

การประเมินธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจาย
ในกลุ่มน้ำห้วยหลวง



นางสาวอรिता อินทสิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ASSESSMENT OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM NON POINT SOURCE
IN HUAY LUANG WATERSHED



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจายในกลุ่มน้ำห้วยหลวง
โดย	นางสาวอริตา อินทสิน
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. นันทิรา สรรมนี)

อริตา อินทสิน : การประเมินธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจายในกลุ่มน้ำห้วยหลวง (ASSESSMENT OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM NON POINT SOURCE IN HUAY LUANG WATERSHED) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก: ผศ. ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์ , 164 หน้า.

การศึกษาการชะล้างธาตุอาหารจากแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจายเป็นข้อมูลที่สำคัญในการจัดการปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรน้ำ การศึกษานี้ทำการประเมินธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในกลุ่มน้ำห้วยหลวง และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารกับลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเก็บตัวอย่างดินในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 จำนวน 98 สถานี ตามลักษณะธรณีสัณฐาน 5 ประเภท และการใช้ประโยชน์ที่ดิน 9 ประเภท และเดือนกันยายน พ.ศ. 2557 เฉพาะพื้นที่ต้นน้ำ จำนวน 24 สถานี นำดินมาวิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพและเคมี พบว่า ดินในกลุ่มน้ำห้วยหลวงมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy-loam soil) ค่าความหนาแน่นและความพรุนอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำเกษตรกรรม ดินมีความเป็นกรดจัด ($\text{pH} = 5.44 \pm 0.81$) อินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ร้อยละ 0.99 ± 1.09 และ $4.72 \pm 7.08 \text{ mg-P/kg}$) ไนโตรเจนอนินทรีย์ซึ่งเป็นรูปที่พืชนำไปประโยชน์ได้ ได้แก่ ไนเตรท-ไนโตรเจนและแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีค่า 18.3 ± 10.4 และ $51.8 \pm 7.93 \text{ mg-N/kg}$ ตามลำดับ การวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าคุณค่า ขนาดอนุภาคทราย ทรายแป้ง และความเป็นกรด - ต่างในแต่ละลักษณะธรณีสัณฐานมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) เนื้อดิน ความเป็นกรด - ต่าง อินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัส ในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) พบความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์กับดินที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ($p < 0.05$) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในช่วงก่อนปลูกข้าวและระหว่างปลูกข้าว พบว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และไนโตรเจนรวมในช่วงก่อนปลูกข้าวสูงกว่าในช่วงระหว่างปลูกข้าว ($p < 0.05$) เนื่องจากไนโตรเจนถูกชะล้างได้ง่าย โดยมีน้ำฝนเป็นปัจจัยหลัก การศึกษาการชะล้างธาตุอาหารด้วยแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ในพื้นที่ต้นน้ำของกลุ่มน้ำห้วยหลวง พบว่าพารามิเตอร์ที่อ่อนไหวต่อปริมาณน้ำท่ามากที่สุด คือ CN2 (Curve Number) การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนได้ผลในเกณฑ์ดี ($R^2 = 0.70$ และ 0.75 ตามลำดับ) ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสเฟตในแหล่งน้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนและช่วงเวลาของการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5487833620 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: ไนโตรเจน / ฟอสฟอรัส / แหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจาย / ภูมุน้ำห้วยหลวง / SWAT

ARITA INTASIN: ASSESSMENT OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM NON POINT SOURCE IN HUAY LUANG WATERSHED. ADVISOR: ASST. PROF. PENJAI SOMPONGCHAIYAKUL, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. PATAMA SINGHRUCK, Ph.D., 164 pp.

Non-point source leaching is necessary information in order to address degradation of water resources. This study assessed nitrogen and phosphorus in Huai-Luang (HL) watershed of the Mekong River (Thailand) and investigated their relationships with land use and landform. Surface soil samples were collected from 98 sites according to 5 landforms and 9 land use types in June 2014 for soil physical and chemical properties analyses. Most soils in HL were sandy-loam soil with bulk density and porosity appropriate for agriculture, strongly acidic ($\text{pH} = 5.44 \pm 0.81$), contained low organic matter ($\text{OM} = 0.99 \pm 1.09 \%$) and low available phosphorus ($\text{AP} = 4.72 \pm 7.08 \text{ mg kg}^{-1}$). Nitrogen in the form of nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) and ammonia-nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$) were 18.3 ± 10.4 and $51.8 \pm 7.93 \text{ mg-N/kg}$, respectively. Multivariate Analysis Of Variance (MANOVA) revealed that sand, silt, and soil pH were different among landforms ($p < 0.05$), while soil texture, pH, organic matter, and phosphorus were different among land use ($p < 0.05$). Pearson's correlation analysis showed available phosphorus and coarse-soil were strongly correlated ($p < 0.05$). Comparison of nutrients between 2 sampling periods showed significantly higher $\text{NO}_3\text{-N}$ and total nitrogen prior to growing season compared to during rice-growing seasons ($p < 0.05$) since nitrogen is easily leached by rainfall. Simulation of nutrient in headwater area of HL using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model suggested that CN2 (Curve Number) was the most sensitive parameter for runoff. Moderated good agreement between observed and simulated runoff ($R^2 = 0.70$) and sediment ($R^2 = 0.75$) were obtained. Variation of nitrate-nitrogen and phosphate corresponded with rainfall and times of fertilizer application.

Field of Study: Environmental Science Student's Signature

Academic Year: 2016 Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ อ.ดร. ปัทมา สิงห์รักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่างๆในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็น ประธานสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้ง รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. นทีธรา สรรมณี ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำปรึกษาและ ข้อเสนอแนะต่างๆ ให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยงยุทธ จรรย์รักษ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยชนะ แสงสว่าง รวมถึงคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และปลูกฝังความมานะพยายามให้แก่ศิษย์

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีอบทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่มีอบทุนบัณฑิตศึกษา และหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับสนับสนุนการทำวิจัยบางส่วน

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือสำหรับงานวิจัย รวมถึงน้องๆ นิสิตในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 423 ทุกคนที่คอยช่วยเหลือการดำเนินการวิจัยอยู่เสมอ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พุกทาสีสิทธิ์ ผู้อำนวยการหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกฝ่าย ในหลักสูตรฯ รวมถึงเพื่อนร่วมรุ่นและพี่ๆน้องๆนิสิต ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและกำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.6 กรอบงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 สมบัติดิน.....	5
2.1.1 สมบัติดินทางกายภาพ.....	5
2.1.1.1 เนื้อดิน.....	5
2.1.1.3 ความพรุน.....	7
2.1.2 สมบัติดินทางเคมี.....	7
2.1.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง.....	7
2.1.2.2 อินทรีย์วัตถุ.....	8
2.1.2.3 ไนโตรเจน.....	9

2.1.2.4 ฟอสฟอรัส.....	11
2.2 ทฤษฎีแบบจำลองอุทกวิทยา SWAT.....	13
2.2.1 การคำนวณสมมูลน้ำ	14
2.2.2 การคำนวณปริมาณน้ำท่าผิวดิน	15
2.2.3 การคำนวณปริมาณตะกอน	16
2.2.4 การคำนวณปริมาณไนโตรเจน.....	16
2.2.5 การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัส.....	19
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.3.1 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับสมบัติดิน.....	21
2.3.2 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลอง SWAT.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	25
3.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต	25
3.1.2 สภาพภูมิประเทศ	25
3.1.3 สภาพภูมิอากาศ.....	27
3.1.4 ลักษณะธรณีสัณฐาน	27
3.1.5 การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	29
3.1.6 คุณภาพน้ำ.....	29
3.2 วิธีการศึกษาวิจัย	31
3.2.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง	31
3.2.1.1 จุดเก็บตัวอย่างดิน.....	32
3.2.1.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	36
3.2.2 การเก็บตัวอย่าง.....	36

3.2.2.1 การเก็บตัวอย่างดิน	36
3.2.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ	39
3.2.3 การเตรียมดิน	40
3.2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	40
3.2.4.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน	40
3.2.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	43
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	43
3.3.1 สถิติเชิงพรรณนา	43
3.3.2 สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ	43
3.3.3 สถิติวิเคราะห์สหสัมพันธ์	44
3.4 การวิเคราะห์ลักษณะการแพร่กระจายของสมบัติดิน	44
3.5 การสร้างแบบจำลอง	44
3.5.1 การกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับแบบจำลอง	45
3.5.2 การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrological Respond Units).....	45
3.5.3 การรวบรวมข้อมูลเพื่อเตรียมนำเข้าสู่แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT.....	46
3.5.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Sensitivity analysis).....	53
3.5.5 การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Calibration and Validation analysis) ...	53
3.5.6 การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง	53
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผลลักษณะสมบัติดิน.....	55
4.1 สมบัติของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง	55
4.1.1 สมบัติของดินในภาพรวม.....	55
4.1.2 ลักษณะและสมบัติดินตามประเภทธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดิน	66
4.1.2.1 ขนาดอนุภาคดิน	66

4.1.2.2 ความหนาแน่นและความพรุน.....	73
4.1.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง.....	79
4.1.2.4 อินทรีย์วัตถุ.....	79
4.1.2.5 ไนเตรท-ไนโตรเจน.....	84
4.1.2.6 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน.....	84
4.1.2.7 ไนโตรเจนรวม.....	85
4.1.2.8 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์.....	91
4.1.2.9 ฟอสฟอรัสอินทรีย์.....	91
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ.....	96
4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติของสมบัติดิน.....	98
4.4 การเปรียบเทียบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินช่วงก่อน-ระหว่างปลูกข้าว.....	100
บทที่ 5 ผลการศึกษาการชะล้างธาตุอาหารในดิน.....	104
5.1 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์.....	104
5.2 ผลการจำลองปริมาณน้ำท่า.....	107
5.2.1 ผลการปรับเทียบปริมาณน้ำท่า.....	107
5.2.2 ผลการสอบทานปริมาณน้ำท่า.....	108
5.3 ผลการปรับเทียบปริมาณตะกอน.....	111
5.4 ผลการจำลองปริมาณไนโตรเจน.....	113
5.5 ผลการจำลองปริมาณฟอสเฟต.....	118
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	123
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	123
6.1.1 สมบัติดิน.....	123
6.1.2 การชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในกลุ่มน้ำห้วยหลวง.....	125

6.2 ข้อเสนอแนะ	126
รายการอ้างอิง.....	127
ภาคผนวก	133
ภาคผนวก ก พิกัดจุดเก็บตัวอย่างดิน.....	134
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์.....	137
ภาคผนวก ค สมบัติดิน	157
ภาคผนวก ง คุณภาพน้ำ.....	163
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	164



สารบัญตาราง

ตาราง 1	ปฏิกริยาดินตามระดับค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ.....	8
ตาราง 2	เกณฑ์มาตรฐานค่าอินทรีย์วัตถุในดิน.....	9
ตาราง 3	สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงในปี พ.ศ. 2554.....	31
ตาราง 4	จำนวนจุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงครั้งที่ 1 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 จำนวน 98 ตัวอย่าง โดยจำแนกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและลักษณะธรณีสัณฐาน.....	34
ตาราง 5	ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง SWAT.....	45
ตาราง 6	ข้อมูลสถานีอุตุนิยมิวิทยาและสถานีอุทกวิทยา.....	47
ตาราง 7	ข้อมูลปฏิทินการเพาะปลูกพืช.....	52
ตาราง 8	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงในภาพรวม.....	55
ตาราง 9	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในลุ่มน้ำห้วยหลวงตามประเภทธรณีสัณฐาน.....	58
ตาราง 10	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	61
ตาราง 11	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติดิน.....	96
ตาราง 12	ค่าสถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Correlation) ของสมบัติดิน.....	99
ตาราง 13	ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในช่วงก่อน-ระหว่างปลูกข้าว.....	101
ตาราง 14	ค่าการปรับแก้พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า.....	107
ตาราง 15	พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544 และ 2554.....	108
ตาราง 16	ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณตะกอน.....	111
ตาราง 17	ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน.....	113
ตาราง 18	ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณฟอสเฟต.....	118

สารบัญรูปภาพ

รูป 1	กรอบงานวิจัย	4
รูป 2	ไดอะแกรมสามเหลี่ยมแฉงประเภทของเนื้อดินตามสัดส่วนโดยมวลของดิน	6
รูป 3	วัฏจักรไนโตรเจน	10
รูป 4	วัฏจักรฟอสฟอรัส	12
รูป 5	วัฏจักรอุทกวิทยา.....	14
รูป 6	การจำลองการแพร่กระจายของมลสารและการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน	17
รูป 7	การจำลองการแพร่กระจายของมลสารและการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัส	19
รูป 8	แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศของกลุ่มน้ำห้วยหลวง.....	26
รูป 9	แผนที่แสดงลักษณะธรณีสัณฐานของกลุ่มน้ำห้วยหลวง	28
รูป 10	แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินกลุ่มน้ำห้วยหลวงปี พ.ศ. 2554.....	30
รูป 11	สถานีเก็บตัวอย่างดินในกลุ่มน้ำห้วยหลวงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 (ครั้งที่ 1) จำนวน 98 จุด.....	33
รูป 12	สถานีเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ต้นน้ำกลุ่มน้ำห้วยหลวง เดือนกันยายน พ.ศ. 2557 (ครั้งที่ 2) จำนวน 24 จุด.....	35
รูป 13	สถานีเก็บตัวอย่างน้ำในพื้นที่ต้นน้ำกลุ่มน้ำห้วยหลวง ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557 - เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 5 จุด.....	37
รูป 14	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน (ก) หลอดเจาะดิน และ (ข) กระบอกลอดเจาะดิน.....	38
รูป 15	(บน) การวางจุดเก็บตัวอย่างดินในแต่ละสถานี และ (ล่าง) ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดิน โดยใช้หลอดเจาะดิน	38
รูป 16	ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอกลอดเจาะดิน.....	39
รูป 17	แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลขบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ กลุ่มน้ำห้วยหลวง	48
รูป 18	พื้นที่ต้นน้ำที่กำหนดในการศึกษาการจำลองการชะล้างธาตุอาหาร	49
รูป 19	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินพ.ศ. 2554.....	50

รูป 20	ชนิดดินบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ ลุ่มน้ำห้วยหลวง	51
รูป 21	ไดอะแกรมการกระจายโครงสร้างดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง.....	56
รูป 22	ไดอะแกรมการกระจายโครงสร้างดินตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	67
รูป 23	แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานและช่วงความเข้มข้นของอนุภาคขนาดดิน	69
รูป 24	แผนที่แสดงลักษณะการกระจายของอนุภาคทรายในลุ่มน้ำห้วยหลวง	70
รูป 25	แผนที่แสดงลักษณะการกระจายของอนุภาคทรายแป้งในลุ่มน้ำห้วยหลวง	71
รูป 26	แผนที่แสดงลักษณะการกระจายของอนุภาคดินเหนียวในลุ่มน้ำห้วยหลวง	72
รูป 27	แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานและช่วงความเข้มข้นของความหนาแน่น	75
รูป 28	แผนที่แสดงลักษณะการกระจายความหนาแน่นรวมในลุ่มน้ำห้วยหลวง	76
รูป 29	แผนที่แสดงการกระจายความหนาแน่นของอนุภาคในลุ่มน้ำห้วยหลวง	77
รูป 30	แผนที่แสดงลักษณะการกระจายความพรุนในลุ่มน้ำห้วยหลวง	78
รูป 31	แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานและช่วงความเข้มข้นของความเป็นกรด-ด่าง และ อินทรีย์วัตถุ	81
รูป 32	แผนที่แสดงลักษณะการกระจายความเป็นกรด-ด่าง ในลุ่มน้ำห้วยหลวง	82
รูป 33	แผนที่แสดงการกระจายอินทรีย์วัตถุในลุ่มน้ำห้วยหลวง.....	83
รูป 34	แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานและช่วงความเข้มข้นของไนโตรเจน	87
รูป 35	แผนที่แสดงลักษณะการกระจายไนโตรเจน-ไนโตรเจนในลุ่มน้ำห้วยหลวง.....	88
รูป 36	แผนที่แสดงการกระจายแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในลุ่มน้ำห้วยหลวง.....	89
รูป 37	แผนที่แสดงการกระจายไนโตรเจนรวมในลุ่มน้ำห้วยหลวง.....	90
รูป 38	แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานและช่วงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส	93
รูป 39	แผนที่แสดงลักษณะการกระจายฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในลุ่มน้ำห้วยหลวง.....	94
รูป 40	แผนที่แสดงลักษณะการกระจายฟอสฟอรัสอินทรีย์ในลุ่มน้ำห้วยหลวง	95
รูป 41	ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	103
รูป 42	ค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า.....	105

รูป 43 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า	109
รูป 44 ผลการสอบทานปริมาณน้ำท่า ระหว่างปี 2544 – 2558	110
รูป 45 ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอน ระหว่างปี พ.ศ. 2545 – 2547	112
รูป 46 การเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท สถานี 01	115
รูป 47 การเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท สถานี 02	116
รูป 48 การเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท สถานี KH53	117
รูป 49 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสเฟต สถานี 01	119
รูป 50 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสเฟต สถานี 02	120
รูป 51 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสเฟต สถานี KH53	121



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

แม่น้ำห้วยหลวงเป็นลำน้ำสาขาของแม่น้ำโขง ความยาวลำน้ำประมาณ 150 กิโลเมตร มีต้นน้ำอยู่บนแนวสันปันน้ำบนเทือกเขาภูพาน ไหลผ่านหลายอำเภอในจังหวัดอุดรธานี และไหลลงแม่น้ำโขงที่อำเภอโพธิ์ชัย จังหวัดหนองคาย กลุ่มน้ำห้วยหลวงมีพื้นที่ประมาณ 4,138 ตารางกิโลเมตร ส่วนใหญ่อยู่ในเขตจังหวัดอุดรธานี มีบางส่วนอยู่ในเขตจังหวัดหนองคายและหนองบัวลำภู เนื่องจากห้วยหลวงเป็นลำน้ำสายหลักของจังหวัดอุดรธานี จึงเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา โดยมีอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเป็นแหล่ง พักน้ำและส่งน้ำเข้าสู่ตัวเมืองเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิต นอกจากนี้ ยังเป็นแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรกรรม มีระบบชลประทาน เป็นแหล่งอาหารและประมง อีกทั้งยังเป็นพื้นที่รับน้ำเสียจากชุมชนอีกด้วย

เนื่องจากอุดรธานีเป็นจังหวัดใหญ่ เป็นศูนย์กลางการคมนาคมทั้งทางอากาศและทางบก เป็นศูนย์กลางหน่วยงานราชการและด้านเศรษฐกิจแห่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภูมิภาคกลุ่มน้ำโขง ทรัพยากรหนึ่งที่สำคัญและจำเป็นต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจก็คือทรัพยากรน้ำ จากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้อุณหภูมิและฤดูกาลแปรเปลี่ยนไปจากเดิม ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า ซึ่งกระทบต่อเกษตรกรรมที่เป็นอาชีพหลักและครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำห้วยหลวง แม้แต่สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ยังมีชุดโครงการวิจัยที่ศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อพื้นที่กลุ่มน้ำห้วยหลวง ทั้งในแง่ทรัพยากรน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน การทำเกษตรกรรม รวมไปถึงผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจและสังคม

ปัจจุบันทรัพยากรน้ำเป็นหนึ่งในปัญหาหลักของกลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยเกิดน้ำท่วมในฤดูฝน ขณะที่ฤดูแล้งมีน้ำไม่เพียงพอ อีกทั้งคุณภาพน้ำก็อยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม ปริมาณไนเตรทและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9, 2560) และยังเกิดการสะสมของสาหร่าย (algae bloom) อยู่บ่อยครั้ง ส่งผลกระทบต่อ การนำน้ำไปใช้อุปโภคบริโภค สาเหตุหลักส่วนหนึ่งมาจากลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมกระจายอยู่ทั่วทั้งกลุ่มน้ำ โดยคิดเป็นร้อยละ 59 ของพื้นที่ทั้งหมด ในจำนวนนี้ ร้อยละ 73.1 เป็นนาข้าว รองลงมา คือ อ้อย (ร้อยละ 8.0) มันสำปะหลัง (ร้อยละ 5.4) ยางพารา (ร้อยละ 5.3) ยูคาลิปตัส (ร้อยละ 4.7) และที่เหลือเป็นเกษตรกรรมอื่น (ร้อยละ 3.5) แม้แต่ในพื้นที่ต้นน้ำที่เป็นแหล่งน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงยังพบว่ามีการทำเกษตรกรรม และเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง เกษตรกรจึงใช้ปุ๋ย

ยาฆ่าแมลง และสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งบางครั้งใช้ในปริมาณมากเกินไป และใช้ตามเวลาที่ไม่เหมาะสม เมื่อฝนตกน้ำฝนจะชะสารอาหารและสารเคมีจากดินลงสู่แหล่งน้ำ จนเกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ตามมา

จากสาเหตุข้างต้น จึงเป็นที่มาของการศึกษาไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจาย ซึ่งในที่นี้คือ พื้นที่เกษตรกรรมในลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยได้วิเคราะห์ระดับความเข้มข้นและการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน ตามประเภทลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ได้วิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ อนุภาคดิน (soil texture), ความหนาแน่น (density), ความพรุน (porosity), ความเป็นกรดต่าง (pH) และอินทรีย์วัตถุ (organic matter) สำหรับไนโตรเจน ศึกษาในรูปแบบไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate-nitrogen), แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen) และไนโตรเจนรวม (total Kjeldahl nitrogen) ส่วนฟอสฟอรัส ศึกษาในรูปแบบฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) และฟอสฟอรัสอินทรีย์ (organic phosphorus) หลังจากนั้นจึงแสดงภาพการกระจายเชิงพื้นที่ของสมบัติดินต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการทรัพยากรดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ทั้งนี้ ได้เปรียบเทียบความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระหว่างลักษณะธรณีสัณฐาน ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และในช่วงก่อน - ระหว่างปลูกข้าว เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในลุ่มน้ำห้วยหลวง

