



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา

ปฐพีวิทยา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง สมบัติและศักยภาพทางการเกษตรของดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน

Properties and Agricultural Potential of Acid Sulfate Soils under Tropical Monsoonal Climate

นามผู้วิจัย นายจรรุวัฒน์ ช่วยชู

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์อัญชลี สุทธิประการ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์เอิบ เขียวรีนนรมณ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสีทจี มทวิตยาสัยเกษตรศาสตร์

สิงสีทจี มทวิตยาสัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สมบัติและศักยภาพทางการเกษตรของดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน

Properties and Agricultural Potential of Acid Sulfate Soils under Tropical Monsoonal Climate

โดย

นายจรรูวัฒน์ ช่วยชู

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จารุวัฒน์ ช่วยชู 2557: สมบัติและศักยภาพทางการเกษตรของดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุม
เขตร้อน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศาสตราจารย์อัญชลี สุทธิประการ, Ph.D. 212 หน้า

การศึกษาสมบัติและศักยภาพทางการเกษตรของดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน ทำโดย
คัดเลือกดินที่เป็นตัวแทน 6 บริเวณ ในจังหวัดนครศรีธรรมราช วิธีการศึกษาประกอบด้วยการวิเคราะห์
สัณฐานวิทยาของดินในสนาม และการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทางจุลสัณฐานวิทยา ทางกายภาพ ทางเคมี และ
ทางแร่วิทยาในห้องปฏิบัติการตามวิธีมาตรฐาน กับประเมินความอุดมสมบูรณ์ และสมรรถนะความอุดม
สมบูรณ์ของดิน

ผลการศึกษาพบว่า ดินทุกบริเวณเกิดในที่ลุ่มต่ำ สูงจากระดับทะเลปานกลาง 1 ถึง 5 เมตร เป็นดินลึก
ถึงลึกมาก เกิดจากตะกอนน้ำกร่อย ตะกอนน้ำทะเล และวัสดุอินทรีย์ ดินมีพัฒนาการค่อนข้างต่ำ เป็นดิน
เนื้อละเอียด มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ดินเป็นกรดรุนแรงมากที่สุดถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 3.1-8.3)
ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินแปรปรวนจากต่ำมากถึงสูงมาก ($0.34-357.87 \text{ g kg}^{-1}$) ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ใน
ระดับต่ำมากถึงสูง ($0.17-6.43 \text{ g kg}^{-1}$) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง ($0.3-39$
 mg kg^{-1}) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ($30-169 \text{ mg kg}^{-1}$) ค่าความจุ
แลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ($9.0-80.0 \text{ cmol kg}^{-1}$) ค่าความเป็นกรดที่สกัดได้อยู่ในระดับ
ปานกลางถึงสูงมาก ($3.4-83.0 \text{ cmol kg}^{-1}$) ค่าร้อยละความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับต่ำถึงสูง ($7.9-92.8\%$) ค่าอัตรา
ร้อยละความอิ่มตัวของอะลูมิเนียม มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 0-78.8 ปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้อยู่ในระดับสูงมาก
($23-5,396 \text{ mg kg}^{-1}$) ปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงมาก ($145-8,701 \text{ mg kg}^{-1}$) และปริมาณจาโรไซด์มีค่า
อยู่ในพิสัย 54-2,559 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยดินส่วนใหญ่มีแร่เคโอลิไนต์เป็นแร่หลักในอนุภาคขนาด
ดินเหนียว และแร่ควอตซ์เป็นแร่หลักในอนุภาคขนาดทรายแป้ง ดินจัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Endoaquepts และ
Sulfaquepts กลุ่มดินละ 3 บริเวณ

ดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางเป็นส่วนใหญ่ และมีหน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ Cgk และ
Cagk หน่วยละ 2 บริเวณ, Cag และ Cacgk หน่วยละ 1 บริเวณ ข้อจำกัดของดินเหล่านี้ส่วนใหญ่ คือ ความเป็น
พิษจากอะลูมิเนียม ดินมีการขังน้ำ ขาดโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และบางพื้นที่ดินเป็นกรดรุนแรงและมี
จาโรไซด์ การใช้ที่ดินทำการเกษตรต้องมีการควบคุมระดับน้ำใต้ดินเพื่อลดอิทธิพลกรดกำมะถัน แก๊สความ
เป็นกรดรุนแรงของดินโดยใช้น้ำล้าง หรือการใช้ปูน เลือกชนิดของพืชที่ปลูกให้เหมาะสมกับพื้นที่ และการ
จัดการเรื่องธาตุอาหาร โดยเฉพาะโพแทสเซียมให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Jaruwat Chuaychoo 2014: Properties and Agricultural Potential of Acid Sulfate Soils under Tropical Monsoonal Climate. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Professor Anchalee Suddhiprakarn, Ph.D. 212 pages.

The study on properties and agricultural potential of acid sulfate soils under tropical monsoonal climate was carried out on six selected areas in Nakhon Si Thammarat province. 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 soil fertility capability was included.

Results of the study revealed that these soils are lowland soils. Relief ranges from 1 to 5 m above mean sea level. These soils are deep to very deep. The soils have developed on brackish and marine deposits and organic materials. They are poorly developed having fine texture. These soils are ultra acidic to moderately alkaline (pH 3.1-8.3) and their organic matter content ranges from very low to very high ($0.34-357.87 \text{ g kg}^{-1}$). They have very low to high total nitrogen ($0.17-6.43 \text{ g kg}^{-1}$), very low to high available phosphorus ($0.3-39 \text{ mg kg}^{-1}$) and low to very high available potassium ($30-169 \text{ mg kg}^{-1}$). They have low to very high cation exchange capacity ($9.0-80.0 \text{ cmol kg}^{-1}$), moderate to very high extractable acidity ($3.4-83.0 \text{ cmol kg}^{-1}$). They have low to high base saturation percentage (7.9-92.8%). Their aluminum saturation is in the range of 0-78.8 percent, very high soluble sulfate ($23-5,396 \text{ mg kg}^{-1}$), very high extractable sulfate ($145-8,701 \text{ mg kg}^{-1}$) and jarosite in their profiles is in the range of 54-2,559 milligrams per kilogram. The soils have kaolinite as the major mineral in clay fraction and quartz in silt fraction. These soils include three areas of Endoaquepts and three areas of Sulfaquepts.

These soils mainly have medium fertility. Their fertility capability units include two areas each of Cgk and Cagk and one area each of Cag and Cagk. Their agriculture limitation comprises aluminum toxicity, gleying, insufficient available potassium, and acidity associated with jarosite. Their agricultural use needs a proper control of watertable levels, liming, proper crop type selection and plant nutrient management practice particularly on potassium for crop's requirement.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องด้วยการให้โอกาสและความเมตตาจากท่านอาจารย์ทั้งสอง ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร. อัญชลี สุทธิประการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศ.ดร. เอิบ เขียวรีนรมณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ให้การอบรมสั่งสอน ให้การช่วยเหลือทั้งในด้านการเรียน การทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อภิศักดิ์ โพธิ์ปิ่น ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และ ผศ.ดร. เสาวนุช ถาวรพฤษย์ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เพิ่มเติมจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้มอบองค์ความรู้ทางด้านปฐพีวิทยา และให้การอบรมสั่งสอนวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณสำหรับคำปรึกษา คำแนะนำ และการช่วยเหลือ จาก อ.สมใจ เชนยพานิชย์ อ.ประมวณพงษ์ สีนุเสณ และเจ้าหน้าที่กรมพัฒนาที่ดินทุกท่านที่ช่วยเหลือส่วนของจุดหลักฐาน วิทยา และแร่วิทยา ขอขอบคุณพี่ทองหล่อ สุทธิสงค์ และเจ้าหน้าที่สถานีพัฒนาที่ดิน จังหวัด นครศรีธรรมราช ที่ให้ความช่วยเหลือในการสำรวจพื้นที่ และอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน ขอขอบคุณพี่พิชามณูชัย อินตะโม พี่วัชชัย อินทร์บุญช่วย พี่ธนภัทร์สกรณ สุกิจประภานนท์ และ พี่นวรรณ ลิมป์วิจารณ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างดิน ขอขอบคุณพี่ฐนันท เจริญชาติ พี่ชัยภัทร คงแก้ว และพี่ราชน เลิศพยัคฆรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณพี่ดาวจรัส เกตุโรจน์ และพี่บุณทริก ฉิมชาติ ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่าง ๆ ขอขอบคุณ พี่ชนิดา เกิดชนะ ที่เป็นเหมือนพี่สาวที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ รวมถึงเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาปฐพีวิทยาที่ให้การช่วยเหลือ และมิตรภาพที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุดแก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณ นางสาว สุชาดา ลิ้มบุตร ที่เป็นกำลังใจ และอยู่เคียงข้างมาโดยตลอด ประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ ครู อาจารย์ที่อบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้ามีความรู้มาจนถึงปัจจุบัน

จารุวัฒน์ ช่วยชู

ธันวาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	25
ผลการศึกษาและวิจารณ์	34
สรุปและข้อเสนอแนะ	127
สรุป	127
ข้อเสนอแนะ	131
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	133
ภาคผนวก	168
ภาคผนวก ก คำอธิบายหน้าตัดดิน	169
ภาคผนวก ข คำอธิบายลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดิน	182
ภาคผนวก ค ตารางผนวกและภาพผนวก	189
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	212

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะทั่วไปของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	36
2	สภาพแวดล้อมทั่วไปของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	37
3	ลักษณะทางกายภาพของหน้าตัดดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	38
4	จุดลักษณะทางกายภาพของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	56
5	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชดินกับปริมาณสารละลาย 0.05 M Ca(OH)_2 ที่ใช้เพื่อหาปริมาณความต้องการปูนของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	104
6	องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	106
7	องค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว และกลุ่มอนุภาคทรายแป้งของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	111
8	ผลการจำแนกดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	115
9	ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา ประเมินโดยใช้ผลการวิเคราะห์ดิน	118
10	สมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	119
ตารางผนวกที่		
ค1	ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ที่ทำการศึกษา	190
ค2	สมบัติทางกายภาพของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	193
ค3	สมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	194
ค4	สมบัติทางเคมีบางประการของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	196
ค5	การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน	197
ค6	ข้อกำหนดที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	198
ค7	เกณฑ์การแบ่งระดับสภาพกรดแอมฟิเทอริกได้	201
ค8	เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน	202

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค9 ระดับชั้นของสภาพน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ	202
ค10 วิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการประเมินจาก ผลการวิเคราะห์ดิน	203
ค11 เกณฑ์การแบ่งระดับอะลูมิเนียมที่สกัดได้	203
ค12 เกณฑ์การแบ่งระดับวิกฤตของจุลธาตุอาหารสำหรับพืชตอบสนอง	204
ค13 เกณฑ์การแบ่งระดับซัลเฟตที่สกัดได้	204
ค14 X-ray diffraction spacing obtained from (001) planes of layer-silicate species as related to sample treatment.	205

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขอบเขตบริเวณที่ทำการศึกษา และจุดเก็บตัวอย่างดิน	26
2	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีคอน 1	35
3	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีคอน 2	44
4	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีคอน 3	46
5	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีคอน 4	48
6	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีคอน 5	50
7	ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีคอน 6	52
8	ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของพีคอน 1	60
9	ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของพีคอน 2	62
10	ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของพีคอน 3 และ 4	64
11	ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของพีคอน 5 และ 6	67
12	การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทราย (ก) อนุภาคขนาดทรายแป้ง (ข) และ อนุภาคขนาดดินเหนียว (ค) ตามความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	73
13	การแจกกระจายของขนาดอนุภาคในแต่ละชั้นดินของดินเปรี้ยวในบริเวณ ที่ทำการศึกษา	73
14	การจำแนกประเภทเนื้อดิน ตามสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	74
15	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมของดินกับระดับความลึกของดินเปรี้ยว ในบริเวณที่ทำการศึกษา	75
16	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพน้ำของดินกับชั้นกำเนิดดินตามระดับความลึกของ ดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	77
17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชดินที่วัดในน้ำ (ก) ในสารละลายโพแทสเซียม คลอไรด์ (ข) และผลต่างระหว่างค่าพีเอชดินที่วัดในสารละลายโพแทสเซียม คลอไรด์กับในน้ำ (ค) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	79
18	ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์รีดอกซ์ของดินกับระดับความลึกของดินเปรี้ยวใน บริเวณที่ทำการศึกษา	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุ (ก) และปริมาณไนโตรเจนรวม (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	82
20	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ก) และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	84
21	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) และปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	86
22	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (ก) และปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	87
23	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ (ก) ปริมาณกรดที่สกัดได้ (ข) และปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ (ค) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	91
24	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (ก) อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (ข) และปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล (ค) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	93
25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า (ก) และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียม (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	94
26	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ (ก) และปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	97
27	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทองแดงที่สกัดได้ (ก) และปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	99
28	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้ (ก) ปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้ (ข) และปริมาณกำมะถันรวม (ค) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา	100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจาโรไซด์กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณ ที่ทำการศึกษา	103
30	ปริมาณความต้องการปุ๋ยของชั้นดินต่าง ๆ ในหน้าตัดดินของดินเปรี้ยวในบริเวณ ที่ทำการศึกษา	104
ภาพผนวกที่		
ค1	แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ดินเหนียวของพีคดอน 1 ชั้น Oag ช่วงความลึก 75-100 เซนติเมตร	206
ค2	แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ดินเหนียวของพีคดอน 2 ชั้น Bjg3 ช่วงความลึก 75-105 เซนติเมตร	206
ค3	แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ดินเหนียวของดินพีคดอน 3 ชั้น Bg ช่วงความลึก 30-50 เซนติเมตร	207
ค4	แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ดินเหนียวของดินพีคดอน 4 ชั้น Bjg1 ช่วงความลึก 20-50 เซนติเมตร	207
ค5	แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ดินเหนียวของดินพีคดอน 5 ชั้น Bg2 ช่วงความลึก 45-70 เซนติเมตร	208
ค6	แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ดินเหนียวของดินพีคดอน 6 ชั้น Bg1 ช่วงความลึก 23-40 เซนติเมตร	208
ค7	แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ทรายแป้งของพีคดอน 1 ชั้น Oag ช่วงความลึก 75-100 เซนติเมตร	209
ค8	แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ทรายแป้งของพีคดอน 2 ชั้น Bjg3 ช่วงความลึก 75-105 เซนติเมตร	209
ค9	แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ทรายแป้งของพีคดอน 3 ชั้น Bg ช่วงความลึก 30-50 เซนติเมตร	210

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค10 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ทรายแป้งของพีคอน 4 ชั้น B _g 1 ช่วงความลึก 20-50 เซนติเมตร	210
ค11 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ทรายแป้งของพีคอน 5 ชั้น B _g 2 ช่วงความลึก 45-70 เซนติเมตร	211
ค12 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด ทรายแป้งของพีคอน 6 ชั้น B _g 1 ช่วงความลึก 23-40 เซนติเมตร	211

สมบัติและศักยภาพทางการเกษตรของดินเปรี้ยว ในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน

Properties and Agricultural Potential of Acid Sulfate Soils under Tropical Monsoonal Climate

คำนำ

ดินเปรี้ยว หรือดินกรดกำมะถัน (acid sulfate soils) เป็นดินที่มีไพไรต์ (pyrite) เมื่อผ่านกระบวนการออกซิเดชันทำให้เกิดกรดกำมะถันสะสมอยู่มากในหน้าตัดดิน ทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรดจัดมาก โดยทั่วไปดินมีพีเอชน้อยกว่า 4 (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปลูกพืช, 2551; Pons, 1973; van Breemen, 1976, Dent and Pons, 1995; Fanning, 2006) เป็นดินที่เป็นปัญหาทางการเกษตร สภาพกรดจัดส่งผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช (Attanandana and Vacharotayan, 1986; Dent and Pons, 1995; Burton *et al.*, 2006; Ljung *et al.*, 2009) พื้นที่ดินเปรี้ยวทั่วโลกมีประมาณ 78.75 ล้านไร่ กระจายอยู่ตามทวีปต่าง ๆ โดยพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในทวีปเอเชียประมาณ 41.87 ล้านไร่ (FAO, 1974; 1976; Brinkman, 1982; Pons and van Breemen, 1982; Andriesse and van Mensvoort, 2006) สำหรับประเทศไทย พบว่า พื้นที่ดินเปรี้ยวกระจายอยู่อย่างกว้างขวาง โดยอยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางประมาณ 4.80 ล้านไร่ ภาคตะวันออกประมาณ 0.94 ล้านไร่ และบริเวณชายฝั่งทะเลของภาคใต้ ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนประมาณ 2.40 ล้านไร่ (โครงการศึกษาการพัฒนาพิภพทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2536; กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

ดินเปรี้ยวส่วนใหญ่เป็นดินที่มีเนื้อละเอียด ดินชั้นบนเป็นดินเหนียวถึงเหนียวจัด มีสีเทาหรือสีเทาเข้มถึงสีดำ ดินชั้นล่างมีสีเทาอ่อน ในตอนบนของดินชั้นล่างมีจุดประ (mottles) สีต่าง ๆ ส่วนจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่जाโรไซด์ ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) จะเกิดขึ้นในชั้นถัดลงไป หรือในชั้นดินล่าง ซึ่งเป็นลักษณะเด่นที่ปรากฏอยู่ในหน้าตัดดินในระดับความลึกไม่เกิน 150 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน ชั้นที่มีแร่जाโรไซด์ปรากฏอยู่ ดินจะมีความเป็นกรดรุนแรงมาก ($\text{pH} < 4.0$) และบางแห่งดินจะมีความเป็นกรดรุนแรงมากที่สุด ($\text{pH} < 3.0$) (เกลียว, 2530; Kevie, 1972; van Breemen and Harmsen, 1975; Dent and van Mensvoot, 1993) ส่วนชั้นดินล่างที่ถัดลงไปจะเป็นโคลนและ

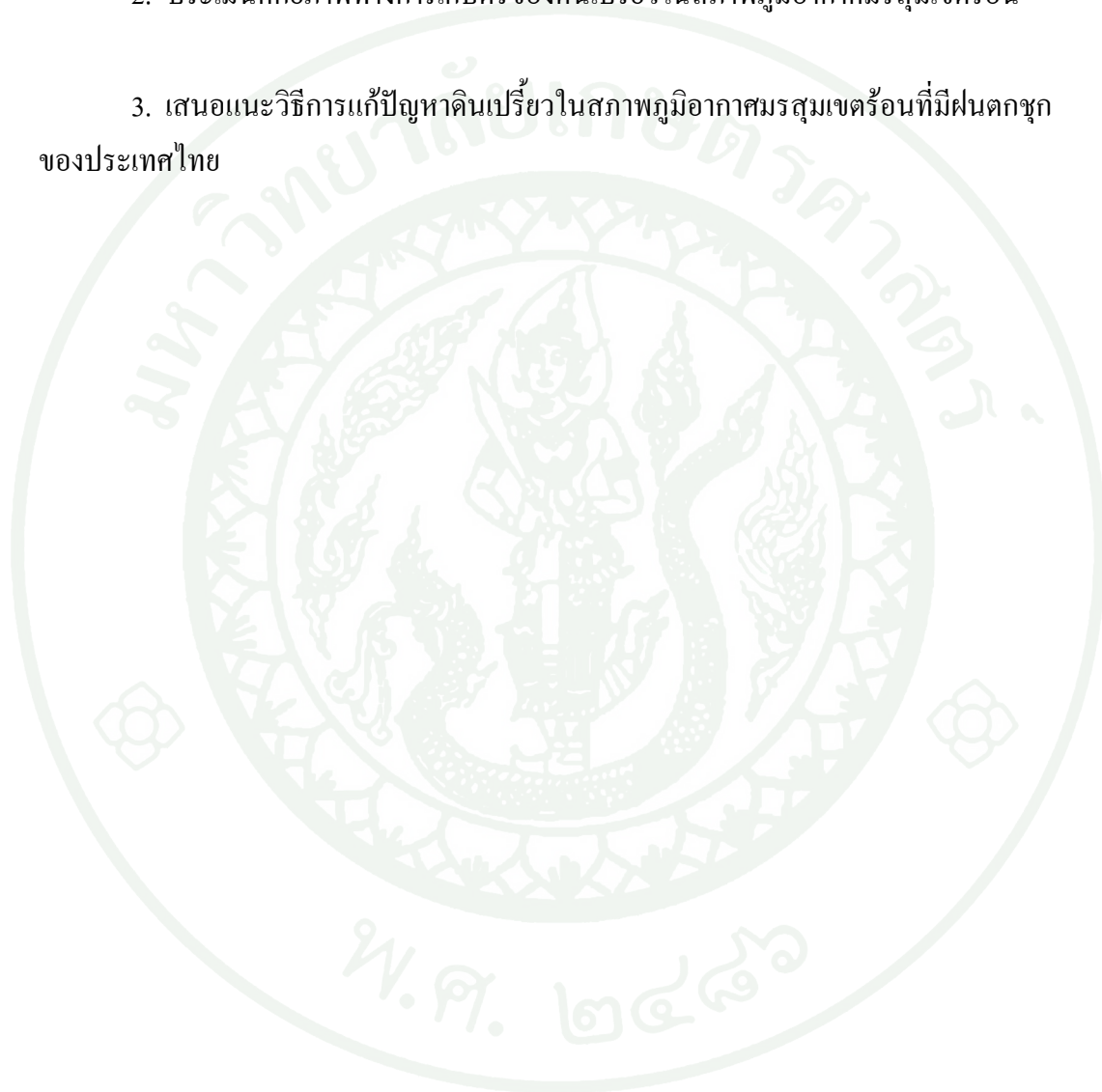
หรือดินเหนียวและ สีเทาปนน้ำเงินคล้ายโคลนก้นทะเล หรือสีเทาเข้ม และดินอาจเป็นกลางหรือเป็นด่างอ่อน (Pons and Kevie, 1969)

การศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของดินเปรี้ยวภายใต้สภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อนที่มีฝนตกชุก และมีความชื้นสูง จะทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการจัดการดิน เพื่อใช้ในการผลิตพืช เนื่องจากสมบัติของดินมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับสภาพภูมิอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความสามารถของดินที่จะให้ธาตุอาหารแก่พืช และศักยภาพในการให้ผลผลิตพืช รวมถึงลักษณะทางกายภาพ เคมี แร่วิทยาของดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในดินที่จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อพืช ดังนั้น การศึกษาสมบัติและศักยภาพทางการเกษตรของดินเปรี้ยวในเขตสภาพภูมิอากาศดังกล่าว จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์ข้อมูล และผลการศึกษาจะเป็นแนวทางการวางแผนพัฒนาพื้นที่ที่ถูกต้องในการป้องกันและแก้ไขปัญหา ซึ่งจะช่วยเพิ่มศักยภาพการผลิตของดินให้สูงขึ้นได้



วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาพการเกิดของดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน
2. ประเมินศักยภาพทางการเกษตรของดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน
3. เสนอแนะวิธีการแก้ปัญหาดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อนที่มีฝนตกชุกของประเทศไทย



การตรวจเอกสาร

1. ความหมายของดินเปรี้ยว

คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปฐพีวิทยา (2551) ได้ให้ความหมายของดินเปรี้ยว หรือ ดินกรดกำมะถัน ไว้ว่า หมายถึง ดินที่มีไพไรต์ ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการออกซิเดชันจะทำให้เกิดกรดกำมะถัน และอิทธิพลของความเป็นกรดมักจะรุนแรงพอที่จะเกิดอันตรายต่อพืชที่ปลูกได้ ดินชนิดนี้มักพบจาโรไซต์ ซึ่งมีลักษณะสีเหลืองฟางข้าวที่ชั้นใดชั้นหนึ่งในหน้าตัดดิน

นักวิทยาศาสตร์ทางดินได้เสนอให้ใช้คำว่า ดินเปรี้ยวกับดินเหนียวที่เกิดจากตะกอนน้ำกร่อย ซึ่งตะกอนเหล่านี้มีเกลือซัลเฟตปะปนอยู่ เมื่อดินมีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศ จะทำให้เกิดแร่จาโรไซต์และกรดกำมะถัน (H_2SO_4) สะสมอยู่มากในหน้าตัดดิน ทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรดจัดมาก หรือเรียกว่า แคตเคลย์ (cat clay) (Kevie, 1972) และควรจัดดินเลนที่ไม่เป็นกรด ซึ่งมีสารประกอบซัลไฟด์สูงให้เป็นดินเปรี้ยวด้วย (Moormann, 1963)

Pons (1973) ได้ให้ความหมายของดินเปรี้ยว แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบกว้างมีความหมายครอบคลุมดินที่อาจมี กำมะถัน หรือเคยมีกรดกำมะถันอยู่ในชั้นหน้าตัดดิน ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการสร้างดิน และปริมาณของกรดที่เกิดขึ้นนั้นมีมากพอที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินนั้น และแบบเจาะจงกับดินที่มีจุดประสีเหลืองฟางข้าว หรือเรียกว่า “cat clay phenomena” ของแร่จาโรไซต์ ในชั้นหน้าตัดดินชั้นใดชั้นหนึ่ง และมีไพไรต์อยู่ชั้นล่างสุด ดินมีสภาพความเป็นกรดจัด จนก่อให้เกิดปัญหาและอุปสรรคต่อการปลูกพืช

Dent (1986) ได้เสนอความหมายของดินเปรี้ยวว่า ควรรวมถึงดินเค็มที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสัมผัสกับอากาศเกิดขึ้น (unripe saline soils) ซึ่งจะกลายเป็นดินเปรี้ยวถ้ามีการระบายน้ำออกไปหรือเมื่อดินแห้ง ดินกรดรุนแรงมากที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสัมผัสกับอากาศเกิดขึ้น (unripe, severely acid soils) และดินที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น และดินที่มีความอิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียม ซึ่งมีความเป็นกรดรุนแรง หรือมีศักยภาพที่จะเป็นกรดขึ้นในชั้นดินล่าง

ดินเปรี้ยว เป็นดินที่เกิดจากตะกอนน้ำกร่อย มีการสะสมไพไรต์ เมื่อมีการระบายน้ำออก และมีการถ่ายเทอากาศเกิดขึ้น จะเกิดกระบวนการออกซิเดชัน ทำให้เกิดกรดกำมะถันสะสมในหน้าตัดดิน ทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดจัดมาก โดยทั่วไปดินมีพีเอชต่ำกว่า 4 (คณะกรรมการจัดทำ

พจนานุกรมปลูกพืชวิทยา, 2551; Pons, 1973; van Breemen, 1976, Dent and Pons, 1995; Fanning, 2006) จึงเป็นดินที่เป็นปัญหาทางการเกษตร โดยสภาพกรดรุนแรงส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช (Attanandana and Vacharotayan, 1986; Dent and Pons, 1995; Burton *et al.*, 2006; Ljung *et al.*, 2009) ดินเปรี้ยวสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามสมบัติของดิน (Brinkman and Pons, 1973; Fitzpatrick *et al.*, 1998) ดังนี้

1) ดินเปรี้ยวแฝง (potential acid sulfate soils) เป็นดินที่มีศักยภาพที่จะเป็นดินเปรี้ยว เกิดจากตะกอนน้ำกร่อยที่มีปริมาณซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของแร่ไพไรต์สูงประมาณร้อยละ 1.0-2.5 มีปริมาณของตะกอนที่เป็นปูนและตะกอนแร่ต่าง ๆ ที่มีสมบัติเป็นด่าง ปัจจุบันดินนี้ยังคงอยู่ในสภาพน้ำขัง และจะไม่แสดงอาการของความเป็นกรด ชื้นดินบนมีพีเอชเป็นกลางหรือด่าง (pH 7.0-8.0) ถ้าดินถูกระบายน้ำออกหรือถูกทำให้แห้ง จะทำให้ดินแปรสภาพเป็นดินเปรี้ยว

2) ดินเปรี้ยวจริง (actual acid sulfate soils) เป็นดินที่มีชั้นดินอย่างน้อยหนึ่งชั้นที่มีกรดกำมะถันและประกอบด้วยสารประกอบซัลเฟตของอะลูมิเนียมและเหล็ก ซึ่งมีความเข้มข้นพอที่จะเป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกได้ นอกจากนี้ยังพบว่า มีอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณสูง มักพบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่จาโรไซต์ และบางครั้งอาจพบจุดประสีขาวของอะลูมิเนียมซัลเฟตปะปนอยู่ด้วย

3) ดินเปรี้ยวเทียม (pseudo acid sulfate soils) เป็นดินที่เคยเกิดกรดกำมะถันขึ้นในดินแต่กรดส่วนใหญ่ถูกชะล้างหรือถูกสะเทินโดยสารประกอบคาร์บอเนต จนมีปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่ถึงกับเป็นอันตราย หรือเป็นปัญหาต่อการปลูกพืช ผลของการสะเทินของกรดโดยสารประกอบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จะพบผลึกของแร่ยิปซัมที่มีลักษณะคล้ายผลึกแก้วอยู่ในชั้นดิน โดยพบได้ชัดเจนในดินชั้นล่าง และมักพบแร่จาโรไซต์ ที่เป็นจุดประสีเหลืองฟางข้าวอยู่ด้วย

2. สมบัติและลักษณะของดินเปรี้ยว

ดินเปรี้ยวโดยทั่วไปเป็นดินที่มีเนื้อละเอียด ดินชั้นบนเป็นดินเหนียวถึงเหนียวจัด มีสีเทาหรือสีเทาเข้มถึงสีดำ ดินชั้นล่างมีสีเทาอ่อน ในตอนบนของดินชั้นล่างมีจุดประ (mottles) สีต่าง ๆ ส่วนจุดประสีเหลืองฟางข้าว จะเกิดขึ้นในชั้นถัดลงไป หรือในชั้นดินล่าง ซึ่งเป็นลักษณะเด่นที่ปรากฏอยู่ในชั้นหน้าตัดดินในระดับความลึกไม่เกิน 150 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน ชั้นที่มีแร่จาโรไซต์ปรากฏอยู่ ดินจะมีความเป็นกรดรุนแรงมาก (pH<4.0) และบางแห่งดินจะมีความเป็น

กรดรุนแรงมากที่สุด ($\text{pH} < 3.0$) (เจลิเยว, 2530; Kevie, 1972; van Breemen and Harmsen, 1975; Dent and van Mensvoot, 1993) ส่วนชั้นดินล่างที่ถัดลงไป จะเป็นโคลนและหรือดินเหนียวและ สีเทาปนน้ำเงินคล้ายโคลนกันทะเล หรือสีเทาเข้ม และดินจะเป็นกลางหรือเป็นด่างอ่อน (Pons and Kevie, 1969)

van Breemen (1976) พบว่า ลักษณะของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทยมีชั้นดินบน (ชั้น A) หนา 20-60 เซนติเมตร มีสีเทาเข้มถึงดำ (10YR 3/2-2/1) ชั้นดินล่าง (ชั้น B) ความลึกประมาณ 1-2 เมตร มีสีน้ำตาลปนเทา (2.5Y 5/2) พบจุดประสีแดง (2.5YR 5/6) หรือสีน้ำตาลปนเหลือง (10YR 5/6) ของสารประกอบเหล็กออกไซด์ในตอนบนของชั้น B และพบจุดประสีเหลือง (2.5Y 8/5) ของแร่जाโรไซด์ซึ่งเป็นลักษณะเด่นในตอนล่างของชั้น B จุดประที่พบในชั้น B ส่วนใหญ่จะพบอยู่ตามช่องว่างหรือผิวหน้าก้อนดิน และอยู่เหนือชั้นของสารประกอบไพไรต์ ซึ่งมีสีเทาเข้ม (5Y 4/1) ช่วงต่อเนื่องระหว่างชั้น B กับชั้น C จะไม่ค่อยมีแร่जाโรไซด์ แต่มักจะพบจุดประสีน้ำตาลเข้ม (7.5YR 4/3) ของสารประกอบเหล็กออกไซด์ปรากฏอยู่ตามช่องว่างของดินที่เกิดจากรากพืช

Janjirawuttikul *et al.* (2010; 2011) รายงานลักษณะของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทยว่าชั้นดินบนมีสีน้ำตาลปนเทาถึงสีเทาเข้มมาก (10YR 5/2-3/1) มีจุดประสีแดงถึงสีน้ำตาลเข้มปนเหลือง (10R 4/6 ถึง 10YR 3/4) ชั้นดินล่างมีสีเทาอ่อนปนน้ำตาลถึงสีดำ (10YR 6/2-2/1) มีจุดประสีเหลืองถึงสีแดง (2.5Y 6/6 ถึง 10R 4/8) ของแร่जाโรไซด์และเหล็กออกไซด์ อยู่ในชั้นใดชั้นหนึ่งของหน้าตัดดิน ที่ระดับความลึกน้อยกว่า 100 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน ลักษณะโครงสร้างดินเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมคมในชั้นดินบน และไม่มีโครงสร้างในชั้นดินล่าง พบเศษของรากพืชที่ตายแล้วและเหล็กออกไซด์ในชั้นดินล่าง นอกจากนี้ยังพบผลึกของแร่ยิปซัมในชั้นดิน สภาพของดินในสนามเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัด (pH 3.6-5.3)

ดินเปรี้ยวที่พบในพื้นที่ลุ่ม และพื้นที่ที่น้ำทะเลเคยท่วมถึงมาก่อน มักใช้ประโยชน์ในการทำนาเป็นส่วนใหญ่ พื้นที่อาจมีน้ำท่วมถึงในปัจจุบัน ดินมีการระบายน้ำเลว วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำกร่อยและน้ำทะเล หรือตะกอนน้ำพา ส่วนบริเวณที่เป็นป่าชายเลนมักเป็นดินที่มีลักษณะเป็นกรดแฝง และมีทั้งดินที่มีแร่जाโรไซด์ และไม่มีแร่जाโรไซด์อยู่ในหน้าตัดดิน ลักษณะของดินเปรี้ยวที่มีแร่जाโรไซด์ในประเทศเวียดนาม van Mensvoot and Tri (1988) พบว่า ส่วนใหญ่จะเป็นดินที่มีสัคย์เป็นกรด มีปริมาณซัลเฟต อะลูมิเนียม และเหล็กในสารละลายดินสูง พบสารประกอบไพไรต์ในระดับที่ลึกมาก และไม่พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่जाโรไซด์ในหน้าตัดดิน

ดินชั้นล่างโดยทั่วไปมีสีน้ำตาลเข้ม (10YR 4/1) เมื่อสัมผัสกับอากาศ สีดินจะเปลี่ยนเป็นสีเทาเข้ม (N 3/1) อินทรีย์วัตถุในชั้นดินล่างมีปริมาณสูงประมาณร้อยละ 10-15 ซึ่งรวมอยู่ในเนื้อดิน หรือ เส้นใยสารอินทรีย์อัดกันอย่างหนาแน่น ดินมีความสามารถในการให้น้ำไหลผ่านได้ต่ำ และมีการระบายน้ำแล้ว

ลักษณะดินเปรี้ยวที่ไม่มีแร่จาโรไซต์อยู่ภายในหน้าตัดดิน ซึ่งพบมากในบริเวณด้าน ตะวันตกเฉียงเหนือของบริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขง มีลักษณะทางฐานฐานวิทยา แตกต่างไปจากดินเปรี้ยวที่มีสารประกอบจาโรไซต์ คือ ดินมีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นดินเหนียวปนฟิต (peaty clay) หรือมีชั้นของฟิต (peaty) หนามาก มีสีน้ำตาลเข้ม ปริมาณช่องว่างในดินน้อย และมีความสามารถในการให้น้ำไหลผ่านได้ต่ำ ดินชั้นล่างมีสารประกอบไพไรต์ปะปนอยู่กับเนื้อดิน ในระดับที่ลึกลงไปจากผิวหน้าดินมาก ดินมีศักยภาพที่จะเป็นดินเปรี้ยว ลักษณะดินประเภทนี้จะไม่ แสดงจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่จาโรไซต์ให้เห็นในบริเวณที่เกิดกระบวนการออกซิเดชัน แต่ยังคงมีสมบัติอื่น ๆ ที่เป็นลักษณะของดินเปรี้ยว คือ ในบริเวณที่เกิดกระบวนการออกซิเดชันจะมีความเป็นกรดรุนแรงมากที่สุด ($\text{pH} < 3.5$) มีกรดกำมะถัน สารประกอบเหล็กและอะลูมิเนียมซัลเฟต สะสมอยู่มากในสารละลายดิน นอกจากนี้ อัตราร้อยละความอิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียมมีค่าสูง (Osborne, 1985)

3. การกำเนิดดินเปรี้ยว

ดินเปรี้ยวเป็นดินที่เกิดจากการตกทับถมของตะกอนจากน้ำทะเลและน้ำจืดที่ไหลมาบรรจบ กันกลายเป็นตะกอนน้ำกร่อย ซึ่งตะกอนเหล่านี้มีเกลือซัลเฟตปะปนอยู่ด้วย เมื่อดินมีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศได้ดี กระบวนการทางชีวเคมีจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องหลาย ขั้นตอน จนสุดท้ายเกิดแร่จาโรไซต์ และกรดกำมะถัน ทำให้ดินเปรี้ยวหรือเป็นกรดจัด มีค่าพีเอช ต่ำกว่า 4.0 (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปลูกพืชวิทยา, 2551; Pons, 1973; van Breemen, 1976, Dent and Pons, 1995; Fanning, 2006)

การเกิดดินเปรี้ยว เกี่ยวข้องกับกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการทางธรณีวิทยา (geogenetic process) ซึ่งเป็นกระบวนการเกิดวัตถุต้นกำเนิดดินเปรี้ยว โดยเกี่ยวข้องกับการเกิด ไพไรต์ หรือการเกิดซัลไฟด์ และกระบวนการสร้างดินทางปลูกพืชวิทยา (pedogenetic process) ซึ่งเป็น กระบวนการเกิดชั้นดินเปรี้ยวที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดส์ไพไรต์ จนเกิดเป็นกรดกำมะถันขึ้นใน

ชั้นดิน (Pons and Kevie, 1969; van Breemen, 1976; Bloomfield and Powlson, 1977) ซึ่งมีกระบวนการเกิดดังนี้

3.1 กระบวนการเกิดวัตถุต้นกำเนิดดินเปรี้ยว

กระบวนการเกิดวัตถุต้นกำเนิดดินเปรี้ยว เป็นการสะสมของตะกอนที่ถูกพัดพาโดยแม่น้ำและน้ำทะเล เกิดการทับถมที่ปากแม่น้ำ แปรสภาพเป็นหาดเลน ที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึง หรือที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ ตะกอนเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเป็นตะกอนเนื้อละเอียดหรือค่อนข้างละเอียด โดยอาจเป็นตะกอนทรายแป้ง ตะกอนดินเหนียวรวมทั้งอินทรีย์วัตถุ และอาจมีไพไรต์ปะปนมาบ้างเล็กน้อย เรียกว่า ไพไรต์ปฐมภูมิ (primary pyrite) จากการทับถมของตะกอนเป็นระยะเวลานาน ทำให้ผิวหน้าของตะกอนสูงจากระดับน้ำทะเลไม่มากนัก แต่ยังคงอยู่ในสภาพน้ำขัง ทำให้มีพืชที่สามารถเจริญเติบโตบนตะกอนชายเลน เช่น แสม โกกงาง เสม็ด ลำพู ลำแพน และจาก เป็นต้น หลังจากนั้นดินจะเริ่มมีการสะสมอินทรีย์วัตถุจากการเน่าเปื่อยของเศษพืชที่ตายไปในพื้นที่นั้น โดยอาศัยจุลินทรีย์ดินที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตได้ (sulphate-reducing bacteria) เช่น *Desulfovibrio* sp. และ *Desulfotomaculum* sp. จุลินทรีย์เหล่านี้ สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นซัลไฟด์ ดังสมการ (1) ในสภาพที่มีออกซิเจนอย่างจำกัด โดยอาศัยแหล่งคาร์บอนจากอินทรีย์วัตถุ (Germida, 1999)



การที่มีน้ำแช่ขังอยู่ตลอดเวลา ทำให้ดินเกิดสภาพขาดออกซิเจน ในขณะที่จุลินทรีย์ในดินย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ และปลดปล่อยพลังงานออกมา ทำให้สารประกอบซัลเฟตจากตะกอนน้ำเค็ม และสารประกอบเหล็ก ทำปฏิกิริยากันและแปรสภาพเป็นไพไรต์ (FeS_2) ดังสมการ (2) การสะสมตัวอย่างช้า ๆ ของไพไรต์ที่เกิดขึ้นใหม่นี้ เรียกว่า ไพไรต์ทุติยภูมิ (secondary pyrite) เมื่อระยะเวลานานมากขึ้นปริมาณของไพไรต์ที่สะสมอาจสูงถึงร้อยละ 10 ของน้ำหนักดิน (van Breemen and Pons, 1978)

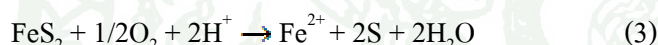


เมื่อกระบวนการนี้ดำเนินต่อไป สารไพไรต์ก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เรียกว่า ไพไรต์ตติยภูมิ (tertiary pyrite) และมักจะเกิดสะสมอยู่มากในบริเวณที่รากพืช โดยเฉพาะบริเวณ

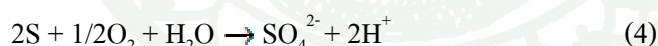
รากพืชที่กำลังผุพังสลายตัว หากนำดินนั้นมาส่องดูด้วยกล้องขยาย จะเห็นไฟไรต์มีลักษณะเป็นเม็ดทึบแสงเกิดแทรกอยู่ในเซลล์ของพืช และต่อมาเมื่อเซลล์ของพืชสลายตัวหมดไป ก็จะเหลือแต่ไฟไรต์สีดำกระจายอยู่ทั่วไปในดิน สภาพเช่นนี้พืชของดินยังไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยยังอยู่ในระดับที่เป็นกลาง (Garcia-Guinea *et al.*, 1998; Maclean *et al.*, 2008)

3.2 กระบวนการเกิดชั้นดินเปรี้ยว

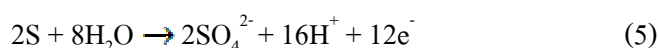
กระบวนการเกิดชั้นดินเปรี้ยวจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมของดินเปลี่ยนแปลงไป โดยเป็นผลมาจากการที่ดินเปลี่ยนจากสภาพมีน้ำแช่ขังอยู่ในดินเป็นดินที่แห้งขึ้น เช่น กรณีที่มีช่วงแล้งเกิดขึ้นในรอบปี ทำให้ดินแห้ง หรือเกิดการถอยร่นของน้ำทะเล หรือการมีตะกอนทับถมสูงขึ้น เมื่อหน้าดินแห้งทำให้ดินเปลี่ยนสภาพจากดินเลนไปเป็นชั้นดินที่แข็งขึ้นและมีออกซิเจนในดินมากขึ้นจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฟไรต์ โดยออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับไฟไรต์ ทำให้ได้เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และธาตุซัลเฟอร์เกิดขึ้น ดังสมการ (3)



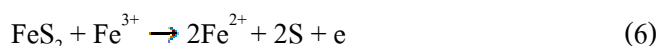
ขั้นตอนต่อไปเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของธาตุซัลเฟอร์เกิดเป็นซัลเฟตหรือกรดซัลฟิวริก ดังสมการ (4)



สมการ (3) และ (4) เป็นปฏิกิริยาทางเคมี โดยสภาวะนี้พืชของดินยังอยู่ในระดับที่เป็นกลาง ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดินที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกรด แต่เมื่อไฟไรต์ถูกออกซิไดส์ ส่งผลให้พืชของดินลดลง ทำให้สภาพแวดล้อมทั่วไปเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวก *Thiobacillus thiooxidans* และ *Thiobacillus ferrooxidans* ซึ่งสามารถออกซิไดส์ซัลเฟอร์และไฟไรต์ให้กลายเป็นกรดกำมะถันได้ (Arkesteyn, 1980; Kelly and Wood, 2000; Gleisner, *et al.*, 2006; Brunner *et al.*, 2008) ดังสมการ (5) และทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้รวดเร็ว และรุนแรงยิ่งขึ้นกว่าปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น ปฏิกิริยาขั้นต่อมาจึงเป็นปฏิกิริยาทางชีวเคมีเป็นส่วนใหญ่



เมื่อมีกรดจำนวนมากเกิดขึ้นจากสมการ (5) ส่งผลให้ความเป็นกรดของดินเพิ่มขึ้นและฟิเอชของดินยิ่งลดต่ำลง ในสภาพเช่นนี้ไพไรต์จะถูกออกซิไดส์โดยเฟร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ดังสมการ (6)



กำมะถันที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดส์ต่อไป เกิดเป็นกรดกำมะถันเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และในสภาพที่ดินเป็นกรดจัดนี้ *Thiobacillus thiooxidans* สามารถออกซิไดส์เฟร์ริกไอออนที่เกิดขึ้นให้เป็นเฟร์ริกไอออนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฟร์ริกไอออนจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนให้กับสมการ (6) ส่งผลให้ไพไรต์ถูกออกซิไดส์อยู่เรื่อย ๆ ถึงแม้ว่าดินนั้นจะมีน้ำขังก็ตาม

นอกจากปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวแล้ว ไพไรต์ยังสามารถถูกออกซิไดส์ได้โดยตรงในสภาพที่มีแคตไอออนบางชนิด เช่น โพแทสเซียมและโซเดียม เกิดเป็นแร่จาโรไซต์ได้ดังสมการ (7)



แร่จาโรไซต์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดส์เป็นแร่เกอไทต์ ($\alpha\text{-FeOOH}$) และฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) และจะมีกรดเกิดขึ้นมาอีก จึงพบว่า ในชั้นดินที่พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของจาโรไซต์ ฟิเอชของดินจะต่ำกว่า 4.0 และลักษณะของดินเปรี้ยวโดยทั่วไปจะพบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่จาโรไซต์ในชั้นหน้าตัดดินชั้นใดชั้นหนึ่ง หรืออาจพบจุดประสีแดงของแร่ฮีมาไทต์ (van Breemen and Pons, 1978)

4. การแจกกระจายของดินเปรี้ยว

ดินเปรี้ยวเกิดได้ในสภาพภูมิอากาศหนาว อบอุ่น และร้อนชื้น แต่จะพบกระจายเป็นบริเวณกว้างขวางในเขตร้อนและกึ่งร้อน (Moormann, 1963) โดยเฉพาะบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเลและดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ และพบน้อยมากในเขตอบอุ่น และบริเวณที่เป็นแผ่นดินใหญ่ที่อยู่ห่างไกลจากทะเล (Moormann, 1963; Kawalec, 1973; van Breemen and Harmsen, 1975) พื้นที่ดินเปรี้ยวทั่วโลกมีประมาณ 78.75 ล้านไร่ กระจายอยู่ตามทวีปต่าง ๆ โดยพบว่าพื้นที่ดินเปรี้ยวส่วนใหญ่อยู่ในทวีปเอเชียประมาณ 41.87 ล้านไร่ และกระจายอยู่แถบแอฟริกาประมาณ 23.13

ล้านไร่ ลาตินอเมริกา 13.13 ล้านไร่ และอเมริกาใต้ 0.62 ล้านไร่ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่บริเวณที่ลุ่มต่ำชายฝั่งทะเลในเขตร้อนของทวีปต่าง ๆ (FAO, 1974; 1976; Brinkman, 1982; Pons and van Breemen, 1982; Andriesse and van Mensvoort, 2006) จากการศึกษา พบว่า พื้นที่ดินเปรี้ยวของประเทศสหรัฐอเมริกาพบในบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกที่รัฐฟลอริดา จอร์เจีย คาโรไลนาใต้ เดลาแวร์ และนิวเจอร์ซีย์ (Calvert and Ford, 1973) ทวีปยุโรปพบที่ประเทศเนเธอร์แลนด์ สวีเดน และฟินแลนด์ (Pons and van Breemen, 1982)

ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีพื้นที่ดินเปรี้ยวประมาณ 40.63 ล้านไร่ กระจายอยู่ในประเทศต่าง ๆ โดยประเทศอินโดนีเซียและเวียดนาม มีพื้นที่ดินเปรี้ยวมากที่สุด 12.50 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 16 ของพื้นที่ดินเปรี้ยวของโลก รองลงมา คือ ประเทศไทยมีพื้นที่ดินเปรี้ยวประมาณ 5.26 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 7 ของพื้นที่ดินเปรี้ยวของโลก นอกจากนี้ ยังพบดินเปรี้ยวในประเทศบังกลาเทศ พม่า กัมพูชา จีน อินเดีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ เกาหลีใต้ และศรีลังกา (Nhung and Ponnampereuma, 1966; van Breeman and Pons, 1978; Andriesse and van Mensvoort, 2006)

สำหรับประเทศไทยมีพื้นที่ดินเปรี้ยวกระจายอยู่ในจังหวัดต่าง ๆ ที่เป็นที่ลุ่มต่ำน้ำทะเลท่วมถึง โดยเฉพาะบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ สามารถพบพื้นที่ดินเปรี้ยวกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก พื้นที่ดินเปรี้ยวจริงมีประมาณ 5.26 ล้านไร่ แบ่งออกเป็นพื้นที่ดินเปรี้ยวที่พบกรดกำมะถันอยู่ในระดับดิน 0-50 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งเป็นดินเปรี้ยวที่เป็นกรดรุนแรงมาก ($\text{pH} < 4.0$) มีพื้นที่ประมาณ 0.97 ล้านไร่ ดินเปรี้ยวที่พบกรดกำมะถันอยู่ในระดับปานกลาง 50-100 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งเป็นดินเปรี้ยวที่เป็นกรดรุนแรงมาก ($\text{pH} 4.0-4.4$) มีพื้นที่ประมาณ 2.44 ล้านไร่ และดินเปรี้ยวที่พบกรดกำมะถันอยู่ในระดับลึก 100-150 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งเป็นดินเปรี้ยวที่เป็นกรดจัดมาก ($\text{pH} 4.5-5.0$) มีพื้นที่ประมาณ 1.84 ล้านไร่ โดยพื้นที่ดินเปรี้ยวกระจายอยู่อย่างกว้างขวางในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างประมาณ 4.80 ล้านไร่ เป็นดินเปรี้ยวจริงประมาณ 4.70 ล้านไร่ และดินเปรี้ยวแฝงประมาณ 0.10 ล้านไร่ ในภาคตะวันออกมีพื้นที่ดินเปรี้ยวประมาณ 0.94 ล้านไร่ เป็นดินเปรี้ยวจริงประมาณ 0.47 ล้านไร่ และดินเปรี้ยวแฝงประมาณ 0.47 ล้านไร่ และบริเวณชายฝั่งทะเลของภาคใต้ พบว่า มีพื้นที่ดินเปรี้ยวประมาณ 2.40 ล้านไร่ เป็นดินเปรี้ยวจริงประมาณ 0.12 ล้านไร่ และดินเปรี้ยวแฝงประมาณ 2.27 ล้านไร่ (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2549)

5. การจำแนกดินเปรี้ยว

ในระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy) ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (Soil Survey Staff, 2010) ได้มีการจำแนกดินเปรี้ยวในบริเวณต่าง ๆ ของโลกไว้ดังนี้

ดินที่มีศักยภาพที่จะเป็นดินเปรี้ยว เป็นดินที่มีวัสดุซัลไฟด์ (sulfidic materials) อยู่ภายในหน้าตัดดิน วัสดุซัลไฟด์ หมายถึง วัสดุดินอนินทรีย์หรือวัสดุอินทรีย์ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบปริมาณสูงในสภาพน้ำแข็ง เมื่อนำมาไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องภายใน 2 เดือน ค่าพีเอช (ดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1) ลดลง 0.5 หน่วยหรือมากกว่า จนพีเอชของดินมีค่า 4.0 มีกำมะถันที่อยู่ในรูปของสารประกอบกำมะถันเป็นอย่างน้อยร้อยละ 0.75 (น้ำหนักแห้ง) และมีปริมาณของสารประกอบคาร์บอเนต (calcium carbonate equivalent) น้อยกว่าปริมาณกำมะถัน 3 เท่า กลุ่มดินใหญ่ (great group) และกลุ่มดินย่อย (subgroup) ของดินที่มีศักยภาพจะเป็นดินเปรี้ยวตามระบบอนุกรมวิธานดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (Soil Survey Staff, 2010) ได้แก่

Sulfisaprists เป็นดินอินทรีย์ที่มีวัสดุดินแอฟริกา มีวัสดุซัลไฟด์ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีศักยภาพก่อให้เกิดกรดกำมะถันหรือเป็นดินเปรี้ยว ภายในความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน

Sulfihemists เป็นดินอินทรีย์ที่มีชั้นวัสดุเฮมิก มีวัสดุซัลไฟด์ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีศักยภาพก่อให้เกิดกรดกำมะถันหรือเป็นดินเปรี้ยว ภายในความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน

Sulfaquents เป็นดินอนินทรีย์ที่มีวัสดุซัลไฟด์ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีศักยภาพก่อให้เกิดกรดกำมะถันหรือเป็นดินเปรี้ยว ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน

Sulfic Haplowassists เป็นดินอินทรีย์ที่มีวัสดุซัลไฟด์ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีศักยภาพก่อให้เกิดกรดกำมะถันหรือเป็นดินเปรี้ยว หนา 15 เซนติเมตร ภายในความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน

Sulfic Hydraquents เป็นดินอนินทรีย์ที่มีวัสดุซัลไฟด์ ทุกชั้นดินระหว่างความลึก 20-50 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน มีค่า n (n-value) มากกว่า 0.7 และมีอนุภาคดินเหนียวร้อยละ 8 หรือมากกว่า

Sulfic Fluvaquents เป็นดินอนินทรีย์ที่มีวัสดุซัลไฟด์ มีคาร์บอนอินทรีย์ร้อยละ 0.2 หรือมากกว่า ที่ความลึก 125 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน หรือลดลงไม่สม่ำเสมอช่วงความลึก 25-125 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน หรือถึงแนวสัมผัสดินแน่น แนวสัมผัสหินแข็ง หรือแนวสัมผัสหินเนื้ออ่อน

Sulfic Endoaquents เป็นดินอนินทรีย์ที่มีวัสดุซัลไฟด์ ซึ่งเป็นวัสดุดินที่มีศักยภาพก่อให้เกิดกรดกำมะถันหรือเป็นดินเปรี้ยว มีความหนา 15 เซนติเมตร หรือมากกว่า ยกเว้น มีค่าพีเอชระหว่าง 3.5 และ 4.0 และไม่มีวัสดุซัลไฟด์หรือสารประกอบกำมะถันในดิน

ดินเปรี้ยวที่อยู่ในสภาพมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นในหน้าตัดดิน เป็นดินที่มีชั้นดินวินิจัยซัลฟิวริก (sulfuric horizon) หมายถึง ชั้นดินแรกที่เกิดได้ชั้นดินบนมีความหนาดังแต่ 15 เซนติเมตรขึ้นไป และประกอบด้วยวัสดุอินทรีย์หรือวัสดุอินทรีย์ มีค่าพีเอช (อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1) 3.5 หรือน้อยกว่า และมีจุดประของแร่จาโรไซต์ สีสน (hue) 2.5Y หรือเหลืองกว่า และค่ารงค์ (chroma) 6 หรือมากกว่า กลุ่มดินและกลุ่มดินย่อยที่เป็นดินเปรี้ยวที่กำลังมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นในหน้าตัดดิน ตามระบบการจำแนกอนุกรมวิธานดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (Soil Survey Staff, 2010) ได้แก่

Sulfosaprists เป็นดินอินทรีย์ที่มีวัสดุดินแอฟริก มีชั้นดินวินิจัยซัลฟิวริก ซึ่งเป็นชั้นดินล่างที่มีศักยภาพก่อให้เกิดกรดกำมะถันหรือเป็นดินเปรี้ยว ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน

Sulfohemists เป็นดินอินทรีย์ที่มีชั้นวัสดุเฮมิก มีชั้นดินวินิจัยซัลฟิวริก ซึ่งเป็นชั้นดินล่างที่มีศักยภาพก่อให้เกิดกรดกำมะถันหรือเป็นดินเปรี้ยว ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน

Sulfaquepts เป็นดินอนินทรีย์ที่มีชั้นดินวินิจัยซัลฟิวริก ซึ่งเป็นวัสดุดินที่มีศักยภาพก่อให้เกิดกรดกำมะถันหรือเป็นดินเปรี้ยว ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน หรือมีอัตราร้อยละ โซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP) 15 หรือมากกว่า หรืออัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) 13 หรือมากกว่า ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน และลดลงตามความลึกในชั้นดินที่ความลึกมากกว่า 50 เซนติเมตร และพบระดับน้ำใต้ดินภายในความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวน้ำดินในบางช่วงเวลาของปี

Sulfic Cryaquepts เป็นดินอนินทรีย์ที่มีชั้นอุณหภูมิดินไครอิก (cryic) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิดินตลอดปีต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส แต่จะต้องไม่มีลักษณะแช่แข็งถาวร (permafrost) โดยวัดที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน หรือแนวสัมผัสดินแน่น แนวสัมผัสดินแข็ง หรือแนวสัมผัสดินเนื้ออ่อน ถ้าเป็นดินอนินทรีย์จะต้องมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิตลอดปีต่ำกว่า 6 องศาเซลเซียส

Sulfic Endoaquepts เป็นดินอนินทรีย์ที่มีวัสดุซัลไฟด์ ซึ่งเป็นวัสดุดินที่มีศักยภาพก่อให้เกิดกรดกำมะถันหรือเป็นดินเปรี้ยว มีความหนา 15 เซนติเมตร หรือมากกว่า ยกเว้น มีค่าพีเอชระหว่าง 3.5 และ 4.0 และไม่มีวัสดุซัลไฟด์หรือสารประกอบกำมะถันในดิน

ดินเปรี้ยวที่พบในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง ภาคใต้ และชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทย สามารถจำแนกตามระบบการจำแนกอนุกรมวิธานดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 2003 ได้ 4 กลุ่มดินย่อย (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548) คือ

Vertic Endoaquepts เป็นดินที่ประกอบด้วย ชุดดินบางเขน ชุดดินมหาโพธิ ชุดดินอยุธยา และชุดดินบางน้ำเปรี้ยว Sulfic Endoaquepts เป็นดินที่ประกอบด้วย ชุดดินชะอำ ชุดดินองครักษ์ ชุดดินมูโน๊ะ ชุดดินรังสิต ชุดดินธัญบุรี ชุดดินเสนา ชุดดินปัดตานี ชุดดินระแงะ และชุดดินคันไทร Haplic Endoaquepts เป็นดินที่ประกอบด้วย ชุดดินเชียรใหญ่ และ Typic Sulfaquepts เป็นดินที่ประกอบด้วย ชุดดินบางปะกง และชุดดินตะกั่วทุ่ง (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548)

6. สมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ระบบการจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Fertility Capability Soil Classification System: FCC) (เอิบ, 2548; Sanchez *et al.*, 1982; Buol, 1987; Sanchez *et al.*, 2003) เป็นระบบที่รวบรวมกลุ่มดินที่มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เป็นปัญหาต่อการจัดการด้านการเกษตรมาใช้ในการจำแนกดิน เน้นถึงคุณภาพของดินบนและดินล่างที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตของพืช (เอิบ, 2548; Kheoruenromne, 1989) วัตถุประสงค์ของระบบการจำแนกแบบนี้ คือ ต้องการจำแนกดินออกเป็นหมวดหมู่ โดยการรวบรวมชนิดดินที่มีความต้องการ หรือมีข้อจำกัดในการจัดการด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินที่คล้ายคลึงกันให้เข้ามาอยู่ด้วยกัน โดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจดินและผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ การจำแนกเน้นที่ชั้นดินบนเป็นหลัก และชั้นดินล่างลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตร หรือ 60 เซนติเมตรจากผิวดิน (เอิบ, 2548; Sanchez *et al.*, 1982; Couto, 1988) การจำแนกแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ประเภท (type) ประเภท

ของชั้นดินล่าง (substrata type) และหน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้ตัวแปรขยาย (modifier) (เอิบ, 2548; Buol *et al.*, 1988)

6.1 การจำแนกระดับประเภท ใช้เนื้อดินของชั้นดินไทรพรวน หรือชั้นดินบนหนา 20 เซนติเมตร แล้วแต่ชั้นไหนจะตื้นกว่ากันก็ใช้ชั้นนั้นเป็นเกณฑ์ ประเภทของเนื้อดินใช้ตามระบบการจำแนกเนื้อดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (Soil Survey Staff, 2010) และใช้อักษรอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่เป็นสัญลักษณ์ ได้แก่

S = ดินบนเป็นทราย (Sandy topsoils): เนื้อดินที่จัดจำแนกเป็นทราย (sand) และทรายปนดินร่วน (loamy sand)

L = ดินบนเป็นดินร่วน (Loamy topsoils): เนื้อดินมีปริมาณดินเหนียวเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า 350 กรัมต่อกิโลกรัม แต่ต้องไม่เป็นทราย หรือทรายปนดินร่วน

C = ดินบนเป็นดินเหนียว (Clayey topsoils): เนื้อดินมีปริมาณดินเหนียวเป็นองค์ประกอบมากกว่า 350 กรัมต่อกิโลกรัม

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

6.2 การจำแนกประเภทของชั้นดินล่าง ใช้ลักษณะของเนื้อดินของชั้นดินล่าง การจำแนกประเภทย่อยลงไปในประเทศชั้นดินล่าง ใช้เฉพาะกรณีที่เนื้อดินล่างแตกต่างจากเนื้อดินบนอย่างชัดเจน หรือมีชั้นแข็งที่ขัดขวางการเจริญของรากพืช เกิดขึ้นในระยะความลึก 50 เซนติเมตร ถ้าดินบนและดินล่างมีเนื้อดินเหมือนกัน ไม่ต้องใส่สัญลักษณ์ของเนื้อดินล่างลงไป หน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน (FCC-unit)

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

S = ดินล่างเป็นทราย (Sandy subsoils) : ใช้เช่นเดียวกับในประเภท

L = ดินล่างเป็นดินร่วน (Loam subsoils) : ใช้เช่นเดียวกับในประเภท

C = ดินล่างเป็นดินเหนียว (Clayey subsoils) : ใช้เช่นเดียวกับในประเภท

R = ชั้นล่างเป็นหินแข็ง (Rock) ชั้นหินแข็ง หรือชั้นที่มีการเชื่อมตัวเป็นแผ่นแข็งทำให้รากพืชไม่สามารถงอกไชผ่านลงไปได้

6.3 หน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นการจำแนกที่เฉพาะเจาะจงยิ่งขึ้น โดยใช้สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ทางแร่วิทยา และสภาพแวดล้อมบางประการที่แสดงถึงข้อจำกัดในด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินมาประกอบกับลักษณะของเนื้อดิน ค่าจำกัดที่กำหนดไว้จะเป็นค่ากลางที่ใช้กับพืชทั่ว ๆ ไป ตัวแปรขยายที่ระบุหน่วยใช้ต่อจากประเภทหรือประเภทชั้นดินล่าง ซึ่งอาจมีตัวแปรมากกว่าหนึ่งตัวก็ได้ ขึ้นอยู่กับปัญหาของดินที่พบโดยตัวแปรจะเรียงลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อย และใช้ตัวอักษรอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ ตัวแปรต่าง ๆ มีดังนี้

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

g = ชังน้ำ (Gley) : ดินหรือจุดประที่มีค่ารงค์ (chroma) เท่ากับ 2 หรือน้อยกว่าภายในระดับความลึก 60 เซนติเมตรจากผิวดิน และได้ชั้นดิน A ทั้งหมด หรือดินอิ่มตัวด้วยน้ำมากกว่า 60 วัน ในส่วนใหญ่ของรอบปี

d = แห้ง (Dry) : ดินมีระบอบความชื้นเป็นอัสติก (ustic) แอริดิก (aridic) หรือเซอริก (xeric) โดยดินล่างลึก 20-60 เซนติเมตร จะแห้งนานมากกว่า 90 วันสะสมในรอบปี

e = ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ (Low cation exchange capacity) : ใช้เฉพาะชั้นดินบนลึก 20 เซนติเมตร หรือชั้นไพลร่วนแล้วแต่ว่าชั้นไหนตื้นกว่ากัน ดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) เมื่อวิเคราะห์โดยวิธีผลรวมของเบส (sum of bases) กับปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl-extractable Al) (ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล : effective CEC) น้อยกว่า 4 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือความจุแลกเปลี่ยน

แคลไออนน้อยกว่า 7 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม เมื่อวิเคราะห์โดยผลรวมของเบส ที่ pH 7 หรือดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคลไออนน้อยกว่า 10 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม เมื่อทำการวิเคราะห์โดยผลรวมแคลไออนกับปริมาณธาตุอะลูมิเนียมและไฮโดรเจนที่สกัดได้ที่ pH 8.2

a = อะลูมิเนียมเป็นพิษ (Aluminum toxicity) : ดินมีค่าความอิ่มตัวของธาตุอะลูมิเนียม (Al-saturation) มากกว่าร้อยละ 60 ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคลไออนประสิทธิผล หรือดินมีค่าความอิ่มตัวด้วยกรด (acidity saturation) มากกว่าร้อยละ 67 ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคลไออนที่วิเคราะห์โดยผลรวมของเบส ที่ pH 7 หรือดินมีค่าความอิ่มตัวด้วยกรดมากกว่าร้อยละ 86 ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคลไออนที่วิเคราะห์โดยผลรวมของเบส ที่ pH 8.2 หรือดินมีพีเอชต่ำกว่า 5.0 เมื่อใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำ 1:1 ยกเว้นดินอินทรีย์ที่ใช้ค่าพีเอชของดินต่ำกว่า 4.7 ค่าทั้งหมดนี้ใช้เฉพาะในระยะความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดินเท่านั้น

h = กรด (Acid) : ดินมีค่าอิ่มตัวด้วยธาตุอะลูมิเนียมร้อยละ 10-60 ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคลไออนประสิทธิผล หรือมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5.0-6.0 เมื่อวัดในอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 ใช้เฉพาะในระยะความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดินเท่านั้น

i = เหล็กตรึงฟอสฟอรัสได้สูง (High P-fixation by iron) : ดินมีอัตราส่วนของร้อยละของเหล็กอิสระ (% free Fe_2O_3) ต่อร้อยละของอนุภาคดินเหนียว (% clay) มากกว่า 0.15 และต้องมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวเป็นองค์ประกอบในเนื้อดินมากกว่า 350 กรัมต่อกิโลกรัม หรือดินมีสีดิน (hue) เป็น 7.5YR หรือแดงกว่า และมีโครงสร้างดินเป็นแบบเม็ดกลม (granular structure) ตัวแปรขยายนี้จะใช้เฉพาะในกรณีที่การจำแนกระดับประเภทเป็นดินเหนียว (C) เท่านั้น และใช้เฉพาะกับชั้นดินไทรพรวนหรือภายในความลึก 20 เซนติเมตรจากผิวดิน แล้วแต่ว่าชั้นไหนจะตื้นกว่ากัน

