

ผลของการใช้ที่ดินต่อสมบัติอุทกวิทยาของดินบางประการ บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง

Effect of Land Use on Some Soil Hydrological Properties at Huai Hin Dat Subwatershed, Rayong Province

สุภัทรา ถึกสถิตย์* และพุทธรักษ์ วงศ์ศิริชัย

ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Supattra Thueksathit* and Phuttarak Wongsirichai

Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok Campus,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900

Received: October 8, 2019; Accepted: November 7, 2019

บทคัดย่อ

การใช้ที่ดินที่ต่างกันส่งผลต่อสมบัติดินโดยเฉพาะสมบัติอุทกวิทยาของดิน ซึ่งการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติอุทกวิทยาของดินบางประการในการใช้ที่ดินที่ต่างกัน บริเวณลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง ผลการศึกษาพบว่าความพรุนรวมของดินมีค่าสูงสุดในป่าดิบแล้งรุ่นสองและต่ำสุดในพื้นที่ยางพารา ซึ่งตรงข้ามกับความหนาแน่นรวมของดิน ความชื้นดินมีค่าสูงสุดในป่าดิบแล้งรุ่นสองที่ทุกระดับความลึกดินและต่ำสุดในป่าปลูกพื้นที่ด้วยไม้สัก นอกจากนี้พบว่าความหนาแน่นรวมของดินและความชื้นดินระหว่างการใช้ที่ดินและความลึกดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ส่วนการซึมผ่านผิวดินในช่วงน้ำหลากและน้ำแล้ง ป่าดิบแล้งรุ่นสองมีสมรรถนะการซึมผ่านที่ดีที่สุด (348 และ 355 มม./ชม.) ส่วนพื้นที่ยางพาราต่ำสุด (224 และ 250 มม./ชม.) ขณะที่สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับสมรรถนะการซึมผ่านผิวดิน จะเห็นได้ว่าการใช้ที่ดินแต่ละประเภทส่งผลต่อสมบัติทางอุทกวิทยาของดินที่ต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อผลผลิตของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ จึงควรมีการวางแผนการใช้ที่ดินและการจัดการลุ่มน้ำอย่างเหมาะสม

คำสำคัญ : สมบัติอุทกวิทยาของดิน; การใช้ที่ดิน; ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด

Abstract

Different land use types have effects on soil properties, especially soil hydrology. Thus, this research aims were to study and compare some soil hydrological properties in various land uses at Huai Hin Dat subwatershed, Rayong province in 2018. From the results, an average soil porosity was

highest in the secondary dry evergreen forest and the lowest in the para rubber area which is opposite to soil bulk density. Soil moisture content was high in the secondary dry evergreen forest at all soil depths and low in forest restoration with teak area. In addition, it was found that soil bulk density and soil moisture content among different land use types and soil depths were highly statistically significant ($p < 0.01$). For infiltration rates during wet and dry periods, the secondary dry evergreen forest showed the best infiltration capacity with the values between 348-355 mm/hr, while para rubber area was the lowest value with 224-250 mm/hr. And saturated hydraulic conductivity showed the same trend as infiltration capacity. It can be concluded that the types of land use can affect soil hydrological properties differently, which relate to water yield in watershed. Therefore, land use planning and watershed management should be done appropriately.

Keywords: soil hydrological property; land use; Huai Hin Dat subwatershed

1. คำนำ

การใช้ที่ดินรูปแบบต่าง ๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการให้บริการของระบบนิเวศในพื้นที่ (Lawler *et al.*, 2014; Sun *et al.*, 2018) ช่วงหลายปีที่ผ่านมาภาคตะวันออกของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินประเภทอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นพื้นที่ปลูกยางพารามากขึ้น ทั้งพื้นที่ราบและพื้นที่ที่มีความลาดชัน ปี พ.ศ. 2554 พบว่ายางพาราในตลาดมีราคาสูงขึ้น ประชาชนจึงหันมานิยมปลูกยางพารากันมากขึ้น สถิติพื้นที่ปลูกยางพาราของจังหวัดระยองปี พ.ศ. 2553 มีพื้นที่ปลูกยางพารา 819,730 ไร่ และเพิ่มพื้นที่ขึ้นเป็น 1,000,513 ไร่ (22.05 เปอร์เซ็นต์) ในปี พ.ศ. 2559 (สถาบันวิจัยยาง, 2557) อีกทั้งพื้นที่ปลูกยางพาราบางส่วนได้ขยายเข้าไปในพื้นที่ป่าธรรมชาติและพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธาร โดยการใช้ที่ดินในรูปแบบดังกล่าว ทำให้การปกคลุมของเรือนยอดในพื้นที่ลดลง ประกอบกับกิจกรรมการใช้ที่ดินที่เข้มข้นขึ้นในพื้นที่ย่อมส่งผลต่อสมบัติทางอุทกวิทยาของดินในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ความหนาแน่นของดิน ความพรุนของดิน ความชื้นในดิน การซึมน้ำผ่านผิวดิน เป็นต้น โดยจะมีผลต่อการซึมน้ำของดินและการกักเก็บน้ำในดิน รวมทั้งผลผลิตของน้ำ

ในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ๆ และคุณภาพชีวิตของคนในพื้นที่ลุ่มน้ำ

ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินลาด จังหวัดระยอง เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีการใช้ที่ดินที่มีความหลากหลาย ประกอบด้วยการใช้ที่ดินหลัก ๆ คือ พื้นที่ยางพารา พื้นที่ยางพาราที่ร้าง พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก และป่าดิบแล้งรุ่นสอง ดังนั้นการศึกษาสมบัติอุทกวิทยาของดินบางประการของการใช้ที่ดินที่ต่างกันในพื้นที่ลุ่มน้ำในครั้งนั้น เพื่อให้ทราบถึงผลของการใช้ที่ดินในรูปแบบต่าง ๆ ต่อสมบัติอุทกวิทยาของดิน ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการวางแผนการใช้ที่ดินให้มีความเหมาะสม และการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำเพื่อให้เกิดความยั่งยืนได้