นอกจากนี้ ได้รวบรวมข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับการชะล้างสารเคมีลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลอุตุนิยมิวิทยา และข้อมูลอุทกวิทยา เช่น แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข แผนที่ชุดดิน แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า ปริมาณตะกอน อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น และนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Soil and Water Assessment Tool (SWAT) มาใช้เป็นเครื่องมือในการทำนายปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำห้วยหลวง เพื่อนำไปสู่การป้องกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับทรัพยากรดินและน้ำ และการวางแผนการจัดการผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาระดับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินจากแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจายในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง
- 2) ประเมินระดับการสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินและลักษณะธรณีสัณฐานต่างกันในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง
- 3) ประเมินการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากลุ่มน้ำลงสู่แม่น้ำห้วยหลวงโดยใช้แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ของ Texas Water Resources Institute

1.3 สมมติฐานการวิจัย

- 1) ลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดินมีอิทธิพลต่อการกระจายเชิงพื้นที่ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส
- 2) แบบจำลอง SWAT สามารถใช้ประเมินการชะล้างของธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจายจากพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงลงสู่แม่น้ำห้วยหลวงได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

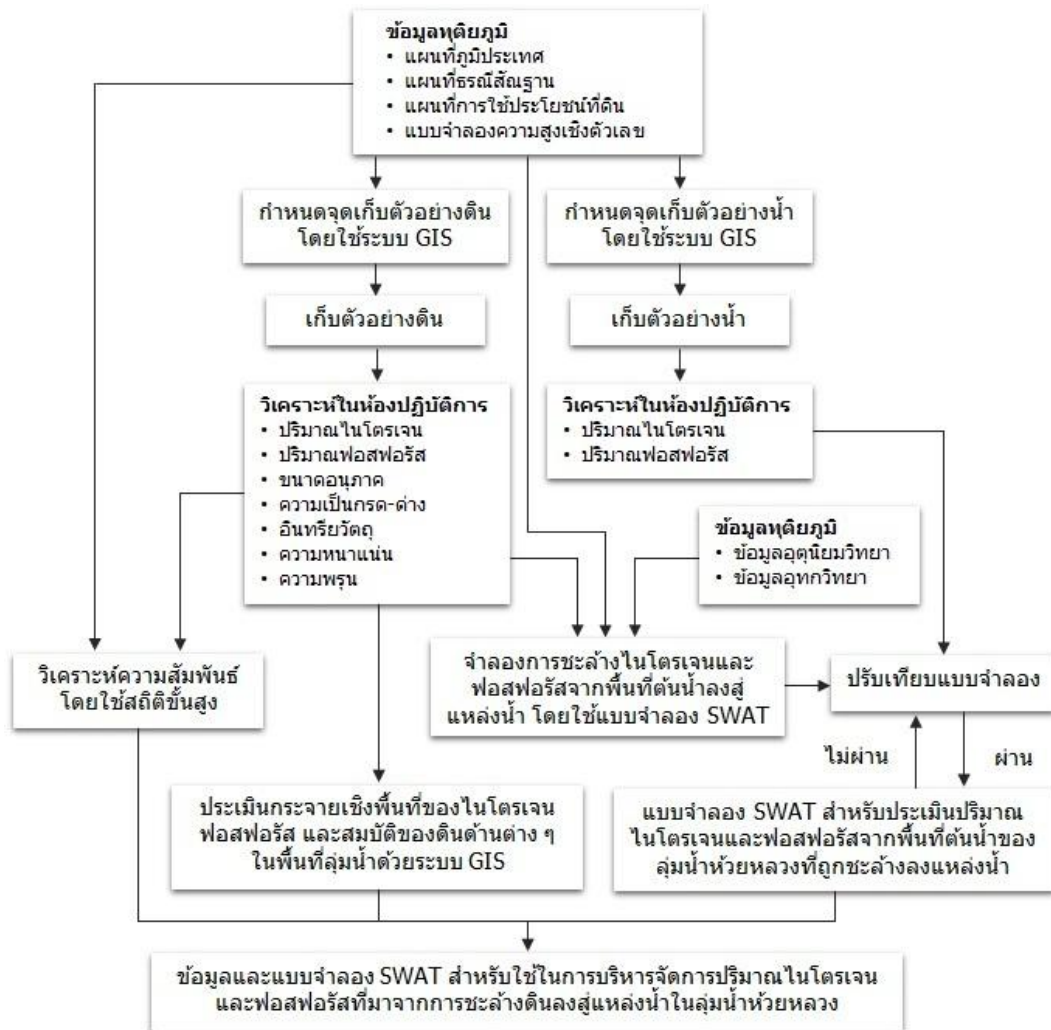
ศึกษาการชะล้างธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำห้วยหลวง (ครอบคลุมพื้นที่ จังหวัดอุดรธานี หนองคาย และหนองบัวลำภู) ที่ลงสู่แม่น้ำห้วยหลวง โดยใช้ข้อมูลสมบัติดินด้านกายภาพและเคมี รวมถึงปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่สุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ซึ่งแบ่งตามลักษณะธรณีสัณฐาน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อประเมินระดับการแพร่กระจายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินและลักษณะธรณีสัณฐานที่ต่างกัน และเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินระดับธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

ผลการศึกษาลักษณะการกระจายเชิงพื้นที่ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และการประเมินการชะล้างธาตุอาหารในลุ่มน้ำห้วยหลวงจากแบบจำลอง SWAT สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการคุณภาพน้ำในแม่น้ำห้วยหลวง

1.6 กรอบงานวิจัย

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ แผนที่ภูมิประเทศ ธรณีสัณฐาน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลขในการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน เมื่อเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการแล้ว จึงได้ทำการวิเคราะห์สถิติขั้นสูง และประเมินการกระจายเชิงพื้นที่ของสมบัติดิน ในด้านการจำลองการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากพื้นที่ต้นน้ำลงสู่ลำน้ำห้วยหลวงได้ใช้แบบจำลอง SWAT โดยนำเข้าข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ข้อมูลทุติยภูมิ ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ อุทยานวิทยา และอุทกวิทยา และข้อมูลปฐมภูมิที่วิเคราะห์ได้จากห้องปฏิบัติการ มีการเปรียบเทียบแบบจำลองจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ จนได้ข้อมูลและแบบจำลองสำหรับการบริหารจัดการปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มาจากดินลงสู่ลำน้ำห้วยหลวง



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ลักษณะสมบัติดินทางกายภาพและเคมี การแพร่กระจายของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน การจำลองการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงสู่ แหล่งน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ

2.1 สมบัติดิน

ดิน หมายถึง เทหวัตถุธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลก เกิดจากการผุพังหรือการแปรสภาพของหินและแร่ รวมถึงอินทรีย์วัตถุผสมกัน ดังนั้น ดินในแต่ละพื้นที่จึงมีความแตกต่างกันไปตามปัจจัยต่างๆ ที่ใช้การสร้างตัวของดิน จนส่งผลให้ดินมีลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556b; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

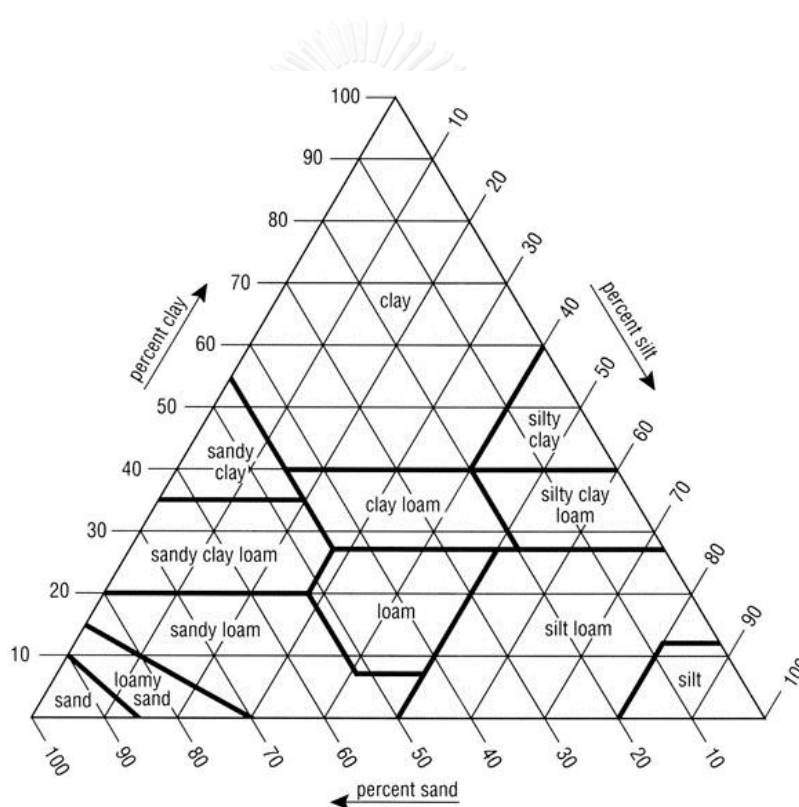
2.1.1 สมบัติดินทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของดิน (soil physical properties) หมายถึง สมบัติของดินที่สามารถประเมินได้จากลักษณะภายนอก มองเห็นและสัมผัสได้ เช่น เนื้อดิน สีดิน ความหนาแน่นของดิน การอุ้มน้ำ การถ่ายเทอากาศ หรือการยึดเกาะกันของอนุภาคเม็ดดิน เป็นต้น ซึ่งสมบัติดินทางกายภาพมีความสัมพันธ์กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ สมบัติทางกายภาพยังมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนั้น หากมีสมบัติใดเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ดินมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย

2.1.1.1 เนื้อดิน

เนื้อดิน (soil texture) หมายถึง สัดส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคที่เป็นของแข็งในดิน ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ซึ่งได้แก่ อนุภาคขนาดทราย (sand) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.00 – 0.05 มิลลิเมตร ขนาดทรายแป้ง (silt) เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.05 – 0.002 มิลลิเมตร และขนาดดินเหนียว (clay) เส้นผ่าศูนย์กลาง < 0.002 มิลลิเมตร ความแตกต่างของสัดส่วนอนุภาคเหล่านี้ทำให้เนื้อดินมีลักษณะที่หลากหลาย ดังนั้น เนื้อดินจึงมีขนาดบอถึงความหยาบหรือละเอียดของดิน ดินทรายเป็นดินเนื้อหยาบ มีสัดส่วนอนุภาคขนาดทรายสูงและขนาดดินเหนียวต่ำ ในทางตรงข้ามดินเหนียวเป็นดินเนื้อละเอียด จะมีสัดส่วนของอนุภาคขนาดดินเหนียว

มากกว่าอนุภาคขนาดทราย และการเรียกชื่อประเภทเนื้อดินจำแนกตามสัดส่วนขนาดอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ คือ กลุ่มดินเนื้อละเอียด (fine-textured soils) ประกอบด้วย ดินเหนียว (clay), ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay), ดินเหนียวปนทราย (clay loam), ดินร่วนเหนียว (clay loam) และดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (medium-textured soils) ประกอบด้วย ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam), ดินร่วน (loam), ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) และดินทรายแป้ง (silt) กลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse-textured soils) ประกอบด้วย ดินทราย (sand), ดินทรายร่วน (loamy sand) และ ดินร่วนทราย (sandy loam) รูป 2 แสดงไดอะแกรมสามเหลี่ยมและประเภทของเนื้อดินตามสัดส่วนขนาดอนุภาค



รูป 2 ไดอะแกรมสามเหลี่ยมแสดงประเภทของเนื้อดินตามสัดส่วนโดยมวลของดิน (Nyle & Weil, 2010)

2.1.1.2 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของดิน (soil density) มี 2 ประเภท คือ ความหนาแน่นรวม (bulk density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลแห้งของดินและปริมาตรรวม และความหนาแน่นอนุภาค (particle density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลแห้งของดินต่อหน่วยปริมาตรของของแข็ง

โดยความหนาแน่นรวมจะมีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นอนุภาค (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินส่งผลต่อความหนาแน่นของดิน ดินที่มีอินทรีย์วัตถุมาก จะมีค่าความหนาแน่นรวมต่ำ อินทรีย์วัตถุช่วยให้ดินโปร่ง สัดส่วนขนาดอนุภาคก็มีผลต่อความหนาแน่นของดิน ดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีค่าความหนาแน่นรวมต่ำกว่าดินเนื้อหยาบ ค่าความหนาแน่นรวมของดินที่เหมาะสมต่อการทำเกษตรกรรมกรรมอยู่ระหว่าง 1.0 - 1.5 กรัม/ลบ.ซม (Tan, 2005) สำหรับค่าความหนาแน่นอนุภาคถือว่าเป็นความหนาแน่นที่แท้จริงของดิน และมักเป็นค่าที่คงที่หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดินโดยทั่วไปมีค่าความหนาแน่นอนุภาคอยู่ระหว่าง 2.60 - 2.75 กรัม/ลบ.ซม. (Nyle & Weil, 2010)

2.1.1.3 ความพรุน

ความพรุนของดิน (soil porosity) หมายถึงส่วนที่เป็นช่องว่างของดิน โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ช่องว่างขนาดใหญ่ (macropore) และช่องว่างขนาดเล็ก (micropore) (Nyle & Weil, 2010) ช่องว่างในดินมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช มีหน้าที่เก็บกักน้ำ ก๊าซ ตลอดจนธาตุอาหารพืชที่ละลายอยู่ในน้ำที่อยู่ในดิน ช่องว่างขนาดใหญ่ยังทำหน้าที่เป็นทางผ่านของน้ำและก๊าซ นอกจากนี้ยังเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในดิน โดยทั่วไปดินที่มีเนื้อหยาบจะมีความพรุนประมาณร้อยละ 30 - 50 ขณะที่ดินที่มีเนื้อละเอียดกว่าจะมีความพรุนอยู่ระหว่างร้อยละ 40 - 60 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ความพรุนรวมมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของดิน ดินที่มีความหนาแน่นรวมสูงจะมีความพรุนรวมของดินน้อย เพราะดินมีการอัดตัวกันมากกว่าปกติ หรือปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง จากการทำการเกษตรนานเกินไป การใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในการเตรียมดิน หรือแม้แต่การถูกเหยียบย่ำจากมนุษย์และสัตว์ (Tan, 2005)

2.1.2 สมบัติดินทางเคมี

สมบัติทางเคมีของดิน (soil chemical) ประกอบด้วย

2.1.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH) คือ ดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 จัดเป็นดินที่เป็นกรด (acid soil) ดินที่เป็นด่าง (alkaline soil) คือ ดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 หมายความว่าดินมีความเป็นกลาง (neutral soil) ตาราง 1 แสดงปฏิกิริยา ดินตามระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเป็นกรด-ด่างของดินจะควบคุมปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นใน และมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ควบคุมการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารพืช (Foth, 1978) เช่น ที่ระดับ 6 - 7 ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปสารละลาย ที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำ ฟอสเฟตถูกตรึงด้วยเหล็ก อะลูมิเนียมและแมงกานีส แต่เมื่อดินเป็นด่าง ฟอสเฟตจะถูกตรึงด้วยแคลเซียมและแมกนีเซียม

(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) นอกจากนี้ พีชแต่ละชนิดมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตแตกต่างกัน เช่น ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวอยู่ระหว่าง 5.0 – 6.5 ข้าวโพดอยู่ที่ 5.5 – 7.5 อ้อยอยู่ที่ 5.0 – 7.0 ยูคาลิปตัสอยู่ที่ 6.0 – 7.0 และมะม่วงอยู่ที่ 5.0 – 6.0 เป็นต้น

ตาราง 1 ปฏิกริยาดินตามระดับค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ปฏิกริยาดิน
< 3.5	กรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)
3.5 – 4.4	กรดรุนแรงมาก (extremely acid)
4.5 – 5.0	กรดจัดมาก (very strongly acid)
5.1 – 5.5	กรดจัด (strongly acid)
5.6 – 6.0	กรดปานกลาง (moderately acid)
6.1 – 6.5	กรดเล็กน้อย (slightly acid)
6.6 – 7.3	เป็นกลาง (neutral)
7.4 – 7.8	ด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)
7.9 – 8.4	ด่างปานกลาง (moderately alkaline)
8.5 – 9.0	ด่างจัด (strongly alkaline)
> 9.0	ด่างจัดมาก (very strongly alkaline)

ที่มา: (เอิบ เขียวรื่นรมณ์, 2542) ภาควิชา
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.2.2 อินทรีย์วัตถุ

อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter) เกิดจากการเน่าเปื่อยพุงหรือการสลายตัวของพืชและสัตว์ เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชและแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน มีความสำคัญต่อสมบัติของดิน (Havlin et al, 2014b) เช่น การทำให้อนุภาคดินจับตัวกันเป็นเม็ดดินเป็นก้อนดิน ทำให้ดินมีโครงสร้างร่วนซุย ถ่ายเทอากาศและน้ำได้ดี ดินอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารพืชได้มาก ด้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง และลดความเป็นพิษของเหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส (Roy et al, 1977) เป็นต้น ดินโดยทั่วไปมีอินทรีย์วัตถุประมาณร้อยละ 1 – 6 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานค่าอินทรีย์วัตถุในดินแสดงในตาราง 2 อุณหภูมิและวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าอินทรีย์วัตถุในดิน โดยอุณหภูมิสูงจะทำให้การสลายตัวของสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้เร็ว (Plaster, 2014) วัตถุต้นกำเนิดดิน เช่น ดินทรายเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดังนั้นการสะสมของอินทรีย์ภูมิจึงน้อยตาม

ไปด้วย นอกจากนี้ กิจกรรมการใช้ที่ดิน โดยเฉพาะการทำการเกษตรที่มีการปลูกพืชอยู่ตลอดเวลา ไม่มีการปรับปรุงสภาพดิน รวมถึงการเผาตอซังพืชหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำให้อินทรีย์วัตถุในดินลดลง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556b) อินทรีย์วัตถุในดินของประเทศไทยในแต่ละภูมิภาคมีค่าแตกต่างกัน แม้จะมี กิจกรรมการเกษตรเหมือนกัน เช่น ดินนาในภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ ภาคใต้ มีอินทรีย์วัตถุ ร้อยละ 0.98 – 5.0, 0.7– 3.7, 0.1 – 0.9 และ 1.0 – 3.0 ตามลำดับ (เกษมศรี ชับซ้อน, 2541)

ตาราง 2 เกณฑ์มาตรฐานค่าอินทรีย์วัตถุในดิน

ค่าอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	เกณฑ์มาตรฐาน
< 0.5	ต่ำมาก
0.5 – 1.0	ต่ำ
1.0 – 1.5	ต่ำปานกลาง
1.5 – 2.5	ปานกลาง
2.5 – 3.5	สูงปานกลาง
3.5 – 4.5	สูง
> 4.5	สูงมาก

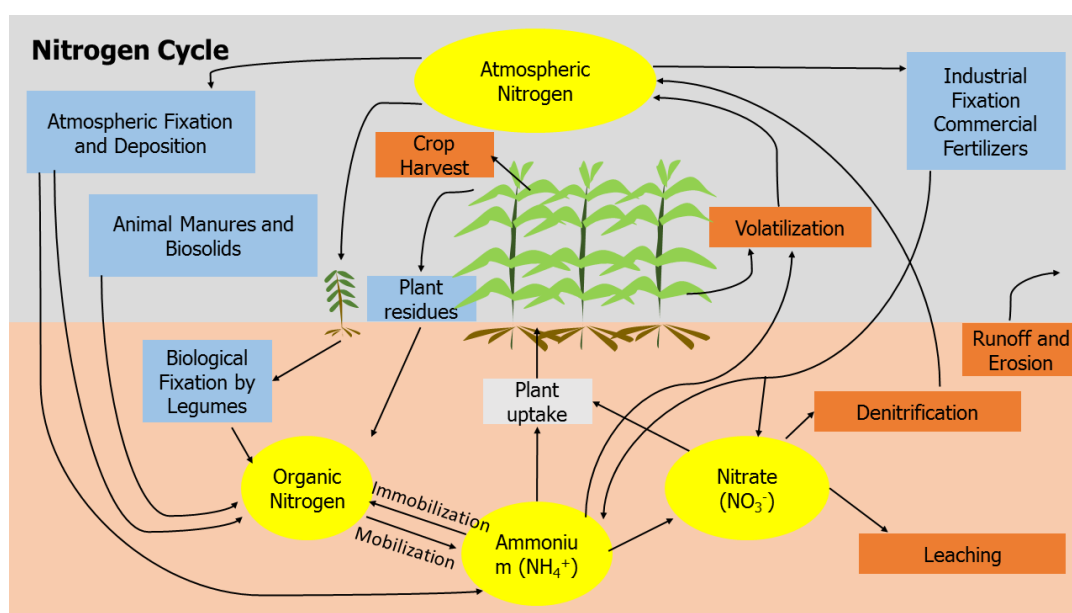
ที่มา; (เอิบ เขียวรินรมณ์, 2542)

2.1.2.3 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนในดิน (soil Nitrogen) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีทั้งที่อยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) และอนินทรีย์ไนโตรเจน (inorganic nitrogen) ส่วนใหญ่แล้ว ในดินไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของอนินทรีย์ถึงร้อยละ 90 ที่เหลือเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งมี 6 ชนิด ได้แก่ ไนเตรท (NO_3^-), ไนไตรท์ (NO_2^-), แอมโมเนีย (NH_4^+) ที่แลกเปลี่ยนได้, แอมโมเนีย ที่แลกเปลี่ยนไม่ได้เพราะถูกแร่ธาตุตรึงไว้, ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และ ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) (Plaster, 2014) พืชจะดึงดูดธาตุไนโตรเจนจากดินได้ในรูปไนเตรท (NO_3^-) และแอมโมเนีย (NH_4^+) แต่การสูญเสียไนโตรเจนในดินมักเกิดขึ้นได้ง่ายจากการถูกชะล้างหน้าดิน ความเป็นกรดหรือด่างของดินมากเกินไป หรือแม้แต่การระเหยของก๊าซไนโตรเจนออกสู่บรรยากาศ ในพื้นที่เกษตรกรรมจึงมักพบการขาดธาตุไนโตรเจนในดิน (Nyle & Weil, 2010; Roy et al, 1977)