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

v = เวอร์ทิซอลส์ (Vertisols) : เนื้อดินเป็นดินเหนียวจัดมาก มีปริมาณดินเหนียวในเนื้อดินมากกว่า 350 กรัมต่อกิโลกรัม และมากกว่าร้อยละ 50 ของอนุภาคดินเหนียว จะเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ที่สามารถขยายตัวได้ (2:1 expanding clays) หรือดินบนมีการยึดหดตัวอย่างรุนแรง หรือมีค่าสัมประสิทธิ์ การขยายตัวเชิงเส้น (coefficient of linear extensibility; COLE) มากกว่า 0.09

k = โพแทสเซียมสำรองต่ำ (Low K reserves) : ดินมีแร่ที่สามารถสลายตัวได้ง่าย (weatherable mineral) ในอนุภาคขนาดทรายแป้งและทราย น้อยกว่าร้อยละ 10 ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน หรือมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.20 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 2 ในผลรวมของเบสถ้าดินมีเบสน้อยกว่า 10 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม

b = ปฏิกริยาเป็นด่าง (Basic reaction) : ดินที่มีสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตอิสระภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเกลือเจือจางจะเกิดฟองฟูหรือมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.3 หรือสูงกว่า

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

n = เนทริก (Natric) : ดินมีค่าความอิ่มตัวด้วยโซเดียมเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 15 ของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน

c = ดินกรดจัด (Cat clay) : ดินมีค่าพีเอชที่วัดเมื่อดินแห้งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.5 เมื่อใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 และมีจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซต์ที่มีค่าสีสัน เท่ากับ 2.5 Y หรือเหลืองกว่า และค่ารงค์ (chroma) เท่ากับ 6 หรือสูงกว่าภายในความลึก 60 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน (ใช้กับประเภทที่จำแนกเป็น Cg และ Cg' เท่านั้น)

' = ก้อนกรวด (Gravel) : สัญลักษณ์ (') หมายถึง ดินมีอนุภาคขนาดก้อนกรวดหรืออนุภาคที่หยาบมากกว่า 2 มิลลิเมตร อยู่ในเนื้อดินบนหรือเนื้อดินล่างร้อยละ 15-35 โดยปริมาตร (ตัวอย่างเช่น SL = gravelly sand over loamy; SL = sandy over gravelly loam) สัญลักษณ์ (")

หมายถึง เนื้อดินในการจำแนกระดับประเภทหรือระดับประเภทดินล่าง มีอนุภาคขนาดก้อนกรวด หรืออนุภาคที่หยาบกว่า 2 มิลลิเมตร ปะปนอยู่เป็นประมาณร้อยละ 35 โดยปริมาตร (ตัวอย่าง เช่น LC'' = loamy over clayey skeletal; L'C'' = gravelly loam over clayey skeletal)

% = ร้อยละของความลาดชัน (slope) : ใช้กรณีที่มีความประสงค์จะแสดงค่าร้อยละของความลาดชันในระบบการจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งค่าพิสัยร้อยละของความลาดชัน จะเป็นค่าที่อยู่ในวงเล็บต่อจากสัญลักษณ์ของตัวแปรขยายสุดท้าย (ตัวอย่างเช่น Lb = (3-8%) = ดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนสมำเสมอ มีปฏิกิริยาเป็นด่าง ค่าพิสัยของความลาดชันเท่ากับ 3-8%)

การแปลความหมายระดับประเภท และประเภทของชั้นดินล่าง

S : อัตราการแทรกซึมน้ำผ่านผิวหน้าดินสูง ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ต่ำ ดินส่วนใหญ่เป็นทรายที่ไม่มีธาตุอาหารพืช

L : อัตราการแทรกซึมน้ำผ่านผิวหน้าดินปานกลาง ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ปานกลาง

C : อัตราการแทรกซึมน้ำผ่านผิวหน้าดินต่ำ ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีมีศักยภาพสูง ในการที่จะเกิดการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ถ้าพื้นที่มีความลาดชัน การไถพรวนจะทำได้ยากเมื่อ ดินแห้งหรือเปียกเกินไป ดินอาจมีน้ำขังได้ เมื่อมีสัญลักษณ์ของตัวแปรขยาย i รวมอยู่ด้วย (Ci) ดินนี้จะไถพรวนง่าย มีอัตราการแทรกซึมน้ำผ่านผิวหน้าดินสูง และความจุการอุ้มน้ำได้ต่ำ

O : ต้องทำการระบายน้ำออกจากพื้นที่ และเมื่อทำการระบายน้ำออก ดินจะเกิดการทรุดตัว อาจเกิดการขาดธาตุอาหารจุลภาค เช่น สังกะสี และทองแดง มีความจำเป็นที่จะต้องใส่ยากำจัดวัชพืชในอัตราที่สูง

SC, LC, LR, SR : ดินมีโอกาที่จะสูญเสียผิวหน้าดินเนื่องจากการกร่อนได้ง่าย ทำให้ชั้นดินล่างปรากฏให้เห็น ควรพิจารณาป้องกันการเกิดการกร่อนดินเป็นกรณีพิเศษ

การแปลความหมายระดับหน่วย

ถ้าตัวแปรขยายเพียงตัวเดียวในหน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน การแปลความหมายของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับข้อจำกัด หรือความต้องการในการจัดการดิน จะเป็นไปตามที่จะกล่าวต่อไปนี้ หากมีตัวแปรขยายมากกว่าหนึ่งขึ้นไป การจัดการดินก็จะแตกต่างกันออกไปบ้าง (อภิสิริ, 2526; เอิบ, 2548; Sanchez *et al.*, 1982; Eiumnoh, 1984; Couto, 1988; Kheoruenromne, 1989)

g: ดินมีความเปียกชื้น มีน้ำจิ่งมากเกินไปสำหรับการปลูกพืชไร่ ยกเว้นจะมีการลงทุนอย่างสูงในการป้องกันความเปียกชื้นที่มากเกินไปของดิน จึงจะปลูกพืชไร่ได้

g: การสูญเสียธาตุไนโตรเจนของดิน จะเกิดขึ้นในชั้นดินล่างที่ขาดออกซิเจน การไถพรวนต้องให้เป็นไปตามความชื้นของดิน พืชหรือรากพืชอาจจะแข่งน้ำตายได้ ยกเว้นข้าวหรือพืชที่ต้องการน้ำมากบางชนิด ควรมีการระบายน้ำ การป้องกันน้ำท่วมในช่วงเวลาหนึ่งของปีเหมาะสำหรับเป็นดินปลูกข้าว

d: ความชื้นในดินจะจำกัดการใช้ดินปลูกพืช โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ควรมีการชลประทานหรือให้น้ำแบบอื่น ๆ ควรมีการกำหนดเวลาปลูกพืชให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศและชนิดของพืช ควรจะคำนึงถึงปริมาณธาตุไนโตรเจนที่จะสูญเสียไปกับน้ำฝนเมื่อเวลาฝนตก ปัญหาเกี่ยวกับการงอกของเมล็ดพืชจะเกิดขึ้นเสมอ ถ้าหากว่าการกระจายของฝนในช่วงแรกไม่สม่ำเสมอ

e: ดินมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้น้อย ทำให้ธาตุอาหารสูญเสียไปโดยการชะละลายลงสู่ชั้นใต้ดินได้ง่าย ธาตุอาหารที่ถูกชะละลายส่วนใหญ่ ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม การใส่ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารเหล่านี้ และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ควรแบ่งใส่ครั้งละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้งตามความต้องการของพืช ดินมีศักยภาพที่จะเกิดสภาพใส่ปุ๋ยมากเกินไป (overliming)

a: พืชที่ตอบสนองต่อความเป็นพิษของธาตุอะลูมิเนียม จะได้รับอันตราย เว้นแต่ว่าจะมีการใส่ปูน การใช้สารละลายดินจากชั้นที่อยู่ใต้ชั้นที่มีการใส่ปูนของพืชจะถูกจำกัด ดินมีความ

ต้องการปูนสูง เว้นแต่จะมีตัวแปรขยาย e อยู่ด้วย ดินที่มีตัวแปรขยายนี้อยู่ด้วย แสดงว่า เมื่อใส่ หินฟอสเฟตลงไป หินฟอสเฟตจะละลายได้เร็วมาก

h : ดินมีความเป็นกรดปานกลางถึงต่ำ การปลูกพืชที่ตอบสนองต่อธาตุอะลูมิเนียม เช่น ฝ้าย และอัลฟัลฟา ควรจะมีการใส่ปูน และถ้าเป็นยางพารา การใส่ปูนจะทำให้ให้น้ำยางไหลดีขึ้น อาจเกิดความเป็นพิษของธาตุแมงกานีสขึ้นได้ในดินนี้

i : ดินมีความสามารถสูงในการตรึงธาตุฟอสฟอรัส ควรมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสใน อัตรา 5-10 กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกตาร์ สำหรับแต่ละค่าร้อยละของปริมาณอนุภาคดินเหนียว ควรพิจารณาอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษถึงชนิดของปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในกรณีที่ดินเหนียวเป็นดินเหนียว โครงสร้างของดินจะเป็นแบบก้อนกลม

x : ดินมีความสามารถสูงในการตรึงฟอสฟอรัส การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสควรใส่แบบโรย เป็นแถบหรือใส่ปุ๋ยชนิดที่ทำเป็นเม็ด ดินมีอัตราการปลดปล่อยในโตรเจนอินทรีย์ต่ำ

v : ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีสมบัติในการยึดและหดตัวได้ดี การไถพรวน ทำได้ยาก เมื่อดินแห้งหรือดินชื้นมากเกินไป ดินมักขาดธาตุฟอสฟอรัส แต่ดินมีความสามารถในการให้ผลผลิตสูง

k : ดินมีความสามารถต่ำในการให้ธาตุโพแทสเซียม ควรจะมีการตรวจสอบเกี่ยวกับ ความเป็นประโยชน์ของธาตุโพแทสเซียมให้แก่ดิน ดินมีศักยภาพในการที่จะเกิดความไม่สมดุลของ ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม

b : ดินเป็นด่าง ควรหลีกเลี่ยงการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตในรูปอื่น ๆ ที่ไม่ละลายน้ำ ดินมี ศักยภาพในการที่จะขาดธาตุอาหารพืชพวกจุลธาตุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กและสังกะสี

s : ดินที่มีเกลือละลายน้ำได้ ต้องทำการระบายน้ำออกและมีการจัดการที่พิเศษสำหรับ พืชที่ตอบสนองต่อความเค็มหรือปลูกพืชที่ทนทานต่อความเค็ม

n : ดินมีปริมาณธาตุโซเดียมอยู่ในระดับสูง ควรมีการจัดการดินเป็นพิเศษโดยเฉพาะ ในดินด่าง (alkaline soils) ซึ่งรวมถึงการใส่ยิปซัม และการระบายน้ำออกจากพื้นที่

c : ดินมีศักยภาพที่จะเป็นดินกรดจัด ไม่ควรทำการระบายน้ำออกจากพื้นที่ เว้นแต่จะมีการจัดการเป็นพิเศษ ควรจะนำพันธุ์พืชที่ทนทานต่อระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาปลูก

7. ลักษณะของดินภาคใต้สภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน

สภาพภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน (tropical monsoonal climate) จะมีฝนตกชุกเกือบตลอดปี แต่ปริมาณน้ำฝนไม่สม่ำเสมอ มีช่วงที่แห้งแล้ง มีบางเดือนที่ปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 60 มิลลิเมตร ฝนตกหนักช่วงที่ลมมรสุมเข้าหาฝั่ง ปริมาณฝนที่ตกหนักในช่วงต้น ทำให้พื้นดินมีความชุ่มชื้นพอที่ป่าไม้ไม่ต้องการผลัดใบ โดยทั่วไปมีปริมาณฝนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2,000-3,000 มิลลิเมตร มีบางเดือนที่ปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 60 มิลลิเมตร ภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนของประเทศไทย มีอยู่ทั่วไปในบริเวณพื้นที่คาบสมุทรและชายฝั่งทะเลตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศ และได้รับอิทธิพลของลมมรสุมอย่างเต็มที่ อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส (Senior, 1979; Kellman and Tackaberry, 1997; McGregor and Nieuwolt, 1998) ในสภาพภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน การผุพังของวัตถุดินกำเนิดดิน และการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดไอออนที่เป็นค่าในดินถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดิน ทำให้ดินส่วนใหญ่เป็นกรด (Sanchez, 1976; Beinroth *et al.*, 1996; Tawornpruek, 2005) กระบวนการเคลื่อนย้ายต่าง ๆ ทำให้ดินมีพัฒนาการสูง แร่ดินเหนียว เหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ หรืออิมัสได้รับอิทธิพลของกระบวนการเคลื่อนย้ายทางดินลงไปสะสมในดินล่าง สิ่งที่เหลือในดินส่วนใหญ่นอกจากซิลิกาและแร่ดินเหนียวที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางดินมักเป็นสารพวกเหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีส ในสภาพการระบายน้ำดี จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเหล่านี้กลายเป็นเหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ (sesquioxides; $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) (Gilkes and Suddhiprakarn, 1979; Suddhiprakarn *et al.*, 1985) ทำให้ดินมีสีแดงหรือสีเหลืองตามสภาพความชื้นของดิน (Scheinost and Schwertmann, 1999) ดินที่พบในสภาพภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนนี้จะเป็นดินที่พัฒนาการสูง อยู่ในอันดับออกซิซอลส์และอัลทิสอลส์ วัตถุดินกำเนิดเป็นวัสดุตกค้างจากหินบะซอลต์และหินแกรนิต มีการผุพังในระดับสูง มีแร่เคโอลิน ไควอตซ์ และ อีมาไทต์ เป็นแร่เด่น (Vijarnsorn and Fehrenbacher, 1973; Hart *et al.*, 2003; Tawornpruek, 2005; Trakoonyingcharoen *et al.*, 2006; Anda *et al.*, 2008) ในดินสีแดงและดินสีเหลืองในประเทศไทย พบว่า เคโอลิน (kaolin) เป็นกลุ่มแร่ดินเหนียวหลัก ดินที่มีการพัฒนามาจากหินบะซอลต์ จะมีแร่อีมาไทต์มาก ส่วนดินที่มีการพัฒนามาจากหินดินดานและหินปูนจะมีเกอไทต์มากในดิน (Wiriyaktnateekul, 2005)

Yoothong *et al.* (1997) พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ในภาคใต้ของประเทศไทย มีแร่เคโอลิไนต์ เป็นแร่เด่นและพบมากที่สุด และอาจจะพบแร่โอลิไคต์บ้างเล็กน้อย เนื่องจากภาคใต้และภาคตะวันออกมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และบางครั้งอาจมีแร่อื่น ๆ เช่น เคโอลิไนต์-โอลิไคต์ หรือเคโอลิไนต์-สเมกไทต์-โอลิไคต์ และสำหรับในสภาพพื้นที่ลุ่มและพื้นที่แถบชายทะเลทั้งฝั่งภาคตะวันออกและภาคใต้ ส่วนใหญ่พบแร่ควอตซ์เป็นแร่เด่น เนื่องจากวัตถุดิบกำเนิดดินส่วนใหญ่เป็นหินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดาน เช่นเดียวกับ Vijarnsorn and Eswaran (2002) พบว่า แร่ดินเหนียวส่วนใหญ่ของภาคใต้จะมีแร่เคโอลิไนต์เป็นแร่เด่น และพบแร่โอลิไคต์เพียงเล็กน้อย ลักษณะของแร่ดินเหนียวที่พบในภาคใต้และภาคตะวันออกจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน เนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่เหมือนกัน Melo *et al.* (2001) รายงานว่าดินที่มีพัฒนาการสูงในบราซิลมีแร่ดินเหนียวเคโอลิไนต์เป็นแร่เด่น จะไม่พบแร่ที่ทำให้โพแทสเซียม เช่น แร่เฟลด์สปาร์ และไมกา เช่นเดียวกับดินในประเทศออสเตรเลียที่มีพัฒนาการสูงจะมีแร่ควอตซ์ เซสควิออกไซด์ และเคโอลิไนต์เป็นแร่เด่น มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากรูปโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้เล็กน้อย (Pal *et al.*, 2002)

8. ดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อนของประเทศไทย

สำหรับประเทศไทย พบดินเปรี้ยวกระจายอยู่ในจังหวัดต่าง ๆ ที่เป็นที่ลุ่มต่ำน้ำทะเลท่วมถึง โดยเฉพาะบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ มีพื้นที่รวมกันทั้งหมด 9.37 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 3 ของพื้นที่ประเทศ ในภาคใต้พบได้ทุกจังหวัด ยกเว้น จังหวัดยะลา ในกลุ่มดินใหญ่ Endoaquepts และ Sulfaquepts เป็นพื้นที่ประมาณ 2.40 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 0.75 ของพื้นที่ประเทศ และประมาณร้อยละ 26 ของพื้นที่ดินเปรี้ยว (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2549) โดยในแต่ละกลุ่มดินมีรายละเอียดดังนี้

8.1 Endoaquepts เป็นกลุ่มดินที่พบมากที่สุด เกิดจากตะกอนน้ำทะเลและน้ำกร่อยที่ถูกพัดพามาทับถมในบริเวณที่ราบลุ่มน้ำทะเลเคยท่วมถึง และบริเวณที่ราบปากแม่น้ำ เป็นดินที่มีอายุน้อย ลักษณะทั่วไปของดินกลุ่มนี้ ถือเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง มีสภาพการระบายน้ำเลวถึงเลวมาก ลักษณะของดินบางชุดดินพบว่า มีแร่จาโรไซต์อยู่ในชั้นใดชั้นหนึ่งภายในความลึก 150 เซนติเมตรจากผิวดิน ถ้าพบว่ามีแร่จาโรไซต์อยู่ในระดับตื้นกว่า 50 เซนติเมตรในดิน ดินก็จะเป็นกรดรุนแรงมาก ถ้าพบว่ามีแร่จาโรไซต์อยู่ในระดับความลึกต่ำกว่า 50 เซนติเมตรลงไป ดินก็จะมีควมรุนแรงของกรดลดลง และถ้าหากพบว่ามีแร่ฮิพซัมเกิดขึ้นในหน้าตัดดิน แสดงว่าดินนั้น จะมีอิทธิพลของกรดกำมะถันลดลงด้วย ดินส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์ในการทำนา

และในบางบริเวณได้มีการปรับปรุงพื้นที่ทำการปลูกพืชผักและทำสวนผลไม้ (เจลิยว, 2530; เอิบ, 2533) ชุคดินที่จัดอยู่ในกลุ่มดินนี้ ได้แก่ ชุคดินเชิรใหญ่ ชุคดินมูโน๊ะ ชุคดินปัตตานี ชุคดินระแงะ และชุคดินตันไทร

8.2 Sulfaquents พบในบริเวณที่ราบลุ่มน้ำทะเลท่วมถึง มีน้ำขังหรือระดับน้ำอยู่ใกล้ผิวดินตลอดทั้งปี เป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง มีสีน้ำตาลเข้ม หรือสีน้ำตาลปนเทาเข้ม ตอนบน ส่วนชั้นดินล่างเป็นดินเหนียวสีเทาปนน้ำเงิน หรือสีเทาปนเขียวเป็นโคลนก้นทะเล มีพีเอชเป็นด่าง และมีวัสดุซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 0.75 ภายในความลึก 50 เซนติเมตร จากผิวน้ำดิน ถ้าดินถูกระบายน้ำออกหรือถูกทำให้แห้ง จะทำให้ดินแปรสภาพเป็นดินเปรี้ยว การใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกควรระมัดระวังเรื่องระดับน้ำใต้ดิน อย่าให้ดินบนแห้งจนเกินไป เนื่องจากถ้าดินแห้ง จะทำให้ดินแปรสภาพเป็นดินเปรี้ยว การใช้ประโยชน์ควรเป็นการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือทำนาข้าวที่มีน้ำขังตลอดปี เพื่อป้องกันการเกิดกรดกำมะถัน ในปัจจุบันดินกลุ่มนี้ปกคลุมด้วยป่าชายเลนหรือป่าโกงกาง การใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกต้องลงทุนสูง เนื่องจากต้องมีการปรับปรุงแก้ไขเรื่องการระบายน้ำ ป้องกันน้ำทะเลเข้าท่วมถึง และป้องกันการเกิดดินเปรี้ยว (เจลิยว, 2530; เอิบ, 2533) ชุคดินที่จัดอยู่ในกลุ่มดินนี้ ได้แก่ ชุคดินตะกั่วทุ่ง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

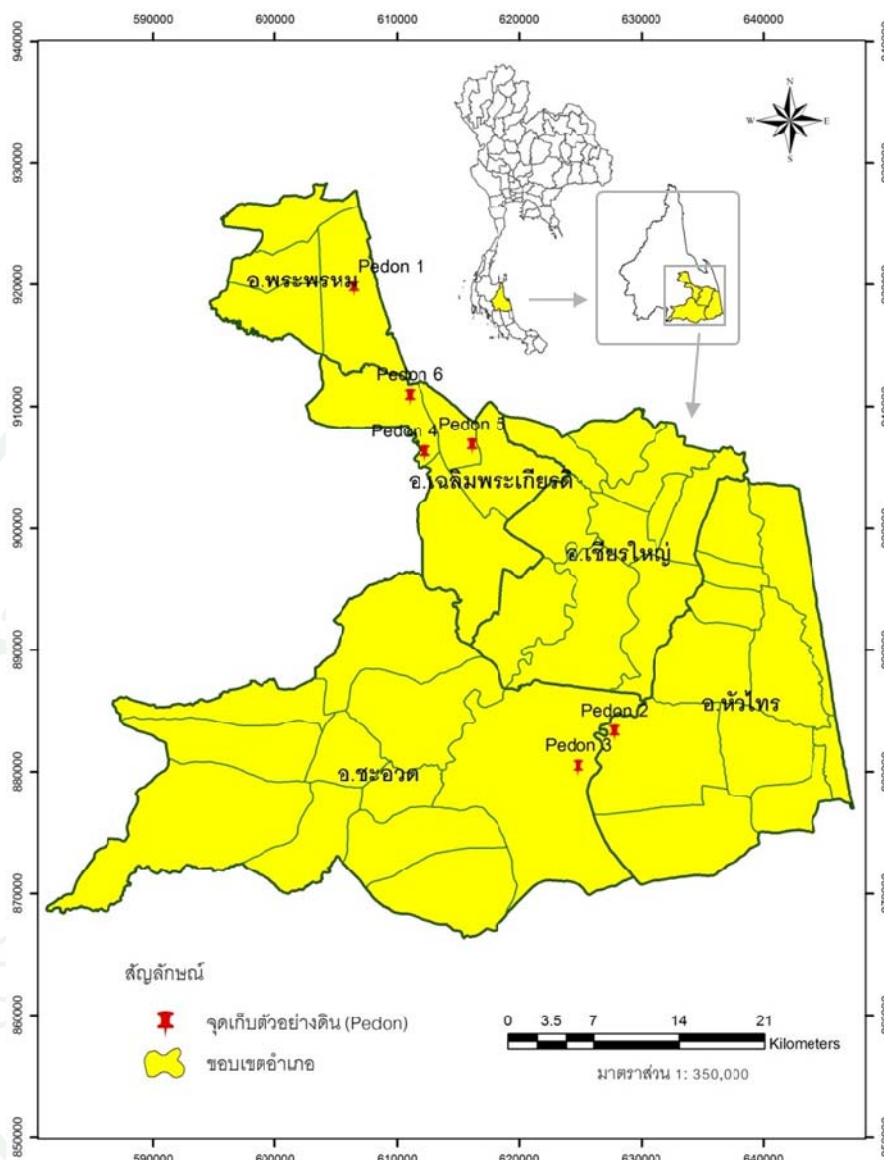
1. แผนที่ดินของจังหวัดนครศรีธรรมราช มาตราส่วน 1:100,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (กองสำรวจดิน, 2526)
2. แผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหารระหว่างที่ 4924 I, 4925 I, 4925 II, 5024 I, 5024 IV, 5025 II และ 5025 III (กรมแผนที่ทหาร, 2516; 2533)
3. แผนที่ธรณีวิทยาของประเทศไทย มาตราส่วน 1:500,000 ของกรมทรัพยากรธรณี (กรมทรัพยากรธรณี, 2526)
4. เครื่องมือการสำรวจดินภาคสนามมาตรฐาน (เอิบ, 2552; Soil Survey Division Staff, 1993)
5. เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทางกายภาพ ทางเคมี ทางแร่วิทยา และทางจุลชีววิทยา

วิธีการ

1. การออกศึกษาภาคสนามและเก็บตัวอย่างดิน

1.1 ศึกษาข้อมูลด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากเอกสารและแผนที่ชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างของดินในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

1.2 เขียนขอบเขตของพื้นที่ที่ทำการสำรวจก่อนออกไปสำรวจ โดยกำหนดและเลือกตำแหน่งดินที่เป็นตัวแทน 6 บริเวณ ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ประกอบด้วย พืดอน 1 อยู่ใน ตำบลช้างซ้าย อำเภอพระพรหม พืดอน 2 อยู่ใน ตำบลแหลม อำเภอหัวไทร พืดอน 3 อยู่ใน ตำบลเกร็ง อำเภอชะอวด พืดอน 4 และ พืดอน 6 อยู่ใน ตำบลทางพูน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ พืดอน 5 อยู่ใน ตำบลคอนตรอ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ขอบเขตบริเวณที่ทำการศึกษ และจุดเก็บตัวอย่างดิน

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมแผนที่ทหาร (2516; 2533)

1.3 ตรวจสอบลักษณะดินบริเวณที่ทำการสำรวจรอบแรก เพื่อขึ้นชั้นดินที่ต้องการศึกษา

1.4 ขุดหน้าตัดดินตามตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยมีขนาด กว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 2 เมตร หรือตื้นกว่าถึงชั้นวัสดุที่เป็นหินแข็งหรือไม่สามารถขุดให้ลึกต่อไปได้ ตักแต่งหน้าตัดดินให้สามารถมองเห็นสัณฐานวิทยาของดินได้ชัดเจน แบ่งชั้นดินตามชั้นกำเนิดดิน (genetic horizon)

ตรวจสอบสมบัติในแต่ละชั้น ทำคำบรรยายหน้าตัดดิน ตามวิธีการศึกษาฐานวิทยาของดิน ในสนาม (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993) เพื่อศึกษาการเกิดดิน การจำแนกดิน และใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์และสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน

1.5 สังเกตและบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับฐานภูมิประเทศ สภาพทางธรณีวิทยา สภาพแวดล้อมและลักษณะการใช้ที่ดินในบริเวณที่เก็บตัวอย่าง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์การกำเนิดของตัวแทนดินที่ทำการศึกษา รวมทั้งมีการศึกษาสภาพแวดล้อมบางประการที่แสดงถึงข้อจำกัดในด้านความอุดมสมบูรณ์และการใช้ประโยชน์ที่ดิน

1.6 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ แยกออกเป็น 2 วิธี คือ

1.6.1 ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (Disturbed soil samples) เก็บตัวอย่างดินทุกชั้นตามชั้นกำเนิดที่แบ่งไว้ตลอดหน้าตัดดินชั้นละประมาณ 1-2 กิโลกรัม เพื่อนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางแร่วิทยาของดิน และเก็บตัวอย่างดินทุกชั้นตามชั้นกำเนิดที่แบ่งไว้ตลอดหน้าตัดดิน ชั้นละประมาณ 500 กรัม ปิดภาชนะที่เก็บดินให้สนิท เพื่อป้องกันสารประกอบกำมะถันถูกออกซิไดส์ นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตที่ละลายน้ำได้ (soluble sulfate) และปริมาณแร่จาลูไรต์

1.6.2 ตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน (Undisturbed soil samples) เก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกลูกเต๋าเพื่อให้นำมาศึกษาสภาพหน้าผาของดิน และเก็บตัวอย่างดิน โดยใช้กล่องคูเบียนา (Kubiena box) เพื่อนำมาศึกษาลักษณะทางจุลฐานวิทยาของดิน (soil micromorphology) โดยเลือกเก็บเฉพาะชั้นที่เป็นตัวแทนหรือต้องการศึกษา (มรกต, 2532; เอิบ, 2552, Buol *et al.*, 2011)

2. การเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

2.1.1 นำตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แยกก้อนกรวด เศษหินแร่ และซากพืชที่มีขนาดใหญ่ออกแล้วบดดินด้วยโกร้งบดดิน แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร สำหรับใช้ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางแร่ของดิน และบดดินให้ละเอียดมีขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนรวม

2.1.2 นำตัวอย่างดินที่ถูกบดจนส่วนที่เตรียมวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุไปอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างดินมาบดด้วยโกร่งบดดิน แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และนำไปวิเคราะห์ทันทีหลังจากบดเรียบร้อยแล้ว (Ahern *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2007)

2.1.3 นำตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินที่เก็บโดยใช้กล่องคูเบียนามาศึกษาลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดิน ส่วนตัวอย่างดินในกระบอกเก็บตัวอย่างนำมาศึกษาความหนาแน่นรวม และสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

2.2.1 การกระจายของอนุภาคดิน (Particle size distribution) ใช้วิธีไปเปตต์ (pipette method) (Day, 1965; Gee and Bauder, 1986) แล้วเปรียบเทียบกับค่าวิเคราะห์กับชั้นเนื้อดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (Soil Survey Staff, 2010)

2.2.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk density) โดยวิธีการเก็บตัวอย่างดินโดยไม่ทำลายโครงสร้าง (core method) (Blake and Hartge, 1986; Culley, 1993)

2.2.3 สภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated hydraulic conductivity) โดยวิธีพลังงานขับเคลื่อนแปร (variable head method) (Klute and Dirken, 1986)

2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

2.3.1 พีเอช (pH) โดยใช้เครื่องมือวัดพีเอชดิน (pH meter) ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ และดินต่อสารละลาย 1 M KCl เท่ากับ 1:1 (National Soil Survey Center, 1996; Stephen and Graveel, 2003)

2.3.2 ศักย์รีดอกซ์ (Redox potential) วัดโดยใช้ platinum electrode และ pH meter (Stumm and Morgan, 1996; Patrick *et al.*, 1996)

2.3.3 สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) วัดสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดอิ่มตัว (saturation extract) ของดิน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง electrical conductivity bridge (Richards, 1954; National Soil Survey Center, 1996; Faithfull, 2002)

2.3.4 อินทรีย์วัตถุ (Organic matter) วิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934; Nelson and Sommers, 1996) แล้วคำนวณหาปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยการคูณค่าคาร์บอนอินทรีย์ ด้วย 1.724

2.3.5 ไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1965b; National Soil Survey Center, 1996)

2.3.6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorous) โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง spectrophotometer

2.3.7 โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available potassium) โดยสกัดด้วยสารละลาย 1 M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (Pratt, 1965) แล้ววัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS)

2.3.8 เบสที่สกัดได้ (Extractable bases) ประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม โดยการสกัดด้วยสารละลาย 1 M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) (Peech, 1945; Thomas, 1982a) แล้ววัดปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS)

2.3.9 กรดที่สกัดได้ (Extractable acidity) โดยวิธี barium chloride triethanolamine pH 8.2 (Peech, 1965; Thomas, 1982b)

2.3.10 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity) โดยการชะแคตไอออนด้วยสารละลาย 1 M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) และแทนที่แอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10%) ในสภาพเป็นกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน แล้วคำนวณค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Chapman, 1965; Summer and Miller, 1996)

2.3.11 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (Base saturation percentage) โดยการคำนวณจากค่าเบสรวมที่สกัดได้ (sum bases) ประกอบด้วยผลรวมของ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม และกรดที่สกัดได้ (extractable acidity) (Thomas, 1982a) จากสูตร

$$\text{อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส} = \frac{\text{เบสที่สกัดได้}}{\text{เบสที่สกัดได้} + \text{กรดที่สกัดได้}} \times 100$$

2.3.12 อะลูมินัมที่สกัดได้ (Extractable aluminum) โดยการสกัดด้วยสารละลาย 1 M KCl แล้ววิเคราะห์หาปริมาณด้วยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH และ HCl ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (Thomas, 1982b)

2.3.13 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล (Effective cation exchange capacity) โดยการคำนวณจากค่าเบสรวมที่สกัดได้และอะลูมินัมที่สกัดได้ (ECEC = extractable bases + extractable Al) (Thomas, 1982b; National Soil Survey Center, 1996)

2.3.14 ร้อยละความอิ่มตัวของอะลูมินัม (Aluminum saturation percentage) คำนวณจากค่าของปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ และอะลูมินัมที่สกัดได้ (Thomas, 1982b) จากสูตร

$$\text{ร้อยละความอิ่มตัวอะลูมินัม} = \frac{\text{อะลูมินัมที่สกัดได้}}{\text{เบสที่สกัดได้} + \text{อะลูมินัมที่สกัดได้}} \times 100$$

2.3.15 วิเคราะห์ปริมาณเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี โดยการสกัดดินด้วยสารละลาย 0.005 M DTPA (ประกอบด้วย 0.005 M DTPA, 0.005 M CaCl₂ และ 0.1 M TEA) พีเอช 7.30 (Loeppert and Lnskeep, 1996; Gambrell, 1996; Reed and Martens, 1996) แล้ววัดหาปริมาณด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS)

2.3.16 ซัลเฟตที่ละลายได้ (Soluble sulfate) โดยการสกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง ion chromatography (IC) (Lewis, 1999; Tan, 2005; Tucker, 2008)

2.3.17 ซัลเฟตที่สกัดได้ (Extractable sulfate) โดยสกัดด้วย 0.008 M Ca(H₂PO₄)₂·H₂O แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง ion chromatography (IC) (Combs *et al.*, 1998; Tan, 2005; Tucker, 2008)

2.3.18 กำมะถันรวม (Total sulfur) เตรียมตัวอย่างด้วยวิธี aqua regia digestion method (Tabatabai and Bremner, 1970; Quevauviller, 1998; Tucker, 2008) แล้ววัดปริมาณกำมะถันรวม โดยใช้เครื่อง ion chromatography (IC)

2.3.19 จาโรไซต์ (Jarosite) โดยวิธี jarosite recovery method แล้ววัดปริมาณจาโรไซต์ โดยใช้เครื่อง ion chromatography (IC) (Li *et al.*, 2007; Tucker, 2008; Vithana *et al.*, 2010)

2.3.20 ความต้องการปูน (Lime requirement) ของดินเปรี้ยว โดยใช้วิธี soil-lime incubation (McLean, 1982; Sims, 1996)

2.3.21 วิเคราะห์ปริมาณธาตุรวม (Total analysis) เตรียมตัวอย่างด้วยวิธี aqua regia digestion method (Smith and Arsenault, 1996; Wilson *et al.*, 1997; Quevauviller, 1998; Chen and Ma, 2001) แล้ววัดปริมาณธาตุรวมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS)

2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของดิน

2.4.1 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ในกลุ่มอนุภาคดินเหนียว (clay fraction) ที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร โดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction analysis: XRD) (Jackson, 1965b; Whittig, 1965; Whittig and Allardice, 1986)

2.4.2 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแร่ในกลุ่มอนุภาคทรายแป้ง (silt fraction) ขนาด 2 ถึง 50 ไมโครเมตร โดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับชนิดของแร่มาตรฐาน (Brindley and Brown, 1980) สำหรับปริมาณของแร่ชนิดต่าง ๆ ประเมินโดยวิธี relative peak height และ peak area (Jackson, 1965a; Whittig, 1965; Whittig and Allardice, 1986)

2.5 การวิเคราะห์จุลสัณฐานวิทยาของดิน

ตัวอย่างดินที่เก็บมาจากภาคสนามโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ มีขั้นตอนการเตรียมทำแผ่นตัดบาง (thin section) เพื่อศึกษาลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดิน โดยวิเคราะห์ผ่านกล้องจุลทรรศน์ชนิดดูหินและแร่ (มรกต, 2532; Brewer, 1976; Bullock *et al.*, 1985) ดังนี้

2.5.1 ถ่ายดินออกจากกล่องคุปเปียนาลงในกล่องกระดาษซึ่งบุพลาสติกเรียบร้อยแล้ว พร้อมทั้งเขียนรายละเอียด ชื่อชุดดิน ชั้นดิน และทำลูกศรชี้ทิศทางของตัวอย่างดินที่เก็บ

2.5.2 อบดินให้แห้งภายในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 สัปดาห์ หรือจนแน่ใจว่าความชื้นดินไม่มีเหลืออยู่เลย (อุณหภูมิในการอบตัวอย่างดิน ถ้าสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จะทำให้ดินแตกและอินทรีย์วัตถุจะถูกทำลาย) หลังจากนั้นนำมาทำให้แข็งโดยการแทรกสาร (impregnation) ซึ่งเป็นน้ำยาผสมของอัลโฟลิท ยูพี 001 อี ที่ใช้เป็นสารเชื่อมเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ เป็นสารทำให้เกิดปฏิกิริยา และสไตรีนโมโนเมอร์ เป็นตัวทำเจือจางโดยเติมน้ำยาที่ผสมดีแล้วลงในกล่องตัวอย่างดิน

2.5.3 นำไปใส่ในตู้อบสุญญากาศ (vacuum drying oven) ที่ความดัน 60 เซนติเมตรปรอท ประมาณ 6-8 ชั่วโมง จึงนำออกมาใส่ตู้ควั่น เติมน้ำยาให้ท่วมอยู่เสมอ ค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้น และเพิ่มเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ทีละน้อย จนกว่าน้ำยาจะแข็งตัว จึงนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

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

2.5.5 นำตัวอย่างดินมาติดบนสไลด์ โดยใช้กาวที่มีส่วนผสมของอัลโฟลิท ยูพี 001 อี กับไซโคลเฮกซะโนนเปอร์ออกไซด์ (cyclohexanone peroxide) และโคบอลต์ออกทีโอเตต (cobaltoctate) หลังจากติดตัวอย่างสไลด์เรียบร้อยแล้ว ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง

2.5.6 นำตัวอย่างที่ติดสไลด์แล้วมาตัดด้วยเครื่องตัดบาง และขัดด้วยผงขัดหยาบและละเอียด ตามลำดับ จนกระทั่งตัวอย่างมีความหนาประมาณ 0.03 มิลลิเมตร โดยสังเกตสีของแร่ควอตซ์ จะมีสีเทาหรือเทาปนเหลือง เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดคูฮินและแร่ในสภาพ x-nicols จากนั้นปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ (cover glass) แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดคูฮินและแร่ เพื่อศึกษาทางจุลสัณฐานวิทยาของดิน

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางแร่วิทยา ของดิน รวมถึงปัจจัยที่ควบคุมลักษณะของดินแต่ละชนิดในบริเวณที่ศึกษา เพื่อนำมาประเมิน ลักษณะที่สำคัญของดินที่แสดงถึงศักยภาพทางการเกษตรของดินเปรี้ยว

3.2 ประเมินสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Sanchez *et al.*, 1982) และความอุดมสมบูรณ์ของดิน (กองสำรวจดิน, 2523) ประเมินศักยภาพทางการเกษตรของดินเปรี้ยว และเสนอแนะวิธีการจัดการดินเปรี้ยวทางการเกษตร

4. สถานที่และระยะเวลาการศึกษา

4.1 สถานที่ทำการศึกษา

4.1.1 การศึกษาในภาคสนาม บริเวณที่เป็นดินเปรี้ยวภาคใต้ของประเทศไทยในพื้นที่ ที่มีภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน ได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช

4.1.2 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ใช้ห้องปฏิบัติการของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะ เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน และการวิเคราะห์สมบัติทางแร่ของดิน ณ สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ

4.2 ระยะเวลาการศึกษา

เริ่มทำการศึกษาดังแต่เดือนมิถุนายน 2555 และสิ้นสุดการศึกษาในเดือนกันยายน 2556

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. องค์ความรู้เกี่ยวกับลักษณะและความแตกต่างของดินเปรี้ยว ในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อนที่มีความละเอียดถูกต้อง และประยุกต์ได้

2. แนวทางการจัดการดินเปรี้ยวทางการเกษตรในภาคใต้ของประเทศไทยในปัจจุบัน

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการศึกษาสมบัติและศักยภาพทางการเกษตรของดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน ประกอบด้วยลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาของดินในสนาม จุลสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติเชิงแร่วิทยาของดิน การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำโดยคัดเลือกดินที่เป็นตัวแทน 6 บริเวณ โดยแต่ละบริเวณกำหนดให้เป็นพีดอน (pedon) ซึ่งหมายถึง ปริมาตรที่เล็กที่สุดที่สามารถบอกได้ว่าเป็นดินหนึ่ง (soil individual) (Buol *et al.*, 2011) และเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่สามารถจะอธิบายหน้าตัดดินได้ครบทุกลักษณะ (เอิบ, 2548)

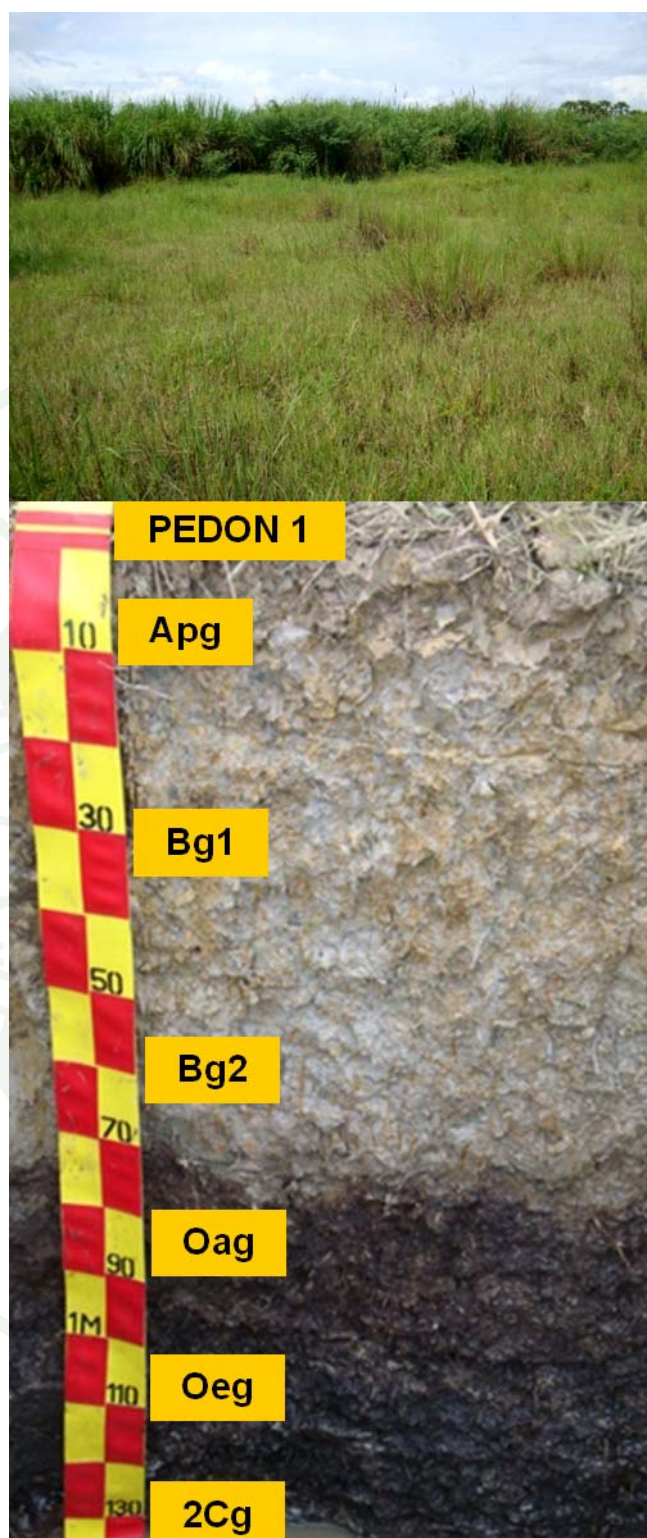
1. ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของดินเปรี้ยว

ลักษณะทั่วไปและสัณฐานวิทยาสนามของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 บริเวณ แสดงไว้ในคำอธิบายหน้าตัดดินในภาคผนวก ก และในตารางที่ 1, 2 และ 3 แต่ละบริเวณมีลักษณะโดยละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 พีดอน 1 (Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic) (ภาพที่ 2)

บริเวณบ้านท่าจาม ตำบลช้างซ้าย อำเภอพระพรหม จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความสูง 5 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็นแบบ Apg-Bg-Oag-Oeg-2Cg วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนที่เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำพา (alluvium) สารอินทรีย์ (organic) และตะกอนน้ำกร่อย (brackish deposits) สภาพพื้นที่เป็นที่ราบ มีความลาดชันประมาณร้อยละ 2 ดินมีการระบายน้ำเร็ว การซาบซึมน้ำปานกลาง และมีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกประมาณ 25 เซนติเมตรจากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาก่อนเป็นพื้นที่รกร้าง ไม้รพยักษ์ และในพื้นที่มีการปลูกมันเทศ

ดินบนลึก 20 เซนติเมตร มีสีเทาอ่อน พบสีจุดประสีน้ำตาลแก่ และสีแดงปนเหลือง เนื้อดินเป็นดินเหนียว โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และกิ่งเนื้อสमानแน่น พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อยมาก พบผิวหน้าที่ถูกแรงกดขนาดเล็กในปริมาณน้อย และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณน้อย พีเอชดินในสนามเป็นกรดเล็กน้อย (field pH 6.5)



ภาพที่ 2 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีดอน 1 (Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic) บริเวณบ้านท่าจาม ตำบลช้างซ้าย อำเภอยะพราง จังหวัด นครศรีธรรมราช

ตารางที่ 1 ลักษณะทั่วไปของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Pedon	Thickness of surface soil (cm)	Effective depth (cm)	Profile development	Slope (%)	Elevation (m)	Relief	Landform	Parent Material
1	20	150+	Ap-Bg1-Bg2-Oag- Oeg-2Cg	2	5	Flat	Depression in former tidal flat	Mixed alluvial, organic and brackish deposits
2	30	170+	Apg-Bjg1-Bjg2- Bjg3-Bjg4-Bjg5-Cg	2	1	Flat	Former tidal flat	Brackish deposits
3	30	150+	Ag-Bg-Bjg-BCg- Cg1-Cg2	2	4	Flat	Former tidal flat	Organic materials over brackish deposits
4	20	130+	Apg-Bjg1-Bjg2- Bjg3-BCg	2	2	Flat	Former tidal flat	Organic materials over brackish deposits
5	20	185+	Apg-Bg1-Bg2-Bg3- Bg4-Bg5-Bg6	1	4	Flat	Former lower tidal flat	Mixed marine deposits and riverine alluvium
6	23	170+	Apg-Bg1-Bg2-Bg3- Bg4-Bg5-BCg	2	4	Flat	Former tidal flat	Brackish deposits

ตารางที่ 2 สภาพแวดล้อมทั่วไปของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Pedon	Drainage	Permeability	Runoff	Climate type	Land use
1	Poorly drained	Moderate	Slow	Tropical monsoonal	Left idle under grasses, giant mimosa and sweet potato
2	Poorly drained	Slow	Slow	Tropical monsoonal	Left idle under grasses, oil palm, bamboo, coconut and para rubber
3	Poorly drained	Moderate	Slow	Tropical monsoonal	Samed (<i>Melaleuca cajuputi</i> Powell) forest, Kuan Kreng marsh
4	Poorly drained	Rapid	Slow	Tropical monsoonal	Left idle under grasses
5	Poorly drained	Slow	Slow	Tropical monsoonal	Left fallow after rice
6	Poorly drained	Slow	Slow	Tropical monsoonal	Left idle under grasses

ตารางที่ 3 ลักษณะดินของหน้าตัดดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Horizon	Depth (cm)	Soil color Mottle	Texture	Structure	Consistence Dry, Moist, Wet	Field pH	Boundary	Others
Pedon 1 Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic								
Apg	0-20	10YR 7/1 7.5YR 5/8, 5YR 5/8	C	1, f-m, sbk	VH, F, VS/VP	6.5	C and S	Very few fine cracks and few fine pressure faces, few traces of dead roots
Bg1	20-50	10YR 7/1 5YR 5/8, 10YR 6/6	C	1, f-m, sbk	VH, F, MS/VP	6.0	C and S	Very few fine cracks and few fine pressure faces, common traces of dead roots and few jarosite mottles
Bg2	50-75	7.5YR 6/1 7.5YR 6/8, 10YR 4/6	C	2, f-m, sbk	H, SF, MS/VP	4.5	A and S	Few fine cracks and common fine pressure faces, common traces of dead roots
Oag	75-100	10YR 3/2 7.5YR 4/6	C	1, f-m, sbk	SH, SF, MS/MP	4.0	C and S	Common organic materials, common sapric Materials
Oeg	100-125	10YR 2.5/1	C	1, f-m, sbk	H, Fri, MS/MP	4.5	A and S	Many organic materials, many hemic materials
2Cg	125-150+	10YR 4/1	C	mas	H, F, VS/VP	5.5	-	Few organic materials, common traces of dead roots
Pedon 2 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic								
Apg	0-15/30	5YR 6/1, 10YR 5/8, 10YR 6/6	C	2, f-m, sbk	VH, VF, MS/MP	4.0	A and W	Few fine cracks, common traces of dead Roots
Bjg1	30-60	7.5YR 6/1 10YR 6/6, 10YR 7/6	C	2, f-m, sbk	VH, VF, VS/VP	4.0	C and S	Few fine cracks, common traces of dead roots and presence of jarosite
Bjg2	60-75	7.5YR 4/3 10YR 6/8, 2.5YR 7/4	C	2, f-m, sbk	VH, VF, MS/VP	4.0	C and S	Few fine cracks and small pressure faces, common traces of dead roots and presence of jarosite
Bjg3	75-105	7.5YR 6/1 10YR 6/8, 10YR 3/6	C	1, m-c, abk	VH, VF, MS/MP	4.5	C and S	Few fine cracks and small pressure faces, common traces of dead roots and presence of Jarosite
Bjg4	105-130	10YR 6/1 10YR 6/8, 7.5YR 3/4	SiCL	1, m-c, abk	VH, F, MS/MP	4.5	G and S	Few fine cracks, common traces of dead roots and presence of jarosite

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Soil color Mottle	Texture	Structure	Consistence Dry, Moist, Wet	Field pH	Boundary	Others
Pedon 2 (Continued)								
Bjg5	130-155	10YR 6/1 5Y 7/4, 10YR 6/8	SiCL	1, c, sbk and se-mas	H, F, MS/MP	4.5	C and S	Common traces of dead roots and presence of Jarosite
Cg	155-170+	Gray 7/N	SiCL	1, c, sbk and se-mas	H, F, MS/MP	6.5	-	Few traces of dead roots
Pedon 3 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic								
Ag	0-15/30	5YR 2.5/1 7.5 4/6, 10YR 6/8	SiC	2, f-m, sbk	SH, SF, MS/SP	4.5	A and W	Organic of roots, many traces of dead roots
Bg	30-50	7.5YR 6/1 10YR 5/8, 2.5Y 7/8	SiC	1, c, abk	VH, VF, MS/MP	4.0	C and S	Few fine cracks and pressure faces, many traces of dead roots
Bjg	50-80	10YR 6/1 2.5Y 7/8, 10YR 4/6	SiC	1, c, sbk and se-mas	H, F, MS/VP	4.0	G and S	Few fine cracks, many traces of dead roots and presence of jarosite
BCg	80-110	2.5Y 5/1 10YR 7/8	SiC	mas	H, F, MS/MP	4.0	C and S	Few fine cracks, many traces of dead roots
Cg1	110-130	Gray 5/10Y	SiC	mas	H, F, MS/MP	4.5	G and S	Few fine cracks, many traces of dead roots
Cg2	130-150+	Grat 5/10Y	SiC	mas	H, F, MS/MP	6.5	-	Few fine cracks, few traces of dead roots
Pedon 4 Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic								
Apg	0-15/20	5YR 2.5/1 10YR 3/6	SiC	2, f-m, sbk	SH, F, SS/MP	4.0	A and S	Very few fine cracks, common traces of dead Roots
Bjg1	20-50	10YR 5/2 10YR 5/8, 10YR 6/8	C	2, f-m, sbk	H, F, MS/VP	4.0	C and S	Few fine cracks, common traces of dead roots and slide block of soil and presence of jarosite
Bjg2	50-70	10YR 5/2 10YR 5/8, 10YR 5/6	C	2, f-m, sbk	H, F, VS/MP	4.0	C and S	Few fine cracks, common traces of dead roots and presence of jarosite

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Soil color Mottle	Texture	Structure	Consistence Dry, Moist, Wet	Field pH	Boundary	Others
Pedon 4 (Continued)								
Bjg3	70-110	10YR 6/1 5Y 7/8, 5Y 7/4	C	2, f-m, sbk	H, F, VS/MP	4.0	C and S	Few fine cracks and very few pressure faces, common traces of dead roots and presence of jarosite
BCg	110-130+	Gray 7/N 5Y 7/6, 10YR6/8	C	1, c, abk and se-mas	SH, F, VS/VP	4.0	C and S	Few fint cracks, few traces of dead roots
Pedon 5 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic								
Apg	0-20	7.5YR 4/1 7.5YR 5/8	SiCL	3, c, abk	VH, VF, MS/VP	6.0	A and S	Common traces of dead roots
Bg1	20-45	7.5YR 5/1 10YR 6/8	C	2, f-m, sbk	VH, VF, MS/MP	7.0	C and S	Few fine cracks, common traces of dead roots
Bg2	45-70	5Y 5/1 5Y 4/6, 10YR 6/8	C	2, f-m, sbk	H, F, MS/MP	8.0	C and S	Few fine cracks, pressure faces and common iron and manganese soft separations, common traces of dead roots
Bg3	70-98	Gray 6/10Y 10YR 6/8, 2.5YR 3/4	SiC	2, f-m, sbk	H, F, MS/MP	8.0	C and S	Few fine cracks, pressure faces, few traces of dead roots
Bg4	98-125	Gray 2 6/10Y 7.5YR 5/8, 10YR 6/8	SiC	2, f-m, sbk	H, F, MS/MP	8.0	C and S	Few fine cracks, pressure faces and slickensides, few traces of dead roots
Bg5	125-153	Gray 2 6/10Y 7.5YR 4/6	SiC	2, f-m, sbk	H, F, MS/MP	8.0	C and S	Few fine cracks, pressure faces and slickensides, few traces of dead roots
Bg6	153-185+	Gray 1 6/5Y 10YR 5/8	SiC	1, c, abk and se-mas	H, F, MS/MP	8.0	-	Few fine cracks, pressure faces and slickensides, few traces of dead roots

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Soil color Mottle	Texture	Structure	Consistence Dry, Moist, Wet	Field pH	Boundary	Others
Pedon 6 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic								
Apg	0-20/23	10YR 5/1	SiC	3, m-c, abk	VH, VF, MS/MP	7.0	A and S	Few fine cracks, common traces of dead roots
Bg1	23-40	10YR 5/8	SiC	3, f-m, sbk	H, F, MS/MP	7.0	G and S	Very few fine cracks, common traces of dead roots
		10YR 7/1						
Bg2	40-65	2.5YR 4/8, 10YR 6/8	SiC	2, f-m, sbk	H, F, MS/MP	8.0	C and S	Few fine cracks, common traces of dead roots
		2.5YR 7/1						
Bg3	65-100	10YR 6/8, 7.5YR 4/6	SiC	2, f-m, sbk	H, F, MS/MP	8.0	C and S	Few fine cracks, common traces of dead roots
		2.5YR 7/1						
Bg4	100-125	10YR 6/8, 5YR 5/8	SiC	1, c, abk and se-mas	VH, VF, MS/VP	8.0	C and S	Few fine cracks and dark bands of krotovinas, common traces of dead roots
		5Y 7/1						
Bg5	125-150	10YR 6/8, 2.5YR 5/8	SiC	1, c, abk and se-mas	VH, VF, MS/MP	8.0	A and S	Very few fine cracks, common traces of dead Roots
		10YR 7/1						
BCg	150-170+	10YR 6/8, 2.5YR 5/8, 10YR 5/8	SiC	1, c, abk and se-mas	H, F, MS/MP	8.0	-	Some plant decays and patches of fine sand accumulation, few traces of dead roots
		10YR 5/1						
.		10YR 5/8, 7.5YR 4/4						

ตารางที่ 3 (ต่อ)

หมายเหตุ เนื้อดิน (Texture)

SiCL	= silty clay loam
SiC	= silty clay
C	= clay

โครงสร้าง (Structure)

1	= weak
2	= moderate
3	= strong
c	= coarse
m	= medium
f	= fine
abk	= angular blocky
sbk	= subangular blocky
se-mas	= semi-massive
mas	= massive

การยึดตัว (Consistence)

แข็ง

SH	= slightly hard
H	= hard
VH	= very hard

จีน

Fri	= friable
F	= firm
VF	= very firm

เปื่อย

MS	= moderately sticky
MP	= moderately plastic
VS	= very sticky
VP	= very plastic

ขอบเขตชั้นดิน (Boundary)

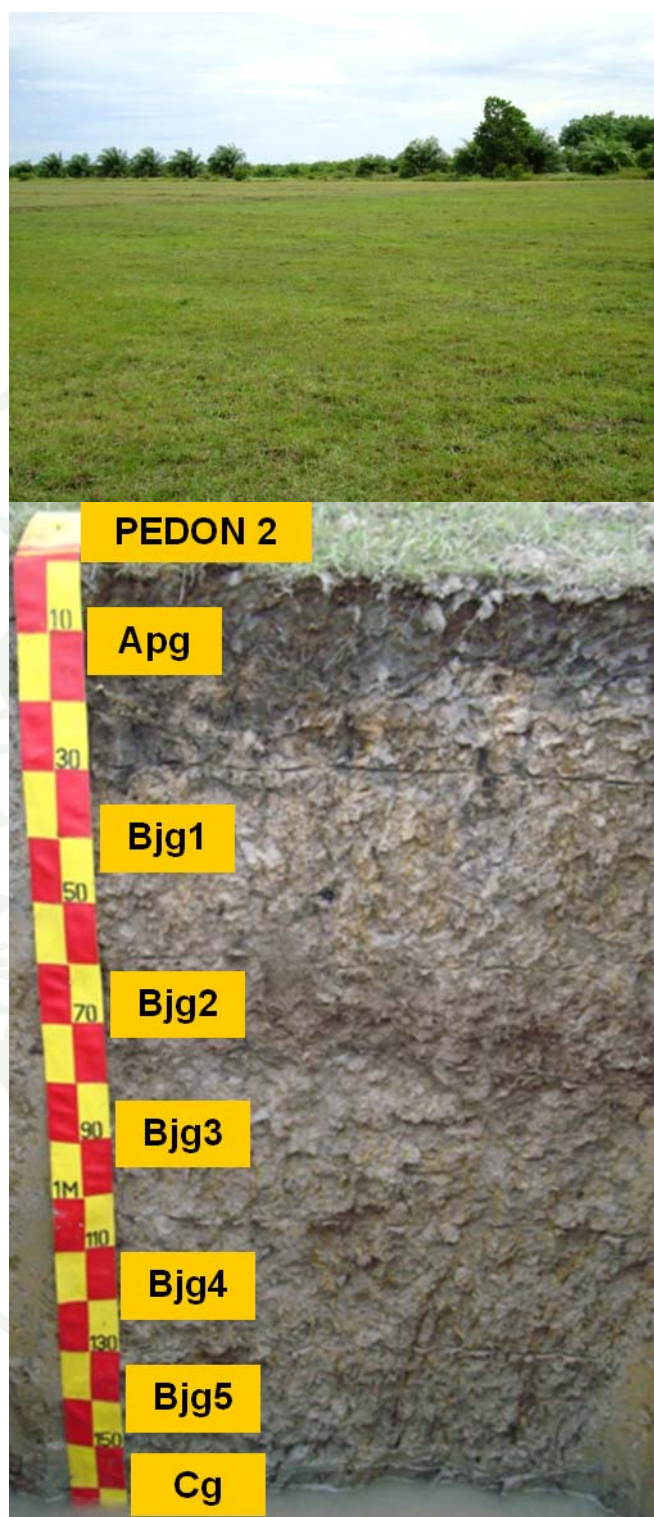
A	= abrupt
C	= clear
G	= gradual
S	= smooth
W	= wavy

ดินล่างลึก 20-150+ เซนติเมตร ในตอนบนของชั้นดินล่าง ที่ระดับความลึก 20-50 เซนติเมตร ดินมีสีเทาอ่อน พบสีจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง และสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัดดิน โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน และกึ่งเนื้อสमानแน่น พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อยมาก พบผิวหน้าที่ถูกแรงกดขนาดเล็กในปริมาณน้อย พบแร่จำไรโซต์ และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก ที่ระดับความลึก 50-75 เซนติเมตร ดินมีสีเทา พบสีจุดประสีเหลืองปนแดง และสีน้ำตาลปนเหลืองเข้ม โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดินปานกลาง พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย และพบผิวหน้าที่ถูกแรงกดขนาดเล็กในปริมาณค่อนข้างมาก ที่ระดับความลึก 75-100 เซนติเมตร ดินมีสีน้ำตาลปนเทาเข้มมาก พบสีจุดประสีน้ำตาลแก่ พบอินทรีย์วัตถุและวัสดุดินแซพริก (sapric soil material) ปริมาณค่อนข้างมาก ที่ระดับความลึก 100-125 เซนติเมตร ดินมีสีดำ พบอินทรีย์วัตถุ วัสดุดินเฮมิก (hemic soil material) และรากพืชที่ตายแล้วปริมาณมาก และที่ระดับความลึก 125-150+ เซนติเมตร ดินมีสีเทาเข้ม โครงสร้างของดินแบบเนื้อสमानแน่น พบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก พีเอชดินในสนามเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดปานกลาง (field pH 4.0-6.0)

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

บริเวณบ้านทองจันทร์ ตำบลแหลม อำเภอยะหริ่ง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความสูง 1 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึกมาก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็นแบบ Apg-Bjg-Cg วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำกร่อย (brackish deposits) สภาพพื้นที่เป็นที่ราบ มีความลาดชันประมาณร้อยละ 2 ดินมีการระบายน้ำเร็ว การซาชซึมน้ำช้า และมีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกประมาณ 90 เซนติเมตรจากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาคือเป็นพื้นที่รกร้าง ต้นสน ต้นไผ่ มะพร้าว ในพื้นที่มีการปลูกปาล์มน้ำมัน และยางพารา

ดินบนลึก 30 เซนติเมตร มีสีเทา พบสีจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง และสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อดินเป็นดินเหนียว โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดินปานกลาง พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย และรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก พีเอชดินในสนามเป็นกรดรุนแรงมาก (field pH 4.0)



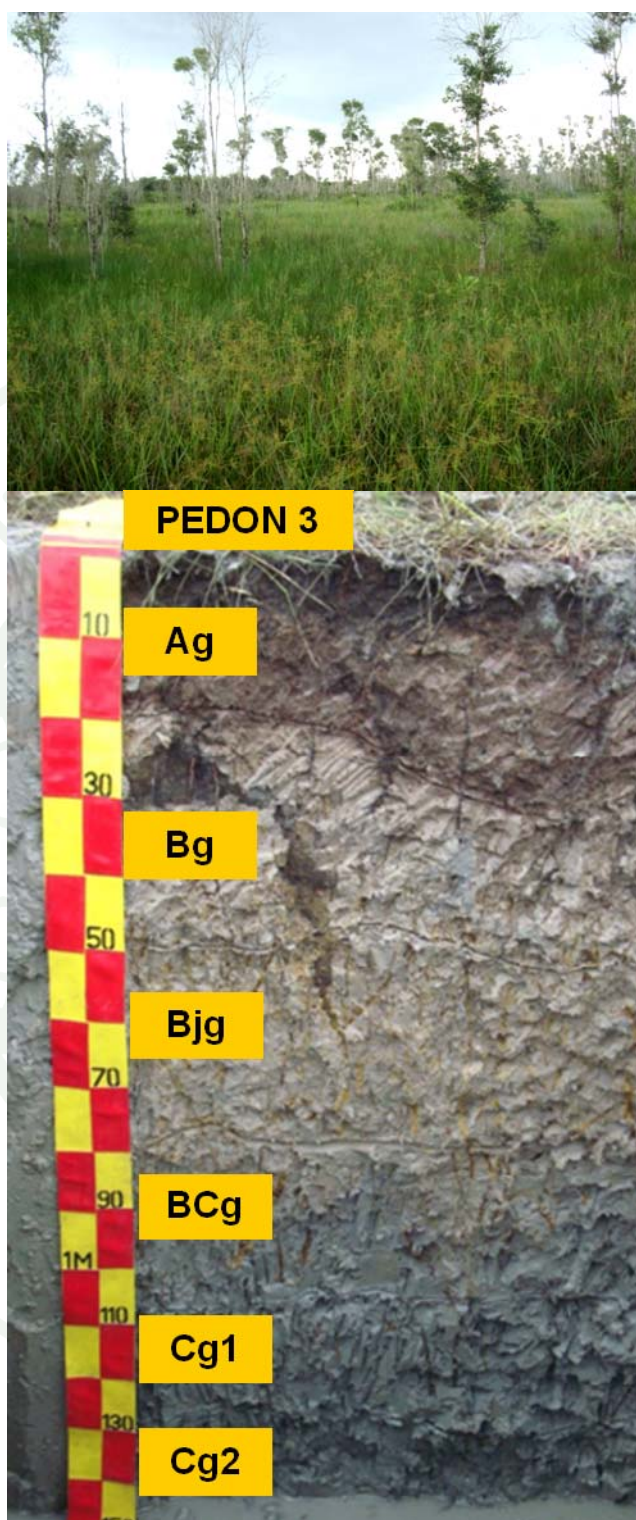
ภาพที่ 3 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีดอน 2 (Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic) บริเวณบ้านทองจันทร์ ตำบลแหลม อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดนครศรีธรรมราช

ดินล่างลึก 30-155+ เซนติเมตร ในตอนบนของชั้นดินล่าง ที่ระดับความลึก 30-75 เซนติเมตร ดินมีสีเทา และสีน้ำตาล พบสีจุดประสีเหลืองปนน้ำตาล และสีน้ำตาลปนแดงอ่อน เนื้อดินเป็นดินเหนียว โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดินปานกลาง พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย พบผิวหน้าที่ถูกแรงกดขนาดเล็กในปริมาณน้อย และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก ที่ระดับความลึก 30-155 เซนติเมตร พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่จำไรโซด์ ที่ระดับความลึก 75-130 เซนติเมตร ดินมีสีเทา พบสีจุดประสีเหลืองปนน้ำตาล สีน้ำตาลปนเหลืองเข้ม และสีน้ำตาลเข้ม โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดปานกลางถึงหยาบ มีความคงทนของโครงสร้างดินอ่อน และที่ระดับความลึก 130-170+ เซนติเมตร ดินมีสีเทา และสีเทาอ่อน พบจุดประสีเหลืองจาง และสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง โครงสร้างดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดหยาบ มีความคงทนของโครงสร้างดินอ่อน และแบบกึ่งเนื้อสมานแน่น พบรากพืชที่ตายแล้วจำนวนเล็กน้อยถึงน้อย พืชชนิดในสนามเป็นกรรณแรงมากถึงกรรณเล็กน้อย (field pH 4.0-6.5)

1.3 พืดอน 3 (Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 4)

บริเวณบ้านเสม็ดงาม ตำบลเครื่อง อำเภอยะเอยด จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความสูง 4 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึกปานกลาง ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็นแบบ Ag-Bg-Bjg-BCg-Cg วัตถุต้นกำเนิดเป็นวัสดุอินทรีย์ทับถมบนตะกอนน้ำกร่อย (organic materials over brackish deposits) สภาพพื้นที่เป็นที่ราบ มีความลาดชันประมาณร้อยละ 2 ดินมีการระบายน้ำเร็ว การซาดซึมน้ำเร็ว และมีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกประมาณ 70 เซนติเมตรจากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาคือพื้นที่ป่าเสม็ดในพรุควนเคร็ง

ดินบนลึก 30 เซนติเมตร มีสีดำ พบสีจุดประสีน้ำตาลแก่ เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดินปานกลาง พบอินทรีย์วัตถุ รากพืช และรากพืชที่ตายแล้วปริมาณมาก พืชชนิดในสนามเป็นกรรณจัดมาก (field pH 4.5)



ภาพที่ 4 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีดอน 3 (Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic) บริเวณบ้านเสม็ดงาม ตำบลเกร็ง อำเภอลำลูกกา จังหวัดนครราชสีมา

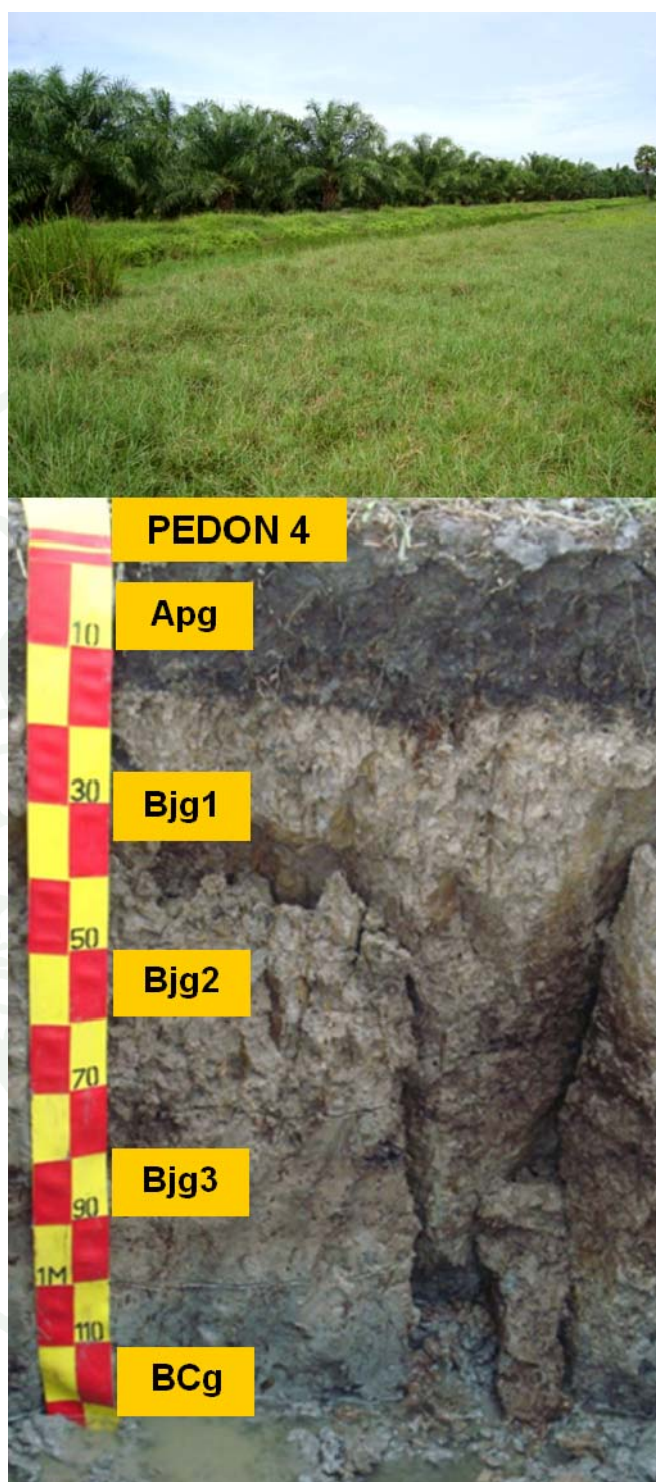
ดินล่างลึก 30-150+ เซนติเมตร ที่ระดับความลึก 30-110 เซนติเมตร ดินมีสีเทา พบสีจุดประสีเหลือง สีน้ำตาลปนเหลือง และสีแดงอ่อน เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแบ่งตลอดหน้าตัดดิน โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม มีขนาดหยาบ มีความคงทนของโครงสร้างดินอ่อน และแบบเนื้อเสมานแน่น พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย พบผิวหน้าที่ถูกแรงกดขนาดเล็กในปริมาณน้อย และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณมาก ที่ระดับความลึก 50-80 เซนติเมตร พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่จาโรไซต์ และที่ระดับความลึก 110-150+ เซนติเมตร ดินมีสีเทาปนเขียว โครงสร้างของดินแบบเนื้อเสมานแน่น พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณน้อยถึงมาก พีเอชดินในสนามเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดเล็กน้อย (field pH 4.0-6.5)

1.4 พืดอน 4 (Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic) (ภาพที่ 5)

บริเวณบ้านสระเพลง ตำบลทางพูน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความสูง 2 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็นแบบ Apg-Bjg-BCg วัตถุต้นกำเนิดเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ถมบนตะกอนน้ำกร่อย สภาพพื้นที่เป็นที่ราบ มีความลาดชันประมาณร้อยละ 2 ดินมีการระบายน้ำเร็ว การซาบซึมน้ำเร็ว และมีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกประมาณ 30 เซนติเมตรจากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาคือพื้นที่ที่รกร้าง และในพื้นที่มีการปลูกปาล์มน้ำมัน

ดินบนลึก 20 เซนติเมตร มีสีดำ พบสีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองเข้ม เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดินปานกลาง พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อยมาก และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก พีเอชดินในสนามเป็นกรดรุนแรงมาก (field pH 4.0)

ดินล่างลึก 20-130+ เซนติเมตร ในตอนบนของชั้นดินล่าง ที่ระดับความลึก 20-70 เซนติเมตร ดินมีสีน้ำตาลปนเทา พบสีจุดประสีเหลืองปนน้ำตาล และสีน้ำตาลปนเหลือง เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอดหน้าตัดดิน โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดินปานกลาง พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย การเลื่อนไถลของดิน และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก ที่ระดับความลึก 20-110 เซนติเมตร พบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของแร่จาโรไซต์ ที่ระดับความลึก 70-110 เซนติเมตร ดินมี



ภาพที่ 5 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีดอน 4 (Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic) บริเวณบ้านสระเพลง ตำบลทางพูน อำเภอนเฉลิมพระเกียรติ จังหวัด นครศรีธรรมราช

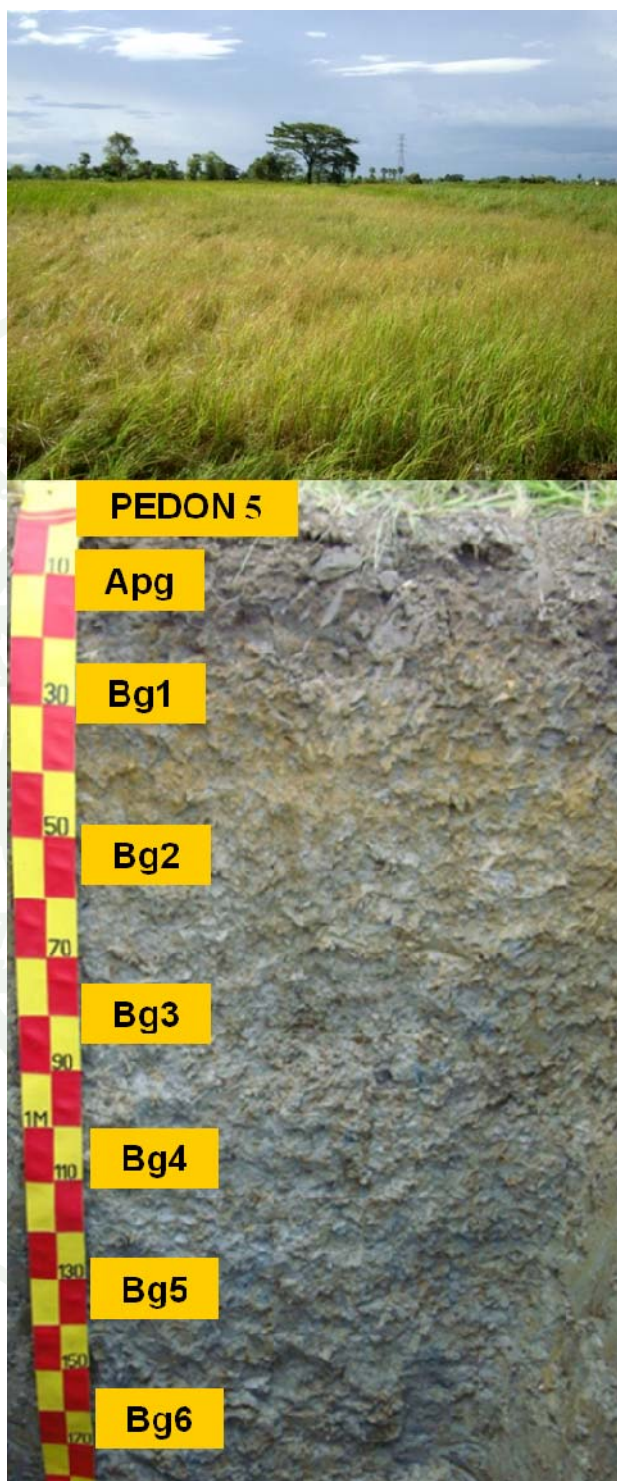
สีเทา พบจุดประสีเหลือง และสีเหลืองจาง โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม มีขนาดละเอียดขนาดเล็กในปริมาณน้อย และพบผิวหน้าที่ถูกแรงกดขนาดเล็กในปริมาณน้อยมาก และที่ระดับความลึก 110-130+ เซนติเมตร ดินมีสีเทาอ่อน พบสีจุดประสีเหลือง และสีเหลืองปนน้ำตาล โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม มีขนาดหยาบ มีความคงทนของโครงสร้างดินอ่อน และแบบกึ่งเนื้อสमानแน่น พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย และพบรากพืชที่ตายแล้ว ปริมาณเล็กน้อย พืชดินในสนามเป็นกรรณูแรงมาก (field pH 4.0)

1.5 พืดอน 5 (Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic) (ภาพที่ 6)

บริเวณบ้านคอนตรอ ตำบลคอนตรอ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความสูง 4 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลิกมาก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็นแบบ Apg-Bg วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำทะเลและตะกอนแม่น้ำ (mixed marine deposits and riverine alluvium) สภาพพื้นที่เป็นที่ราบ มีความลาดชันประมาณร้อยละ 1 ดินมีการระบายน้ำเร็ว การซาชซึมน้ำช้า และมีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกเกินกว่า 180 เซนติเมตรจากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาคือพื้นที่นาข้าว

ดินบนลึก 20 เซนติเมตร มีสีเทาเข้ม พบสีจุดประสีน้ำตาลแก่ เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม มีขนาดหยาบ มีความคงทนของโครงสร้างดินแข็งแรง พบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก พืชดินในสนามเป็นกรรณปานกลาง (field pH 6.0)

ดินล่างลึก 20-185+ เซนติเมตร ในตอนบนของชั้นดินล่าง ที่ระดับความลึก 20-70 เซนติเมตร ดินมีสีเทา พบสีจุดประสีเขียวมะกอก และสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อดินเป็นดินเหนียว โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดินปานกลาง พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย พบผิวหน้าที่ถูกแรงกดขนาดเล็กในปริมาณน้อย พบรอยแยกของหลักและแมงกานีส และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก ที่ระดับความลึก 70-153 เซนติเมตร ดินมีสีเทาปนเขียว พบสีจุดประสีเหลืองปนน้ำตาล สีน้ำตาลแก่ และสีน้ำตาลปนแดงเข้ม เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดหยาบ มีความคงทนของโครงสร้างดินอ่อน พบรอยแตกกระแหง



ภาพที่ 6 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีดอน 5 (Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic) บริเวณบ้านคอนตรอ ตำบลคอนตรอ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครศรีธรรมราช

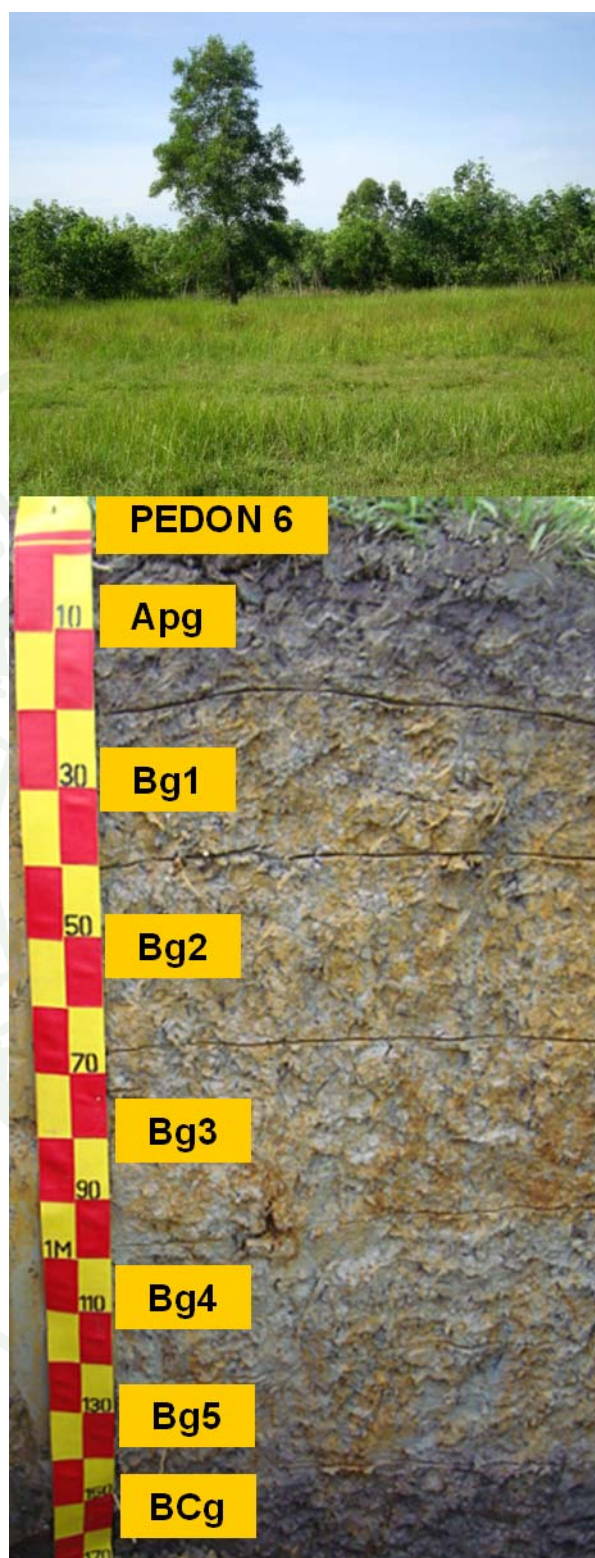
ขนาดเล็กในปริมาณ พบผิวหน้าที่ถูกแรงกดขนาดเล็ก ในปริมาณน้อย พบรอยไถลในปริมาณน้อย และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณน้อย และที่ระดับความลึก 153-185+ เซนติเมตร ดินมีสีเทาปนเขียว พบจุดประสีน้ำตาลแก่ โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดหยาบ มีความคงทนของโครงสร้างดินอ่อน และแบบกึ่งเนื้อสमानแน่น พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย พบผิวหน้าที่ถูกแรงกดขนาดเล็กในปริมาณน้อย พบรอยไถลในปริมาณน้อย และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณน้อย พืชในสนามเป็นกลางถึงด่างปานกลาง (field pH 6.0-7.0)

1.6 พืดอน 6 (Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic) (ภาพที่ 7)

บริเวณบ้านทุ่งทับควาย ตำบลทางพูน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความสูง 4 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินลึกลับมาก ดินมีพัฒนาการของหน้าตัดดินเป็นแบบ Apg-Bg-BCg วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำกร่อย สภาพพื้นที่เป็นที่ราบ มีความลาดชันประมาณร้อยละ 2 ดินมีการระบายน้ำเร็ว การซาบซึมน้ำช้า และมีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า ขณะทำการศึกษาระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกประมาณ 100 เซนติเมตรจากผิวดิน สภาพการใช้ที่ดินขณะทำการศึกษาก่อนเป็นพื้นที่รกร้าง

ดินบนลึก 23 เซนติเมตร มีสีเทา พบสีจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดปานกลางถึงหยาบ มีความคงทนของโครงสร้างดินแข็งแรง พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก พืชในสนามเป็นกลาง (field pH 7.0)

ดินล่างลึก 23-170+ เซนติเมตร ในตอนบนของชั้นดินล่าง ที่ระดับความลึก 23-40 เซนติเมตร ดินมีสีเทาอ่อน พบสีจุดประสีเหลืองปนน้ำตาล และสีแดง เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งตลอดหน้าตัดดิน โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดินแข็งแรง พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อยมาก และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก ที่ระดับความลึก 40-100 เซนติเมตร ดินมีสีเทาปนแดงอ่อน พบสีจุดประสีเหลืองปนน้ำตาล สีนํ้าตาลแก่ และสีแดงปนเหลือง โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างดินปานกลาง พบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย และพบรากพืชที่ตายแล้วปริมาณค่อนข้างมาก และที่ระดับ



ภาพที่ 7 ลักษณะภูมิประเทศ และหน้าตัดดินของพีดอน 6 (Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic) บริเวณบ้านทุ่งทับควาย ตำบลทางพูน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครศรีธรรมราช

ความลึก 100-170+ เซนติเมตร ดินมีสีเทาอ่อน และสีเทา พบสีจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง และสีน้ำตาล โครงสร้างของดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม มีขนาดหยาบ มีความคงทนของโครงสร้างแบบอ่อน และแบบกึ่งเนื้อสमानแน่น และพบรอยแตกกระแหงขนาดเล็กในปริมาณน้อย ที่ระดับความลึก 100-125 เซนติเมตร พบร่องรอยของสัตว์ในดิน และที่ระดับความลึก 150-170+ เซนติเมตร พบเศษซากพืชที่ผุพังและการสะสมทรายละเอียด พีเอชดินในสนามเป็นกลางถึงด่างปานกลาง (field pH 6.0-7.0)

ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของดินโดยแต่ละบริเวณ พบว่า ส่วนใหญ่ดินที่ทำการศึกษามีความหนาของชั้นดินบนประมาณ 20-30 เซนติเมตร มีความลาดชันผิวหน้าอยู่ในช่วงร้อยละ 1-2 สภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบ วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำกร่อย ตะกอนน้ำทะเล และวัสดุอินทรีย์ ยกเว้นพืดอน 5 เป็นตะกอนน้ำทะเล และตะกอนแม่น้ำ ดินส่วนใหญ่มีการระบายน้ำเร็ว การซาชซึมน้ำช้ามากถึงเร็ว และการไหลบ่าของน้ำอยู่ในระดับช้า

ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาคือดินลึกถึงลึกมาก เนื่องจากวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำกร่อย และตะกอนน้ำทะเล ซึ่งถูกพัฒนามาทับถมในบริเวณที่ราบ มีความลาดเทน้อย ทำให้อัตริพลของการทับถมและการผุพังอยู่กับที่มากกว่าการกร่อน และสภาพพื้นที่ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษายู่ในเขตร้อน สภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อนที่มีอุณหภูมิสูงและฝนตกชุก ซึ่งสภาพดังกล่าวส่งเสริมให้เกิดการผุพังสลายตัวทางเคมีเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรุนแรง (เอิบ, 2548; Buol *et al.*, 2011) ความลึกของชั้นดินบนจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอินทรีย์วัตถุ และสภาพการใช้ที่ดินทางการเกษตร ทำให้มีการผสมคลุกเคล้าของอินทรีย์วัตถุในดินบน ซึ่งจะเห็นได้ว่าชั้นดินบนของทุกพืดอนมีความหนาอย่างชัดเจน

สีดินที่การศึกษามีหลายสีตั้งแต่สีเทาอ่อนถึงดำ พบจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองถึงน้ำตาลปนแดงอ่อน และสีแดงถึงเหลือง พบว่าส่วนใหญ่ดินที่ทำการศึกษาในชั้นดินบนจะมีสีคล้ำกว่าชั้นดินล่างอย่างชัดเจน เนื่องจากชั้นดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าชั้นดินล่าง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่วิเคราะห์ได้ โดยในดินบนจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก ในชั้นดินล่างส่วนใหญ่จะมีสีดินเป็นสีเทาอ่อนถึงน้ำตาล พบจุดประที่มีค่ารังสีสูง แสดงว่าดินมีสภาพการระบายน้ำเร็ว มีน้ำแช่ขังในชั้นดินเป็นเวลานานในรอบปี ทำให้มีการออกซิเดชันและรีดักชันของสารพวกเหล็กและแมงกานีสเกิดเป็นจุดประแทรกอยู่ในสีพื้นของดิน (Fanning and Fanning, 1989; Soil Survey Division Staff, 1993; Soil Survey Staff, 2010)

เนื้อดินส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งและดินเหนียว ยกเว้น พีค่อน 2 ในชั้นดินล่างลึกลงไปที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ลักษณะในหน้าตัดดินที่มีเนื้อดินแตกต่างกัน เนื่องจากวัตถุดิบกำเนิดที่เป็นตะกอนน้ำพาทับถมอยู่บนตะกอนน้ำกร่อยและน้ำทะเล ทำให้เกิดความแตกต่างกันของการกระจายขนาดอนุภาค โดยชั้นดินบนและชั้นดินล่างตอนบนมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ส่วนชั้นดินล่างลึกลงไปมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Young, 1972; Brikeland, 1974; Gerrard, 1981; Wysocki *et al.*, 2000; Zuo *et al.*, 2008) มีความไม่ต่อเนื่องทางธรณี (lithologic discontinuity) ที่ชี้ให้เห็นความแตกต่างกันของวัสดุธรณี ซึ่งวัสดุที่แตกต่างกันจะแสดงความแตกต่างกันของการกระจายขนาดอนุภาค องค์ประกอบเชิงแร่ระหว่างชั้นดินอย่างชัดเจน (เอิบ, 2548; Buol *et al.*, 2011)

โครงสร้างดินในชั้นดินบนทุกพีค่อนส่วนใหญ่ จะมีโครงสร้างดินแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลาง ยกเว้นพีค่อน 5 และ 6 จะมีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดปานกลางถึงหยาบ มีความคงทนแข็งแรง ส่วนในชั้นดินล่างโดยภาพรวมดินทุกพีค่อนมีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน ก้อนเหลี่ยมมุมคม กึ่งเนื้อสมานแน่น และเนื้อสมานแน่น มีขนาดละเอียดถึงหยาบ มีความคงทนอ่อนถึงปานกลาง แสดงว่าเป็นดินที่มีพัฒนาการค่อนข้างน้อย (Fitzpatrick, 1973; Soil Survey Staff, 2010)

การยึดตัวของดิน เมื่อดินแห้งส่วนใหญ่จะทำให้ดินแตกออกจากกันยากโดยจะต้องใช้มือทั้งสอง ส่วนดินชั้นเม็ดดินจะแตกออกจากกันยากโดยจะต้องใช้แรงกดมาก และการยึดตัวของดินเปียกสามารถเปลี่ยนรูปได้ทุกพีค่อน

ดินในสนามเป็นกรดรุนแรงถึงด่างปานกลาง โดยส่วนใหญ่ดินเป็นกรดจัดมาก เนื่องจากวัตถุดิบกำเนิดเป็นตะกอนทับถมที่เกิดจากตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเลที่มีปริมาณธาตุกำมะถันสูง ธาตุกำมะถันส่วนมากเกิดอยู่ในรูปสารประกอบไฟไรต์ เมื่อมีออกซิเจนแทรกซึมเข้าไปในดินจะทำให้เกิดกรดกำมะถัน ทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรดจัดมาก (เอิบ, 2550; Pons, 1973; van Breemen, 1976; van Mensvoort *et al.*, 1991; Cook *et al.*, 2000; Husson *et al.*, 2000; Fanning, 2006)

ลักษณะอื่น ๆ ที่พบภายในหน้าตัดดินของชุดดินที่ทำการศึกษา เช่น ผิวหน้าที่ถูกแรงกดรอยไถ และร่องระแหง แสดงว่ามีแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ที่สามารถขยายตัวได้ในหน้าตัดดิน ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ทางแร่วิทยาที่พบว่ามีแร่อิลไลต์ ซึ่งมีผลทำให้ความจุแลกเปลี่ยน

แคตไอออนสูงตามไปด้วย (Sanchez, 1976; Huang, 2005; Coyne and Thompson, 2006; Brady and Weil, 2008) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีของทุกพืดอนที่มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง

2. ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดินเปรี้ยว

จากการศึกษาลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน ที่ทำการศึกษา 6 บริเวณ โดยวิธีการทำแผ่นตัดบาง และใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดดูหินและแร่จาก ตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ในชั้นที่เป็นตัวแทนของดินเปรี้ยวในแต่ละพืดอน คำอธิบายลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดินแสดงไว้ในภาคผนวก ข และตารางที่ 4 สรุปได้ดังนี้

2.1 พืดอน 1 (ภาพที่ 8)

ดินบนมีโครงสร้างแบบ channel มีช่องว่างในดินเป็นแบบ channels และ planar ประมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร มีอนุภาคหยาบในเนื้อดินละเอียด (matrix) เป็นแร่ควอตซ์ ขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก มีรูปร่างค่อนข้างกลม (subrounded) และมีการคัดขนาดดี (well sorted) ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวสีน้ำตาลปนแดงและสีน้ำตาลปนเหลือง ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคขนาดหยาบกับอนุภาคขนาดละเอียดแบบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียว (clay monic) มีการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคดินเหนียวกระจุกกระจาย (stipple-speckle b-fabric) พบชิ้นส่วนของพืชที่มีการสลายตัว วัสดุอินทรีย์ละเอียด (organic fine material) และเนื้อเยื่อพืช (plant tissue)

ดินล่างมีโครงสร้างแบบ channel เหมือนกับชั้นดินบน มีช่องว่างแบบ planar และ vesicles ประมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีอนุภาคหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ ขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก มีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีการคัดขนาดดี ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มและสีแดงปนเหลือง ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียว มีการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดที่เด่นชัดแบบเส้นต่อเนื่องเป็นแถบ (mosaic speckled b-fabric) วัสดุอินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนของพืชที่มีการสลายตัว และในช่วงความลึก 75-100 เซนติเมตร (ชั้น Oag) พบเศษชิ้นส่วนของพืช ร่วมกับแร่ดินเหนียว

ตารางที่ 4 จุลลักษณะดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Horizon	Depth (cm)	Microstructure		Basic component			c/f related distribution	b-fabric	Pedofeature
		Structure	Voids	c/f ratio at 10 μm	Coarse fraction	Fine fraction			
Pedon 1 Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic									
Apg	0-20	Channel	Channels, planar	1:99	Quartz	Reddish brown and yellowish brown clay	Clay monic	Stipple-speckled, mosaic speckled b-fabric	-
Bg1	20-50	Channel	Planar, vesicles	1:99	Quartz	Reddish brown and yellowish brown clay	Clay monic	Stipple-speckled, mosaic speckled b-fabric	-
Bg2	50-75	Channel	Planar, vesicles	1:99	Quartz	Strong brown and yellowish red clay	Clay monic	Stipple-speckled, mosaic speckled b-fabric	-
Oag	75-100	Channel	Planar, vesicles	1:99	Quartz	Yellowish brown clay	Clay monic	Stipple-speckled, mosaic speckled b-fabric	-
Oeg	100-125	Channel	Planar, vesicles	1:99	Quartz	Pale gray clay	Clay monic	Stipple-speckled, mosaic speckled b-fabric	-
2Cg	125-150+	Channel	Planar, vesicles	1:99	Quartz	Pale gray clay	Clay monic	Stipple-speckled, mosaic speckled b-fabric	-
Pedon 2 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic									
Apg	0-15/30	Channel	Channels, planar	5:95	Quartz, sericite	Dark grayish brown clay to fine silt	Nearly clay monic	Stipple-speckled b-fabric	-
Bjg1	30-60	Channel	Channels, planar	5:95	Quartz, sericite	Dark grayish brown clay to fine silt	Nearly clay monic	Mosaic speckled b-fabric	Jarosite

ตารางที่ 4 (ต่อ)

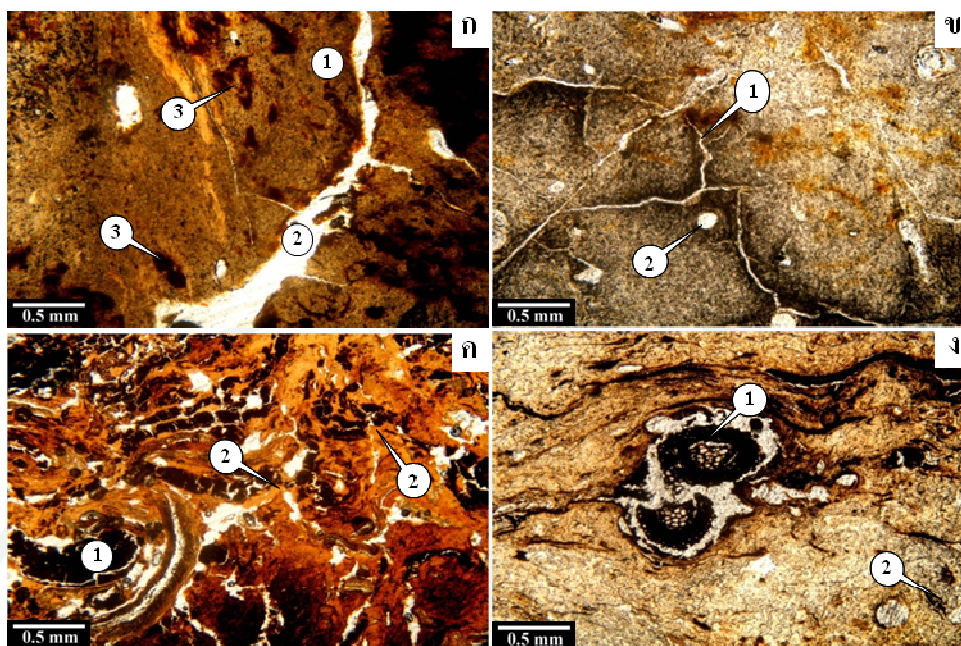
Horizon	Depth (cm)	Microstructure		c/f ratio at 10 μm	Basic component		c/f related distribution	b-fabric	Pedofeature
		Structure	Voids		Coarse fraction	Fine fraction			
Pedon 2 (continued)									
Bjg2	60-75	Channel	Vughs, vesicles	5:95	Quartz, sericite	Pale brown to grayish brown clay to fine silt	Nearly clay monic	Mosaic speckled b-fabric	Iron oxide aggregate nodules, jarosite
Bjg4	105-130	Channel	Vughs, vesicles	5:95	Quartz, sericite	Pale brown to grayish brown clay to fine silt	Nearly clay monic	Mosaic speckled b-fabric	Iron oxide aggregate nodules, Jarosite
Bjg5	135-155	Channel	Vughs, vesicles	5:95	Quartz, sericite	Pale brown to grayish brown clay to fine silt	Nearly clay monic	Mosaic speckled b-fabric	Iron oxide aggregate nodules, jarosite
Cg	155-170+	Channel	Vughs, vesicles	5:95	Quartz, sericite	Pale brown to grayish brown clay to fine silt	Nearly clay monic	Mosaic speckled b-fabric	Iron oxide aggregate nodules, jarosite, framboidal pyrite
Pedon 3	Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic								
Ag	0-15/30	Channel	Channels, vesicles, planar	5:95	Quartz, sericite	Grayish brown clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric, mosaic speckled b-fabric	-
Bg	30-50	Channel	Channels, vesicles, planar	10:90	Quartz, sericite	Gray clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric, mosaic speckled b-fabric	-
Bjg	50-80	Channel	Channels, vesicles, planar	15:85	Quartz, sericite	Gray clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric, mosaic speckled b-fabric	Jarosite
Cg2	130-150+	Channel	Channels, vesicles, planar	15:85	Quartz, sericite	Gray clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric, mosaic speckled b-fabric	Framboidal pyrite

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Microstructure		c/f ratio at 10 μm	Basic component		c/f related distribution	b-fabric	Pedofeature
		Structure	Voids		Coarse fraction	Fine fraction			
Pedon 4 Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic									
Apg	0-15/20	Channel	Channels, planar, vughs	10:90	Quartz, sericite	Grayish brown clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric to undifferentiated	-
Bjg1	20-50	Channel	Channels, planar, vughs	15:85	Quartz, sericite	Grayish brown clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric to undifferentiated	Jarosite
Bjg3	70-100	Channel	Channels, planar, vughs	5:95	Quartz, sericite	Grayish brown clay to fine silt	Open porphyric	Mosaic speckled b-fabric	Jarosite
BCg	110-130+	Channel	Channels, planar, vughs	5:95	Quartz, sericite	Grayish brown clay to fine silt	Open porphyric	Mosaic speckled b-fabric	Jarosite, Framboidal pyrite
Pedon 5 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic									
Apg	0-20	Channel	Channels, planar	10:90	Quartz	Grayish brown and brown clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric	-
Bg1	20-45	Channel	Channels, planar	10:90	Quartz	Yellowish brown and brown clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric	-
Bg3	70-98	Channel	Channels, planar	10:90	Quartz	Yellowish brown and brown clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric	Carbonate nodules
Bg4	98-125	Channel	Channels, planar	5:95	Quartz	Yellowish brown and brown clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric	Carbonate nodules
Bg5	125-153	Channel	Channels, planar	5:95	Quartz	Yellowish brown and brown clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric	Manganese oxide

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Microstructure		Basic component			c/f related distribution	b-fabric	Pedofeature
		Structure	Voids	c/f ratio at 10 μm	Coarse fraction	Fine fraction			
Pedon 6 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic									
Apg	0-20/23	Angular blocky	Planar	10:90	Quartz	Yellowish brown to brownish yellow clay to fine silt	Open porphyric	Stipple-speckled b-fabric to undifferentiated b-fabric	-
Bg1	23-40	Angular blocky	Planar	15:85	Quartz	Yellowish brown to brownish yellow clay to fine silt	Open porphyric	Mosaic-speckled b-fabric to undifferentiated b-fabric	Iron oxide mixed with humic substance
Bg3	65-100	Angular blocky	Planar	15:85	Quartz	Yellowish brown to brownish yellow clay to fine silt	Open porphyric	Mosaic-speckled b-fabric to undifferentiated b-fabric	Iron oxide mixed with humic substance
Bg5	125-150	Angular blocky	Planar	15:85	Quartz	Yellowish brown to brownish yellow clay to fine silt	Open porphyric	Mosaic-speckled b-fabric to undifferentiated b-fabric	Iron oxide mixed with humic substance
BCg	150-170+	Angular blocky	Planar	20:80	Quartz	Yellowish brown to brownish yellow clay to fine silt	Open porphyric	Mosaic-speckled b-fabric to undifferentiated b-fabric	Iron oxide mixed with humic substance



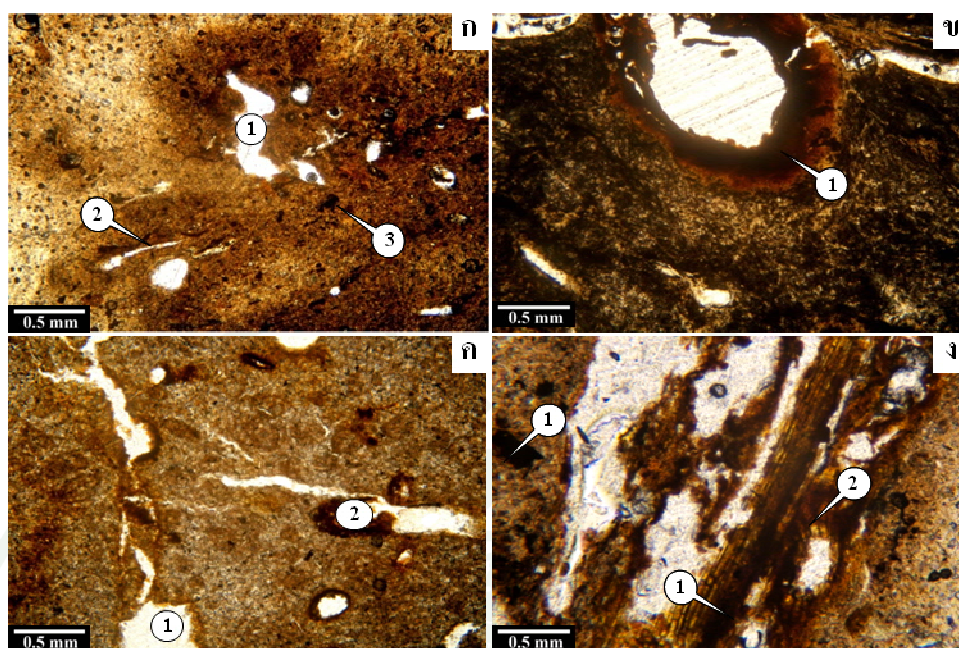
ภาพที่ 8 ลักษณะทางจุลทรรศน์วิทยาของฟีดอน 1

- ก) โครงสร้างแบบ channel (1) ช่องว่างแบบ channels (2) และเศษชิ้นส่วนของพืชที่สลายตัว (3) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียวของฟีดอน 1 ชั้น Apg ช่วงความลึก 0-20 เซนติเมตร (plane light)
- ข) ช่องว่างแบบ planar (1) และช่องว่างแบบ vesicles (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียวของฟีดอน 1 ชั้น Bg1 ช่วงความลึก 20-50 เซนติเมตร (plane light)
- ค) เศษชิ้นส่วนของพืชที่สลายตัว (1) และชิ้นส่วนของพืชร่วมกับแร่ดินเหนียว (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียวของฟีดอน 1 ชั้น Oag ช่วงความลึก 75-100 เซนติเมตร (plane light)
- ง) เศษชิ้นส่วนของรากพืชที่กำลังสลายตัว (1) และเศษชิ้นส่วนของพืชที่สลายตัว (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียวของฟีดอน 1 ชั้น 2Cg ช่วงความลึก 125-150+ เซนติเมตร (plane light)

2.2 ฟีดอน 2 (ภาพที่ 9)

ดินบนมีโครงสร้างแบบ channel มีช่องว่างในดินเป็นแบบ channels และ planar ประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ ขนาดทรายแป้ง มีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีการคัดขนาดดี และยังพบชิ้นส่วนของแร่เชริไซต์ปริมาณน้อย ส่วนอนุภาคละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาขนาดดินเหนียว สีน้ำตาลปนเทาเข้ม ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคนาขนาดหยาบกับอนุภาคนาขนาดละเอียดเป็นแบบเกือบทั้งหมดพบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียว (nearly clay monic) มีการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคดินเหนียวกระจาย พบเศษเหลือของพีช ชิ้นส่วนของพีชที่มีการสลายตัว และวัสดุอินทรีย์ละเอียด

ดินล่างมีโครงสร้างแบบ channel เหมือนกับชั้นดินบน ในช่วงบนของชั้นดินล่างของหน้าตัดดินช่วงความลึก 30-60 เซนติเมตร (ชั้น B_{g1}) มีช่องว่างในดินเป็นแบบ channels และ planar ส่วนในช่วงความลึก 60-170+ เซนติเมตร (ชั้น B_{g2}-C_g) มีช่องว่างในดินเป็นแบบ vughs และ vesicles ประมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก มีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีการคัดขนาดดี และยังพบชิ้นส่วนของแร่เชริไซต์ปริมาณน้อย ส่วนอนุภาคนาขนาดละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาขนาดดินเหนียวถึงทรายแป้งละเอียด มีสีเทา และสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลปนเทา ซึ่งอนุภาคนาขนาดหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาขนาดละเอียดเป็นแบบเกือบทั้งหมดพบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียว มีการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคดินเหนียวกระจาย และแบบเส้นต่อเนื่องเป็นแถบ พบชิ้นส่วนของพีชที่มีการสลายตัวเล็กน้อย และวัสดุอินทรีย์ละเอียด ในช่วงความลึก 30-155 เซนติเมตร (ชั้น B_{g1}-B_{g5}) พบจาโรไซต์เคลือบตามผนังและช่องว่าง ส่วนในช่วงความลึก 60-75 เซนติเมตร (ชั้น B_{g2}) พบสารก่อกมลของเหล็กออกไซด์ มีสีน้ำตาลเข้ม และในช่วงความลึก 155-170+ เซนติเมตร (ชั้น BC_g) พบเฟรมบอยคอลลไพไรต์ (framboidal pyrite) ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นตะกอนน้ำกร่อยและน้ำทะเล



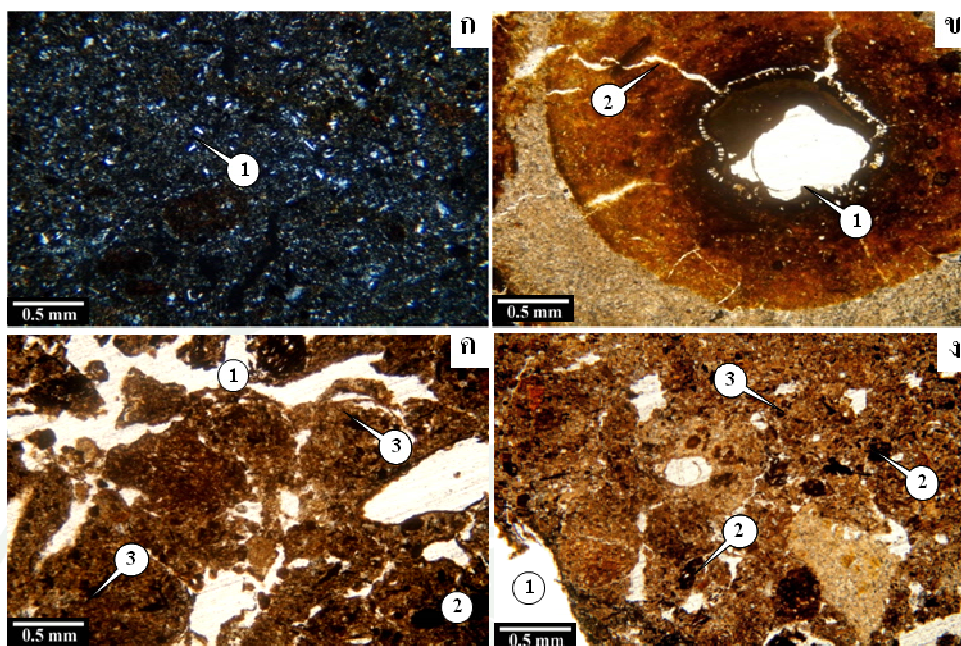
ภาพที่ 9 ลักษณะทางจุลทรรศน์วิทยาของฟีดอน 2

- ก) ช่องว่างแบบ channels (1) ช่องว่างแบบ planar (2) และเศษชิ้นส่วนของพีชที่สลายตัว (3) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเกือบทั้งหมดพบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียวของฟีดอน 2 ชั้น Apg ช่วงความลึก 0-15/30 เซนติเมตร (plane light)
- ข) ลักษณะของแร่จำโรไซต์ (1) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเกือบทั้งหมดพบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียวของฟีดอน 2 ชั้น B_g1 ช่วงความลึก 30-60 เซนติเมตร (plane light)
- ค) ช่องว่างแบบ vughs (1) และเศษชิ้นส่วนของพีชที่สลายตัว (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเกือบทั้งหมดพบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียวของฟีดอน 2 ชั้น B_g2 ช่วงความลึก 60-75 เซนติเมตร (plane light)
- ง) ลักษณะของอินทรีวัตดู (1) และแร่จำโรไซต์ (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเกือบทั้งหมดพบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียวของฟีดอน 2 ชั้น B_g5 ช่วงความลึก 130-155 เซนติเมตร (plane light)

2.3 ฟีดอน 3 (ภาพที่ 10)

ดินบนมีโครงสร้างแบบ channel มีช่องว่างในดินโดยส่วนใหญ่เป็นแบบ channels, vesicles และ planar ประมาณร้อยละ 15 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ ขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก มีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีการคัดขนาดดี และยังพบชิ้นส่วนของแร่เซอร์ไซต์ปริมาณน้อย ส่วนอนุภาคนาขนาดละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาขนาดดินเหนียวถึงทรายแป้งละเอียดมีสีน้ำตาลปนเทา ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคนาขนาดหยาบกับอนุภาคนาละเอียด แบบอนุภาคนาขนาดหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด (open porphyric) และมีการจัดเรียงตัวอนุภาคนาละเอียดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคดินเหนียวกระจาย และการจัดเรียงตัวอนุภาคนาละเอียดแบบเส้นต่อเนื่องเป็นแถบ พบชิ้นส่วนของพืชที่มีการสลายตัวปานกลางถึงสูง วัสดุอินทรีย์ละเอียด วัสดุอินทรีย์ชนิด punctuation และ organic pigment

ดินล่างมีโครงสร้างแบบ channel เหมือนกับชั้นดินบน มีช่องว่างแบบ channels, vesicles และ planar ประมาณร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก มีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีการคัดขนาดดี และยังพบชิ้นส่วนของแร่เซอร์ไซต์ปริมาณน้อย ส่วนอนุภาคนาขนาดละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาขนาดดินเหนียวถึงทรายแป้งละเอียดมีสีเทา ซึ่งอนุภาคนาขนาดหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด มีการจัดเรียงตัวอนุภาคนาละเอียดที่เด่นชัดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคดินเหนียวกระจาย และการจัดเรียงตัวอนุภาคนาละเอียดแบบเส้นต่อเนื่องเป็นแถบ ในช่วงความลึก 30-50 เซนติเมตร (ชั้น Bg) มีอนุภาคนาขนาดหยาบเพิ่มขึ้น พบชิ้นส่วนของพืชที่มีการสลายตัวปานกลางถึงสูง วัสดุอินทรีย์ละเอียด และวัสดุอินทรีย์ชนิด organic pigment และ punctuation โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกและลดลงในชั้นดินล่างสุดของหน้าตัดดิน และในช่วงความลึก 130-150 เซนติเมตร (ชั้น Cg2) พบเฟรมบอยคอลลไพไรต์ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นตะกอนน้ำกร่อยและน้ำทะเล



ภาพที่ 10 ลักษณะทางจุลทัศน์ฐานวิทยาของพีคอน 3 และ 4

- ก) ลักษณะของแร่เซริไซต์ (1) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเปิดของดินพีคอน 3 ชั้น Bg ช่วงความลึก 30-50 เซนติเมตร (plane light)
- ข) เศษชิ้นส่วนของรากพืชที่กำลังสลายตัว (1) ช่องว่างแบบ channels (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเปิดของพีคอน 3 ชั้น B_{lg} ช่วงความลึก 50-80 เซนติเมตร (plane light)
- ค) ช่องว่างแบบ channels (1) อินทรีย์วัตถุ (2) และเศษชิ้นส่วนของพืชที่สลายตัว (3) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเปิดของพีคอน 4 ชั้น A_{pg} ช่วงความลึก 0-15/20 เซนติเมตร (plane light)
- ง) ช่องว่างแบบ vughs (1) เศษชิ้นส่วนของพืชที่สลายตัว (2) และวัสดุอินทรีย์ชนิด organic pigment (3) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเปิดของพีคอน 4 ชั้น A_{pg} ช่วงความลึก 0-15/20 เซนติเมตร (plane light)

2.4 ฟีดอน 4 (ภาพที่ 10)

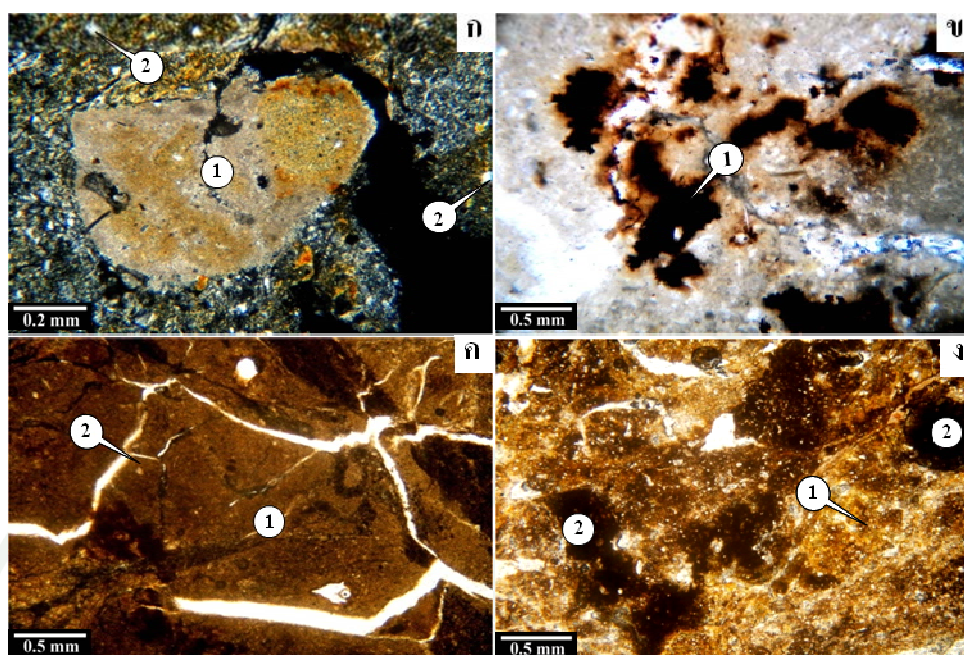
ดินบนมีโครงสร้างแบบ channel มีช่องว่างในดินโดยส่วนใหญ่เป็นแบบ channels และมีบ้างเล็กน้อยที่เป็นแบบ planar และ vughs ประมาณร้อยละ 15 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก มีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีการคัดขนาดดี และยังพบชิ้นส่วนของแร่เซริไซต์กระจายตัวอยู่ในปริมาณมาก ส่วนอนุภาคนาขนาดละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาขนาดดินเหนียวถึงทรายแป้งละเอียด มีสีน้ำตาลปนเทา ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาละเอียดเป็นแบบเปิด มีการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคดินเหนียวกระจายจนถึงการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดแบบไม่มีการเรียงตัว (undifferentiated b-fabric) พบชิ้นส่วนของพีชที่มีการสลายตัวปานกลางถึงสูง วัสดุอินทรีย์ละเอียด วัสดุอินทรีย์ชนิด punctuation และ organic pigment

ดินล่างมีโครงสร้างแบบ channel เหมือนกับชั้นดินบน มีช่องว่างแบบ channels และมีบ้างเล็กน้อยที่เป็นแบบ planar และ vughs ประมาณร้อยละ 10-20 มีอนุภาคนาขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีการคัดขนาดดี และยังพบชิ้นส่วนของแร่เซริไซต์กระจายตัวอยู่ในปริมาณมาก ส่วนอนุภาคนาขนาดละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาขนาดดินเหนียวถึงทรายแป้งละเอียดมีสีน้ำตาลปนเทา ซึ่งอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาละเอียดเป็นแบบเปิด มีการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคดินเหนียวกระจายจนถึงการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดแบบไม่มีการเรียงตัว ส่วนในช่วงความลึก 70-110 เซนติเมตร (ชั้น B_{tg}3) มีการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดแบบเส้นต่อเนื่องเป็นแถบ พบชิ้นส่วนของพีชที่มีการสลายตัวสูง และวัสดุอินทรีย์ละเอียด ในช่วงความลึก 20-110 เซนติเมตร (ชั้น B_{tg}1-B_{tg}3) พบจาโรไซต์เคลือบตามผนังช่องว่าง และในช่วงความลึก 110-130+ เซนติเมตร (ชั้น BC_g) พบเฟรมบอยคอลลไพไรต์ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นตะกอนน้ำกร่อยและน้ำทะเล

2.5 ฟีดคอน 5 (ภาพที่ 11)

ดินบนมีโครงสร้างแบบ channel มีช่องว่างในดินโดยส่วนใหญ่เป็นแบบ channels และมีบ้างเล็กน้อยที่เป็นแบบ planar ประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก และมีบ้างเล็กน้อยที่มีขนาดทรายหยาบ มีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีการคัดขนาดดี ส่วนอนุภาคนาขนาดละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาขนาดดินเหนียวถึงทรายแป้งละเอียดมีสีน้ำตาลปนเทาและสีน้ำตาล ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคนาหยาบกับอนุภาคนาละเอียดแบบอนุภาคนาหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด มีการจัดเรียงตัวอนุภาคนาละเอียดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคดินเหนียวกระจายอินทรีย์วัตถุในดินโดยส่วนใหญ่พบเศษเหลือของพืช วัสดุอินทรีย์ละเอียด วัสดุอินทรีย์ชนิด punctuation และ organic pigment และมีบ้างเล็กน้อยที่พบชิ้นส่วนของพืชที่ยังสมบูรณ์ และชิ้นส่วนของรากพืชที่กำลังย่อยสลาย

ดินล่างมีโครงสร้างแบบ channel เหมือนกับชั้นดินบน มีช่องว่างแบบ channels และมีบ้างเล็กน้อยที่เป็นแบบ planar ประมาณร้อยละ 15-20 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ โดยส่วนใหญ่มีขนาดทรายละเอียดมาก มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีการคัดขนาดดี ส่วนอนุภาคนาขนาดละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาขนาดดินเหนียวถึงทรายแป้งละเอียดมีสีน้ำตาลปนเหลืองและสีน้ำตาล ซึ่งอนุภาคนาหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด มีการจัดเรียงตัวอนุภาคนาละเอียดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคดินเหนียวกระจาย มีอนุภาคนาขนาดละเอียดเพิ่มขึ้น พบวัสดุอินทรีย์ชนิด organic pigment โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของหน้าตัดดินและจนไม่พบในชั้นดินล่างสุดของหน้าตัดดิน ในช่วงความลึก 70-98 เซนติเมตร (ชั้น Bg3) พบสารก้อนกลมของคาร์บอเนต (carbonate nodules) มีขนาด 1 มิลลิเมตร เคลือบตามผนังและช่องว่าง และในช่วงความลึก 125-153 เซนติเมตร (ชั้น Bg5) พบแมงกานีสออกไซด์ รูปร่างเป็นแบบกิ่งไม้ที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นในเนื้อดิน (impregnated s-matrix) และบางบริเวณพบการเคลือบของแมงกานีสออกไซด์ตามผนังช่องว่าง ซึ่งแมงกานีสออกไซด์มีลักษณะและรูปร่างที่แตกต่างกันตามบริเวณ



ภาพที่ 11 ลักษณะทางจุลทัศน์ฐานวิทยาของพีดอน 5 และ 6

- ก) สารก้อนทรงมนของคาร์บอนเนตแบบ impregnate nodule (1) และแร่ควอตซ์ที่มีรูปร่างค่อนข้างกลม (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเปิดของดินพีดอน 5 ชั้น Bg3 ช่วงความลึก 70-98 เซนติเมตร (x-nicols)
- ข) ลักษณะของแมงกานีสออกไซด์แบบกิ่งไม้ (dendritic pattern) (1) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเปิดของพีดอน 5 ชั้น Bg5 ช่วงความลึก 125-153 เซนติเมตร (plane light)
- ค) โครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม (angular structure) (1) และช่องว่างแบบ planar (2) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเปิดของพีดอน 6 ชั้น Apg ช่วงความลึก 0-20/23 เซนติเมตร (plane light)
- ง) การบรรจุของเหล็กออกไซด์ร่วมกับสารฮิวมิก (iron oxide mixed with humic substance) (1) ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบเปิดของดินพีดอน 6 ชั้น Bg1 ช่วงความลึก 23-40 เซนติเมตร (plane light)

2.6 ฟีดคอน 6 (ภาพที่ 11)

ดินบนมีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม (angular structure) มีช่องว่างแบบ planar ประมาณร้อยละ 15 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ โดยส่วนใหญ่มีขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก และมีบ้างเล็กน้อยที่มีขนาดทรายหยาบมีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีการคัดขนาดเลว (poorly sorted) ส่วนอนุภาคนาละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาหยาบดินเหนียวถึงทรายแป้งละเอียดมีหลายสีตั้งแต่สีน้ำตาลปนเหลืองถึงเหลืองปนน้ำตาล ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคนาหยาบกับอนุภาคนาละเอียดแบบอนุภาคนาหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาละเอียดเป็นแบบเปิด มีการจัดเรียงตัวอนุภาคนาละเอียดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคนาหยาบกระจายโดยส่วนใหญ่พบวัสดุอินทรีย์ชนิด organic pigment และ punctuation และมีบ้างพบชิ้นส่วนของพืชที่มีการสลายตัวปานกลางถึงสูง และพบร่องรอยสัตว์ในดิน

ดินล่างมีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม เหมือนกับชั้นดินบน มีช่องว่างแบบ planar ประมาณร้อยละ 15 โดยปริมาตร มีอนุภาคนาหยาบในเนื้อดินละเอียดเป็นแร่ควอตซ์ โดยส่วนใหญ่มีขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก และมีบ้างเล็กน้อยที่มีขนาดทรายหยาบมีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีการคัดขนาดเลว โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน ส่วนอนุภาคนาละเอียดที่พบเป็นอนุภาคนาหยาบดินเหนียวถึงทรายแป้งละเอียด มีหลายสีตั้งแต่สีน้ำตาลปนเหลืองถึงสีเหลืองปนน้ำตาล ซึ่งอนุภาคนาหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาละเอียดเป็นแบบเปิด มีการจัดเรียงตัวอนุภาคนาละเอียดแบบต่อเนื่องเป็นแถบจนถึงการจัดเรียงตัวอนุภาคนาละเอียดแบบไม่มีการเรียงตัว มีอนุภาคนาหยาบเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างลึกลงไป พบวัสดุอินทรีย์ชนิด organic pigment, punctuation และชิ้นส่วนของพืชที่มีการสลายตัวปานกลางถึงสูง โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน และจะไม่พบในชั้นดินล่างสุดของหน้าตัดดิน ส่วนในช่วงความลึก 23-150 เซนติเมตร (ชั้น Bg1-Bg3) พบสีน้ำตาลปนเหลืองถึงสีน้ำตาลปนแดงของเหล็กออกไซด์ร่วมกับสารฮิวมิกที่จับตัวกันอ่อนถึงแน่นปานกลางในเนื้อดิน (impregnated s-matrix)

ผลการศึกษาลักษณะจุลสัณฐานวิทยาของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน พบว่า โครงสร้างขนาดเล็กของดินทุกพืดอนมีลักษณะเหมือนกัน โดยมีโครงสร้างเป็นแบบ channel ยกเว้น พืดอน 6 มีโครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม ช่องว่างในดินมีปริมาณเล็กน้อยเป็นช่องว่างแบบ channels, planar, vughs และ vesicles ประมาณร้อยละ 10-20 โดยปริมาตร อนุภาคขนาดหยาบในเนื้อดินละเอียดในดิน โดยส่วนใหญ่เป็นแร่ควอตซ์ขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก และมีบ้างเล็กน้อยที่มีขนาดทรายหยาบ นอกจากนี้ยังพบเศษชิ้นส่วนของแร่เซริไซต์ในปริมาณเล็กน้อย โดยส่วนใหญ่ดินมีเนื้อดินเป็นเนื้อละเอียด เมื่อพิจารณาจากปริมาณของอนุภาคหยาบต่ออนุภาคละเอียด พบว่า ปริมาณของอนุภาคละเอียดมีอยู่สูงมากในทุกพืดอน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นตะกอนน้ำพัดพามาทับถม แสดงถึงการเคลื่อนย้ายของวัตถุต้นกำเนิดโดยอิทธิพลของน้ำ (Butzer, 1976; Embleton and Thornes, 1979; Soil Survey Division Staff, 1993; Buol *et al.*, 2011) โดยมีองค์ประกอบในอนุภาคขนาดหยาบเป็นแร่ควอตซ์ปริมาณน้อย และบางพืดอนพบเศษชิ้นส่วนของแร่เซริไซต์ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งลักษณะของวัสดุระหว่างตอนบนและตอนล่างของหน้าตัดดินมีเนื้อละเอียด ทำให้โครงสร้างขนาดเล็กของดินเหมือนกัน อนุภาคขนาดหยาบส่วนใหญ่ที่พบเป็นแร่ควอตซ์ มีรูปร่างค่อนข้างกลมที่มีขนาดอยู่ในพิสัยขนาดทรายแป้งถึงทรายละเอียดมาก มีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีการคัดขนาดดี แสดงให้เห็นถึงวัตถุต้นกำเนิดดินถูกเคลื่อนย้ายโดยอิทธิพลของน้ำและถูกพัดพามาทับถมในบริเวณที่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิด

อนุภาคละเอียดที่พบจะเป็นอนุภาคขนาดดินเหนียวถึงทรายแป้งละเอียดสีเทา สีน้ำตาลปนเหลืองถึงสีน้ำตาลปนแดง และสีแดงปนเหลืองร่วมกับออกไซด์ของเหล็กและสารอินทรีย์ วัสดุอินทรีย์ในดินส่วนใหญ่พบชิ้นส่วนของพืชที่มีการสลายตัวปานกลางถึงสูง เศษเหลือของพืช วัสดุอินทรีย์ละเอียด เนื้อเยื่อพืช อินทรีย์วัตถุชนิด punctuation และ organic pigment และมีบ้างเล็กน้อยที่พบชิ้นส่วนของพืชที่ยังสมบูรณ์ และชิ้นส่วนของรากพืชที่กำลังย่อยสลาย บางบริเวณพบชิ้นส่วนของพืชร่วมกับแร่ดินเหนียว ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคหยาบกับอนุภาคละเอียดแบบอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียว และแบบอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคขนาดละเอียดเป็นแบบเปิด มีการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดแบบองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว และอนุภาคดินเหนียวกระจายกระจาย และมีบ้างเล็กน้อยเป็นแบบเส้นต่อเนื่องเป็นแถบ และการจัดเรียงตัวอนุภาคละเอียดแบบไม่มีการเรียงตัว

ส่วนดินล่างมีโครงสร้างเหมือนกับชั้นดินบน มีเนื้อดินละเอียดยึดเกาะกันอย่างต่อเนื่อง ช่องว่างในดินลดลงเมื่อเทียบกับชั้นดินบน เนื่องจากดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน อนุภาคหยาบมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย พบแร่ควอตซ์ขนาดเล็ก ในปริมาณเล็กน้อย อนุภาคละเอียดมีสีเทา สีน้ำตาลปนเหลือง และสีน้ำตาลปนแดง ดินมีปริมาณอนุภาคละเอียด

มีสีจางลง เนื่องจากการลดลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุ และอิทธิพลการขังน้ำของดิน (Bullock *et al.*, 1975; Fernandes *et al.*, 1997; Quideau, 2002) ซึ่งจากการศึกษาลักษณะทางจุลทรรศน์วิทยาของดิน พบว่า ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงในชั้นดินบน พบชิ้นส่วนของพืช และวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ และมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน ทำให้ชั้นดินบนมีสีคล้ำกว่าชั้นดินล่าง (Bailay, 1993; Bohn *et al.*, 2001; Coyne and Thompson, 2006; Brady and Weil, 2008) ลักษณะดังกล่าว สอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาสนาม และผลการวิเคราะห์ทางเคมี

ลักษณะโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับลักษณะของช่องว่างที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะเมื่อดินเปลี่ยนจากสภาพดินเปียกเป็นดินแห้ง หรือดินมีอุณหภูมิสูงขึ้น (Bullock *et al.*, 1975; Murphy *et al.*, 1985) โดยลักษณะ โครงสร้างแบบ channel แสดงให้เห็นถึงดินที่เนื้อดินมีอนุภาคดินเหนียว เกิดการยึดหดตัวของดิน และการขยายตัวของมวลอากาศ ซึ่งโดยธรรมชาติดินที่มีปริมาณแร่ดินเหนียวสูงจะมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง จากการศึกษาลักษณะทางจุลทรรศน์วิทยาของดิน พบว่าลักษณะโครงสร้างของดินมีเนื้อดินละเอียดยึดเกาะกันอย่างต่อเนื่อง มีช่องว่างอยู่น้อย และชั้นดินล่างยังไม่พบการสะสมของอนุภาคดินเหนียว แสดงถึงพัฒนาการของดินค่อนข้างน้อย ทำให้ธาตุอาหารสูญหายจากการชะละลายน้อย ส่งผลให้มีธาตุไอออนบวกหลงเหลืออยู่ในดินสูง (Brady and Weil, 2008; Buol *et al.*, 2011) นอกจากนี้ยังพบสารก่อกมลของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ที่เป็นลักษณะที่เกิดจากกระบวนการทางดิน และลักษณะการเคลือบของเหล็กออกไซด์ร่วมกับสารฮิวมิกตามผนังช่องว่าง

