofeatures; the dark brown to black iron oxide impregnative nodules (200-1000 μm) usually have irregular shape sized up to 1 cm. with sharp boundaries cover about 50% of the thin section area.

Pedon 3 Typic Kandiuustox, very fine, kaolinitic, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-20	<p><u>Microstructure</u> Subangular blocky structure grading to granular structure; voids mainly are unaccommodate planar and compound packing voids and vesicles, interconnected; estimated total porosity 30%.</p> <p><u>Basic mineral components</u> The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 5:95. Coarse fraction: The mineral grains mostly are quartz grains and broken quartz, very fine sand to fine sand sizes, subrounded; very few runi-quartz and broken quartz; moderately sorted. Fine fraction: Red clay mixed with iron oxides, dotted and speckled appearance under transmitted light.</p> <p><u>Basic organic components</u> Few, Abundant moderately to highly decomposed plant tissue residues, some organic pigment staining to micromass and few very fine roots, very few soil animals remain.</p> <p><u>Groundmass</u> The c/f distribution pattern is open porphyric; the b-fabric of the micromass is undifferentiated.</p> <p><u>Pedofeatures</u> Amorphous pedofeature: Dark brown iron oxide nodules, sized 5-</p>

		700 μm with sharp boundaries, cover about 5% of the total area.
Bo	20-50	<p><u>Microstructure</u> Subangular blocky structure mixed with granular structure; voids mainly are compound packing voids and few vesicles, interconnected, few channels; estimated total porosity 20%.</p> <p><u>Basic mineral components</u> The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 2:98. Coarse fraction: The mineral grains mostly are quartz grains and broken quartz, very fine sand sizes (20-100 μm), subrounded; very few runi-quartz and broken quartz; moderately sorted. Fine fraction: Red clay sized material, dotted and speckled appearance under transmitted light.</p> <p><u>Basic organic components</u> Very few moderately to highly decomposed plant tissue residues,</p> <p><u>Groundmass</u> The c/f distribution pattern is open porphyric; the b-fabric of the micromass is undifferentiated, few grains to porrostriated.</p> <p><u>Pedofeatures</u> Textural pedofeature: Red clay mixed with iron osides coatings present on the wall of voids and ped faces cover about 2% of the thin section area. Amorphous pedofeature: Dark brown iron oxide nodules, sized 200 μm with sharp boundaries, cover about 2% of the total area.</p>
Bto1	50-80	Similar to the above Bo horizon, but the fine fraction slightly increases. Oraganic components are fine root and few soil animal remain. Amorphous pedofeature: Dark brown iron oxide nodules, sized 2 μm with sharp boundaries, cover about 2% of the total area.
Bto3	110-140	As the above horizon
Bto5	170-200+	Similar to the above horizon, but the coarse faction is slightly increase in size (sized up to fine sand)

Pedon 4 Typic Kandiudox, fine, kaolinitic, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-10	<p><u>Microstructure</u> Subangular blocky structure; voids mainly are accommodate planar voids and vesicles, interconnected, few channels; estimated total porosity 15%.</p> <p><u>Basic mineral components</u> The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 2:98.</p>

Coarse fraction: Dominantly single quartz grains range in size from silt size to fine sand size 20-100 μm , moderated sorted

Fine fraction: Clay to fine silt sized material, yellow to yellowish brown, dotted and speckled appearance under transmitted light.

Basic organic components

Generally are organic pigments and punctuation, common highly decomposed plant root and plant tissues, few charcoal fragments.

Groundmass

The c/f distribution pattern is open porphyric, the b-fabric of the micromass is undifferentiated.

Pedofeatures

Amorphous pedofeature: Dark brownish red iron oxide nodules, sized 5-100 μm with sharp boundaries, cover about 5% of the total area.

Bt1	10-25	The fine components is slightly increased; the c/f ratio is about 1:99. Orgnic components decreased. The amorphous pedofeature generally are iron oxide aggregate nodules increase to cover about 20%.
Bt3	45-70	As above horizon
Bt5	95-125	Similar to above horizon. but the coarse fraction is slightly increase
Bv2	175-200+	As above horizon

Pedon 5 Typic Kandiusult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-30	<p><u>Microstructure</u></p> <p>Subangular blocky structure grading to granular structure; voids mainly are compound packing voids, interconnected; total porosity is about 35% of the thin section area.</p> <p><u>Basic mineral components</u></p> <p>The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 20:80.</p> <p>Coarse fraction: The mineral grains mainly are quartz grains and broken quartz very fine sand 20-100 μm, subrounded to rounded; very few runi-quartz.</p> <p>Fine fraction: Red to reddish brown clay materials, dotted to cloudy appearance under transmitted light.</p> <p><u>Basic organic components</u></p> <p>Common amorphous organic fine material, moderately to highly decomposed plant tissue residues, few living root tissues, few charcoal fragments.</p>