รูป 3 แสดงวัฏจักรไนโตรเจน ในธรรมชาติมีไนโตรเจนในอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 79 ไนโตรเจนในดินเกิดขึ้นได้จากแบคทีเรียจะตรึงไนโตรเจนจากอากาศลงสู่ดิน รวมถึงการย่อยสลาย ไนโตรเจนจากซากพืชซากสัตว์จะกลายเป็นอินทรีย์ไนโตรเจน จากนั้นกระบวนการ Mobilization ทำ

ให้เกิดแอมโมเนีย (NH_4^+) และกลายเป็นไนเตรท (NO_3^-) ด้วยกระบวนการ Nitrification นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยยังช่วยเพิ่มปริมาณทั้งไนเตรทและแอมโมเนียด้วย หลังจากนั้นทั้งแอมโมเนียและไนเตรทจะถูกพืชดูดไปใช้ประโยชน์ ในขณะที่เดียวกันการสูญเสียไนโตรเจนในดินจะเกิดขึ้นด้วยกระบวนการ Immobilization เป็นการเปลี่ยนรูปจากแอมโมเนียกลับไปเป็นอินทรีย์ไนโตรเจน ไนเตรทถูกชะล้าง (leaching) ในชั้นรากพืช (root zone) และการกลายเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) ด้วยกระบวนการ Denitrification และ Volatilization (Nyle & Weil, 2010)



รูป 3 วัฏจักรไนโตรเจน

ดัดแปลงจาก (Lamb et al, 2014)

การสูญเสียไนโตรเจนในดิน เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ (Havlin et al, 2014a; Sanchez, 1976; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เช่น

- 1) ถูกพืชดูดไปใช้ประโยชน์ เพื่อการเจริญเติบโตของพืช
- 2) การชะล้างพังทลายและการกัดกร่อนของดิน ทั้งนี้จะขึ้นกับชนิดของเนื้อดิน ปริมาณน้ำฝน ลักษณะภูมิอากาศและลักษณะภูมิประเทศในแต่ละพื้นที่ เมื่อดินถูกชะล้างหรือกัดกร่อนจะทำให้สูญเสียธาตุอาหารไปด้วย
- 3) การสูญเสียในรูปของก๊าซ ได้แก่ ขบวนการดีไนตริฟิเคชันจะทำให้ธาตุไนโตรเจนเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) และในดินที่มี pH มากกว่า 7 ธาตุไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ระเหยไปในอากาศ

4) ถูกตรึงไว้ในดิน (fixation) คือ การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารจากรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช กลายเป็นรูปที่พืชไม่สามารถดูดไปใช้งานได้ หรือการถูกยึดไว้ในอนุภาคของดินเหนียวจากไม่สามารถปลดปล่อยออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้

2.1.2.4 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในดิน (soil phosphorus) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชมากอีกชนิดหนึ่ง แต่ปริมาณฟอสฟอรัสในดินไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช เนื่องจากเป็นธาตุที่เปลี่ยนรูปได้ง่าย และกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง โดยทั่วไปแล้วในดินมีฟอสฟอรัสต่ำมาก ค่าฟอสฟอรัสรวมเพียงร้อยละ 0.06 และมักจะพบฟอสฟอรัสในรูปออร์โทฟอสเฟส (orthophosphate) (Plaster, 2014; Roy et al, 1977)

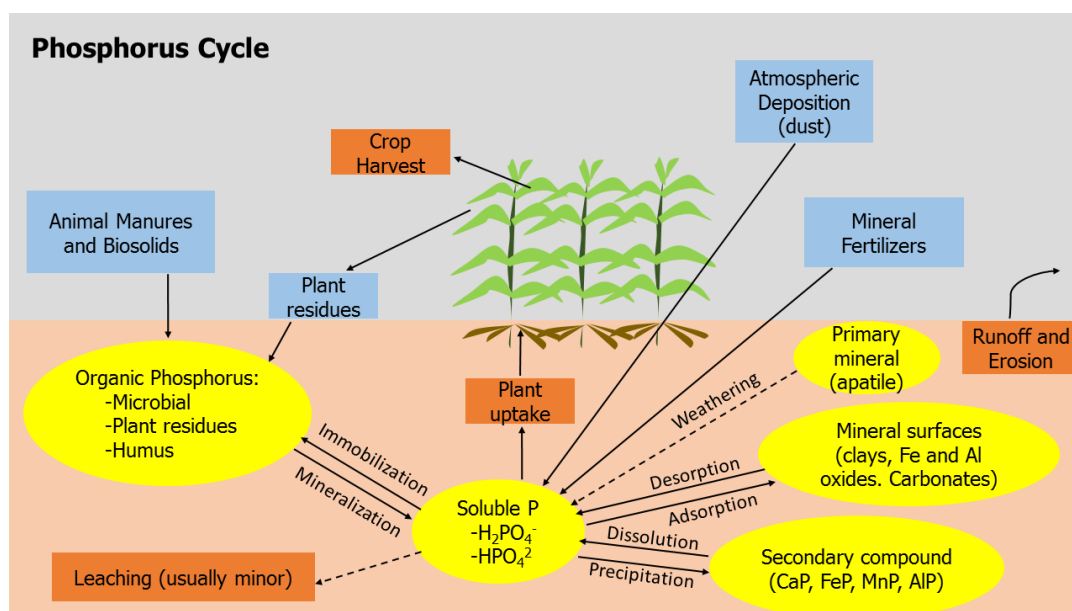
ประเภทของฟอสฟอรัสในดิน มี 2 รูปแบบ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) คือ อินทรีย์ฟอสเฟตและอนินทรีย์ฟอสเฟต

1) อินทรีย์ฟอสเฟต (organic phosphate) ที่ได้จากการสลายตัวผู้พังของซากพืชซากสัตว์ ส่วนมากที่พบจะอยู่ในรูป inositol phosphate พบเล็กน้อยในรูป phospholipids และ nucleic acids และยังมีอีกจำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถระบุได้ ดินโดยทั่วไปมีอินทรีย์ฟอสเฟตอยู่น้อยมาก จุลินทรีย์ในดินจะปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สู่ดินในรูปของสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายได้ง่าย มีโมเลกุลเล็ก เหมาะแก่การนำไปใช้ของพืช หรือในรูปฟอสเฟตไอออนในสารละลายดิน

2) อนินทรีย์ฟอสเฟต (inorganic phosphate) ซึ่งจะจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- ฟอสเฟตในดินที่เป็นแร่ เป็นอนินทรีย์ฟอสเฟตที่พบมากที่สุด สารประกอบจะแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบกำเนิด และมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบไปตามสภาพแวดล้อม และเวลา ฟอสเฟตชนิดนี้ละลายน้ำได้น้อยมาก
- สารประกอบฟอสเฟตที่เกิดจากการใส่ปุ๋ย เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ เช่น $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ลงไปในดินที่มีแคลเซียมและแมกนีเซียมสูง จะเกิดเป็นสารฟอสเฟตชนิดต่างๆ ที่ละลายน้ำได้น้อยกว่าเสมอ แต่เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายได้ในดินที่มีเหล็กมาก หรือดินที่ผ่านการพื้งมานาน จะเกิดเป็นสารฟอสเฟตที่มีโมเลกุลใหญ่และสลับซับซ้อนยิ่งขึ้น ทำให้ฟอสฟอรัสเคลื่อนที่ได้ น้อย และถ้าเป็นดินที่มีอนุภาคทรายมาก หรือมีกระแสน้ำพัดพา ฟอสเฟตจะกระจายไปตามน้ำที่ไหลซึมลงในดินหรือพัดพาลงสู่แหล่งน้ำ
- Adsorbed phosphate ไอออนฟอสเฟตที่ถูกดูดซับอยู่ตามผิวของ hydrous oxide ของเหล็ก อะลูมิเนียม และแร่ดินเหนียวซิลิเกต ฟอสเฟตเหล่านี้จะถูกตรึง และปลดปล่อยออกในรูปของสารละลายดินได้ยาก

รูป 4 แสดงวัฏจักรฟอสฟอรัส โดยฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ต้องอยู่ในรูปสารละลาย ในดินตามธรรมชาติมีฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้น้อยมาก ฟอสฟอรัสอินทรีย์ได้จากซากพืชซากสัตว์ในธรรมชาติและจากการใส่ปุ๋ยคอกในพื้นที่เกษตรกรรม จุลินทรีย์ดินจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการ Mineralization ได้เป็นสารละลายฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในขณะที่อนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะมาจากปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำและพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้ ฟอสฟอรัสในดินจะถูกตรึงไว้ในดินเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงหรือต่ำเกินไป นอกจากนี้ การสูญเสียสารละลายฟอสฟอรัสได้จากการชะล้างด้วยน้ำผิวดินอีกด้วย (Nyle & Weil, 2010)



รูป 4 วัฏจักรฟอสฟอรัส

ดัดแปลงจาก (Lamb et al, 2014)

การสูญเสียฟอสฟอรัสในดิน มีสาเหตุหลายประการ (Havlin et al, 2014a; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดังนี้

- 1) ติดไปกับส่วนของพืชที่เอาออกไปจากดิน (crop removal) หลังจากฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว จะมีการสูญเสียฟอสฟอรัสประมาณ ร้อยละ 0.4 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีในดิน
- 2) ถูกชะละลายลงไปในดินล่าง (leaching) ถึงแม้ว่าฟอสเฟตจะละลายน้ำได้น้อยมาก แต่ถ้าถูกชะล้างเป็นระยะเวลานานย่อมจะมีการสูญเสียฟอสฟอรัสลงสู่ดินชั้นล่างได้เช่นเดียวกัน
- 3) การระเหย (volatilization) ในสภาพดินที่มีน้ำขัง จะสูญเสียฟอสฟอรัสในรูป phosphine (PH_3) ได้

4) การกร่อนของดิน (soil erosion) โดยเกิดจากการที่ลมหรือน้ำพัดพาเอาดินออกไปจากตำแหน่งเดิม ทำให้มีฟอสฟอรัสติดออกไปด้วย

2.2 ทฤษฎีแบบจำลองอุทกวิทยา SWAT

แบบจำลองอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ถูกพัฒนาขึ้นใช้เพื่อทำนายผลกระทบของการใช้ที่ดินต่อทรัพยากรน้ำ ซึ่งได้แก่ น้ำท่า ตะกอน สารเคมีจากการเกษตรต่อลุ่มน้ำขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน ภายใต้เงื่อนไขของความหลากหลายของดิน การใช้ที่ดิน และการจัดการในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน ข้อมูลที่ต้องใช้ในแบบจำลองประกอบไปด้วย ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ, คุณสมบัติของดิน, สภาพภูมิประเทศ, พืชพรรณ และการจัดการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งข้อมูลทางกายภาพเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของน้ำ, การเคลื่อนที่ของตะกอน, การเพาะปลูกพืช, วัฏจักรธาตุอาหาร ฯลฯ แบบจำลองนี้มีลักษณะเป็น continuous-time และไม่สามารถใช้ในการจำลองเหตุการณ์เดี่ยวได้ เช่น เส้นทางการเกิดน้ำท่วม สำหรับข้อดีของแบบจำลองคือ สามารถจำลองลุ่มน้ำที่ไม่มีข้อมูลจากการติดตามได้ ทำนายผลกระทบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับลุ่มน้ำได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ พืชพรรณ หรือการบริหารจัดการอื่นๆ ต่อคุณภาพน้ำ หรือต่อปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง สามารถใช้แบบจำลองได้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ ที่มีกลยุทธ์การจัดการที่หลากหลายโดยที่ไม่ต้องใช้เวลาหรือการลงทุนสูง และช่วยให้ผู้ใช้งานได้ศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในระยะยาว (Arnold et al, 2009; Neitsch et al, 2011)

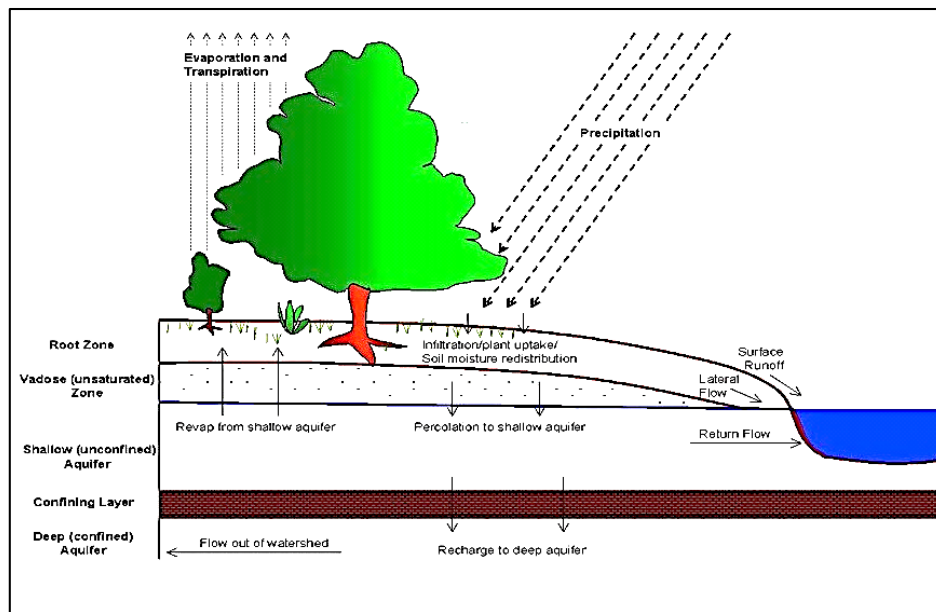
ในการวิเคราะห์และการคำนวณด้วยแบบจำลอง SWAT แบ่งออกเป็น 2 ส่วน (Neitsch et al, 2011) ได้แก่ ส่วนพื้นดิน (land phase) และส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (routing phase)

1) ส่วนพื้นดิน หรือ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (sub-basin component) ข้อมูลในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณน้ำท่า ประกอบไปด้วยข้อมูลต่างๆ ได้แก่ สภาพอากาศ (climate) อุทกวิทยา (hydrology) การตกตะกอน (sedimentation) อุณหภูมิของดิน (soil temperature) การเติบโตของพืช (crop Growth) สารอาหาร (nutrient) ยาฆ่าแมลง (pesticide) และการจัดการทางการเกษตร (agricultural management)

2) ส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ เป็นการคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำตลอดทั้งโครงข่ายของลุ่มน้ำ ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ของลำน้ำสายหลัก (routing in the main channel) แบ่งได้เป็นการเคลื่อนตัวของน้ำท่วม (flood routing) การเคลื่อนตัวของตะกอน (sediment routing) การเคลื่อนตัวของสารอาหาร (nutrient routing) และการเคลื่อนตัวของยาฆ่าแมลง (pesticide routing) นอกจากนี้ยังมีการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำด้วย ซึ่งจะประกอบด้วย การเคลื่อนตัวผ่านอ่างเก็บน้ำ การเคลื่อนตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ การเคลื่อนตัวของสารอาหารในอ่างเก็บน้ำ และการเคลื่อนตัวของยาฆ่าแมลงในอ่างเก็บน้ำ

2.2.1 การคำนวณสมดุลน้ำ

ในการจำลองส่วนพื้นดินนี้ กำหนดให้ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาบางส่วนพืชกักไว้ บางส่วนไหลซึมลงสู่ใต้ดิน บางส่วนไหลบ่าอยู่ที่ผิวหน้าดินแล้วไหลลงสู่ที่ต่ำกว่า จนในที่สุดไปรวมอยู่ตามแหล่งน้ำต่างๆ สำหรับน้ำที่ซึมลงดินบางส่วนพืชจะดูดกลับมาใช้ และอีกส่วนหนึ่งจะไหลไปรวมกับน้ำใต้ดิน และไหลลงสู่แหล่งน้ำต่างๆ เช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูป 5



รูป 5 วัฏจักรอุทกวิทยา

ที่มา; (Neitsch et al, 2011)

สมการสมดุลน้ำ

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (2.1)$$

เมื่อ SW_t คือ ปริมาณน้ำในดินสุดท้าย (มิลลิเมตร)

SW_0 คือ ปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นวันที่ i (มิลลิเมตร)

t คือ ช่วงระยะเวลา (วัน)

R_{day} คือ ปริมาณน้ำฝนวันที่ i (มิลลิเมตร)

Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดินวันที่ i (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

E_a คือ ปริมาณการคายระเหยวันที่ i (มิลลิเมตร)

w_{seep} คือ ปริมาณการไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดินวันที่ i (มิลลิเมตร)

Q_{gw} คือ ปริมาณน้ำใต้ดินไหลกลับสู่ลำน้ำวันที่ i (มิลลิเมตร)

2.2.2 การคำนวณปริมาณน้ำท่าผิวดิน

เมื่ออัตราการไหลของน้ำในพื้นที่รับน้ำมีมากกว่าอัตราการซึม น้ำส่วนที่ไหลต่อมาจะเป็นน้ำท่าผิวดิน ในแบบจำลอง SWAT จะเลือกใช้การคำนวณปริมาณน้ำท่าผิวดิน และอัตราการไหลของน้ำท่าสูงสุดด้วยวิธี SCS Curve Number มีสมการ ดังนี้

$$Q = \frac{(R - 0.2S)^2}{R + 0.8S}, \quad R > 0.2S \quad (2.2)$$

$$Q = 0.0, \quad R < 0.2S$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (ลบ.ม./วินาที)

R คือ ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มม.)

S คือ ปัจจัยด้านการกักเก็บน้ำไว้ในดิน (Retention Parameter)

โดย S มีความสัมพันธ์กับค่า Curve Number (CN) ดังสมการ

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2.3)$$

เมื่อ Curve Number (CN) คือ ค่าที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างความยากง่ายของน้ำในการซึมผ่านชั้นดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสถานะของน้ำในดินที่มีอยู่เดิม

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า curve number ได้แก่

ก) คุณสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน (hydrologic soil group) ซึ่งได้แบ่งกลุ่มดินออกเป็น 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีคุณสมบัติในการยอมให้น้ำซึมผ่านได้แตกต่างกัน ดังนี้

กลุ่ม A: เมื่อดินเปียกชุ่มจะมีอัตราการซึมสูง มีศักยภาพการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินต่ำ สามารถระบายน้ำได้ดีจึงมีศักยภาพน้ำท่าต่ำมาก ได้แก่ ดินทรายหรือกรวด

กลุ่ม B: มีอัตราการซึมของน้ำในดินปานกลางเมื่อดินเปียกชุ่ม การระบายน้ำดีปานกลาง ลักษณะดินเป็นดินเนื้อละเอียดปานกลางจนถึงหยาบปานกลาง ส่วนใหญ่เป็นดินร่วน

กลุ่ม C: มีอัตราการซึมของน้ำในดินต่ำเมื่อดินเปียกชุ่ม การระบายต่ำ ลักษณะดินเป็นดินเนื้อปานกลางจนถึงเนื้อละเอียด ได้แก่ ดินเหนียวปนทราย

กลุ่ม D: มีศักยภาพน้ำท่าสูง เนื่องจากอัตราการซึมของน้ำลงดินต่ำมากเมื่อดินเปียกชุ่ม ลักษณะดินเป็นดินเหนียว และมีศักยภาพการขยายตัวสูง ได้แก่ ดินเหนียว

ข) สิ่งปกคลุม หมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่ปกคลุมดิน ป้องกันการระเหยของเมื่อดินที่ตกลงสู่พื้นดิน ประกอบไปด้วย ลักษณะการใช้ที่ดิน และการรักษาหน้าดิน โดยจะเกี่ยวข้องกับลักษณะและ

วิธีการปลูกพืช การเตรียมแปลง โดยแบ่งเป็น การทำการเพาะปลูกเป็นแถว การทำการเพาะปลูกเป็นแถวค้ำยตามระดับพื้นที่และการทำการเพาะปลูกเป็นขั้นบันได

ค) สภาพอุทกวิทยา แบ่งเป็น สภาพแลว มีพืชปกคลุมดินน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ สภาพปานกลาง มีพืชปกคลุมดิน 50-75 เปอร์เซ็นต์ และ สภาพดี มีพืชปกคลุมดินมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์

ง) การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน แบ่งออกเป็น พื้นที่ป่า พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่โล่งเตียนและพื้นที่อยู่อาศัย และพื้นที่น้ำ

จ) เงื่อนไขความชื้นในดินเริ่มต้น (Antecedent Moisture Content : AMC) พิจารณาปริมาณฝนสะสมทั้งหมดที่ตกก่อนหน้าพายุฝน 5 วัน รวมทั้งพิจารณาช่วงฤดูการเพาะปลูกด้วย โดยแบ่งเป็น 3 กรณี คือ AMC I ความชื้นต่ำ AMC II ความชื้นเฉลี่ย และ AMC III ความชื้นสูง ในการกำหนดค่า CN ในแบบจำลอง SWAT เป็นกรณีของ AMC II เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ค่า CN ให้อยู่ในกรณีเดียวกับ AMC ในกรณีต่าง ๆ ตามเงื่อนไขความชื้นในดินเบื้องต้นที่คำนวณได้

2.2.3 การคำนวณปริมาณตะกอน

ในการคำนวณปริมาณตะกอนในแบบจำลอง SWAT จะใช้สมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation; USLE) โดยมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการนำมาใช้ในแบบจำลอง SWAT ดังสมการ 2.4