ในดินล่างพบลักษณะที่เกิดจากกระบวนการเกิดดิน คือ พบแร่จำไรต์เคลือบตามผนังช่องว่างในพีดอน 2 และ 4 เนื่องจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อย (Brewer, 1976; Bullock *et al.*, 1985; Buol *et al.*, 2011) พบสีน้ำตาลเข้มของเหล็กออกไซด์ และสีน้ำตาลปนเหลืองถึงสีน้ำตาลปนแดงของเหล็กออกไซด์ร่วมกับสารฮิวมิกที่มีการเชื่อมตัวกันอ่อนถึงแน่นปานกลาง ในพีดอน 2 และ 6 เป็นลักษณะทางจุลทรรศน์วิทยาที่สำคัญที่จะบ่งชี้ว่าดินมีช่วงเปียกหรือช่วงที่มีการขังน้ำและช่วงแห้งอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบสารก่อกมลของคาร์บอนัต มีขนาด 1 มิลลิเมตร และแมงกานีสออกไซด์ที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นในเนื้อดินปริมาณเล็กน้อย มีรูปร่างเป็นแบบกิ่งไม้ ในพีดอน 5 และบางบริเวณพบสารก่อกมลมีลักษณะและรูปร่างแตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะในชั้นดินล่าง พบสารก่อกมลมีรูปร่าง และขนาดที่แตกต่างกันมากและมีขอบเขตไม่ชัดเจน ตั้งแต่ชั้นดินบนไปจนถึงตอนบนของดินล่าง ซึ่งเป็นลักษณะที่บ่งชี้ว่าในช่วงพัฒนาการของดินจะต้องมีระยะเวลาที่ดินมีน้ำขัง (Bullock *et al.*, 1975; Douglas and Thompson, 1985; Fitzpatrick, 1993; Kodesova *et al.*, 2006; Stoops *et al.*, 2010)

นอกจากนี้ในดินล่างยังพบลักษณะที่เกิดจากกระบวนการเกิดดินอื่น ๆ เช่น จากกระบวนการเกิดดินที่เกิดจากสัตว์ คือ ร่องรอยของสัตว์ในดิน ซึ่งเป็นลักษณะของดินที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการผสม และการเคลื่อนย้ายของวัสดุดิน จากส่วนหนึ่งของดินไปยังอีกส่วนหนึ่ง หรืออาจเคลื่อนย้ายขึ้นมาอยู่บนผิวดินก็ได้ วัสดุต่าง ๆ เหล่านี้มีผลทำให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเปลี่ยนไป (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff; 1993)

3. สมบัติทางกายภาพของดินเปรี้ยว

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน ประกอบด้วย การแจกกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน และสภาพน้ำของดิน ขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ผลการวิเคราะห์แสดงตามตารางภาคผนวกที่ ค2 และใช้เกณฑ์แบ่งระดับค่าวิเคราะห์ตามตารางผนวกที่ ค5, ค8 และ ค9

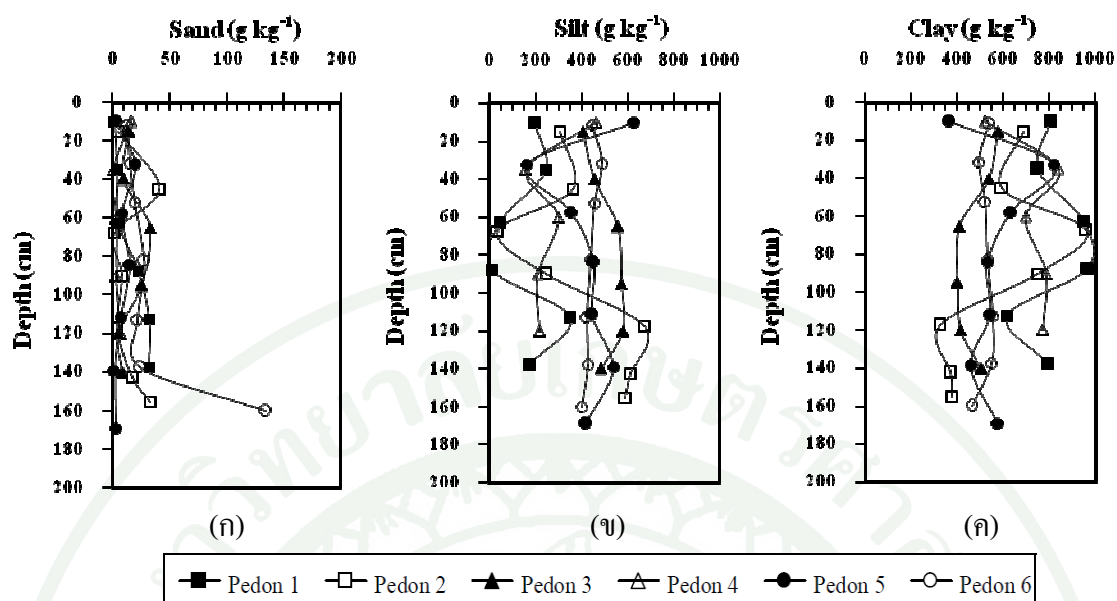
3.1 การแจกกระจายของอนุภาคและชั้นเนื้อดิน

ผลการวิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ของดินบริเวณที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 12 และ 13 พบว่า การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทราย ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 1-17 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 1-135 กรัมต่อกิโลกรัม การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายในพืดอน 1 และ 6 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน และมีปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลง สลับกันเป็นช่วง ๆ ไม่สม่ำเสมอ ในพืดอน 2, 3, 4 และ 5 เมื่อเปรียบเทียบดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน พบว่า การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายทุกพืดอนมีความแปรปรวน

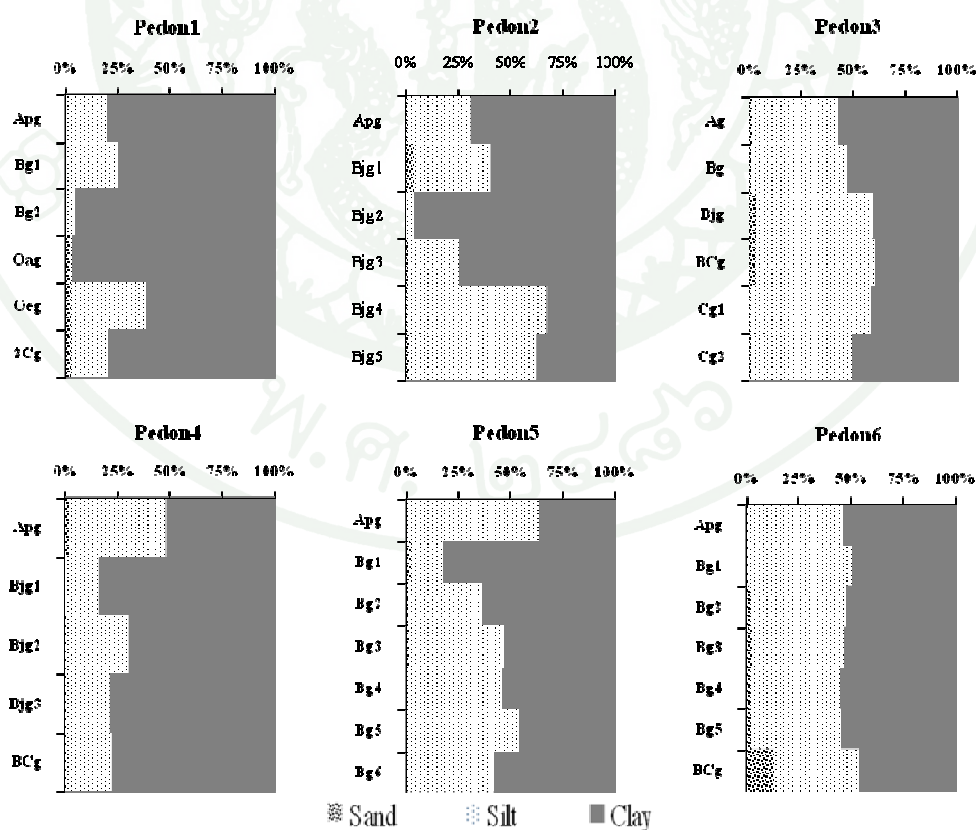
การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทรายแป้งของดินที่ทำการศึกษา พบว่า ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 197-631 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 11-671 กรัมต่อกิโลกรัม การกระจายของอนุภาคขนาดทรายแป้งใน พืดอน 1, 2, 4 และ 5 พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลง สลับกันเป็นช่วง ๆ ไม่สม่ำเสมอ โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน ในพืดอน 3 และ มีปริมาณลดลงตามความลึกของหน้าตัดดินในพืดอน 6 เมื่อเปรียบเทียบดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน พบว่า มีอนุภาคขนาดทรายแป้งน้อยที่สุดในพืดอน 1 และมากที่สุดที่ในพืดอน 2

ส่วนการแจกกระจายของอนุภาคนาขนาดดินเหนียวของดินที่ทำการศึกษา พบว่า อนุภาคนาขนาดเหนียว ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 367-802 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 325-966 กรัมต่อกิโลกรัม การแจกกระจายของอนุภาคนาขนาดดินเหนียวในพีดอน 1, 2, 4, 5 และ 6 พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันเป็นช่วง ๆ ไม่สม่ำเสมอ และพีดอน 3 การแจกกระจายอนุภาคนาขนาดดินเหนียวมีปริมาณลดลงและเพิ่มขึ้นที่ระดับความลึก 110-150+ เซนติเมตร แสดงให้เห็นถึงความไม่ต่อเนื่องทางธรรมชาติที่ชี้ให้เห็นความแตกต่างกันของวัสดุธรรมชาติ ซึ่งวัสดุที่แตกต่างกันจะแสดงความแตกต่างกันของการกระจายขนาดอนุภาค องค์ประกอบเชิงแร่ระหว่างชั้นดินอย่างชัดเจน (เอิบ, 2548; Buol *et al.*, 2011) เมื่อเปรียบเทียบดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พีดอน พบว่า มีอนุภาคนาขนาดดินเหนียน้อยที่สุดในพีดอน 2 และมากที่สุด ในพีดอน 1

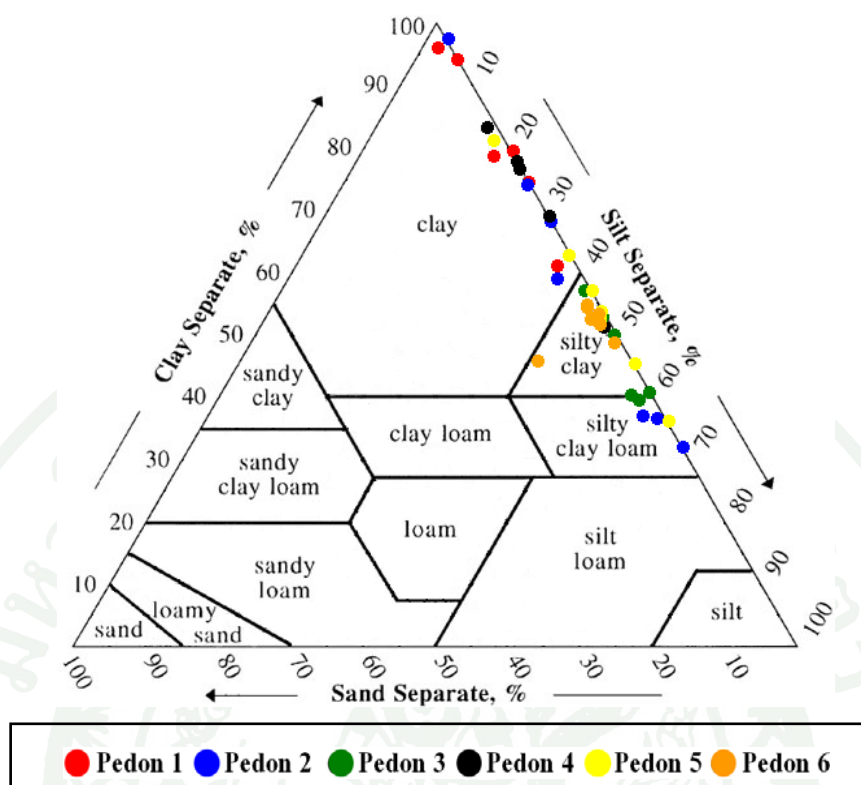
ผลการวิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคดิน ของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พีดอน พบว่า การแจกกระจายของอนุภาคนาขนาดทรายมีค่าน้อยกว่าอนุภาคทรายแป้ง และการกระจายของอนุภาคนาขนาดทรายแป้งมีค่าน้อยกว่าอนุภาคดินเหนียว และเมื่อพิจารณาผลการแจกกระจายของอนุภาคนาขนาดต่าง ๆ ของดินทั้ง 6 พีดอนกับเกณฑ์การจำแนกชั้นเนื้อดินหลักของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (เอิบ, 2548; Soil Survey Staff, 2010) (ภาพที่ 14) พบว่า ดินที่ทำการศึกษาล้วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของชั้นเนื้อดินเป็นดินเหนียว (clayey soils) ประเภทดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินเหนียว เนื่องจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิด ในสภาพพื้นที่ทำการศึกษาคือที่ลุ่มต่ำในบริเวณที่ราบน้ำทะเลท่วมเคยขึ้นถึง มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำกร่อย และตะกอนน้ำทะเล (Butzer, 1976; Chittleborough *et al.*, 1984; Soil Survey Division Staff, 1993; Poulton and Raiswell, 2005; Virtasalo *et al.*, 2008) การที่มีชั้นเนื้อดินเป็นดินเนื้อละเอียด ทำให้ดินมีความพรุนน้อย มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง สอดคล้องกับสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าอยู่ในระดับต่ำมาก การมีตะกอนชนิดใหม่มาทับถมบนตะกอนเดิม โดยกระบวนการสะสมบนผิวหน้า (cumulization) แสดงถึงการทับถมของวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีพัฒนาการทางโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีน้อย (เอิบ, 2550; Soil Survey Division Staff; 1993; Buol *et al.*, 2011)



ภาพที่ 12 การแจกกระจายของอนุภาคขนาดทราย (ก) อนุภาคขนาดทรายแป้ง (ข) และอนุภาคขนาดดินเหนียว (ค) ตามความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา



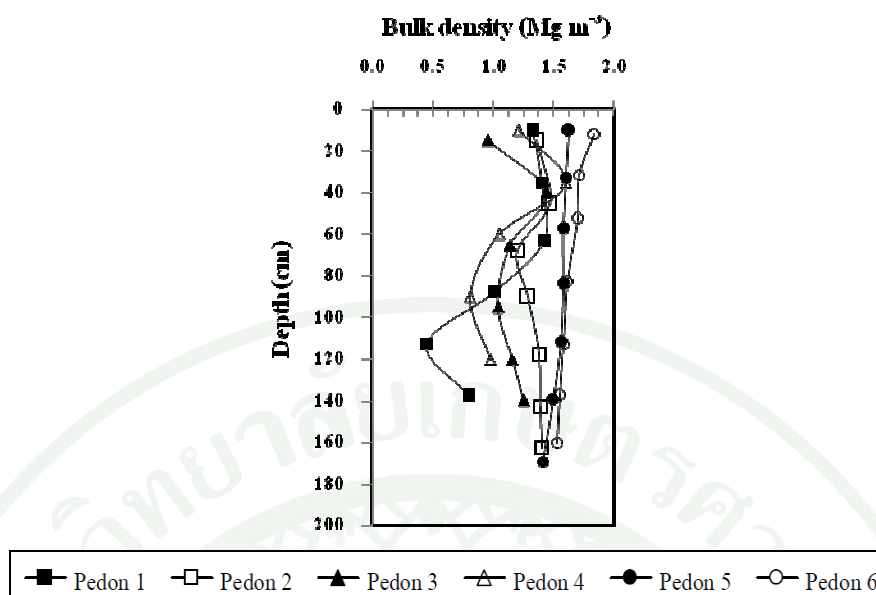
ภาพที่ 13 การแจกกระจายของขนาดอนุภาคในแต่ละชั้นดินของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 14 การจำแนกประเภทเนื้อดิน ตามสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

3.2 ความหนาแน่นรวมของดิน

ความหนาแน่นรวมของดินโดยวิธี core method (Blake and Hartge, 1986; Culley, 1993) พบว่ามีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูง ดังแสดงไว้ในตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 15 โดยพีดอน 1, 2, 3 และ 4 ค่าความหนาแน่นรวมของชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ อยู่ในพิสัย 0.96-1.36 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง อยู่ในพิสัย 0.45-1.60 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนพีดอน 5 และ 6 ค่าความหนาแน่นรวมของชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูง อยู่ในพิสัย 1.63-1.84 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง อยู่ในพิสัย 1.41-1.71 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทั่วไปชั้นดินบนจะมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่าชั้นดินล่าง เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า และมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคดินเหนียวลงไปสะสมในชั้นดินล่าง ทำให้อนุภาคดินเหนียวเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างต่าง ๆ ในดิน ทำให้ดินแน่นทึบขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Adam, 1973; Marshall and Holmes, 1979; Owens and Watson, 1979; Calvert *et al.*, 1980; Brady and Weil, 2008



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมของดินกับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

ส่วนพีดอน 5 และ 6 ชั้นดินบนมีค่าความหนาแน่นรวมสูง เนื่องจากสภาพการใช้ที่ดินในการปลูกข้าว มีการทำเทือกหรือย่ำกวน (puddling) ซึ่งเป็นการทำลายโครงสร้างดิน และปริมาณช่องว่างในดิน (Fanning and Fanning, 1989; Ongprasert, 1991) นอกจากนี้ดินที่มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งค่อนข้างสูง จะทำให้ดินอัดตัวกันแน่น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นรวมสูง (Sanchez, 1976; Lal, 1979; Cassel and Lal, 1992) และในชั้นดินล่างมีค่าความหนาแน่นสูง เนื่องจากดินมีพัฒนาการค่อนข้างต่ำ อนุภาคปฐมภูมิของดินจับกันแน่นเป็นก้อน ทำให้เกิดโครงสร้างแบบเนื้อसानแน่น (massive) อนุภาคดินเชื่อมยึดติดกัน มีผลทำให้ดินมีค่าความหนาแน่นรวมสูง และสภาพการนำน้ำของดินอยู่ในระดับต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Fitzpatrick, 1986; Brady and Weil, 2008)

3.3 สภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว

การวิเคราะห์สภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดินทุกชั้นกำเนิดดิน โดยวิธีพลังงานขั้วน้ำผันแปร (variable head method) (Klute, 1965; Klute and Dirken, 1986) พบว่า มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงเร็ว โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 1.08×10^{-3} ถึง 17.66 เซนติเมตรต่อชั่วโมง (O'Neal, 1952) ดังแสดงไว้ในตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 16

พืดอน 1 มีสภาพนำน้ำของดินในชั้นดินบน 1.03 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่าง มีค่าอยู่ในพิสัย 0.55 ถึง 17.66 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น Oeg

พืดอน 2 มีสภาพนำน้ำของดินในชั้นดินบน 5.82 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่าง มีค่าอยู่ในพิสัย 1.18 ถึง 1.62 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น Bgj3

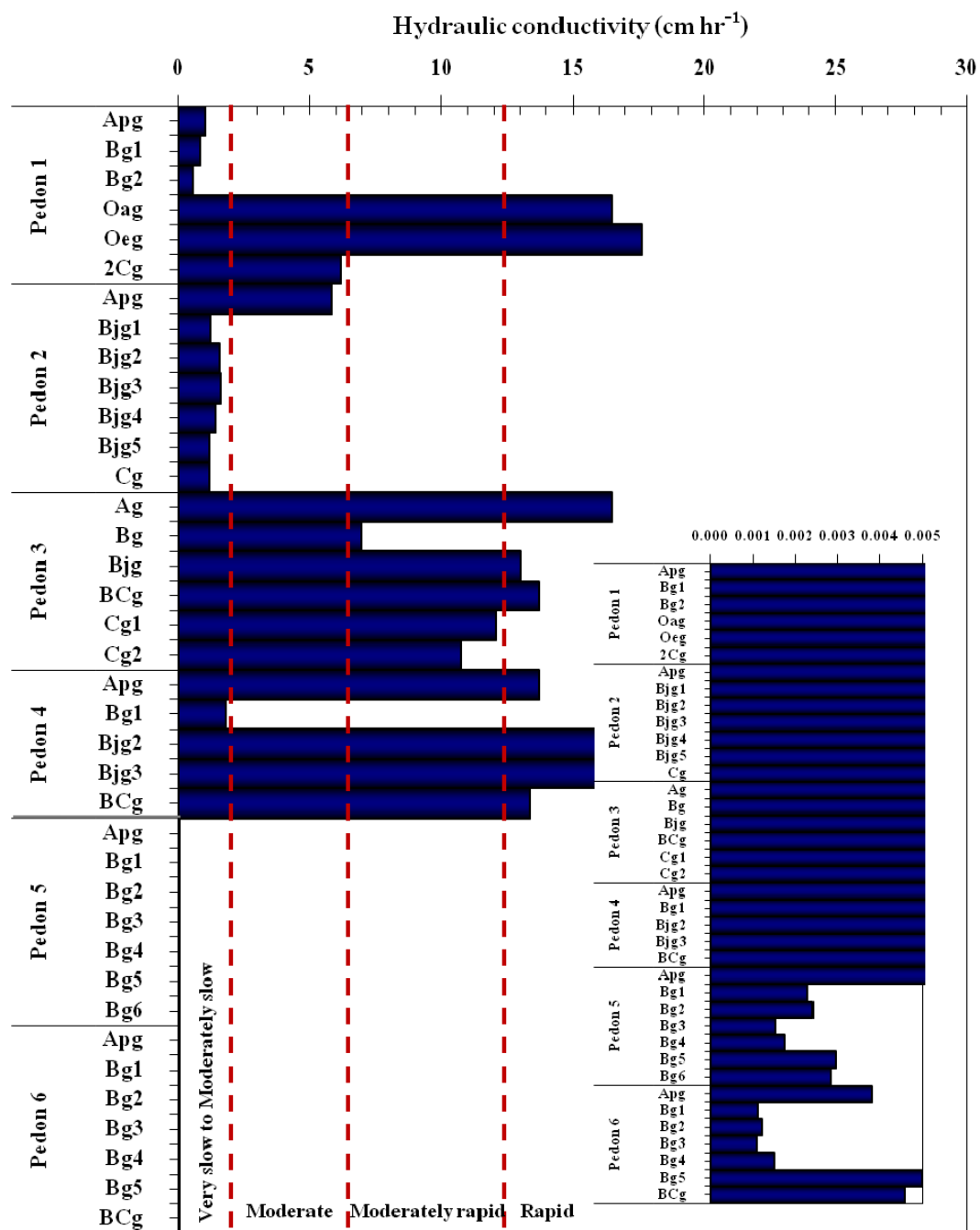
พืดอน 3 มีสภาพนำน้ำของดินในชั้นดินบน 16.48 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่าง มีค่าอยู่ในพิสัย 6.96 ถึง 13.74 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น BCg

พืดอน 4 มีสภาพนำน้ำของดินในชั้นดินบน 13.74 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่าง มีค่าอยู่ในพิสัย 1.82 ถึง 16.48 เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น Bgj3

พืดอน 5 มีสภาพนำน้ำของดินในชั้นดินบน 7.63×10^{-3} เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 1.53×10^{-3} ถึง 2.96×10^{-3} เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น Bg5

พืดอน 6 มีสภาพนำน้ำของดินในชั้นดินบน 3.82×10^{-3} เซนติเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 1.08×10^{-3} ถึง 4.98×10^{-3} เซนติเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุดในชั้น Bg5

ค่าสภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นค่าที่แสดงความยากง่ายของน้ำที่จะสามารถเคลื่อนที่ในดินได้ อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำในเวลาใดเวลาหนึ่งจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างดิน ชนิดของเนื้อดิน ขนาด รูปร่าง การเชื่อมโยง ความต่อเนื่องของช่องว่าง ความคดเคี้ยว ความคงทน การแจกกระจายของช่องว่างในดิน ชนิดของไอออนที่จะทำให้อนุภาคดินฟุ้งกระจาย และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Frenkel *et al.*, 1978; Hanks and Ashcroft, 1980; Hillel, 1998; Juma, 2001) การที่สภาพการนำน้ำในชั้นดินล่างโดยส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำมากและต่ำกว่าในชั้นดินบนของหน้าตัดดิน เนื่องจากชั้นดินล่างมีความหนาแน่นรวมและการกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวสูงกว่า ทำให้ช่องว่างขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง (Goldberg and Forster, 1990; Miller *et al.*, 1990) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางจุลทรรศน์วิทยาที่พบว่า ในชั้นดินบนโดยส่วนใหญ่มีช่องว่างมากกว่าในชั้นดินล่าง นอกจากนี้การที่ในชั้นดินบนมีสภาพการนำน้ำโดยส่วนใหญ่สูงกว่าชั้นดินล่าง เนื่องจากชั้นดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าในชั้นดินล่าง อนุภาคดินเกิดการจับตัวกันเป็นเม็ดดิน และมีการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างที่เสถียร ทำให้ดินมีการระบายน้ำได้ดีกว่าในดินชั้นล่าง (Iwata *et al.*, 1995; Juma, 2001)



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพน้ำของดินกับชั้นกำเนิดดินตามระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

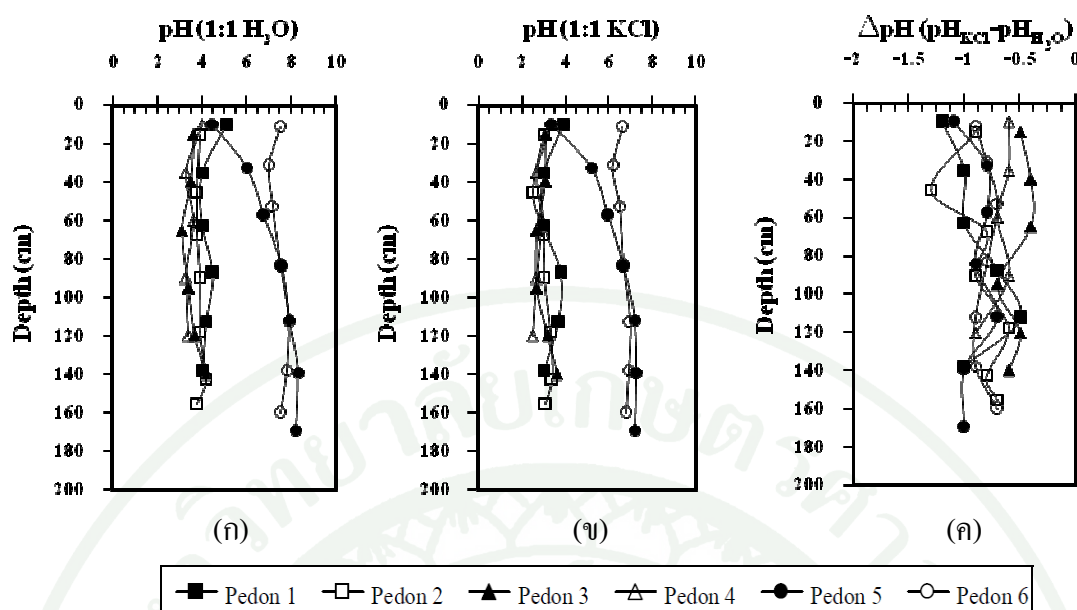
4. สมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยว

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษากว่า 6 ปีค่อน เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน แสดงตามตารางผนวกที่ 3 (เอิบ, 2548, Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

4.1 พีเอช

ผลการวิเคราะห์พีเอชดินในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ดินต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1:1 พบว่าดินที่ทำการศึกษากว่า 6 ปีค่อน มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกรดรุนแรงมากที่สุดถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 3.1-8.3) ชั้นดินบนมีพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกรดรุนแรงมากที่สุดถึงเป็นด่างเล็กน้อย (pH 3.6-7.5) ส่วนชั้นดินล่างมีพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกรดรุนแรงมากที่สุดถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 3.1-8.3) ค่าพีเอชในปีค่อน 1, 3, 4 และ 6 มีความแปรปรวนเล็กน้อยในหน้าตัดดิน โดยมีพิสัยไม่กว้างนัก ในปีค่อน 2 มีค่าค่อนข้างคงที่ และในปีค่อน 5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน (ภาพที่ 17ก) ส่วนค่าพีเอชดินต่อโพแทสเซียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 1:1 มีค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกรดรุนแรงมากที่สุดถึงเป็นกลาง (pH 2.5-7.3) โดยมีค่าความแปรปรวนเล็กน้อยในทุกปีค่อน ยกเว้น ปีค่อน 5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน (ภาพที่ 17ข)

ค่าพีเอชเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช สภาพความเป็นพิษของดินต่อพืช และกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Brady and Weil, 2008; Buol *et al.*, 2011) การที่ดินมีพีเอชเป็นกรดจัดมากเนื่องจากวัตถุดิบกำเนิดเป็นตะกอนทับถมที่เกิดจากตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเลที่มีปริมาณธาตุกำมะถันสูง ธาตุกำมะถันส่วนมากเกิดอยู่ในรูปสารประกอบไฮโดรซัลไฟด์ เมื่อมีออกซิเจนแทรกซึมเข้าไปในดินจะทำให้เกิดกรดกำมะถัน ทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรดจัดมาก (เอิบ, 2550; Pons, 1973; van Breemen, 1976; van Mensvoort *et al.*, 1991; Cook *et al.*, 2000; Husson *et al.*, 2000; Fanning, 2006) ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดธาตุอาหารพืช ปัญหาความเป็นพิษของเหล็กและอะลูมิเนียม ปัญหาความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์ และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดิน (Attanandana and Vacharotayan, 1986; Dent and Pons, 1995; Curtin and Syers, 2001; Khare *et al.*, 2004; Ljung *et al.*, 2009)

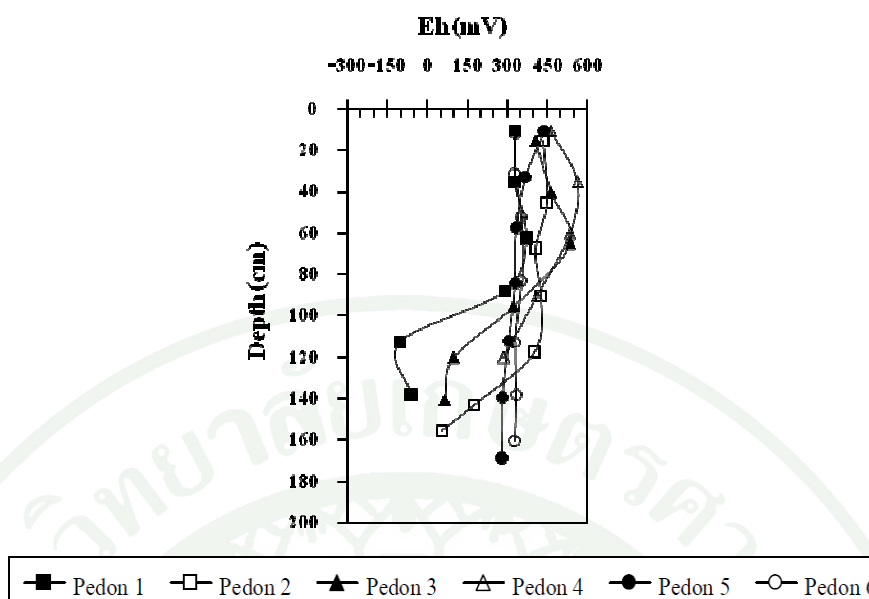


ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชดินที่วัดในน้ำ (ก) ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (ข) และผลต่างระหว่างค่าพีเอชดินที่วัดในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับในน้ำ (ค) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

ผลการวิเคราะห์พีเอชดิน พบว่า ค่าที่ได้จากการวัดโดยใช้น้ำมีค่าสูงกว่าที่วัดได้โดยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ แสดงให้เห็นว่าผลรวมประจุสุทธิของดินมีผลลัพท์ของประจุในดินรวมเป็นลบ ซึ่งเป็นธรรมชาติของระบบดินที่ควบคุมโดยอิทธิพลของแร่ดินเหนียวซิลิเกตในสภาพสมดุลคอลลอยด์ดินจะอยู่ในสภาพที่มีประจุเป็นลบ ทำให้ดินมีความสามารถในการดูดซับแคตไอออนได้ดีกว่าแอนไอออน (Sanchez, 1976; Brady and Weil, 2008; Buol *et al.*, 2011)

4.2 ศักย์รีดอกซ์

ผลการวิเคราะห์ศักย์รีดอกซ์ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน ในภาคสนามพบว่า ทุกพืดอนในชั้นดินบนดินมีการถ่ายเทอากาศดี มีค่าศักย์รีดอกซ์ของดินอยู่ในพิสัย 404-461 มิลลิโวลต์ ยกเว้น พืดอน 1 และ 6 ดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์ปานกลาง ค่าศักย์รีดอกซ์ของดิน อยู่ในพิสัย 328-329 มิลลิโวลต์ (ภาพที่ 18) ศักย์รีดอกซ์ของดินทุกพืดอนในชั้นดินบนและตอนบนชั้นดินล่างมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่ก็มีค่าแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน โดยมีพิสัยไม่กว้างมากนัก และมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วตามความลึกของหน้าตัดดิน ยกเว้น พืดอน 5 และ 6 มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดหน้าตัดดิน



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์รีดอกซ์ของดินกับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

ศักย์รีดอกซ์ของดินขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้นของออกซิเจน ปริมาณของอินทรีย์วัตถุ พิเศษของดิน ชนิดและปริมาณของตัวรับอิเล็กตรอน (ไพบูลย์, 2546; Wivutvongvana, 1973; Patrick *et al.*, 1996) โดยทุกพีดอนพบว่า ศักย์รีดอกซ์ในชั้นดินบนและตอนบนชั้นดินล่าง มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและเป็นไปอย่างช้า ๆ มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน เนื่องจากในสภาพดินเปรี้ยว ดินมีพีเอชต่ำมาก อะลูมินัม เหล็ก และแมงกานีสละลายออกมามากถึงระดับเป็นพิษ ทำให้ลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุเป็นไปอย่างช้ามาก และมีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเป็นจำนวนน้อย ทำให้ปฏิกิริยารีดักชันของสารประกอบต่าง ๆ ในดินมีน้อย ศักย์รีดอกซ์จึงลดลงช้ามาก (van Breemen and Harmsen, 1975) และสารประกอบพวกเหล็กและแมงกานีสจะมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการลดลงของศักย์รีดอกซ์ (Chang-pu *et al.*, 1982) นอกจากนี้ ดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี มีออกซิเจนเพียงพอสำหรับกิจกรรมจุลินทรีย์ และมีค่าศักย์รีดอกซ์มากกว่า 400 มิลลิโวลต์ การรีดักชันของสารประกอบต่าง ๆ จะไม่เกิดขึ้น (Callebaut *et al.*, 1982)

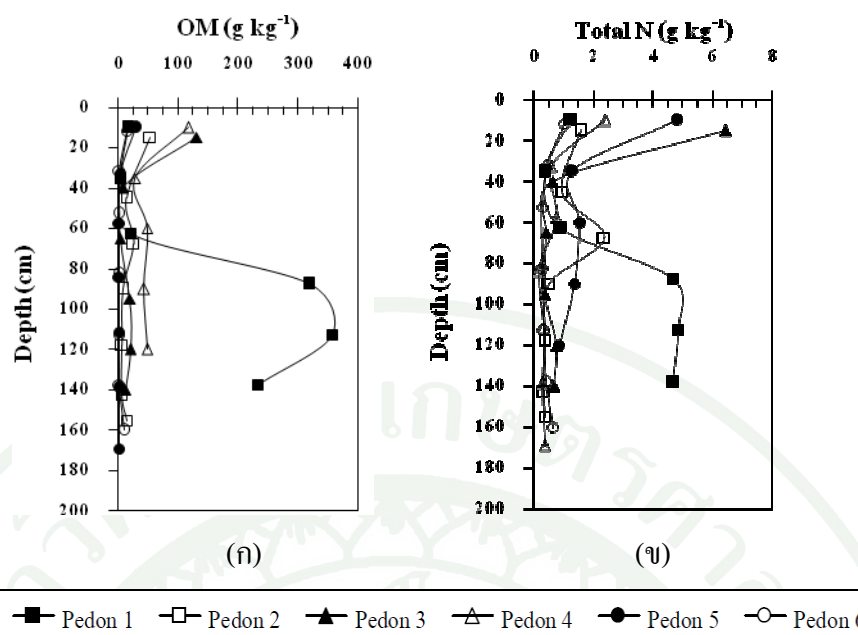
ชั้นดินล่างลึกลงไป ศักย์รีดอกซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากดินที่เป็นกรด เมื่อมีน้ำขัง จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสารประกอบต่าง ๆ ทำให้ศักย์รีดอกซ์ของดินลดลงอย่างรวดเร็ว (Bohn, 1971; Kyuma, 2004) ในดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง เมื่ออยู่ในสภาพน้ำขัง จะส่งเสริมให้เกิดสภาพรีดักชันของดินรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งของพลังงานให้จุลินทรีย์ดินมี

กิจกรรมสูง ทำให้มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาจำนวนมาก จึงใช้สารประกอบต่าง ๆ ในดินเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งจะมีผลทำให้อัตราการลดลงของศักย์รีดอกซ์ ลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ อินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น ค่า C/N ratio ที่แคบ จะทำให้การลดลงของศักย์รีดอกซ์ มีค่ามากยิ่งขึ้น (ไพบูลย์, 2546; Bohn, 1971; Patrick and Henderson, 1981)

4.3 อินทรีย์วัตถุ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษากว่า 6 ปี พบว่ามีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ต่ำมากถึงสูงมาก โดยในชั้นดินบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 13.73-130.39 กรัมต่อกิโลกรัม ชั้นดินล่างมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 0.34-356.87 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 19ก) ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มเหมือนกันทุกปีคือ มีค่าสูงในชั้นดินบน และลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน ยกเว้น ปีที่ 1 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ชั้น Oeg และลดลงในชั้นถัดลงไป เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องทางธรณี ลักษณะเช่นนี้แสดงถึงความแตกต่างของวัสดุดินในทางธรณีวิทยา ซึ่งวัตถุต้นกำเนิดเป็นวัสดุอินทรีย์พวกซากพืชที่ยังไม่สลายตัว หรือบางส่วนสลายตัวไปแล้ว (Soil Survey Division Staff, 1993; Coyne and Thompson, 2006; Soil Survey Staff, 2010)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีความผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ พืชพรรณ สภาพภูมิประเทศ วัตถุต้นกำเนิดดิน และเวลา (Tiessen and Shang, 1998; Bot and Benites, 2005) โดยส่วนใหญ่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นดินบนสูงกว่าชั้นดินล่าง เนื่องจากการผุพังสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินตามธรรมชาติ และชั้นส่วนที่สลายตัวหลงเหลือจากการเกษตรกรรม ตลอดจนรากพืชที่ขึ้นปกคลุมอยู่บนผิวดิน เมื่อสลายตัวจึงทำให้มีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินบน (Fernandes *et al.*, 1997; Quideau, 2002) ส่วนในชั้นดินล่างโอกาสที่อินทรีย์สารต่าง ๆ จะลงไปสะสมมีน้อย เนื่องจากอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์สารในชั้นดินบนจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้การชะละลายลงไปสะสมในชั้นดินล่างเกิดขึ้นได้น้อย จึงทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นดินล่างต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Baize, 1993; Bohn *et al.*, 2001; Brady and Weil, 2008)



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ก) และปริมาณไนโตรเจนรวม (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

4.4 ปริมาณไนโตรเจนรวม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนรวมของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พีดอน พบว่ามีปริมาณอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง โดยในชั้นดินบนมีปริมาณไนโตรเจนรวม อยู่ในระดับต่ำถึงสูงมีค่าอยู่ในพิสัย 1.02-6.43 กรัมต่อกิโลกรัม ชั้นดินล่างมีปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง มีค่าอยู่ในพิสัย 0.17-4.86 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 19ข) ชั้นดินบนมีปริมาณไนโตรเจนรวมสูงกว่าชั้นดินล่าง โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึกเป็นไปในลักษณะเดียวกับอินทรีย์วัตถุ (Tiessen *et al.*, 2002; Brady and Weil, 2008)

ในสภาพธรรมชาติโดยทั่วไปหินและแร่ที่ให้กำเนิดดินนั้นไม่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนอินทรีย์เป็นไนโตรเจนอนินทรีย์ (Bernston and Aber, 2000; Dail *et al.*, 2001; Micks *et al.*, 2004) การที่ดินมีปริมาณไนโตรเจนรวมต่ำมากเกิดจากการนำไปใช้ของพืชและจุลินทรีย์ในดิน และจากกระบวนการชะละลาย และบางส่วนสูญหายไปในรูปแบบของก๊าซในดิน (ไพบูลย์, 2528; Orlow, 1992; Kononova, 1966; Robertson and Groffman, 2007)

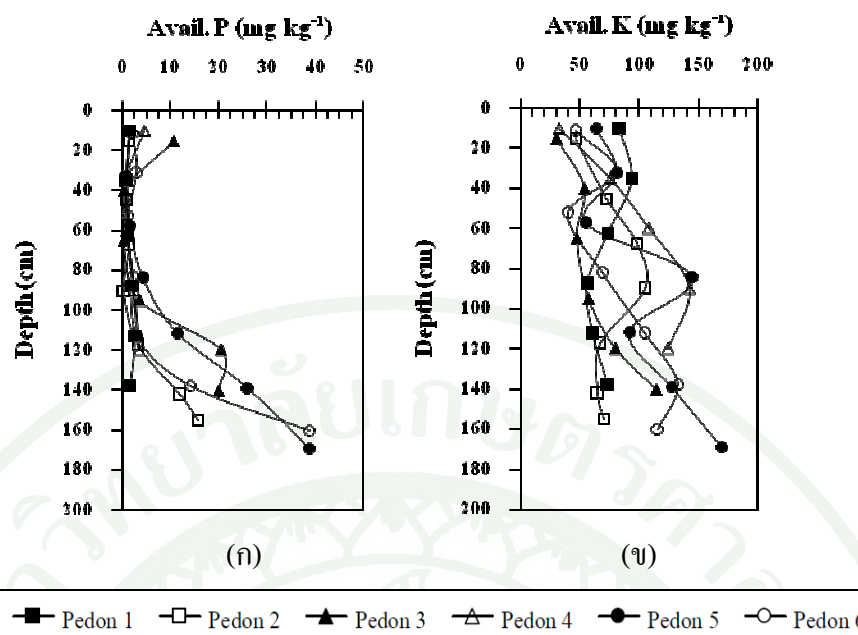
4.5 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินเปรี้ยวที่ศึกษาทั้ง 6 พืดอน พบว่า มีปริมาณอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้ ทุกพืดอนมีค่าลดลงในชั้นดินล่าง และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในชั้นดินล่างถัดลงไป โดยในชั้นดินบน มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง มีค่าอยู่ในพิสัย 1.5-10.6 กรัมต่อกิโลกรัม จากผลการศึกษา สังเกตได้ว่าพืดอน 3 ในชั้นดินบนมีค่าสูงสุด คือ 10.6 กรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากสภาพพื้นที่เป็น ป่าพรุเสม็ด มีการสะสมอินทรีย์วัตถุอยู่ในดินตามธรรมชาติ ส่วนชั้นดินล่างมีปริมาณฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 0.3-38.8 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 20ก)

ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน มีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน ความมากน้อย ของการชะละลาย และการใช้ที่ดิน (Tisdale *et al.*, 1993; Glendinning, 2006; Brady and Weil, 2008) การที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชั้นดินบนสูงกว่าชั้นดินล่าง เนื่องจากปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยอยู่ในรูปฟอสเฟต อินทรีย์ (Ahn, 1993; Brady and Weil, 2008) และมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากอินทรีย์วัตถุซึ่งมี อยู่มากในชั้นดินบน ซึ่งการเพิ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สามารถทำได้โดยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุ และการใส่ปุ๋ยเคมี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Chapman and Roper, 1991; Sposito, 2008) สำหรับในชั้นดินล่างลดลงไปมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าอยู่ในระดับสูง เนื่องจาก อิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิด ซึ่งเป็นตะกอนทับถมของตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเล (Lienemann *et al.*, 1999; Virtasalo *et al.*, 2008)

4.6 โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของดินเปรี้ยวที่ศึกษาทั้ง 6 พืดอน พบว่า มีปริมาณอยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก โดยชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง มีค่า อยู่ในพิสัย 30.5-83.7 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ใน ระดับต่ำถึงสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 40.3-169.6 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 20ข) ในพืดอน 1, 5 และ 6 ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับเป็นช่วง ๆ ในหน้าตัดดิน ส่วนพืดอน 2 และ 4 มีค่าลดลงในชั้นดินล่างลดลงไป และพืดอน 3 มีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึก อย่างชัดเจน เนื่องจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดดิน และปริมาณของแร่ดินเหนียว (อัญชลี, 2553; Thompson and Ukrainczyk, 2002)



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ก) และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษ

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พืชได้มาจากการปลดปล่อยโดยแร่ดินเหนียว อินทรีย์วัตถุ และการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมลงไปในดิน (Sparks, 1987; Mengel and Kirkby, 2001) ชั้นดินล่างมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูง เนื่องจากวัตถุดิบกำเนิดเป็นตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเล ซึ่งมีธาตุโพแทสเซียมในปริมาณสูง และดินมีพัฒนาการค่อนข้างต่ำ ทำให้โพแทสเซียมสูญหายไปจากดินน้อย (Rebertus *et al.*, 1986; Brady and Weil, 2008; Buol *et al.*, 2011) ในดินที่มีปริมาณแร่ดินเหนียวสูง ทำให้ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินสูง โพแทสเซียมจึงถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดินน้อย (Sanchez, 1976; Brady and Weil, 2008; Buol *et al.*, 2011) และมีการสลายตัวของแร่ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ ในการพัฒนาการของดิน โดยเฉพาะแร่ฮิลโลด์ ซึ่งมีธาตุโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่มาก (อัญชลี, 2534; 2553; McLean and Watson, 1985; Thompson and Ukrainczyk, 2002) สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ทางแร่วิทยา และการที่มีปริมาณแร่ฮิลโลด์ และแร่เฟลด์สปาร์อยู่ในดิน ซึ่งเป็นแหล่งที่สำคัญของธาตุโพแทสเซียมจะปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Bajwa, 1987; Nursyamsi *et al.*, 2008) นอกจากนี้ ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งอินทรีย์วัตถุเป็นสารที่มีความสามารถในการดูดซับธาตุแคตไอออนได้สูง และการสลายตัวของอินทรีย์สารมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์บางส่วนให้กับดิน จึงมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระบบของดินได้มาก (Sanchez, 1976; Brady and Weil, 2008)

4.7 เบสที่สกัดได้

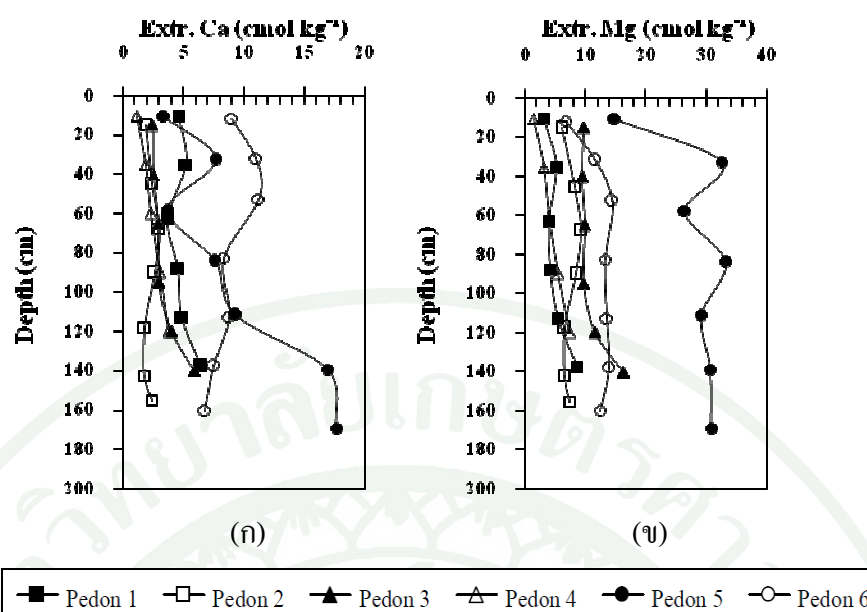
ปริมาณเบสที่สกัดได้ เป็นแคตไอออนสภาพเบสในรูปที่สกัดได้ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม ผลการศึกษาปริมาณเบสที่สกัดได้ทั้ง 6 พืดอน สรุปได้ต่อไปนี้

4.7.1 แคลเซียมที่สกัดได้

ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน มีค่าอยู่ในระดับที่แตกต่างกันตั้งแต่ระดับต่ำมากถึงสูง โดยชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 2.48-4.62 เซนติโมลต่อกิโกรัม ยกเว้นพืดอน 2 และ 4 มีค่าอยู่ในระดับต่ำมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 1.18-1.86 เซนติโมลต่อกิโกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 1.75-6.51 เซนติโมลต่อกิโกรัม ยกเว้น พืดอน 5 และ 6 มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 6.81-17.65 เซนติโมลต่อกิโกรัม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกอย่างชัดเจน ยกเว้นพืดอน 6 ที่มีค่าลดลงตามความลึก โดยมีความแปรปรวนบ้าง ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงตลอดความลึกของหน้าตัดดิน (ภาพที่ 21ก)

4.7.2 แมกนีเซียมที่สกัดได้

ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน มีค่าอยู่ในระดับที่แตกต่างกันตั้งแต่ระดับสูงถึงสูงมาก โดยชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 3.18-6.75 เซนติโมลต่อกิโกรัม ยกเว้นพืดอน 3 และ 5 มีค่าอยู่ในระดับสูงมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 9.84-14.88 เซนติโมลต่อกิโกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก มีค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 3.18-33.26 เซนติโมลต่อกิโกรัม โดยตลอดหน้าตัดดินมีค่าอยู่ในระดับสูงมาก ยกเว้น พืดอน 1 และ 4 ที่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในระดับสูง มีค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 3.18-7.50 เซนติโมลต่อกิโกรัม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ยกเว้นพืดอน 5 ที่มีค่าแปรปรวนบ้าง และมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงกว่าพืดอนอื่น ๆ ซึ่งอยู่ในระดับสูงมากตลอดความลึกของหน้าตัดดิน (ภาพที่ 21ข)

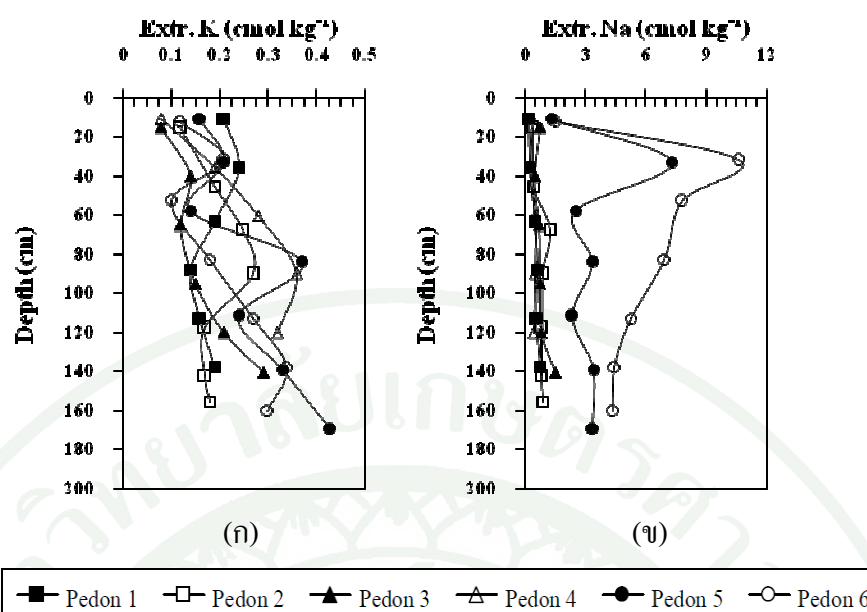


ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) และปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

4.7.3 โพแทสเซียมที่สกัดได้

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พีดอน มีค่าอยู่ในระดับที่แตกต่างกันตั้งแต่ต่ำมากถึงปานกลาง โดยชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.08-0.16 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพีดอน 1 มีค่าอยู่ในระดับต่ำ คือ 0.21 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ อยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.10-0.43 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับเป็นช่วง ๆ ในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 22ก)

โพแทสเซียมที่สกัดได้มีอยู่ร้อยละ 1-2 ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่มีอยู่ในดิน ซึ่งโพแทสเซียมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Havlin *et al.*, 2005; Brady and Weil, 2008) ผลการวิเคราะห์ในแต่ละพีดอนมีความแตกต่างกัน และมีความแปรปรวนบ้างในหน้าตัดดิน โดยมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง เนื่องจากดินที่ทำการศึกษามีเรอิดโลด์ ซึ่งเรอิดดินเหนียวชนิดนี้จะตรึงโพแทสเซียมได้มาก ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินจึงมีค่าอยู่ในระดับต่ำ (อัญชลี, 2553; McLean and Watson, 1985)



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (ก) และปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

4.7.4 โซเดียมที่สกัดได้

ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน มีค่าอยู่ในระดับที่แตกต่างกันตั้งแต่ต่ำถึงสูงมาก โดยชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.16-1.51 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.24-10.62 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณโซเดียมที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ แต่ก็มีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน ยกเว้นพืดอน 5 และ 6 มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดหน้าตัดดิน โดยมีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้สูงกว่าพืดอนอื่น ๆ ซึ่งอยู่ในระดับสูงมากตลอดความลึกของหน้าตัดดิน (ภาพที่ 22ข)

จากผลการวิเคราะห์ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน ส่วนใหญ่มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก เนื่องจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนทับถมของตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเล (van Breemen, 1993; Dent and Pons, 1995; Pant and Reddy, 2001; Venterink *et al.*, 2002) และการพัฒนาการของดินต่ำถึงปานกลาง ทำให้แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดินน้อย (Rebertus *et al.*, 1986; Brady and Weil, 2008; Buol *et al.*, 2011)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมที่สกัดได้ พบว่า ในแต่ละพีดอนมีความแตกต่างกัน และมีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอบ้าง ในหน้าตัดดินเป็นผลมาจากความไม่สม่ำเสมอของวัตถุต้นกำเนิดดิน และอัตราการชะละลายที่ไม่เท่ากันในแต่ละหน้าตัดดิน (Sanchez *et al.*, 1983; Schaetzl and Anderson, 2005; Brady and Weil, 2008)

4.8 เบสรวมที่สกัดได้

ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ คือ ผลรวมของปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมที่สกัดได้ จากดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พีดอน พบว่า ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ อยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก โดยชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 3.08-13.16 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพีดอน 5 และ 6 ที่มีค่าอยู่ในระดับสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 17.41-19.76 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 7.18-24.14 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพีดอน 5 และ 6 มีค่าอยู่ในระดับสูงถึงสูงมากเช่นกัน ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 24.02-52.29 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 23ก) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณเบสรวมที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกอย่างชัดเจน โดยมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน ยกเว้นพีดอน 6 มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงในชั้นดินล่างตามความลึกของหน้าตัดดิน ซึ่งมีปริมาณเบสรวมที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงถึงสูงมากตลอดความลึกของหน้าตัดดิน ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ ยกเว้น พีดอน 5 ที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ แสดงว่าปริมาณเบสรวมที่สกัดได้อยู่ในรูปของแคลเซียมและแมกนีเซียม

จากผลการวิเคราะห์ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พีดอน ส่วนใหญ่ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง เนื่องจากดินส่วนใหญ่มีพัฒนาการค่อนข้างต่ำ การเคลื่อนย้ายดินเหนียวมาตามช่องว่างในดิน และการเคลือบดินเหนียวในช่องว่างดินไม่ชัดเจน ทำให้แคตไอออนสภาพเบสที่ถูกดูดซับโดยอนุภาคดินเหนียวมีการสะสมอยู่ในชั้นดิน ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 7.18-52.29 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เป็นผลมาจากลักษณะของดินทุกบริเวณเกิดในที่ลุ่มต่ำ วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำกร่อย ตะกอนน้ำทะเล และวัสดุอินทรีย์ ดินมีการระบายน้ำเร็ว และมีการชะละลายต่ำ จึงทำให้แคตไอออนสภาพเบสมีการสะสมอยู่ในหน้าตัดดิน (Bloom, 2000; Cheworth, 2008; Buol *et al.*, 2011)

เมื่อพิจารณาระหว่างปริมาณเบสรวมกับปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ จะเห็นได้ว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแมกนีเซียม เนื่องจากมีปริมาณที่สกัดได้สูงกว่าเบสตัวอื่น ซึ่งเป็นลักษณะของดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเล (Dent, 1986; Sadio and van Mensvoort, 1993; Ducloux *et al.*, 1994)

4.9 กรดที่สกัดได้

ปริมาณกรดที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน โดยวิธีแบบเรียมคลอไรด์ ไทรเอทาโนลามีน (pH 8.2) (Peech, 1965; Thomas, 1982b) พบว่า ปริมาณกรดที่สกัดได้อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 14.97-64.89 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพืดอน 6 มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง คือ 3.36 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 3.49-82.98 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณกรดที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่า มีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าตัดดิน ยกเว้นพืดอน 5 มีค่าค่อนข้างคงที่ในหน้าตัดดิน โดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นบริเวณตอนกลางของหน้าตัดดิน และลดลงในตอนล่างของหน้าตัดดิน โดยมีความสัมพันธ์กับพีเอชของดินที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้น้ำและสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (ภาพที่ 23ข)

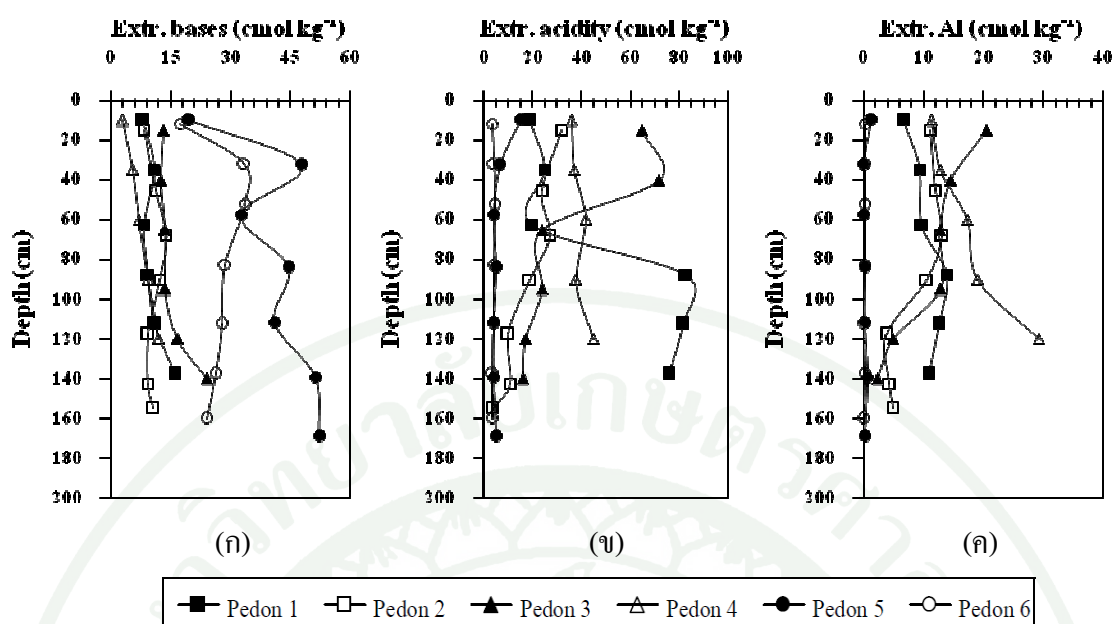
ผลการวิเคราะห์ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน ส่วนใหญ่มีปริมาณกรดที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงมาก ปริมาณกรดที่สกัดได้มีความสัมพันธ์กับพีเอชของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณเหล็กและอะลูมิเนียม (Pons, 1973; van Mensvoort *et al.*, 1991; Cook *et al.*, 2000; Ljung *et al.*, 2009) การที่ดินมีปริมาณกรดที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงมาก เนื่องจากดินมีค่าพีเอชต่ำมาก ดินมีสภาพเป็นกรดรุนแรง ทำให้โลหะต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ธาตุอาหารพืช เช่น ไฮโดรเจน เหล็ก และอะลูมิเนียมสามารถละลายและแจกกระจายอยู่ในดินได้ในปริมาณมาก และการออกซิไดส์ของสารประกอบไพไรต์ เกิดเป็นกรดกำมะถัน และการไฮโดรไลซ์ของสารประกอบซิลิเกต ซึ่งทำให้มีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นในดิน (เอิบ, 2550; van Breemen, 1976; Attanandana and Vacharotayan, 1986; Dent and Pons, 1995; Husson *et al.*, 2000; Fanning, 2006; Kawahigashi *et al.*, 2012) รวมทั้งดินที่มีการสะสมของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเป็นส่วนที่มีสารประกอบพวกฟูลวิก และกรดฮิวมิกด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Piccolo and Mbagwu, 1999; Coyne and Thompson, 2006; Brady and Weil, 2008)

4.10 อะลูมินัมที่สกัดได้

ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน โดยการสกัดด้วย สารละลาย 1 M KCl (Thomas, 1982b) พบว่า ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมากถึง สูงมาก โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 6.60-20.60 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพืดอน 5 และ 6 มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.20-1.40 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 2.40-29.40 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพืดอน 5 และ 6 มีค่าอยู่ในระดับต่ำมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.01-0.60 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (Osborn, 1985) (ภาพที่ 23ค) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอใน หน้าตัดดิน ยกเว้น พืดอน 5 และ 6 มีค่าค่อนข้างคงที่ในหน้าตัดดิน ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้อยู่ใน ระดับสูงมาก เนื่องจากดินมีค่าพีเอชต่ำมาก ดินเป็นกรดรุนแรง ทำให้อะลูมินัมสามารถละลาย และ แจกกระจายอยู่ในดินได้ในปริมาณมาก (เอิบ, 2550; van Breemen, 1976; Attanandana and Vacharotayan, 1986; Dent and Pons, 1995; Fanning, 2006; Kawahigashi *et al.*, 2012)

ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ระดับความเข้มข้นของอะลูมินัม ในสารละลายดิน พีเอชของดิน ธาตุฟอสฟอรัส และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Foy *et al.*, 1984; Tan, 1993; Sparks, 1995) พีเอชของดินเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมรูป และการละลายของอะลูมินัมใน ดิน โดยอาจพบในรูปของอะลูมินัมไฮดรอกไซด์ หรืออะลูมินัมซัลเฟต ซึ่งสามารถละลายได้ในดิน ที่มีพีเอชต่ำกว่า 4.5 (London, 1991; Sparks, 1995) โดยปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ 2-3 เซนติโมลต่อ กิโลกรัม จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด (Chapman, 1965; Keser *et al.*, 1977)

อาการเป็นพิษจากอะลูมินัม จะมีผลกระทบต่อกระบวนการทางชีวเคมีของพืชจนเกิด อาการผิดปกติกับพืช เช่น ยับยั้งการยืดตัวของราก ส่งผลให้พืชชะงักการเจริญเติบโต การแบ่งเซลล์ ของรากแขนงและรากฝอยลดลง ทำให้ลักษณะของรากผิดปกติ รากแคระแกร็น ขนาดและความยาว ของรากลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้การดูดและการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารและน้ำลดลง รวมทั้งลดการดูด ฟอสฟอรัสของพืช เนื่องจากฟอสฟอรัสตกตะกอนกับอะลูมินัมในสารละลายดิน (Marschner, 1991; Poschenrieder *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตาม ปริมาณอะลูมินัมที่ละลายได้ในสารละลายดิน ลดลง เมื่อดินมีการขังน้ำนานขึ้น เนื่องจากอะลูมินัมจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแล้วเปลี่ยนเป็น รูปสารประกอบเชิงซ้อนหรือพอลิเมอร์ ซึ่งจะไม่ละลายและมักจะตกตะกอนได้ง่าย (ยงยุทธ, 2552; Wallace and Anderson, 1984; Lenoble *et al.*, 1996; Tahara *et al.*, 2008)



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ (ก) ปริมาณกรดที่สกัดได้ (ข) และ ปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ (ค) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

4.11 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน โดยการชะ แคตไอออนด้วยสารละลาย 1 M NH₄OAc (pH 7.0) พบว่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก โดย ในชั้นดินบนอยู่ในระดับสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 20.75-35.49 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้นพืดอน 1 และ 6 อยู่ในระดับค่อนข้างสูง มีค่าอยู่ในพิสัย 17.99-18.49 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่า อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 8.99-79.98 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยส่วนใหญ่ มีค่าอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก ยกเว้นพืดอน 2 และ 3 มีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูง (ภาพที่ 24ก)

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเป็นผลรวมของแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งดินหรือ แร่ดินเหนียวหรือวัสดุใด ๆ ดูดซับไว้ได้ที่พิเศษเฉพาะเจาะจง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของคอลลอยด์ ขนาดอนุภาคของคอลลอยด์ ปริมาณดินเหนียว และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Tisdale *et al.*, 1993; Bayer *et al.*, 2001; Brady and Weil, 2008) ดินที่ทำการศึกษามีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน อยู่ในระดับสูง เนื่องจากมีขนาดอนุภาคดินเหนียวและปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง นอกจากนี้ยังมี แร่อัลไซต์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นแร่ที่มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง ทำให้ดินมีความจุ แลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Sanchez, 1976; Young, 1976; Brady and Weil, 2008)