		<p><u>Groundmass</u></p> <p>The c/f distribution pattern is open to closed porphyric; the b-fabric of the micromass is undifferentiated, few grains to porostriated.</p> <p><u>Pedofeatures</u></p> <p>Textural pedofeature: The dark red clay mixed with iron oxide coatings present on wall of voids and infillings in some voids, cover about 2% of the thin section area.</p>
Bto	30-60	<p><u>Microstructure</u></p> <p>Subangular blocky structure mixed with granular structure; voids mainly are compound packing voids, interconnected; total porosity is about 30% of the thin section area.</p> <p><u>Basic mineral components</u></p> <p>The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 15:85.</p> <p>Coarse fraction: The mineral grains mostly are quartz grains and broken quartz, very fine sand to medium sand size, subrounded to rounded; very few runi-quartz.</p> <p>Fine fraction: Red clay materials, dotted and cloudy appearance under transmitted light.</p> <p><u>Basic organic components</u></p> <p>Few amorphous organic fine material and punctuations</p> <p><u>Groundmass</u></p> <p>The c/f distribution pattern is open to close porphyric; the b-fabric of the micromass is undifferentiated.</p> <p><u>Pedofeatures</u></p> <p>Textural pedofeature: The dark red clay mixed with iron oxide coatings along voids and coating on ped face, cover about 1-2% of the thin section area.</p>
Bt1	60-85	<p>Similar to the above Bto horizon, the fine fraction slightly increases. Orgnic components decreased.</p>
Bt3	115-146	<p>As the above horizon.</p>
Bt5	172-200+	<p>Similar to the above horizon but the textural clay increase to present about 5% of the thin section area.</p>

Pedon 6 Rhodic Kandiudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
A	0-15/20	<p><u>Microstructure</u></p> <p>Subangular blocky structure; voids generally are planar voids and vughs, interconnected, few channels; porosity is about 20% of the thin section area.</p>

Basic mineral components

The c/f ratio limit at 10 μm , ratio of 5:95.

Coarse fraction: The mineral grains mostly are quartz grains and shale rock fragments, very fine sand to coarse sand size, subangular to subrounded; very few runi-quartz and broken quartz; moderately sorted.

Fine fraction: Clay to fine silt sized material, reddish brown to red, dotted and speckled appearance under transmitted light.

Basic organic components

Few amorphous organic fine materials and punctuation, very few soil animals remain, very few charcoal fragments.

Groundmass

The c/f distribution pattern is open porphyric; the b-fabric of the micromass is undifferentiated.

Pedofeatures

Non present.

Bt1

41-61

Microstructure

Subangular blocky structure; voids generally are compound packing voids and few vesicles, not interconnected; porosity is about 10% of the thin section area.

Basic mineral components

The c/f ratio limit at 10 μm , ratio of 5:95.

Coarse fraction: The mineral grains mostly are quartz grains, very fine sand sized 20-100 μm , subrounded; very few runi-quartz and broken quartz; moderately sorted.

Fine fraction: Clay to few fine silt sized material, reddish yellow to red, dotted and speckled appearance under transmitted light.

Basic organic components

Decreased.

Groundmass

The c/f distribution pattern is open porphyric; the b-fabric of the micromass is undifferentiated, few grains and porostriated.

Pedofeatures

Textural pedofeature: Yellowish brown clay mixed with iron oxide coatings along voids and coating on ped face, cover about 1-2% of the thin section area.

Amorphous pedofeature: The dark brown iron oxides typic nodules sized 200 μm with sharp boundaries, present about 1% of the thin section area.

Bt3

86-110

Similar to the above horizon, but the textural clay increase to cover about 5% of the thin section area.

Bt5 140-172 As the above horizon.

Pedon 7 Typic Paleudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
Ap	0-20	<p><u>Microstructure</u> Subangular blocky structure; voids are accommodate planar voids, interconnected, few channels; total porosity is about 30% of the thin section area.</p> <p><u>Basic mineral components</u> The c/f ratio limit at 10 μm, ratio of 20:80. Coarse fraction: The mineral grains mostly are quartz grains, very fine sand to very coarse sand, subangular to subrounded; very few runi-quartz and broken quartz; poorly sorted. Fine fraction: Clay to fine silt sized material, reddish brown to red, dotted to cloudy appearance under transmitted light.</p> <p><u>Basic organic components</u> Generally are amorphous organic fine materials, punctuation and organic pigment staining to the micromass, very few charcoal fragments.</p> <p><u>Groundmass</u> The c/f distribution pattern is open porphyric; the b-fabric of the micromass is undifferentiated.</p> <p><u>Pedofeatures</u> Textural pedofeature: The yellowish brown clay mixed with iron oxide coatings present on wall of voids, thickness about 10-50 μm, cover about 1% of the thin section area.</p>
Bt1	20-50	Similar to the above horizon, but the fine fraction slightly increase and the textural clay increase to cover about 5% of thin section area.
Bt3	80-110	As the above horizon.
Bt5	140-170	Similar to the above horizon, but the amorphous pedofeatures; the dark brown iron oxide impregnative nodules usually have irregular shape, cover about 2% of the thin section area.