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยแผนที่ ได้แก่ แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร แผนที่ชุดดิน มาตราส่วน 1:100,000 และแผนที่การใช้ที่ดินจังหวัดระยองปี พ.ศ. 2559 มาตราส่วน 1:25,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับอุปกรณ์การศึกษาสมบัติอุทกวิทยาของดิน ได้แก่ กระบอกเก็บดิน (soil

core) อุปกรณ์ทดสอบอัตราการซึมผ่านผิวดินแบบวงแหวนเดี่ยว (single ring infiltrometer) ชุดวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (falling head permeameter) นาฬิกาจับเวลา ตู้อบดิน เครื่องชั่งน้ำหนัก เป็นต้น

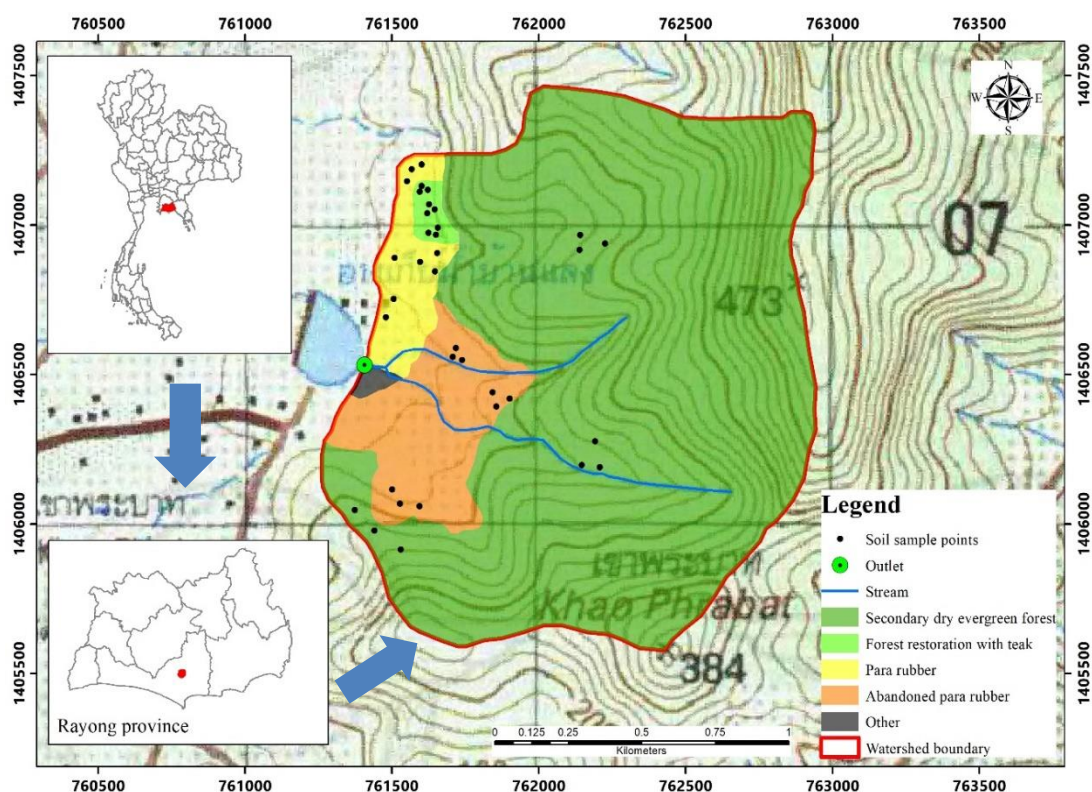
2.2 วิธีการ

2.2.1 การรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรายปี และอุณหภูมิอากาศ ในปี พ.ศ. 2557-2560 ของสถานีวิจัยต้นน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก จังหวัดระยอง เพื่อใช้ในการแบ่งช่วงน้ำหลาก (wet period) และช่วงน้ำแล้ง (dry period) โดยช่วงน้ำหลากตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม และช่วงน้ำแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ รวมทั้งข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ชุดดิน และแผนที่การใช้ที่ดินของจังหวัดระยอง ปี พ.ศ. 2559 เพื่อใช้ในการพิจารณา

กำหนดจุดในการศึกษาสมบัติอุทกวิทยาของดิน โดยเก็บข้อมูลภาคสนามตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 6 ครั้งในรอบปี

2.2.2 การเลือกพื้นที่และกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน โดยเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำตัวแทนศึกษาได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินลาด ซึ่งมีการใช้ที่ดินที่หลากหลายหลายรูปแบบ ได้แก่ (1) พื้นที่ยางพารา (2) พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง (3) พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก และ (4) พื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง โดยการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินพิจารณาจากแผนที่การใช้ที่ดินร่วมกับแผนที่ชุดดิน (รูปที่ 1)

2.2.3 การเก็บตัวอย่างดิน โดยในพื้นที่ศึกษาที่มีความลึกดินโดยเฉลี่ยประมาณ 50 เซนติเมตร จึงเก็บตัวอย่างดิน 3 ระดับความลึก คือ ดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) ดินบนชั้นล่าง (10-30 ซม.) และดินล่าง (30-50 ซม.) แต่ละประเภทการใช้ที่ดิน



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่างดินบริเวณลุ่มน้ำย่อยห้วยหินลาด จังหวัดระยอง