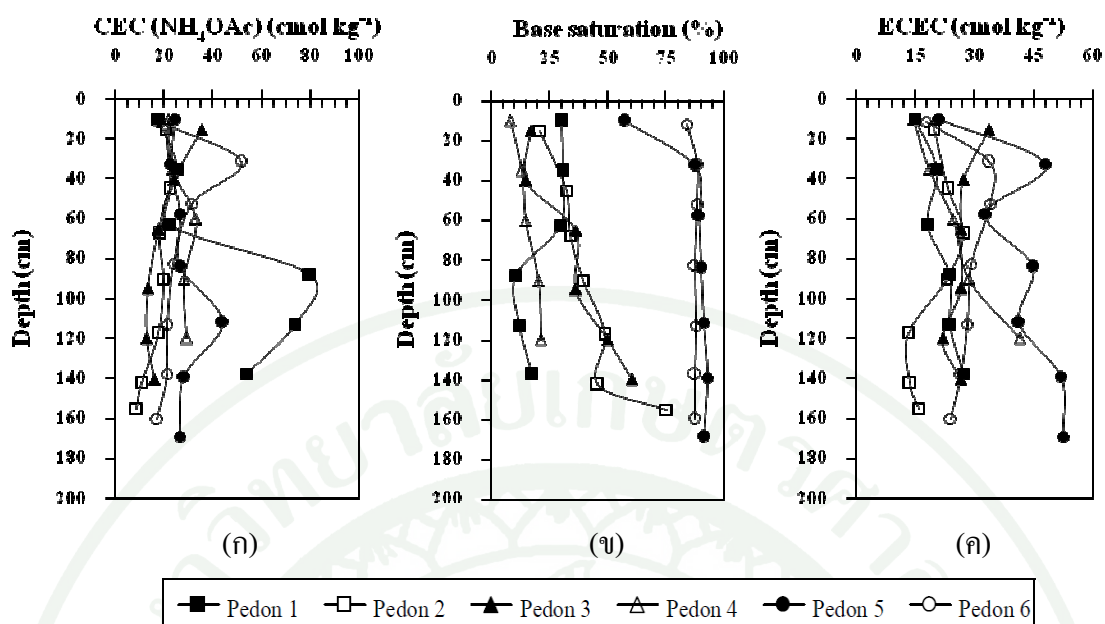
4.12 อัตราร้อยละความอึดตัวของเบส

อัตราร้อยละความอึดตัวของเบสโดยการคำนวณจากค่าเบสรวมที่สกัดได้ (sum bases) และกรดที่สกัดได้ (extractable acidity) คูณด้วย 100 จะได้ค่าอัตราร้อยละความอึดตัวของเบส พบว่าอัตราร้อยละความอึดตัวของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูง โดยในชั้นดินบนจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัยร้อยละ 7.87-30.09 ยกเว้นพืดอน 5 และ 6 มีค่าอยู่ในระดับปานกลางและสูง คือ ร้อยละ 56.90 และ 83.82 ตามลำดับ ส่วนในชั้นดินล่าง โดยส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูง มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 10.31-75.44 ยกเว้น พืดอน 5 และ 6 ที่มีค่าอยู่ในระดับสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัยร้อยละ 87.27-92.78 (ภาพที่ 24ข) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราร้อยละความอึดตัวของเบสกับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่าโดยส่วนใหญ่ทุกพืดอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน ยกเว้นพืดอน 1 มีค่าลดลงในชั้นดินล่าง โดยส่วนใหญ่ดินมีค่าอัตราร้อยละความอึดตัวของเบสต่ำถึงปานกลาง เนื่องจากปริมาณกรดที่สกัดได้มีค่าสูงมาก สอดคล้องกับพีเอชของดิน ซึ่งดินมีค่าพีเอชต่ำมาก ดินเป็นกรดรุนแรง ทำให้ไฮโดรเจนเหล็ก และอะลูมิเนียม สามารถละลายและแจกกระจายอยู่ในดินได้ในปริมาณมาก ทำให้ปริมาณเบสชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในดินลดลง (เอิบ, 2550; van Breemen, 1976; Attanandana and Vacharotayan, 1986; van Mensvoort *et al.*, 1991; Dent and Pons, 1995; Cook *et al.*, 2000; Husson *et al.*, 2000; Fanning, 2006; Ljung *et al.*, 2009; Kawahigashi *et al.*, 2012)

4.13 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผลของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน โดยการคำนวณจากผลรวมของเบสรวมที่สกัดได้ (extractable bases) และอะลูมิเนียมที่สกัดได้ (extractable aluminum) ซึ่งพบว่า ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผลมีค่าแตกต่างกันมาก โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 14.46-33.76 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 13.25-52.49 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 24ค) โดยมีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน ยกเว้นพืดอน 5 และ 6 มีค่าค่อนข้างคงที่ในหน้าตัดดิน

เมื่อพิจารณาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผลกับปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้ จะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กัน แสดงว่าปริมาณของแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอะลูมิเนียม ยกเว้นพืดอน 5 และ 6 ที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ แสดงว่าปริมาณของแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในรูปของแมกนีเซียม

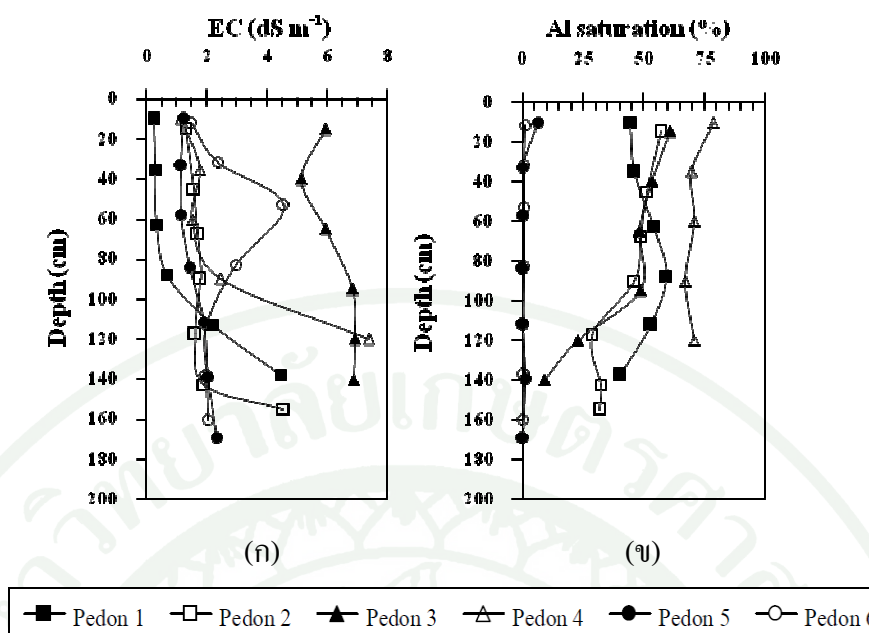


ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (ก) อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (ข) และปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล (ค) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

4.14 การนำไฟฟ้าของดิน

การนำไฟฟ้าของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน โดยวัดสภาพการนำไฟฟ้าของสารสกัดอิ่มตัว (saturation extract) ของดิน พบว่า มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง โดยในชั้นดินบนมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.24-1.49 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ยกเว้นพืดอน 3 มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง คือ 5.95 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงปานกลาง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.29-7.38 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (ภาพที่ 25ก)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้ากับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน และมีค่าสูงสุดในชั้นดินล่าง ยกเว้นพืดอน 3 และ 6 มีค่าแปรปรวนไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้ และปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้ แสดงว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลเฟตของแคลเซียม และแมกนีเซียม อย่างไรก็ตามสภาพการนำไฟฟ้าของดินจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะวัตถุดิบกำเนิดของดิน ความชื้นของดิน ชนิดของพืชพรรณ ระดับน้ำใต้ดิน และกิจกรรมของมนุษย์ (Szabolcs, 1989; Gupta and Abrol, 1990)



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า (ก) และค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยอะลูมิเนียม (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษากว่า 6 ปีค่อน ส่วนใหญ่มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน เนื่องจากวัตถุดิบกำเนิดเป็นตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเลที่มีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้สูง อิทธิพลของน้ำใต้ดินที่เป็นน้ำกร่อย และปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้โดยส่วนใหญ่เกลือที่พบมักเป็นเกลือคลอไรด์และซัลเฟตของโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Keren, 2000; Mengel and Kirkby, 2001; Havlin *et al.*, 2005)

4.15 อัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียม

อัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษากว่า 6 ปีค่อน โดยคำนวณจากค่าอะลูมิเนียมที่สกัดได้ (extractable aluminum)หารด้วยเบสรวมที่สกัดได้ (sum bases) คูณด้วย 100 พบว่า ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 1.14-78.77 ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.08-70.89 เซนติเมตรต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 25ข) อัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 30-60 จะส่งผลกระทบต่อพืชที่อ่อนไหวต่อความเป็นพิษของอะลูมิเนียม และร้อยละ 60-85 มักเกิดอาการเป็นพิษต่อพืช (Nye *et al.*, 1961; Evans and Kamprath, 1970) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราร้อยละความอิ่มตัวอะลูมิเนียมกับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่ามีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน ยกเว้นพีดอน 5 และ 6 มีค่าค่อนข้างคงที่ในหน้าตัดดิน

4.16 ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี

4.16.1 เหล็ก

ผลวิเคราะห์เหล็กที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน พบว่า ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง ค่าวิเคราะห์ อยู่ในพิสัย 76-197 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้นพืดอน 6 มีค่าอยู่ในระดับต่ำ คือ 1.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 57-1,115 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้นพืดอน 5 และ 6 มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.14-3.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 26ก) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณเหล็กที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่า มีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างลึกลงไป ยกเว้นพืดอน 5 และ 6 มีค่าค่อนข้างคงที่ในหน้าตัดดิน เมื่อพิจารณาปริมาณเหล็กที่สกัดได้เทียบกับเกณฑ์ของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช (Davidescu and Davidescu, 1982; Bennett, 1993) พบว่า ทุกพืดอนปริมาณเหล็กที่สกัดได้อยู่ในระดับเพียงพอถึงเป็นพืชต่อพืช มีค่าอยู่ในพิสัย 57-1,115 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ยกเว้น พืดอน 5 และ 6 ปริมาณเหล็กที่สกัดได้อยู่ในระดับขาดแคลนต่อพืชมีค่าอยู่ในพิสัย 0.14-3.28 เซนติโมลต่อกิโลกรัม

ความเป็นประโยชน์ของเหล็กขึ้นอยู่กับพีเอชของดิน อินทรีย์วัตถุ การระบายอากาศ และปริมาณเหล็กที่มีอยู่ในดิน (Halvin *et al.*, 2005; Römheld and Nikolic, 2007) ในดินเปรี้ยวที่มีสภาพน้ำขังมักพบว่า เหล็กในสารละลายดินที่อยู่ในรูปเฟอร์ริกจะถูกรีดิวซ์ไปอยู่ในรูปเฟอร์รัสไอออน เหล็กในรูปเฟอร์รัสไอออนที่มีความเข้มข้นสูงจะเป็นพิษโดยตรงต่อพืชโดยเฉพาะข้าว ซึ่งมักปลูกในดินเปรี้ยว ซึ่งเหล็กสามารถละลายได้เพิ่มขึ้น เหล็กไอออนในสารละลายดินส่วนใหญ่อยู่ในรูป Fe^{3+} , FeOH^{2+} และ Fe(OH)_2^+ (McFarlane, 1999; Ladouceur and Kawia, 2008)

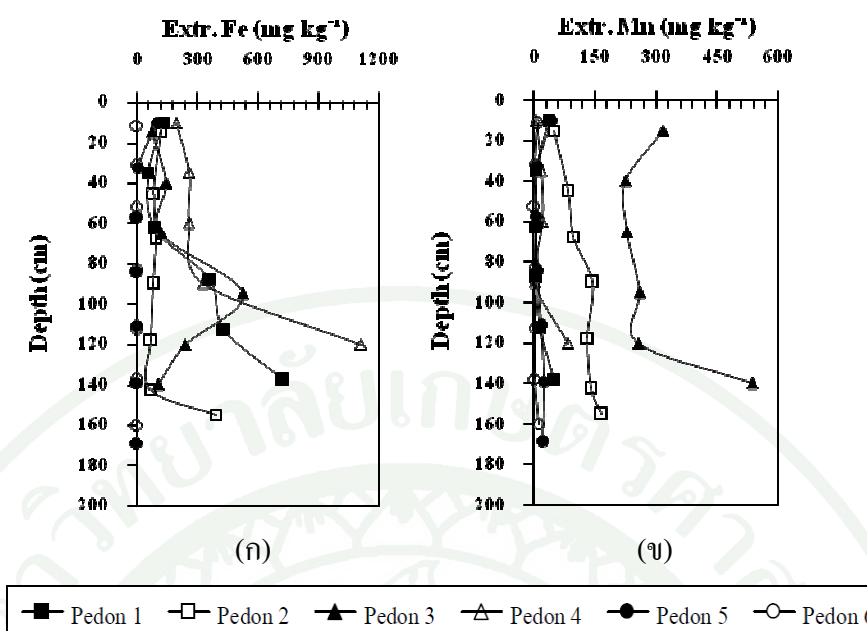
ความเป็นพิษจากเหล็กมักเกิดกับข้าวที่ปลูกในดินน้ำขัง โดยเฉพาะดินเปรี้ยว ซึ่งมีเฟอร์รัสไอออนในสารละลายดินสูงมาก อาการเป็นพิษที่เกิดขึ้นในระยะแรก คือ ใบมีสีเขียวปนน้ำเงิน ต่อมาใบจะแห้งอย่างรวดเร็ว การเจริญเติบโตของใบและลำต้นลดลง รากเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และมีขนาดเล็กลง (Sahrawat, 2004; Fageria *et al.*, 2008) นอกจากนี้ ความเป็นพิษของธาตุเหล็กที่เกิดขึ้นในดินเปรี้ยวเป็นสาเหตุสำคัญในการยับยั้งการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืช เนื่องจากฟอสฟอรัสตกตะกอนกับเหล็กในสารละลายดิน โดยเกิดเป็นสารประกอบเหล็กฟอสเฟต ซึ่งดูดซับอยู่ที่ผิวของแร้ดินเหนียว หรือสารที่มีการแลกเปลี่ยนประจุ (Ponnamperuma and Solivas, 1981)

4.16.2 แม่งกานีส

ผลวิเคราะห์แอมกานีสที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน พบว่ามีค่าอยู่ในระดับที่แตกต่างกันตั้งแต่ระดับต่ำถึงสูง โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 36-318 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้นพืดอน 6 มีค่าอยู่ในระดับต่ำ คือ 8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูง ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 3-538 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้นพืดอน 6 มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 1-12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 26ข) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณแอมกานีสที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่าปริมาณแอมกานีสที่สกัดได้ในทุกพืดอนมีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างถึงลงไป ยกเว้น พืดอน 5 และ 6 มีค่าค่อนข้างคงที่ในหน้าตัดดิน เมื่อพิจารณาปริมาณแอมกานีสที่สกัดได้เทียบกับเกณฑ์ของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช (Davidescu and Davidescu, 1982; Bennett, 1993) พบว่า ทุกพืดอนปริมาณแอมกานีสที่สกัดได้อยู่ในระดับตั้งแต่ขาดแคลนถึงเป็นพิษต่อพืช มีค่าอยู่ในพิสัย 3-538 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้น พืดอน 5 และ 6 ปริมาณแอมกานีสที่สกัดได้อยู่ในระดับขาดแคลนถึงเพียงพอต่อพืช มีค่าอยู่ในพิสัย 1-44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ความเป็นประโยชน์ของแอมกานีสขึ้นอยู่กับพีเอชของดิน อินทรีย์วัตถุ การระบายอากาศ และปริมาณแอมกานีสที่มีอยู่ในดิน (Halvin *et al.*, 2005; Römheld and Nikolic, 2007) ในสภาพดินเป็นกรดและมีการขังน้ำ เช่น ในดินนา แอมกานิกถูกรีดิวซ์เป็นแอมกานีส ซึ่งละลายได้ง่าย การละลายของแอมกานีสจะสูงขึ้น (Humphries *et al.*, 2007)

ความเป็นพิษของแอมกานีสจะเกิดผลกระทบต่อกระบวนการต่าง ๆ ในพืชอย่างมาก ในข้าวที่ได้รับความเป็นพิษจากแอมกานีสจะมีลำต้นแคระแกร็น การแตกกอลดลง มีรอยด่างสีน้ำตาลที่ใบแก่ และกระตุ้นการขาดธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก (Wisemeier and Horst, 1992; Pedas *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตาม เมื่อดินมีการขังน้ำเป็นเวลานานขึ้น ความเป็นพิษของแอมกานีสจะเกิดได้น้อยมาก หรืออาจจะไม่พบอาการเป็นพิษของแอมกานีส เนื่องจากปริมาณเหล็กที่ละลายได้จะลดระดับการดูดธาตุแอมกานีส ซึ่งโดยทั่วไปแอมกานีสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะมีอยู่ในปริมาณน้อยกว่าระดับที่จะเป็นอันตรายต่อพืช (Ponnamperuma, 1977; Dent, 1986; Dent and Pons, 1995)



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้ (ก) และปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

4.16.3 ทองแดง

การวิเคราะห์ทองแดงที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษานี้ทั้ง 6 พีดอน พบว่าทุกพีดอนมีค่าอยู่ระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.02-3.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.10-1.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำเช่นกัน ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.02-3.00 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 27ก) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณทองแดงที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่าปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในทุกพีดอนมีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน ยกเว้นพีดอน 5 มีค่าลดลงในชั้นดินล่างและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ส่วนพีดอน 6 มีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกตลอดหน้าตัดดิน เมื่อพิจารณาปริมาณทองแดงที่สกัดได้เทียบกับเกณฑ์ของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช (Davidescu and Davidescu, 1982; Bennett, 1993) พบว่า ทุกพีดอนปริมาณทองแดงที่สกัดได้อยู่ในระดับขาดแคลนต่อพืช มีค่าอยู่ในพิสัย 0.02-3.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

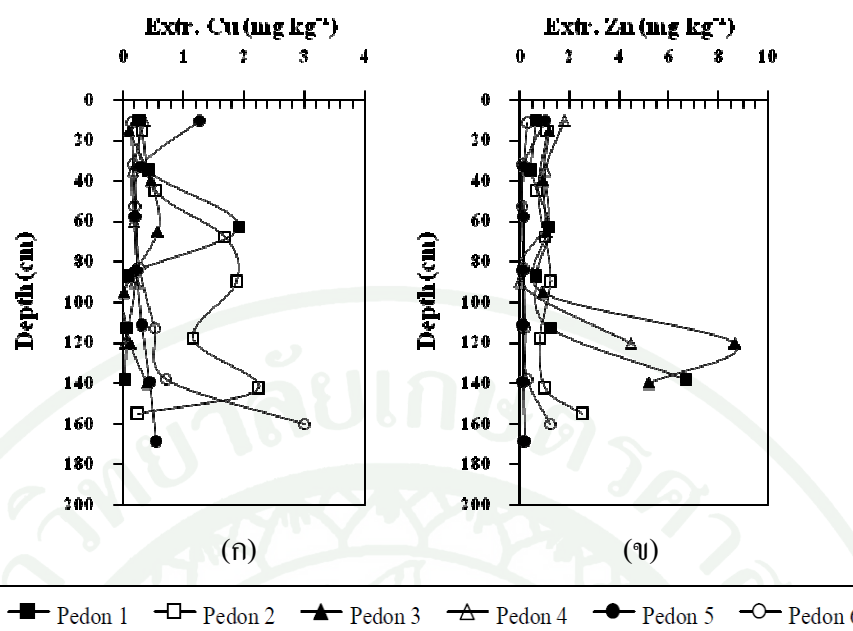
ความเป็นประโยชน์ของทองแดงในดินขึ้นอยู่กับพีเอชของดินเป็นอย่างมาก การละลายของทองแดงจะลดลง 100 เท่า เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น 1 หน่วย (Tisdale *et al.*, 1993) ในดินที่มีสภาพความเป็นกรด และมีไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง เมื่อดินมีสภาพขาดออกซิเจน ทองแดงจะทำ

ปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ แล้วตกตะกอน ระดับความเป็นประโยชน์ของทองแดงในดินจะลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของทองแดงในสารละลายดินจะถูกจำกัดโดยความสามารถในการดูดซับกับผิวของคอลลอยด์ (Halvin *et al.*, 2005; Kopsell and Kopsel, 2007) นอกจากนี้ ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง มักจะขาดทองแดง เนื่องจากทองแดงสามารถจับตัวอย่างเหนียวแน่นกับกรดฮิวมิกหรือกรดฟุลวิก และในดินที่มีพีเอชเป็นกรด การละลายของสังกะสีจะลดลง (Jennings *et al.*, 1979; Kuo *et al.*, 1983; Tisdale *et al.*, 1993; Greenland, 1997)

4.16.4 สังกะสี

การวิเคราะห์สังกะสีที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน พบว่าทุกพืดอนมีค่าอยู่ในระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.02-8.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำ ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.30-1.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำเช่นกัน ค่าวิเคราะห์อยู่ในพิสัย 0.02-8.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 27ข) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณสังกะสีที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่าปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในทุกพืดอนมีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างลึกลงไป เมื่อพิจารณาปริมาณสังกะสีที่สกัดได้เทียบกับเกณฑ์ของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช (Davidescu and Davidescu, 1982; Bennett, 1993) พบว่า ทุกพืดอนปริมาณสังกะสีที่สกัดได้อยู่ในระดับขาดแคลนต่อพืช มีค่าอยู่ในพิสัย 0.02-8.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

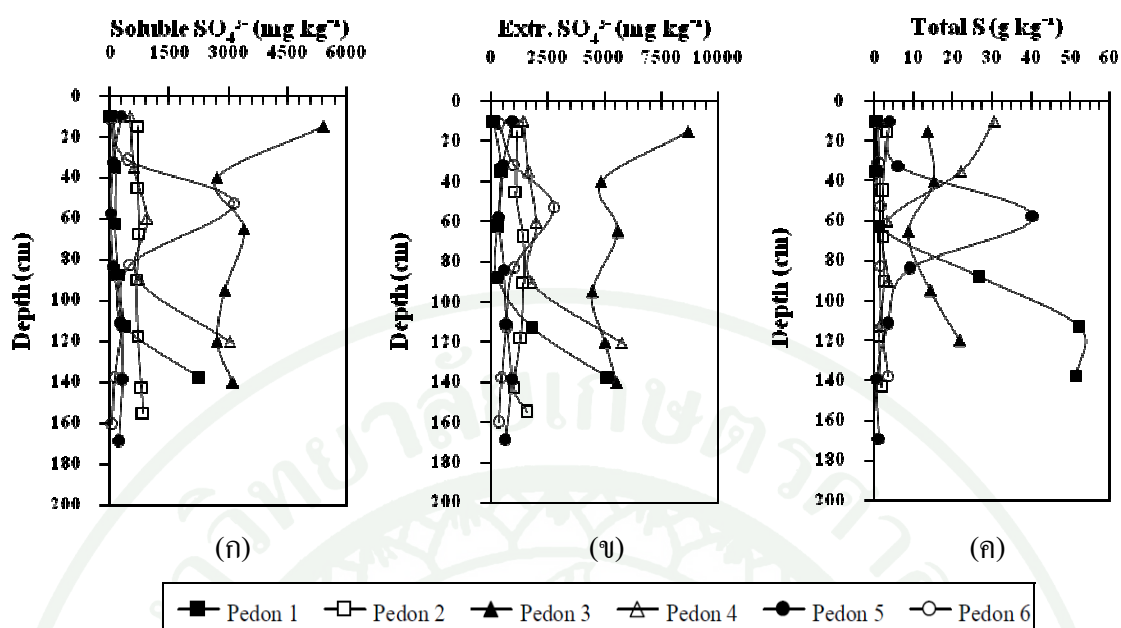
ความเป็นประโยชน์ของสังกะสีขึ้นอยู่กับพีเอชของดิน อินทรีย์วัตถุ และปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในดิน (Halvin *et al.*, 2005; Storey, 2007) ดินที่มีพีเอชของดินเป็นกรด เมื่อมีการขังน้ำ ทำให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้น ดินจะเกิดการขาดธาตุสังกะสี เนื่องจากสังกะสีในสารละลายดินจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน หรือสารประกอบไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นรูปที่ละลายออกมาได้น้อย และไม่เป็นประโยชน์กับพืช (Swietlik, 1999; Halvin *et al.*, 2005) พีเอชของดินจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมความเป็นประโยชน์ของสังกะสี การละลายของสังกะสีจะลดลง 30 เท่า เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น 1 หน่วยในช่วง pH 5.0-7.0 (Tisdale *et al.*, 1993) ในดินที่มีสภาพความเป็นกรด และมีไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง จะทำให้สังกะสีตกตะกอนอยู่ในรูปสารประกอบซัลไฟด์ อาจทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีในดินนํ้าขังลดลงเหลือ 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณสังกะสีที่มีค่าอยู่ในระดับต่ำ จะส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุสังกะสีของพืช (Ponnamperuma, 1977; Rending and Taylor, 1989; Heitholt *et al.*, 2002)



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทองแดงที่สกัดได้ (ก) และปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ (ข) กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

4.17 ซัลเฟตที่ละลายได้

ปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พีดอน โดยการสกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน (Lewis, 1999; Tan, 2005; Tucker, 2008) พบว่า มีค่าแปรปรวนมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 23-5,396 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 25-5,396 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับสูงมากเช่นเดียวกัน มีค่าอยู่ในพิสัย 23-3,393 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 28ก) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่าทุกพีดอนมีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน ยกเว้น พีดอน 1 และ 4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างเล็กน้อย ส่วนพีดอน 2 และ 5 มีค่าค่อนข้างคงที่ แต่มีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน เมื่อพิจารณาปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้เทียบกับเกณฑ์ของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช (Reissenauer, 1975; Jones, 1986; Peverill *et al.*, 1999) พบว่า ทุกพีดอนปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้อยู่ในระดับสูงมาก ($23\text{-}5,396 \text{ mg kg}^{-1}$) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อพืช



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้ (ก) ปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้ (ข) และ ปริมาณกำมะถันรวม (ค) กับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้ พบว่า ในทุกพีดอนมีปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้อยู่ในระดับสูงมาก เนื่องจาก การแปรสภาพของกำมะถันในสารประกอบอินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินมาเป็นซัลเฟตที่ละลายน้ำได้ง่าย ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในดินที่มีธาตุกำมะถันและปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง จึงมีการปลดปล่อยซัลเฟตให้พืชได้อย่างเพียงพอ (Pasricha and Fox, 1993; Glendining, 2006) นอกจากนี้ อิทธิพลจากตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเล ที่มีการสะสมเกลือของซัลเฟต เช่น แคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต โซเดียมซัลเฟต และโพแทสเซียมซัลเฟต ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของซัลเฟตในสารละลายดิน (เอิบ, 2550; van Breemen and Pons, 1978; Chittleborough *et al.*, 1984; Dent and Pons, 1995; Mengel and Kirkby, 2001; Havlin *et al.*, 2005; Glendining, 2006)

4.18 ซัลเฟตที่สกัดได้

ปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษากว่า 6 พีดอน โดยสกัดด้วย 0.008 M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Combs *et al.*, 1998; Tan, 2005; Tucker, 2008) พบว่า มีค่าแปรปรวนมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 145-8,701 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยในชั้นดินบนอยู่ในระดับสูงมาก มีค่าอยู่ในพิสัย 145-8,701 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับสูงมากเช่นเดียวกัน มีค่าอยู่ใน

พืช 297-5,753 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 28ข) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่า ทุกพืดอนมีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน ยกเว้น พืดอน 1 และ 4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างลึกลงไป ส่วนพืดอน 2 และ 5 มีค่าค่อนข้างคงที่ แต่มีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน เมื่อพิจารณาปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้เทียบกับเกณฑ์ของระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช (Reissenauer, 1975; Jones, 1986; Peverill *et al.*, 1999) พบว่า ทุกพืดอนปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงมาก ($145-8,701 \text{ mg kg}^{-1}$) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อพืช

ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้ พบว่า ในทุกพืดอนมีปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงมาก เนื่องจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเลที่มีปริมาณธาตุกำมะถันสูง ซึ่งกำมะถันที่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากับเหล็กเกิดเป็นสารประกอบโมโนซัลไฟด์ ซึ่งจะปลดปล่อยซัลเฟตไอออนออกมาในสารละลายดิน และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบไพไรต์ ทำให้เกิดสารประกอบเฟรรัสซัลเฟต และกรดกำมะถันสะสมอยู่ในปริมาณมาก และเมื่อกรดนี้ทำปฏิกิริยากับแร่และธาตุที่เป็นค่า จะเกิดเป็นแร่จาวโรไซต์ ซึ่งเป็นแร่ที่มีองค์ประกอบของซัลเฟต นอกจากนี้ กำมะถันที่อยู่ในรูปของอินทรีย์วัตถุ จะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปของซัลเฟตด้วย (เอิบ, 2550; van Breemen and Pons, 1978; Dent and Pons, 1995; Fanning, 2006; Kawahigashi *et al.*, 2012)

4.19 กำมะถันรวม

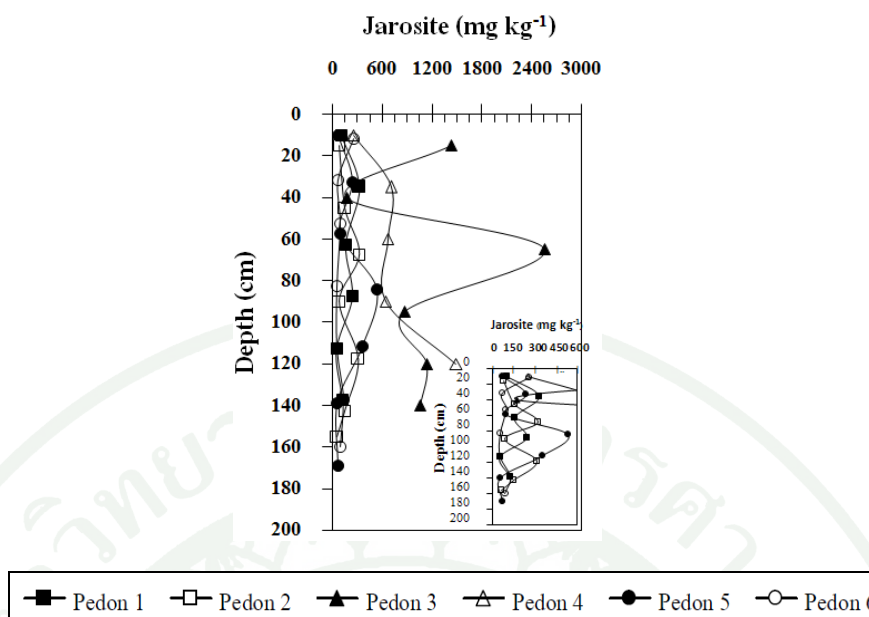
ปริมาณกำมะถันรวมของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน วิเคราะห์โดยวิธี aqua regia digestion method (Tabatabai and Bremner, 1970; Quevauviller, 1998; Tucker, 2008) พบว่ามีค่าแปรปรวนมาก ค่าวิเคราะห์อยู่ในพืช 0.46-52.13 กรัมต่อกิโลกรัม โดยในชั้นดินบน อยู่ในพืช 0.58-15.09 กรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าสูงสุดในพืดอน 3 และมีค่าต่ำสุด ในพืดอน 1 ส่วนชั้นดินล่าง มีค่าอยู่ในพืช 0.46-52.13 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 28ค) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณกำมะถันรวมกับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่าทุกพืดอนมีความแปรปรวน มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับเป็นช่วง ๆ ไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดดิน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างลึกลงไป ในพืดอน 1 และ 4 ส่วนพืดอน 2 และ 5 มีค่าค่อนข้างคงที่ แต่มีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน เมื่อพิจารณาระหว่างปริมาณกำมะถันรวมกับปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้ และปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้ จะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์อย่างชัดเจน แสดงว่าปริมาณกำมะถันรวมส่วนใหญ่อยู่ในรูปของซัลเฟตที่ละลายได้และซัลเฟตที่สกัดได้ และมีความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

4.20 จาโรไซต์

การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในรูปจาโรไซต์ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน โดยวิธี jarosite recovery method (Li *et al.*, 2007) พบว่า โดยส่วนใหญ่จาโรไซต์จะพบได้ในชั้นดินที่มีจุดประสีเหลืองฟางข้าว และในชั้นดินที่เกิดอยู่ในสภาพรีดิวซ์จะไม่พบจาโรไซต์ ปริมาณจาโรไซต์ที่พบมีค่าแปรปรวนอยู่ในพิสัย 51-2,559 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 68-1,435 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่าง อยู่ในพิสัย 51-2,559 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 29) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณจาโรไซต์กับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่าทุกพืดอน มีค่าแปรปรวนไม่สม่ำเสมอ เพิ่มขึ้นและลดลงสลับเป็นช่วง ๆ และมีความแปรปรวนบ้างเล็กน้อยในหน้าตัดดิน ยกเว้น พืดอน 4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างถึงลงไป

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจาโรไซต์ พบว่า ในทุกพืดอนมีการแจกจ่ายของจาโรไซต์ไม่สม่ำเสมอ มีความแปรปรวนในหน้าตัดดิน และมีปริมาณค่อนข้างน้อย เนื่องจากลักษณะของดินที่ทำการศึกษามีระดับน้ำใต้ดินลึกประมาณ 30-100 เซนติเมตร เป็นดินที่มีน้ำขังอยู่ในสภาพรีดิวซ์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดักชันของเหล็ก แมงกานีส และกำมะถัน สภาพการขังน้ำไม่มีออกซิเจนส่วนเกินแทรกซึมเข้าไปในดิน สารประกอบไพไรต์ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเปลี่ยนเป็นสารประกอบจาโรไซต์ได้ (Scott and Munro, 1979; Wainwright, 1984) อย่างไรก็ตามที่ระดับความลึกในชั้นดินล่างแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นกรดจัด เนื่องจากพีเอชของดินในภาคสนามเป็นกรดรุนแรงมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.0-6.5) และพีเอชของดินในห้องปฏิบัติการที่วัดได้โดยน้ำเป็นกรดรุนแรงมากที่สุดถึงเป็นกรดจัดมาก (pH 3.1-4.5) เมื่อมีออกซิเจนแทรกซึมเข้าไปในดิน สารประกอบไพไรต์จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเปลี่ยนเป็นสารประกอบจาโรไซต์ขึ้น ทำให้ดินมีจุดประสีเหลืองฟางข้าวภายในหน้าตัดดิน (van Breemen, 1976) นอกจากนี้ สารประกอบไพไรต์ที่มีอยู่อาจเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้เกิดการสลายเปลี่ยนเป็นเฟรรัสไอออน ซัลเฟตไอออน และโพแทสเซียมไอออน ซึ่งจะเห็นได้จากผลการวิเคราะห์ทางเคมี หรืออาจทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้า ๆ กลายเป็นแร่เกอไทต์ (van Breemen and Pons, 1978)

เมื่อพิจารณาความรุนแรงของดินเปรี้ยวที่มีผลต่อการปลูกข้าว โดยใช้ระดับความลึกของสารประกอบจาโรไซต์ พบว่า พืดอน 3 มีความรุนแรงมากที่สุดในการปลูกข้าว โดยอิทธิพลของสารประกอบจาโรไซต์ในพืดอน 4, 1, 2, 5 และ 6 มีความรุนแรงลดลงมา ตามลำดับ การพบสารประกอบจาโรไซต์ภายในหน้าตัดดิน จะเป็นลักษณะที่กำหนดชั้นดินล่างวินิจัยซัลฟิวริก (sulfuric horizon) (Soil Survey Staff, 2010) และระดับความลึกของสารประกอบจาโรไซต์ที่อยู่ใกล้



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจาโรไซต์กับระดับความลึกของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

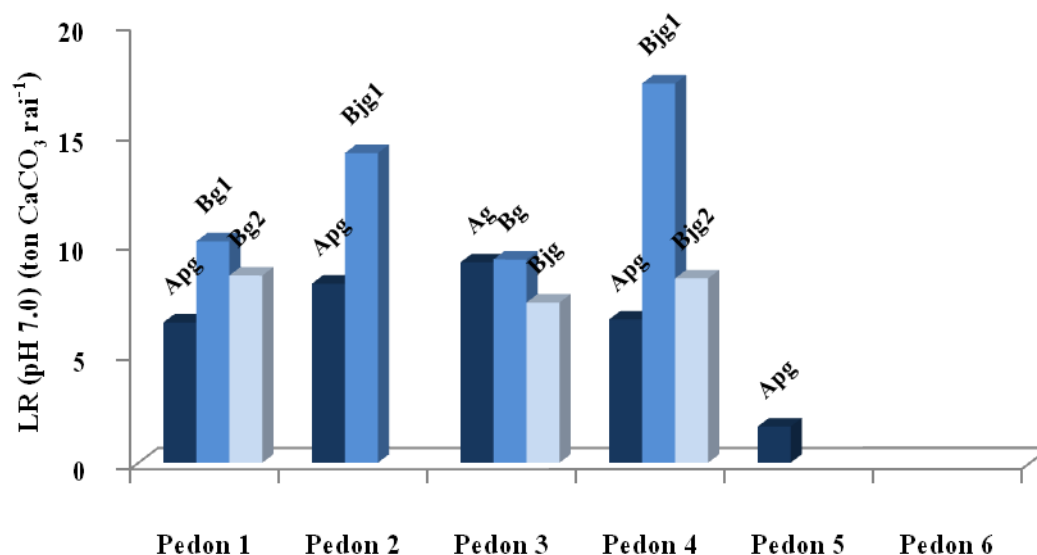
ผิวน้ำดิน จะแสดงถึงดินที่มีพัฒนาการน้อยกว่าดินที่มีระดับความลึกของสารประกอบจาโรไซต์ อยู่ลึกลงไปจากผิวน้ำดิน (van Breemen and Pons, 1978) นอกจากนี้ การพบสารประกอบ จาโรไซต์ในหน้าตัดดิน จะแสดงถึงลักษณะดินของดินเปรี้ยวจริง (actual acid sulfate soils) เป็นดิน ที่มีชั้นดินอย่างน้อยหนึ่งชั้นมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นในหน้าตัดดิน (Brinkman and Pons, 1973) ซึ่งพบว่า ดินที่ทำการศึกษามีกรดกำมะถันเกิดขึ้นภายในหน้าตัดดิน

4.21 ความต้องการปูน

การวิเคราะห์ปริมาณความต้องการปูนของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พีดอน โดยใช้ วิธี soil-lime incubation (McLean, 1982, Sims, 1996) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างสารละลาย 0.05 M $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ใช้กับค่าพีเอชของดิน แสดงไว้ในตารางที่ 5 และภาพที่ 30 และเมื่อคำนวณหาปริมาณ ความต้องการปูนของดินเพื่อยกระดับพีเอชของดินให้เป็น 7.0 พบว่า ชั้นดินบนมีปริมาณความ ต้องการปูนอยู่ในพิสัย 1.65-9.13 ตันในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตต่อไร่ และชั้นดินล่างมีปริมาณความ ต้องการปูนอยู่ในพิสัย 7.30-17.28 ตันในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตต่อไร่ ปริมาณความต้องการปูน โดยเฉลี่ยอยู่ในพิสัย 8.34-11.14 ตันในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตต่อไร่ เมื่อพิจารณาปริมาณความ ต้องการปูนกับความลึกของหน้าตัดดิน พบว่าทุกพีดอนมีค่าเพิ่มขึ้นในชั้นดินล่างตอนบน และลดลง ตามความลึกในชั้นดินล่างถัดไป

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชดินกับปริมาณสารละลาย 0.05 M Ca(OH)₂ ที่ใช้เพื่อหาปริมาณความต้องการปูนของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Horizon	Depth (cm)	Soil pH									
		0.05 M Ca(OH) ₂									
		0	5	10	20	30	40	50	60	70	80
(----- mL -----)											
Pedon 1 Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic											
Apg	0-20	4.0	4.3	4.6	6.5	7.1	7.5	7.7	-	-	-
Bg1	20-50	4.0	4.2	4.5	6.7	7.0	7.5	7.7	-	-	-
Bg2	50-75	3.9	4.2	4.4	6.3	7.0	7.7	7.7	-	-	-
Pedon 2 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic											
Apg	0-15/30	3.5	3.8	4.0	4.7	5.7	6.5	7.0	-	-	-
Bjg1	30-60	3.4	3.7	4.0	4.6	6.0	7.0	7.7	-	-	-
Pedon 3 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic											
Ag	0-15/30	3.6	3.9	4.0	4.2	4.7	5.0	5.5	6.3	6.6	7.0
Bg	30-50	3.2	3.7	4.0	4.5	6.2	7.0	7.4	-	-	-
Bjg	50-80	3.2	3.7	4.0	4.7	6.3	7.1	7.6	-	-	-
Pedon 4 Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic											
Apg	1-15/20	3.7	3.9	4.1	5.1	5.8	6.5	7.1	-	-	-
Bjg1	20-50	3.2	3.5	4.2	4.4	4.8	6.1	7.1	-	-	-
Bjg2	50-70	3.0	3.3	3.6	4.4	5.0	5.3	7.0	-	-	-
Pedon 5 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic											
Apg	0-20	4.7	5.9	6.5	7.6	7.8	8.0	8.2	-	-	-



ภาพที่ 30 ปริมาณความต้องการปูนของชั้นดินต่าง ๆ ในหน้าตัดดินของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

การวิเคราะห์ปริมาณความต้องการปูน เพื่อยกระดับพีเอชของดินให้เป็น 7.0 ของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษากันทั้ง 6 พืดอน พบว่า พืดอน 2 มีปริมาณความต้องการปูนเฉลี่ยสูงสุด และพืดอน 1 มีปริมาณความต้องการปูนเฉลี่ยต่ำสุด ส่วนพืดอน 6 ไม่มีปริมาณความต้องการปูน เนื่องจากดินมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 7.0-7.9)

ปริมาณความต้องการปูนจะขึ้นอยู่กับพีเอชของดิน อะลูมินัมที่สกัดได้ ซัลเฟตไอออนในดิน ความหนาของชั้นดิน และความหนาแน่นรวม (McLean, 1982; Sims, 1996) ดังจะเห็นได้จากชั้น Bg ของพืดอน 3 ซึ่งมีค่าพีเอชของดินที่วัดโดยน้ำ เท่ากับ 3.5 มีปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้เท่ากับ 14.59 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และความหนาของชั้นดินเท่ากับ 35 เซนติเมตร มีความต้องการปูนเพื่อยกระดับพีเอชของดินให้เป็น 7.0 มากกว่า ชั้น Bjg ของพืดอนเดียวกันที่มีค่าพีเอชของดินที่วัดโดยน้ำ เท่ากับ 3.1 มีปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้เท่ากับ 12.79 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และความหนาของชั้นดินเท่ากับ 30 เซนติเมตร

การปรับปรุงดินโดยการใส่ปูน นอกจากจะทำให้ความเป็นกรดของดินลดลงแล้ว ยังช่วยให้อะลูมินัม เหล็ก และแมงกานีสในสารละลายดินลดปริมาณลงด้วย ส่งผลให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการลดลงของอะลูมินัมและเหล็กในสารละลายดิน ทำให้ปัญหาการตรึงฟอสฟอรัสลดลง และพืชสามารถใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พืชสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีขึ้น (Sanchez, 1976; McLean, 1982; Sims, 1996; Brady and Weil, 2008) อย่างไรก็ตาม การลดความเป็นกรดของดินโดยการใส่ปูนควรทำร่วมกับการจัดการปุ๋ย เนื่องจากจะทำให้พืชได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตมากขึ้น

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวม

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินทั้ง 6 พืดอน วิเคราะห์โดยวิธี aqua regia digestion method (Smith and Arsenault, 1996; Wilson *et al.*, 1997; Quevauviller, 1998; Chen and Ma, 2001) ประกอบด้วย ซิลิคอน (Si) อะลูมินัม (Al) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) กำมะถัน (S) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) แสดงผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีรวมของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Horizon	Depth (cm)	Si (----- g kg ⁻¹ -----)	Al	Ca	Mg	K (----- g kg ⁻¹ -----)	Na	Fe	Mn	S (----- mg kg ⁻¹ -----)	Cu	Zn
Pedon 1 Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic												
Apg	0-20	1.08	28.9	1.21	1.28	1.46	0.23	23.2	0.78	0.6	3	25
Bg1	20-50	1.49	34.8	2.21	1.81	1.80	0.24	31.9	0.61	0.7	4	31
Bg2	50-75	1.11	37.2	1.87	1.83	1.98	0.27	16.4	0.61	1.2	12	30
Oag	75-100	0.69	26.6	1.97	0.77	0.95	0.26	1.5	0.41	26.5	9	42
Oeg	100-125	1.91	29.7	2.55	0.83	1.13	0.30	9.6	0.63	52.1	15	47
2Cg	125-150+	0.55	18.5	2.48	1.26	0.89	0.29	0.3	1.12	51.4	5	57
Pedon 2 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic												
Apg	0-15/30	1.43	19.3	0.84	1.10	0.78	0.23	19.3	1.48	3.1	4	17
Bjg1	30-60	1.55	18.4	0.99	1.49	1.16	0.28	27.6	1.73	2.3	5	18
Bjg2	60-75	2.59	19.3	1.05	1.65	1.31	0.27	8.5	1.86	2.2	10	15
Bjg3	75-105	1.06	17.0	0.85	1.52	1.26	0.22	15.0	1.55	2.3	6	13
Bjg4	105-130	0.86	10.8	0.62	1.10	0.99	0.22	8.0	1.10	1.1	3	10
Bjg5	130-155	1.44	12.2	0.69	1.36	1.04	0.23	6.7	1.43	1.9	6	13
Cg	155-170+	1.23	12.0	0.85	1.45	1.07	0.23	12.0	2.01	13.6	5	16
Pedon 3 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic												
Ag	0-15/30	0.98	26.2	1.06	1.45	0.85	0.33	7.4	3.45	15.1	6	16
Bg	30-50	0.98	16.9	0.99	1.77	1.14	0.25	26.5	2.73	8.6	5	16
Bjg	50-80	1.04	14.8	0.85	1.66	1.51	0.37	35.2	2.42	14.2	4	17
BCg	80-110	0.56	18.3	1.25	2.16	1.47	0.32	25.6	4.65	21.7	6	23
Cg1	110-130	0.76	17.2	1.70	2.70	1.48	0.33	20.8	5.94	30.6	5	47
Cg2	130-150+	0.83	25.9	2.16	2.92	1.56	0.39	26.3	11.81	22.1	6	35
Pedon 4 Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic												
Apg	0-15/20	1.76	19.6	0.71	0.69	0.71	0.17	7.5	0.35	3.2	10	24
Bjg1	20-50	1.21	18.2	0.77	1.05	0.97	0.16	45.4	0.41	3.4	7	19
Bjg2	50-70	0.76	18.8	0.87	1.37	1.30	0.19	14.8	0.53	3.7	8	21
Bjg3	70-110	0.98	25.3	1.21	1.93	1.92	0.23	17.0	0.82	6.1	7	27
BCg	110-130+	0.44	25.3	1.49	2.21	2.21	0.29	37.2	2.46	40.5	8	34

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	Si (----- g kg ⁻¹ -----)	Al	Ca	Mg	K g kg ⁻¹	Na	Fe	Mn	S	Cu (----- mg kg ⁻¹ -----)	Zn
Pedon 5 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic												
Apg	0-20	1.53	23.7	1.36	2.09	0.90	0.42	22.1	0.80	8.9	6	31
Bg1	20-45	0.89	38.5	1.56	3.05	1.39	0.67	42.0	1.30	3.4	4	35
Bg2	45-70	0.90	30.8	1.73	5.05	1.97	0.78	34.3	8.29	0.5	4	47
Bg3	70-98	0.88	30.9	3.52	6.08	1.97	0.78	33.9	33.8	1.3	5	44
Bg4	98-125	0.58	29.0	6.86	7.64	2.58	1.02	28.3	28.4	0.8	7	52
Bg5	125-153	0.46	32.7	8.17	4.02	2.44	0.96	31.9	17.6	1.3	7	46
Bg6	153-185+	0.43	23.7	8.95	6.72	2.74	1.14	22.1	13.7	1.4	8	51
Pedon 6 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic												
Apg	0-20/23	2.14	22.6	3.46	1.33	1.09	0.51	8.9	0.53	1.4	1	12
Bg1	23-40	0.71	23.3	2.95	1.77	1.39	0.76	28.3	0.59	1.9	1	17
Bg2	40-65	0.51	25.3	3.31	2.03	1.97	0.93	38.1	0.88	3.4	2	23
Bg3	65-100	1.23	25.8	3.15	2.69	1.97	1.29	43.4	1.82	2.0	5	35
Bg4	100-125	1.62	24.2	3.32	2.45	2.58	1.09	23.8	1.20	1.0	6	28
Bg5	125-150	0.98	21.8	2.80	2.49	2.44	1.16	27.7	1.86	1.1	8	31
BCg	150-170+	1.72	14.1	2.25	1.89	2.74	0.93	11.6	0.72	0.9	10	19

ซิลิคอน ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.98-2.14 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.43-2.59 กรัมต่อกิโลกรัม

อะลูมินัม ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 19.3-28.9 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 10.8-38.5 กรัมต่อกิโลกรัม

แคลเซียม ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.71-3.46 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.62-8.95 กรัมต่อกิโลกรัม

แมกนีเซียม ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.51-0.69 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.77-1.29 กรัมต่อกิโลกรัม

โพแทสเซียม ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.71-1.46 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.89-2.74 กรัมต่อกิโลกรัม

โซเดียม ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.17-0.51 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.16-1.29 กรัมต่อกิโลกรัม

เหล็ก ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 7.4-23.2 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.3-45.4 กรัมต่อกิโลกรัม

แมงกานีส ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.35-3.45 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.41-33.76 กรัมต่อกิโลกรัม

กำมะถัน ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.6-15.1 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 0.5-52.1 กรัมต่อกิโลกรัม

ทองแดง ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 1-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 1-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สังกะสี ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในพิสัย 12-31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในพิสัย 10-57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ทางเคมีรวมของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอนพบว่า มีซิลิคอนและอะลูมินัมเป็นองค์ประกอบสูงในหน้าตัดดิน เนื่องจากธาตุทั้งสองเป็นองค์ประกอบสำคัญของแร่กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกต (Hamblin, 1994; Zumberge, 2003) สำหรับซิลิคอนจะมีความสัมพันธ์กับการแจกกระจายของอนุภาคนาขนาดทรายและทรายแป้ง เนื่องจากซิลิคอนเป็นธาตุองค์ประกอบหลักของแร่ปฐมภูมิหลายชนิด โดยเฉพาะแร่ควอตซ์ ซึ่งเป็นแร่ที่พบบ่อยที่สุดในหน้าตัดดินที่ทำการศึกษา ส่วนปริมาณอะลูมินัมในดินจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณดินเหนียวในดิน เนื่องจากอะลูมินัมเป็นองค์ประกอบสำคัญของแร่กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกต ซึ่งสอดคล้องกับการแจกกระจายของอนุภาคดิน และลักษณะจุลสัณฐานวิทยาของดินที่มีปริมาณดินเหนียวมาก

ธาตุที่มีปริมาณรองลงมา คือ เหล็ก กำมะถัน แมงกานีส แมกนีเซียม และแคลเซียมในปริมาณลดลงมา ตามลำดับ ส่วนธาตุอื่น ๆ มีในปริมาณน้อย การพบเหล็ก กำมะถัน และแมงกานีสในดินที่ทำการศึกษา เนื่องจากวัตถุดิบกำเนิดของดินมีวัสดุซัลไฟด์และสารประกอบไพไรต์ในปริมาณสูง (Dent and Pons, 1995; Fanning, 2006; Kawahigashi *et al.*, 2012) รวมถึงเหล็กที่เป็นองค์ประกอบของจุลประติแสง และสินแร่ตาลปนเหลือง หรือเหล็กที่มีความสัมพันธ์กับวัตถุดิบกำเนิดดิน (ประมวลพงษ์, 2527; Gong-Zi-tong, 1986; Zhao Qi-guo and Shi Hua, 1986) โดยระบบธรรมชาติของดินเปรี้ยวที่มีปริมาณเหล็กอยู่ในปริมาณมากเพียงพอต่อการเกิดไพไรต์ เหล็กออกไซด์อิสระในดินมักจะอยู่เป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ (discrete particle) หรือในสภาพเคลือบผิวอนุภาคดิน หรือร่วมกับแร่ดินเหนียวซึ่งสะสมอยู่ในดินล่าง ปริมาณเหล็กจึงเพิ่มขึ้นมากกว่าดินบน การเปลี่ยนแปลงของเหล็กในหน้าตัดดินจึงมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับการแจกกระจายอนุภาคขนาดดินเหนียว (Sanchez, 1976; Young, 1976; Zonn, 1986) ส่วนปริมาณแมงกานีสพบอยู่ในปริมาณน้อยกว่า เนื่องจากแมงกานีสพบอยู่ในเปลือกโลกน้อยมาก (Schulte and Kelling, 1999; Krauskopf, 2000) การเคลื่อนย้ายของแมงกานีสในหน้าตัดดินที่ทำให้แมงกานีสตกตะกอน และเคลื่อนที่ลงไปอยู่ในระดับลึกกว่าเหล็ก เรียกว่าการเกิดลักษณะของ Aquorizem ในหน้าตัดดิน เนื่องจากแมงกานีสจะตกตะกอนในสภาพที่ศักย์รีดอกซ์มีค่าสูง และศักย์รีดอกซ์มาตรฐานของระบบ manganic-manganous มีค่าสูงกว่า แมงกานีสจะลงไปยังดินล่าง และตกตะกอนในสภาพที่ศักย์รีดอกซ์มีค่าสูง ทำให้แมงกานีสตกตะกอนได้ และการเกิดแมงกานีสมักจะเกิดในสภาพออกซิไดซ์และรีดิวซ์ที่รุนแรง (Moormann and van Breemen, 1978)

ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมมีค่าสอดคล้องกับปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ โดยพีดอน 5 และ 6 ปริมาณแคลเซียมรวมมีค่าสูง เป็นผลจากวัตถุดิบกำเนิดสลายตัวให้คาร์บอเนต ซึ่งมีแคลไซต์เป็นองค์ประกอบหลัก (Fujita *et al.*, 2008; Fukue *et al.*, 2010) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมรวมมีค่าสูง โพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบของแร่เฟลด์สปาร์ และแร่ไมกา (อัญชลี, 2534; 2553; McLean and Watson, 1985; Thompson and Ukrainczyk, 2002) ส่วนปริมาณแมกนีเซียมและโซเดียม จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณที่สกัดได้ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง แสดงถึงพัฒนาการของดินค่อนข้างต่ำ กระบวนการชะละลายซึ่งจะทำให้สูญเสียแคลไออนสภาพเบสออกไปจากหน้าตัดดินมีน้อย และวัตถุดิบกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำกร่อยและน้ำทะเล ทำให้มีการสะสมแคลไออนสภาพเบสอยู่ในหน้าตัดดิน (Sadio and van Mensvoort, 1993; Bloom, 2000; Buol *et al.*, 2011) นอกจากนี้ลักษณะของดินทุกบริเวณเกิดในที่ลุ่มต่ำ จึงเป็นส่วนรับตะกอนหรือสารละลายที่เคลื่อนย้ายมาทำให้มีการสะสมแคลไออนสภาพเบสในปริมาณสูง (Schulte and Kelling, 1999; 2004)

5. สมบัติทางแร่วิทยาของดิน

ผลการศึกษานี้และปริมาณองค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว และอนุภาคขนาดทรายแป้งของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับชนิดของแร่มาตรฐาน (Jackson, 1965a; Whittig, 1965; Brindley and Brown, 1980; Whitting and Allardice, 1986; Pawel *et al.*, 2007) แสดงในตารางที่ 7 และภาพผนวกที่ ค1-ค12

5.1 องค์ประกอบเชิงแร่ในอนุภาคขนาดดินเหนียว

พืดอน 1 แร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคโอลิไนต์ โดยมีการแจกกระจายในปริมาณสูงมากตลอดหน้าตัดดิน (>60%) ส่วนแร่โอลิไต์และแร่ควอตซ์พบปริมาณเล็กน้อย ตลอดหน้าตัดดิน

พืดอน 2 แร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคโอลิไนต์ โดยมีการแจกกระจายในปริมาณสูงมากตลอดหน้าตัดดิน (>60%) และแร่ควอตซ์พบปริมาณน้อย และแร่โอลิไต์พบปริมาณเล็กน้อย ตลอดหน้าตัดดิน

พืดอน 3 แร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคโอลิไนต์ โดยมีการแจกกระจายในปริมาณสูงมากตลอดหน้าตัดดิน (>60%) และแร่ควอตซ์พบปริมาณน้อย ตลอดหน้าตัดดิน ยกเว้นที่ระดับความลึก 80-110 เซนติเมตร (ชั้น BCg) พบปริมาณเล็กน้อย และแร่โอลิไต์พบปริมาณเล็กน้อย ตลอดหน้าตัดดิน

พืดอน 4 แร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคโอลิไนต์ โดยมีการแจกกระจายในปริมาณสูงมากตลอดหน้าตัดดิน (>60%) และแร่ควอตซ์พบปริมาณน้อย ตลอดหน้าตัด ยกเว้นที่ระดับความลึก 110-130+ เซนติเมตร (ชั้น BCg) พบปริมาณเล็กน้อย และแร่โอลิไต์พบปริมาณเล็กน้อย ตลอดหน้าตัดดิน และแร่ดินเหนียวชนิด 1.4 นาโนเมตร ที่ระดับความลึก 50-70 เซนติเมตร (ชั้น B_{jg2}) พบปริมาณเล็กน้อย และพบแร่กิบบ์ไซต์ที่ระดับความลึก 0-15/20-50 เซนติเมตร (ชั้น A_{pg} และ B_{jg1}) ปริมาณเล็กน้อย

ตารางที่ 7 องค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว และกลุ่มอนุภาคทรายแป้งของ
ดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษ

Depth (cm)	Horizon	Clay fraction					Silt fraction				
		Kao	Ill	1.4 nm clay mineral	Qtz	Gib	Qtz	Fel	Gib	0.7 nm clay mineral	1.0 nm clay mineral
Pedon 1 Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic											
0-20	Apg	xxxx	tr	-	tr	-	xxx	-	-	tr	-
20-50	Bg1	xxxx	tr	-	tr	-	xxx	-	-	tr	-
50-75	Bg2	xxxx	tr	-	tr	-	xxx	-	-	tr	-
75-100	Oag	xxxx	tr	-	tr	-	xx	-	tr	tr	-
100-125	Oeg	xxxx	tr	-	tr	-	xx	-	tr	tr	-
125-150+	2Cg	xxxx	tr	-	tr	-	xx	-	tr	tr	-
Pedon 2 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic											
0-15/30	Apg	xxxx	tr	-	x	-	xxx	-	-	-	-
30-60	Bjg1	xxxx	tr	-	x	-	xxxx	-	-	-	-
60-75	Bjg2	xxxx	tr	-	x	-	xxx	-	-	tr	-
75-105	Bjg3	xxxx	tr	-	x	-	xxxx	tr	-	tr	-
105-130	Bjg4	xxxx	tr	-	x	-	xxxx	tr	-	tr	-
130-155	Bjg5	xxxx	tr	-	x	-	xxxx	-	-	-	-
155-170+	Cg	xxxx	tr	-	x	-	xxxx	-	-	-	-
Pedon 3 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic											
0-15/30	Ag	xxxx	tr	-	x	-	xxx	-	-	tr	-
30-50	Bg	xxxx	tr	-	x	-	xxxx	tr	-	-	-
50-80	Bjg	xxxx	tr	-	x	-	xxxx	-	-	-	-
80-110	BCg	xxxx	tr	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
110-130	Cg1	xxxx	tr	-	x	-	xxxx	-	-	-	-
130-150+	Cg2	xxxx	tr	-	x	-	xxxx	-	-	-	-
Pedon 4 Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic											
0-15/20	Apg	xxxx	tr	-	x	tr	xxx	-	-	-	-
20-50	Bjg1	xxxx	tr	-	x	tr	xxxx	-	-	-	-
50-70	Bjg2	xxxx	tr	tr	x	-	xxxx	tr	-	-	-
70-110	Bjg3	xxxx	tr	-	x	-	xxxx	-	-	-	-
110-130+	BCg	xxxx	tr	-	tr	-	xxxx	-	-	-	-
Pedon 5 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic											
0-20	Apg	xxxx	tr	-	tr	tr	xxx	x	-	-	-
20-45	Bg1	xxxx	tr	-	tr	tr	xxx	x	-	-	-
45-70	Bg2	xxxx	tr	tr	tr	tr	xxx	tr	-	tr	-
70-98	Bg3	xxxx	tr	-	tr	-	xxx	tr	-	tr	-
98-125	Bg4	xxxx	tr	-	tr	-	xxx	tr	-	-	-
125-153	Bg5	xxxx	tr	-	x	-	xxx	-	-	-	-
153-185+	Bg6	xxxx	tr	-	x	-	xxx	-	-	tr	tr
Pedon 6 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic											
0-20/23	Apg	xxxx	tr	-	x	tr	xxxx	-	-	-	-
23-40	Bg1	xxxx	tr	-	x	tr	xxxx	-	-	-	-
40-65	Bg2	xxxx	tr	-	x	tr	xxxx	tr	-	-	-
65-100	Bg3	xxxx	tr	-	tr	tr	xxxx	tr	-	-	-
100-125	Bg4	xxxx	tr	-	tr	-	xxxx	x	-	-	-
125-150	Bg5	xxxx	tr	-	tr	-	xxxx	tr	-	-	-
150-170+	BCg	xxxx	tr	-	tr	-	xxx	tr	-	-	-

หมายเหตุ xxxx = Dominant (>60%) xxx = Large (40-60%) xx = Moderate (20-40%)

x = Small (5-10%)

tr = Trace (<5%)

- = Not detected

Kao = Kaolinite

Ill = Illite

Qtz = Quartz

Fel = Feldspar

Gib = Gibbsite

พืดอน 5 เร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคลโอไลต์ โดยมีการแจกกระจายในปริมาณสูงมากตลอดหน้าตัดดิน (>60%) ส่วนแร่ควอตซ์และแร่โอลด์ พบปริมาณเล็กน้อยตลอดหน้าตัดดิน ยกเว้นที่ระดับความลึก 125-185+ เซนติเมตร (ชั้น Bg5 และ Bg6) พบปริมาณน้อย และแร่ดินเหนียวชนิด 1.4 นาโนเมตร ที่ระดับความลึก 45-70 เซนติเมตร (ชั้น Bg2) พบปริมาณเล็กน้อย และพบแร่กิปไซต์ที่ระดับความลึก 0-70 เซนติเมตร (ชั้น Apg-Bg2) ปริมาณเล็กน้อย

พืดอน 6 เร่องค์ประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ แร่เคลโอไลต์ โดยพบในปริมาณสูงมากตลอดหน้าตัดดิน (>60%) ส่วนแร่ควอตซ์และแร่โอลด์ พบปริมาณเล็กน้อยตลอดหน้าตัดดิน ยกเว้นที่ระดับความลึก 0-65 เซนติเมตร (ชั้น Apg-Bg2) พบปริมาณน้อย และพบแร่กิปไซต์ที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร (ชั้น Apg-Bg3) ปริมาณเล็กน้อย

สมบัติทางแร่วิทยาในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน พบแร่หลักส่วนใหญ่ คือ แร่เคลโอไลต์ บางบริเวณพบแร่ดินเหนียวชนิดอื่น ๆ ร่วมอยู่ด้วย เช่น แร่โอลด์ แร่กิปไซต์ และแร่ควอตซ์ โดยพบแร่ควอตซ์ปริมาณเล็กน้อยถึงน้อยในทุกพืดอน แร่โอลด์ปริมาณเล็กน้อยในทุกพืดอน ส่วนแร่กิปไซต์พบปริมาณเล็กน้อยในพืดอน 4, 5 และ 6 ถ้าพิจารณาลำดับการเปลี่ยนแปลงจากแร่ปฐมภูมิ คือ จากแร่เฟลด์สปาร์ มัสโคไวต์ หรือไบโอไทต์ ไปเป็นโอลด์ คลอไรต์ เวอร์มิคิวไลต์ สเมกไทต์ หรือเคลโอไลต์ ซึ่งแล้วแต่ความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม (Birkeland, 1974; Buol *et al.*, 2011) การที่พบแร่เคลโอไลต์เป็นแร่หลักในดินที่ทำการศึกษา เนื่องจากพีเอชของดินเป็นกรดรุนแรงมาก ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนที่ผิวอนุภาคเพิ่มสูงขึ้น ทำให้อะลูมิเนียมละลายออกมาจนมีปริมาณใกล้เคียงกับซิลิกา ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเกิดแร่เคลโอไลต์ในดิน (อัญชลี, 2534; 2553; เอิบ; 2548; Goldish, 1938; Gilkes and Suddhiprakarn, 1979; Brady and Weil, 2008; Buol *et al.*, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชของดิน ที่ทำการศึกษา และอนุภาคดินเหนียวจากวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำกร่อยที่มีค่าพีเอชของดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด จะทำให้แร่สเมกไทต์ที่พบในช่วงแรกไม่ค่อยเสถียร จึงเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นแร่เคลโอไลต์ (Fitzpatrick *et al.*, 1998; Buol *et al.*, 2011) การพบแร่โอลด์ในอนุภาคขนาดดินเหนียว ซึ่งปกติมักจะพบในตะกอนน้ำค่อนข้างมาก เมื่อมีการทับถมของตะกอนน้ำ เป็นผลมาจากตะกอนอนุภาคขนาดดินเหนียวช่วงแรกที่มีแร่โอลด์เป็นองค์ประกอบ ส่วนแร่ควอตซ์ที่พบในอนุภาคขนาดดินเหนียว อาจเกิดจากการละลายของซิลิกาหรือลักษณะที่เป็นคอลลอยด์ของสารเชื่อมซิลิกาทุติยภูมิ หรือตะกอนทุติยภูมิ (Jackson, 1965a; Lancelo, 1973)

จากผลการศึกษาที่พบแร่โอไลต์ แร่ควอตซ์ และแร่โอลด์ เป็นองค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว มีปริมาณมากกว่าแร่ดินเหนียวชนิดอื่น ๆ ตลอดหน้าตัดดินของดินที่ทำการศึกษา แสดงถึงพัฒนาการของดินค่อนข้างต่ำ (Sanchez, 1976; Buol *et al.*, 1989) เนื่องจากแร่ควอตซ์ในอนุภาคขนาดดินเหนียว มีความทนทานต่อการผุพังสลายตัวค่อนข้างต่ำ (Jackson, 1965a; Oilier, 1969; Pope, 1995)

5.2 องค์ประกอบเชิงแร่ในอนุภาคขนาดทรายแป้ง

ผลการศึกษาด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่าองค์ประกอบเชิงแร่ในอนุภาคขนาดทรายแป้งของทุกหน้าตัดดินมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ เป็นแร่ควอตซ์ ซึ่งมีปริมาณสูงมาก นอกจากนี้แร่อื่น ๆ ที่พบ ได้แก่ แร่เฟลด์สปาร์ในปริมาณเล็กน้อยถึงน้อยทุกพีดอน และพบแร่ดินเหนียว 0.7 นาโนเมตร ปริมาณเล็กน้อยในบางพีดอน ในพีดอน 1 พบแร่กิบbsite ปริมาณเล็กน้อย และในพีดอน 5 พบแร่ดินเหนียว 1.0 นาโนเมตร ปริมาณเล็กน้อย