ตารางผนวกที่ 1 สมบัติทางกายภาพของดินสีแดงที่ทำการศึกษา

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution (g kg ⁻¹) (USDA grading)			Textural class	Bulk density (Mg m ⁻³)	Hydraulic conductivity (cm hr ⁻¹)
		sand	silt	clay			
Pedon 1 Typic Kandistult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic							
0-8	A	694	152	154	SL	1.31	165.42
8-34	Bt1	315	98	587	C	1.47	44.49
34-56	Bt2	266	123	611	C	1.48	0.08
56-85	Bt3	297	233	470	C	1.55	-
85-111	Bt4	310	127	563	C	1.57	-
111-140	Bt5	328	118	554	C	1.63	-
140-170+	Bt6	314	149	537	C	1.59	-
Pedon 2 Typic Kandistox, fine, kaolinitic, isohyperthermic							
0-20	Ap	506	169	325	SCL	1.40	2558.82
20-46	Bt1	418	153	429	C	1.33	1606.61
46-72	Bt2	423	152	425	C	1.25	89.26
72-100	Bt3	413	120	466	C	1.26	-
100-130	Bto1	408	167	425	C	1.35	-
130-158/165	Bto2	382	151	467	C	1.28	-
165-188+	Btc	405	162	433	C	1.32	-
Pedon 3 Typic Kandistox, very fine, kaolinitic, isohyperthermic							
0-20	A	33	41	926	C	1.14	495.35
20-50	Bo	34	30	937	C	1.12	196.88
50-80	Bto1	28	37	936	C	1.17	292.83
80-110	Bto2	27	52	921	C	1.26	-
110-140	Bto3	32	60	908	C	1.19	-
140-170	Bto4	30	56	914	C	1.30	-
170-200+	Bto5	26	68	904	C	1.26	-
Pedon 4 Typic Kandiodox, fine, kaolinitic, isohyperthermic							
0-10	A	81	482	437	SiC	1.46	607.56
10-25	Bt1	33	424	543	SiC	1.43	0.55
25-45	Bt2	37	396	567	C	1.42	0.16
45-70	Bt3	37	376	587	C	1.44	-
70-95	Bt4	34	373	593	C	1.46	-

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Particle size distribution (g kg ⁻¹) (USDA grading)			Textural class	Bulk density (Mg m ⁻³)	Hydraulic conductivity (cm hr ⁻¹)
		sand	silt	clay			
Pedon 4 (continued)							
95-125	Bt5	61	390	549	C	1.50	-
125-150	Bt6	120	418	462	SiC	1.52	-
150-175	Bv1	141	440	419	SiC	1.49	-
175-200+	Bv2	118	437	445	SiC	1.57	-
Pedon 5 Typic Kandistult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic							
0-30	A	322	137	541	C	1.29	1520.69
30-60	Bto	287	72	641	C	1.24	431.98
60-85	Bt1	282	82	636	C	1.23	580.47
85-115	Bt2	269	86	645	C	1.16	-
115-146	Bt3	263	61	676	C	1.17	-
146-172	Bt4	262	72	667	C	1.19	-
172-200+	Bt5	249	72	679	C	1.40	-
Pedon 6 Rhodic Kandudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic							
0-15/20	A	163	137	700	C	1.21	52.33
20-41	AB	100	68	833	C	1.19	1031.18
41-61	Bt1	97	70	833	C	1.08	219.77
61-86	Bt2	94	79	828	C	1.09	-
86-110	Bt3	100	74	827	C	1.08	-
110-140	Bt4	92	74	833	C	1.09	-
140-172	Bt5	90	53	857	C	1.16	-
172-200+	Bt6	85	74	842	C	1.12	-
Pedon 7 Typic Paleudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic							
0-20	Ap	283	189	529	C	1.24	85.19
20-50	Bt1	187	92	721	C	1.42	746.16
50-80	Bt2	146	90	764	C	1.38	171.97
80-110	Bt3	180	68	753	C	1.42	-
110-140	Bt4	165	97	738	C	1.28	-
140-170	Bt5	164	82	754	C	1.34	-
170-200+	Bt6	193	113	694	C	1.38	-

หมายเหตุ Textural class, C = Clay, Sl = Sandy loam, SCL = Sandy clay loam, SiC = Silty clay