เก็บ 3 จุด จุดละ 3 ซ้ำ รวมเป็น 108 ตัวอย่างต่อการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง และเก็บตัวอย่างบริเวณเดิมทุกครั้ง โดยการเก็บตัวอย่างดินแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ เก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้างดิน (disturbed soil sampling) เพื่อวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น ได้แก่ เนื้อดิน (soil texture) ค่าปฏิกิริยาดิน (soil pH) และอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter) และเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้างดิน (undisturbed soil sampling) โดยใช้กระบอกรับตัวอย่างดิน (soil core) เพื่อนำไปศึกษาความหนาแน่นอนุภาคดิน (particle density) ความพรุนรวมของดิน (total porosity) ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ความชื้นในดิน (soil moisture content) และสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (coefficient of saturated hydraulic conductivity) รวมถึงการศึกษาอัตราการซึมผ่านผิวดิน (infiltration rate) ในภาคสนามโดยใช้อุปกรณ์ทดสอบอัตราการซึมผ่านผิวดินแบบวงแหวนเดี่ยว (single ring infiltrometer)

2.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างดิน

(1) วิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น ได้แก่ เนื้อดินด้วยวิธี hydrometer (Gee and Bauder, 1986) ค่าปฏิกิริยาดินด้วยเครื่องมือวัดพีเอชดิน (pH meter) (Thomas, 1996; National Soil Survey Center, 1996) อินทรีย์วัตถุในดินด้วยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1947)

(2) วิเคราะห์สมบัติอุทกวิทยาของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (Blake and Hartge, 1986) ความชื้นในดินด้วยน้ำหนัก (Gardner, 1986; Jury *et al.*, 1991) อัตราการซึมผ่านผิวดินด้วยวิธี soil infiltration rate method (Horton, 1940) และนำข้อมูลมาสร้างสมการ Horton ส่วนสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำด้วยวิธี falling-head method (Klute, 1965)

2.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

(1) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, F-test) ของสมบัติอุทกวิทยาของดินบางประการในแต่ละพื้นที่การใช้ที่ดินและในแต่ละระดับความลึกดิน

(2) เปรียบเทียบความแตกต่างของความชื้นในดินในช่วงน้ำหลาก (wet period) กับช่วงน้ำแล้ง (dry period) โดยใช้สถิติ t-test

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 สมบัติดินเบื้องต้น

โดยทุกประเภทการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำย่อยห้วยหินลาดทั้ง 3 ระดับความลึกดิน ได้แก่ ดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) ดินบนชั้นล่าง (10-30 ซม.) และดินล่าง (30-50 ซม.) พบว่าเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ซึ่งจัดอยู่ในประเภทเนื้อดินกลุ่มดินร่วนชนิดหยาบ (loamy soil-coarse) ยกเว้นในพื้นที่ยางพาราที่พบว่าดินบนชั้นบนเป็นดินทรายร่วน (loamy sand) จัดอยู่ในประเภทเนื้อดินกลุ่มทราย (sand texture) ส่วนค่าปฏิกิริยาดิน ส่วนใหญ่เป็นกรดจัด (strongly acid) ถึงกรดจัดมาก (very strongly acid) มีค่า pH 4.8-5.3 ยกเว้นพื้นที่ป่าพื้นที่พุ่มไม้สักที่บริเวณดินบนชั้นบนมีค่า pH 5.7 จัดเป็นกรดปานกลาง (moderately acid) สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของทุกประเภทการใช้ที่ดิน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่ระดับดินบนและลดลงตามระดับความลึกดินที่เพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงสุดในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสองและต่ำสุดในพื้นที่ยางพารา (ตารางที่ 1)

3.2 สมบัติอุทกวิทยาของดินบางประการ

3.2.1 ความพรุนรวมของดิน

ความพรุนรวมของดินเฉลี่ย พบว่าที่ระดับความลึกดินบนชั้นบนและดินบนชั้นล่างมีค่าสูงสุดในป่าดิบแล้งรุ่นสอง รองลงมา คือ พื้นที่ป่าพื้นที่พุ่มไม้สัก พื้นที่ยางพาราทั้งร้าง และพื้นที่

ยางพารา โดยดินบนชั้นบนมีค่า 54.10, 51.25, 50.61 และ 49.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในดินบนชั้นล่างมีค่า 48.92, 48.32, 46.04 และ 43.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ส่วนระดับความลึกดินล่างมีค่าความพรุนรวมของดินเฉลี่ยมีค่าสูงสุดในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง 48.48 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ พื้นที่ยางพารา พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง และพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก มีค่า 46.80, 45.99 และ 45.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความพรุนรวมของดินเฉลี่ยในแต่ละความลึกดิน พบว่าความพรุนรวมของดินมีค่าลดลงตามความลึกของดินที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากบริเวณดินชั้นบนมีซากพืชซากสัตว์ปกคลุม มีการเน่าเปื่อยและย่อยสลายเป็นอินทรีย์วัตถุสะสมบริเวณดินบนมากกว่าดินล่าง ซึ่งจะส่งผลให้การซึมน้ำผ่านผิวดินเป็นไปได้ดี ช่วยลดการเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดิน รวมถึงการระบายน้ำและอากาศภายในดินที่ดีกว่าดินชั้นล่าง

3.2.2 ความหนาแน่นรวมของดิน

ความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยที่ระดับความลึกดินบนชั้นบน ดินบนชั้นล่าง และดิน

ล่าง มีค่าสูงสุดในพื้นที่ยางพารา คือ 1.51, 1.60 และ 1.60 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ป่าดิบแล้งรุ่นสองมีค่าต่ำสุด คือ 1.32, 1.45 และ 1.47 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ยางพาราทิ้งร้างและพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สักพบว่ามีความหนาแน่นรวมของดินทั้ง 3 ระดับความลึกดินที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 2) โดยทุกพื้นที่การใช้ที่ดินมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยต่ำสุดในดินบนชั้นบนและมีค่าสูงขึ้นตามระดับความลึกดินที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของความหนาแน่นรวมของดินระหว่างประเภทการใช้ที่ดินและในแต่ละระดับความลึกดิน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 3) โดยพื้นที่ยางพารามีค่าความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยสูงมากกว่าการใช้ที่ดินประเภทอื่นทุกระดับความลึกดิน เนื่องจากพื้นที่ยางพารามีกิจกรรมการใช้ที่ดินของมนุษย์อย่างเข้มข้น ได้แก่ การแผ้วถางกำจัดวัชพืช การใส่ปุ๋ยเคมี และการกรีดยางในพื้นที่ เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้สามารถทำให้เกิดการอัดแน่นของดิน (soil compaction) โดย