การที่พบแร่ควอตซ์เป็นแร่หลักประกอบหลักในกลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้ง เนื่องจากแร่ควอตซ์เป็นแร่ที่ทนทานต่อการสลายตัวมากกว่าแร่ชนิดอื่น โดยแร่ชนิดอื่นมีการสลายตัวเล็กน้อยเป็นแร่ในอนุภาคขนาดดินเหนียว หรือเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ดินเหนียวชนิดใหม่ขึ้นมา (Brikeland, 1974; Trakoonyingcharoen *et al.*, 2006; Brady and Weil, 2008; Buol *et al.*, 2011) แต่ควอตซ์จะมีความคงทนต่อการสลายตัวทั้งทางกายภาพและทางเคมี จึงทำให้พบในอนุภาคขนาดทรายแป้งได้ (อัญชลี, 2534; 2553; Calvert *et al.*, 1980) เนื่องจากแร่ควอตซ์มีการจัดเรียงอะตอมในโครงสร้างเป็นแบบผลึกโควาเลนต์ (covalent crystal) ซึ่งเป็นแรงดูดยึดที่แข็งแรงมากที่สุดในบรรดาพันธะเคมีด้วยกัน ส่งผลให้แร่ควอตซ์ทนทานต่อการผุพังสลายตัว (ไพบูลย์, 2546) อย่างไรก็ตาม แร่ควอตซ์ทนทานต่อการสลายตัวมากที่สุด หากมีอนุภาคขนาดทราย เมื่อมีอนุภาคขนาดทรายแป้ง แร่ควอตซ์จะมีขนาดเล็กลงอย่างช้า ๆ แต่จะผุพังสลายตัวได้ง่ายขึ้น เมื่อมีอนุภาคเล็กลงขนาดดินเหนียว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบแร่ควอตซ์ในอนุภาคดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแป้งด้วย (Jackson, 1965a; Oilier, 1969; Pope, 1995) การพบเฟลด์สปาร์ในอนุภาคขนาดทรายแป้งแสดงว่าดินที่ทำการศึกษาดินที่มีพัฒนาการต่ำ เนื่องจากยังพบแร่ปฐมภูมิที่สลายตัวได้ง่าย สำหรับการพบกิบbsite แสดงให้เห็นว่าภายในดินมีธาตุอะลูมิเนียม มีโอกาสที่จะเกิดการสร้างตัวของแร่ดินเหนียวชนิดที่มีอะลูมิเนียมสูงได้ (Mason and Moore, 1982; Klein and Hurlbut, 1999)

การพบแร่เฟลด์สปาร์ และแร่ดินเหนียวชนิด 0.7 นาโนเมตร หลงเหลืออยู่ในดินปริมาณเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าแร่ปฐมภูมิ เช่น แร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งมาจากวัตถุดิบกำเนิดดินได้สลายตัวและเปลี่ยนไปเป็นแร่ดินเหนียวชนิดใหม่เกิดขึ้น แม้จะพบในปริมาณเล็กน้อย แต่สามารถบอกได้ว่ากระบวนการทางดินกำลังดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง (Loughman, 1969; Parker, 1970)

6. ผลการจำแนกดินเปรี้ยว

จากผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา จุลสัณฐานวิทยา แร่วิทยา สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน สามารถจำแนกดินตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Survey Staff, 2010) สรุปได้ดังตารางที่ 8 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 การจำแนกชั้นสูง

การจำแนกในชั้นอันดับ (order) พบว่า ดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน จำแนกอยู่ในอันดับอินเซปติซอลส์ (Inceptisols) เป็นชั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี เป็นดินที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในด้านสีดินและโครงสร้างดิน ทำให้ชั้นดินมีสีสดกว่าและมีโครงสร้างดินมากกว่าโครงสร้างหิน สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนกว่าชั้นข้างเคียง หรือมีจุดประเกิดขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะของการเป็นชั้นดินวินิจัยแคมบิก (cambic horizon) ภายใน 100 เซนติเมตรจากผิวดินแร่ หรือพบชั้นดินวินิจัยซัลฟิวริก (sulfuric horizon) ภายในความลึก 150 เซนติเมตรจากผิวดินแร่

การจำแนกในชั้นอันดับย่อย (suborder) พบว่า ดินที่ทำการศึกษาทั้ง 6 พืดอน มีระบอบความชื้นแบบแอควิก (aquic) คือ สภาพความชื้นที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำเป็นระยะเวลานานในรอบปี เกิดสภาพรีดักชันของสารประกอบเหล็กและแมงกานีส จนทำให้เกิดดินสีเทาหรือเทาอ่อนเป็นสีพื้น และมีจุดประสีต่าง ๆ เกิดขึ้นในชั้นดิน พบบริเวณที่ราบต่ำ และมีระดับน้ำใต้ดินตื้นหรืออยู่ที่ผิวดินเป็นส่วนใหญ่ในรอบปี หรือพบระดับน้ำใต้ดินภายในความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวดินแร่ ในบางช่วงเวลาของปี

การจำแนกชั้นกลุ่มดินใหญ่ (great group) พบว่า พืดอน 1, 5 และ 6 ไม่แสดงลักษณะอื่นใดที่แตกต่างไปจากอันดับย่อย จึงจัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Endoaquept ส่วนพืดอน 2, 3 และ 4 มีชั้นดินล่างวินิจัยซัลฟิวริก ซึ่งเป็นชั้นดินล่างที่เป็นดินกรดกำมะถัน หรือเป็นดินเปรี้ยว ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดินแร่ จึงจัดอยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Sulfaquept

ตารางที่ 8 ผลการจำแนกดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Site	Orders	Suborders	Great groups	Subgroups	Family
Pedon 1	Inceptisols	Aquic	Endoaquept	Sulfic Endoaquept	very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic
Pedon 2	Inceptisols	Aquic	Sulfaquept	Typic Sulfaquept	fine, kaolinitic, isohyperthermic
Pedon 3	Inceptisols	Aquic	Sulfaquept	Typic Sulfaquept	fine, kaolinitic, isohyperthermic
Pedon 4	Inceptisols	Aquic	Sulfaquept	Typic Sulfaquept	very fine, kaolinitic, isohyperthermic
Pedon 5	Inceptisols	Aquic	Endoaquept	Typic Endoaquept	fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic
Pedon 6	Inceptisols	Aquic	Endoaquept	Typic Endoaquept	fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic

การจำแนกในชั้นกลุ่มดินย่อย (subgroup) พบว่า ทุกพีดอนไม่แสดงลักษณะอื่นใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มดินใหญ่ จึงจัดจำแนกเป็น “Typic” ยกเว้น พีดอน 1 มีวัสดุซัลไฟด์ (Sulfidic materials) ซึ่งเป็นวัสดุดินที่มีศักยภาพก่อให้เกิดเป็นดินกรดกำมะถัน หรือเป็นดินเปรี้ยว จึงจัดจำแนกเป็น “Sulfic”

6.2 การจำแนกชั้นต่ำ

การจำแนกชั้นเนื้อดิน พบว่า พีดอน 1 และ 4 อยู่ในชั้นเนื้อดิน “very-fine” เนื่องจากดินมีเนื้อละเอียด และมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวสูงกว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก พีดอน 1, 2, 3, 5 และ 6 อยู่ในชั้นเนื้อดิน “fine” ดินมีเนื้อละเอียด และมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนือน้อยกว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก

การจำแนกชั้นแร่วิทยา จำแนกได้เป็น “kaolinitic” โดยพบว่าทุกพีดอนในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว พบแร่เคโอลินไนต์ในปริมาณมาก จึงจัดเป็นชั้นแร่วิทยา “kaolinitic”

การจำแนกชั้นปฏิกิริยาดิน พบว่า พีคอน 1 จัดอยู่ในชั้นปฏิกิริยาดิน “acid” เนื่องจากดินมีพีเอชต่ำกว่า 5.5 วัดโดยใช้ดินต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1:1 ตลอดทั้งช่วงควบคุม พีคอน 5 และ 6 จัดอยู่ในชั้นปฏิกิริยาดิน “nonacid” เนื่องจากดินมีพีเอชอย่างน้อย 5.5 วัดโดยใช้ดินต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1:1 ตลอดทั้งช่วงควบคุม ส่วนพีคอน 2, 3 และ 4 ชั้นปฏิกิริยาดิน ไม่ใช้กับกลุ่มดินใหญ่ Sulfaquept

การจำแนกชั้นอุณหภูมิดิน พบว่า ทุกพีคอนจัดอยู่ในชั้นอุณหภูมิดิน Isohyperthermic เนื่องจากมีอุณหภูมิดินเฉลี่ยตลอดปีมากกว่าหรือเท่ากับ 22 องศาเซลเซียส และมีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อนและฤดูหนาว แตกต่างกันไม่เกิน 6 องศาเซลเซียส

6.3 ชั้นอนุกรมวิธานดิน

ดินที่ทำการศึกษามีสามารถจำแนกระดับชุดดิน (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2550) ได้ดังนี้

- | | |
|---------|---|
| พีคอน 1 | Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic
จำแนกเป็นชุดดินระเงะ |
| พีคอน 2 | Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic
จำแนกเป็นชุดดินมูโน๊ะ |
| พีคอน 3 | Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic
จำแนกเป็นชุดดินมูโน๊ะ |
| พีคอน 4 | Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic
จำแนกเป็นชุดดินมูโน๊ะ |
| พีคอน 5 | Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic
จำแนกเป็นดินคล้ายชุดดินระเงะที่ไม่เป็นดินเปรี้ยว |
| พีคอน 6 | Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic
จำแนกเป็นดินคล้ายชุดดินมูโน๊ะที่ไม่เป็นดินเปรี้ยว |

7. การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินเปรี้ยว

ผลการศึกษาของดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน ทั้งหมด 6 พืดอน นำมาสู่การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยใช้หลักเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งใช้ผลการวิเคราะห์ดินทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (กองสำรวจดิน, 2523; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) ทั้งนี้ได้แสดงวิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้ในตารางผนวกที่ ค10 พบว่า ดินส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ยกเว้น ในชั้นดินล่างของพืดอน 3 และในชั้นดินบนของพืดอน 6 ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 9

8. การประเมินสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์และแนวทางการใช้ดินเปรี้ยว

จากผลการศึกษาของดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน ทั้งหมด 6 พืดอน นำมาสู่การประเมินสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดังแสดงในตารางที่ 10 เพื่อนำไปสู่แนวทางในการจัดการดิน ดังนี้

พืดอน 1 จำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เป็น Cag มีลักษณะทั่วไป คือ ดินบน และดินล่างเป็นดินเหนียว (C) มีข้อจำกัดทางการเกษตร คือ ดินมีความเป็นกรดรุนแรง อาจเกิดความเป็นพิษของอะลูมิเนียม (a) และมีน้ำขังในช่วงหนึ่งของปี (g)

พืดอน 2 และ 4 จำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เป็น Cagk มีลักษณะทั่วไป คือ ดินบนและดินล่างเป็นดินเหนียว (C) มีข้อจำกัดทางการเกษตร คือ ดินมีความเป็นกรดรุนแรง อาจเกิดความเป็นพิษของอะลูมิเนียม (a) มีน้ำขังในช่วงหนึ่งของปี (g) และมีโพแทสเซียมสำรองต่ำ ($\leq 0.2 \text{ cmol kg}^{-1}$) (k)

พืดอน 3 จำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เป็น Cacgk มีลักษณะทั่วไป คือ ดินบนและดินล่างเป็นดินเหนียว (C) มีข้อจำกัดทางการเกษตร คือ ดินมีความเป็นกรดรุนแรง อาจเกิดความเป็นพิษของอะลูมิเนียม (a) พีเอชของดินเมื่อดินแห้ง (วัดในน้ำ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.5 และพบจุลประของจาโรไซต์ ภายในระดับความลึก 60 เซนติเมตรจากผิวดิน (c) ดินมีน้ำขังในช่วงหนึ่งของปี (g) และมีโพแทสเซียมสำรองต่ำ ($\leq 0.2 \text{ cmol kg}^{-1}$) (k)

ตารางที่ 9 ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา ประเมินโดยใช้ผลการวิเคราะห์ดิน (กองสำรวจดิน, 2523)

Site	Depth (cm)	OM ^{1/} g kg ⁻¹	Avail.P ^{2/} (----- mg kg ⁻¹ -----)	Avail.K ^{3/}	CEC ^{4/} cmol kg ⁻¹	BS ^{5/} %	Total Score	Fertility level
Pedon 1	Topsoil ^{6/}	15.8 (2)	1.8 (1)	83.7 (2)	18.0 (2)	30.1 (1)	8	medium
	Subsoil ^{7/}	12.0 (1)	1.1 (1)	83.5 (2)	24.2 (3)	29.9 (1)	8	medium
Pedon 2	Topsoil	53.5 (3)	1.5 (1)	46.5 (1)	20.8 (3)	20.9 (1)	9	medium
	Subsoil	19.2 (2)	1.2 (1)	85.3 (2)	20.4 (3)	33.0 (1)	9	medium
Pedon 3	Topsoil	130.4 (3)	10.6 (2)	30.5 (1)	35.5 (3)	16.9 (1)	10	medium
	Subsoil	4.8 (1)	0.4 (1)	50.8 (1)	21.0 (3)	25.6 (1)	7	low
Pedon 4	Topsoil	116.7 (3)	4.7 (1)	32.7 (1)	22.0 (3)	7.9 (1)	9	medium
	Subsoil	38.1 (3)	0.8 (1)	92.0 (3)	28.4 (3)	13.9 (1)	11	medium
Pedon 5	Topsoil	28.1 (2)	1.5 (1)	64.2 (2)	24.5 (3)	56.9 (1)	9	medium
	Subsoil	2.6 (1)	1.4 (1)	68.0 (2)	24.9 (3)	88.3 (1)	8	medium
Pedon 6	Topsoil	13.7 (1)	2.4 (1)	46.9 (1)	18.5 (2)	83.8 (1)	6	low
	Subsoil	1.4 (1)	2.2 (1)	60.8 (2)	41.6 (3)	88.4 (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 หรือดินมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง คะแนนรวมเท่ากับ 13 หรือมากกว่า ถือว่าน้อยกว่า ถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ คะแนนรวมอยู่ระหว่าง 8-12 ถือว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง

พีดอน 5 และ 6 จำแนกชั้นสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์เป็น Cgk มีลักษณะทั่วไป คือ ดินบน และดินล่างเป็นดินเหนียว (C) มีข้อจำกัดทางการเกษตร คือ ดินมีน้ำขังในช่วงหนึ่งของปี (g) และมีโพแทสเซียมสำรองต่ำ ($\leq 0.2 \text{ cmol kg}^{-1}$) (k)

จากผลการศึกษาดินทั้ง 6 บริเวณ ทุกบริเวณที่ทำการศึกษามีการใช้ที่ดินในการเกษตรกรรม พื้นที่ป่า และพื้นที่รกร้าง โดยพีดอน 1 และ 2 มีการใช้ที่ดินในการเกษตรกรรมและเป็นพื้นที่รกร้าง ส่วนพีดอน 3 เป็นพื้นที่ป่าเสื่อม และพีดอน 4, 5 และ 6 เป็นพื้นที่รกร้าง ซึ่งมีรูปแบบการทำการเกษตร ชนิดของป่า และชนิดพืชปลูกที่แตกต่างกันออกไป เมื่อพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 10 สมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Site	Horizon ^{1/} (cm)	Texture	2:1 expanding clay	pH 1:1 H ₂ O	K reserved cmol kg ⁻¹	Al sat. %	FCC ^{2/}
Pedon 1	Topsoil	Clayey	<50%	5.1	0.21	44.69	Cag
	Subsoil	Clayey	<50%	4.0	0.21	50.15	
Pedon 2	Topsoil	Clayey	<50%	3.9	0.12	56.95	Cagk
	Subsoil	Clayey	<50%	3.8	0.22	50.13	
Pedon 3	Topsoil	Clayey	<50%	3.6	0.08	61.02	Cacgk
	Subsoil	Clayey	<50%	3.3	0.13	51.02	
Pedon 4	Topsoil	Clayey	<50%	4.0	0.08	78.77	Cagk
	Subsoil	Clayey	<50%	3.5	0.24	70.16	
Pedon 5	Topsoil	Clayey	<50%	4.5	0.16	6.62	Cgk
	Subsoil	Clayey	<50%	6.4	0.17	0.02	
Pedon 6	Topsoil	Clayey	<50%	7.5	0.12	1.14	Cgk
	Subsoil	Clayey	<50%	7.1	0.16	0.69	

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

^{2/} C = clayey, a = pH <5.0 in 1:1 H₂O or Al saturation >60% of the ECEC, c = pH ≤3.5 in 1:1 H₂O and jarosite mottles, g = soil or mottles ≤ 2 chroma, k = K reserve ≤ 0.2 cmol kg⁻¹

และเคมีของดินนั้น จากการใช้ระบบสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เอิบ, 2548; Buol, 1987; Sanchez *et al.*, 2003) ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่า ดินที่ทำการศึกษานี้มีข้อจำกัดของดิน คือ ดินมีความเป็นพิษจากอะลูมิเนียม ดินมีการขังน้ำ มีธาตุโพแทสเซียมต่ำ และบางพื้นที่เป็นกรดรุนแรง และมีจาโรไซต์ หากพิจารณาถึงการใช้ทางการเกษตรนั้น พื้นที่ที่มีความสามารถรองรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ แต่ต้องมีการจัดการในเรื่องของธาตุอาหารพืช เนื่องจากดินเปรี้ยวมีกขาดธาตุอาหารพืชที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งแนวทางในการจัดการธาตุอาหารพืชนั้นควรมีการเพิ่มธาตุอาหารพืชลงไปดิน โดยการใส่ปุ๋ย ที่ให้ธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุให้กับดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุทำให้ดินร่วนซุย ช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชใช้ประโยชน์ได้ ช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน และมีความสามารถในการดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้มาก แหล่งที่มาของอินทรีย์วัตถุได้มาจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญ เช่น ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก โดยเฉพาะปุ๋ยพืชสดที่นิยมใช้ คือ พืชตระกูลถั่ว เนื่องจากสามารถเพิ่มธาตุไนโตรเจนให้แก่ดินได้มากกว่าพืช

อื่น ๆ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ให้สูงขึ้น (Mandal *et al.*, 2003; Sangakkara *et al.*, 2004; Javaid and Shan, 2008) และสามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ให้แก่ดิน (Astier *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2006)

สำหรับดินที่มีความเป็นพิษจากอะลูมิเนียม ควรปรับปรุงโดยการใส่วัสดุปูน เนื่องจากจะทำให้ความเป็นกรดของดินลดลงแล้ว ยังช่วยให้อะลูมิเนียมในสารละลายดินลดปริมาณลงด้วย ส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการลดลงของอะลูมิเนียมในสารละลายดิน ทำให้ปัญหาการตรึงฟอสฟอรัสลดลง และพืชสามารถดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พืชสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีขึ้น นอกจากนี้ควรมีการใส่อินทรีย์วัตถุในดิน เนื่องจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุทำให้เกิดกรดอินทรีย์ ซึ่งจะช่วยให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะลูมิเนียม ทำให้ลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียม และป้องกันการตรึงฟอสฟอรัสในดินโดยอะลูมิเนียมไอออน

เมื่อพิจารณาสภาพพื้นที่ ลักษณะเนื้อดิน และการระบายน้ำของดิน พบว่า มีความเหมาะสมในการทำนามากกว่าปลูกพืชอย่างอื่น เนื่องจากสภาพพื้นที่เป็นที่ราบ เนื้อดินเป็นดินเหนียว และการระบายน้ำแล้ว ซึ่งดินในสภาพดังกล่าวมีการใช้ทำนาอยู่แล้วเป็นส่วนใหญ่ การปลูกพืชอย่างอื่น เช่น พืชไร่ ไม้ผล ไม้ยืนต้น และพืชผักต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินหรือการพัฒนาที่ดิน เช่น ทำคันดินล้อมรอบพื้นที่เพื่อป้องกันน้ำท่วม ขุดร่องปลูกเพื่อเพิ่มการระบายน้ำ และการใส่ปูนเพื่อลดสภาพกรดจัดของดิน นอกจากนี้ การเลือกชนิดของพืชที่ปลูกให้เหมาะสมกับพื้นที่จะช่วยลดต้นทุนในการปรับปรุงดิน และลดความเสี่ยงต่อการไม่ได้รับผลผลิต ชนิดของพืชที่มีการนำมาใช้ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยว (โครงการศึกษาการพัฒนาพิภูลทอง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2536; นงคราญและคณะ, 2541; สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, 2548; กรมพัฒนาที่ดิน, 2552) มีดังนี้

ข้าว พันธุ์ข้าวที่มีความสามารถทนต่อสภาพดินเปรี้ยวได้ในระดับดี เช่น ข้าวพันธุ์ลูกแดงวงยาว สีรวง คอนทราย ลูกเหลือง ข้าวน้อย โดยมีผลผลิตประมาณ 20-40 ถังต่อไร่ แต่เกษตรกรต้องมีการเตรียมดิน และมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วย พันธุ์ข้าวที่สามารถทนต่อสภาพดินเปรี้ยวได้ในระดับปานกลาง เช่น ข้าวพันธุ์แดง ยาไทร หุ้งทอง ดอกมุด นวลแก้ว ข้าวตุล ลูกข้าว และหมออรุณ นอกจากนี้ ยังมีพันธุ์ข้าวแนะนำที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเปรี้ยวที่มีการปรับปรุงแล้ว เช่น ข้าวพันธุ์ กข 7 กข 21 กข 23 และสุพรรณบุรี 90 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่สามารถปลูกได้ทั้งฤดูนาปีและนาปรัง ส่วนพันธุ์ข้าวที่ปลูกได้เฉพาะนาปี เช่น ข้าวพันธุ์แก่นจันทร์ ลูกแดง

คำเมไทร อัลฮัมดุลิลละห์ และชอนางเอื่อง โดยข้าวทั้งหมดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ดินเปรี้ยวที่มีการปรับระดับพื้นที่กระตนาและคั่นาร่วมกับการใส่ปุณ

พืชผัก พืชผักส่วนใหญ่ มีระบบรากคั่นและเป็นพืชอายุสั้น เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนที่มี การระบายน้ำเลว และการถ่ายเทอากาศดี ดินมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง และดินเป็นกรด เล็กน้อยถึงปานกลาง ดังนั้น การใช้พื้นที่ดินเปรี้ยวเพื่อการปลูกพืชผัก จะต้องมีการขกร่องปลูก โดยอาจขกร่องแบบเตี้ย แล้วปล่อยให้น้ำท่วมร่องสวน ซึ่งสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย เพราะ ไม่จำเป็นต้องสูบน้ำ และการปรับปรุงดิน โดยการใช้ น้ำล้างความเป็นกรดควบคู่กับการใช้วัสดุปุณ จะเป็นวิธีการที่ดี โดยใช้วัสดุปุณในปริมาณน้อยลงให้พอที่จะปรับความเป็นกรดของดินให้อยู่ใน ระดับที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ แล้วจึงใช้น้ำช่วยล้างความเป็นกรดในภายหลัง และการจัดการ ธาตุอาหารพืชโดยการใส่ปุ๋ย สำหรับดินเปรี้ยวที่มีการปรับปรุงแล้วสามารถใช้ปลูกพืชผักได้หลาย ชนิด เช่น ผักบุ้ง ผักคะน้า ผักกาดขาว ผักกาดเขียวปลี หน่อไม้ฝรั่ง และกระเจี๊ยบเขียว พริก และ มะเขือ เป็นต้น

พืชไร่ พืชไร่หลายชนิดที่สามารถปลูกได้ดีในพื้นที่ดินเปรี้ยว โดยสามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การปลูกพืชไร่ในช่วงฤดูแล้งหลังการเก็บเกี่ยวข้าว พืชไร่ที่ปลูกควรมีอายุไม่เกิน 120 วัน เช่น ข้าวโพดหวาน ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และถั่วพุ่ม เป็นต้น และการปลูกพืชไร่ที่มีลักษณะถาวร ต้องมีการ ปรับปรุงสภาพพื้นที่ เพื่อป้องกันน้ำท่วมในช่วงฤดูฝน และมีการขกร่องปลูกแบบถาวร เพื่อช่วย ควบคุมน้ำและการระบายน้ำของดิน สามารถปลูกได้ตลอดปี หรือการปลูกพืชไร่ที่มีอายุมากกว่า 120 วัน เช่น สับปะรด และอ้อย แต่เนื่องจากดินเปรี้ยวส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว และมีการ ระบายน้ำเลว การเตรียมดินในแปลงจึงต้องมีการจัดการที่เหมาะสม โดยการไถดะและขกร่องแปลง หรืออาจทำการขุดร่องระบายน้ำรอบ ๆ แปลง ใส่หินปูน หรือมาร์ลให้ทั่วแปลง ในอัตรา 2-3 ตันต่อ ไร่ แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากับดินทิ้งไว้ประมาณ 15 วัน ก่อนทำการปลูกพืช อย่างไรก็ตามในการปลูก พืชไร่ช่วงฤดูแล้งหรือฤดูฝน ควรพิจารณาถึงแหล่งน้ำที่สามารถนำมาใช้ในการเพาะปลูกด้วย

ไม้ผล ดินเปรี้ยวเป็นดินที่มีข้อจำกัดอย่างมากในการใช้ปลูกไม้ผล เนื่องจากเป็นดินที่เกิดใน ที่ลุ่มต่ำ มีน้ำท่วมขังในฤดูเป็นระยะเวลานาน 4-6 เดือน และดินมีการระบายน้ำเลว การเปลี่ยนสภาพ การใช้ที่ดินเป็นพื้นที่ปลูกไม้ผล เช่น มะม่วง ส้มเขียวหวาน ส้มโอ มะพร้าว และปาล์มน้ำมัน หรือ พืชที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ จะต้องมีการปรับสภาพพื้นที่ และการปรับปรุงดินที่เหมาะสม โดยการทำคันดินรอบบริเวณเพาะปลูกเพื่อป้องกันน้ำท่วมในฤดูฝน การขกร่องปลูก เพื่อช่วยการ ระบายน้ำของดิน และการแก้ไขความเป็นกรดรุนแรงของดิน โดยการใส่ปุณโดโลไมต์ อัตรา 3-5

กิโลกรัมต่อหลุม สำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน ให้รองกันหลุมด้วยหินฟอสเฟต อัตรา 500 กรัม และกลบดินในหลุมให้สูงเพื่อป้องกันน้ำขัง และรากเน่าตายได้

ไม้ยืนต้น สำหรับไม้ยืนต้นที่สามารถเจริญเติบโตในดินเปรี้ยวได้ทุกระดับ และทนต่อสภาพน้ำท่วมขังเป็นระยะเวลานาน ได้แก่ เสม็ด (*Melaleuca leucadendron*, *M. Viridiflora* และ *M. acacoides*) ซึ่งปัจจุบันมีการนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง การปลอยต้นเสม็ดให้เจริญเติบโตบนพื้นที่ดินเปรี้ยว จนกลายเป็นป่าและนำไม้มาใช้ประโยชน์ เป็นอีกแนวทางหนึ่ง ที่ช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์จากดินเปรี้ยวได้โดยมีการลงทุนน้อยมาก

พืชอาหารสัตว์ หญ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ขึ้นได้ในสภาพธรรมชาติของดินเปรี้ยว ได้แก่ หญ้าปล้องน้ำ (*Hymenachne pseudointerrupta*) หญ้าไทร (*Leersia hexandra*) หญ้าข้าวผี (*Oryza rufipogon*) และหญ้าชันอากาศ หรือหญ้าชันกาศ (*Panicum repens*) ซึ่งสามารถใช้เลี้ยงสัตว์ได้ และมีช่วงการเก็บเกี่ยวค่อนข้างสั้น แต่อาจมีคุณค่าทางอาหารต่ำ และผลผลิตน้อย อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการจัดการไถพรวน หรือเตรียมดิน จะได้ผลผลิตค่อนข้างสูง

9. แนวทางการแก้ปัญหาดินเปรี้ยวในบริเวณที่ศึกษา

ดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อนที่ทำการศึกษาทั้ง 6 บริเวณ เป็นดินที่อยู่ในสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบ ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 1 ถึง 5 เมตร ดินมีน้ำท่วมขังในบางช่วงของปี แม้ว่าจะเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง แต่ก็ข้อจำกัดที่ต้องจัดการดินให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น เพื่อการใช้ที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการจัดการดินให้เหมาะสมกับการปลูกพืชจะต้องแก้ไขข้อจำกัดต่าง ๆ แล้วพิจารณาร่วมกับชนิดของพืชที่จะเพาะปลูก การใช้ประโยชน์ที่ดินจะต้องมีการปรับปรุงพื้นที่ เพื่อป้องกันน้ำท่วมและสภาพการระบายน้ำของดิน จึงจะสามารถปลูกได้ทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง การจัดการดินและน้ำที่เหมาะสม จะสามารถใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแนวทางการแก้ปัญหาดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา มีดังนี้

1) ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาทุกพืดอนมีชั้นดินวินิจัยซัลไฟริก ซึ่งเป็นชั้นดินที่มีค่าพีเอชต่ำ ทำให้มีกรดอยู่ในดินได้ในปริมาณสูง จนมีผลต่อการใช้ธาตุอาหารพืช ทำให้ธาตุบางอย่างในดินถูกปลดปล่อยออกมา เกิดสภาพเป็นพิษต่อพืช โดยที่พืชจะขาดสมดุลของธาตุอาหารอย่างรุนแรง แนวทางการแก้ไขความเป็นกรดของดิน สามารถปฏิบัติได้ดังนี้

1.1) การควบคุมระดับน้ำใต้ดิน เป็นการป้องกันการเกิดกรดกำมะถัน โดยการควบคุมระดับน้ำใต้ดินให้อยู่เหนือชั้นดินเลนที่มีสารประกอบไพไรต์เป็นองค์ประกอบอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และมีกรดกำมะถันเกิดขึ้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการวางระบบระบายน้ำในพื้นที่ และระบายน้ำเฉพาะส่วนบนออก เพื่อล้างความเป็นกรด และรักษาระดับน้ำในคุ้ระบายน้ำให้อยู่ลึกเกินกว่า 100 เซนติเมตรจากผิวดิน ตลอดทั้งปี การที่จะควบคุมระดับน้ำใต้ดินได้นั้น ต้องมีการวางระบบการระบายน้ำ ควบคู่ไปกับการจัดระบบชลประทานที่เหมาะสม โดยระบบการระบายน้ำจะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำท่วม และช่วยในการระบายน้ำออกจากพื้นที่ ในขณะที่เดียวกันระบบชลประทานจะช่วยเสริมให้น้ำใช้ชะล้างความเป็นกรด และช่วยรักษาระดับน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่ต้องการ

1.2) การใช้น้ำล้างความเป็นกรด วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่าย แต่ต้องอาศัยน้ำในปริมาณที่มากพอที่จะใช้ล้าง ควบคู่ไปกับการควบคุมระดับน้ำใต้ดินให้อยู่เหนือชั้นดินเลนที่มีไพไรต์มาก หรือควบคุมให้ดินชื้นอยู่เสมอ การใช้น้ำชะล้างดิน นอกจากจะช่วยล้างกรดและทำให้พีเอชของดินเพิ่มสูงขึ้นแล้ว ยังช่วยให้สารละลายของอะลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีส ที่เป็นพิษเจือจางลง ช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำล้างความเป็นกรด จำเป็นต้องมีการกระทำอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปแล้วความเป็นกรดของดินจะเกิดขึ้นรุนแรงเฉพาะในช่วงดินแห้ง หรือในฤดูแล้ง ดังนั้น วิธีการใช้น้ำชะล้างควรเริ่มตั้งแต่เริ่มมีฝนโดยปล่อยให้ให้น้ำท่วมขังพื้นที่ แล้วระบายน้ำออกประมาณ 2-3 ครั้ง โดยทิ้งช่วงการระบายน้ำประมาณ 1-2 สัปดาห์ต่อครั้ง

2) ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาคือดินที่มีความเป็นพิษจากอะลูมิเนียม ควรปรับปรุงโดยการใส่วัสดุปูน วิธีนี้เป็นวิธีที่ช่วยลดความเป็นกรดของดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังให้ผลระยะยาว แต่อาจมีข้อจำกัดในกรณีที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ เนื่องจากต้องใช้วัสดุปูนในปริมาณมาก การที่จะผสมคลุกเคล้าวัสดุปูนให้กระจายในหน้าตัดดินอย่างสม่ำเสมอ จึงทำได้ยากและต้องใช้แรงงานมาก วัสดุปูนที่ใช้ในการปรับปรุงดินมีหลายชนิด เช่น หินปูน ปูนมาร์ล ปูนสุก ปูนขาว ปูนเผา เป็นต้น เมื่อใส่สารที่ออกฤทธิ์เป็นด่างลงไปดิน อนุภาคไฮดรอกไซด์จากด่างจะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนจากดินกรดในสารละลายดิน เมื่อไฮโดรเจนไอออนในสารละลายดินลดลง ไฮโดรเจนไอออนที่อยู่ในรูปกรดแฝงของดินจะถูกปลดปล่อยออกมาแทนที่ไฮโดรเจนไอออนที่สูญเสียไปกับการทำปฏิกิริยากับด่าง เพื่อเป็นการรักษาสภาพสมดุลของดินไว้ ปฏิกิริยาเช่นนี้จะดำเนินไปเรื่อย ๆ จนปริมาณไฮโดรเจนไอออนหมดไป การแก้ไขดินกรดต้องใช้สารที่เป็นด่างปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับไฮโดรเจนไอออนที่อยู่ในกรด หรือถ้าดินมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงก็จะมีกรดแฝง ดังนั้นย่อมมีความต้องการปูนในปริมาณที่มากกว่า

การปรับปรุงดินโดยการใส่วัสดุปุ๋ยนอกจากจะทำให้ความเป็นกรดของดินลดลงแล้ว ยังช่วยให้อะลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีสในสารละลายดินลดปริมาณลงด้วย ส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการลดลงของอะลูมิเนียมในสารละลายดิน ทำให้ปัญหาการตรึงฟอสฟอรัสลดลง และพืชสามารถใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พืชสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การลดความเป็นกรดของดินโดยการใส่ปุ๋ยควรทำร่วมกับการจัดการปุ๋ย เนื่องจากจะทำให้พืชได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตมากขึ้น

อัตราปุ๋ยที่เหมาะสมในการปรับปรุงดินเปรี้ยว พบว่า ปริมาณปุ๋ยที่ใช้จะแตกต่างกันตามชุดดิน หรือกลุ่มชุดดินที่มีระดับความรุนแรงของกรดต่างกัน จึงควรมีการวิเคราะห์ค่าความต้องการปุ๋ยของดินก่อน เพื่อจะใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ ได้ผลผลิตและผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุน นคราญ และจุมพล (2544) รายงานว่า ดินเปรี้ยวที่พบกรดกำมะถันตั้งแต่ 0-50 เซนติเมตรจากผิวดิน อัตราการใช้ปุ๋ยมาร์ล 1.5 ตันต่อไร่ ดินเปรี้ยวที่พบกรดกำมะถันอยู่ในระดับปานกลาง 50-100 เซนติเมตรจากผิวดิน อัตราการใช้ปุ๋ยมาร์ล 1.0 ตันต่อไร่ และดินเปรี้ยวที่พบกรดกำมะถันอยู่ในระดับลึก 100-150 เซนติเมตรจากผิวดิน อัตราการใช้ปุ๋ยมาร์ล 0.5 ตันต่อไร่ ซึ่งปริมาณปุ๋ยที่แนะนำสอดคล้องกับปริมาณความต้องการปุ๋ยของดินด้วย Komes (1978); Charoenchamratcheep *et al.* (1981) พบว่า ปริมาณปุ๋ยที่ใส่จะสัมพันธ์กับระดับความลึกของกรดกำมะถัน ดินเปรี้ยวที่พบกรดกำมะถันตั้งแต่ 0-50 เซนติเมตรจากผิวดิน อัตราการใช้ปุ๋ยมาร์ล 1.6 ตันต่อไร่ และดินเปรี้ยวที่พบกรดกำมะถันอยู่ในระดับปานกลาง 50-100 เซนติเมตรจากผิวดิน อัตราการใช้ปุ๋ยมาร์ล 0.6-0.8 ตันต่อไร่ จะเห็นได้ว่าที่ระดับความลึกของกรดกำมะถันต่างกัน ส่งผลให้ความรุนแรงของกรดในดินแตกต่างกัน ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการปรับสภาพความเป็นกรดก็แตกต่างกัน

ระยะเวลาการใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยตามอัตราที่แนะนำ หรืออัตราความต้องการปุ๋ยของดิน 1 ครั้ง ปุ๋ยมีประสิทธิภาพแก้ความเป็นกรดของดินได้นาน 4-5 ปี ในกรณีที่เกษตรกรมีการทำนาอย่างต่อเนื่อง ปีละ 2 ครั้ง ประสิทธิภาพของปุ๋ยที่ใช้สามารถอยู่ได้นานขึ้น เนื่องจากพื้นที่นามีความชื้นตลอดปี อย่างไรก็ตาม ควรทำการวิเคราะห์ดินทุก 2 ปี เพื่อตรวจสอบสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และปรับปรุงแก้ไขต่อไป

3) ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาก่อนเป็นดินขังน้ำ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ลุ่มต่ำ ทำให้เกิดน้ำท่วมขัง การระบายน้ำออกจากพื้นที่ทำได้ยาก จึงต้องมีการปรับสภาพพื้นที่ โดยวิธีการปรับสภาพพื้นที่ขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืชที่จะปลูก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีอยู่ 2 วิธี คือ การปรับ

ระดับผิวน้ำ และการขร่งปลูก โดยการปรับระดับผิวน้ำดินใช้ในกรณีที่ใช้พื้นที่เพื่อการปลูกข้าว โดยจะปรับผิวน้ำให้มีความลาดเอียง พอที่จะให้น้ำไหลออกสู่คลองระบายน้ำ และการตกแต่งคันนาให้สามารถเก็บกักน้ำ และระบายน้ำออกได้เมื่อต้องการ และการขร่งปลูกพืช เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับปลูกพืชไร่ พืชผัก ไม้ผลหรือไม้ยืนต้น ที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูง แต่การที่จะขร่งปลูกพืชให้ได้ผลดีจำเป็นต้องมีระบบชลประทานเพื่อขังน้ำในร่อง และระบายน้ำออกเพื่อชะล้างความเป็นกรด การขร่งจำเป็นต้องวางแผนร่องให้เหมาะสมกับชนิดของพืชที่ปลูก และควรมีคันดินล้อมรอบสวน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำท่วม โดยคันดินควรอัดแน่นเพื่อป้องกันน้ำซึม และควรมีระดับความสูงมากพอที่จะป้องกันไม่ให้น้ำท่วมในช่วงฤดูฝน นอกจากนี้ควรมีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำออก แล้วสูบน้ำชลประทานเข้ามาในร่องสวน เพื่อใช้รดต้นไม้

การขร่งปลูกพืชยืนต้นหรือไม้ผล จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่นั้น ๆ หากมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมสูงก็ไม่ควรจะทำ เนื่องจากไม้ผลเป็นพืชที่ให้ผลระยะยาว ถ้าเกิดน้ำท่วมจะสร้างความเสียหายให้แก่สวน ถ้าคาดว่าพื้นที่ดังกล่าวเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม การขร่งปลูกพืชอาจขร่งแบบเตี้ย ๆ และเปลี่ยนมาปลูกพืชล้มลุกหรือพืชผักแทน โดยอาจปลูกเป็นพืชหมุนเวียนกับข้าว โดยปล่อยให้พื้นที่ว่างสวนในฤดูฝน แล้วปลูกข้าวบนร่องจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย และปลูกพืชผักหรือพืชล้มลุกตามความต้องการของตลาดในช่วงหลังฤดูฝน

4) การเลือกชนิดของพืชที่ปลูกให้เหมาะสมกับสภาพของดินที่เป็นกรดจัด เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้เกษตรกรลดต้นทุนในการปรับปรุงดิน และลดความเสี่ยงต่อการไม่ได้รับผลผลิตจากการศึกษาของศูนย์ภูษามาศราชคฤห์ เนื่องมาจากพระราชดำริ กรมวิชาการเกษตร และกรมพัฒนาที่ดิน สามารถสรุปพืชที่เหมาะสมในการนำมาใช้ปลูกในดินเปรี้ยวได้ดังนี้

ข้าว มีหลายสายพันธุ์ที่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้อย่างปกติในพื้นที่ดินเปรี้ยว แต่เกษตรกรต้องมีการเตรียมดินที่ดีพร้อมทั้งการจัดการธาตุอาหารร่วมด้วย เช่น ข้าวพันธุ์ลูกแดงปัตตานี ญาเหวย ข้าวขาวชาดก ไข่มด ช่อมูก เป็นต้น โดยข้าวทั้งหมดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง นอกจากนี้ ยังมีข้าวพันธุ์ลูกผสมที่สามารถทนต่อสภาพดินเปรี้ยวได้ในระดับปานกลาง แต่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเปรี้ยวที่มีการปรับปรุงแล้ว เช่น ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สุพรรณบุรี 90 ดอกมะลิ 3 สะกุก 19 ตะเภาแก้ว 161 กข 15 และ กข 19

ไม้ยืนต้น พืชบางชนิด เช่น สนปฏิพัทธ์ กระถินเทพา และยูคาลิปตัส ซึ่งเป็นไม้โตเร็วที่สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ดินเปรี้ยว โดยไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงดิน แต่อาจต้องมีการปรับสภาพพื้นที่บ้าง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำท่วมขังเป็นระยะเวลานาน นอกจากนี้ พืชธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งที่สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ดินเปรี้ยว คือ ต้นสาเก (*Metroxylon sagu* Rottb.) ผลิตภัณฑ์จากต้นสาเก ได้แก่ แป้งสาเกจากไส้ในของลำต้น เพื่อใช้ในการบริโภค การเลี้ยงสัตว์ และใบสาเกใช้หมักหลังคา

หญ้าเลี้ยงสัตว์ โดยทั่วไปแล้วหญ้าอาหารสัตว์หลายชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ดินเปรี้ยวที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว เช่น หญ้าขน (*Brachiraria mutica*) เป็นหญ้าที่ให้ผลผลิตสูง และทนต่อสภาพน้ำแช่ขังได้ดี

5) ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาล้วนใหญ่เป็นดินที่มีโพแทสเซียมต่ำ ต้องมีการจัดการธาตุโพแทสเซียมในดิน ซึ่งโพแทสเซียม เป็นธาตุที่พืชต้องการมากใกล้เคียงกับไนโตรเจน ในสภาพที่ดินเป็นกรดจัดซึ่งมีไฮโดรเจนและอะลูมิเนียมไอออนมาก ไอออนเหล่านี้จะไปไล่ที่โพแทสเซียม ไอออนที่ดูดซับบริเวณผิวของคอลลอยด์ดินให้ออกมาอยู่ในสารละลายดิน ซึ่งมีโอกาสที่จะถูกชะละลายได้ง่าย ในดินเปรี้ยวโดยทั่วไปจึงขาดโพแทสเซียม การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมจึงมีความจำเป็น ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใช้กันทั่วไปส่วนใหญ่ เป็นสารประกอบโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ซึ่งมีราคาถูกกว่าโพแทสเซียมซัลเฟต (0-0-50) ปุ๋ยทั้งสองนี้ละลายได้ง่าย เพื่อลดการสูญเสีย เนื่องจากการชะละลาย จึงควรปรับปรุงดิน เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับแคตไอออน โดยการใส่ปูนหรือการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาดินเปรี้ยวในสภาพภูมิอากาศมรสุมเขตร้อน ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างแบบ ฟีดอน 6 บริเวณ ใช้ดินตัวแทน 2 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินระแงะ และชุดดินมูโน๊ะ ดินมีวัตถุต้นกำเนิด เป็นตะกอนน้ำกร่อย ตะกอนน้ำทะเล และวัสดุอินทรีย์ ภูมิประเทศเป็นที่ราบ ความลาดชันร้อยละ 1 ถึง 2 บนพื้นฐานภูมิประเทศเป็นที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึง สูงจากระดับทะเลปานกลาง 1 ถึง 5 เมตร เป็นดินลึกลงลึกมาก ดินมีการระบายน้ำเลว สภาพการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่รกร้าง ดินมีพัฒนาการค่อนข้างต่ำ หน้าตัดดินเป็นแบบ Apg-Bg-Oag-Oeg-2Cg (ฟีดอน 1), Apg-Bjg-Cg (ฟีดอน 2), Ag-Bg-Bjg-BCg-Cg (ฟีดอน 3), Apg-Bjg-BCg (ฟีดอน 4), Apg-Bg (ฟีดอน 5) และ Apg-Bg-BCg (ฟีดอน 6) ดินมีสีเทาอ่อนถึงดำ พบจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองถึงน้ำตาลปนแดงอ่อน และสีแดงถึงเหลือง เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวปนทรายแป้งและดินเหนียว โครงสร้างดินแบบ ก้อนเหลี่ยมมุมมน มีขนาดละเอียดถึงปานกลาง มีความคงทนปานกลาง พบผิวหน้าที่ถูกแรงกด รอยไถ และร่องระแหง พิเศษดินในสนามเป็นกรดรุนแรงถึงด่างปานกลาง (field pH 4.0-8.0) สภาพภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน (tropical monsoonal: Am) โดยทั่วไปมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 2,000-3,000 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส การใช้ที่ดิน ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่รกร้าง บางพื้นที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันและยางพารา และบางบริเวณเป็นพื้นที่ ป่าพรุเสม็ด

ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาของดิน พบว่าดินมีโครงสร้างแบบ channel มีช่องว่างเป็นแบบ channels, vughs และ vesicles เนื่องจากการบีบและหดตัวของดิน เป็นผลจากดินมีปริมาณดินเหนียวสูง มีอนุภาคหยาบฝังตัวอยู่ในอนุภาคนาละเอียดแบบเกือบเป็นดินเหนียวอย่างเดียวยังเป็นดินเหนียว อย่างเดียวและแบบเปิด มีอนุภาคนาหยาบเป็นแร่ควอตซ์ขนาดทรายละเอียดมากถึงทรายแป้ง พบการเคลือบของจาโรไซต์ตามผนังและช่องว่าง แมงกานีสออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ผสมกับ สารฮิวมิก ลักษณะทางจุลสัณฐานวิทยาที่เด่นของดิน คือ ดินมีเนื้อละเอียด พบอนุภาคนาละเอียด มากกว่าอนุภาคนาหยาบ โดยอนุภาคนาหยาบพบแร่ควอตซ์ในปริมาณน้อยมาก ลักษณะที่เกิดจาก กระบวนการทางดิน เช่น สารก้อนกลมของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ แสดงว่าพัฒนาการของ ดินมีช่วงระยะเวลาที่ดินมีน้ำขัง นอกจากนี้ยังพบลักษณะที่เกิดจากกระบวนการเกิดดิน เช่น พบแร่จาโรไซต์เคลือบตามผนังช่องว่าง เป็นผลมาจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อย

สมบัติทางกายภาพของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษา พบว่า มีเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นเนื้อดินละเอียด มีแนวโน้มการแจกกระจายของอนุภาคขนาดดินเหนียวในหน้าตัดดินเด่นชัดกว่าอนุภาคขนาดทราย และทรายแป้ง โดยมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวถึงดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ค่าความหนาแน่นรวม มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง ($0.45-1.84 \text{ Mg m}^{-3}$) โดยชั้นดินบนมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่าดินล่าง ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงเร็ว (1.08×10^{-3} ถึง 17.66 cm hr^{-1})

สมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษา พบว่าดินส่วนใหญ่เป็นกรดรุนแรงมากที่สุดถึงเป็นกรดจัด (pH 3.1-5.1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินแปรปรวนจากต่ำมากถึงสูงมาก ($0.34-357.87 \text{ g kg}^{-1}$) ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง ($0.17-6.43 \text{ g kg}^{-1}$) และมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์วัตถุกับปริมาณไนโตรเจนรวม โดยมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของหน้าตัดดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูง ($0.3-39 \text{ mg kg}^{-1}$) โดยมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากอินทรีย์วัตถุซึ่งมีอยู่มากในชั้นดินบนในรูปฟอสเฟตอินทรีย์ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ($30-169 \text{ mg kg}^{-1}$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก เป็นผลมาจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดดิน และผลจากปริมาณของแร่โอลด์และแร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งเป็นแหล่งที่สำคัญของธาตุโพแทสเซียม ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงสูงมาก ($3.08-52.29 \text{ cmol kg}^{-1}$)

ปริมาณกรดที่สกัดได้มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงมาก ($3.4-83 \text{ cmol kg}^{-1}$) เนื่องจากดินมีค่าพีเอชต่ำมาก ทำให้ไฮโดรเจนและอะลูมิเนียมละลายอยู่ในดินในปริมาณมาก เช่นเดียวกับปริมาณอะลูมิเนียมที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก ($0.01-29.4 \text{ cmol kg}^{-1}$) แสดงให้เห็นสภาพในดินที่เป็นกรดรุนแรง และมีอะลูมิเนียมละลายอยู่ในดินมีปริมาณมาก ทำให้มีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น และปริมาณเบสชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในดินลดลง สอดคล้องกับอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส อยู่ในระดับต่ำถึงสูง ($7.9-92.8\%$) ปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก ($9.0-80.0 \text{ cmol kg}^{-1}$) เป็นผลมาจากชนิดคอลลอยด์ ขนาดอนุภาคของคอลลอยด์ ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนประสิทธิผล อยู่ในพิสัย 13.2-52.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี โดยการสกัดด้วยสารละลาย DTPA พบว่า มีปริมาณเหล็ก และแมงกานีสมากจนอาจเป็นพิษต่อพืชปลูก ในขณะที่อาจเกิดการขาดทองแดง และสังกะสี ปริมาณซัลเฟตที่ละลายได้อยู่ในระดับสูงมาก ($23-5,396 \text{ mg kg}^{-1}$) ปริมาณซัลเฟตที่สกัดได้อยู่ในระดับสูงมาก ($145-8,701 \text{ mg kg}^{-1}$) ปริมาณกำมะถันรวมมีค่าอยู่ในระดับสูงมาก ($0.46-52.13 \text{ g kg}^{-1}$) และพบปริมาณจากริโซไซด์สะสมในดิน อยู่ในพิสัย 51-2,559

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากอิทธิพลของวัตถุดิบกำเนิดดินที่เป็นตะกอนน้ำกร่อย ปริมาณความต้องการปูนโดยเฉลี่ย อยู่ในพิสัย 8.34-11.14 ตันในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตต่อไร่ องค์ประกอบทางเคมีรวม พบว่า มีอะลูมินัม 10.8-38.5 กรัมต่อกิโลกรัม เหล็ก 0.3-45.4 กรัมต่อกิโลกรัม กำมะถัน 0.5-52.1 กรัมต่อกิโลกรัม และแมงกานีส 0.35-33.8 กรัมต่อกิโลกรัม

ผลการศึกษาทางแร่วิทยา พบว่าดินส่วนใหญ่มีแร่โอลิไนด์เป็นองค์ประกอบเชิงแร่หลัก ในกลุ่มขนาดอนุภาคดินเหนียว ในปริมาณสูงถึงสูงมาก (40 ถึง >60%) มีแร่โอลิไนด์ และแร่ควอตซ์ ในปริมาณเล็กน้อยถึงน้อย บางบริเวณพบแร่ดินเหนียวชนิด 1.4 นาโนเมตร และแร่กิบbsite ในปริมาณเล็กน้อย ในอนุภาคขนาดทรายแป้ง มีแร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบเชิงแร่หลัก มีแร่เฟลด์สปาร์ในปริมาณเล็กน้อยถึงน้อย และบางบริเวณมีแร่กิบbsite และแร่ดินเหนียว 0.7 และ 1.0 นาโนเมตร ในปริมาณเล็กน้อย กระบวนการกำเนิดของดิน พบว่ามีกลุ่มกระบวนการการสร้างดินที่สำคัญ คือ การเพิ่มเติม (additions) ซึ่งมีกระบวนการย่อย คือ กระบวนการเพิ่มเติม (enrichment) กระบวนการสะสมของเศษพืช (littering) กลุ่มกระบวนการสูญเสีย (losses) ซึ่งมีกระบวนการย่อย คือ กระบวนการชะละลาย (leaching) และการสลายตัว (decomposition) กลุ่มกระบวนการเคลื่อนย้าย (translocation) มีกระบวนการย่อย คือ กระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุออกไปสะสมในชั้นดิน (illuviation) กระบวนการสูญเสียซิลิกา (desilication) กระบวนการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นดินบน (eluviations) กระบวนการสะสมต่าง (alkalization) และการบวนการสูญเสียต่าง (dealkalization) และกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพ (transformation) มีกระบวนการย่อย คือ กระบวนการสลายตัว (decomposition) และกระบวนการรีดักชันของเหล็ก (gleization)

การจำแนกดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษา จากการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา จุลสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ เคมี และแร่วิทยา พบว่า ดินจำแนกตามระบบอนุกรมวิธานดินเป็นดินในอันดับอินเซปติซอลส์ (Inceptisols) ที่มีสภาพความชื้นที่ดินอึดตัวด้วยน้ำเป็นระยะเวลานานในรอบปี โดยมีชั้นอนุกรมวิธานดิน ดังต่อไปนี้

- พีดอน 1 Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic
จำแนกเป็นชุดดินระแงะ
- พีดอน 2 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic
จำแนกเป็นชุดดินมูโน๊ะ
- พีดอน 3 Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic
จำแนกเป็นชุดดินมูโน๊ะ

- พืดอน 4 Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic
จำแนกเป็นชุดดินมูโน๊ะ
- พืดอน 5 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic
จำแนกเป็นดินคล้ายชุดดินระแงะที่ไม่เป็นดินเปรี้ยว
- พืดอน 6 Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic
จำแนกเป็นดินคล้ายชุดดินมูโน๊ะที่ไม่เป็นดินเปรี้ยว

จากการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (กองสำรวจ, 2523; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) พบว่า ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตั้งแต่ต่ำถึงปานกลาง ซึ่งความอุดมสมบูรณ์ของดินนั้นมีความแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่ในชั้นดินบนมีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าในชั้นดินล่าง เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูงกว่า

หน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินที่จำแนกได้ คือ พืดอน 1 เป็น Cag พืดอน 2 และ 4 เป็น Cagk พืดอน 3 เป็น Cacgk พืดอน 5 และ 6 เป็น Cgk ซึ่งดินที่ทำการศึกษานี้มีข้อจำกัดของดิน คือ ความเป็นพิษจากอะลูมิเนียม ดินมีการขังน้ำ ขาดโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และบางพื้นที่ดินเป็นกรดรุนแรง และมีจาโรไซด์ หากพิจารณาถึงการใช้ทางการเกษตร ดินเหล่านี้รองรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ แต่ต้องมีการจัดการดินให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมีวิธีการที่สำคัญ คือ การควบคุมระดับน้ำใต้ดิน เพื่อลดความเป็นกรดรุนแรงของดิน การไถพรวน และการเลือกชนิดของพืชที่ปลูกให้เหมาะสมกับพื้นที่ ตลอดจนการจัดการเรื่องธาตุอาหาร โดยเฉพาะโพแทสเซียมให้เพียงพอต่อความต้องการของพืชเป็นกรณีตามลักษณะของดิน

ข้อเสนอแนะ

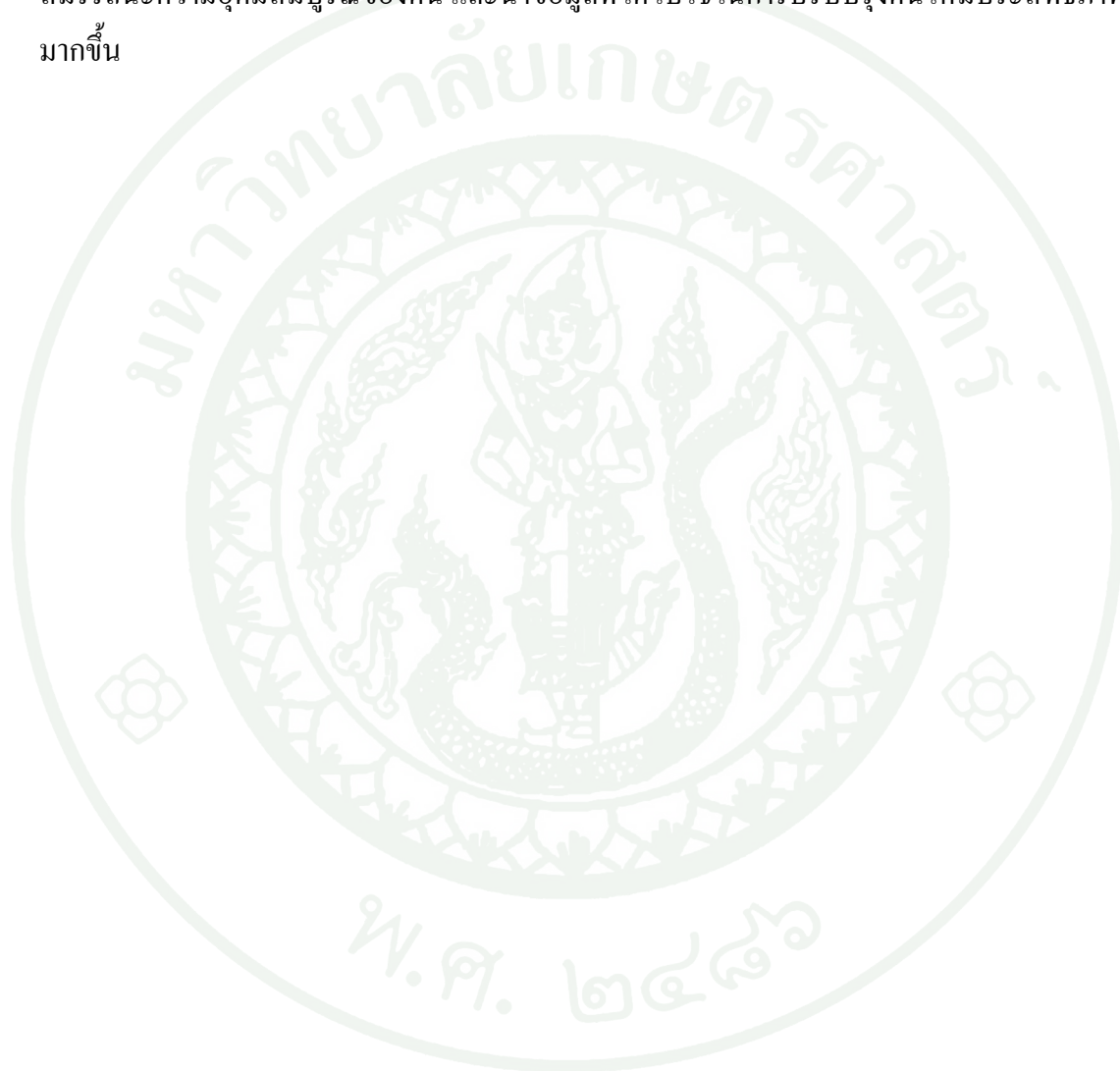
ดินเปรี้ยวเป็นดินที่มีปัญหาและง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อดิน และสภาพแวดล้อม ดังนั้น ก่อนที่จะนำพื้นที่ดินเปรี้ยวมาใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดทางคุณสมบัติของดิน ลักษณะพื้นที่ สภาพการท่วมขังของน้ำ และประเด็นที่สำคัญ คือ จำเป็นต้องมีวิธีการจัดการดินและน้ำที่เหมาะสม จึงจะสามารถใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการจัดการดินเพื่อทำการเกษตรควรมีลักษณะดังนี้

1. ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษาคือดินที่มีพัฒนาการต่ำ เนื้อดินเป็นดินเหนียวที่มีเนื้อสมานแน่น อนุภาคปฐมภูมิของดินจับตัวกันแน่นเป็นก้อน ดินไม่มีโครงสร้าง จึงควรมีการปรับปรุงโครงสร้างของดินให้มีความร่วนซุยเพิ่มขึ้น โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด

2. ดินเปรี้ยวที่ทำการศึกษามีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ทำให้มีสมบัติทางกายภาพบางประการไม่เหมาะสมต่อพืชไร่หลายชนิด เนื่องจากรากพืชไม่สามารถไชซอนผ่านชั้นที่แน่นได้ ดินมีความเป็นกรดรุนแรง อาจเกิดความเป็นพิษของธาตุอาหารบางอย่าง โดยเฉพาะเหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีส และเกิดการขาดธาตุอาหารพืช เช่น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ข้อเสนอแนะตามระบบก็คือ ควรมีการใส่ปูนเพื่อลดความเป็นกรดของดิน หรือทำการขังน้ำบนผิวหน้าดินก่อนปลูกพืช ดินที่มีชั้นดินล่างวินิจฉัยชัดฟิวริกอยู่ภายในชั้นดิน ไม่ควรทำการระบายน้ำออกเนื่องจากทำให้ความเป็นกรดของดินรุนแรงมากขึ้น นอกจากจะมีการจัดการพิเศษ เช่น การยกร่องเพื่อปลูกไม้ผล ไม้ยืนต้น หรือพืชผัก ปล่อยน้ำให้เข้าสู่ร่อง และรักษาระดับน้ำในร่องให้คงที่เสมอ

3. ปัจจุบันราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง พืชพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ คือ ปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น มีต้นทุนในการผลิตและราคาต่ำกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่หันมาปลูกปาล์มน้ำมันมากขึ้น แต่เนื่องจากเกษตรกรบางพื้นที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ดินเปรี้ยว ปัญหาที่พบคือ การขาดธาตุอาหารพืชบางชนิด ความเป็นพิษของอะลูมินัม และดินมีสภาพความเป็นกรดรุนแรง ดังนั้น จึงควรมีการศึกษานิตและลักษณะของดินที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินศักยภาพของดินที่ปลูกปาล์มน้ำมันและแนวทางในการจัดการดิน เพื่อจะได้ใช้เป็นข้อมูลประกอบการพัฒนาการปลูกปาล์มน้ำมันให้มีประสิทธิภาพ และมีความยั่งยืนมากขึ้น

4. การศึกษาเกี่ยวกับดินเปรี้ยว เพื่อให้การศึกษามีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรทำการศึกษาสมบัติบางประการของดินเพิ่มเติม ได้แก่ ระดับความชื้นของดิน (water content) ปริมาณเหล็กอะลูมิเนียม และแมงกานีสในรูปอิสระ (free form) ในรูปอสัณฐาน (amorphous form) และในรูปสารอินทรีย์เชิงซ้อน (organic complex form) คลอไรด์ที่ละลายน้ำ (soluble chloride) ไพไรต์ (pyrite) รวมทั้งการศึกษาความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสของดิน เพื่อจะนำไปประเมินหน่วยสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงดินให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2526. แผนที่ธรณีวิทยาของประเทศไทย มาตราส่วน 1:500,000.

กรมแผนที่ทหาร. 2516. แผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ระวัง 4924 I, 4925 I, 4925 II, 5024 IV และ 5025 III.

กรมแผนที่ทหาร. 2533. แผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ระวัง 5024 I และ 5025 II.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2540. การจัดการดินเปรี้ยวจัด. คณะกรรมการกำหนดมาตรการและจัดทำเอกสารอนุรักษ์ดินและน้ำ และการจัดการดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2552. การจัดการดินเปรี้ยวเพื่อการปลูกพืช. ว. พัฒนาที่ดิน 46: 48-53.

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

กองสำรวจดิน. 2526. แผนที่ดินของจังหวัดนครศรีธรรมราช มาตราส่วน 1:100,000. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมปฐพีวิทยา. 2551. พจนานุกรมปฐพีวิทยา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โครงการศึกษาการพัฒนาพิภูลทอง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2536. คู่มือการปรับปรุงดินเปรี้ยวเพื่อการเกษตร. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิภูลทอง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, นราธิวาส.

เจลิยว แจ้งไพร. 2530. **ทรัพยากรดินในประเทศไทย**. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 82. กองสำรวจและ
จำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ทรงศักดิ์ จุนธิระพงศ์. 2550. **อุตุนิยมวิทยาเกษตร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

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

นงคราญ มณีวรรณ และจุมพล ยูวะนิยม. 2544. **การศึกษาวิเคราะห์วิธีการจัดการดินเปรี้ยวจัดตาม
ชั้นความเหมาะสมของดินเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดภาคกลาง**.
กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

นงคราญ มณีวรรณ, จุมพล ยูวะนิยม, ศรีชัย นิธิเทียม, สุรัชชัย หมั่นสังข์ และรสมาริน ณ ระนอง.
2541. การปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิตกรดจัดโดยการใช้ปูนมาร์ลร่วมกับปุ๋ยเคมี
อัตราต่าง ๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตหน่อไม้ฝรั่ง. ว. อนุรักษ์ดินและน้ำ 14: 11-25.

ประมวลพงษ์ สีนุสเสน. 2527. **องค์ประกอบเชิงแร่และคุณสมบัติทางเคมีของดินเหลือง ดินแดง
พบในประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพบุลย์ ประพุดิธรรม. 2528. **เคมีของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพบุลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. **เคมีดิน**. ห้างหุ้นส่วนจำกัดเชียงใหม่พิมพ์สวย, เชียงใหม่.

มรกต ทัพพะกุล ณ อุรุยา. 2532. **จุลสัณฐานวิทยาของดิน**. กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. 2548. **การปลูกพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด**. กลุ่มวิจัย
และพัฒนาพื้นที่ดินเปรี้ยวและนานาเขตชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร
และสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2548. **ลักษณะและสมบัติของดินในภาคกลางประเทศไทย**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 54/03/48. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2549. **ดินปัญหาของประเทศไทย**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2550. **คู่มือการจัดการดินจังหวัดนครศรีธรรมราช**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสดสภา. 2552. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อัญชลี สุทธิประการ. 2534. **แร่ในดิน เล่มที่ 2**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อัญชลี สุทธิประการ. 2553. **แร่ในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินเขตร้อน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ. 2526. การจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน. **วารสารดินและปุ๋ย** 5: 156-196.

เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2533. **ดินของประเทศไทย: ลักษณะ การแจกกระจาย และการใช้**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2548. **การสำรวจดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2550. **ดินเปรี้ยวในประเทศไทย**. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัลส์ พับลิเคชั่น, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรัตน์. 2552. **คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 6. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

Ahern, C.R., A.E. McElnea and L.A. Sullivan. 2004. **Acid Sulfate Soils Laboratory Methods
Guidelines**. Queensland Department of Natural Resources, Mines and Energy,
Indooroopilly, Queensland, Australia.

Ahn, P.M. 1993. **Tropical Soils and Fertilizer Use**. Longman Scientific & Technical, Harlow,
Essex, England.

Anda, M., J. Shamsuddin, C.I. Fauziah and S.R.S. Omar. 2008. Mineralogy and factors
controlling charge development of three Oxisols developed from different parent
materials. **Geoderma** 143: 153-167.

Andriesse W. and M.E.F. van Mensvoort. 2006. Acid sulfate soils: distribution and extent, pp.
14-19. In R. Lal., ed. **Encyclopedia of Soil Science**. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Arkesteijn, G.J.M.W. 1980. Pyrite oxidation in acid sulphate soils: the role of microorganisms.
Plant and Soil 54: 119-134.

Astier, M., J.M. Mass, J.D. Etchevers-Barra, J.J. 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.