ตารางผนวกที่ 2 สมบัติทางเคมีของดินสีแดงที่ทำการศึกษา

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		EC (dS m ⁻¹)	OM (-----g kg ⁻¹ -----)	Total N	Avail. P	Avail. K	Extractable bases				Sum bases cmol kg ⁻¹	Extr. acidity	CEC		BS by sum (%)
		H ₂ O	KCl						K	Ca	Mg	Na			by sum	NH ₄ OAc	
Pedon 1 Typic Kandiuistult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic																	
0-8	A	5.66	4.66	0.38	30.15	1.00	21.10	51.40	0.13	4.09	1.59	0.20	6.02	7.00	13.02	10.25	58.70
8-34	Bt1	4.96	3.34	0.05	5.35	0.58	1.94	102.29	0.26	0.26	1.60	0.12	2.24	9.00	11.24	8.24	27.17
34-56	Bt2	5.12	3.31	0.02	3.49	0.40	1.21	75.62	0.19	0.19	0.92	0.14	1.44	9.00	10.44	11.25	12.81
56-85	Bt3	5.24	3.34	0.02	2.26	0.34	0.73	29.93	0.08	0.08	0.88	0.20	1.23	7.50	8.73	11.98	10.25
85-111	Bt4	5.39	3.38	0.02	1.55	0.38	0.81	45.47	0.12	0.16	0.57	0.43	1.28	8.50	9.78	7.94	16.12
111-140	Bt5	5.12	3.33	0.02	2.00	0.57	0.16	28.44	0.07	0.31	0.42	1.00	1.80	7.50	9.30	8.73	20.60
140-170+	Bt6	5.17	3.26	0.02	1.49	0.40	0.00	29.65	0.08	0.21	0.28	2.01	2.58	8.50	11.08	7.49	34.43
Pedon 2 Typic Kandiuistox, fine, kaolinitic, isohyperthermic																	
0-20	Ap	4.99	3.68	0.17	23.32	1.15	295.11	156.95	0.40	2.46	1.11	0.18	4.15	16.00	20.15	13.24	31.38
20-46	Bt1	4.91	3.67	0.11	4.32	0.62	23.43	31.74	0.08	1.37	1.46	0.59	3.50	10.50	14.00	8.49	41.20
46-72	Bt2	4.57	3.56	0.12	2.30	0.60	2.59	14.78	0.04	0.60	1.78	0.23	2.65	8.50	11.15	7.49	35.33
72-100	Bt3	4.39	3.40	0.08	1.78	0.64	0.49	17.35	0.04	0.12	0.84	0.33	1.33	8.50	9.83	9.75	13.62
100-130	Bto1	4.74	3.39	0.04	1.21	0.47	0.48	18.86	0.05	0.14	0.47	0.17	0.83	10.50	11.33	9.00	9.17
130-158/165	Bto2	4.84	3.36	0.04	1.79	0.48	0.00	17.16	0.04	0.01	0.23	0.12	0.41	10.50	10.91	7.49	5.49
165-188+	Btc	5.01	3.43	0.04	1.01	0.66	0.65	20.89	0.05	0.58	0.05	0.15	0.83	9.50	10.33	7.50	11.09

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		EC (dS m ⁻¹)	OM (-----g kg ⁻¹ -----)	Total N	Avail. P	Avail. K	Extractable bases				Sum bases cmol kg ⁻¹	Extr. acidity	CEC		BS by sum (%)
		H ₂ O	KCl						K	Ca	Mg	Na			by sum	NH ₄ OAc	
Pedon 3 Typic Kandiuox, very fine, kaolinitic, isohyperthermic																	
0-20	A	5.16	4.02	0.04	11.77	0.59	0.34	21.39	0.06	0.12	0.33	0.07	0.57	9.70	10.27	16.25	3.53
20-50	Bo	5.83	4.55	0.04	7.85	0.61	0.18	9.35	0.02	0.05	0.17	0.17	0.42	9.70	10.12	9.25	4.50
50-80	Bto1	5.75	4.70	0.02	4.29	0.54	0.02	6.52	0.02	0.08	0.19	0.22	0.52	7.76	8.28	8.25	6.23
80-110	Bto2	5.72	4.74	0.02	5.32	0.56	0.18	9.08	0.02	0.05	0.18	0.77	1.02	7.76	8.78	14.00	7.29
110-140	Bto3	5.70	4.57	0.04	6.12	0.60	0.02	8.26	0.02	0.10	0.19	0.13	0.44	7.28	7.71	18.25	2.38
140-170	Bto4	5.65	4.52	0.04	6.19	0.45	0.18	8.07	0.02	0.13	0.14	0.36	0.65	7.76	8.41	11.75	5.55
170-200+	Bto5	5.70	4.56	0.03	6.15	0.56	0.26	8.91	0.02	0.12	0.11	0.19	0.43	7.76	8.19	13.50	3.20
Pedon 4 Typic Kandiuox, fine, kaolinitic, isohyperthermic																	
0-10	A	6.76	5.78	0.43	26.78	1.25	5.01	74.43	0.19	11.29	0.56	0.17	12.22	6.50	18.72	17.63	69.30
10-25	Bt1	5.46	3.56	0.03	5.59	0.58	0.81	42.71	0.11	0.57	0.43	0.62	1.73	14.50	16.23	16.49	10.47
25-45	Bt2	5.35	3.56	0.02	4.53	0.66	0.40	46.30	0.12	0.39	0.31	0.15	0.98	15.50	16.48	10.13	9.64
45-70	Bt3	5.38	3.57	0.03	3.14	0.53	0.57	31.77	0.08	0.30	0.42	0.34	1.15	14.50	15.65	11.62	9.88
70-95	Bt4	5.64	3.55	0.02	2.36	0.47	0.89	41.71	0.11	0.27	0.42	0.19	0.98	15.00	15.98	13.25	7.42
95-125	Bt5	6.03	3.61	0.03	1.79	0.46	0.89	19.98	0.05	0.25	0.18	0.08	0.55	13.00	13.55	11.23	4.91
125-150	Bt6	5.58	3.57	0.02	1.82	0.60	0.73	16.90	0.04	0.11	0.66	0.13	0.93	11.50	12.43	11.37	8.22
150-175	Bv1	5.40	3.55	0.02	1.28	0.49	0.57	52.47	0.13	0.18	0.64	0.17	1.12	12.50	13.62	10.50	10.62
175-200+	Bv2	5.46	3.57	0.03	1.04	0.67	0.89	13.21	0.03	0.11	0.58	0.21	0.93	14.50	15.43	10.86	8.58