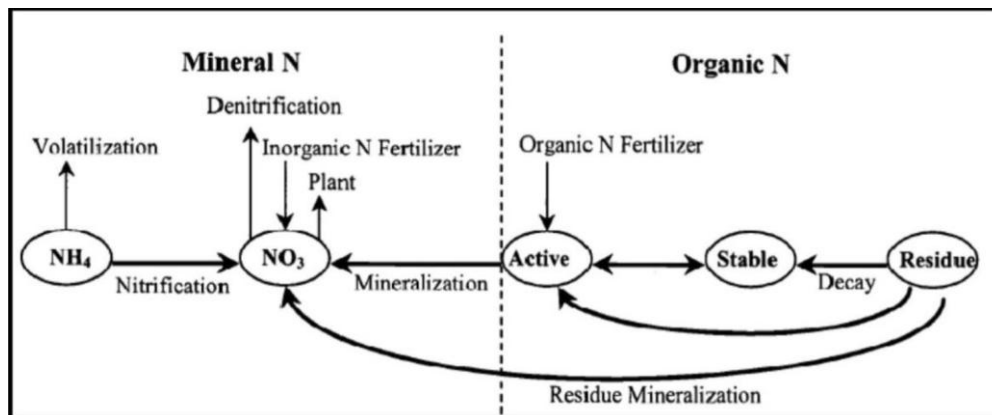
$$Sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \quad (2.4)$$

เมื่อ	Sed	คือ	ปริมาณตะกอนรายวัน (metric tons)
	Q_{surf}	คือ	ปริมาณน้ำผิวดิน (mm H ₂ O/ha)
	q_{peak}	คือ	อัตราการไหลของน้ำท่าสูงสุด (m ³ /s)
	$area_{hru}$	คือ	พื้นที่หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (ha)
	K_{USLE}	คือ	ค่าปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน
	C_{USLE}	คือ	ค่าปัจจัยการจัดการพืช
	P_{USLE}	คือ	ค่าปัจจัยมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ
	LS_{USLE}	คือ	ค่าปัจจัยความยาวของความลาดเทและความชัน
	CFRG	คือ	ปริมาณก้อนหินบนชั้นดินบน

2.2.4 การคำนวณปริมาณไนโตรเจน

รูป 6 แสดงการจำลองการแพร่กระจายของมลสารและการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน ในแบบจำลอง SWAT จะการคำนวณโดยพิจารณาไนโตรเจนทั้งที่อยู่ในดิน น้ำ และอากาศ สารอินทรีย์ไนโตรเจนที่มาจากปุ๋ยอินทรีย์ หรือจากการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ จะกลายเป็นอนินทรีย์

ไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ไนเตรท; NO_3 และ แอมโมเนีย; NH_4) ด้วยกระบวนการ Mineralization การคำนวณจะประกอบด้วย สมการความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่จะเคลื่อนย้าย, ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับน้ำท่าผิวดิน, ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับการไหลซึมออกในแนวระนาบ, ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับการซึมลึก และความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจนที่จะเคลื่อนย้ายไปกับตะกอน (สมการที่ 2.5 -2.11)



รูป 6 การจำลองการแพร่กระจายของมลสารและการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน
ที่มา; (Neitsch et al, 2011)

สมการคำนวณความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่จะเคลื่อนย้าย

$$\text{Conc}_{\text{NO}_3, \text{mobile}} = \frac{\text{NO}_{3, \text{ly}} \cdot (1 - \exp\left[\frac{-W_{\text{mobile}}}{1 - \theta_e \cdot \text{SAT}_{\text{ly}}}\right])}{W_{\text{mobile}}} \quad (2.5)$$

เมื่อ	$\text{Conc}_{\text{NO}_3, \text{mobile}}$	คือ ความเข้มข้นไนเตรทที่เคลื่อนที่ได้ (kg-N/mm H_2O)
	$\text{NO}_{3, \text{ly}}$	คือ ปริมาณไนเตรทในดิน (kg-N/ha)
	W_{mobile}	คือ ปริมาณน้ำที่เคลื่อนที่ (mm H_2O)
	θ_e	คือ Fraction of porosity
	SAT_{ly}	คือ ปริมาณน้ำอิ่มตัวในชั้นดิน (mm H_2O)

สมการคำนวณปริมาณไนเตรท ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับน้ำท่าผิวดิน (surface runoff)

$$\text{NO}_{3, \text{surf}} = \beta_{\text{NO}_3} \text{Conc}_{\text{NO}_3, \text{mobile}} Q_{\text{surf}} \quad (2.6)$$

เมื่อ	$\text{NO}_{3, \text{surf}}$	คือ ปริมาณไนเตรทเคลื่อนที่ไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดิน (kg-N/ha)
	β_{NO_3}	คือ สัมประสิทธิ์การซึมลึก (percolation) ของไนเตรท

$Conc_{NO_3,moblie}$ คือ ความเข้มข้นไนเตรทที่เคลื่อนที่ได้ (kg-N/mm H₂O)

Q_{surf} คือ น้ำไหลบ่าหน้าดินต่อวัน (mm H₂O)

สมการคำนวณปริมาณไนเตรท ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับการไหลซึมออกในแนวระนาบ

$$NO_{3,lat} = \beta_{NO_3} Conc_{NO_3,moblie} Q_{lat} \quad ; \text{ดินชั้นบน (10 มม.)} \quad (2.7)$$

$$NO_{3,lat} = Conc_{NO_3,moblie} Q_{lat} \quad ; \text{ดินชั้นล่าง} \quad (2.8)$$

เมื่อ $NO_{3,lat}$ คือ ปริมาณไนเตรทเคลื่อนที่ไปกับการไหลซึมออกในแนวระนาบ

β_{NO_3} คือ สัมประสิทธิ์การซึมลึก (percolation) ของไนเตรท

$Conc_{NO_3,moblie}$ คือ ความเข้มข้นไนเตรทที่เคลื่อนที่ได้ (kg-N/mm H₂O)

Q_{lat} คือ น้ำไหลซึมออกในแนวระนาบ (mm H₂O)

สมการคำนวณปริมาณไนเตรท ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับการซึมลึก (percolation)

$$NO_{3,perc} = Conc_{NO_3,moblie} W_{perc} \quad (2.9)$$

เมื่อ $NO_{3,perc}$ คือ ปริมาณไนเตรทเคลื่อนที่ไปกับการซึมลึก (percolation)

$Conc_{NO_3,moblie}$ คือ ความเข้มข้นไนเตรทที่เคลื่อนที่ได้ (kg-N/mm H₂O)

W_{perc} คือ น้ำไหลซึมลึก (percolation) (mm H₂O)

สมการคำนวณความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจนที่เคลื่อนย้ายไปกับตะกอน

$$CONC_{orgN} = \frac{(orgN_{frsh,surf} + orgN_{sta,surf} + orgN_{act,surf})}{P_b \cdot depth_{surf}} \quad (2.10)$$

เมื่อ $CONC_{orgN}$ คือ ความเข้มข้นอินทรีย์ไนโตรเจนในดิน (g N/metric ton soil)

$orgN_{frsh,surf}$ คือ ไนโตรเจนจากการย่อยสลายอินทรีย์สารในดิน (kg-N/ha)

$orgN_{sta,surf}$ คือ อินทรีย์ไนโตรเจนในรูป stable ในดิน (kg-N/ha)

$orgN_{act,surf}$ คือ อินทรีย์ไนโตรเจนในรูป active ในดิน (kg-N/ha)

P_b คือ ค่าความหนาแน่นในดิน (Mg/m³)

$depth_{surf}$ คือ ความลึกของดิน (10 mm)

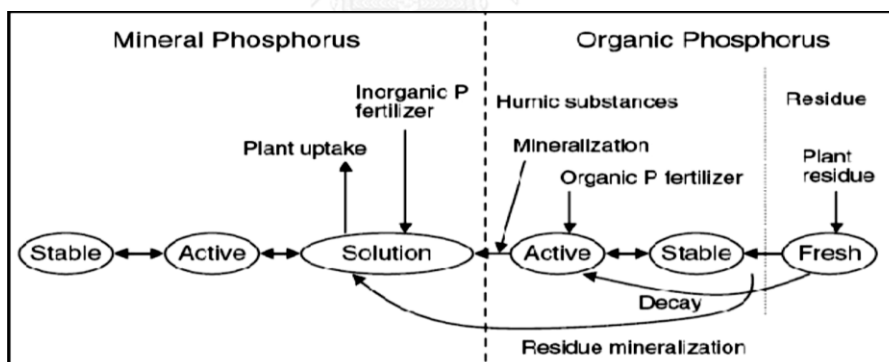
สมการคำนวณปริมาณของอินทรีย์ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับตะกอน

$$orgN_{surf} = 0.001 \cdot CONC_{orgN} \frac{sed}{area_{hru}} E_{N:sed} \quad (2.11)$$

เมื่อ $orgN_{surf}$	คือ ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่เคลื่อนย้ายไปกับตะกอน (kg-N/ha)
$CONC_{orgN}$	คือ ความเข้มข้นอินทรีย์ไนโตรเจนในดิน (g N/metric ton soil)
sed	คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกชะล้างหน้าดินต่อวัน (metric tons)
$area_{hru}$	คือ พื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยทางอุทกวิทยา (HRUs) (ha)
$E_{N:sed}$	คือ Nitrogen enrichment ratio

2.2.5 การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัส

รูป 7 แสดงการจำลองการแพร่กระจายของมลสารและการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัส ในแบบจำลอง SWAT จะการคำนวณโดยพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่ได้จากซากพืชซากสัตว์และปุ๋ยอินทรีย์ และฟอสฟอรัสอินทรีย์จากปุ๋ยเคมี การเปลี่ยนรูปจากฟอสฟอรัสอินทรีย์ไปเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (สารละลายฟอสฟอรัส) ผ่านกระบวนการ Mineralization การคำนวณจะประกอบด้วยสมการคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ที่เคลื่อนย้ายไปกับการแพร่ (Diffusion), ปริมาณฟอสฟอรัสฟอสฟอรัสอินทรีย์และแร่ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำจะเคลื่อนย้ายโดยการติดไปกับตะกอน และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่จะเคลื่อนย้ายติดไปกับตะกอน (สมการ 2.12 – 2.14)



รูป 7 การจำลองการแพร่กระจายของมลสารและการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัส

ที่มา: (Neitsch et al, 2011)

สมการคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ที่เคลื่อนย้ายไปกับการแพร่ (Diffusion)

$$P_{surf} = \frac{P_{Solution,surf} \cdot Q_{surf}}{P_b \cdot depth_{surf} \cdot k_{d,surf}} \quad (2.12)$$

เมื่อ P_{surf} คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ที่เคลื่อนย้ายไปกับการแพร่(kg-P/ha)

$P_{Solution,su}$ คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (kg-P/ha)

Q_{surf} คือ น้ำไหลบ่าหน้าดินต่อวัน (mm H₂O)

- P_b คือ ค่าความหนาแน่นในดิน (Mg/m^3)
 $depth_{surf}$ คือ ความลึกของดินชั้น (10 mm)
 $k_{d,surf}$ คือ สัมประสิทธิ์การละลายฟอสฟอรัสในดิน (m^3/Mg)

สมการคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสฟอสฟอรัสอินทรีย์ และแร่ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำจะเคลื่อนย้าย โดยการติดไปกับตะกอน

$$sedP_{surf} = 0.001CONC_{sedP} \frac{sed}{area_{hru}} E_{P:sed} \quad (2.13)$$

- เมื่อ $sedP_{surf}$ คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกพัดพาไปกับตะกอน (kg-P/ha)
 $CONC_{sedP}$ คือ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ติดอยู่กับตะกอน (g P/metric ton soil)
 sed คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกชะล้างหน้าดินต่อวัน (metric tons)
 $area_{hru}$ คือ พื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยทางอุทกวิทยา (HRUs) (ha)
 $E_{P:sed}$ คือ Phosphorus enrichment ratio

สมการคำนวณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่จะเคลื่อนย้ายติดไปกับตะกอน

$$CONC_{sedP} = \frac{(minP_{act,surf} + minP_{sta,surf} + orgP_{hum,surf} + orgP_{frsh,surf})}{P_b \cdot depth_{surf}} \quad (2.14)$$

- เมื่อ $CONC_{sedP}$ คือ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ติดอยู่กับตะกอน (g P/metric ton soil)
 $minP_{act,surf}$ คือ ฟอสฟอรัสในรูปแบบ active ของดิน (kg-P/ha)
 $minP_{sta,surf}$ คือ ฟอสฟอรัสในรูปแบบ stable ของดิน (kg-P/ha)
 $orgP_{hum,su}$ คือ ฟอสฟอรัสอินทรีย์ของดิน (kg-P/ha)
 $orgP_{frsh,su}$ คือ ฟอสฟอรัสในรูปแบบ fresh ของดิน (kg-P/ha)
 P_b คือ ค่าความหนาแน่นในดิน (Mg/m^3)
 $depth_{surf}$ คือ ความลึกของดินชั้น (10 mm)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับสมบัติดิน

ในการศึกษาสมบัติดินมีวัตถุประสงค์การศึกษาที่หลากหลาย เช่น การศึกษาความแตกต่างของสมบัติดินในลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่างๆ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดิน ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดิน และศึกษาลักษณะการกระจายเชิงพื้นที่ของสมบัติดินต่างๆ

งานวิจัยที่ศึกษาลักษณะสมบัติดินตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนใหญ่พบว่าประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันล้วนส่งผลต่อลักษณะสมบัติดิน โดยเฉพาะความเข้มข้นของปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในประเทศจีนมีการศึกษาในระดับลุ่มน้ำหลายพื้นที่ เช่น ลุ่มน้ำ Yangjuangou, Da Nangou, Zhuxi, Liudaogou และพื้นที่ Loess Plateau ผลการศึกษาส่วนใหญ่พบว่า ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าอินทรีย์วัตถุจะพบมากที่สุดในพื้นที่ป่าไม้ ในขณะที่ค่าไนโตรเจนรวม อินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสรวม และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จะพบมากในพื้นที่เกษตรกรรม รวมถึงสวนผลไม้ (Fu et al, 2000; Li et al, 2011; Liu et al, 2013; Wang et al, 2001; Wang et al, 2009b) นอกจากนี้ ยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเฉพาะการเปลี่ยนพื้นที่ป่าไม้ไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรมส่งผลทำให้คุณภาพดินลดลง โดยเฉพาะปริมาณอินทรีย์วัตถุ และความเข้มข้นของธาตุอาหาร เช่น การศึกษาในลุ่มน้ำ Karoon ในอิหร่าน และพื้นที่ตอนกลางของภูเขา Taurus ประเทศตุรกี (Celik, 2005; Hajabbasi et al, 1997)

งานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินแต่ละชนิด ในแต่ละพื้นที่จะพบความสัมพันธ์ที่ต่างกันไปทั้งสมบัติทางกายภาพและเคมี และมีความสัมพันธ์ที่เป็นไปในทางเดียวกันหรือผกผัน หากพิจารณาตามหลักการแล้ว สมบัติดินแต่ละชนิดล้วนส่งผลกระทบต่อระหว่างกันและกัน เช่น ความหนาแน่นของดินสัมพันธ์กับขนาดอนุภาคดิน กล่าวคือ ดินที่มีสัดส่วนอนุภาคทรายมากจะมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าดินที่มีสัดส่วนอนุภาคดินเหนียวมาก (Hou-Long et al, 2010), ขนาดอนุภาคดินมีความสัมพันธ์กับธาตุอาหาร เช่น ขนาดอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีประจุลบจะจับกับธาตุอาหารที่มีประจุบวก เช่น แอมโมเนีย (NH_4^+) (Wang et al, 2009b) ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยสำคัญต่อการละลายของธาตุอาหาร ซึ่งถ้าดินมีความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแล้ว จะส่งเสริมให้เพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหารรวมถึงอินทรีย์วัตถุที่มีปริมาณที่เพียงพอต่อพืช , อินทรีย์วัตถุเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งจะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับสมบัติดินหลายชนิด เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (Adhikari et al, 2012) เนื่องจากในอินทรีย์วัตถุนั้นเป็นแหล่งสำคัญของอินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอินทรีย์ เมื่อดินอยู่ในปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ, ความเป็นกรด-ด่าง, ความชื้น รวมถึงจุลินทรีย์ ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะส่งผลให้อินทรีย์วัตถุ

ปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์กับพืชออกมา ในทางตรงกันข้าม อินทรีย์วัตถุจะมีปริมาณต่ำในสภาพดินที่มีสัดส่วนขนาดอนุภาคทรายมาก หรือในดินที่มีค่าความเป็นกรดหรือด่างสูงเกินไป ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ได้รายงานความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่าง อินทรีย์วัตถุกับความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวม และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Adhikari et al, 2011; Bai & Wang, 2011; Hou-Long et al, 2010; Liu et al, 2014; Ouyang et al, 2013; Wang et al, 2009b)

การศึกษาลักษณะของสมบัติดินในประเทศไทย มีการรายงานสถานภาพดินในของ ประเทศไทย ในปี 2543 และ 2558 พบว่าความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ในละภาคแตกต่างกัน โดย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่ภาคเหนือและภาค กลางมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่า ทั้งนี้ ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยรวมมีความเป็นกรดแก่ (5.1-5.5) ค่าอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าร้อยละ 1.5 และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำกว่า 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558; นวลศรี กาญจนกุล และคณะ, 2543) การศึกษา คุณลักษณะของดินในระดับลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่าลักษณะธรณีสัณฐานและ ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ ในพื้นที่ เกษตรกรรม เช่น สวนปาล์มในพื้นที่ราบลุ่มตะกอนลำน้ นากุ้งในพื้นที่ราบน้ำทะเลเค็มท่วมถึง และ สวนผสมในพื้นที่ราบตะกอนทะเลสาบมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) ต่อมาได้มี การศึกษาสมบัติดินจากสถานีเก็บตัวอย่างดินเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบธาตุอาหารในดิน พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ในขณะที่แอมโมเนีย-ไนโตรเจนและอินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก ($p < 0.001$) (วรพงษ์ ฤกษ์ เกลี้ยง, 2559)

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่าสมบัติดินทั้งทางเคมีและกายภาพในแต่ละ พื้นที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยสำคัญมาจากวัตถุดิบกำเนิดดินซึ่งจะถูกย่อยสลายเป็นดินชนิดต่างๆ โดยอาศัยสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ และระยะเวลาที่ทำให้ดินนั้นเกิดขึ้นมา จากนั้น ปัจจัย จากกิจกรรมของมนุษย์จะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้คุณลักษณะของดินเปลี่ยนแปลงไป เช่น การ เปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรมหรือชุมชน การใช้สารเคมีในพื้นที่เกษตรกรรม การตัดไม้ ทำลายป่า เป็นต้น

2.3.2 งานวิจัยเกี่ยวแบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง SWAT ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายทั้งในไทยและต่างประเทศ เนื่องจากเป็นแบบจำลองสาธารณสิทธิ สามารถทำนายได้ทั้งสภาพทางอุทกวิทยา และคุณภาพของพารามิเตอร์ต่างๆในลำน้ำ

งานวิจัยต่างประเทศ ส่วนใหญ่พบว่าแบบจำลอง SWAT สามารถนำมาใช้ทำนายปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำได้เป็นอย่างดีในหลายพื้นที่ เช่น การนำเอาแบบจำลอง SWAT มาใช้ในการทำนายปริมาณธาตุอาหารในลุ่มน้ำ Bosque รัฐเทกซัส โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าไนโตรเจนจากแบบจำลองและจากการตรวจวัด พบว่าค่า NSE จากแบบจำลองมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.60 (Saleh et al, 2000; Santhi et al, 2001) ในสวิสเซอร์แลนด์ มีการนำแบบจำลอง SWAT มาใช้กับการจำลองในแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจาย ในแม่น้ำ Thur ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 1,700 ตารางกิโลเมตร พบว่าสามารถคำนวณปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้เป็นอย่างดี (Abbaspour et al, 2007) การศึกษาคุณภาพน้ำพื้นที่ลุ่มทางตอนเหนือของเยอรมนี พบว่าการไหลของ Shallow groundwater เป็นปัจจัยหลักของปริมาณไนเตรทในแหล่งน้ำ (ร้อยละ 93) ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่าควรให้ความสำคัญต่อการชะล้างไนเตรทในพื้นที่ลุ่ม (Lam et al, 2012)

งานวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับฤดูกาลที่ศึกษาเป็นสิ่งสำคัญเพราะจะส่งผลต่อการจำลองปริมาณน้ำท่า โดยกล่าวว่าปริมาณฝน และอุณหภูมิ มีผลต่อปริมาณน้ำท่าและตะกอน และส่งผลต่อเนื่องไปสู่ชะล้างไนเตรทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้เพิ่มสูงขึ้น (A. et al, 2010; Dixon & Earls, 2012; Maillard & Pinheiro Santos, 2008; Zhang et al, 2013) การใช้แบบจำลอง SWAT จะไม่ได้ผลที่ดี หากขาดข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบที่เพียงพอ (Kimwaga et al., 2011) และการจำลองปริมาณไนเตรทจะได้ประสิทธิภาพต่ำเมื่อไม่ได้นำเข้าข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษแบบชัดเจน (Point source pollution) (Pohlert et al, 2005)

นอกจากนี้ มีการนำแบบจำลอง SWAT ไปใช้ในการทำนายปริมาณน้ำท่า ตะกอน รวมถึงการชะล้างธาตุอาหารจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยการนำเข้าข้อมูลอุตุนิมวิทยาในอนาคต พบว่า ปี ค.ศ. 2041-2060 ใน 12 ลุ่มน้ำในประเทศอินเดีย ปริมาณน้ำท่าจะลดลง (Gosain et al, 2006) ปี ค.ศ. 2040-2059 ลุ่มน้ำ San Jacinto ในรัฐเทกซัส แบบจำลอง SWAT ทำนายว่าจะมีค่าเฉลี่ยการไหลของน้ำท่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัญหาน้ำท่วม (Muttiah & Wurbs, 2002)