Attanandana T. and S. Vacharotayan. 1986. Acid sulfate soils: their characteristic, genesis,
amelioration and utilization. **Southeast Asian Studies** 24: 154-180.

- Baize, D. 1993. **Soil Science Analysis: A Guide to Current Use**. John Wiley and Sons, Ltd., England.
- Bajwa, M.I. 1981. Soil beidellite and its relation to problems of potassium fertility and poor response to potassium fertilizers. **Plan Soil** 62: 299-303.
- Bayer, C., L. Martin-Neto, J. Mielniczuk, C.N. Pillon and L. Sangoi. 2001. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 65: 1473-1478.
- Beinroth, F.H., H. Eswaran, F. Palmieri and P.E. Reich. 1996. **Properties, Classification and Management of Oxisols**. United States Department of Agriculture, Natural Resource Conservation Service, Washington, DC.
- Bennett, W.F. 1993. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms, pp. 1-7. *In* W.F. Bennett, ed. **Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plants**. APS Press. Minnesota.
- Bernston, G.M. and J.D. Aber. 2000. Fast nitrate immobilization in N saturated temperate forest soils. **Soil Biol. and Biochem.** 32: 151-156.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363-382. *In* A. Klute, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods**. 2nd ed. Agronomy No. 9, Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Bloom, P.R. 2000. Soil pH and pH Buffering, pp. B333-B352. *In* M.E. Sumner, ed. **Handbook of Soil Science**. CRC Press LLC.
- Bloomfield, C. and D.S. Powlson. 1977. The improvement of acid sulfate soils for crop other than padi. **Malay. Agric. J.** 51: 62-76.

- Bohn, H.L. 1971. Redox potentials. **Soil Science** 112: 39-45.
- Bohn, H.L., B.L. Acneal and G.A. O'connor. 2001. **Soil Chemistry**. 3rd ed. Wiley, New York.
- Bot, A. and J. Benites. 2005. **The Importance of Soil Organic Matter**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Publishing Management Service. Information Division, FAO, Rome, Italy.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soils**. 14th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Bray, R.A. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. **Soil Science** 59: 39-45.
- Brewer, R. 1976. **Fabric and Mineral Analysis of Soils**. 2nd ed. Robert E. Krieger, New York.
- 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.
- Brinkman, R. 1982. Social and economic aspects of the reclamation of acid sulphate soil areas, pp. 21-36. *In* H. Dost and N. van Breemen, eds. **Proceedings of the Bangkok Symposium on Acid Sulphate Soils: Second International Symposium on Acid Sulphate Soils**. ILRI Publications 31. 18-24 January 1981. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.

- Brinkman, R. and L.J. Pons, 1973. Recognition and prediction of acid sulphate soil condition, pp. 169-203. In H. Dost, ed. **Proceedings of the International Symposium on Acid Sulphate Soils**. ILRI Publications 18. 13-20 August 1972, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Brunner, B., J.Y. Yu, R.E. Mielke, J.A. MacAskill, S. Madzunkov, T.J. McGenity and M. Coleman. 2008. Different isotope and chemical patterns of pyrite oxidation related to lag and exponential growth phases of *Acidithiobacillus ferrooxidans* reveal a microbial growth strategy. **Earth Planet. Sci. Lett.** 270: 63-72.
- Bullock, P.N., F.A. Jongerius, G. Stoops, T. Tursina and U. Bable. 1985. **Handbook for Soil Thin Section Description**. Waine Research Publ., England.
- Bullock, P.N., P. J. Loveland and C.P. Murphy. 1975. A technique for selective solution of iron oxides in thin section of soil. **Soil Science** 26: 247-249.
- Buol, S.W. 1987. Fertility capability classification system and its utilization, pp. 317-331. *In Proceedings of the First Regional Seminar on Soil Management Under Humid Conditions in Asia (ASIALAND)*. 13-20 October 1986, International Board for Soil Research and Management (IBSRAM), Bangkok, Thailand.
- Buol, S.W. 1999. **Soils and Geomorphology**. 3rd ed. Oxford Univ. Press, New York.
- Buol, S.W., P.A. Sanchez and G.S. Buol. 1988. **FCC-Draft for Editing: English, Spanish, France, Portugess (A Microcomputerized FCC Program Basic Language)**. North Carolina State University, Raleigh, USA.
- Buol, S.W., R.J. Southard., R.C. Graham and P.A. McDaniel. 2011. **Soil Genesis and Classification**. 6th ed. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa.

- Burton, E.D., R.T. Bush and L.A. Sullivan. 2006. Reduced inorganic sulfur speciation in drain sediments from acid-sulfate soil landscapes. **Environ. Sci. Technol.** 40: 888-893.
- Butzer, K.W. 1976. **Geomorphology from the Earth.** Harper & Row, New York.
- Callebaut, F., D. Gabriels, W. Minjauw and M. De Boodt. 1982. Redox potential, oxygen diffusion rate and soil gas composition in relation to water table level in two soils. **Soil Science** 134: 149-156.
- 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. J.** 44: 1096-1103.
- Calvert, D.V. and H.W. Ford. 1973. Chemical properties of acid sulfate soils recently reclaimed from Florida marshland. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 37: 367-371.
- Cassel, D. K., R. Lal. 1992. Soil physical properties of the tropics: common beliefs and management restraints, pp. 61-89. In R. Lal and P. A. Sanchez, eds. **Myths and Science of Soils of the Tropics.** Soil Science Society of America Special Publication No. 29, Madisom, WI, USA.
- Chang-pu, D., L. Zhi-guang and Y. Tian-ren. 1982. Determination of reducing substances in soils by a volumetric method. **Soil Science** 134: 252-257.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891-901. In C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties.** Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.

- Charman, P.E.V. and M.M. Roper. 1991. Soil organic matter, pp. 260-269. *In* P.E.V. Charman and B.W. Murphy, eds. **Soils-Their Properties and Management**. Sydney University Press, Sydney.
- Charoenchamratcheep, C., B. Tantisira, P. Chitnusun and V. Sin-Aiem. 1981. The effects of liming and fertilizer applications to acid sulfate soils for improvement of rice production in Thailand, pp. 157-171. *In* H. Dost and N. van Breemen, eds. **Proceedings of the Bangkok Symposium on Acid Sulphate Soils: Second International Symposium on Acid Sulphate Soils**. ILRI Publications 31. 18-24 January 1981. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Chen, M. and L.Q. Ma. 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 65: 491-499.
- Cheworth, W. 2008. **Encyclopedia of Soil Science**. Springer, Dordrecht.
- Chittleborough, D.J., P.H. Walker and J.M. Oades. 1984. Textural differentiation in Chronosequences from Eastern Australia, I. description, chemical properties and micromorphologies of soils. **Geoderma** 32: 181-202.
- Combs, S.M., J.L. Denning, and K.D. Frank. 1998. Sulfate-sulfur, pp. 35-40. *In* J.R. Brown, ed. **Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region**. North Central Regional Research Publication. Missouri Agricultural Experiment Station, Columbia, MO.
- Cook, F.J., W.Hicks, E.A. Gardner, G.D. Carlin and D.W. Froggat. 2000. Export of acidity in drainage water from acid sulphate soils. **Marine Pollution Bulletin** 41: 319-326.
- Couto, W. 1988. The fertility capability classification system, pp. 207-213. *In* **First Training Workshop on Site Selection and Characterization**. International Board for Soil Research and Management (IBSRAM). Technical Notes No. 1. Bangkok, Thailand.

Coyne, M.S. and J.A. Thompson. 2006. **Fundamental Soil Science**. Thomson, Australia.

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 Publishing, Boca Raton, FL.

Curtin, D. and J.K. Syers. 2001. Lime-induced changes in indices of soil phosphate availability. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 65: 147-152.

Dail, D.B., E.A. Davidson and J. Chorover. 2001. Rapid abiotic transformation of nitrate in an acid forest soil. **Biogeochemistry** 54: 131-146.

Darmody, R.G., D.S. Fanning, W.J. Drummond, Jr. and J.E. Foss. 1977. Determination of total sulfur in tidal marsh soils by X-ray spectroscopy. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 41: 761-765.

Davidescu, D. and V. Davidescu. 1982. **Evaluation of Fertility by Plant and Soil Analysis**. Abacus Press. Tunbridge Wells, Kent, England.

Day, P.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 545-567. *In* C.A. Black ed. **Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods**. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Dent, D. 1986. **Acid Sulphate Soils: A Baseline for Research and Development**. International Institute for Land Reclamation and Improvement ILRI, Wageningen, The Netherlands.

Dent, D. and L.J. Pons. 1995. A world perspective on acid sulphate soils. **Geoderma** 67: 263-276.

- Dent, D. and M.E.F. van Mensvoort. 1993. Acid sulfate soils, pp. 391-402. *In* D.L. Dent, M.E.F. van Mensvoort and L.A. Sullivan, eds. **Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils**. International Institute for Land Reclamation and Improvement: Wageningen, The Netherlands
- Douglas, L. A. and M. L. Thompson. 1985. **Soil Micromorphology and Soil Classification, with Glossary Supplement**. SSSA Spec. Publ. No. 15. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Ducloux, J., Y. Guero, P. Fallavier and S. Valet. 1994. Mineralogy of salt efflorescences in paddy field soils of Kollo, southern Niger. **Geoderma** 64: 57-61.
- 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.
- Embleton, C. and J. Thornes. 1979. **Process in Geomorphology**. Edward Arnold, London.
- Evans, C.E. and E.J. Kamprath. 1970. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 34: 893-896.
- Fageria, N.K., A.B. Santos, M.P.B. Filho and C.M. Guimaraes. 2008. Iron toxicity in lowland rice. **Journal of Plant Nutrition** 31: 1676-1697.
- Faithfull, N.T. 2002. **Methods in Agricultural Chemical Analysis**. CAB International, Wallingford, UK.
- Fanning, D.S. 2006. Acid sulfate soils. **Encyclopedia of Soil Science** 1: 11-13.
- Fanning, D.S. and M.C.B. Fanning. 1989. **Soil Morphology, Genesis and Classification**. John Wiley & Sons, New York.

- FAO. 1974. **FAO-UNESCO Soil Map of the World, 1:5,000,000**. Vol 10. UNESCO, Paris, France.
- FAO. 1976. **Agro-ecological Zones Project**. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Fernandes, E.C.M., P.P. Motavalli, C. Castilla and L. Mukurumbira. 1997. Managemet control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma** 79: 49-67.
- Fitzpatrick, E.A. 1986. **Soils: Their Formation, Classification and Distribution**. Longman, Essex.
- Fitzpatrick, E.A. 1993. **Soil Microscopy and Micromorphology**. Chichester, John Wiley & Sons, New York.
- Fitzpatrick, R.W., R.H. Merry, J. Williams, I. White, G. Bowman and G. Taylor. 1998. **Acid Sulfate Soil Assessment: Coastal, Inland and Minespoil Conditions**. Natuinal Land and Water Resources Audit Methods Paper. Canberra, Australia.
- Foy, C.D. 1984. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil, pp. 57-97. *In* F. Adams, ed. **Soil Acidity and Liming**. Amer. Soc. Agron., Madison, WI.
- Frenkel, H., J.O. Goertzen and J.D. Rhoades. 1978. Effect of clay type and content, exchangeable sodium percentage and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 42: 32-39.
- Fujita, Y., J.L. Taylor, T.L.T. Gresham, M.E. Delwiche, F.S. Colwell, T.L. McLing, L.M. Petzke and R.W. Smith. 2008. Stimulation of microbial hydrolysis in groundwater to enhance calcite precipitation. **Environ. Sci. Technol.** 42: 3025-3032.

- Gambrell, R.P. 1996. Manganese, pp. 665-682. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Poeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. **Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods.** Agronomy No. 5. SSSA Book Series. Madison, WI.
- Garcia-Guinea, J., J. Martinez-Frais and M. Harffy. 1998. Cell-Hosted Pyrite Framboids in Fossil Woods. **Naturwissenschaften** 85: 78-81.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, pp. 383-411. *In* A. Klute, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods.** 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Germida, J.J. 1999. Transformation of sulfur, pp. 433-462. *In* M.D. Sylvia, J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel and D.A. Zuberer, eds. **Principles and Applications of Soil Microbiology.** Prentice Hall, New Jersey.
- Gerrard, A.J. 1981. **Soils and Landforms: An Intergration of Geomorphology and Pedology.** George Allen and Unwin Ltd., London.
- Gilkes, R.J. and A. Suddhiprakarn. 1979. Biotite alteration in deeply weathered granite. 1. Morphological, mineralogical, and chemical properties. **Clays Clay Miner.** 27: 349-360.
- Gleisner, M., R.B. Herbert Jr, P.C.F. Kockum. 2006. Pyrite oxidation by *Acidithiobacillus ferrooxidans* at various concentrations of dissolved oxygen. **Chem. Geol.** 225: 16-29.
- Glendinning, J.S. 2006. **Australian Soil Fertility Manual.** 3rd ed. Fertilizer Industry Federation of Australia, CSIRO Publishing, Collingwood, Vic.
- Goldberg, S. and H.S. Foster. 1990. Flocculation of reference clays and arid-zone soil clay. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 54: 714-718.

- Goldish, S.S. 1938. A study in rock weathering. **J. Geol.** 46: 17-58.
- Gong Zi-tong. 1986. Biogeochemistry of red weathering crust in China, pp. 124-158.
In Institute of Soil Science, Academia Sinica, ed. **Proceedings of the International Symposium on Red Soils.** 20-29 November 1983. Sci. Press, Beijing, China.
- Greenland, D.J. 1997. **The Sustainability of Rice Farming.** International Rice Research Institute. Manila, Philippines.
- Gupta, R.K. and I.P. Abrol. 1990. Salt-Affected Soils: Their reclamation and management for crop production. **Adv. Soil Sci.** 11: 223-288.
- Hamblin, W.K. 1994. **Introduction to Physical Geology.** 2nd ed. Macmillan Publishing Company, New York.
- Hanks, R.J. and Ashcroft, G.L. 1980. **Applied Soil Physics: Soil Water and Temperature Applications.** Springer-Verlag, Berlin.
- Hart, R.D., W. Wiriyaakittateekul and R.J. Gilkes. 2003. Properties of soil kaolins from Thailand. **Clay minerals** 38: 71-94.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.M. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management.** 7th ed. Pearson Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New York.
- Heitholt, J.J., J.J. Sloan and C.T. MacKown. 2002. Copper, manganese and zinc fertilization effects on growth of soybean on a calcareous soil. **Plant Nutr.** 25: 1727-1740.
- Hillel, D. 1998. **Environmental Soil Physics.** Academic Press, San Diego, CA.

- Huang, P.M. 2005. Chemistry of soil potassium, pp. 227-292. *In* M.A. Tabatabai and D.L. Sparks, eds. **Chemical Processes in Soils**. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
- Humphries, J.M., J.C.R. Stangoulis and R.D. Graham. 2007. Manganese, pp. 351-374. *In* A.V. Barker and D.J. Pilbleam, eds. **Handbook of Plant Nutrition**. CRC Press, Taylor and Francis Group, New York.
- Husson, O., P.H. Verburg, Mai Thanh Phung and M.E.F. van. Mensvoort. 2000. Spatial variability of acid sulphate soils in the Plain of Reeds, Mekong delta, Vietnam. **Geoderma** 97: 1-19.
- 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. 1965a. Clay transformation in soil genesis during the Quaternary. **Soil Sci.** 99: 15-22.
- Jackson, M.L. 1965b. **Soil Chemical Analysis**. Advanced Course. Department of Soils, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.
- Janjirawuttikul, N., M. Umitsu and P. Vijarnsorn. 2010. Paleoenvironment of acid sulfate soils formation in the lower central plain of Thailand. **Res. J. Environ. Sci.** 4: 336-358.
- Janjirawuttikul, N., M. Umitsu and S. Tawornpruek. 2011. Pedogenesis of acid sulfate soils in the Lower Central Plain of Thailand. **Int. J. Soil Sci.** 6: 77-102.
- Javaid, A. and M.B.N. Shah. 2008. Use of parthenium weed as green manure for maize and mungbean production. **Philipp. Agric. Sci.** 91: 478-482.

- Jennings, P.R., W.R. Coffman and H.E. Kauffman. 1979. **Rice Improvement**. International Rice Research Institute. Manila, Philippines.
- Jones, A.A. 1982. X-ray fluorescence spectrometry, pp. 85-121. *In* A.L. Page, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties**. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Jones, M.B. 1986. Sulfur availability indexes, pp. 549-566. *In* M.A. Tabatabai, ed. **Sulfur in Agriculture**. Agronomy No. 27. ASA, CSSA and SSSA. Madison, WI.
- Juma, N.G. 2001. **The Pedosphere and Its Dynamics: A Systems Approach to Soil Science**. Salman Productions Inc., Edmonton, Alberta, Canada.
- Kawahigashi, M., N.M. Do, B.V. Nguyen and H. Sumida. 2008a. Effects of land developmental process on soil solution chemistry in acid sulfate soils distributed in the Mekong delta, Vietnam. **Soil Science and Plant Nutrition** 54: 342-352.
- Kawahigashi, M., N.M. Do, B.V. Nguyen and H. Sumida. 2008b. Effects of drying on the release of solutes from acid sulfate soils distributed in the Mekong delta, Vietnam. **Soil Science and Plant Nutrition** 54: 495-506.
- Kawahigashi, M., N.M. Do, B.V. Nguyen and H. Sumida. 2012. Effective land and water management for controlling solutes from acid sulfate soils in Mekong delta paddy fields. **Pedologist** 55: 458-465.
- Kawalec, A. 1973. Word distribution of acid sulfate soils, pp. 292-296. *In* H. Dost, ed. **Proceedings of the International Symposium on Acid Sulphate Soils**. ILRI Publications 18. 13-20 August 1972, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.

Kellman, M. and R. Tackaberry. 1997. **Tropical Environments: The Functioning and Management of Tropical Ecology**. Routledge, London.

Kelly, D.P. and A.P. Wood. 2000. Reclassification of some species of *Thiobacillus* to the newly designated genera *Acidithiobacillus* gen. nov., *Halothiobacillus* gen. nov. and *Thermithiobacillus* gen. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology** 50: 511-516.

Keren, R. 2000. Salinity, pp. G3-G21. In M.E. Sumner, ed. **Handbook of Soil Science**. CRC Press, Boca Raton, Fla.

Keser, M., B.F. Neubauer., F.E. Hutchison and D.H. Verril. 1977. Differential aluminum tolerance f sugarbeet cultivars, as evidenced by anatomical structure. **Agron. J.** 69: 347-350.

Kevie, W. van der, 1972. Morphology, genesis, occurrence and agricultural potential of acid sulphate soils in Central Thailand. **Thai J. Agric. Sci.** 5: 165-182.

Khare, N., D. Hesterberg and S.L. Wang. 2004. XANES determination of adsorbed phosphate distribution between ferrihydrite and boehmite in mixtures. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 68: 460-469.

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**. International Board for Soil Research and Management (IBSRAM). Technical Notes No. 3. Bangkok, Thailand.

Klein, C. and C.S. Hurlbut. 1999. **Manual of Mineralogy**. Wiley, New York.

- Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil, pp. 210-220. In C.A. Black ed. **Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods**. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Klute, A. and C. Dirken. 1986. Hydrolic conductivity and diffusivity: laboratory methods, pp. 687-732. In A. Klute, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods**. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Kodesova, R., A. Zigova, M. Rohoskova, V. Kodes and M. Kutilek. 2006. Soil Micromorphological study for assessment of soil porous system, soil hydraulic properties and structure stability. **Geophysical Research Abstracts** 8: 10474.
- Kononova, M.M. 1966. **Soil Organic Matter**. Pergamon Press, New York.
- Kopsell, D.E. and D.A. Kopsel. 2007. Copper, pp. 293-328. In A.V. Barker and D.J. Pilbleam, eds. **Handbook of Plant Nutrition**. CRC Press, Taylor and Fancis Group, New York.
- Krauskopf, K.B. and A. Beiser. 2000. **The Physical Universe**. McGraw-Hill, Boston, Mass.
- Thompson, G.R. and J. Turk. 1998. **Introduction to Physical Geology**. Saunders Colledge Pub., For Worth.
- Komes, A. 1978. Reclamation and maintenance of fertility of major soil in Thailand. **Thai J. Agric. Sci.** 6: 127-143.
- Kuo, S., P.E. Heilman and A.S. Baker. 1983. Distribution and Forms of copper, zinc, cadmium, iron and manganese in soils near a copper smelter. **Soil Science** 135: 101-109
- Kyuma, K. 2004. **Paddy Soil Science**. Kyoto University Press and Trans Pacifics Press, Kyoto, Japan.

- Ladouceur, F.A. and S. Kawia. 2008. Effect of supplied phytosiderophore on ^{59}Fe absorption and translocation in Fe-deficient barley grown hydroponically in low phosphorus media. **Soil Science and Plant Nutrition** 54: 560-565.
- Lal, R. 1979. Physical characteristics of soils of the tropics: determination and management, pp. 7-44. *In* R. Lal and D.J. Greenland, eds. **Soil Physical Properties and Crop Production in the Tropics**. John Wiley and Son, Inc., New York.
- Lal, R. 1980. Physical and mechanical characteristics of Alfisols and Ultisols, with particular reference to soils in the tropics, pp. 253-280. *In* B.K.G. Theng, ed. **Soil with Variable Charge**. New Zealand Society of Soil Science. Private Bag, Lower Hutt, Wellington.
- Lancelot, Y. 1973. Chert and silica diagenesis in sediments from the Central Pacific, pp. 377-405. *In* E.L. Winterer and J.I. Ewing, R.G. Douglas, R.D. Jarrard, Y. Lancelot, R.M. Moberly, T.C. Moore, P.H. Roth and S.O. Schlanger, eds. **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 17**. U.S. Govt. Printing Office, Washington.
- Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand**. Dept. of Land Development Ministry of Agri. and Coop., Bangkok.
- Lenoble, M.E., D.G. Blevins, R.E. Sharp and B.G. Cumbie. 1996. Prevention of aluminum toxicity with supplement boron. I. Maintenance of root elongation and cellular structure. **Plant Cell Environ.** 19: 1132-1142.
- Lewis, D.C. 1999. Sulfur, pp.221-228. *In* K.I. Peverill, L.A. Sparrow and D.J. Reuter, eds. **Soil Analysis: an Interpretation Manual**. CSIRO, Collingwood.
- Li, J., R.St.C. Smart, R.C. Schumann, A.R. Gerson and G. Levay. 2007. A simplified method for estimation of jarosite and acid-forming sulfates in acid mine wastes. **Science of the Total Environment** 373: 391-403.

- Lienemann, C.P., M. Monnerat, J. Dominik and D. Perret. 1999. Identification of stoichiometric iron-phosphorus colloids produced in a eutrophic lake. **Aquat. Sci.** 61: 133-149.
- Ljung, K., F. Maley, A. Cook and P. Weinstein. 2009. Acid sulfate soils and human health—a millennium ecosystem assessment. **Environ. Int.** 35: 1234-1242.
- Loeppert, R.H. and W.P. Inskeep. 1996. Iron. , pp. 639-664. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Poeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. **Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods.** Agronomy No. 5. SSSA Book Series. Madison, WI.
- London, J.R. 1991. **Booker of Tropical Soil Manual.** Booker Tate, Longman Scientific and technical, London.
- Loughman, F.C. 1969. **Chemical Weathering of the Silicat Minerals.** American Elsevier Publishing Co., New York.
- Macleane, L.C.W., T. Tyliczszak, P.U.P.A. Gilbert, D. Zhou, T.J. Pray, T.C. Onstott and G. Southam. 2008. A high-resolution chemical and structural study of framboidal pyrite formed within a low-temperature bacterial biofilm. **Geobiology** 6: 471-480.
- Mandal, 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.
- Marschner, H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil** 134: 1-20.
- Marshall, T.J. and J.W. Holmes. 1979. **Soil Physics.** Cambridge University Press, London.
- Mason, B and C.B. Moore. 1982. **Principles of Geochemistry.** Wiley, New York.

- McElnea, A.E. and C.R. Ahern. 2004. **Acid Sulfate Soils Laboratory Methods Guidelines**. Queensland Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland, Australia.
- McFarlane, J.D. 1999. Iron, pp. 295-301. *In* K.I. Peverill, L.A. Sparrow and D.J. Reuter, eds. **Soil Analysis: an Interpretation Manual**. CRIRO Publishing. Collingwood.
- McGregor, R.G. and S. Nieuwolt. 1998. **Tropical Climatology: An Introduction to the Climates of the Low Latitudes**. 2nd ed. John Wiley and Sons Ltd. Chichester.
- McLean, E.O. 1982. Soil pH and Lime Requirement, pp. 199-224. *In* A.L. Page, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties**. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- McLean, E.O. and M.E. Watson. 1985. Soil Measurement of plant-available potassium, pp. 277-308. *In* R.D. Munson, ed. **Potassium in Agriculture**. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Melo, V.F., B. Singh, C.E.G.R. Schaefer, R.F. Novais and M.P.F. Fontes. 2001. Chemical and mineralogical properties of kaolinite-rich Brazilian soils. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 65: 1324-1333.
- Mengel, K., and Kirkby, E.A. 2001. **Principles of Plant Nutrition**. 5th ed. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
- Micks, P., J.D. Aber, R.D. Boone and E.A. Davidson. 2004. Short-term soil respiration and nitrogen immobilization response nitrogen applications in control and nitrogen-enriched temperate forest. **Forest Ecology and Management** 196: 57-70.

- Miller, W.P. , H. Frenkel and K.D. Newman. 1990. Flocculation concentration and sodium/calcium exchange of kaolinitic soil clays. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 54: 346-351.
- Moorman, F.R. 1963. Acid sulfate soils (cat clay) of the tropics. **Soil Science** 95: 271-275.
- Moorman, F.R. and N. van Breemen. 1978. **Rice: Soil, Water, Land**. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Mortvedt, J.J. 1980. Micronutrient Soil Test Correlations and Interpretations, pp. 99-117. In T.R. Peck, J.T. Cope, Jr and D.A. Whitney, eds. **Soil Testing: Correlating and Interpreting the Analytical Results**. ASA Spec. Publ. No. 29. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, WI.
- Murphy, C.P. J.A. McKeague, L.M. Bresson, P. Bullock, M.J. Kooistra, R. Miedema and G. Stoops. 1985. Description of soil thin section: An international comparison. **Geoderma** 35: 15-37.
- National Soil Survey Center. 1996. **Soil Survey Laboratory Methods Manual**. United States Department of Agriculture, Natl. Soil Surv. Cent., Soil Surv. Lab, Soil Survey Investigation No. 42, Version 3.
- Nelson D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter, pp. 961-1010. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Poeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. **Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods**. Agronomy No. 5. SSSA Book Series. Madison, WI.
- Nhung, M.M. and F.N. Ponnampetuma. 1966. Effects of calcium carbonate, manganese dioxide, ferric hydroxide and prolonged flooding on chemical and electrochemical changes and growth of rice in a flooded acid sulfate soil. **Soil Science** 102: 29-41.

- Nursyamsi, D., K. Idris, S. Sabiham, D.A. Rachim and A. Sofyan. 2008. Dominant soil characteristics influencing available potassium on smectite soils. **Indonesian J. Agric.** 1: 121-131.
- Nye, P.H. 1961. Organic and nutrient cycles under a moist tropical forest. **Plant and Soil** 13: 333-346.
- Oilier, C.D. 1969. **Weathering**. Oliver and Boyd. Edinburgh.
- Ongprasert, S. 1991. Changes of some physical properties of the soil on sloping land under tradition and conservation farming systems, pp. 119-136. *In* T. Yoshida, Y. Kou, M. Nakano, M. Fukami, A. Ushikubo and Y. Sato, eds. **Dynamics and It's Control of Soils in Tropical Monsoon Regions: Report of Survey and Research in Thailand**. Ministry of Education, Science and Culture, Japan, Bangkok.
- Orlow, D.S. 1992. **Soil Chemistry**. A.A. Balkema Puplicher, Brookfield.
- Osborne, J.F. 1985. **End of Assignment Report on Technical Assistance to the Acid Sulphate Solis Improvement Project (ASSIP)**. Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, 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.
- O'Neal, A.M. 1952. **Pedology (translation from French)**. George Allen and Unwin Ltd., London.
- Pal, Y., R.J. Gilkes and M.T.F. Wong. 2002. Mineral sources of potassium to plant for seven soils from south-western. **Aust. J. Soil Res.** 40: 1357-1369.

- Pant, H.K. and K.R. Reddy. 2001. Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions. **J. Environ. Qual.** 30: 1474-1480.
- Parker, A. 1970. **Chemical and Mineralogical Analysis of Some Basic and Ultrabasic Rocks and Their Initial Weathering Products.** Geological Reports 4. Department of Geology. University of Reading.
- Pasricha, N.S. and R.L. Fox. 1993. Plant nutrient sulfur in the tropics and subtropics. **Advances in Agronomy** 50: 209-269.
- Patrick W.H., Jr. and R.E. Henderson. 1981. Reduction and reoxidation cycles of manganese and iron in flooded soil and in water solution. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 45: 855-859.
- Patrick W.H. and R.P. Gambrell and S.P. Faulkner. 1996. Redox measurements of soils, pp. 1255-1273. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Poepfert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. **Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods.** Agronomy No. 5. SSSA Book Series. Madison, WI.
- 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.
- Pedraza, P., C.K. Ytting, A.T. Funglsang, T.P. Jahn, J.K. Schjoerring and S. Husted. 2008. Manganese efficiency in barley: Identification and characterization of the metal ion transporter HvIRT1. **Plant Physiology** 148: 455-466.
- Peech, M. 1945. Determinations of exchangeable cations and exchange capacity of soils rapid micromethods utilizing and spectrophotometer. **Soil Science** 59: 25-28.

- Peech, M. 1965. Exchange acidity, pp. 905-913. In C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties**. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Peverill, K.I., L.A. Sparrow and D.J. Reuter. 1999. **Soil Analysis: An Interpretation Manual**. CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria, Australia.
- Piccolo, A. and J.S.C. Mbagwu. 1999. Role of hydrophobic components of soil organic matter on soil aggregate stability. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 63: 1801-1810.
- Ponnamperuma, F.N. 1977. **Behavior of Minor Elements Paddy Soils**. IRRI Research Paper Series No. 8. The International Rice Research Institute, Manila, Philippines.
- Ponnamperuma, F.N. and J.L. Solivas. 1981. Field amelioration of an acid sulfate soil for rice with manganese dioxide and lime, pp. 213-222. In H. Dost and N. van Breemen, eds. **Proceedings of the Bangkok Symposium on Acid Sulphate Soils: Second International Symposium on Acid Sulphate Soils**. ILRI Publications 31. 18-24 January 1981. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Pons, L.J. 1973. Outline of the genesis, characteristics, classification and improvement of acid sulphate soils, pp. 3-27. In H. Dost, ed. **Proceedings of the International Symposium on Acid Sulphate Soils**. 13-20 August 1972, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Pons, L.J. and N. van Breemen. 1982. Factors influencing the formation of potential acidity in tidal swamps, pp. 37-51. In H. Dost and N. van Breemen, eds. **Proceedings of the Bangkok Symposium on Acid Sulphate Soils: Second International Symposium on Acid Sulphate Soils**. ILRI Publications 31. 18-24 January 1981. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.

- Pons, L.J and W. van der Kevie. 1969. Acid Sulfate Soils in Thailand: Studied on the **Morphology, Genesis and Agricultural Potential of Soils with Cat Clay**. SSR. 81. Soil Survey Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand.
- Pope, G. 1995. Internal weathering in quartz grains. **Physical Geography** 16: 315-338.
- Poschenrieder, C., B. Gunse, I. Corrales and J. Barcelo. 2008. A glance into aluminum toxicity and resistance in plant. **Sci. Total Envir.** 400: 356-368.
- Poulton, S.W. and R. Raiswell. 2005. Chemical and physical characteristics of iron oxides in riverine and glacial meltwater sediments. **Chem. Geol.** 218: 203-221.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, pp. 1023–1031. In C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties**. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Quevauviller, P. 1998. **Method Performance Study for Speciation Analysis**. The Royal Society of Chemistry (RSC). MPG Books Ltd, Bodmin, Crnwall, UK.
- Quideau, S.A. 2002. Organic matter accumulation, pp. 891-894. In R. Lal, ed. **Encyclopedia of Soil Science**. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Rebertus, R.A., S.B. Weed and S.W. Buol. 1986. Transformations of biotite to kaolinite during saprolite-soil weatering. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 50: 810-819.
- Reed, S.T. and D.C. Martens. 1996. Copper, pp. 703-722. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Poeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. **Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods**. Agronomy No. 5. SSSA Book Series. Madison, WI.

- Reissenauer, H.M. 1975. Soil assays for the recognition of sulfur deficiency, pp. 182-187. *In* K.D. McLachlan, ed. **Sulfur in Australasian Agriculture**. Sydney University Press, Sydney.
- Rending, V.V. and H.M. Taylor. 1989. **Principle of Soil-Plant Interrelationships**. McGraw-Hill Publishing Company, New York.
- Richards, L.A. 1954. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils**. Handbook No. 60. U.S. Salinity Laboratory, United States Department of Agriculture, United States Government Printing Office, Washington, DC.
- 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.
- Römheld, V. and M. Nikolic. 2007. Iron, pp. 329-350. *In* A.V. Barker and D.J. Pilbleam, eds. **Handbook of Plant Nutrition**. CRC Press, Taylor and Fancis Group, New York.
- Sadio, S and M.E.F. van Mensvoort. 1993. Saline acid sulphate soils in Senegal, pp. 89-93. *In* D.L. Dent, M.E.F. van Mensvoort and L.A. Sullivan, eds. **Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils**. International Institute for Land Reclamation and Improvement: Wageningen, The Netherlands.
- Sahrawat, K.L. 2004. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. **Journal of Plant Nutrition** 27: 1471-1504.
- Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soil in the Tropics**. John Wiley and Son, Inc., New York.
- Sanchez, P.A., 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.

- 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
- Sanchez, P.A., W. Couto and S.W. Buol. 1982. The fertility capability soil classification system: Interpretation, application and modification. **Geoderma** 27: 283-309.
- 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.N. Anderson. 2005. **Soil Genesis and Geomorphology**. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Scheinost, A.C. and U. Schwertmann. 1999. Color identification of iron oxides and hydroxysulfates: Use and limitation. **Soil Sci. Soc. Amr. J.** 63: 1463-1471.
- Schulte, E.E. and K.A. Kelling. 1999. **Soil and Applied Manganese**. University of Wisconsin-Extension, Madison, Wisconsin, USA.
- Schulte, E.E. and K.A. Kelling. 2004. **Soil Calcium to Magnesium Ratios-Should You be Concerned?**. University of Wisconsin-Extension, Madison, Wisconsin, USA.
- Scott, N.M. and J. Munro. 1979. The sulphate status of soils from North Scotland. **J. Sci. Food Agric.** 30: 15-20.
- Senior, M. 1979. **Tropical Lands**. Longman, London.
- Sims, J.T. 1996. Lime Requirement, pp. 491-516. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Poeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. **Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods**. Agronomy No. 5. SSSA Book Series. Madison, WI.

- 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.** 94: 229-238.
- Smith, F.E. and E.A. Arsenault. 1996. Microwave-assisted sample preparation in analytical chemistry. **Talanta** 43: 1207-1268.
- Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual**. United States department of Agriculture Handbook No. 18. United States Department of Agriculture, United States Government Printing Office, Washington, DC.
- Soil Survey Staff. 1999. **Soil Taxonomy-A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. 2nd ed. Agriculture Handbook No. 436. Natural Resource Conservation Service, Washington, DC.
- Soil Survey Staff. 2010. **Key to Soil Taxonomy**. 11st ed. United States Department of Agriculture, Natural Resource Conservation Service, Washington, DC.
- Sparks, D.L. 1987. Potassium dynamics in soil. **Adv. Soil Sci.** 6: 1-63.
- Sparks, D.L. 1995. **Environmental Soil Chemistry**. Academic Press, Inc., California.
- Sposito, G. 2008. **The Chemistry of Soils**. Oxford University Press, New York.
- Stephen, J.T. and J.G. Graveel. 2003. **Laboratory Manual for Sil Science: Agricultural & Environmental Principles**. 8th ed. McGraw-Hall, Boston.
- Stoops, G., V. Marcelino and F. Mees. 2010. Micromorphological features and their relation to processes and classification: general guidelines and keys, pp. 15-35. *In* G. Stoops., V. Marcelino and F. Mees, eds. **Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths**. Elsevier, Amsterdam.

Storey, J.B. 2007. Zine, pp. 411-436. In A.V. Barker and D.J. Pilbeam, eds. **Handbook of Plant Nutrition**. CRC Press, Taylor and Francis Group, New York.

Stumm, W. and J.J. Morgan. 1996. **Aquatic Chemistry**. Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. 3rd ed. John Wiley and Sons. Inc. New York.

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.

Summer, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients, pp. 1201-1229. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Poepfert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. **Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods**. Agronomy No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA

Swietlik, D. 1999. Zinc nutrition in horticultural crops. **Horticultural Review** 23: 109-180.

Szabolcs, I. 1989. **Salt-Affected Soils**. CRC Press, Boca Raton, Fla.

Tabatabai, M.A. 1982. Sulfur, pp. 501-538. In A.L. Page, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties**. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.

Tabatabai, M.A. and J.M. Bremner. 1970. Comparison of some methods for determination of total sulfur in soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 34: 417-420.

Tahara, K., T. Yamahoshita, M. Norisada, I. Hasegawa, H. Kasshima, S. Sasak and K. Kojima. 2008. Aluminum distribution and reactive oxygen species accumulation in root tips of two melaleuca trees differing in aluminum resistance. **Plant Soil** 307: 167-178.

- Tan, K.H. 1993. **Principles of Soil Chemistry**. Marcel Dekker, Inc., NY.
- Tan, K.H. 2005. **Soil Sampling, Preparation and Analysis**. Taylor & Francis/CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Tawornpruek, S. 2005. **A Comparison of Properties of Red Oxisols Under Tropical Monsoonal Climate in Thailand**. Ph.D. Thesis, Kasetsart University.
- Thomas, G.W. 1982a. Exchangeable Cations, pp. 161-163. In C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties**. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Thomas, G.W. 1982b. Exchangeable Acidity, pp. 161-163. In C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties**. 2nd ed. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Thompson, M.L. and L. Ukrainczyk. 2002. Micas, pp. 431-466. In J.B. Dixon and D.G. Schulze, eds. **Soil Mineralogy with Environmental Application**. No. 7, SSSA Book Series. SSSA, Inc., Madison, WI.
- Tiessen, H. and C. Shang. 1998. Organic matter turnover in tropical land use systems, pp. 1-4. In L. Bergstrom and H. Kirchmann, eds. **Carbon and Nutrient Dynamics in Natural and Agricultural Tropical Ecosystems**. CAB International, Wallingford.
- Tiessen, H., E. Cuevas and P. Chacon. 2002. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature** 371: 783-785.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton and J.L. Havlin. 1993. **Soil Fertility and Fertilizers**. 5th ed. Macmillan, 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 Science** 32: 25-39.
- Tucker, S. 2008. **Determination of Inorganic Anion by Ion Chromatography**. Lachat Instruments, Linburgh Drive, Loveland, Colorado, USA.
- van Breemen, N. 1971. **Method of Analysis. I: Ground and Surface Water Samples. II: Sulfur Fractions in Soils. Laboratory Inform. Paper 3**. Soil Survey Division, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperative, Bangkok, Thailand.
- van Breemen, N. 1976. **Genesis and Solution Chemistry of Acid Sulfate Soils in Thailand**. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
- van Breemen, N. 1993. Acid sulfate soils, pp. 391-402. *In* D.L. Dent, M.E.F. van Mensvoort and L.A. Sullivan, eds. **Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils**. International Institute for Land Reclamation and Improvement: Wageningen, The Netherlands.
- van Breemen, N and K. Harmsen. 1975. Translocation of iron in acid sulfate soils: I. Soil morphology, and the chemistry and mineralogy of iron in a chronosequence of acid sulfate soils. **Soil. Sci. Soc. Amer. J.** 39: 1140-1148.
- van Breemen, N and L.J. Pons. 1978. Acid sulfate soils and rice, pp. 739-761. *In* International Rice Research Institute, ed. **Soils and Rice**. Los Banos, Laguna, Philippines.
- van Breemen, N and L.Q. Tri. 1988. Morphology and genesis of actual acid sulphate soils without jarosite in the Ha Tien Plain, Mekong delta, Vietnam, pp. 11-16. *In* H. Dost, ed. **Selected Paper of the Dakar Symposium on Acid Sulphate Soils**. ILRI Publications 44. 11-24 January 1986, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.

- van Mensvoort, M.E.F., Duong Van Ni and J. van der Schans. 1991. Improvement of acid sulphate soils by leaching with salt or brackish water, pp. 219-224. *In* P. Deturck and F.N. Ponnampereuma, eds. **Rice production on Acid Soils of the Tropics: Proceedings of and International Symposium**, 26-30 June 1989. Institute of Fundamental Studies, Kandy, Sri Lanka.
- Venterink, H.O., T.E. Davidsson, K. Kiehl and L. Leonardson. 2002. Impact of drying and re-wetting on N, P and K dynamics in a wetland soil. **Plant and Soil** 243: 119-130.
- Vijarnsorn, P. and H. Eswaran. 2002. **The Soil Resources of Thailand**. First Press LTD., Part. Bangkok, Thailand.
- Vijarnsorn, P. and J.B. Fehrenbacher. 1973. Characteristics and classification of three granite-derived soils in peninsular Thailand. **Geoderma** 9: 105-118.
- Virtasalo, J.J. and A.T. Kotilainen. 2008. Phosphorus forms and reactive iron in lateglacial, postglacial and brackish-water sediments of the Archipelago Sea, northern Baltic Sea. **Marine Geology** 22: 1-12.
- Vithana, C., L.A. Sullivan, R.T. Bush, E.D. Burton and S.G. Johnston. 2010. Quantifying retained acidity in acid sulfate soils materials: An evaluation of routine methods, pp. 96-99. *In* S.G. Johnston, ed. **Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science: Soil Solutions for a Changing World**, 1-6 August 2010. The congress, Brisbane, Qld.
- Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. **Advances in Agronomy** 37: 349-398.
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science** 37: 29-38.

Wallance, S. and U. Anderson. 1984. Aluminum toxicity and DNA synthesis in wheat roots. **Agron. J.** 76: 5-8.

Whittig, L.D. 1965. X-ray diffraction technique for inerals identification and mineralogical composition, pp. 671-698. In C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Propertes.** Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

Whittig, L.D. and W.R. Allardice. 1986. X-ray diffraction technique, pp. 671-698. In A. Klute, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods.** 2nd ed. Agronomy No. 9., Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.

Wilson, M.A., R. Burt, W.C. Lynn and L.C. Klameth. 1997. Total Elemental Analysisi Digestion Method Evaluation on Soils and Clays. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 28: 407-426.

Wiriyakitnateekul, W.P. 2005. **The Properties of Clays in Red and Yellow Soil of Thailand.** Ph.D. Dissertation, Kasetsart University.

Wissemeier, A.H. and W.J. Horst. 1992. Effects of light intensity on manganese toxicity symptoms and callose formation in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) **Plant and Soil** 143: 299-309.

Wivutvongvana, P. 1973. **Ammonium and Nitrate Changes and the Effect of Nitrate on pH and Redox Potential of Submerged Soils.** Soil Chemistry Assignment. Dept. of Soil Science, Oregon State University, Corvallis, OR.

Wysocki, D., P. Schoeneberger, H. LaGarry. 2000. Geomorphology of soil landscapes, pp. E-5-E-39. In M.E. Sumner, ed. **Handbook of Soil Science.** CRC Press, Boca Raton, FL.

- Yoothong, K., L. Moncharoen, P. Vijarnsorn and H. Eswaran. 1997. Clay mineralogy of Thai soils. **Applied Clay Science** 11: 357-371.
- Young, A. 1972. **Slopes**. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Young, A. 1976. **Tropical Soils and Soil Survey**. Cambridge University Press, Cambridge
- Zhao Qi-guo and Shi Hua. 1986. On the genesis, classification and characteristic of soils in tropical and subtropical China, pp. 197-228. *In* Institute of Soil Science, Academia Sinica, ed. **Proceedings of the International Symposium on Red Soils**. 20-29 November 1983. Sci. Press, Beijing, China.
- Zonn, S.V. 1986. Tropical and Subtropical Soil Science. Mir Publisher, Moscow.
- Fukue, M., Y. Fujimorim, Y.Sato, T. Nakagawa and C.N. Mulligan. 2008. Evidence of the production and dissolution of carbonate phases in bentonite formations. **Applied Clay Science** 47: 133-138.
- Zumberge, J.H., R.H. Rutford and J.L. Carter. 2003. **Laboratory Manual for Physical Geology**. McGraw-Hill, Boston, Mass.
- Zuo, X., X. Zhao, T. Zhang, Y. Guo, S. Wang and S. Drake. 2008. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dune under grazing and restoration in Horquin Sandy land, Northern China. **Soil Till. Res.** 99: 202-212.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

คำอธิบายหน้าตัดดิน (Soil profile description)

Pedon 1

I. Information on the site

Profile symbol	: Pedon 1
Soil name	: Ra-ngae series
Classification	: Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic
Date of examination	: May 24, 2013
Described by	: Irb Kheoruenromne, Jaruwat Chuaychoo, Pichamon Intamo, Tawatchai Inboonchuay, Tanabhatsakorn Sukitprapanon and Tanawan Limwikran
Location	: Ban Tha Jam, Tambon Chang Sai, Amphoe Phra Phrom, Changwat Nakhon Si Thammarat
Elevation	: Approximately 5 m (MSL)
Map sheet number	: 5025 III Coordination : 47P 0606532 ^E , 0919677 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Depression in former tidal flat
2. Surrounding land form	: Flat
3. Slope on which profile site	: 2% Aspect : South
Land use	: Left idle under grass, giant mimosa and sweet potato
Annual rainfall	: Approximately 2,400 mm
Mean temperature	: Approximately 27 °C
Climate	: Tropical Monsoonal
Other	: Agricultural

II. General information on the soil

Parent material	: Mixed alluvial, organic and brackish deposits
Drainage	: Poorly drained
Permeability	: Moderate
Runoff	: Slow
Depth of groundwater	: 25 cm at time of sampling

III. Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Apg	0-20	Light gray (10YR 7/1), many fine distinct strong brown (7.5YR 5/8) and common fine prominent yellowish red (5YR 5/8) mottles; clay; weak fine and medium subangular blocky structure and semi-massive; very hard (dry), firm (moist), very sticky and very plastic; very few fine cracks and few fine pressure faces; very few very fine vesicular pores; common fine and very fine roots and few coarse roots; few traces of dead roots; slightly acid (field pH 6.5); clear and smooth boundary to Bg1.
Bg1	20-50	Light gray (10YR 7/1), common medium prominent yellowish red (10YR 5/8) and common fine faint brownish yellow (10YR 6/6) mottles; clay; weak fine and medium subangular blocky structure and semi-massive; very hard (dry), firm (moist), moderately sticky and very plastic; very few fine cracks and few fine pressure faces; very few very fine vesicular pores; few fine and very fine roots; common traces of dead roots and few jarosite mottles; moderately acid (field pH 6.0); clear and smooth boundary to Bg2.

Bg2	50-75	Gray (7.5YR 6/1), common medium prominent reddish yellow (7.5YR 6/8) and common fine distinct dark yellowish brown (10YR 4/6) mottles; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; very hard (dry), slightly firm (moist), moderately sticky and very plastic; few fine cracks and common fine pressure faces; very few very fine and fine vesicular pores; few very fine, fine and medium roots; common traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); abrupt and smooth boundary to Oag.
Oag	75-100	Very dark grayish brown (10YR 3/2), many medium distinct strong brown (7.5YR 4/6); clay; weak fine and medium subangular blocky structure; slightly hard (dry), slightly firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; common organic materials; very few very fine and fine vesicular pores; very few very fine and fine roots; common sapric materials; extremely acid (field pH 4.0); clear and smooth boundary to Oeg.
Oeg	100-125	Black (10YR 2.5/1); clay; weak fine and medium subangular blocky structure; friable (dry), friable (moist), moderately sticky and moderately plastic; many organic materials; very few very fine and fine vesicular pores; very few very fine and fine roots; many hemic materials; very strongly acid (field pH 4.5); abrupt and smooth boundary to 2Cg.
2Cg	125-150+	Dark gray (10YR 4/1); clay; massive; hard (dry), very firm (moist), very sticky and very plastic; few organic materials; very few very fine and fine vesicular pores; practically no roots; common traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.5).

Pedon 2

I. Information on the site

Profile symbol	: Pedon 2
Soil name	: Munoh series
Classification	: Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic
Date of examination	: May 24, 2013
Described by	: Irb Kheoruenromne, Jaruwat Chuaychoo, Pichamon Intamo, Tawatchai Inboonchuay, Tanabhatsakorn Sukitprapanon and Tanawan Limwikran
Location	: Ban Thong Chang, Tambon Leam, Amphoe Hua Sai, Changwat Nakhon Si Thammarat
Elevation	: Approximately 1 m (MSL)
Map sheet number	: 5025 III Coordination : 47P 0627820 ^E , 0883209 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Former Tidal Flat
2. Surrounding land form	: Flat
3. Slope on which profile site	: 2 % Aspect : South
Land use	: Left idle under grass, oil palm, pine, bamboo, coconut and para rubber
Annual rainfall	: Approximately 2,400 mm
Mean temperature	: Approximately 27 °C
Climate	: Tropical Monsoonal
Other	: Agricultural

II. General information on the soil

Parent material	: Brackish deposits
Drainage	: Poorly drained
Permeability	: Slow
Runoff	: Slow
Depth of groundwater	: 90 cm at time of sampling

III. Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Apg	0-15/30	Gray (5YR 6/1), common fine prominent yellowish brown (10YR 5/8) and common fine prominent brownish yellow (10YR 6/6) jarosite mottles; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; very hard (dry), very firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and simple tubular pores; many very fine, fine and few medium roots; common traces of dead roots; extremely acid (field pH 4.0); abrupt and wavy boundary to B _g 1.
B _g 1	30-60	Gray (7.5YR 6/1), common coarse distinct brownish yellow (10YR 6/6) and common medium distinct yellow (10YR 7/6) jarosite mottles; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; very hard (dry), very firm (moist), very sticky and very plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and simple tubular pores; common very fine, fine and few medium roots; common traces of dead roots; extremely acid (field pH 4.0); clear and smooth boundary to B _g 2.

Bjg2	60-75	Brown (7.5YR 4/3), common medium distinct brownish yellow (10YR 6/8) jarosite mottles and common medium prominent light reddish brown mottles (2.5YR 7/4) jarosite mottles; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; very hard (dry), very firm (moist), moderately sticky and very plastic; few fine cracks and small pressure faces; very few very fine and fine vesicular pores and few simple and simple tubular pores; few very fine and fine roots and medium roots; common traces of dead roots; extremely acid (field pH 4.0); clear and smooth boundary to Bjg3.
Bjg3	75-105	Gray (7.5YR 6/1), common medium distinct brownish yellow (10YR 6/8) jarosite mottles and common fine prominent dark yellowish brown (10YR 3/6) mottles; clay; weak medium and coarse subangular blocky structure; very hard (dry), very firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks and small pressure faces; few very fine and fine vesicular and few fine simple tubular pores; few very fine and fine roots and medium roots; common traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); clear and smooth boundary to Bjg4.
Bjg4	105-130	Gray (10YR 6/1), common medium prominent brownish yellow (10YR 6/8) jarosite mottles and common medium prominent dark brown (7.5YR 3/4) mottles; silty clay loam; weak medium and coarse subangular blocky structure; very hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and simple tubular pores; few very fine and fine roots and medium roots; common traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); gradual and smooth boundary to Bjg5.
Bjg5	130-155	Gray (10YR 6/1), common fine prominent pale yellow (5Y 7/4) and common fine prominent brownish yellow (10YR 6/8) jarosite mottles; silty clay loam; weak coarse subangular blocky structure and semi-massive; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and simple tubular pores; few very fine and fine roots and medium roots; common traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); clear and smooth boundary to Cg.
Cg	155-170+	Light gray (Gray 7/N); silty clay loam; weak coarse subangular blocky structure and semi-massive; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few very fine and fine vesicular and simple tubular pores; very few very fine and fine roots; few traces of dead roots; slightly acid (field pH 6.5).

Pedon 3

I. Information on the site

Profile symbol	: Pedon 3
Soil name	: Munoh series
Classification	: Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic
Date of examination	: May 24, 2013
Described by	: Irb Kheoruenromne, Jaruwat Chuaychoo, Pichamon Intamo, Tawatchai Inboonchuay, Tanabhatsakorn Sukitprapanon and Tanawan Limwikran
Location	: Ban Samet Ngam, Tambon Khreng, Amphoe Chnauard, Changwat Nakhon Si Thammarat
Elevation	: Approximately 4 m (MSL)
Map sheet number	: 4925 I Coordination : 47P 0624871 ^E , 0880320 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Former tidal flat
2. Surrounding land form	: Flat
3. Slope on which profile site	: 2% Aspect : South
Land use	: Samed (<i>Melaleuca cajuputi</i> Powell) Forest, Kuan Kreng marsh
Annual rainfall	: Approximately 2,400 mm
Mean temperature	: Approximately 27 °C
Climate	: Tropical Monsoonal
Other	: Environmental, preserved to maintain good natural environment

II. General information on the soil

Parent material	: Organic materials over brackish deposits
Drainag	: Poorly drained
Permeability	: Moderate
Runoff	: Slow
Depth of groundwater	: 70 cm at time of sampling

III. Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Ag	0-15/30	Black (5YR 2.5/1), common fine distinct strong brown (7.5YR 4/6) mottles; silty clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard (dry), slightly firm (moist), moderately sticky and slightly plastic; organic roots; very few very fine, few fine and medium vesicular pores; many very fine, fine and medium roots; many traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); abrupt and wavy boundary to Bg.
Bjg1	30-50	Gray (7.5YR 6/1), common medium prominent yellowish brown (10YR 5/8) and common coarse prominent yellow (2.5Y 7/8) jarosite mottles; clay loam; weak coarse angular blocky structure; very hard (dry), very firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks and pressure faces; very few very fine and fine vesicular few fine tubular pores; common very fine and fine roots; very few fine clay balls; very few traces of dead roots; many traces of dead roots; extremely acid (field pH 4.0); clear and smooth boundary to Bg.

Bjg2	50-80	Gray (10YR 6/1), many medium prominent yellow (2.5Y 7/8) jarosite mottles and common fine distinct dark yellowish brown (10YR 4/6) mottles; silty clay; weak coarse subangular blocky structure and semi-massive; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and very plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and simple tubular pores; many very fine and fine roots; many traces of dead roots; extremely acid (field pH 4.0); gradual and smooth boundary to BCg.
BCg	80-110	Gray (2.5Y 5/1), common coarse prominent yellow (10YR 7/8) jarosite mottles; silty clay; massive; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and simple tubular pores; common very fine, fine and few medium roots; many traces of dead roots; extremely acid (field pH 4.0); clear and smooth boundary to Cg1.
Cg1	110-130	Greenish gray (Gray 5/10Y); silty clay; massive; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and simple tubular pores; few very fine and fine roots; many traces of dead roots; very strongly acid (field pH 4.5); gradual and smooth boundary to Cg2.
Cg2	130-150+	Greenish gray (Gray 5/10Y); silty clay; massive; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and simple tubular pores; very few very fine roots; few traces of dead roots; slightly acid (field pH 6.5).

Pedon 4

I. Information on the site

Profile symbol	: Pedon 4
Soil name	: Munoh series
Classification	: Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic
Date of examination	: May 25, 2013
Described by	: Irb Kheoruenromne, Jaruwat Chuaychoo, Pichamon Intamo, Tawatchai Inboonchuay, Tanabhatsakorn Sukitprapanon and Tanawan Limwikran
Location	: Ban Sa Phleng, Tambon Thang Phun, Amphoe Chalerm Phrakiate, Changwat Nakhon Si Thammarat
Elevation	: Approximately 2 m (MSL)
Map sheet number	: 5025 III Coordination : 47P 0612304 ^E , 0906146 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Former tidal flat
2. Surrounding land form	: Flat
3. Slope on which profile site	: 2 % Aspect : East
Land use	: Left idle under grass
Annual rainfall	: Approximately 2,400 mm
Mean temperature	: Approximately 27 °C
Climate	: Tropical Monsoonal
Other	: Agricultural, oil palm and sugar palm

II. General information on the soil

Parent material	: Organic materials over brackish deposits
Drainage	: Poorly drained
Permeability	: Rapid
Runoff	: Slow
Depth of groundwater	: 30 cm at time of sampling

III. Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Apg	0-15/20	Black (5YR 2.5/1), common fine prominent dark yellowish brown (10YR 3/6) mottles; silty clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard (dry), firm (moist), slightly sticky and slightly plastic; very few fine cracks; few very fine and fine vesicular and common fine tubular pores; many very fine and few medium and coarse roots; common traces of dead roots; extremely acid (field pH 4.0); abrupt and smooth boundary to Btg1.
Btg1	20-50	Grayish brown (10YR 5/2), common fine prominent yellowish brown (10YR 5/8) and common fine distinct brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and very plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and few fine and medium tubular pores; common very fine, fine and few medium roots; common traces of dead roots and slide block of soils; extremely acid (field pH 4.0); clear and smooth boundary to Btg2.

Bjg2	50-70	Grayish brown (10YR 5/2), common medium prominent yellowish brown (10YR 5/8) and common fine distinct yellowish brown (10YR 5/6) jarostie mottles; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard (dry), firm (moist), very sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and fine tubular pores; common very fine, fine and medium roots; common traces of dead roots; extremely acid (field pH 4.0); clear and smooth boundary to Bjg3.
Bjg3	70-110	Gray (10YR 6/1), common medium prominent yellow (5Y 7/8) and common medium prominent pale yellow (5Y 7/4) jarostie mottles; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard (dry), firm (moist), very sticky and moderately plastic; few fine cracks and very few pressure faces; very few very fine, common fine and few medium vesicular and few fine tubular pores; common very fine, fine and medium roots; common traces of dead roots; extremely acid (field pH 4.0); clear and smooth boundary to BCg.
BCg	110-130+	Light gray (Gray 7/N), common medium prominent yellow (5Y 7/6) and common medium prominent brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles; clay; weak coarse angular blocky structure and semi-massive; slightly hard (dry), firm (moist), very sticky and very plastic; few fine cracks; very few very fine vesicular and few fine and medium tubular pores; few traces of dead roots; extremely acid (field pH 4.0).

Pedon 5

I. Information on the site

Profile symbol	: Pedon 5
Soil name	: Ra-ngae-non acid variant
Classification	: Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic
Date of examination	: May 25, 2013
Described by	: Irb Kheoruenromne, Jaruwat Chuaychoo, Pichamon Intamo, Tawatchai Inboonchuay, Tanabhatsakorn Sukitprapanon and Tanawan Limwikran
Location	: Ban Don Tro, Tambon Don Tro, Amphoe Chalerm Phrakiate, Changwat Nakhon Si Thammarat
Elevation	: Approximately 4 m (MSL)
Map sheet number	: 5025 III Coordination : 47P 0616175 ^E , 0906727 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Former lower tidal flat
2. Surrounding land form	: Flat
3. Slope on which profile site	: 1 % Aspect : Northwest
Land use	: Left fallow after rice planting
Annual rainfall	: Approximately 2,400 mm
Mean temperature	: Approximately 27 °C
Climate	: Tropical Monsoonal
Other	: Agricultural mixed with spaces native species

II. General information on the soil

Parent material	: Mixed marine deposits and riverine alluvium
Drainage	: Poorly drained
Permeability	: Slow
Runoff	: Slow
Depth of groundwater	: Deeper than 180 cm at time of sampling

III. Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Apg	0-20	Dark gray (7.5YR 4/1), many fine faint strong brown (7.5YR 5/8) mottles; silty clay loam; strong coarse angular blocky structure; very hard (dry), very firm (moist), moderately sticky and very plastic; common very fine, few fine and medium vesicular and few fine tubular pores; common very fine, fine and medium roots; common traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); abrupt and smooth boundary to Bg1.
Bg1	20-45	Gray (7.5YR 5/1), many coarse distinct brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; very hard (dry), very firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; neutral (field pH 7.0); clear and smooth boundary to Bg2.

Bg2	45-70	Gray (5Y 6/1), few medium faint olive (5Y 4/4) and many fine prominent brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles; clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks and pressure faces and common iron and manganese soft separations; few very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; common traces of dead roots; moderately alkaline (field pH 8.0); clear and smooth boundary to Bg3.
Bg3	70-98	Greenish gray (Gray 1 6/10Y), common medium prominent brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles and few medium prominent dark reddish brown (2.5YR 3/4); silty clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks and pressure faces; few very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few traces of dead roots; moderately alkaline (field pH 8.0); clear and smooth boundary to Bg4.
Bg4	98-125	Greenish gray (Gray 2 6/10G), common faint prominent strong brown (7.5YR 5/8) and common faint prominent brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles; silty clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks and pressure faces and slickensides; very few very fine, common fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few traces of dead roots; moderately alkaline (field pH 8.0); clear and smooth boundary to Bg5.
Bg5	125-153	Greenish gray (Gray 2 6/10G), common medium prominent strong brown (7.5YR 4/6) mottles; silty clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks and pressure faces and slickensides; very few very fine, common fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few traces of dead roots; moderately alkaline (field pH 8.0); clear and smooth boundary to Bg6.
Bg6	153-185+	Greenish gray (Gray 1 6/5G), common medium prominent yellowish brown (10YR 5/8) mottles; silty clay; weak coarse angular blocky structure and semi-massive; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks and pressure faces and slickensides; very few very fine, common fine vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine and medium roots; few traces of dead roots; moderately alkaline (field pH 8.0).

Pedon 6

I. Information on the site

Profile symbol	: Pedon 6
Soil name	: Munoh-non acid variant
Classification	: Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic
Date of examination	: May 26, 2013
Described by	: Irb Kheoruenromne, Jaruwat Chuaychoo, Pichamon Intamo, Tawatchai Inboonchuay, Tanabhatsakorn Sukitprapanon and Tanawan Limwikran
Location	: Ban Thung Thap Khwai, Tambon Thang Phun, Amphoe Chalerm Phrakiate, Changwat Nakhon Si Thammarat
Elevation	: Approximately 4 m (MSL)
Map sheet number	: 5021 IV Coordination : 47P 0611082 ^E , 0910768 ^N
Landform	
1. Physiographic position	: Former tidal flat
2. Surrounding land form	: Flat
3. Slope on which profile site	: 2 % Aspect : North
Land use	: Left idle under grass
Annual rainfall	: Approximately 2,400 mm
Mean temperature	: Approximately 27 °C
Climate	: Tropical Monsoonal
Other	: Settlement and agricultural (coconut, para rubber, oil palm) and remnant of native species

II. General information on the soil

Parent material	: Brackish deposits
Drainage	: Poorly drained
Permeability	: Slow
Runoff	: Slow
Depth of groundwater	: 100 cm at time of sampling

III. Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Apg	0-20/23	Gray (10YR 5/1), common medium prominent yellowish brown (10YR 5/8) mottles; silty clay; strong medium and coarse angular blocky structure; very hard (dry), very firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and common fine vesicular and few fine tubular pores; common very fine, fine and few medium roots; common traces of dead roots; neutral (field pH 7.0); abrupt and smooth boundary to Bg1.
Bg1	23-40	Light gray (10YR 7/1), many coarse faint brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles and common fine prominent red (2.5YR 4/8) mottles; silty clay; strong fine and medium subangular blocky structure; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; very few fine cracks; few very fine, fine and medium vesicular and few fine tubular pores; few very fine, fine, medium and large roots; common traces of dead roots; neutral (field pH 7.0); gradual and smooth boundary to Bg2.

Bg2	40-65	Light reddish gray (2.5YR 7/1) many coarse prominent brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles and few faint prominent strong brown (7.5YR 4/6) mottles; silty clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; few fine, medium and large roots; common traces of dead roots; moderately alkaline (field pH 8.0); clear and smooth boundary to Bg3.
Bg3	65-100	Light reddish gray (2.5YR 7/1) many coarse prominent brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles and common faint distinct yellowish red (5YR 5/8) mottles; silty clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; few fine cracks; few very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; few fine, medium and large roots; common traces of dead roots; moderately alkaline (field pH 8.0); clear and smooth boundary to Bg4.
Bg4	100-125	Light gray (5Y 7/1), many coarse prominent brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles and common medium prominent red (2.5YR 5/8) mottles; silty clay; weak coarse angular blocky structure and semi-massive; very hard (dry), very firm (moist), moderately sticky and very plastic; few fine cracks and dark bands of krotovinas; few very fine and fine vesicular and few fine tubular pores; few fine, medium and large roots; common traces of dead roots; moderately alkaline (field pH 8.0); clear and smooth boundary to Bg5.
Bg5	125-150	Light gray (10YR 7/1), common coarse faint brownish yellow (10YR 6/8) jarostie mottles and common fine prominent red (2.5YR 5/8) and common medium faint yellowish brown (10YR 5/8) mottles; silty clay; weak coarse angular blocky structure and semi-massive; very hard (dry), very firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; very few fine cracks; very few very fine and few fine vesicular and tubular pores; few fine, medium and large roots; common traces of dead roots; moderately alkaline (field pH 8.0); abrupt and smooth boundary to BCg.
BCg	150-170+	Gray (10YR 5/1), common medium faint yellowish brown (10YR 5/8) and common medium distinct brown (7.5YR 4/4) mottles; silty clay; weak coarse angular blocky structure and semi-massive; hard (dry), firm (moist), moderately sticky and moderately plastic; some plant decays and patches of fine sand accumulations; very few very fine and few fine vesicular and tubular pores; very few fine and medium roots; few traces of dead roots; moderately alkaline (field pH 8.0).



ภาคผนวก ข

คำอธิบายลักษณะทางจุลทัศน์ฐานวิทยาของดิน (Soil Micromorphology)

Pedon 1 Ra-ngae series; Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
Apg	0-20	<u>Microstructure</u> Channels structure; voids are channels and planar voids (fissures). Estimated total void space 5% of the thin section areas. <u>Basic mineral components</u> The c/f limit at 10 μm, ratio of 1:99 Coarse fraction: Rare single quartz grains, silt size to very fine sand sizes, subrounded. Fine fraction: reddish brown and yellowish brown, clay size material, dotted and speckled appearance under transmitted light. <u>Basic organic components</u> Generally are highly decomposed amorphous organic fine material which give reddish brown and yellowish brown locally staining to the micromass and few plant tissue residues and punctuation. <u>Groundmass</u> The c/f related distribution pattern is clay monic, the b-fabric of the micromass generally is stipple-speckled striated, few mosaic speckled b-fabric. <u>Pedofeatures</u> not present.
Bg1	20-50	Similar to above horizon but the fine material is much more increase in sericite. Voids generally are planar voids and vesicles. Estimated total void space 10% of the slide areas. The organic components are much more decreased and generally present as the color staining to the micromass
Bg2	50-75	Similar to upper horizon, but the strong brown and yellowish red color stainings slightly decrease.
Oag	75-100	The soil material mainly is highly decomposed plant tissues, various size and shape mixed with clay, yellowish brown in color and have mosaic speckled b-fabric.
Oeg	100-125	Clay, pale gray color increases and the organic components much more decrease.
2Cg	125-150+	Similar to upper horizon, but highly decomposed plant tissues generally have parallel orientation.