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		EC (dS m ⁻¹)	OM (---g kg ⁻¹ ---)	Total N	Avail. P	Avail. K	Extractable bases				Sum bases cmol kg ⁻¹	Extr. acidity	CEC		BS by sum (%)
		H ₂ O	KCl						K	Ca	Mg	Na			by sum	NH ₄ OAc	
Pedon 5 Typic Kandistult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic																	
0-30	A	5.20	4.31	0.25	36.02	1.14	2.77	92.39	0.24	4.37	1.26	0.21	6.07	13.58	19.65	20.00	30.37
30-60	Bto	4.97	3.73	0.05	12.36	0.68	1.44	23.17	0.06	0.35	0.21	0.08	0.69	10.67	11.36	11.75	5.85
60-85	Bt1	5.07	3.79	0.04	9.65	0.39	0.66	21.92	0.06	0.33	0.20	0.12	0.70	9.70	10.40	11.50	6.09
85-115	Bt2	5.05	3.97	0.03	6.95	0.51	0.34	17.18	0.04	0.12	0.20	0.10	0.47	7.76	8.23	13.38	3.48
115-146	Bt3	5.14	4.03	0.03	5.96	0.41	0.34	20.52	0.05	0.09	0.14	0.10	0.39	6.79	7.18	12.25	3.15
146-172	Bt4	5.15	4.03	0.05	3.74	0.38	0.34	19.85	0.05	0.07	0.10	0.10	0.32	6.79	7.11	12.50	2.55
172-200+	Bt5	5.34	4.01	0.05	4.50	0.43	0.34	14.89	0.04	0.09	0.08	0.16	0.38	6.79	7.16	11.25	3.33
Pedon 6 Rhodic Kandudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic																	
0-15/20	A	4.46	3.70	0.07	41.39	1.83	5.52	17.13	0.04	0.31	0.10	0.18	0.63	21.34	21.97	21.75	2.88
20-41	AB	4.55	3.78	0.06	24.23	1.00	2.49	9.27	0.02	0.18	0.06	0.17	0.43	18.43	18.86	18.75	2.27
41-61	Bt1	4.66	3.83	0.07	21.47	0.71	2.41	5.74	0.02	0.44	0.11	0.09	0.65	14.07	14.71	17.50	3.71
61-86	Bt2	4.59	4.00	0.04	16.14	0.96	2.01	5.87	0.02	0.08	0.08	0.20	0.38	11.16	11.54	14.50	2.63
86-110	Bt3	5.04	4.35	0.05	11.86	0.62	1.85	7.27	0.02	0.27	0.07	0.23	0.58	8.73	9.31	13.75	4.23
110-140	Bt4	5.19	4.50	0.09	8.55	0.77	1.85	6.10	0.02	0.18	0.06	0.16	0.42	8.24	8.66	18.00	2.30
140-172	Bt5	5.11	5.17	0.04	7.09	0.46	2.65	7.02	0.02	0.14	0.05	0.34	0.55	7.28	7.82	14.25	3.84
172-200+	Bt6	5.39	4.83	0.03	5.97	0.78	1.54	5.61	0.01	0.14	0.04	0.25	0.44	6.30	6.74	13.50	3.26