งานวิจัยในไทยที่นำเอาแบบจำลอง SWAT ไปใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่า พบในหลายพื้นที่ เช่น ลุ่มน้ำยม, ลุ่มน้ำ่านตอนบน, ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, ลุ่มน้ำแม่ตื่น, และลุ่มน้ำห้วยหลวง เป็นต้น ซึ่งผลการประเมินพบว่า ส่วนใหญ่ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองให้ผลค่อนข้างใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.5 – 0.7 ทั้งนี้ ขึ้นอยู่

กับการรวบรวมข้อมูลในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะต้องมีข้อมูลที่เป็นตัวแทนที่ดีและเพียงพอ การนำเข้าข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดินต้องมีความสอดคล้องกับช่วงปีที่ประเมิน ในส่วนของข้อมูลสภาพภูมิอากาศต้องพิจารณาถึงความถูกต้องของข้อมูลสถานีตรวจวัดที่ต้องครอบคลุมพื้นที่ศึกษา และต้องคำนึงถึงข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่อาจผิดพลาดได้ เนื่องจากฝนอาจจะตกไม่เท่ากันทั่วทั้งพื้นที่ และข้อมูลนี้จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการแสดงผลรายวัน หรือรายเดือน นอกจากนี้ ยังพบว่าพารามิเตอร์มีความอ่อนไหวต่อแบบจำลองมากที่สุด คือ ค่า Curve Number (CN) (กิตติพงษ์ ธนาศิริยะกุล, 2546; ปิยะวัฒน์ วุฒิชัย กิจเจริญ et al, 2559; ลิมบีชัย ปรัชญาสิทธิกุล, 2549; โอฟาร เวศอุไร, 2548)

สำหรับการประเมินธาตุอาหารโดยใช้แบบจำลอง SWAT นั้น จะต้องผ่านขั้นตอนการปรับเทียบ (Calibration) และสอบทาน (Validation) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนก่อน จึงจะได้ผลการประเมินธาตุอาหารออกมา ซึ่งมีงานวิจัยในหลายพื้นที่ที่ได้จำลองสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อทำนายผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ที่สมมุติขึ้นต่อคุณภาพน้ำ เช่น การจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดินโดยการเพิ่มพื้นที่การปลูกพืชพลังงานในลุ่มน้ำพอง พบว่าคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ในขณะที่การจำลองเปลี่ยนพื้นที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมจะทำให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลง (ศรายุทธ วงษาศรี, 2555) การจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำยม กรณีเปลี่ยนพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมดเป็นนาข้าวและไร่ข้าวโพด ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนและฟอสเฟตในน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (สาธิตา บุญแก้ววรรณ, 2556) นำแบบจำลอง SWAT ไปใช้ในการทำนายข้อมูลในอนาคต โดยได้นำข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศ RegCM3 (A1B) มาใช้ในการคำนวณ โดยยังคงรูปแบบสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเหมือนในปัจจุบัน พบว่าปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดมีแนวโน้มใกล้เคียงกับปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2552-2556) โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำฝนและช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม ส่วนของฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม แต่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นชัดเจนในช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยโดยเฉพาะเดือนกุมภาพันธ์ (วรพงศ์ ฤกษ์เกลี้ยง, 2559)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาในกลุ่มน้ำห้วยหลวงครั้งนี้ แบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การเก็บตัวอย่างในภาคสนาม การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเคมี การวิเคราะห์ทางสถิติและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตามกรอบงานวิจัยดังรูปที่ 1 ในบทที่ 1

3.1 พื้นที่ศึกษา

3.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

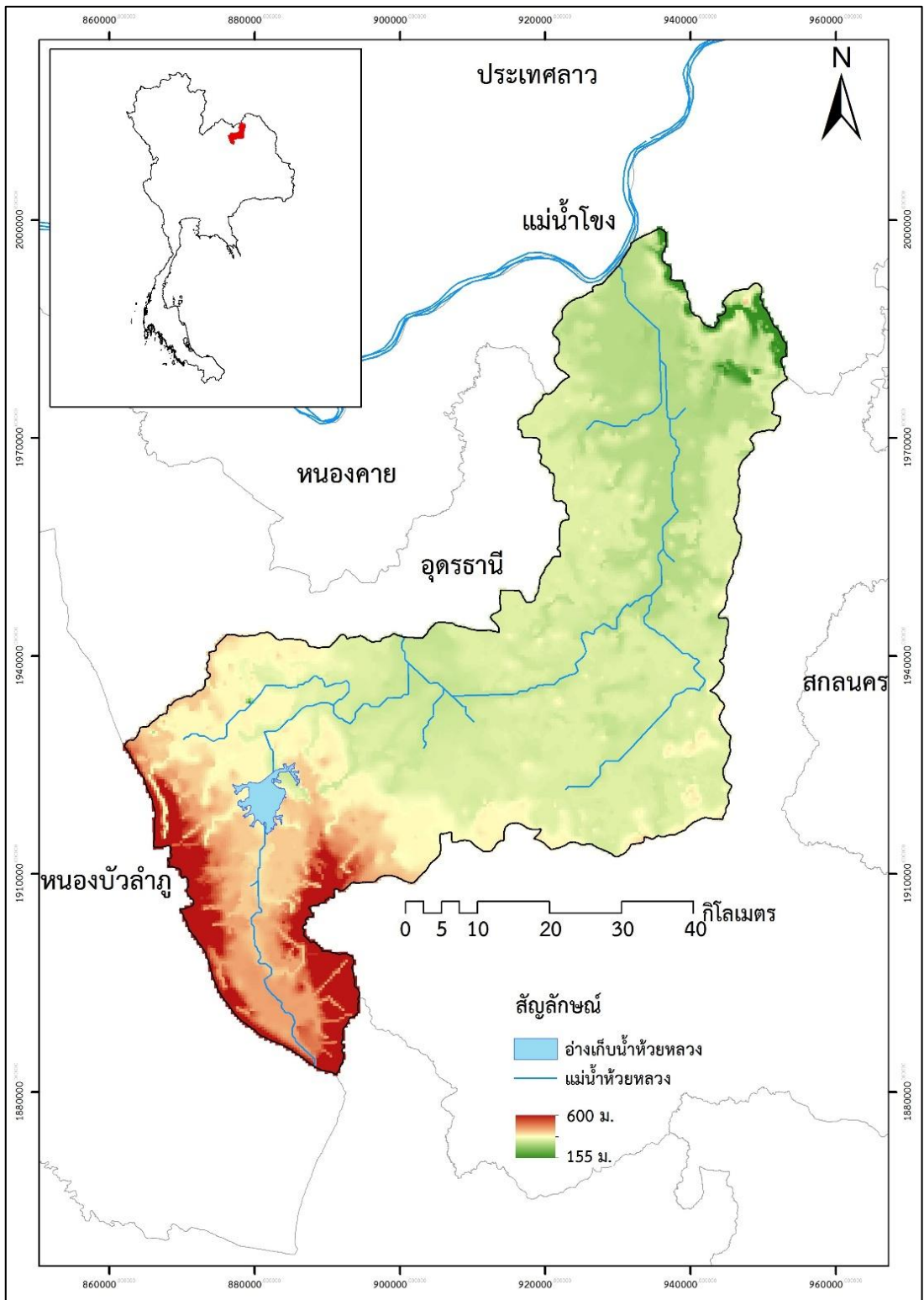
กลุ่มน้ำห้วยหลวงมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 4,138 ตารางกิโลเมตร หรือ 2,586,250 ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556b) ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด $16^{\circ}59'45''$ ถึง $18^{\circ}03'30''$ เหนือ และลองจิจูด $102^{\circ}23'40''$ ถึง $103^{\circ}03'30''$ ตะวันออก พื้นที่ลุ่มน้ำครอบคลุม 3 จังหวัด ได้แก่ อุตรธานี หนองคาย และหนองบัวลำภู แต่พื้นที่ลุ่มน้ำส่วนใหญ่อยู่ในเขตจังหวัดอุตรธานี

โดยมีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ใกล้เคียง ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดแม่น้ำโขง และประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศใต้	ติดลุ่มน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น
ทิศตะวันออก	ติดลุ่มน้ำสงครามตอนบน และลุ่มน้ำป่าวตอนบน จังหวัดอุตรธานี
ทิศตะวันตก	ติดลุ่มน้ำสวาย ลุ่มน้ำสาขาโมง และลุ่มน้ำลำพะเนียง จังหวัดอุตรธานี

3.1.2 สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศของกลุ่มน้ำห้วยหลวง ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบเรียบหรือเกือบราบ (ระดับ +160 ถึงระดับ +180 ม.รทก.) ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศใต้ของกลุ่มน้ำมีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงลูกคลื่นลอนชัน (ระดับ +340 ถึงระดับ +625 ม.รทก.) ได้แก่ บริเวณเขาภูพาน ภูเม็ง และภูผาสิงห์ เป็นต้น จุดสูงสุดอยู่ที่เทือกเขาในเขตอำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุตรธานี (ระดับ +625 ม.รทก.) และจุดต่ำสุดอยู่บริเวณบ้านวัดหลวง ตำบลชุมพล อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย (ระดับ +155 ม.รทก.) มีลำน้ำห้วยหลวงเป็นแม่น้ำสายหลักในลุ่มน้ำ ความยาวจากต้นน้ำถึงปลายน้ำประมาณ 150 กิโลเมตร (รูป 8)



รูป 8 แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศของกลุ่มน้ำห้วยหลวง

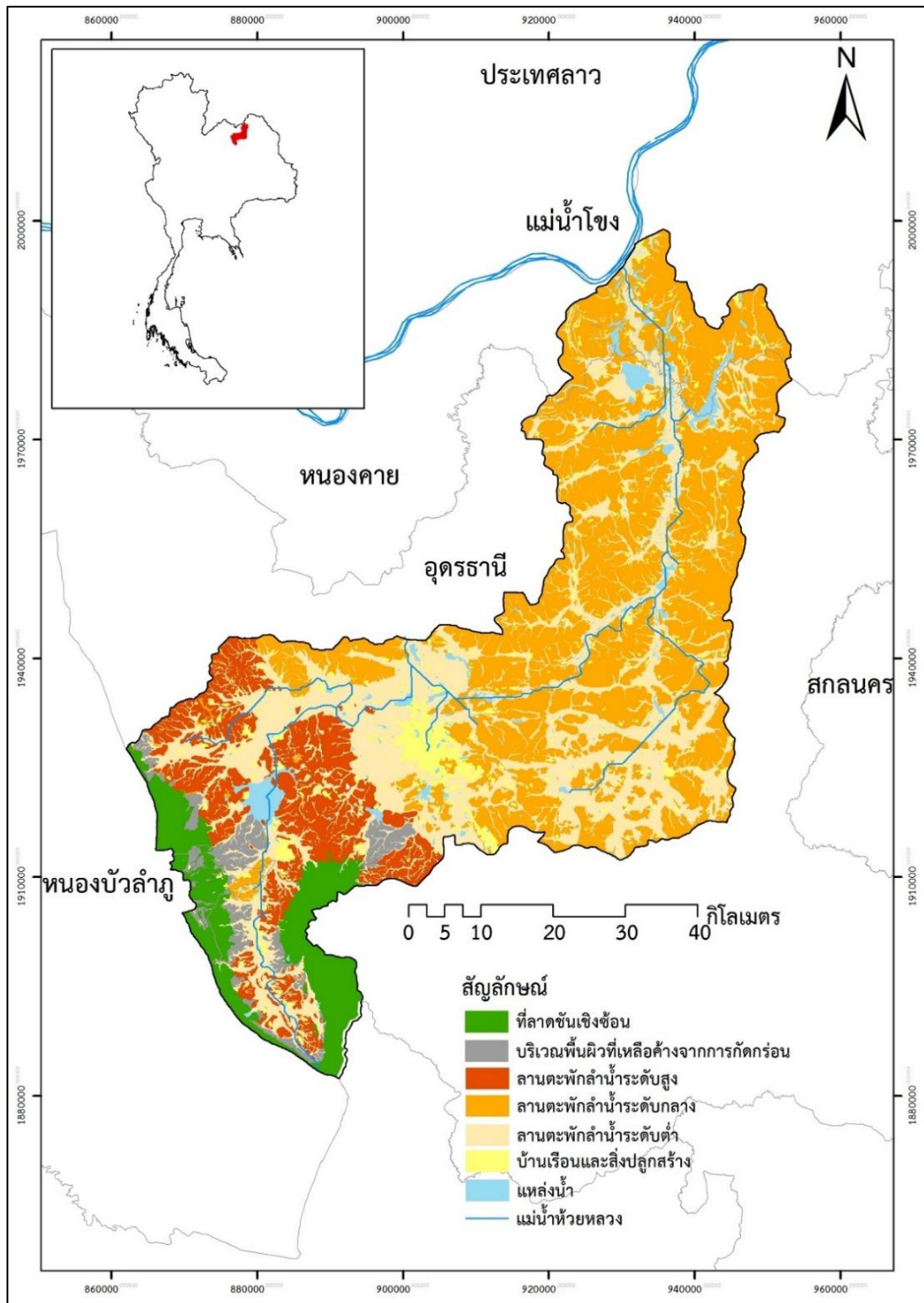
ต้นน้ำห้วยหลวงมีกำเนิดจากแนวสันเขาบนเทือกเขาภูพานในเขตอำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี ประกอบด้วย ห้วยโขง ห้วยตาลเหี้ยม และห้วยคำป่าหลาย รวมตัวกันเป็นแม่น้ำห้วยหลวง สายน้ำไหลจากทิศใต้ไปทิศเหนือผ่านอำเภอหนองวัวซอจนถึงบ้านหัวบัว ในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี แล้วเบนออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีฝายทดน้ำชลประทานส่งน้ำผ่านที่ราบในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี แม่น้ำห้วยหลวงไหลผ่านด้านทิศเหนือของตัวเมืองอุดรธานี จากนั้นทิศทางน้ำไหลจะเปลี่ยนไปทางด้านทิศตะวันออกจนถึงบ้านหัวน้อย ไหลไปทางเหนือรวมกับน้ำदान ผ่านอำเภอพิบูลย์รักษ์ สร้างคอม รวมกับห้วยเสียว ห้วยบ่อ และห้วยเจียม ไหลผ่านที่ราบทำให้เกิดหนองน้ำขนาดใหญ่ ได้แก่ หนองน้ำมาน หนองกุดชอย และยังมีเกิดหนองน้ำขนาดเล็กอีกหลายแห่งในเขตอำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย อาทิ หนองปากโพง หนองเทา หนองอีเริง หนองหญ้าฆ่า นอกจากนี้ยังมีอ่างเก็บน้ำหมีสนและฝายกั้นน้ำห้วยเสือกวาง แม่น้ำห้วยหลวงไหลลงแม่น้ำโขงที่บ้านวัดหลวง ตำบลจุมพล อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย

3.1.3 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาห้วยหลวง ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ ในแต่ละปีจะได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันซึ่งเกิดมาจากทะเลจีนใต้ทำให้มีฝนตกหนักในฤดูฝน อิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองทำให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน (มีนาคม ถึง พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน ถึง ตุลาคม) และฤดูหนาว (พฤศจิกายน ถึง กุมภาพันธ์) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศทั่วไปตั้งแต่ พ.ศ. 2525 – 2554 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.1 ± 2.5 องศาเซลเซียส เดือนแห้งแล้งที่สุดอยู่ระหว่างเดือนธันวาคมและมกราคม มีปริมาณฝนเฉลี่ย $1,433 \pm 265$ มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณน้ำฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกันยายนอยู่ระหว่าง $199 - 289$ มิลลิเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมดในรอบปี มีจำนวนวันที่ฝนตก 122 ± 11 วันในรอบปี

3.1.4 ลักษณะธรณีสัณฐาน

ลักษณะธรณีสัณฐาน (landform) ได้จากจำแนกจากชุดดิน (soil series) โดยนำแผนที่ชุดดินและเกณฑ์จากกรมพัฒนาที่ดินมาใช้ประกอบในการจำแนก จากนั้นนำข้อมูลการจำแนกที่ได้ใส่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems; GIS) โดยโปรแกรม ArcGIS ได้ลักษณะธรณีสัณฐาน ดังรูป 9



รูป 9 แผนที่แสดงลักษณะธรณีสัณฐานของกลุ่มน้ำห้วยหลวง

ลักษณะธรณีสัณฐานที่จำแนกได้มีทั้งสิ้น 5 ประเภท ดังนี้ 1) ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ (low terrace), 2) ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง (middle terrace), 3) ลานตะพักลำน้ำระดับสูง (high terrace), 4) บริเวณพื้นที่ที่เหลื่อค้ำจากการกร่อน (erosion surface) และ 5) ที่ลาดชันเชิงซ้อน (slope complex)

พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงร้อยละ 91 เป็นลานตะพักลำน้ำ (terrace) ซึ่งเป็นที่ราบน้ำท่วมเก่าที่ถูกกัดเซาะโดยอิทธิพลการไหลของลำน้ำ มี 3 ระดับ คือ ลานตะพักลำน้ำระดับสูง ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง และลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ โดยพบตั้งแต่ด้านทิศเหนือลงมาถึงตอนกลาง และบางส่วนของทิศใต้ของกลุ่มน้ำ สำหรับพื้นที่ต้นน้ำด้านตะวันตกเฉียงใต้เป็นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนที่มีความลาดชันมากกว่า 35% คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 5.59 มีไม่มากที่เป็นพื้นที่ที่เหลื่อค้ำจากการกร่อนของหินตะกอนจำพวกหินทราย หินดินดาน และหินโคลน

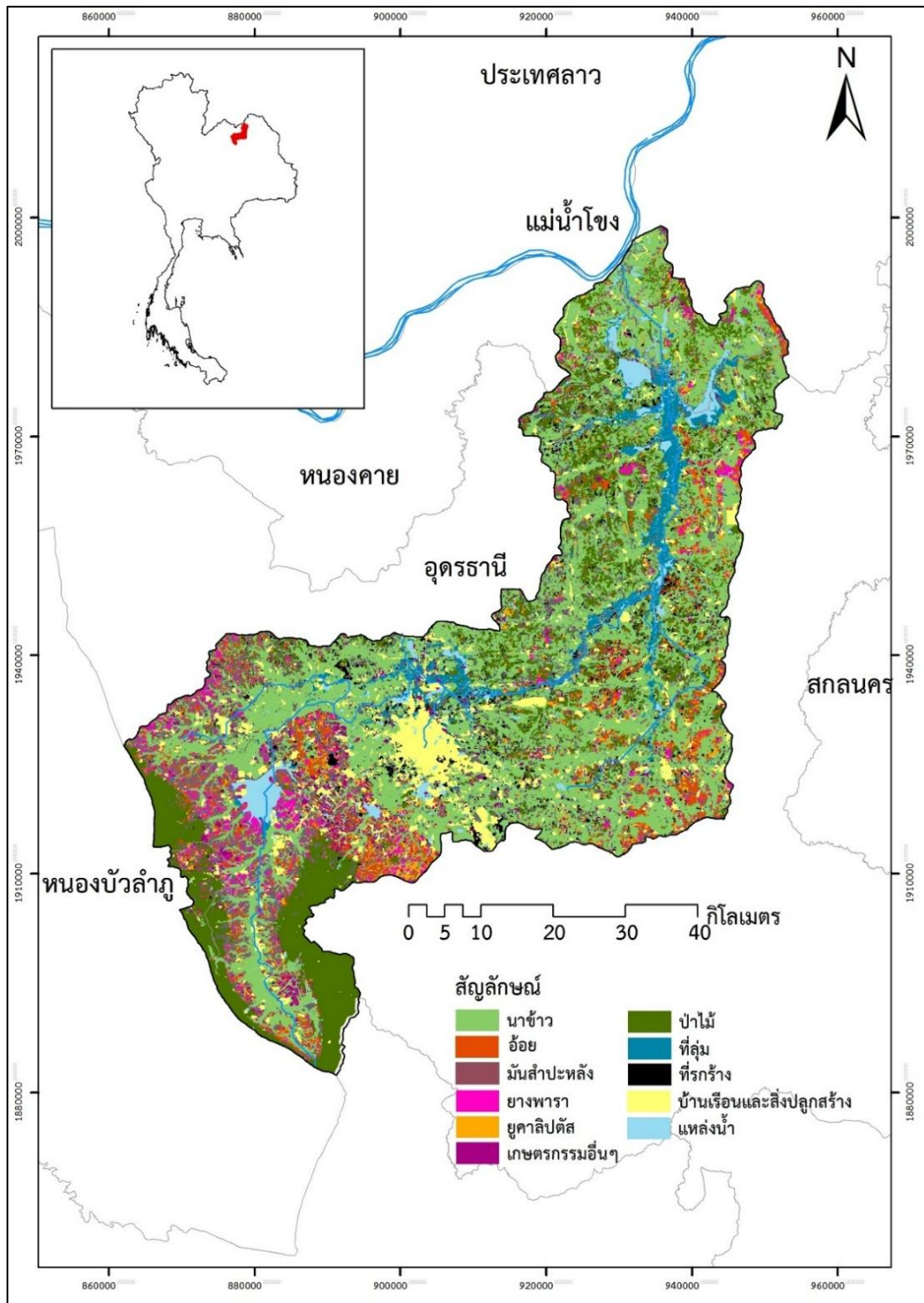
3.1.5 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) ของลุ่มน้ำห้วยหลวง ใช้แผนที่ที่จำแนกโดยกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2554 (รูป 11) ซึ่งจำแนกพื้นที่การใช้ประโยชน์ได้ 11 ประเภท คือ 1) นาข้าว (paddy; PAD), 2) อ้อย (sugarcane; SUG), 3) มันสำปะหลัง (cassava; CAS), 4) ยางพารา (para rubber; PAR), 5) ยูคาลิปตัส (eucalyptus; EUC), 6) เกษตรกรรมอื่น ๆ (other agriculture; OAG), 7) ป่าไม้ (forest; FOR), 8) พื้นที่ลุ่ม (marsh & swamp; MAR), 9) พื้นที่รกร้าง (abandoned land; ABN), 10) บ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้าง (settlement) และ 11) แหล่งน้ำ (water resources)

ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุด ถึงร้อยละ 58.8 มีพื้นที่ป่าไม้ร้อยละ 15.1 เป็นพื้นที่บ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างร้อยละ 7.41 ในส่วนพื้นที่เกษตรกรรมจะเป็นนาข้าวมากที่สุด รองลงมา คือ อ้อย มันสำปะหลัง ยางพารา และยูคาลิปตัส ตามลำดับ ที่เหลือเป็นเกษตรกรรมอื่น ๆ (ตาราง 3)

3.1.6 คุณภาพน้ำ

จากการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพทั้งหมด 4 จุดตลอดทั้งลุ่มน้ำ ปีละ 4 ครั้ง พบว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2554 – 2558 คุณภาพน้ำในลุ่มน้ำห้วยหลวงส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมและพอใช้ โดยพารามิเตอร์สำคัญที่บ่งชี้ถึงปัญหาคุณภาพน้ำ คือ แอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) เนื่องจากเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากชุมชนเมืองขนาดใหญ่และเกษตรกรรม และอยู่ใกล้กับที่ปล่อยน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครอุดรธานี ทำให้เกิดการสะสมสิ่งสกปรกในแหล่งน้ำ



รูป 10 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำห้วยหลวงปี พ.ศ. 2554

ตาราง 3 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงในปี พ.ศ. 2554

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ตารางกิโลเมตร	ร้อยละ
พื้นที่เกษตรกรรม		
นาข้าว	1,682	40.7
อ้อย	220	5.33
มันสำปะหลัง	154	3.72
ยางพารา	145	3.51
ยูคาลิปตัส	131	3.16
เกษตรกรรมอื่น ๆ	98.3	2.38
ป่าไม้	625	15.1
ที่ลุ่ม	177	4.29
บ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้าง	307	7.41
แหล่งน้ำ	180	4.35
พื้นที่อื่น ๆ	416	10.1
รวม	4,138	100

นอกจากนี้ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 ยังได้รายงานสถานการณ์มลพิษทางน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงและลุ่มน้ำสาขาที่สำคัญไว้หลายเหตุการณ์ ตัวอย่างเช่น ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 พื้นที่ตอนล่างของลุ่มน้ำพบการสาหร่ายสะพรั่ง (algal bloom) ในเขตอำเภอพิบูลย์รักษ์ จังหวัดอุดรธานี จนทำให้ไม่สามารถนำน้ำไปผลิตน้ำประปาได้ ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการระบายน้ำเสียจากโครงการก่อสร้างทางระบายน้ำ เพื่อป้องกันน้ำท่วมของเทศบาลนครอุดรธานี และในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 บริเวณเทศบาลเมืองหนองสำโรง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี พบปลาธรรมชาติในห้วยตายนายเป็นจำนวนมาก สาเหตุเนื่องจากบางช่วงของลำน้ำมีสิ่งกีดขวางมาปิดกั้นการไหลของลำน้ำ และเกิดการสะสมตะกอน ทำให้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ในตะกอนจนเกิดภาวะขาดออกซิเจน ส่งผลกระทบต่อปลาในลำน้ำ เป็นต้น (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9, 2555)

3.2 วิธีการศึกษาวิจัย

3.2.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

การศึกษานี้มีทั้งการเก็บตัวอย่างดินและน้ำ การเก็บตัวอย่างดินแบ่งเป็น 2 ครั้ง ครั้งแรกเก็บตัวอย่างครอบคลุมทั้งลุ่มน้ำ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ลักษณะการแพร่กระจายของสมบัติดิน และนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับแบบจำลอง SWAT ครั้งที่สองเก็บตัวอย่างเฉพาะในพื้นที่ต้นน้ำ เพื่อนำข้อมูล

มาเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในช่วงก่อนและระหว่างช่วงปลูกข้าว ส่วนตัวอย่างน้ำเก็บเฉพาะในพื้นที่ต้นน้ำ เพื่อนำข้อมูลเข้าแบบจำลอง SWAT

3.2.1.1 จุดเก็บตัวอย่างดิน

1) การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1

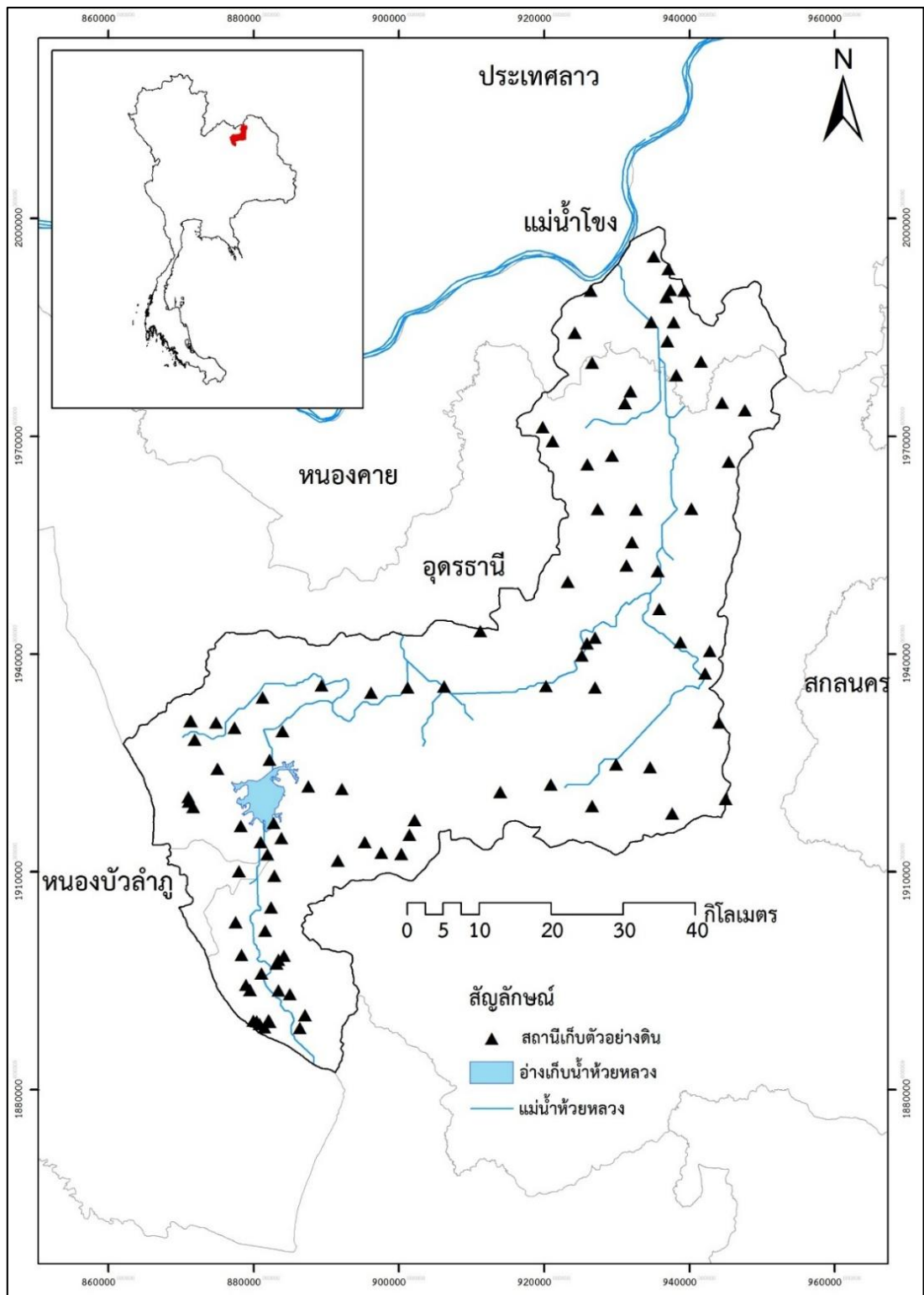
ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 กำหนดจุดเก็บตัวอย่างครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงโดยการสุ่มเลือกตัวอย่างแบบแบ่งชั้นปฐมภูมิ (stratified random sampling) เลือกจุดเก็บตัวอย่างตามลักษณะธรณีสัณฐาน 5 กลุ่ม (ดูหัวข้อ 3.1.4) และลักษณะการใช้ประโยชน์ของดินเฉพาะที่จะส่งผลกระทบต่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน 9 กลุ่ม ประกอบด้วย นาข้าว (PAD), อ้อย (SUG), มันสำปะหลัง (CAS), ยางพารา (PAR), ยูคาลิปตัส (EUC), เกษตรกรรมอื่น ๆ (OAG), ป่าไม้ (FOR), พื้นที่ลุ่ม (MAR) และพื้นที่รกร้าง (ABN) (ดูหัวข้อ 3.1.5)

โดยการนำข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งธรณีสัณฐาน (รูป 9) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (รูป 10) มาซ้อนทับกันด้วยโปรแกรม ArcGIS เมื่อได้กลุ่มย่อยแล้ว นำแผนที่ถนนมาซ้อนทับลงไปเพื่อกำหนดจุดเก็บตัวอย่างที่สามารถเข้าถึงได้สะดวก ได้จุดเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 98 จุด (รูป 11)

ทำการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 ซึ่งเป็นช่วงเวลาก่อนฤดูฝน เกษตรกรกำลังเตรียมปรับพื้นที่เพื่อปลูกข้าว ยังไม่มีการใส่ปุ๋ย จำนวนจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ ธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ของดินแสดงในตาราง 4 และพิกัดจุดเก็บตัวอย่างแต่ละสถานีแสดงในตาราง ผ-1 ในภาคผนวก

2) การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2

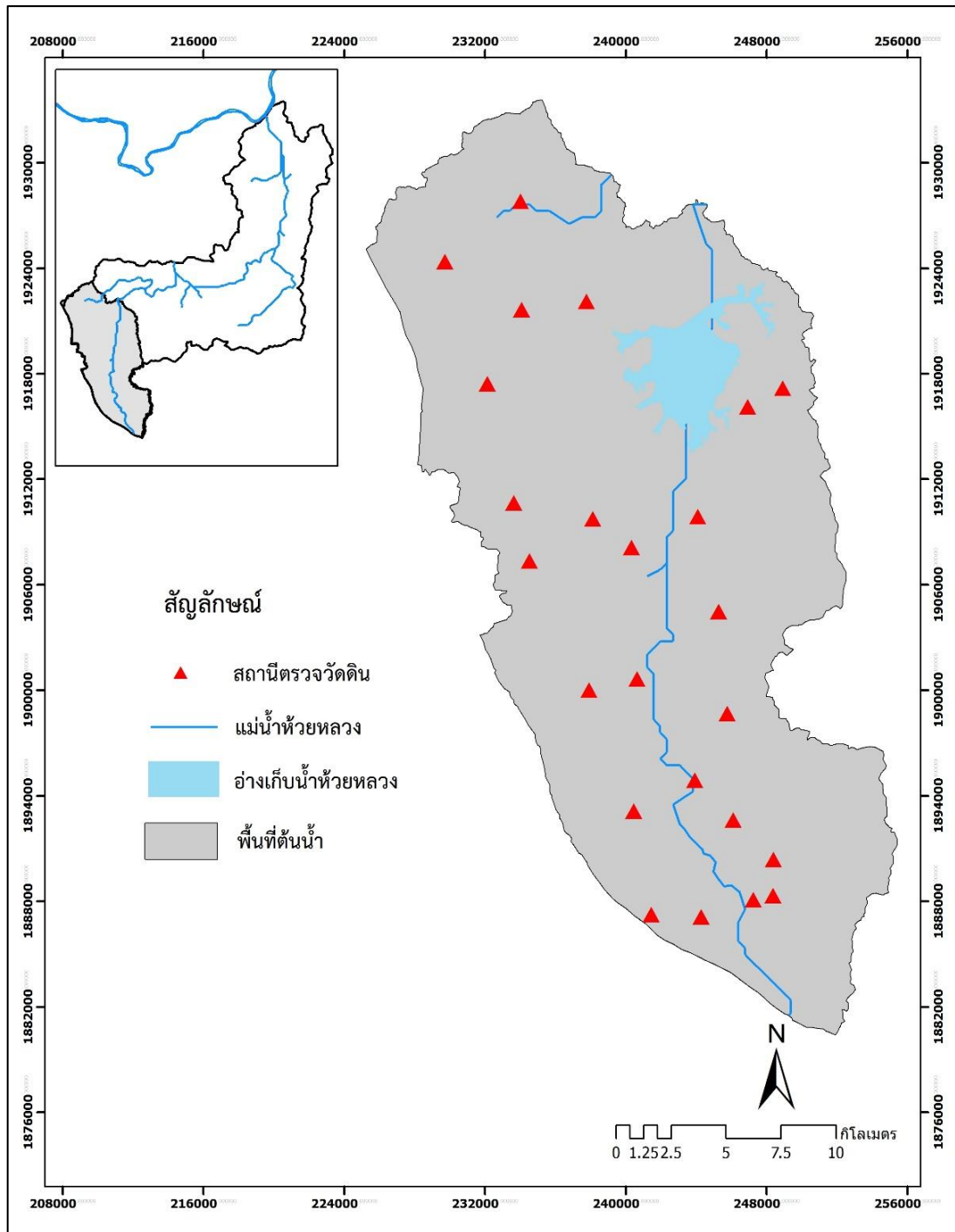
ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2557 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน และเป็นช่วงเวลาที่เกษตรกรกำลังใส่ปุ๋ยในนาข้าว โดยเก็บเฉพาะพื้นที่ต้นน้ำ จำนวน 24 จุด สถานีเก็บตัวอย่างเป็นสถานีเดียวกับการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พื้นที่เก็บตัวอย่าง ประกอบด้วยลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน 6 ประเภท ได้แก่ นาข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ยางพารา เกษตรกรรมอื่น ๆ และป่าไม้ เก็บตัวอย่างประเภทละ 4 สถานี (รูป 12)



รูป 11 สถานีเก็บตัวอย่างดินในกลุ่มน้ำห้วยหลวงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 (ครั้งที่ 1) จำนวน 98 จุด

ตาราง 4 จำนวนจุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงครั้งที่ 1 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557
จำนวน 98 ตัวอย่าง โดยจำแนกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและลักษณะธรณีสัณฐาน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	จำนวนตัวอย่าง	ลักษณะธรณีสัณฐาน	จำนวน ตัวอย่าง
นาข้าว	36	ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ	24
		ลานตะพักลำนํ้าระดับกลาง	8
		ลานตะพักลำนํ้าระดับสูง	2
		พื้นผิวที่เหลื่อค้ำจากการกัดกร่อน	2
อ้อย	10	ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ	3
		ลานตะพักลำนํ้าระดับกลาง	1
		ลานตะพักลำนํ้าระดับสูง	5
		ที่ลาดชันเชิงซ้อน	1
มันสำปะหลัง	9	ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ	2
		ลานตะพักลำนํ้าระดับสูง	4
		บริเวณพื้นผิวที่เหลื่อค้ำจากการกัดกร่อน	2
		ที่ลาดชันเชิงซ้อน	1
ยางพารา	9	ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ	1
		ลานตะพักลำนํ้าระดับกลาง	2
		ลานตะพักลำนํ้าระดับสูง	2
		บริเวณพื้นผิวที่เหลื่อค้ำจากการกัดกร่อน	4
ยูคาลิปตัส	5	ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ	1
		ลานตะพักลำนํ้าระดับกลาง	2
		ลานตะพักลำนํ้าระดับสูง	2
เกษตรกรรมอื่นๆ	6	ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ	3
		ลานตะพักลำนํ้าระดับกลาง	1
		ลานตะพักลำนํ้าระดับสูง	1
		บริเวณพื้นผิวที่เหลื่อค้ำจากการกัดกร่อน	1
ป่าไม้	5	บริเวณพื้นผิวที่เหลื่อค้ำจากการกัดกร่อน	1
		ที่ลาดชันเชิงซ้อน	4
พื้นที่ลุ่ม	12	ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ	6
พื้นที่รกร้าง	12	ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ	6
		ลานตะพักลำนํ้าระดับกลาง	6



รูป 12 สถานีเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ต้นน้ำลุ่มน้ำห้วยหลวง
เดือนกันยายน พ.ศ. 2557 (ครั้งที่ 2) จำนวน 24 จุด

3.2.1.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ต้นน้ำ ลุ่มน้ำห้วยหลวง ทั้งหมด 5 สถานี โดย 3 สถานี หนึ่งอ่างเก็บน้ำ ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง SWAT เก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 ครั้ง ได้แก่ เดือน กรกฎาคม กันยายน และพฤศจิกายน พ.ศ. 2557 และเดือนมกราคม มีนาคม และพฤษภาคม พ.ศ. 2558 (รูป 13)

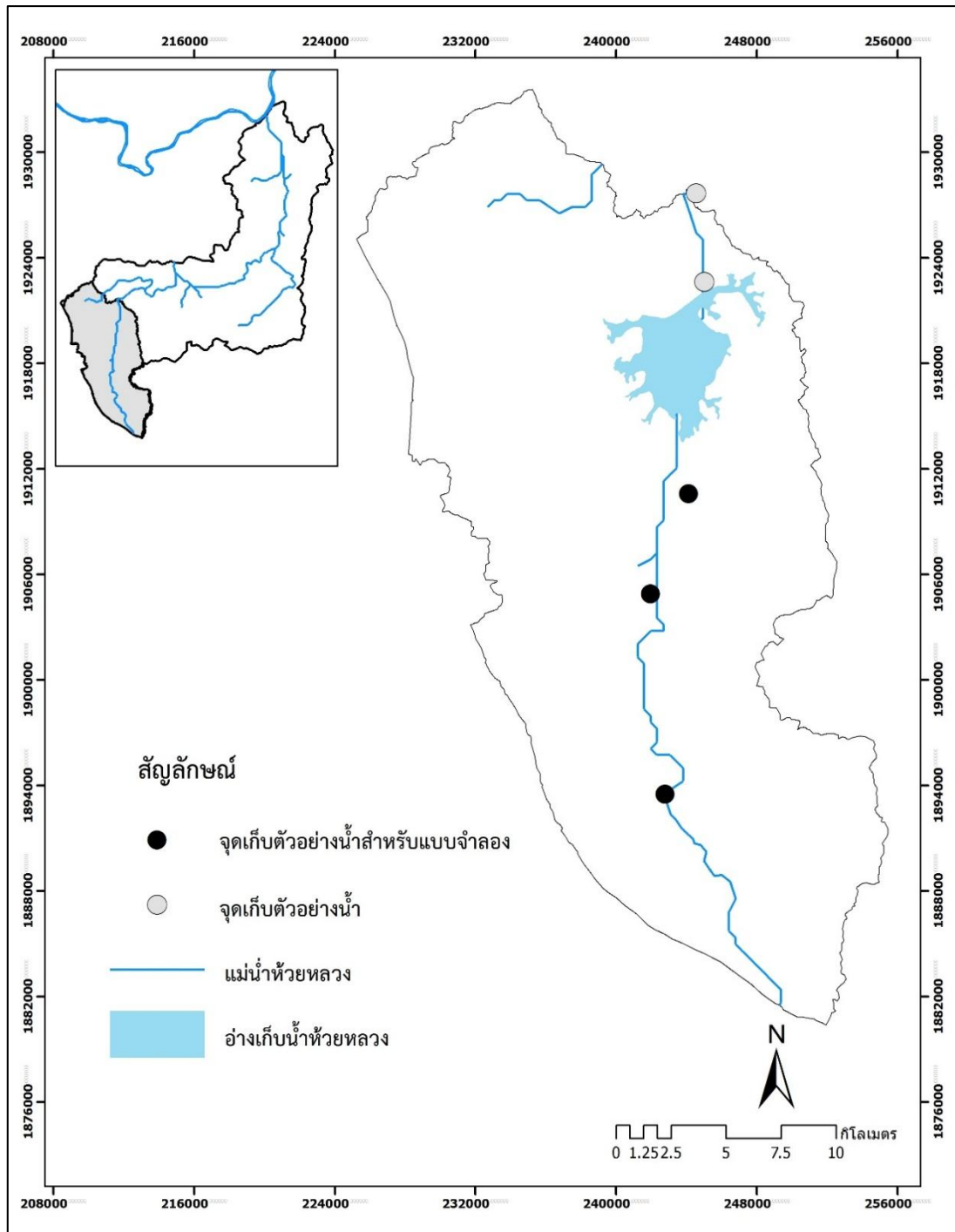
3.2.2 การเก็บตัวอย่าง

3.2.2.1 การเก็บตัวอย่างดิน

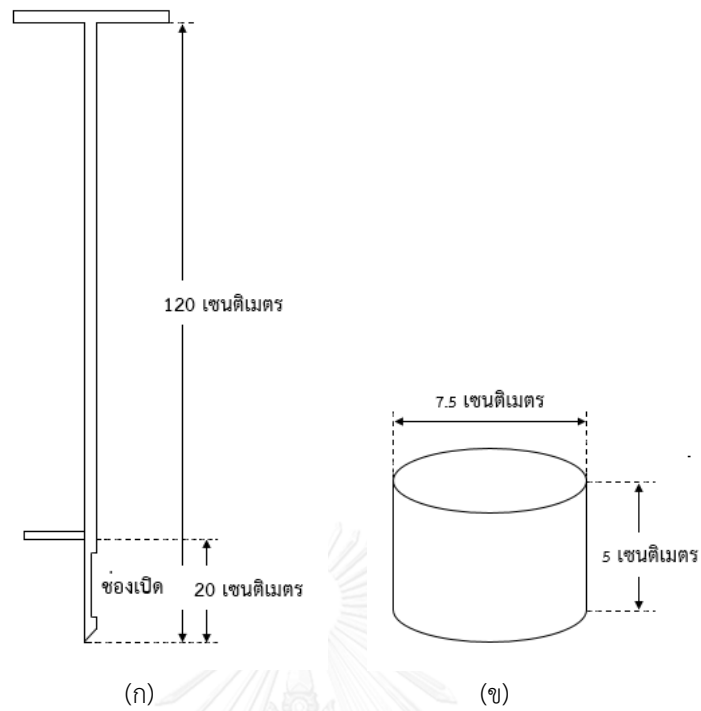
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน ประกอบด้วย หลอดเจาะดิน (รูป 13ก) กระบอกเจาะดิน (รูป 13ข) เสียมหรือพลั่ว ถังพลาสติก และถุงพลาสติก

1) การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้หลอดเจาะดิน

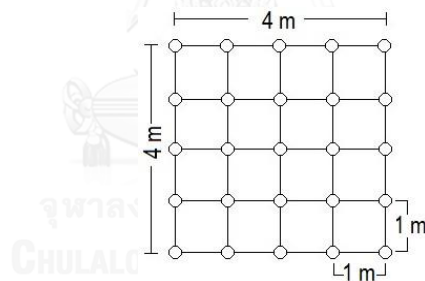
เก็บตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนของดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0 – 20 เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ความเป็นกรด-ด่าง อินทรีย์วัตถุ และขนาดอนุภาคดิน โดยใช้หลอดเจาะดิน (รูป 14ก) ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างวางแปลงเก็บขนาด 4 x 4 เมตร เก็บตัวอย่างทั้งหมด 25 จุดย่อย โดยเว้นระยะทุก 1 เมตร (รูปที่ 15 บน) กดหลอดเจาะดินโดยใช้เท้าเหยียบก้านด้านข้างของหลอดเจาะจนจรดพื้นดิน ดึงหลอดเจาะออก เคาะตัวอย่างดินลงรวมกันในกระบอกพลาสติก ผสมให้เข้ากันเพื่อให้ได้ดินเป็นตัวแทนของสถานีนั้นอย่างแท้จริง แบ่งดินในกระบอกออกเป็นสี่ส่วนเท่า ๆ กัน เลือกดินสองส่วนที่ตรงกันข้ามใส่ถุงพลาสติก ปิดฉลากพร้อมเขียนกำกับรายละเอียดในแต่ละสถานี (รูปที่ 15 ล่าง) นำตัวอย่างดินกลับห้องปฏิบัติการเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเตรียมดินต่อไป



รูป 13 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำในพื้นที่ต้นน้ำลุ่มน้ำห้วยหลวง
ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557 - เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 5 จุด



รูป 14 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน (ก) หลอดเจาะดิน และ (ข) กระบอกเจาะดิน



รูป 15 (บน) การวางจุดเก็บตัวอย่างดินในแต่ละสถานี และ
(ล่าง) ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้หลอดเจาะดิน

2) การเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกละดิน

เก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น ความหนาแน่นของอนุภาค และความพรุนในดิน โดยใช้กระบอกละดิน (รูป 14ข) เลือกบริเวณเก็บตัวอย่างที่ไม่มีพืชหรือเศษหิน จากนั้นนำกระบอกละดินวางลงบนผิวดิน วางแผ่นไม้ลงบนกระบอกละดิน ใช้ค้อนตอกลงบนแผ่นไม้ ตอกลงไปจนกระทั่งกระบอกละดินจมอยู่ระดับเดียวกับผิวดิน จากนั้นใช้เสียมหรือพลั่วค่อย ๆ แซะดินข้างกระบอกละดิน และงัดขึ้นมาโดยให้มีดินส่วนเกินติดมาด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้มีช่องว่างภายในกระบอกละดิน ใช้มีดหรืออุปกรณ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงค่อย ๆ ปาดเอาดินส่วนเกินออกไป และนำตัวอย่างดินใส่ในถุงพลาสติก เขียนกำกับรายละเอียดในแต่ละสถานี นำตัวอย่างดินกลับมาห้องปฏิบัติการเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเตรียมดินต่อไป (รูป 16)

3.2.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบจ้วง (grab sampling) โดยใช้ขวดเก็บตัวอย่างขนาด 1 ลิตร สถานีละ 3 ขวด (3 ซ้ำ) เก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่ในถังน้ำแข็ง และนำกลับมาห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ทันที



รูป 16 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอกละดิน

3.2.3 การเตรียมดิน

หลังจากเก็บตัวอย่างดินมาแล้วต้องนำมาเตรียมดินก่อนวิเคราะห์ โดยเกลี่ยดินลงใน กระบะพลาสติกที่รองด้วยถุงพลาสติกสะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนดินแห้งสนิท จากนั้นแบ่งดินออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกนำไปวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคและค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่วนที่สองสำหรับใช้วิเคราะห์ทางเคมี นำไปร่อนเพื่อแยกเศษดิน เศษหิน และเศษรากไม้ออกจากนั้น ตำเบา ๆ ในด้วยโกร่งบดดิน และร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร คลุกเคล้าดิน ให้เข้ากันเพื่อให้ดินเป็นเนื้อเดียวกัน เก็บตัวอย่างดินที่เตรียมแล้วในถุงพลาสติกสะอาด เขียนฉลาก กำกับไว้สำหรับแต่ละสถานี

3.2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.2.4.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

1) ความหนาแน่นรวมของดิน

วิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ของดินด้วยวิธีของ Tan (2005) โดยนำดินทั้งหมดที่ได้จากกระบอกเจาะดิน มาไล่ความชื้นออกให้หมด ด้วยการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นคำนวณค่าความหนาแน่นตามสมการ 3-1

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของดิน}}{\text{ปริมาตรกระบอกเจาะดิน}} \quad \text{g/cm}^3 \quad (3-1)$$

2) ความหนาแน่นของอนุภาค

วิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของอนุภาคดิน (particle density) ด้วยวิธีวอลุ่มเมตริก ฟลอสก์ (volumetric flask) ความหนาแน่นของอนุภาคต่างจากความหนาแน่นรวมของดิน กล่าวคือ จะไม่รวมอากาศที่อยู่ในดิน โดยการวิเคราะห์จะใช้วิธีการต้มดินเพื่อไล่อากาศออกจากดิน จากนั้นคำนวณค่าความหนาแน่นของอนุภาคตามสมการ 3-2 รายละเอียดการวิเคราะห์ดูในภาคผนวก ข-1

$$\rho_s = \frac{\rho_w (w_s)}{(w_w - w_a) - (w_{sw} - w_s - w_a)} \quad (3-2)$$

เมื่อ	ρ_w	คือ	ความหนาแน่นของน้ำ
	w_s	คือ	น้ำหนักดินแห้ง
	w_w	คือ	น้ำหนักน้ำใน volumetric flask ขนาด 50 mL
	w_{sw}	คือ	น้ำหนักดิน + น้ำ หลังจากต้มไล่อากาศ
	w_a	คือ	น้ำหนัก volumetric flask

3) ความพรุน (porosity)

วิเคราะห์ค่าความพรุนของดินด้วยการคำนวณจากค่าของความหนาแน่นรวมและค่าความหนาแน่นของอนุภาค ตามสมการ 3-3 (Tan, 2005) นี้

$$\text{ความพรุน (\%)} = \frac{\text{ความหนาแน่นอนุภาค} - \text{ความหนาแน่นรวม}}{\text{ความหนาแน่นอนุภาค}} \times 100 \quad (3-3)$$

4) ขนาดอนุภาคดิน

วิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินด้วยเทคนิคการร่อนเปียกและการตกตะกอน โดยอาศัยความสัมพันธ์ตามกฎของสโตรก (Stroke's Law) (Anderson & Ingram, 1993) ดูรายละเอียดการวิเคราะห์ในภาคผนวก ข-2 และจัดเนื้อดิน (Texture classes) ตามไดอะแกรมสามเหลี่ยมแฉงประเภทของเนื้อดินตามสัดส่วนโดยมวลของดิน (Nyle & Weil, 2010) (หัวข้อ 2.1.1) ซึ่งแบ่งเนื้อดินออกเป็น 12 ประเภท

5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง

วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเติมน้ำกลั่นลงในดินในอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (Tan, 2005) วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในส่วนที่เป็นน้ำใสด้วย pH meter รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข-3

6) อินทรีย์วัตถุ

วิเคราะห์หาค่าอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ในดินด้วยวิธี Walkley and Black (Loring & Rantala, 1992) โดยโพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate; $K_2Cr_2O_7$) จะออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนในสภาวะกรด จากนั้นไตเตรทหาโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากการออกซิไดซ์ ด้วยเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (ferrous ammonium sulfate; $Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 6H_2O$) เพื่อนำคำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่ในดิน รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข-4

7) ไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate-nitrogen, NO_3^- -N)

วิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ตามวิธีของ Anderson and Ingram (1993) โดยการสกัดไนเตรทออกจากดินโดยใช้โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate; K_2SO_4) แล้วทำปฏิกิริยากับกรดซาลิไซลิกในสภาวะกรด เกิดเป็นสารประกอบสีเหลือง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV spectrophotometer รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข-5

8) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$) ตามวิธีของ Beathgen and Alley (1989) โดยสกัดดินด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride; KCl) นำไปทำให้เกิดสีโดยแอมโมเนียมจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมซาลิไซเลต (sodium salicylate; $\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3$) คลอรีนที่ได้จากโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (sodium hypochlorite; NaClO) เกิดเป็นสารสีเขียว นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV spectrophotometer รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข-6

9) ไนโตรเจนรวม

ในการศึกษานี้ทำการวิเคราะห์ไนโตรเจนรวม (total nitrogen) ด้วยวิธีเจลดดาห์ (Kjeldahl method) (Bremner & Mulvaney, 1982) ซึ่งมี 3 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 การย่อยดินด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น ไนโตรเจนในดินจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงและสารเร่งปฏิกิริยา CuSO_4 ขั้นที่ 2 กลั่นแอมโมเนีย โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) เพื่อทำปฏิกิริยากับเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่ได้จากการย่อยตัวอย่าง เพื่อให้ได้ก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งก๊าซนี้จะถูกตรึงในสารละลายกรดบอริก (boric acid; H_3BO_3) ขั้นที่ 3 ไทเทรตหาปริมาณไนโตรเจนในสารละลายกรดบอริก ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก

10) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โดยสกัดดินด้วยสารละลายเบรย์ทู (Bray II) (Bray & Kurtz, 1945) และทำให้เกิดสีโดยใช้วิธี Molybdenum blue meter โดยใช้กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid; $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) เป็นตัวรีดิวส์ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV spectrophotometer รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข-7

11) ฟอสฟอรัสอินทรีย์

ฟอสฟอรัสอินทรีย์ (organic phosphorus) ได้จากการคำนวณจากผลต่างของฟอสฟอรัสอินทรีย์และฟอสฟอรัสทั้งหมด ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีโบแมนและมัวร์ (Carter & Gregorich, 2008) โดยการสกัดดินด้วยเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติกแอซิด (Ethylenediamine-tetraacetic acid; EDTA) ทำให้เกิดสีด้วยวิธี Molybdenum blue meter โดยใช้กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid; $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) เป็นตัวรีดิวส์ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV spectrophotometer รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข - 8

3.2.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

วิเคราะห์คุณภาพน้ำ 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ ไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสเฟต ด้วยวิธี Colourimetric method (Strickland and Parson, 1972)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 สถิติเชิงพรรณนา

วิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของสมบัติดินทางกายภาพและเคมีในลุ่มน้ำห้วยหลวง ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) (สมการ 3 – 4), ค่าต่ำสุด-สูงสุด (minimum-maximum), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) (สมการ 3 – 5) และค่ามัธยฐาน (median) ในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 23

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3 - 4)$$

เมื่อ	\bar{x}	คือ	ค่าเฉลี่ย
	$\sum x$	คือ	ผลบวกของข้อมูล
	n	คือ	จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$$SD = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (3 - 5)$$

เมื่อ	SD	คือ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (coefficient of variance)
	x	คือ	ข้อมูล (1, 2, 3 ถึง n)
	\bar{x}	คือ	ค่าเฉลี่ย
	n	คือ	จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.3.2 สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ

วิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ (Multivariate Analysis of Variance: MANOVA) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลระหว่างตัวแปร ตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ในการศึกษาที่มีตัวแปรอิสระ คือ ลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตัวแปรตาม คือ สมบัติดินชนิดต่าง ๆ ในโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 23

3.3.3 สถิติวิเคราะห์สหสัมพันธ์

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติดินทั้งทางกายภาพและเคมีในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's correlation coefficient) โดยมีข้อตกลงเบื้องต้น คือ ข้อมูลจะต้องเป็นอิสระต่อกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันคำนวณได้จากสมการที่ 3-4

$$r_{xy} = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N\sum x^2 - (\sum x)^2][N\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (3-6)$$

เมื่อ	r_{xy}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน
	$\sum X$	คือ ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1 (X)
	$\sum Y$	คือ ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2 (Y)
	$\sum XY$	คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลตัวแปรที่ 1 และ 2
	$\sum x^2$	คือ ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1
	$\sum Y^2$	คือ ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2
	N	คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

3.4 การวิเคราะห์ลักษณะการแพร่กระจายของสมบัติดิน

แสดงลักษณะการแพร่กระจายของสมบัติดิน โดยใช้เทคนิคการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) เป็นการนำค่าที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริงมาใช้ประมาณค่าในพื้นที่ที่ไม่ได้มีการตรวจวัดค่านั้น ๆ โดยใช้หลักการสิ่งที่อยู่ใกล้กันจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากกว่าสิ่งที่อยู่ไกลออกไป สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้วิธีธรณีสถิติ (geostatistical methods) เทคนิคคริกกิง (ordinary Kriging) ซึ่งเป็นวิธีประเมินเชิงเส้นตรงที่ถูกพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์แล้วว่าเป็นวิธีการที่ไม่ลำเอียง และให้ค่าความแปรปรวน (variance) ของการประเมิน หรือความผิดพลาดในการประเมินต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ (พันธุ์ลพ หัตถโกศล, 2540)

3.5 การสร้างแบบจำลอง

การคำนวณการชะล้างปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากพื้นดินลงสู่แม่น้ำห้วยหลวงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWAT โดยนำเข้าข้อมูล 2 รูปแบบ คือ ข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ ประกอบด้วย ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (digital elevation model, DEM) ชนิดดิน (soil series) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) และข้อมูลจากการตรวจวัด ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ ปฏิทินการทำเกษตรกรรม ปริมาณไนโตรเจนในดิน และฟอสฟอรัสในดิน ข้อมูลนำเข้าทั้งหมดแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง SWAT

ลำดับ	รายการข้อมูล	แหล่งข้อมูล	ปี
1	แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM)	กรมแผนที่ทหาร	2547
2	ขอบเขตลุ่มน้ำ และโครงข่ายลำน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำ	2554
3	ชนิดดินและแผนที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	2554
4	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	2554
5	สภาพภูมิอากาศรายวัน (อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด, ความชื้น, ปริมาณน้ำฝน) และตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัด	กรมอุตุนิยมวิทยา	2543-2558
6	ข้อมูลอุทกวิทยา (อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน, ปริมาณตะกอน) และตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัด	กรมชลประทาน	2543-2558
7	ข้อมูลปฏิทินการเพาะปลูก และการใส่ปุ๋ย	เกษตรจังหวัดอุดรธานีและ สัมภาษณ์เกษตรกร	2557
8	ข้อมูลคุณภาพน้ำ	เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ใน ห้องปฏิบัติการ	2557-2558
9	ข้อมูลปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินและน้ำ	เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ใน ห้องปฏิบัติการ	2557

3.5.1 การกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับแบบจำลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ เลือกพื้นที่ต้นน้ำห้วยหลวงเป็นตัวแทนของการศึกษาการชะล้างธาตุอาหารจากแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจาย โดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำจากการนำเข้าข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (DEM) มาทำการกำหนดจุดออก (outlet) ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดที่บริเวณสถานีวัดปริมาณน้ำท่าและตะกอน KH53 (รูป 17)

3.5.2 การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrological Respond Units)

การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นการกำหนดลักษณะความสัมพันธ์กายภาพของแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยนำข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) ความลาดชันของพื้นที่ (slope) และชนิดดิน (soil series) ซึ่งในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป เมื่อนำเข้าข้อมูลทุกส่วนแล้วแบบจำลอง SWAT ได้กำหนดหน่วยตอบสนองทาง

อุทกวิทยาของพื้นที่ต้นน้ำลุ่มน้ำห้วยหลวงออกเป็น 16 ลุ่มน้ำย่อย ดังรูป 18 ซึ่งข้อมูลที่น่าเข้าเพื่อกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา มีรายละเอียด ดังนี้

1) ข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์

ในการศึกษานี้ใช้แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน 2 ช่วง คือ พ.ศ. 2544 และ 2554 แผนที่ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงในรูป 19

2) ชั้นข้อมูลชนิดดิน

ชั้นข้อมูลชนิดดิน (soil group) ที่นำเข้าแบบจำลอง SWAT ประกอบด้วยชนิดดินในพื้นที่ทั้งหมด 9 กลุ่มชุดดิน ซึ่งชั้นข้อมูลชนิดดิน ดังแสดงในรูป 20

3.5.3 การรวบรวมข้อมูลเพื่อเตรียมนำเข้าสู่แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT

ข้อมูลที่ต้องรวบรวมเพื่อนำเข้าไปคำนวณในแบบจำลองอุทกวิทยา SWAT แสดงในตาราง 5 ซึ่งบอกรายละเอียดรายการข้อมูล ที่มาของแหล่งข้อมูลและช่วงเวลาของข้อมูล โดยข้อมูลที่นำมาทั้งหมดจะถูกนำมาแปลงเป็นไฟล์ที่เหมาะสมก่อนจะนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม ArcGIS ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง จนได้ค่าที่เหมาะสม แล้วจึงนำไปใช้ประมวลผลการทำนายปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจายที่ชะลงแหล่งน้ำในลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยมีข้อมูลที่ต้องดำเนินการ ได้แก่

1) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ในการศึกษานี้ นำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศจาก 2 สถานี (ตาราง 6) ข้อมูลที่น่าเข้าตั้งแต่ปี 2543 – 2558 เป็นระยะเวลา 16 ปี โดยมีข้อมูลได้แก่ อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุดรายวัน, ความชื้นรายวัน, ปริมาณน้ำฝนรายวัน

2) ข้อมูลอุทกวิทยา

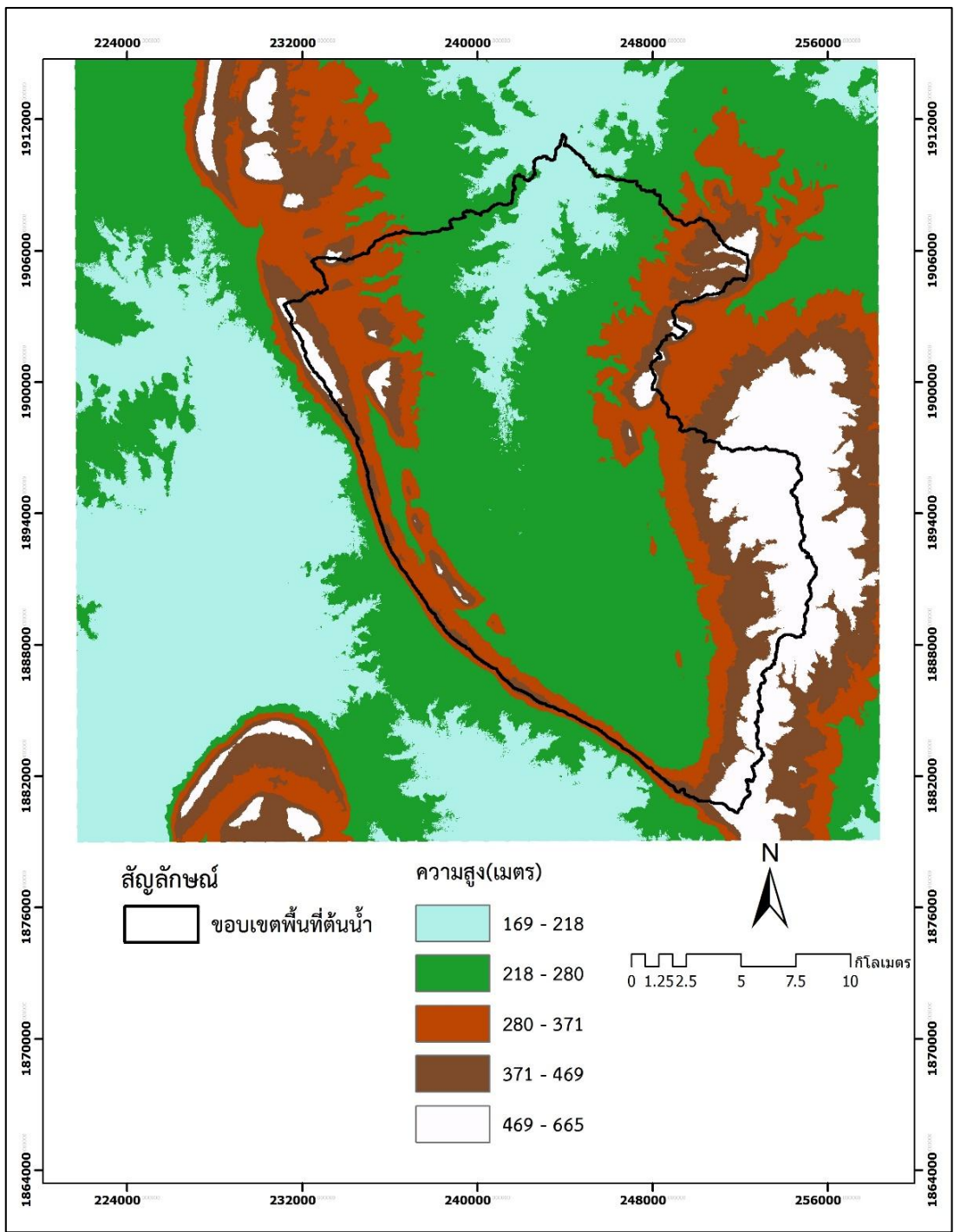
ในการศึกษานี้ ได้เตรียมข้อมูลอุทกวิทยาเพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง โดยข้อมูลที่ใช้ ได้แก่ ปริมาณน้ำท่ารายเดือน จำนวน 1 สถานี (KH53) (ตาราง 6) บริเวณอำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี รวบรวมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 – 2558 เป็นระยะเวลา 16 ปี ข้อมูลปริมาณตะกอน จำนวน 1 สถานี (KH53) โดยรวบรวมข้อมูลปี 2545 – 2547 เป็นระยะเวลา 3 ปี