ตารางที่ 1 สมบัติดินเบื้องต้นในแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินลาด จังหวัดระยอง

Soil depth	Land use types	Soil texture	pH	Organic matter
Upper topsoil (0-10 cm)	Para rubber	Loamy sand	5.3 (strong)	1.93 (moderate)
	Abandoned para rubber	Sandy loam	5.1 (strong)	3.30 (moderately high)
	Forest restoration with teak	Sandy loam	5.7 (moderate)	4.43 (high)
	Secondary dry evergreen forest	Sandy loam	4.9 (very strong)	5.87 (very high)
Lower topsoil (10-30 cm)	Para rubber	Sandy loam	4.9 (very strong)	0.99 (low)
	Abandoned para rubber	Sandy loam	4.8 (very strong)	1.70 (moderate)
	Forest restoration with teak	Sandy loam	5.2 (very strong)	1.71 (moderate)
	Secondary dry evergreen forest	Sandy loam	4.8 (very strong)	2.94 (moderately high)
Subsoil (30-50 cm)	Para rubber	Sandy loam	4.9 (very strong)	0.72 (low)
	Abandoned para rubber	Sandy loam	4.9 (very strong)	1.32 (moderately low)
	Forest restoration with teak	Sandy loam	5.0 (very strong)	1.31 (moderately low)
	Secondary dry evergreen forest	Sandy loam	4.9 (very strong)	2.05 (moderate)

ตารางที่ 2 ความพรุนรวมของดินและความหนาแน่นรวมของดินในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินลาด จังหวัดระยอง

Soil hydrological properties	Land use types			
	Para rubber	Abandoned para rubber	Forest restoration with teak	Secondary dry evergreen forest
Soil porosity (%)				
0-10 cm	49.00	50.61	51.25	54.10
10-30 cm	44.31	46.04	48.32	48.92
30-50 cm	46.80	45.99	45.86	48.48
Total average	46.70	47.55	48.48	50.50
Soil bulk density (g/cm ³)				
0-10 cm	1.51	1.39	1.42	1.32
10-30 cm	1.60	1.54	1.50	1.45
30-50 cm	1.60	1.55	1.56	1.47

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความหนาแน่นรวมของดินระหว่างประเภทการใช้ที่ดินและระดับความลึกของดิน

Soil bulk density (g/cm ³)	F-value
Among land use types at	
Upper topsoil (0 - 10 cm)	42.320**
Lower topsoil (10 - 30 cm)	27.586**
Subsoil (30 - 50 cm)	20.335**
Among soil depths in	
Para rubber	15.760**
Abandoned para rubber	53.620**
Forest restoration with teak	52.570**
Secondary dry evergreen forest	13.530**

** Significance level at probability < 0.01

โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าดิน ซึ่งต่างจากป่าดิบแล้ง รุ้นสองที่มีความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีกิจกรรมการเข้าไปรบกวนของ

มนุษย์ ผิวหน้าดินมีการปกคลุมด้วยเศษซากพืช ซากสัตว์ตลอดเวลา ซึ่งการมีพืชพรรณขึ้นปกคลุม และมีการร่วนหล่นของซากพืช ประกอบกับ กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ วัตถุในดิน มีผล โดยตรงกับความหนาแน่นรวมของดิน ขนาด และการกระจายช่องว่างภายในดิน โดยมีความสำคัญ กับสถานะของอากาศและน้ำที่อยู่ภายในดิน (Undawatta *et al.*, 2008; Franzluebbers, 2010)

3.2.3 ความชื้นในดิน

ความชื้นในดินเฉลี่ยทุกระดับความ ลึกดินมีค่าสูงสุดในป่าดิบแล้ง รุ้นสอง รองลงมา คือ พื้นที่ยางพาราทั้งร้าง พื้นที่ยางพารา และพื้นที่ป่า พืชด้วยไม้สัก ตามลำดับ โดยความชื้นในดินที่ดิน บนชั้นบนมีค่า 16.79, 16.44, 13.95 และ 13.34 เปอร์เซ็นต์ ดินบนชั้นล่างมีค่า 13.69, 13.29, 12.42 และ 10.83 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในดินล่างมีค่า 12.66, 12.25, 11.88 และ 10.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดัง แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความชื้นดินในช่วงน้ำหลากและน้ำแล้งของแต่ละประเภทการใช้ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาต จังหวัดระยอง

Land use types	Soil depth (cm)	Soil moisture content (%)								
		Wet period					Dry period			Annual avg.
		Apr	Jun	Aug	Oct	Avg.	Dec	Feb	Avg.	
Para rubber	0-10	11.95	16.37	15.52	16.87	15.18	7.82	15.19	11.50	13.95
	10-30	11.28	14.71	13.45	14.09	13.38	8.93	12.07	10.50	12.42
	30-50	11.40	13.91	13.09	14.25	13.17	9.67	8.95	9.31	11.88
Abandoned para rubber	0-10	11.45	17.87	20.31	21.36	17.75	11.18	16.15	13.84	16.44
	10-30	10.63	14.09	15.49	16.44	14.16	9.93	13.16	11.55	13.29
	30-50	10.92	13.44	14.78	14.83	13.49	9.23	10.29	9.76	12.25
Forest restoration with teak	0-10	9.91	15.31	14.89	17.94	14.51	9.08	12.90	10.99	13.34
	10-30	8.07	12.91	11.90	14.01	11.73	7.60	10.50	9.05	10.83
	30-50	8.25	11.94	11.92	12.86	11.24	7.60	7.51	7.55	10.01
Secondary dry evergreen forest	0-10	11.04	18.99	20.15	22.61	18.20	10.03	17.90	13.96	16.79
	10-30	9.09	15.38	16.33	17.70	14.63	9.16	14.50	11.83	13.69
	30-50	8.89	14.08	15.09	15.61	13.43	8.63	13.62	11.13	12.66

ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ป่าดิบแล้ง รุนสองมีค่าความชื้นในดินสูงที่สุดที่ทุกระดับความลึกดิน เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของป่าที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณหลายชนิด มีหลายชั้นเรือนยอด มีไม้พื้นล่างและกล้าไม้กระจายอยู่ทั่วพื้นที่ มีการทับถมของเศษซากพืชซากสัตว์ อีกทั้งยังมีรากไม้ขนาดใหญ่ การกระจายอยู่ทั่วบริเวณชั้นดิน ทำให้มีความพรุนรวมของดินสูง ส่งผลให้ดินมีศักยภาพในการดูดซับน้ำและกักเก็บน้ำไว้ในดินได้ดี ขณะที่พื้นที่ยางพาราทั้งร้าง ซึ่งมีค่าความชื้นในดินสูงรองลงมาจากพื้นที่ป่าดิบแล้ง รุนสอง เพราะว่าเมื่อพื้นที่ถูกทิ้งร้าง ไม่มีกิจกรรมการเข้าไปรบกวนโดยมนุษย์ ทำให้มีการพัฒนาของสังคมพืชในพื้นที่ มีกล้าไม้และไม้พื้นล่างขึ้นปกคลุมผิวดิน ส่งผลต่อการพัฒนาของโครงสร้างดิน ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินน้อยลง ความพรุนรวมของดินสูง ทำให้ความชื้น

สามารถถูกกักเก็บไว้ในดินได้มากขึ้น ขณะที่พื้นที่ยางพาราที่มีกิจกรรมในการใช้พื้นที่เข้มข้นกว่าพื้นที่อื่น ทำให้มีความอัดแน่นตัวของดินสูง ส่งผลทำให้ความชื้นที่จะถูกกักเก็บไว้ในดินมีน้อยลง สำหรับพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สักพบว่าปริมาณความชื้นในดินต่ำที่สุดในทุกระดับความลึกดิน เนื่องจากลักษณะพื้นที่ถูกปกคลุมด้วยต้นสักเป็นส่วนใหญ่ มีไม้ชั้นล่างขึ้นปกคลุมพื้นที่เพียงเล็กน้อย ประกอบกับการผลัดใบของไม้สักในทุกช่วงฤดูแล้ง ดังนั้นฝนที่ตกลงมาในช่วงแรกจะถูกใบสักแห่งดักไว้แล้วจึงค่อย ๆ ไหลซึมลงดิน และน้ำที่ค้างอยู่ที่ใบแห่งส่วนหนึ่งจะระเหยสู่บรรยากาศ ประกอบกับลักษณะดินเป็นดินทรายร่วน ทำให้ความสามารถในการซึมน้ำผ่านผิวดินสูงแต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำของดินต่ำ ทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีความชื้นในดินน้อยตลอดปี นอกจากนี้ปริมาณน้ำฝนยังเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อ

ความชื้นในดิน โดยพื้นที่การใช้ที่ดินส่วนใหญ่มีความชื้นในดินสูงสุดในเดือนตุลาคมและต่ำสุดในเดือนธันวาคมตามปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในแต่ละช่วงเวลาของพื้นที่ จึงมีผลต่อความชื้นในดิน โดยเฉพาะบริเวณดินบน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นในดิน ได้แก่ ปัจจัยของการระเหยน้ำ ลักษณะพืชพรรณ และกิจกรรมของมนุษย์ เป็นต้น (และคณะ, 2559; Choi and Jacobs, 2007; Gao *et al.*, 2015; ณัฐนรี Chunlei *et al.*, 2017; Guoce *et al.*, 2017)

เมื่อศึกษาความชื้นในดินในภาพรวมพบว่าทุกประเภทการใช้ที่ดินและทุกระดับความลึกดินมีค่าความชื้นในดินสูงสุดในเดือนตุลาคมซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน 331.41 มิลลิเมตร ยกเว้นในพื้นที่ยางพาราที่ระดับความลึกดินบนชั้นล่างมีค่าสูงสุดในเดือนมิถุนายน ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน 338.70 มิลลิเมตร ขณะที่เดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีฝนตกในพื้นที่ พบว่ามีปริมาณความชื้นในดินต่ำเกือบทุกประเภทการใช้ที่ดินและทุกระดับความลึกดิน นอกจากนี้ทุกประเภทการใช้ที่ดินมีความชื้นในดินในช่วงน้ำหลาก (wet period) มากกว่าในช่วงน้ำแล้ง (dry period) ทุกระดับความลึกดิน กล่าวคือ เมื่อมีปริมาณฝนที่มากขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณความชื้นในดินเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของความชื้นดินในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินและในแต่ละระดับความลึกดิน พบว่าความชื้นในดินในรอบปี (annual) และในช่วงน้ำหลาก (wet period) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 5) ในขณะที่ช่วงน้ำแล้ง (dry period) พบว่า ในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินมีค่าความชื้นในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะที่ดินบนชั้นบนและดินบนชั้นล่าง ส่วนดินล่างพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบความชื้นในดินในแต่ละระดับความ

ลึกดิน พบว่า ในพื้นที่ยางพาราทั้งร้างและพื้นที่ป่าพื้นฟูด้วยไม้สักมีค่าความชื้นในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ขณะที่พื้นที่ยางพาราและป่าดิบแล้งรุ่นสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมถึงเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความชื้นในดินระหว่างช่วงน้ำหลากและช่วงน้ำแล้ง พบว่าเกือบทุกพื้นที่การใช้ที่ดินมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ยกเว้นในป่าดิบแล้งรุ่นสองที่ระดับความลึกดินบนชั้นล่างและดินล่างมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความชื้นดินระหว่างประเภทการใช้ที่ดินและระดับความลึกของดิน