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		EC (dS m ⁻¹)	OM (---g kg ⁻¹ ---)	Total N	Avail. P	Avail. K	Extractable bases				Sum bases cmol kg ⁻¹	Extr. acidity	CEC		BS by sum (%)
		H ₂ O	KCl						K	Ca	Mg	Na			by sum	NH ₄ OAc	
Pedon 7 Typic Paleudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic																	
0-20	Ap	5.00	4.05	0.1	34.20	1.18	17.85	26.97	0.07	3.14	1.94	0.11	5.26	15.52	20.78	23.00	22.86
20-50	Bt1	4.84	3.74	0.05	11.84	0.67	44.40	9.19	0.02	0.84	1.02	0.13	2.01	13.58	15.59	23.00	8.74
50-80	Bt2	5.06	3.94	0.04	9.09	0.43	12.61	7.33	0.02	0.59	0.96	0.19	1.75	10.67	12.42	15.00	11.69
80-110	Bt3	5.18	4.05	0.04	6.89	0.33	9.12	5.80	0.02	0.55	0.87	0.10	1.53	7.76	9.29	14.00	10.92
110-140	Bt4	5.22	4.12	0.04	5.28	0.33	6.73	6.55	0.02	0.59	0.63	0.34	1.58	6.79	8.37	13.25	11.91
140-170	Bt5	5.21	4.16	0.03	4.95	0.29	4.66	6.53	0.02	0.62	0.58	0.18	1.39	5.82	7.21	14.25	9.74
170-200+	Bt6	5.30	4.18	0.02	4.06	0.27	4.34	7.08	0.02	0.63	0.52	0.09	1.26	4.36	5.62	15.25	8.24

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณเหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีสที่สกัดด้วยไดไซโอไนต์-ซิเตรต-ไบคาร์บอเนต, ออกซาเลต และไพโรฟอสเฟตของดินสีแดงที่ทำการศึกษา

Depth (cm)	Horizon	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Fe _d /Fe _o	Al _d	Al _o	Al _p	Mn _d	Mn _o	Mn _p
		(-----g kg ⁻¹ -----)				(-----g kg ⁻¹ -----)					
Pedon 1 Typic Kandiusult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic											
0-8	A	8.87	1.08	0.56	8.20	5.77	1.79	1.15	0.57	0.85	0.46
8-34	Bt1	32.30	0.90	0.09	35.91	5.08	3.37	1.02	0.17	0.04	0.02
34-56	Bt2	34.08	0.91	0.06	37.36	5.14	2.87	0.85	0.22	0.06	0.01
56-85	Bt3	32.46	0.82	0.05	39.67	5.60	3.01	0.91	0.25	0.12	0.01
85-111	Bt4	32.67	0.85	0.05	38.32	6.01	2.58	0.80	0.21	0.05	0.01
111-140	Bt5	33.57	0.73	0.06	46.24	5.81	2.87	0.97	0.21	0.05	0.01
140-170+	Bt6	32.90	0.86	0.05	38.25	5.74	2.60	0.83	0.24	0.10	0.01
Pedon 2 Typic Kandiuustox, fine, kaolinitic, isohyperthermic											
0-20	Ap	25.06	3.84	0.53	6.52	5.09	5.67	2.98	4.81	0.27	0.75
20-46	Bt1	30.79	3.55	0.11	8.67	5.36	3.68	1.36	3.30	0.17	0.09
46-72	Bt2	32.75	3.53	0.07	9.27	4.86	3.58	1.27	3.40	0.16	0.06
72-100	Bt3	31.84	3.01	0.07	10.57	5.31	3.33	1.39	2.73	0.14	0.07
100-130	Bto1	33.95	3.10	0.07	10.96	5.50	3.71	1.44	3.47	0.18	0.05
130-158/165	Bto2	33.74	3.77	0.07	8.96	5.57	3.87	1.48	3.30	0.17	0.06
165-188+	Btc	37.78	3.88	0.06	9.73	5.35	3.74	1.27	5.72	6.94	0.02
Pedon 3 Typic Kandiuustox, very fine, kaolinitic, isohyperthermic											
0-20	A	178.05	4.63	0.05	38.46	9.70	3.75	1.18	0.44	0.02	0.00
20-50	Bo	189.41	5.49	0.03	34.51	10.06	3.97	1.04	0.49	0.02	0.00
50-80	Bto1	179.76	4.76	0.03	37.78	10.96	4.10	1.05	0.56	0.03	0.00
80-110	Bto2	175.51	4.39	0.04	39.96	8.07	3.04	0.97	0.58	0.05	0.00
110-140	Bto3	153.40	4.81	0.02	31.92	10.43	3.22	0.89	0.56	0.04	0.00
140-170	Bto4	137.37	4.41	0.03	31.12	10.44	3.31	0.98	0.57	0.04	0.00
170-200+	Bto5	165.57	3.74	0.03	44.29	10.12	3.31	0.97	0.52	0.05	0.00