Pedon 2 Munoh series; Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
Apg	0-15/30	<u>Microstructure</u> Channels structure; voids mainly are channels and few planar voids. Estimated total void space 20% of the thin section areas. <u>Basic mineral components</u> The c/f limit at 10 μm, ratio of 5:95 Coarse fraction: Mainly are single quartz grains, few sericites, silt size, well sorted. Fine fraction: Dark grayish brown, clay to fine silt size material, dotted and speckled appearance under transmitted light. <u>Basic organic components</u> Abundant in amorphous organic fine material and few plant tissue residues which remains in voids and soil material. <u>Groundmass</u> The c/f related distribution pattern is nearly clay monic, the b-fabric of the micromass is stipple-speckled b-fabric. <u>Pedofeatures</u> not present.
Bjg1	30-60	The organic material much more decreases, the c/f ratio is approx 5:95. Estimated total void space decreases to occupy about 10%. The b-fabric of the micromass is mosaic speckled b-fabric. The amorphous pedofeature is the jarosite occurred as coatings on the wall of void and covers about 2-4%.
Bjg2	60-75	Voids generally are vughs and vesicles structure. The c/f limit at 10 μ m, ratio of 20:80. Increasing in very fine sand sized of single quartz gains which locally accumulated. Estimated total void space 10% of the slide areas. Fine fraction is pale brown to grayish brown and having mosaic speckled b-fabric. The amorphous pedofeature is dark brown iron oxide aggregate nodules locally impregnated s-matrix and present about 2%.
Bjg4	105-130	Similar to upper horizon, but the basic organic components are very few and present as yellowish brown highly decomposed plant tissues remained in voids.
Bjg5	135-155	Similar to upper horizon, but the jarosite infilled in voids present about 3% of the thin section areas.
Cg	155-170+	Similar to upper horizon, but the framboidal pyrite could be observed and disseminated throughout s-matrix

Pedon 3 Munoh series; Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
Ag	0-15/30	<u>Microstructure</u> Channels structure; voids are channels and vesicles (diameter 100-300 μm) planar voids. Estimated total void space 15% of the thin section areas. <u>Basic mineral components</u> The c/f limit at 10 μm, ratio of 5:95 Coarse fraction: Mainly are single quartz grains, few sericites, silt to very fine sand sizes, subrounded, well sorted. Fine fraction: grayish brown, clay to fine silt sized material, dotted and speckled appearance under transmitted light. <u>Basic organic components</u> Abundant amorphous organic fine material and moderately to highly decomposed plant tissue residues and punctuation. <u>Groundmass</u> The c/f related distribution pattern is open porphyric, the b-fabric of the micromass is stipple-speckled b-fabric. <u>Pedofeatures</u> not present.
Bg	30-50	The fine material decreases, the c/f ratio is approx 10:90. Estimated total void space increases to 10% of the slide areas. Fine fraction is gray and mosaic speckled b-fabric. The basic organic components are moderately to highly decomposed plant tissues remained in voids.
Bjg	50-80	Similar to the overlying horizon, but the silt size to very fine sand size quartz grains slightly increase, the c/f ratio is approx 15:85. The organic pigment staining to the micromass and the punctuation are increased.
Cg	130-150+	Similar to upper horizon, but the framboidal pyrite could be observed and disseminated throughout s-matrix.

Pedon 4 Munoh series; Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
Apg	0-15/20	<u>Microstructure</u> Channels structure; voids mainly are channels, few short planar voids and vughs. Estimated total void space 15% of the thin section areas. <u>Basic mineral components</u> The c/f limit at 10 μm, ratio of 10:90 Coarse fraction: Mainly are single quartz grains, silt to very fine sand sized, well sorted; frequent sericite. Fine fraction: grayish brown, clay to fine silt sized material, dotted and speckled appear under transmitted light. <u>Basic organic components</u> Abundant amorphous organic fine material and moderately to highly decomposed plant tissue residues, common punctuation and the organic pigment staining to the micromass. <u>Groundmass</u> The c/f related distribution pattern is open porphyric, the b-fabric of the micromass is stipple-speckled to undifferentiated. <u>Pedofeatures</u> not present.
Bjg1	20-50	The fine material decreases, the c/f ratio is approx 15:85. Estimated total void space increases to 10% of the slide areas, the basic organic components decrease and mostly are amorphous organic fine material remained in voids. Amorphous pedofeature is jarosite occurred as coatings on the wall of voids and present about 10% of the thin section areas.
Bjg3	70-110	Similar to upper horizon. But the c/f ratio is approx 5:95. Estimated total void space increases to 20% of the slide areas. Fine fraction is various shades of grayish brown and has mosaic speckled b-fabric. The basic organic components are highly decomposed plant tissue residues, various sizes, and distribute throughout s-matrix.
BCg	110-130	Similar to upper horizon, but the framboidal pyrite could be observed and disseminated throughout s-matrix.

Pedon 5 Ra-ngae-non acid variant; Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
Apg	0-20	<u>Microstructure</u> Channels structure; voids mainly are channels and few planar voids. Estimated total void space 20% of the thin section areas. <u>Basic mineral components</u> The c/f limit at 10 μm, ratio of 10:90 Coarse fraction: Mainly are single quartz grains, silt to very fine sand sizes, subrounded, well sorted. Fine fraction: grayish brown and brown, clay to fine silt sized material, dotted and speckled appearance under transmitted light. <u>Basic organic components</u> Dominant amorphous organic fine material, punctuation and the organic pigment, very few living plant tissue residues, which some remains in voids. <u>Groundmass</u> The c/f related distribution pattern is open porphyric, the b-fabric of the micromass is stipple-speckled b-fabric. <u>Pedofeatures</u> not present.
Bg1	20-45	Similar to the upper horizon. The organic pigment decreases and the fine material is various shades of yellowish brown and brown clay materials.
Bg3	70-98	The coarse fraction mainly are very fine sand size of quartz grains. The c/f ratio is approx 10:90. The organic components are very few and present as organic pigment locally staining to the micromass. Few carbonate materials present as nodules (size 1 mm) and coated on the wall of voids cover about 5%.
Bg4	98-125	Similar to upper horizon, but the coarse fraction slightly decreases, the c/f ratio is approx 5:95 and clay has higher interference color. The carbonate material impregnated s-matrix covers about 10%.
Bg5	125-153	Similar to upper horizon, but the amorphous pedofeature generally is manganese oxide (dendritic pattern) locally impregnated s-matrix and coated on the wall of voids covers about 15% of the thin section areas.

Pedon 6 Munoh-non acid variant; Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic

Horizon	Depth (cm)	Description
Apg	0-20/23	<u>Microstructure</u> Angular blocky structure, various sized peds. Voids are accommodated planar voids. Estimated total void space 15% of the thin section areas. <u>Basic mineral components</u> The c/f limit at 10 μm, ratio of 10:90 Coarse fraction: Mainly are single quartz grains, silt to very fine sand sizes few coarse sand size (1,000 μm), subrounded, poorly sorted. Fine fraction: Yellowish brown grading to brownish yellow, clay to fine site size material, dotted and speckled appearance under transmitted light. <u>Basic organic components</u> Mainly are organic pigments staining to the micromass and punctuation, few moderately to highly decomposed plant tissues and few soil animal remains. <u>Groundmass</u> The c/f related distribution pattern is open porphyric, the b-fabric of the micromass is stipple-speckled b-fabric. <u>Pedofeatures</u> not present.
Bg1	23-40	Coarse fraction increases, the c/f ratio is approx 15:85. The soil material is much more impregnated with amorphous iron oxide mixed with humic substance, weakly to moderately impregnated and giving yellowish brown to reddish brown color. The b-fabric of the micromass is mosaic speckled to undifferentiated b-fabric.
Bg3	60-100	Similar to above horizon, but the amorphous iron oxide mixed with humic substance slightly decrease.
Bg5	125-150	As above horizon.
BCg	150-170+	Coarse fraction increases, the c/f ratio is approx 20:80. The residues, moderately to highly decomposed also increase, and usually show parallel orientation.



ภาคผนวก ค
ตารางผนวกและภาพผนวก

ตารางผนวกที่ ค1 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ที่ทำการศึกษา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556)

1. ค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณน้ำฝน (มม.) จากสถานีตรวจอากาศในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2546-2555)

จังหวัด	สถานีตรวจอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ตลอดปี
นครศรีธรรมราช	ตำบลปากพูน	327.9	67.7	256.9	100.8	161.1	129.8	101.3	132	153.3	296.1	626.6	457.6	2,811.1
	ตำบลบางจาก	255.8	46.4	198.7	132.9	167.5	123.5	99.6	127.6	123.1	340.1	565.5	410.3	2,590.9
	ค่าเฉลี่ยทุกสถานี	291.9	57.1	227.8	116.9	164.3	126.7	100.5	129.8	138.2	318.1	596.1	434.0	2,701.0

2. ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิ (°C) จากสถานีตรวจอากาศในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2546-2555)

จังหวัด	สถานีตรวจอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ตลอดปี
นครศรีธรรมราช	ตำบลปากพูน	25.9	26.6	27.3	28.2	28.4	28.4	28.1	28.1	27.6	26.8	26.3	25.8	27.3
	ตำบลบางจาก	26.3	26.9	27.6	28.4	28.3	28.3	27.9	28.1	27.6	27.0	26.6	26.2	27.4
	ค่าเฉลี่ยทุกสถานี	26.1	26.8	27.5	28.3	28.4	28.4	28.0	28.1	27.6	26.9	26.5	26.0	27.4

3. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด (°C) จากสถานีตรวจอากาศในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2546-2555)

จังหวัด	สถานีตรวจอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ตลอดปี
นครศรีธรรมราช	ตำบลปากพูน	30.1	31.6	32.5	33.6	34.2	34.2	33.7	34.0	33.1	31.5	30.4	29.8	32.4
	ตำบลบางจาก	30.2	31.6	32.5	33.7	33.6	33.6	33.2	33.5	32.9	31.3	30.2	29.5	32.2
	ค่าเฉลี่ยทุกสถานี	30.2	31.6	32.5	33.7	33.9	33.9	33.5	33.8	33.0	31.4	30.3	29.7	32.3

ตารางผนวกที่ ๑๑ (ต่อ)

4. ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุด (°C) จากสถานีตรวจอากาศในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2546-2555)

จังหวัด	สถานีตรวจอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ตลอดปี
นครศรีธรรมราช	ตำบลปากพูน	22.1	22.0	22.8	23.4	23.9	23.7	23.5	23.4	23.4	23.0	22.7	22.3	23.0
	ตำบลบางจาก	23.1	22.8	23.5	24.3	24.6	24.4	24.2	24.1	24.0	23.9	23.8	23.5	23.9
	ค่าเฉลี่ยทุกสถานี	22.6	22.4	23.2	23.9	24.3	24.1	23.9	23.8	23.7	23.5	23.3	22.9	23.5

5. ปริมาณน้ำฝนสูงสุดใน 24 ชั่วโมง (มม.) จากสถานีตรวจอากาศในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2542-2551)

จังหวัด	สถานีตรวจอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ตลอดปี
นครศรีธรรมราช	ตำบลปากพูน	405.0	131.4	290.4	111.9	71.9	95.5	77.0	59.1	53.9	125.8	242.9	219.1	1,883.9
	ตำบลบางจาก	206.4	81.7	215.0	116.6	60.5	64.8	60.1	88.4	92.0	135.8	365.4	266.7	1,753.4
	ค่าเฉลี่ยทุกสถานี	305.7	106.6	252.7	114.3	66.2	80.2	60.6	73.8	73.0	130.8	304.2	242.9	1,818.7

6. ค่าเฉลี่ยรายเดือนจำนวนวันฝนตก (วัน) จากสถานีตรวจอากาศในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2542-2551)

จังหวัด	สถานีตรวจอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ตลอดปี
นครศรีธรรมราช	ตำบลปากพูน	14.5	5.5	10.3	8.4	15.9	12.8	13.7	14.2	16.5	20.6	20.5	18.6	14.3
	ตำบลบางจาก	14.1	5.0	10.2	9.6	15.6	12.2	11.4	12.7	15.9	20.6	19.9	19.8	13.9
	ค่าเฉลี่ยทุกสถานี	14.3	5.3	10.3	9.0	15.8	12.5	12.6	13.5	16.2	20.6	20.2	19.2	14.1

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

7. ค่าเฉลี่ยรายเดือนของความชื้นสัมพัทธ์ (%) จากสถานีตรวจอากาศในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2542-2551)

จังหวัด	สถานีตรวจอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ตลอดปี
นครศรีธรรมราช	ตำบลปากพูน	82	79	79	79	79	77	78	77	80	84	85	85	80
	ตำบลบางจาก	83	78	79	78	78	78	78	76	79	83	84	84	80
	ค่าเฉลี่ยทุกสถานี	82.5	78.5	79.0	78.5	78.5	78.5	78.0	76.5	79.5	83.5	84.5	84.5	80.0

8. ค่าเฉลี่ยรายเดือนของการคายระเหย (evaporation) (มม.) จากสถานีตรวจอากาศในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2542-2551)

จังหวัด	สถานีตรวจอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ตลอดปี
นครศรีธรรมราช	ตำบลปากพูน	3.5	4.2	4.6	4.8	4.2	4.3	4.0	4.4	3.9	3.3	3.4	3.0	4.0
	ตำบลบางจาก	2.4	3.2	3.4	3.7	3.3	3.5	3.2	3.7	3.2	2.9	2.4	2.1	3.1
	ค่าเฉลี่ยทุกสถานี	3.0	3.7	4.0	4.3	3.8	3.9	3.6	4.1	3.6	3.1	2.9	2.6	3.6

ตารางผนวกที่ ค2 สมบัติทางกายภาพของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Horizon	Depth (cm)	Paricle size distribution (g kg ⁻¹) (USDA grading)			Textural class	Bulk density (Mg m ⁻³)	Hydraulic conductivity (cm hr ⁻¹)
		Sand	Silt	Clay			
Pedon 1 Ra-ngae series; Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic							
Apg	0-20	1	197	802	C	1.33	1.03
Bg1	20-50	4	245	751	C	1.40	0.82
Bg2	50-75	5	46	949	C	1.42	0.55
Oag	75-100	23	11	966	C	1.01	16.48
Oeg	100-125	32	352	616	C	0.45	17.66
2Cg	125-150+	32	175	793	C	0.80	6.18
Pedon 2 Munoh series; Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic							
Apg	0-15/30	5	307	688	C	1.36	5.82
Bjg1	30-60	41	364	595	C	1.47	1.21
Bjg2	60-75	1	37	962	C	1.20	1.58
Bjg3	75-105	8	245	747	C	1.29	1.62
Bjg4	105-130	4	671	325	SiCL	1.38	1.41
Bjg5	130-155	17	612	371	SiCL	1.39	1.20
Cg	155-170+	33	592	375	SiCL	1.40	1.18
Pedon 3 Munoh series; Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic							
Ag	0-15/30	14	408	578	SiC	0.96	16.48
Bg	30-50	10	454	536	SiC	1.44	6.96
Bjg	50-80	33	558	409	SiC	1.14	13.01
BCg	80-110	26	573	401	SiC	1.04	13.74
Cg1	110-130	6	581	413	SiC	1.16	12.06
Cg2	130-150+	9	485	506	SiC	1.25	10.75
Pedon 4 Munoh series; Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic							
Apg	0-15/20	17	464	519	SiC	1.21	13.74
Bjg1	20-50	1	160	839	C	1.60	1.82
Bjg2	50-70	3	301	696	C	1.05	15.95
Bjg3	70-110	3	212	785	C	0.81	16.48
BCg	110-130+	7	221	772	C	0.98	13.37
Pedon 5 Ra-ngae-non acid variant; Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic							
Apg	0-20	2	631	367	SiCL	1.63	7.63×10 ⁻³
Bg1	20-45	19	162	819	C	1.60	2.29×10 ⁻³
Bg2	45-70	8	359	633	C	1.58	2.41×10 ⁻³
Bg3	70-98	15	453	532	SiC	1.58	1.53×10 ⁻³
Bg4	98-125	7	449	544	SiC	1.56	1.74×10 ⁻³
Bg5	125-153	2	538	460	SiC	1.50	2.96×10 ⁻³
Bg6	153-185+	3	419	578	SiC	1.41	2.83×10 ⁻³
Pedon 6 Munoh-non acid variant; Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic							
Apg	0-20/23	13	447	540	SiC	1.84	3.82×10 ⁻³
Bg1	23-40	15	491	494	SiC	1.71	1.12×10 ⁻³
Bg2	40-65	19	458	523	SiC	1.70	1.20×10 ⁻³
Bg3	65-100	28	440	532	SiC	1.62	1.08×10 ⁻³
Bg4	100-125	22	425	553	SiC	1.58	1.51×10 ⁻³
Bg5	125-150	24	427	549	SiC	1.55	4.98×10 ⁻³
BCg	150-170+	135	401	464	SiC	1.53	4.57×10 ⁻³

หมายเหตุ C = clay

SiC = silty clay

SiCL = silty clay loam

ตารางผนวกที่ ๑๓ สมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Horizon	Depth (cm)	pH 1:1		EC _e dSm ⁻¹	OM (--- g kg ⁻¹ ---)	Total N	Avail. P (--- mg kg ⁻¹ ---)	Avail. K (--- mg kg ⁻¹ ---)	Extractable bases				Sum bases	Extr. acidity cmol kg ⁻¹	Extr. Al	ECEC	CEC		Al saturation (-----%-----)	BS by sum
		H ₂ O	KCl						Ca	Mg	K	Na					By sum	NH ₄ OAc		
Pedon 1 Ra-ngae series; Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic																				
Apg	0-20	5.1	3.9	0.24	15.8	1.26	1.8	83.7	4.62	3.18	0.21	0.16	8.17	18.98	6.60	14.77	27.15	17.99	44.69	30.09
Bg1	20-50	4.0	3.0	0.29	3.4	0.38	1.0	93.8	5.21	5.23	0.24	0.24	10.92	25.00	9.39	20.31	35.92	25.37	46.23	30.40
Bg2	50-75	4.0	3.0	0.31	20.6	0.90	1.2	73.2	3.71	3.95	0.19	0.48	8.32	19.99	9.79	18.11	28.31	22.75	54.06	29.39
Oag	75-100	4.5	3.8	0.67	319.9	4.68	2.4	56.2	4.59	4.20	0.14	0.62	9.54	82.98	14.00	23.54	92.52	79.98	59.47	10.31
Oeg	100-125	4.2	3.7	2.20	356.9	4.86	2.9	60.9	4.92	5.49	0.16	0.58	11.14	81.94	12.60	23.74	93.08	73.99	53.07	11.97
2Cg	125-150+	4.0	3.0	4.45	233.3	4.70	1.8	73.9	6.51	8.68	0.19	0.75	16.13	75.91	10.99	27.12	92.04	53.99	40.52	17.52
Pedon 2 Munoh series; Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic																				
Apg	0-15/30	3.9	3.0	1.30	53.5	1.58	1.5	46.5	1.86	6.13	0.12	0.35	8.46	31.64	11.19	19.65	40.43	20.75	56.95	20.93
Bjg1	30-60	3.8	2.5	1.57	13.0	0.94	0.9	72.6	2.48	8.16	0.19	0.45	11.28	23.96	12.00	23.28	35.24	22.48	51.55	32.01
Bjg2	60-75	3.8	3.0	1.71	25.4	2.38	1.5	98.0	3.01	9.36	0.25	1.27	13.89	26.99	13.19	27.08	40.88	18.24	48.71	33.98
Bjg3	75-105	3.9	3.0	1.79	7.5	0.52	0.5	105.0	2.68	8.46	0.27	0.89	12.30	18.97	10.59	22.89	31.27	19.74	46.26	39.33
Bjg4	105-130	3.9	3.3	1.62	6.2	0.38	3.3	67.3	1.82	6.61	0.17	0.85	9.45	10.00	3.80	13.25	19.45	17.74	28.68	48.59
Bjg5	130-155	4.2	3.4	1.91	5.5	0.35	12.2	65.4	1.75	6.51	0.17	0.83	9.25	10.99	4.40	13.65	20.24	10.74	32.23	45.70
Cg	155-170+	3.8	3.1	4.55	14.4	0.39	15.8	70.5	2.38	7.31	0.18	0.88	10.75	3.50	5.00	15.75	14.25	8.99	31.75	75.44
Pedon 3 Munoh series; Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic																				
Ag	0-15/30	3.6	3.1	5.95	130.4	6.43	10.6	30.5	2.48	9.84	0.08	0.77	13.16	64.89	20.60	33.76	78.05	35.49	61.02	16.86
Bg	30-50	3.5	3.1	5.13	6.9	0.63	0.3	53.8	2.51	9.46	0.19	0.48	12.59	71.84	14.59	27.18	84.43	23.99	53.68	14.91
Bjg	50-80	3.1	2.7	5.93	2.7	0.42	0.4	47.8	2.98	9.87	0.12	0.70	13.66	23.96	12.79	26.45	37.62	17.98	48.36	36.31
BCg	80-110	3.4	2.7	6.85	19.2	0.38	3.5	57.2	2.98	9.83	0.15	0.74	13.69	23.96	12.99	26.68	37.65	13.50	48.69	36.36
Cg1	110-130	3.7	3.2	6.92	20.6	0.77	20.6	80.2	4.07	11.75	0.21	0.82	16.85	16.98	5.00	21.85	33.83	13.00	22.88	49.81
Cg2	130-150+	4.2	3.6	6.89	11.0	0.70	20.1	114.1	5.97	16.38	0.29	1.51	24.14	15.99	2.40	26.54	40.13	16.25	9.04	60.16
Pedon 4 Munoh series; Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic																				
Apg	0-15/20	4.0	3.4	1.14	116.7	4.80	4.7	32.7	1.18	1.44	0.08	0.38	3.08	35.94	11.39	14.46	39.01	22.00	78.77	7.87
Bjg1	20-50	3.3	2.7	1.76	27.5	1.29	0.6	75.4	1.95	3.18	0.19	0.28	5.60	36.99	12.79	18.39	42.59	23.46	69.55	13.15
Bjg2	50-70	3.6	2.9	1.52	48.7	1.53	0.9	108.6	2.37	4.01	0.28	0.52	7.18	41.97	17.38	24.56	49.15	33.22	70.77	14.61
Bjg3	70-110	3.3	2.7	2.45	42.5	1.36	2.6	142.7	3.03	5.55	0.36	0.51	9.44	37.92	19.20	28.64	47.36	28.23	67.04	19.93
BCg	110-130+	3.4	2.5	7.38	48.0	0.84	3.6	124.8	3.84	7.50	0.32	0.41	12.07	44.92	29.40	41.47	56.99	29.48	70.89	21.18

ตารางผนวกที่ ๓3 (ต่อ)

Horizon	Depth (cm)	pH 1:1		EC _e dS m ⁻¹	OM (--- g kg ⁻¹ ---)	Total N (--- g kg ⁻¹ ---)	Avail. P (--- mg kg ⁻¹ ---)	Avail. K (--- mg kg ⁻¹ ---)	Extractable bases				Sum bases	Extr. acidity cmol kg ⁻¹	Extr. Al	ECEC	CEC		Al saturation (-----%-----)	BS by sum
		H ₂ O	KCl						Ca	Mg	K	Na					By sum	NH ₄ OAc		
		(-----%-----)																		
Pedon 5 Ra-ngae-non acid variant; Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic																				
Apg	0-20	4.5	3.4	1.22	28.1	2.41	1.5	64.2	3.42	14.88	0.16	1.31	19.76	14.97	1.40	21.16	34.73	24.49	6.62	56.90
Bg1	20-45	6.0	5.2	1.15	3.4	0.59	1.0	80.8	7.73	32.66	0.21	7.30	47.90	6.99	0.02	47.92	54.89	23.24	0.04	87.27
Bg2	45-70	6.8	6.0	1.14	1.7	0.76	1.7	55.1	3.67	26.56	0.14	2.51	32.88	4.00	0.01	32.88	36.88	26.49	0.00	89.15
Bg3	70-98	7.6	6.7	1.44	2.1	0.17	4.3	145.3	7.64	33.26	0.37	3.35	44.62	4.99	0.20	44.82	49.61	26.74	0.45	89.94
Bg4	98-125	7.9	7.2	1.90	1.4	0.35	11.5	92.2	9.37	29.21	0.24	2.36	41.18	3.99	0.18	41.36	45.17	44.25	0.44	91.17
Bg5	125-153	8.3	7.3	2.04	1.0	0.31	26.3	127.3	16.93	30.72	0.33	3.40	51.38	4.00	0.60	51.98	55.38	28.49	1.15	92.78
Bg6	153-185+	8.2	7.2	2.32	0.3	0.38	38.6	169.6	17.65	30.83	0.43	3.38	52.29	4.99	0.20	52.49	57.28	26.48	0.38	91.29
Pedon 6 Munoh-non acid variant; Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic																				
Apg	0-20/23	7.5	6.6	1.49	13.7	1.02	2.4	46.9	9.05	6.75	0.12	1.51	17.41	3.36	0.20	17.61	20.77	18.49	1.14	83.82
Bg1	23-40	7.0	6.2	2.37	2.1	0.45	3.2	81.3	11.06	11.71	0.21	10.62	33.59	4.36	0.23	33.82	37.95	51.97	0.68	88.51
Bg2	40-65	7.2	6.5	4.56	0.7	0.28	1.2	40.3	11.28	14.47	0.10	7.84	33.67	4.49	0.24	33.91	38.16	31.24	0.71	88.23
Bg3	65-100	7.5	6.7	2.96	1.0	0.32	2.2	69.2	8.40	13.27	0.18	6.95	28.79	4.12	0.23	29.02	32.91	23.98	0.79	87.48
Bg4	100-125	7.9	7.0	1.99	1.4	0.35	3.2	105.0	8.83	13.63	0.27	5.27	27.98	3.87	0.04	25.02	31.85	21.49	0.14	87.85
Bg5	125-150	7.8	6.9	2.00	1.7	0.42	14.3	133.6	7.57	14.03	0.34	4.46	26.39	3.74	0.24	26.63	30.31	21.42	0.90	87.59
BCg	150-170+	7.5	6.8	2.02	8.9	0.63	38.8	116.3	6.81	12.52	0.30	4.40	24.02	3.49	0.02	24.04	27.51	17.49	0.08	87.31

ตารางผนวกที่ ๓๔ สมบัติทางเคมีบางประการของดินเปรี้ยวในบริเวณที่ทำการศึกษา

Horizon	Depth (cm)	Micronutrient elements				Soluble SO ₄ ²⁻ (----- mg kg ⁻¹ -----)	Extr. SO ₄ ²⁻ (----- mg kg ⁻¹ -----)	Jarosite	Total S (g kg ⁻¹)	LR (pH 7.0) (ton CaCO ₃ rai ⁻¹)
		Fe	Mn	Cu	Zn					
Pedon 1 Ra-ngae series; Sulfic Endoaquept, very fine, kaolinitic, acid, isohyperthermic										
Apg	0-20	132	36	0.28	0.64	25	145	101	0.58	6.39
Bg1	20-50	57	5	0.42	0.48	118	497	329	0.67	10.09
Bg2	50-75	86	6	1.92	1.18	118	319	157	1.18	8.53
Oag	75-100	364	7	0.08	0.66	225	297	242	26.53	-
Oeg	100-125	435	14	0.06	1.22	372	1,832	51	52.13	-
2Cg	125-150+	727	51	0.04	6.68	2,268	5,168	126	51.42	-
Pedon 2 Munoh series; Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic										
Apg	0-15/30	120	50	0.32	1.14	710	1,149	76	3.07	8.16
Bjg1	30-60	85	84	0.56	0.74	707	1,117	155	2.27	14.11
Bjg2	60-75	96	97	1.70	1.00	742	1,406	323	2.15	-
Bjg3	75-105	82	145	1.88	1.24	670	1,442	88	2.34	-
Bjg4	105-130	72	133	1.16	0.80	687	1,339	315	1.14	-
Bjg5	130-155	67	141	2.24	1.04	805	1,008	146	1.92	-
Cg	155-170+	391	167	0.26	2.50	845	1,600	61	13.62	-
Pedon 3 Munoh series; Typic Sulfaquept, fine, kaolinitic, isohyperthermic										
Ag	0-15/30	76	318	0.10	1.18	5,396	8,701	1,435	15.09	9.13
Bg	30-50	147	226	0.46	0.94	2,718	4,876	76	8.57	9.26
Bjg	50-80	122	229	0.58	1.08	3,398	5,618	2,559	14.18	7.30
BCg	80-110	525	260	0.02	0.92	2,898	4,471	871	21.69	-
Cg1	110-130	242	257	0.12	8.68	2,718	5,056	1,139	30.61	-
Cg2	130-150+	107	538	0.40	5.22	3,116	5,528	1,059	22.08	-
Pedon 4 Munoh series; Typic Sulfaquept, very fine, kaolinitic, isohyperthermic										
Apg	0-15/20	197	6	0.36	1.78	506	1,442	250	3.22	6.53
Bjg1	20-50	262	18	0.16	1.04	594	1,654	708	3.38	17.28
Bjg2	50-70	261	21	0.18	1.12	941	2,009	669	3.68	8.40
Bjg3	70-110	329	3	0.22	0.02	740	1,834	646	6.14	-
BCg	110-130+	1115	85	0.04	4.46	3,033	5,753	1,495	40.47	-
Pedon 5 Ra-ngae-non acid variant; Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic										
Apg	0-20	99	44	1.26	1.02	275	997	68	8.86	1.65
Bg1	20-45	3.28	8	0.30	0.14	81	520	239	3.39	-
Bg2	45-70	0.86	6	0.22	0.14	23	378	97	0.46	-
Bg3	70-98	0.54	8	0.24	0.16	77	578	537	1.30	-
Bg4	98-125	0.48	18	0.32	0.16	286	722	358	0.75	-
Bg5	125-153	0.50	24	0.44	0.16	302	918	58	1.32	-
Bg6g	153-185+	0.50	21	0.54	0.22	214	630	71	1.43	-
Pedon 6 Munoh-non acid variant; Typic Endoaquept, fine, kaolinitic, nonacid, isohyperthermic										
Apg	0-20/23	1.88	8	0.14	0.30	32	380	261	1.43	-
Bg1	23-40	0.40	3	0.16	0.16	432	1,062	67	1.88	-
Bg2	40-65	0.14	1	0.22	0.10	3,128	2,783	97	3.43	-
Bg3	65-100	0.18	3	0.28	0.14	518	1,017	55	1.95	-
Bg4	100-125	0.16	3	0.52	0.22	311	689	54	1.00	-
Bg5	125-150	0.18	4	0.72	0.28	113	461	129	1.10	-
BCg	150-170+	0.14	12	3.00	1.22	63	347	90	0.95	-

ตารางผนวกที่ ค5 การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน

คำเรียกทั่วไป		ชื่อชั้นของเนื้อดินหลัก
ดินทราย (Sandy)	เนื้อหยาบ	ได้แก่ ทรายชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่ทรายหยาบมากถึง ทรายละเอียดมาก และทรายปนดินร่วนถึงทรายละเอียดมากปนดินร่วน
	เนื้อหยาบปานกลาง	ได้แก่ ดินร่วนปนทรายชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่ดินร่วนปนทรายหยาบถึงดินร่วนปนทรายละเอียด
ดินร่วน (Loamy)	เนื้อปานกลาง	ได้แก่ ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วนปนทรายแป้ง และทรายแป้ง
	เนื้อละเอียดปานกลาง	ได้แก่ ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
ดินเหนียว (Clayey)	เนื้อดินละเอียด	ได้แก่ ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินเหนียว

ที่มา: เอ็ม (2552); Soil Survey Division Staff (1993)

ตารางผนวกที่ ค6 ข้อกำหนดที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เอิบ, 2548; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

1. พีเอชของดิน (Soil 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)

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. อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation)

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

5. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

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

6. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) (Bray II)

ระดับ (rating)	ฟอสฟอรัส (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

7. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K) (NH₄OAc)

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

8. เบสรวมที่สกัดได้ (extractable bases) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol 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 = ค่อนข้างต่ำ (Moderately low)

MH = ค่อนข้างสูง (Moderate high)

H = สูง (High)

VH = สูงมาก (Very low)

ตารางผนวกที่ ค7 เกณฑ์การแบ่งระดับสภาพกรดแล็กเปลี่ยนได้

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol kg^{-1})
ต่ำมาก	<1.0
ต่ำ	1.0-2.0
ปานกลาง	2.0-5.0
ค่อนข้างสูง	5.0-10.0
สูง	10.0-20.0
สูงมาก	>20.0

ที่มา: นงคราญ (2529)

ตารางผนวกที่ ค8 เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน

ระดับ (rating)	พิสัย (Mg m^{-1})
ต่ำมาก	<1.2
ต่ำ	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 ค9 ระดับชั้นของสภาพน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ระดับชั้น	ค่าสภาพน้ำ ของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (cm hr^{-1})
ช้ามาก (Very slow)	<0.125
ช้า (Slow)	0.125-0.50
ช้าปานกลาง (Moderately slow)	0.50-2.00
ปานกลาง (Moderate)	2.00-6.25
เร็วปานกลาง (Moderately rapid)	6.25-12.50
เร็ว (Rapid)	12.50-25.00
เร็วมาก (Very rapid)	>25.00

ที่มา: O'Neal (1952)

ตารางผนวกที่ ค10 วิธีคาดคะเนระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการประเมินจากผลการวิเคราะห์ดิน

ระดับ	ปริมาณ	อัตราร้อยละ	ความจุ	ปริมาณ	ปริมาณ
ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	อินทรีย์วัตถุ (g kg ⁻¹)	ความอิ่มตัวเบส (%)	แลกเปลี่ยนแคตไอออน (cmol kg ⁻¹)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg kg ⁻¹)	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (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

ตารางผนวกที่ ค11 เกณฑ์การแบ่งระดับอะลูมินัมที่สกัดได้ (extractable aluminum) (1 M KCl)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol kg ⁻¹)
ต่ำมาก	<1
ต่ำ	1.0-5.0
ปานกลาง	5.1-9.0
สูง	9.1-13.0
สูงมาก	>13.0

ที่มา: Osborn (1985)

ตารางผนวกที่ ค12 เกณฑ์การแบ่งระดับวิกฤตของจุลธาตุอาหารสำหรับพืชตอบสนอง

Micronutrients	Deficiency	Critical level (normal)	Excess (toxic)
(-----mg kg ⁻¹ extracted from soils-----)			
Fe	<50	51-250	-
Mn	<20	25-250	>500
Cu	>5	6-15	>20
Zn	<20	25-150	>400

ที่มา: Mortvedt (1980); Davidescu and Davidescu (1982)

ตารางผนวกที่ ค13 เกณฑ์การแบ่งระดับซัลเฟตที่สกัดได้ (extractable sulfate) (0.008 M Ca(H₂PO₄)·H₂O)

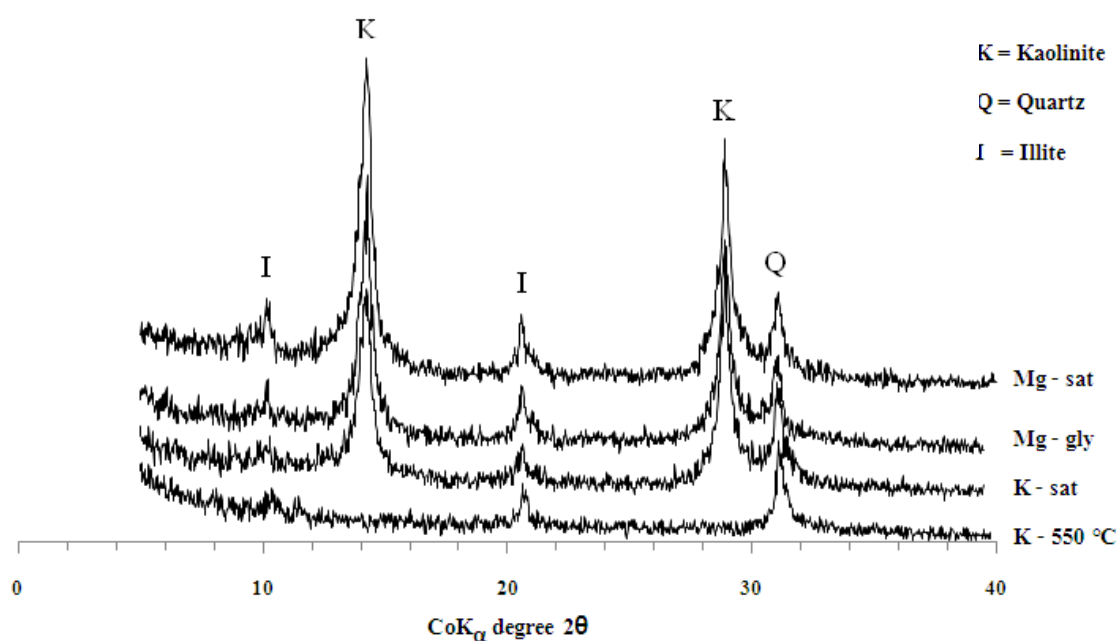
ระดับ (rating)	ฟอสฟอรัส (mg kg ⁻¹)
ต่ำ	<4.0
ปานกลาง	4.0-8.0
สูง	>8.0

ที่มา: Lewis (1999)

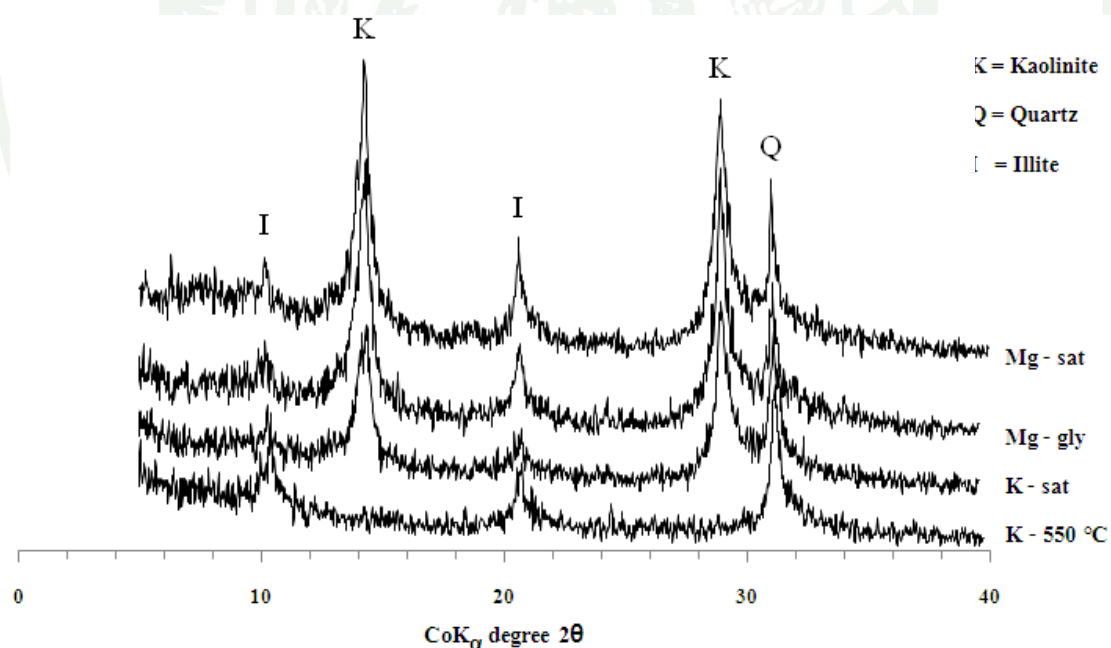
ตารางผนวกที่ 14 X-ray diffraction spacing obtained from (001) planes of layer-silicate species as related to sample treatment.

Diffraction spacing (nm)	Mineral (or minerals) Indicated
<u>Mg-saturated, air-dried</u>	
14-15	Smectite, vermiculite, chlorite
9.9-10.1	Mica (illite), halloysite
7.2-7.5	Metahalloysite
7.15	Kaolinite, chlorite (2nd-order maximum)
<u>Mg-saturated, glycerol-solvated</u>	
17.7-18.0	Smectite
14-15	Vermiculite, chlorite
10.8	Halloysite
9.9-10.1	Mica (illite)
7.2-7.5	Metahalloysite
7.5	Kaolinite, chlorite (2nd-order maximum)
<u>K-saturated, air-dried</u>	
14-15	Chlorite, vermiculite (with interlayer aluminium)
12.4-12.8	Smectite
9.9-10.1	Mica (illite), halloysite, vermiculite (contracted)
7.2-7.5	Metahalloysite
7.15	Kaolinite, chlorite (2nd-order maximum)
<u>K-saturated, heated (550°C)</u>	
14	Chlorite
9.9-10.1	Mica, vermiculite (contracted), smectite (contracted)
7.15	Chlorite (2nd-order maximum)

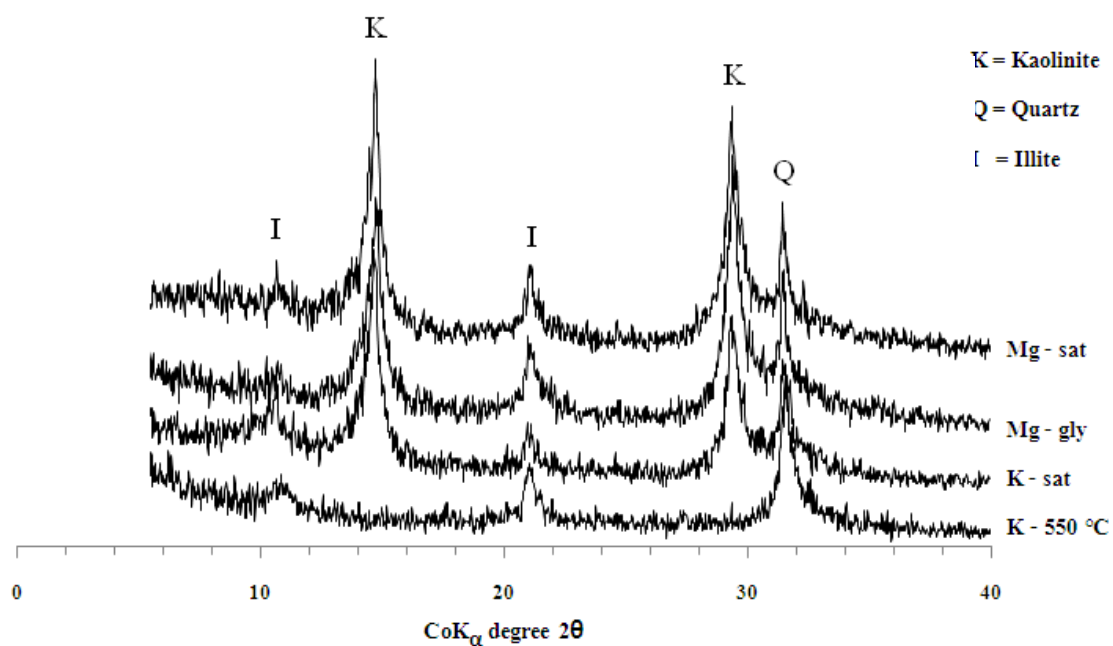
ที่มา: Whittig and Allardice (1986)



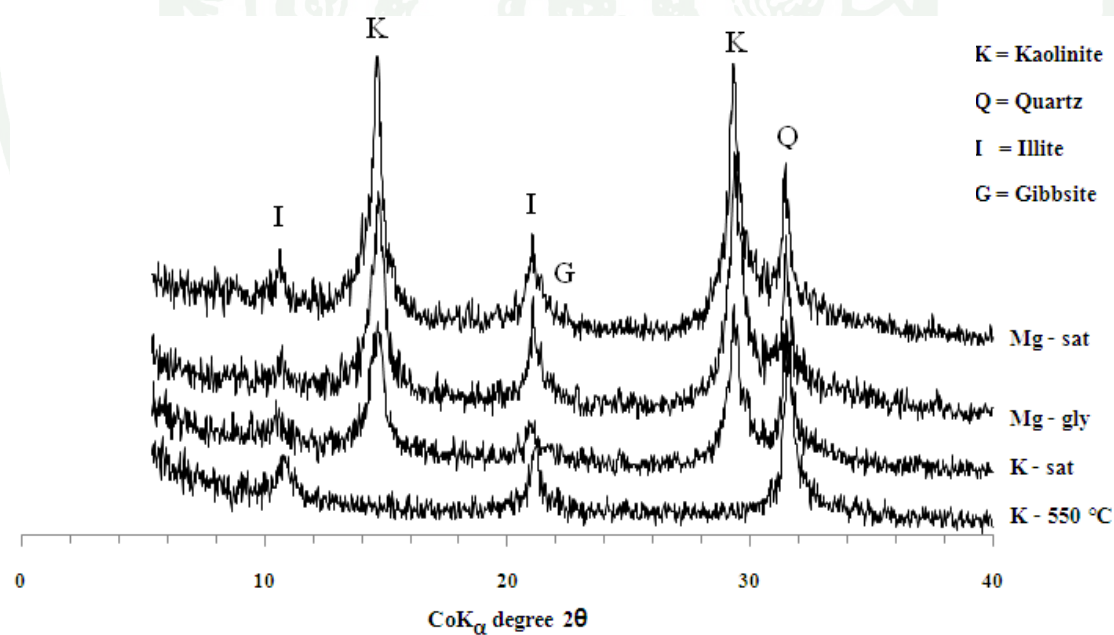
ภาพผนวกที่ ค1 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ดินเหนียวของพีคอน 1 ชั้น Oag ช่วงความถี่ 75-100 เซนติเมตร



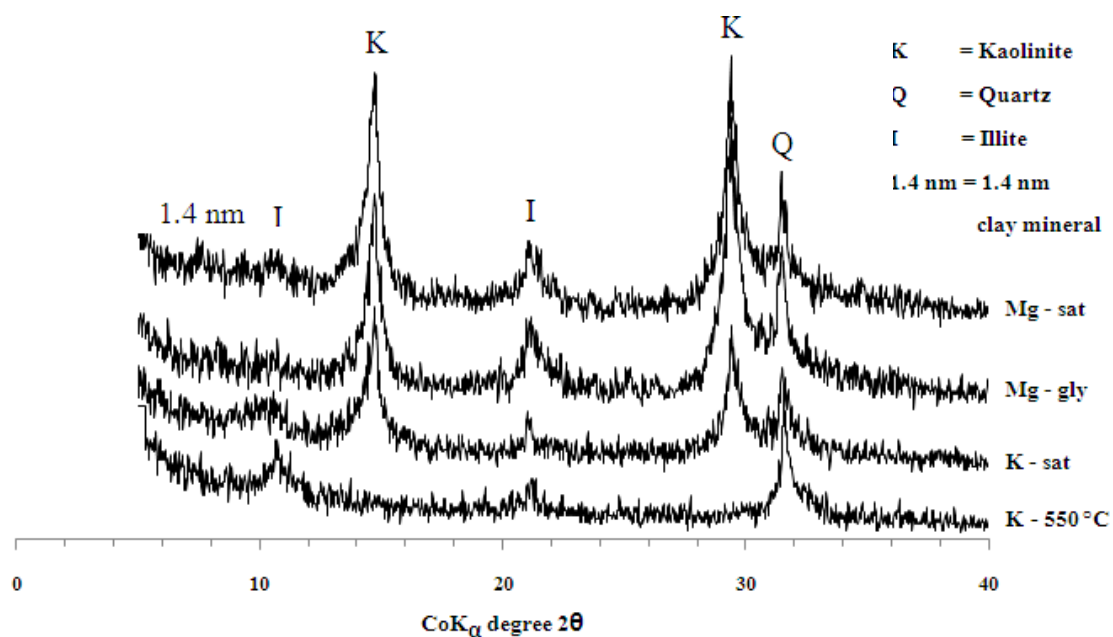
ภาพผนวกที่ ค2 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ดินเหนียวของพีคอน 2 ชั้น Bjs3 ช่วงความถี่ 75-105 เซนติเมตร



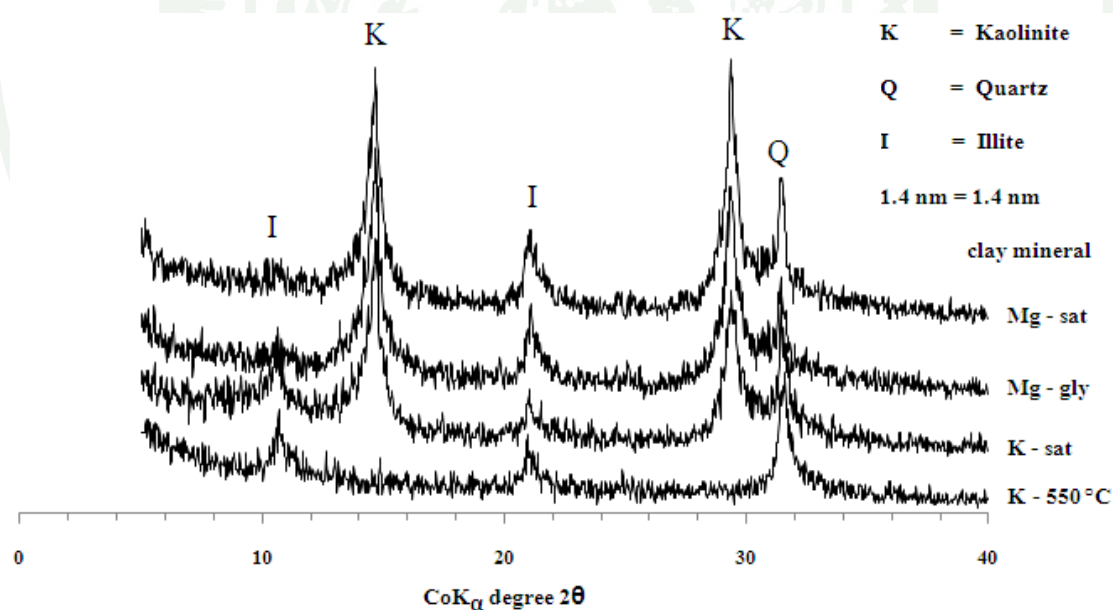
ภาพผนวกที่ ค3 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ดินเหนียวของดินพืดอน 3 ชั้น Bg ช่วงความลึก 30-50 เซนติเมตร



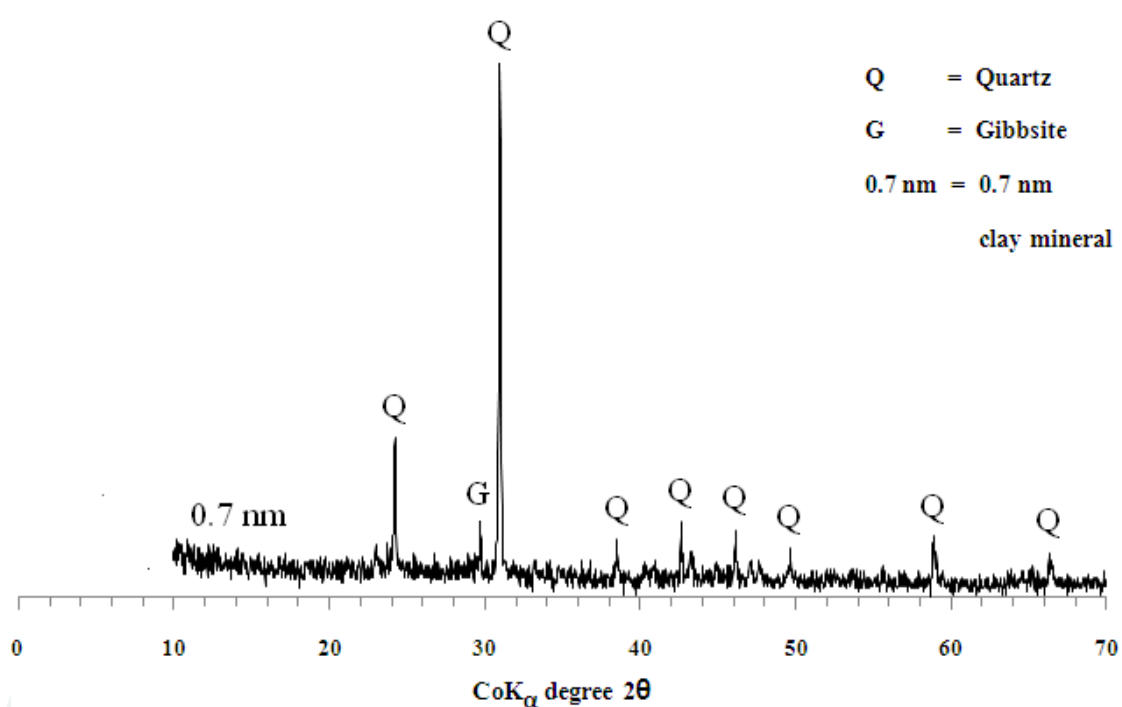
ภาพผนวกที่ ค4 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ดินเหนียวของดินพืดอน 4 ชั้น Bg1 ช่วงความลึก 20-50 เซนติเมตร



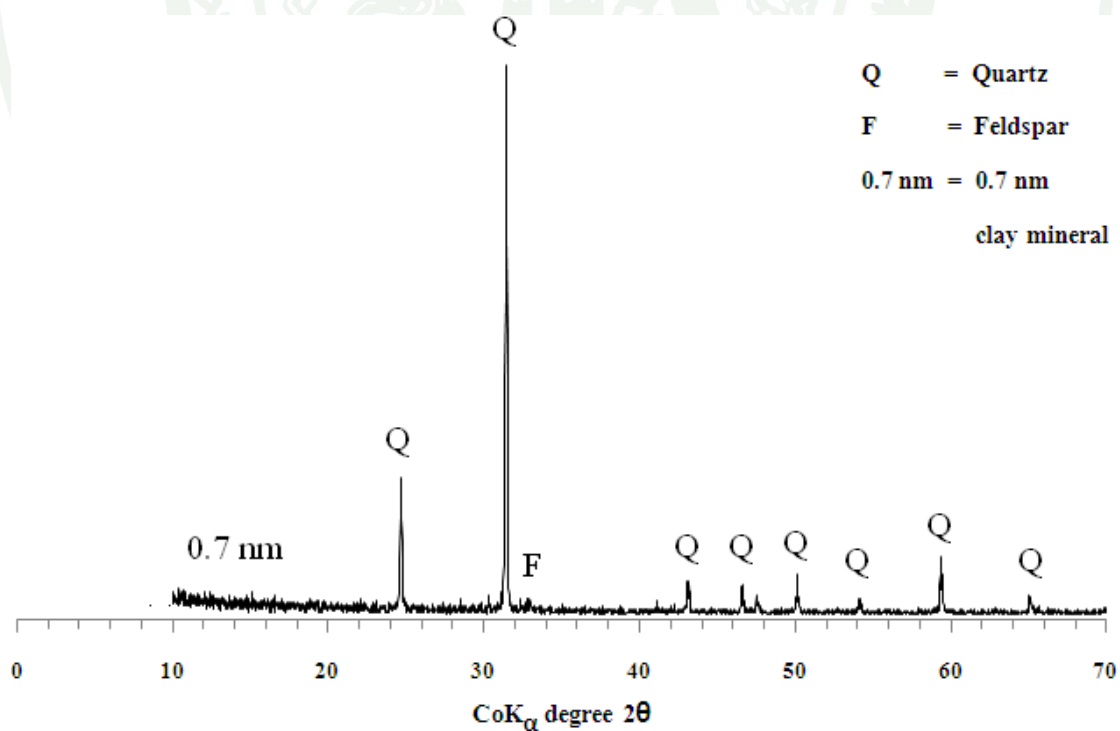
ภาพผนวกที่ ค5 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ดินเหนียวของดินพืดอน 5 ชั้น Bg2 ช่วงความลึก 45-70 เซนติเมตร



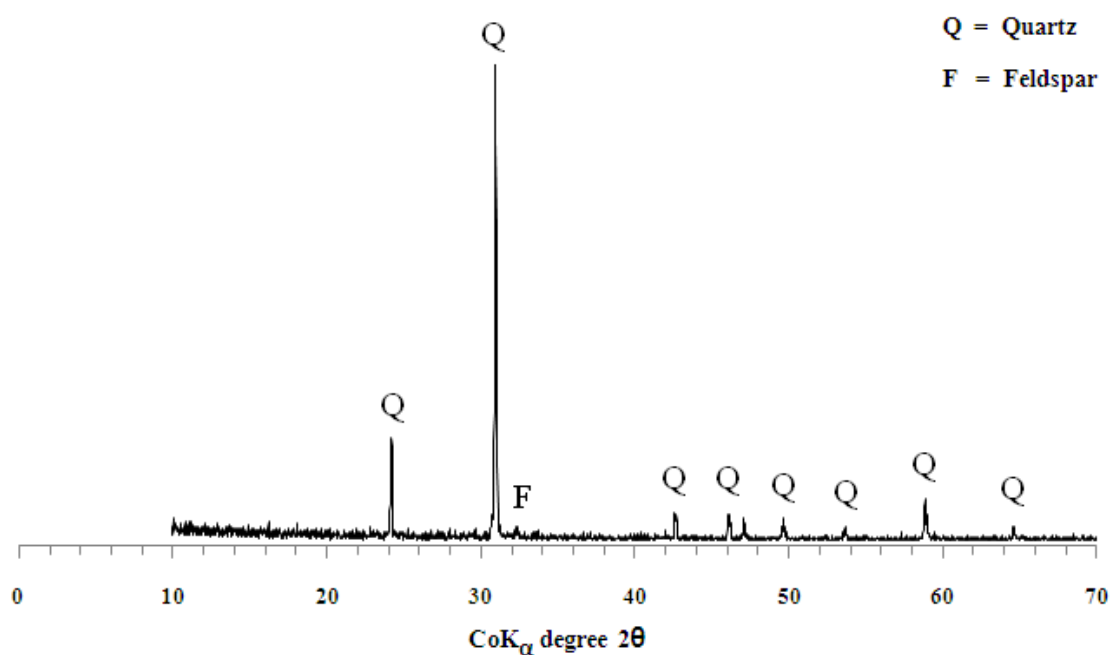
ภาพผนวกที่ ค6 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ดินเหนียวของดินพืดอน 6 ชั้น Bg1 ช่วงความลึก 23-40 เซนติเมตร



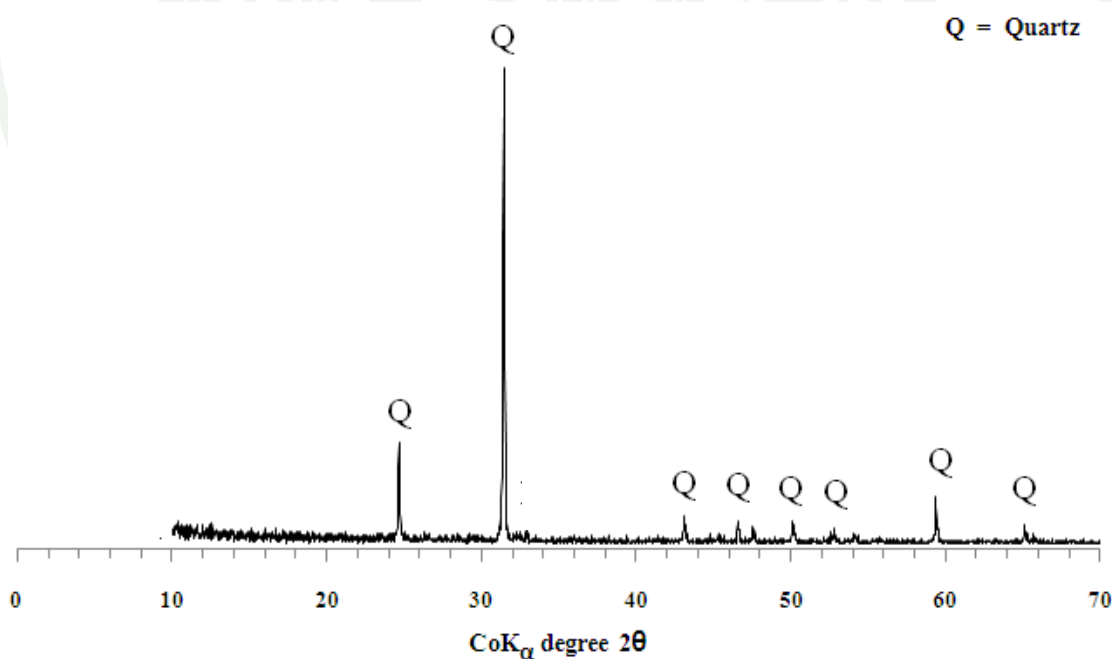
ภาพผนวกที่ ค7 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ทรายแป้งของฟีดคอน 1 ชั้น Oag ช่วงความลึก 75-100 เซนติเมตร



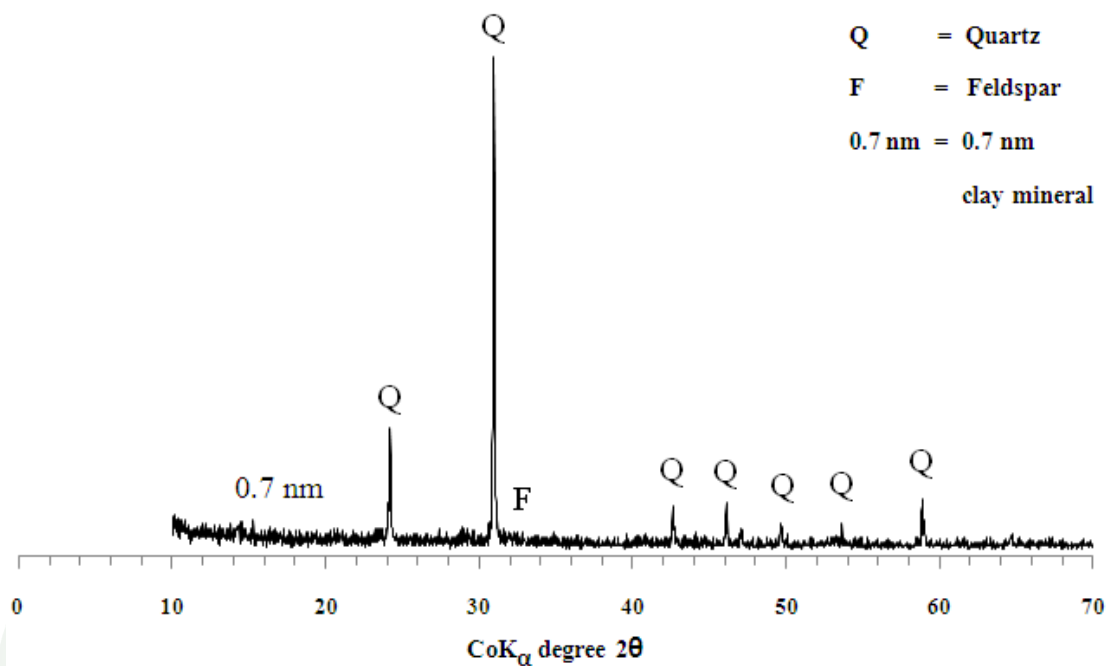
ภาพผนวกที่ ค8 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ทรายแป้งของฟีดคอน 2 ชั้น Bjg3 ช่วงความลึก 75-105 เซนติเมตร



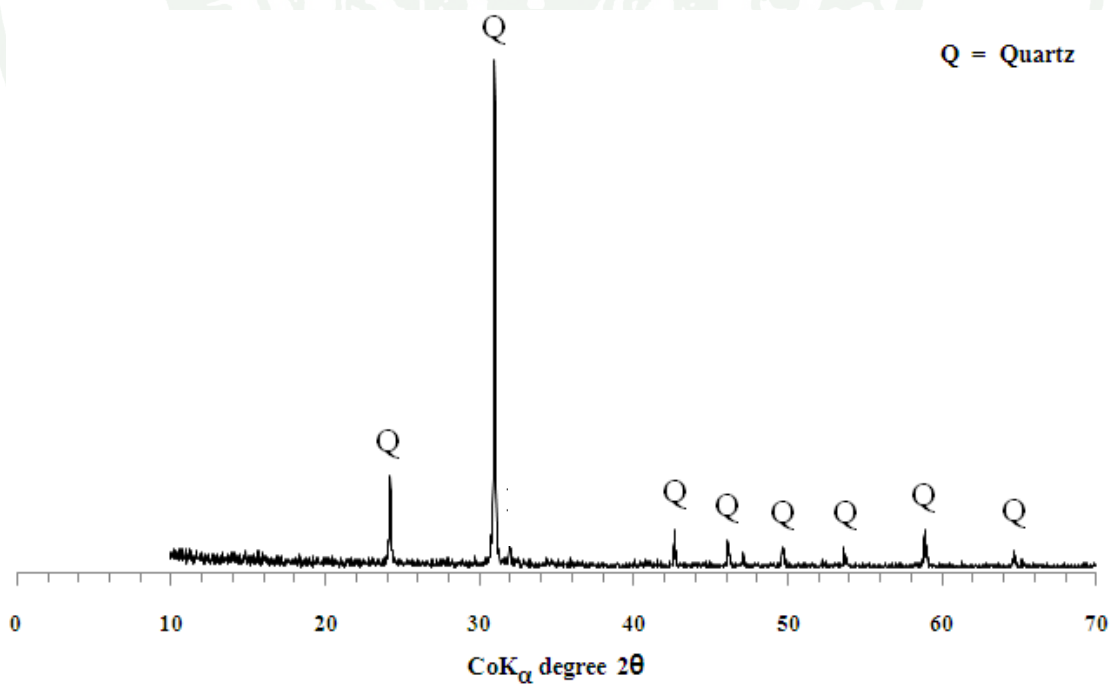
ภาพผนวกที่ ค9 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ทรายแป้งของฟิวดอน 3 ชั้น Bg ช่วงความลึก 30-50 เซนติเมตร



ภาพผนวกที่ ค10 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ทรายแป้งของฟิวดอน 4 ชั้น Bjg1 ช่วงความลึก 20-50 เซนติเมตร



ภาพผนวกที่ ค11 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ทรายแป้งของฟีดอน 5 ชั้น Bg2 ช่วงความลึก 45-70 เซนติเมตร



ภาพผนวกที่ ค12 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขององค์ประกอบเชิงแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาด
ทรายแป้งของฟีดอน 6 ชั้น Bg1 ช่วงความลึก 23-40 เซนติเมตร

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายจารุวัฒน์ ช่วยชู
วัน เดือน ปี ที่เกิด	2 ตุลาคม พ.ศ. 2531
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-