Soil moisture content (%)	F-value		
	Annual	Wet period	Dry period
Among land use types at			
Upper topsoil (0-10 cm.)	8.566**	7.476**	2.768*
Lower topsoil (10-30 cm.)	8.042**	6.201**	3.199*
Subsoil (30-50 cm.)	8.050**	6.196**	5.997**
Among soil depths in			
Para rubber	6.712**	9.097**	2.084 ^{ns}
Abandoned para rubber	18.313**	13.994**	9.787**
Forest restoration with teak	15.365**	12.915**	7.435**
Secondary dry evergreen forest	13.723**	13.792**	2.430 ^{ns}

** Significance level at probability < 0.01; * Significance level at probability < 0.05; ^{ns} Not significance

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นดินระหว่างช่วงน้ำหลากและช่วงน้ำแล้ง

Land use types	t-value		
	0-10 cm	10-30 cm	30-50 cm
Para rubber	3.151**	4.557**	7.351**
Abandoned para rubber	3.323**	2.790**	4.697**
Forest restoration with teak	3.651**	3.317**	5.398**
Secondary dry evergreen forest	2.964**	2.607*	2.527*

**Significance level at probability < 0.01; *Significance level at probability < 0.05

3.2.4 อัตราการซึมน้ำผ่านผิวดิน

อัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินที่ระดับความลึกดิน 5 เซนติเมตร พบว่าอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินเริ่มต้น (f_0) ในช่วงน้ำหลาก (wet period) มีค่าสูงที่สุดในพื้นที่ยางพาราทั้งร้าง (1,009.41 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) รองลงมา คือ ป่าดิบแล้ง รุนสอง พื้นที่ยางพารา และพื้นที่ป่าพื้นที่ด้วยไม้สัก มีค่า 936.90, 793.87 และ 758.79 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนในช่วงน้ำแล้ง (dry period) พบว่ามีค่าสูงที่สุดในพื้นที่ยางพารา (1,503.85 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) รองลงมา คือ ป่าดิบแล้ง รุนสอง พื้นที่ยางพาราทั้งร้าง และพื้นที่ป่าพื้นที่ด้วยไม้สัก มีค่า 1,375.92, 1,041.57 และ 762.76 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินเริ่มต้นในช่วงน้ำแล้งมีค่ามากกว่าช่วงน้ำหลากในทุกพื้นที่การใช้ที่ดิน เนื่องจากความชื้นในดินเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการซึมน้ำของดิน หากในดินมีปริมาณความชื้นที่มีอยู่ก่อนในดิน (antecedent moisture content, AMC) สูงหรือดินเปียก การซึมน้ำผ่านผิวดินเริ่มต้นจะเกิดได้ช้ากว่าดินที่แห้งหรือ

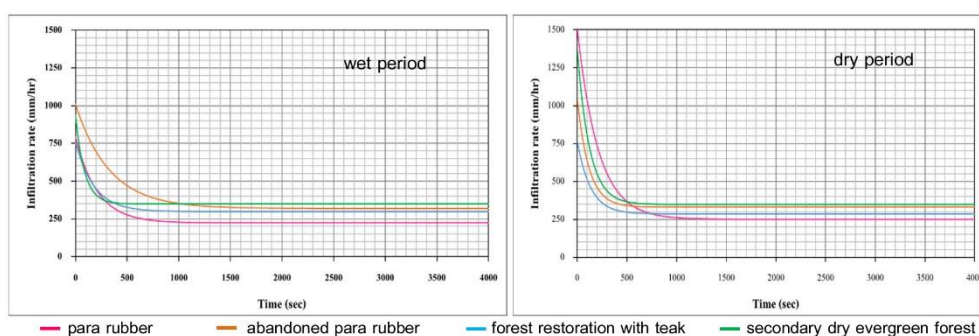
ดินมีความชื้นในดินน้อย โดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินเริ่มต้น ได้แก่ ฤดูกาล และความชื้นในดิน (นิพนธ์, 2542; Witthawatchutikul, 1985)

สำหรับอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินคงที่ (f_c) ทั้งในช่วงน้ำหลาก (wet period) และช่วงน้ำแล้ง (dry period) พบว่ามีค่าสูงสุดในป่าดิบแล้ง รุนสอง รองลงมา คือ พื้นที่ยางพาราทั้งร้าง พื้นที่ป่าพื้นที่ด้วยไม้สัก และพื้นที่ยางพารา โดยในช่วงน้ำหลากมีค่า 348, 319, 299 และ 224 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนในช่วงน้ำแล้งมีค่า 355, 330, 287 และ 250 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 7 และรูปที่ 2) จะเห็นได้ว่าในป่าดิบแล้ง รุนสองมีอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินคงที่มากที่สุดทั้งในช่วงน้ำหลากและช่วงน้ำแล้ง เนื่องจากดินในป่าดิบแล้ง รุนสองมีความพรุนดินสูง มีความหนาแน่นของดินต่ำกว่าการใช้ที่ดินประเภทอื่น ๆ ทำให้ความสามารถในการซึมน้ำผ่านผิวดินเกิดขึ้นดีกว่า เช่นเดียวกับพื้นที่ยางพาราทั้งร้างที่พบว่ามีอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินคงที่ใกล้เคียงกับป่าดิบแล้ง รุนสอง เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวไม่ถูกรบกวนเป็นเวลานานและเกิดการทดแทนตามธรรมชาติ ส่งผลให้บริเวณดินบนมีค่าความหนาแน่นน้อย ทำให้การซึมน้ำผ่านผิวดินเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน ขณะที่พื้นที่ยางพารานั้นมีอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินต่ำกว่าพื้นที่การใช้ที่ดินประเภทอื่น ๆ เนื่องจากมีกิจกรรมของมนุษย์ในการใช้ที่ดินเกิดขึ้นอยู่เสมอ ทำให้ดินอัดแน่นส่งผลต่อการซึมน้ำผ่านผิวดิน โดย การซึมน้ำผ่านผิวดินเกิดขึ้นได้รวดเร็วในดินที่มีโครงสร้างของดินเกาะกลุ่มกันหลวม ๆ และดินมีอนุภาคดินขนาดใหญ่ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง (Kusumandari and Nugroho, 2015) อย่างไรก็ตาม การใช้ที่ดิน สมบัติของดิน และปริมาณน้ำฝนล้วนมีผลต่อการซึมน้ำผ่านผิวดิน (นิพนธ์, 2542; ณฐนรี และคณะ, 2559) โดยลักษณะการซึมน้ำผ่านผิวดิน