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Fe _d /Fe _o	Al _d	Al _o	Al _p	Mn _d	Mn _o	Mn _p
		(-----g kg ⁻¹ -----)				(-----g kg ⁻¹ -----)					
Pedon 4 Typic Kandiodox, fine, kaolinitic, isohyperthermic											
0-10	A	26.13	2.39	1.60	10.93	6.87	2.76	1.94	0.43	0.43	0.17
10-25	Bt1	30.94	1.80	1.01	17.22	4.93	2.88	2.87	0.15	0.11	0.04
25-45	Bt2	32.57	1.55	0.65	20.98	5.71	2.97	2.58	0.12	0.07	0.02
45-70	Bt3	34.20	1.57	0.59	21.78	5.96	2.91	2.48	0.10	0.05	0.01
70-95	Bt4	36.82	1.55	0.42	23.79	5.20	3.26	2.33	0.08	0.03	0.00
95-125	Bt5	43.32	1.42	0.50	30.54	5.63	2.60	2.21	0.08	0.05	0.00
125-150	Bt6	42.53	1.25	0.40	34.16	5.05	2.31	2.03	0.10	0.07	0.00
150-175	Bv1	52.83	1.46	0.34	36.26	5.51	2.50	1.84	0.26	0.29	0.00
175-200+	Bv2	48.47	1.74	0.33	27.90	5.34	2.79	1.79	1.12	1.84	0.01
Pedon 5 Typic Kandiuult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic											
0-30	A	49.78	5.28	6.30	9.44	8.18	3.64	6.42	0.36	0.26	0.11
30-60	Bto	57.89	5.54	2.65	10.45	9.21	4.08	3.19	0.34	0.17	0.04
60-85	Bt1	61.06	4.71	0.43	12.96	9.41	4.08	2.07	0.27	0.10	0.02
85-115	Bt2	61.22	3.93	0.22	15.59	9.52	3.83	1.65	0.25	0.08	0.01
115-146	Bt3	62.30	3.64	0.16	17.11	7.20	3.62	1.43	0.25	0.06	0.00
146-172	Bt4	59.79	3.77	0.12	15.85	8.98	3.97	1.41	0.24	0.06	0.00
172-200+	Bt5	61.10	3.52	0.10	17.34	8.41	3.38	1.27	0.27	0.07	0.00
Pedon 6 Rhodic Kandiuult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic											
0-15/20	A	66.85	6.35	8.52	10.52	12.19	5.48	4.78	0.36	0.24	0.07
20-41	AB	69.70	6.25	6.16	11.14	11.69	5.40	3.93	0.25	0.18	0.03
41-61	Bt1	70.93	5.90	2.83	12.01	12.44	5.32	2.64	0.20	0.06	0.02
61-86	Bt2	70.85	4.48	0.47	15.80	11.92	4.69	1.76	0.20	0.05	0.01
86-110	Bt3	61.14	4.40	0.16	13.89	12.53	4.40	1.07	0.24	0.08	0.02
110-140	Bt4	94.82	4.57	0.09	20.74	13.02	4.29	0.84	0.26	0.08	0.02
140-172	Bt5	95.68	2.73	0.06	35.10	12.32	3.95	0.79	0.25	0.07	0.02
172-200+	Bt6	85.06	3.29	0.06	25.87	12.56	4.32	0.80	0.25	0.06	0.02

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Depth (cm)	Horizon	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Fe _d /Fe _o	Al _d	Al _o	Al _p	Mn _d	Mn _o	Mn _p
		(-----g kg ⁻¹ -----)				(-----g kg ⁻¹ -----)					
Pedon 7 Typic Paleudult, very fine, kaolinitic, isohyperthermic											
0-20	Ap	50.04	6.69	6.41	7.48	8.55	3.86	4.46	0.84	0.92	0.20
20-50	Bt1	57.76	5.83	0.55	9.91	9.98	4.03	1.45	0.43	0.27	0.05
50-80	Bt2	61.22	4.96	0.25	12.34	9.92	4.15	1.03	0.34	0.15	0.03
80-110	Bt3	68.69	3.45	0.15	19.90	11.02	3.74	0.81	0.33	0.11	0.02
110-140	Bt4	67.75	2.82	0.12	23.99	10.37	3.23	0.75	0.31	0.08	0.01
140-170	Bt5	68.99	2.54	0.07	27.17	10.13	3.35	0.62	0.28	0.07	0.01
170-200+	Bt6	55.06	2.53	0.09	21.75	8.45	3.15	0.51	0.27	0.07	0.01

ตารางผนวกที่ 4 การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน (เอิบ, 2542ข; Soil Survey Division Staff, 1993)

คำเรียกทั่วไป	ลักษณะเนื้อดิน	ชั้นเนื้อดินต่าง ๆ (Texture class)
ดินทราย (sandy soil)	เนื้อดินหยาบ (coarse texture)	ได้แก่ ทรายชนิดต่าง ๆ (ทรายหยาบ ทรายละเอียด ทรายละเอียดมาก) ทรายนดินร่วนชนิดต่าง ๆ (ทรายหยาบนดินร่วน ทรายนดินร่วน ทรายละเอียดนดินร่วน และทรายละเอียดมาก นดินร่วน
ดินร่วน (loamy soil)	เนื้อหยาบนกลาง (moderately coarse-textured)	ได้แก่ ดินร่วนปนทรายหยาบ ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายละเอียด
	เนื้อปานกลาง (medium-textured)	ได้แก่ ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้ง และ ทรายแป้ง
	เนื้อละเอียดปานกลาง (moderately fine-textured)	ได้แก่ ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
ดินเหนียว (clayey soil)	เนื้อละเอียด (fine textured)	ได้แก่ ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินเหนียว

ตารางผนวกที่ 5 ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความ
อุดมสมบูรณ์ของดิน (Land Classification Division และ FAO Project Staff, 1973;
Soil Survey Division Staff, 1993)

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

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	< 3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.4
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดจัด (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
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	> 9.0

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

ระดับ (rating)	พิสัย (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. ปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen) (กองวางแผนการใช้ที่ดิน, 2535)

ระดับ (rating)	พิสัย (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	< 1.0
ต่ำ (L)	1.0-2.0
ปานกลาง (M)	2.0-5.0
สูง (H)	5.0-7.5
สูงมาก (VH)	> 7.5

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) (Bray II)

ระดับ (rating)	พิสัย (mg kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	< 3
ต่ำ (L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ (ML)	6-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-25
สูง (H)	25-45
สูงมาก (VH)	> 45

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K) (NH₄OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (mg kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	< 30
ต่ำ (L)	30-60
ปานกลาง (M)	60-90
สูง (H)	90-120
สูงมาก (VH)	> 120

6. ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ (extractable bases) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พีสัย ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$)				
	extr. Ca	extr.Mg	extr.K	extr.Na	extr. bases
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

หมายเหตุ VL = ต่ำมาก (Very Low)

L = ต่ำ (Low)

ML = ค่อนข้างต่ำ (Moderately Low) M = ปานกลาง (Medium)

MH = ค่อนข้างสูง (Moderately High) H = สูง (High)

VH = สูงมาก (Very High)

7. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

ระดับ (rating)	พีสัย ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$)
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

8. ร้อยละความอิ่มตัวของเบส (base saturation)

ระดับ (rating)	พีสัย (%)
ต่ำ (L)	<35
ปานกลาง (M)	35-75
สูง (H)	>75

ตารางผนวกที่ 6 เกณฑ์การแบ่งระดับปริมาณสภาพกรดที่สกัดได้

ระดับ (rating)	ปริมาณสภาพกรดที่สกัดได้ ($\text{cmol}_{(+)}\text{ kg}^{-1}$)
ต่ำมาก (VL)	< 1.0
ต่ำ (L)	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 7 เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน

ระดับ (rating)	ความหนาแน่นรวม (Mg m^{-3})
ต่ำ	< 1.2
ค่อนข้างต่ำ	1.2-1.4
ปานกลาง	1.4-1.6
ค่อนข้างสูง	1.6-1.8
สูง	1.8-2.0
สูงมาก	> 2.0

ที่มา: นงคราญ (2529)

ตารางผนวกที่ 8 ระดับชั้นของค่าสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัว

ระดับชั้น	ค่าสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัว (cm hr ⁻¹)
ช้ามาก	< 0.125
ช้า	0.125-0.50
ช้าปานกลาง	0.50-2.00
ปานกลาง	2.00-6.25
เร็วปานกลาง	6.25-12.50
เร็ว	12.50-25.00
เร็วมาก	> 25.00

ที่มา: O'Neal (1952)

ตารางผนวกที่ 9 วิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการประเมินจากผลการวิเคราะห์ดิน

ระดับความ อุดม สมบูรณ์ของ ดิน	ปริมาณ อินทรีย์วัตถุ (g kg ⁻¹)	อัตราร้อยละ ความอิ่มตัว เบส (%)	ความจุ แลกเปลี่ยนแคต ไอออน (cmol kg ⁻¹)	ปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์ (mg kg ⁻¹)	ปริมาณโพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ (mg kg ⁻¹)
ต่ำ	< 15 (1)	< 35 (1)	< 10 (1)	< 10 (1)	< 60 (1)
ปานกลาง	15-35 (2)	35-75 (2)	10-25 (2)	10-25 (2)	60-90 (2)
สูง	> 35 (3)	> 75 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 90 (3)

ที่มา: กองสำรวจดิน (2523)

หมายเหตุ วิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินใช้วิธีให้คะแนน (ตัวเลขคะแนนอยู่ในวงเล็บในตาราง) ถ้าคะแนนเท่ากับ 7 หรือน้อยกว่า ถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ถ้าคะแนนอยู่ระหว่าง 8-12 ถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ถ้ามีคะแนน 13 หรือมากกว่า ถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายเฉลิมราช จิตรเจริญพร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	12 ธันวาคม พ.ศ. 2528
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมทางการเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-