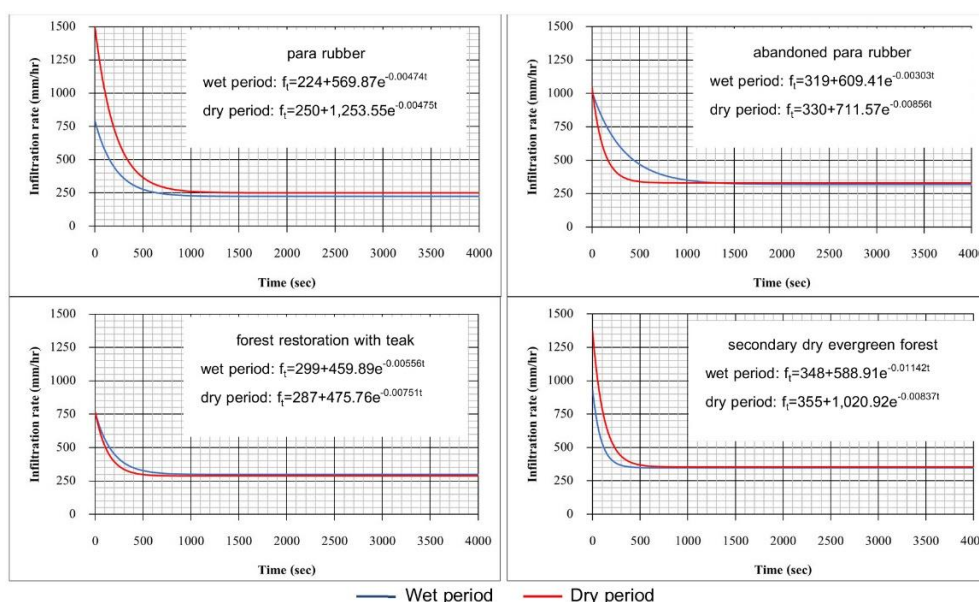
ตารางที่ 7 อัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินและสัมประสิทธิ์ของการนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำในการใช้ที่ดินประเภทต่าง ๆ ของลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง

Land use types	Soil infiltration rate (mm/hr)				K _s (mm/hr)	
	f ₀		f _c			
	wet period	dry period	wet period	dry period	0-10 cm	30-50 cm
para rubber	793.87	1,503.85	224	250	57.16	72.04
abandoned para rubber	1,009.41	1,041.57	319	330	295.88	71.76
forest restoration with teak	758.79	762.76	299	287	216.67	135.12
secondary dry evergreen forest	936.90	1,375.92	348	355	306.59	177.04

f_0 = initial infiltration rate; f_c = final infiltration capacity; K_s = coefficient of saturated soil hydraulic conductivity



รูปที่ 2 สมรรถนะการซึมน้ำผ่านผิวดินในช่วงน้ำหลากและช่วงน้ำแล้งของการใช้ที่ดินประเภทต่าง ๆ บริเวณลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง



รูปที่ 3 สมการ Horton ของแต่ละประเภทการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง

และสมการการซึมผ่านผิวดิน ณ เวลาใด ๆ ของการใช้ที่ดินประเภทต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา แสดงในรูปที่ 3

3.2.5 สมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

สมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (K_s) ในดินบนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่มสอง (306.59 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) รองลงมา คือ พื้นที่ยางพาราทั้งไร่ พื้นที่ป่าพื้นที่ด้วยไม้สัก และพื้นที่ยางพารา (295.88, 216.67 และ 57.16 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ) (ตารางที่ 7) ส่วนในดินล่างมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในป่าดิบแล้งรุ่มสอง (177.04 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) รองลงมา คือ พื้นที่ป่าพื้นที่ด้วยไม้สัก พื้นที่ยางพารา และพื้นที่ยางพาราทั้งไร่ (135.12, 72.04 และ 71.76 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่าค่าสมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าอัตราการซึมผ่านผิวดิน อย่างไรก็ตาม ค่าสมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่ระดับความลึกดินบนมีค่ามากกว่าที่ระดับดินล่าง เนื่องจากดินบนมีอินทรีย์วัตถุสูงและดินมีความร่วนซุยมากกว่าดินชั้นล่างที่อนุภาคดินส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อละเอียด มีความหนาแน่นรวมของดินสูง และความพรุนรวมของดินต่ำ ยกเว้นในพื้นที่ยางพารา พบว่าดินบนมีค่าสมประสิทธิ์การนำน้ำของดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำน้อยกว่าดินล่าง เนื่องจากดินมีความอัดแน่นตัวสูงและความพรุนรวมของดินต่ำ ทำให้การซึมผ่านของน้ำเป็นไปได้ยาก

4. สรุป

การใช้ที่ดินประเภทป่าไม้ส่งผลที่ดีต่อสมบัติอุทกวิทยาของดิน กล่าวคือ ทำให้ดินมีความพรุนสูง ความหนาแน่นของดินต่ำ และมีสมรรถนะการซึมผ่านผิวดินที่ดี ซึ่งจะช่วยลดปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินที่เป็นสาเหตุของการเกิดการชะล้างพังทลาย

โดยเฉพาะการใช้ที่ดินไม่เหมาะสมในพื้นที่สูง นอกจากนี้ยังช่วยให้เกิดการกักเก็บน้ำที่ดีในพื้นที่ลุ่มน้ำ ขณะที่การใช้ที่ดินประเภทยางพาราที่มีกิจกรรมการใช้ที่ดินที่เข้มข้น ทำให้ความหนาแน่นของดินสูงกว่าการใช้ที่ดินประเภทอื่น ๆ ในพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้มีสมรรถนะการซึมผ่านผิวดินต่ำ อีกทั้งโอกาสในเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินมีมากขึ้น ส่วนพื้นที่พื้นที่ด้วยสักและพื้นที่ยางพาราทั้งไร่จะเห็นถึงการพัฒนาของดินโดยเฉพาะดินบน มีผลทำให้สมบัติดินและสมบัติอุทกวิทยาของดินมีแนวโน้มที่ค่อย ๆ ดีขึ้น ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประกอบการพิจารณาการวางแผนการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำให้อย่างเหมาะสมและยั่งยืน รวมทั้งการฟื้นฟูพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมหรือการฟื้นฟูพื้นที่ป่าที่ถูกบุกรุกโดยการปลูกยางพาราได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาอนุรักษวิทยา และภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการลุ่มน้ำและห้องปฏิบัติการดินในการเตรียมตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

6. รายการอ้างอิง

ณัฐนรี สาระพิมพ์, สุภัทรา ถีกสถิตย์, สมณิมิตร พุกงาม และยุทธพงษ์ ศิริมังคละ, 2559, สมบัติบางประการทางอุทกวิทยาของดินและสัณฐานดิน ในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยขมิ้น จังหวัดนครราชสีมา, ว.วิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 16(2): 49-62.
นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2542, อุทกวิทยาดินลุ่มน้ำ, ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
สถาบันวิจัยยาง, สถิติยางพาราไทย : พื้นที่ปลูกยาง

- พาราในประเทศไทย, แหล่งที่มา: http://www.rubberthai.com/statistic/stat_index.htm, 22 ตุลาคม 2560.
- Blacke, G.R. and Hartge, K.H., 1986, Bulk Density, pp. 363-382, In Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Choi, M. and Jacobs, J.M., 2007, Soil moisture variability of root zone profiles within SMEX02 remote sensing footprints, Adv. Water Resour. 30: 883-896.
- Chunlei Z., Jia, X., Zhu, Y. and Shao, M., 2017, Long-term temporal variations of soil water content under different vegetation types in the Loess Plateau, China, Catena 158: 55-62.
- Franzluebbers, A.J., 2010, Achieving soil organic carbon sequestration with conservation agricultural systems in the southeastern United States, Soil Sci. Soc. Am. J. 74: 347-357.
- Gao, L., Shao, M.A., Peng, X.H. and She, D.L., 2015, Spatial-temporal variability and temporal stability of water contents distributed within soil profiles at a hillslope scale, Catena 132: 29-36.
- Gardner, W.H., 1986, Water Content, pp. 1-21, In Klute, A. (Ed.), Method of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W., 1986, Particle-Size Analysis, pp. 383-411, In Klute, A. (Ed.), Method of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Guoce, X., Zhang, T., Li, Z., Li, P., Cheng, Y. and Cheng, S., 2017, Temporal and spatial characteristics of soil water content in diverse soil layers on land terraces of the Loess Plateau, China, Catena 158: 20-29.
- Horton, R.E., 1940, An approach towards physical interpretation of infiltration capacity, J. Soil Sci. Soc. Am. 5: 399-417.
- Jury, W.A., Gardner, W.R. and Gardner, W.H., 1991, Soil Physics, 5th Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Khamyong, S., 2015, Forest Soil: Nature of forest in soil in Thailand, Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiangmai University, Chiangmai.
- Kusumandari, A. and Nugroho, P., 2015, Land capability analysis based on hydrology and soil characteristics for watershed rehabilitation, Procedia Environ. Sci. 28: 142-147.
- Klute, A., 1965, Laboratory Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Soil, pp. 210-220, In Black, C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods, Agron. No. 9, American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI.
- Lawler, J., Lewis, J., Nelson, E., Plantinga, A., Polasky, S., Withey, J., Helmers, D., Martinuzzi, S., Pennington, D. and Radeloff, V., 2014, Projected land-use

- change impacts on ecosystem services in the United States, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 111: 7492-7497.
- National Soil Survey Center, 1996, *Soil Survey Laboratory Methods Manual*, Soil Survey Investigation, Report No.42, Version 3.0, National Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Sun, D., Yang, H., Guan, D., Yang, M., Wu, J., Yuan, F., Jin, C., Wang, A. and Zhang, Y., 2018, The effects of land use change on soil infiltration capacity in China: A meta-analysis, *Sci. Total Environ.* 626: 1394-1401.
- Thomas, G.W, 1996, Soil pH and Soil Acidity, pp. 475-490, In Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Summer, M.E. (Eds.), *Method of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*, ASA Inc., Madison, WI.
- Undawatta, R.P., Anderson, S.H., Gantzer, C.J. and Garrett, H.E., 2008, Influence of prairie restoration on CT-measured soil pore characteristics, *J. Environ. Qual.* 37: 219-228.
- Walkley, A. and Black, I.A., 1947, Chromic acid titration method for determination of soil organic matter, *Soil. Sci. Am. Proc.* 63: 257.
- Witthawatchutikul, P, 1985, Watershed research at Rayong, Thailand, In *Proceedings of Seminar on Watershed Research and Management Practices: Towards More Effective Watershed Management*, ASEAN-US Watershed Project, College, Laguna, Philippines.