3) ข้อมูลสมบัติดิน

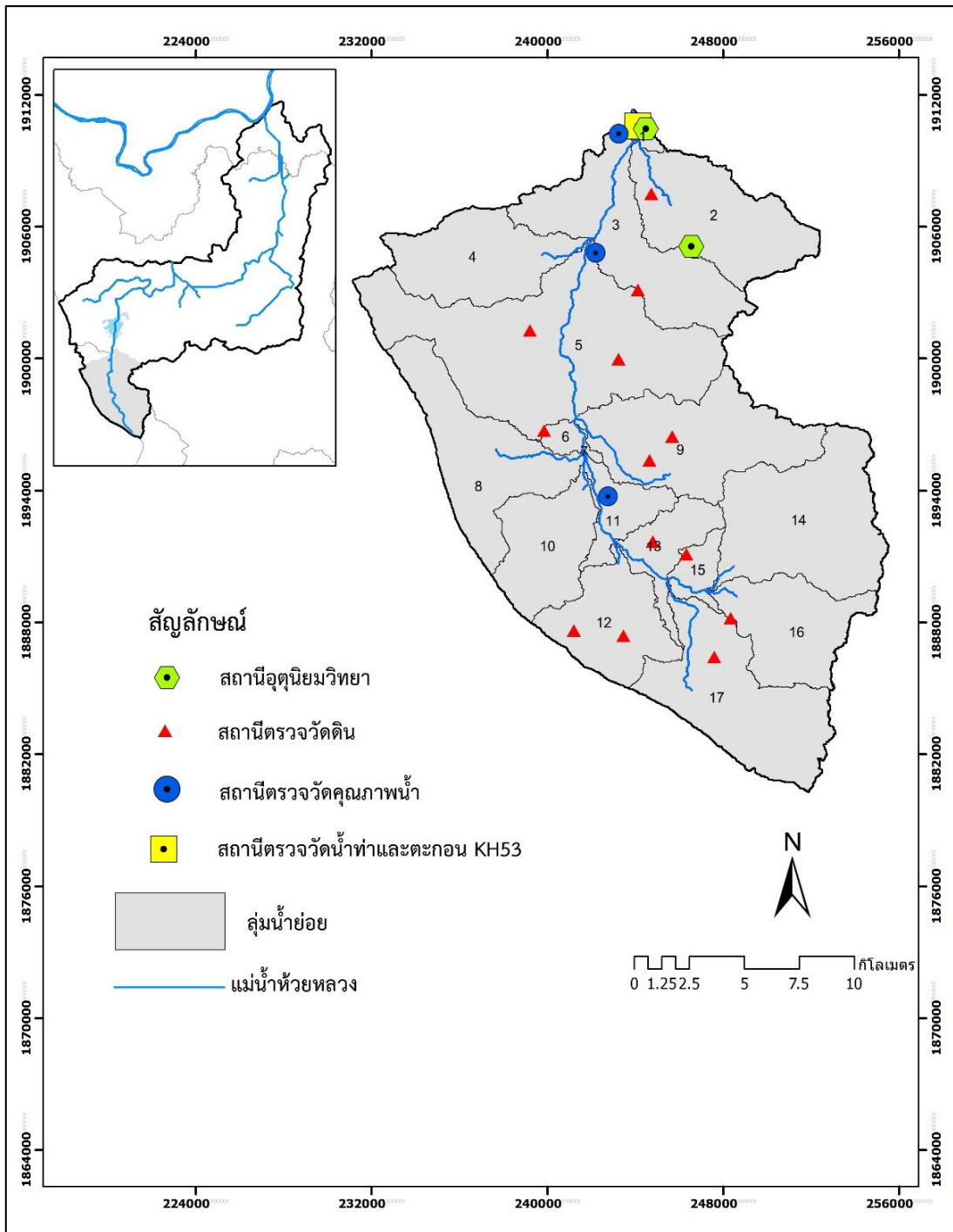
ในการศึกษานี้ได้กำหนดให้มีจุดเก็บตัวอย่างดินให้ครอบคลุมตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมทั้ง 6 ประเภท เพื่อให้เป็นตัวแทนสมบัติดินในพื้นที่ศึกษา จะได้จุดเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 13 จุด (รูป 19) และเก็บตัวอย่างซ้ำสองครั้ง ระยะเวลาห่างกัน 2 เดือน คือในเดือนมิถุนายน และกันยายน พ.ศ. 2557 (วิธีการเก็บตัวอย่างดิน หัวข้อ 3.3.2 และ 3.3.3) และหลังจากทำการวิเคราะห์สมบัติดินแล้วจึงนำค่าไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) (วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน หัวข้อ 3.3.4) ใส่ในแบบจำลอง แล้วจึงดำเนินการจำลองค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ชะลงสู่แหล่งน้ำต่อไป

ตาราง 6 ข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาและสถานีอุทกวิทยา

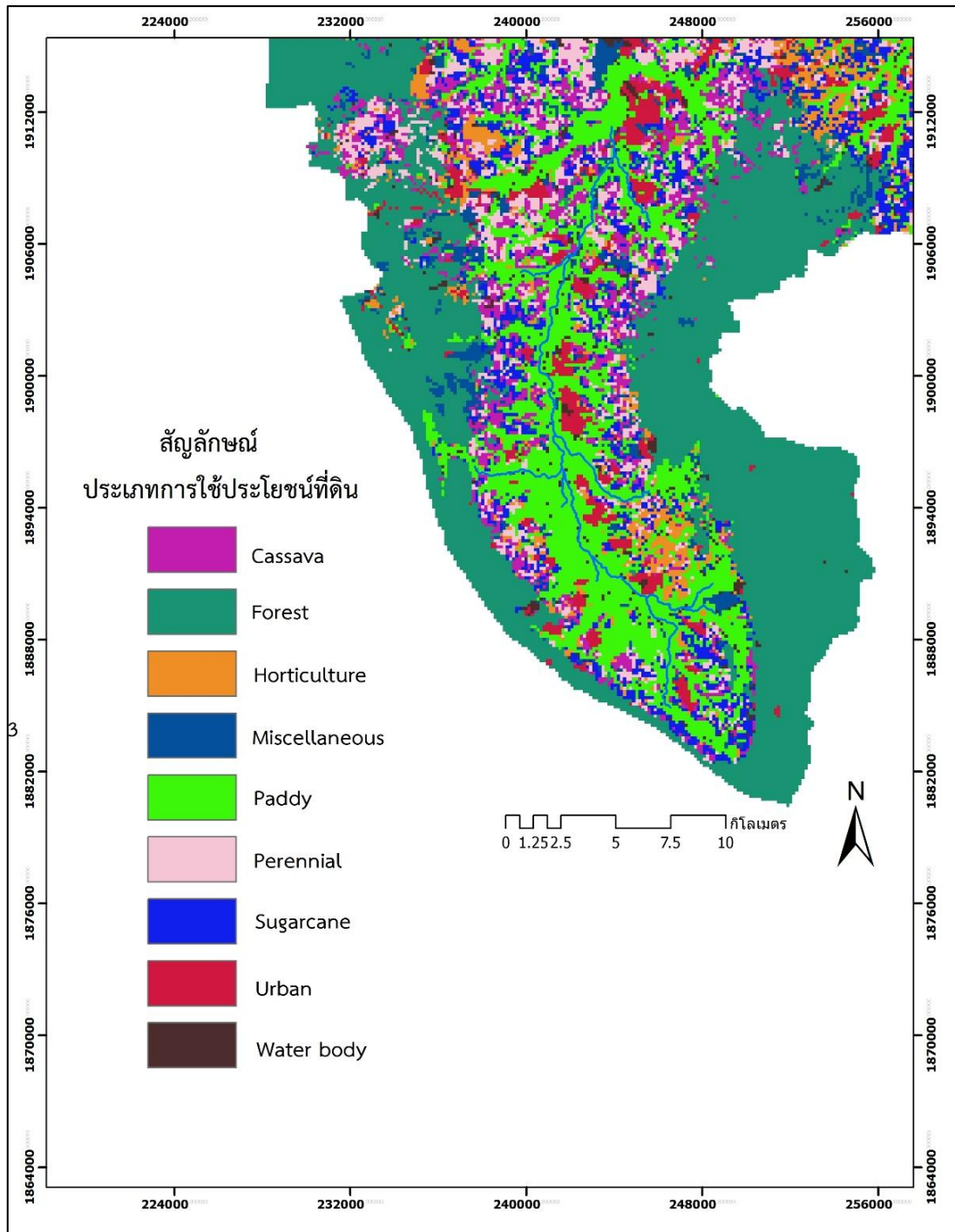
ลำดับ	ชื่อสถานี	X	Y	ประเภทข้อมูล
1	68013	246543	1905090	ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้น
2	354009	244481	1910430	ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้น
3	KH53	244609	1910294	น้ำท่ารายวัน, ตะกอนรายวัน



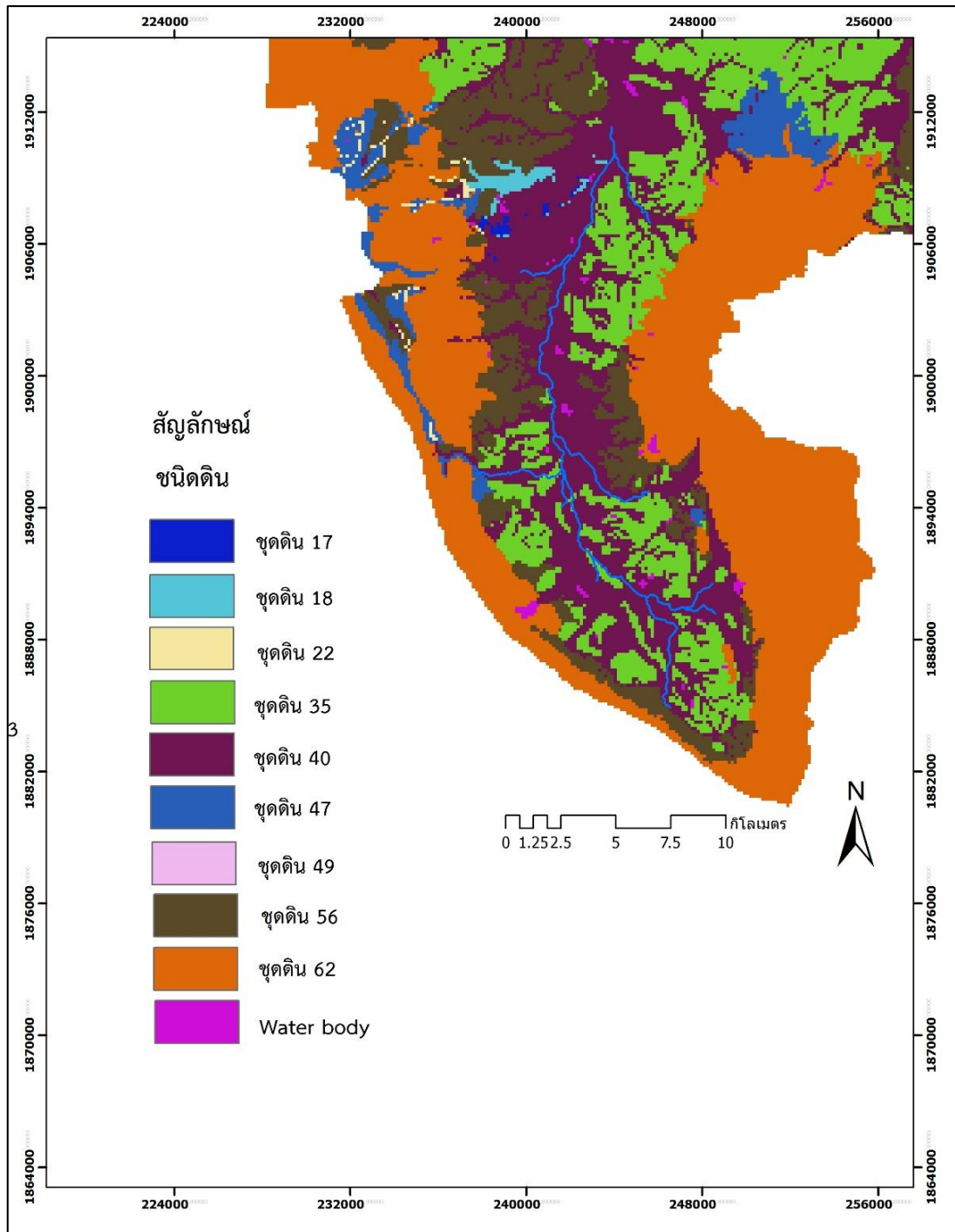
รูป 17 แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลขบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ กลุ่มน้ำห้วยหลวง



รูป 18 พื้นที่ต้นน้ำที่กำหนดในการศึกษาการจำลองการชะล้างธาตุอาหาร



รูป 19 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินพ.ศ. 2554



รูป 20 ชนิดดินบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ ลุ่มน้ำห้วยหลวง

ตาราง 7 ข้อมูลปฏิทินการเพาะปลูกพืช

กิจกรรม	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ข้าวนาปี (ปักดำ)												
• เตรียมดิน: ไถพรวน					■	■						
• เตรียมกล้า: - ทว่านแปลงกล้า - ใส่ปุ๋ยในแปลงกล้า (สูตร 16-16-8 20กก./ไร่) - ถอนกล้า					■	■	■					
• ปลูกข้าว: ปักดำ							■	■				
• การใส่ปุ๋ย • ครั้งที่ 1 สูตร 16-16-8 (25 กก./ไร่) • ครั้งที่ 2 สูตร 15-15-15 (25 กก./ไร่)								■		■		
• เก็บเกี่ยวผลผลิต												■
อ้อย												
• เตรียมดิน									■	■		
• เตรียมท่อนพันธุ์									■	■		
• ปลูกอ้อย										■	■	
• การใส่ปุ๋ย - ครั้งที่ 1 สูตร 15-15-15 (20 กก./ไร่) - ครั้งที่ 2 สูตร 46-0-0 (60 กก./ไร่)		■										■
• เก็บเกี่ยวผลผลิต								■				
ยางพารา												
• เตรียมดิน - ไถพรวน - จุดหลุมเตรียมปลูก					■	■						
• เตรียมกล้าพันธุ์					■	■						
• ปลูกยางพารา - ปูรองกันหลุม ด้วย ปุ๋ยหินฟอสเฟต170 ก./หลุม - นำกล้าลงหลุม กลบ ดิน					■	■						
• การใส่ปุ๋ย - อายุยาง ปีที่ 1-3 สูตร 20-10-12 (25กก./ไร่) - อายุยาง ปีที่ 4-25 สูตร 27-12-6 (50 กก./ ไร่)					■	■			■	■		
• กรีดยาง เริ่มปีที่ 7	■	■							■	■	■	■

3.5.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Sensitivity analysis)

ในการสร้างศึกษานี้ ได้ดำเนินการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่อปริมาณน้ำท่าเพียงตัวแปรเดียว เนื่องจากข้อจำกัดด้านข้อมูล การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ทำได้โดยการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทีละตัว และดูว่ามีผลต่อปริมาณน้ำท่ามากขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใด เพื่อนำไปประกอบการพิจารณาการปรับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง โดยทำการปรับค่าพารามิเตอร์ลดลงและเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนร้อยละ 20, 40 และ 60

3.5.5 การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Calibration and Validation analysis)

หลังจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง และได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้ว ต้องมีการปรับเทียบข้อมูลที่แบบจำลองคำนวณได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองต่อไป โดยการศึกษานี้มีการปรับเทียบและสอบทานกับปริมาณน้ำท่า, ปริมาณตะกอน, ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสเฟต ดังนี้

1) การปรับเทียบและสอบทานปริมาณน้ำท่า

การปรับเทียบปริมาณน้ำท่า ดำเนินการโดยการนำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2544 และข้อมูลปริมาณน้ำท่าและสภาพภูมิอากาศ ปีพ.ศ. 2543 – 2553 รวมเวลา 11 ปี จากนั้นดำเนินการสอบทาน โดยนำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2554 และข้อมูลปริมาณน้ำท่าและสภาพภูมิอากาศ ปีพ.ศ. 2554 – 2558 รวมเวลา 5 ปี ทำการแสดงผลเป็นข้อมูลรายเดือน

2) การปรับเทียบปริมาณตะกอน

การปรับเทียบปริมาณตะกอน เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลปริมาณตะกอน ซึ่งมีตั้งแต่ปี 2545 – 2547 จึงได้ดำเนินการโดยนำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2544 และข้อมูลปริมาณน้ำท่าและสภาพภูมิอากาศ ปีพ.ศ. 2545 – 2547 รวมเวลา 3 ปี และแสดงผลเป็นข้อมูลรายเดือน

3) การปรับเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสเฟตในลำน้ำ

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำ จำนวน 3 จุด คือ บริเวณบ้านอุบมุง ตำบลอุบมุง บ้านหนองแขวงฮี ตำบลหนองอ้อ และสถานี KH53 อำเภอหนองบัวซอ จังหวัดอุดรธานี (รูป 17) เก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 6 ครั้ง ดังนั้น ในการปรับเทียบค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสเฟตจึงทำได้ในระยะเวลา 1 ปี

3.5.6 การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

หลังจากได้นำเข้าข้อมูลต่างๆ ในแบบจำลองและได้ทำการสอบเทียบแล้ว ต้องมีการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง เพื่อเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและเพื่อให้ผลการ

คำนวณในแบบจำลองมีความแม่นยำใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด ทำโดยการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจากการตรวจ จากนั้นนำมาคำนวณตามสมการ (3-3) ซึ่งจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดยถ้าค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง ปัจจัยทั้งสองมีความสัมพันธ์กันมาก

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=0}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (3-3)$$

เมื่อ

R^2 = Coefficient of Determination

O_i = ค่าที่ได้จากการตรวจวัด

\bar{O} = ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการตรวจวัด

P_i = ค่าที่ได้จากการแบบจำลอง

\bar{P} = ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากแบบจำลอง



บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผลลักษณะสมบัติดิน

ในบทนี้กล่าวถึงผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน การวิเคราะห์ลักษณะการกระจายของดิน ความสัมพันธ์กันของสมบัติดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์การชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากพื้นที่ต้นน้ำลงสู่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 5

4.1 สมบัติของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง

4.1.1 สมบัติของดินในภาพรวม

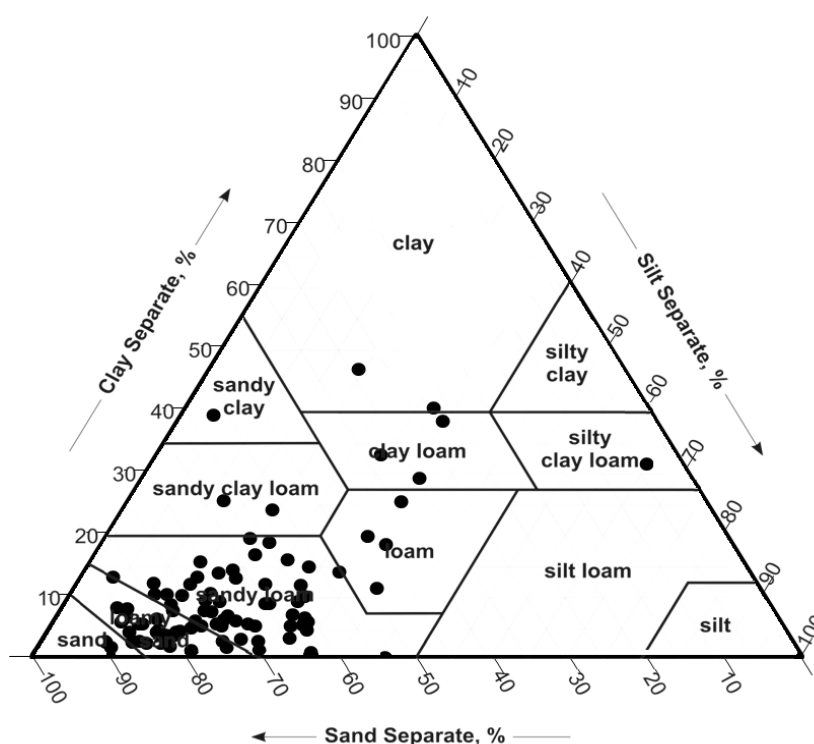
ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงรายงานไว้ในตาราง ก-1 ในภาคผนวก ก และสรุปไว้ในตาราง 8

ตาราง 8 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงในภาพรวม

สมบัติดิน	ค่าต่ำสุด – สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ขนาดอนุภาค (%)			
ดินทราย	4.50 – 89.3	69.3 ± 15.1	72.6
ขนาดทรายแป้ง	3.76 – 64.2	20.9 ± 9.83	19.1
ขนาดดินเหนียว	nd – 46.5	9.80 ± 9.39	6.53
ความหนาแน่น (g/cm ³)			
ความหนาแน่นรวม	1.19 – 1.79	1.50 ± 0.12	1.50
ความหนาแน่นอนุภาค	1.96 – 4.96	2.56 ± 0.40	2.49
ความพรุน (%)	27.6 – 76.0	40.5 ± 7.22	39.6
ความเป็นกรด-ด่าง	4.03 – 7.99	5.44 ± 0.81	5.27
อินทรีย์วัตถุ (%)	0.01 – 5.29	0.99 ± 1.09	0.66
ไนโตรเจน (mg-N/kg)			
ไนเตรท-ไนโตรเจน	4.44 – 65.2	18.3 ± 10.4	15.6
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	32.1 – 67.6	51.8 ± 7.93	52.6
ไนโตรเจนรวม	291 – 5,380	1,187 ± 816	884
ฟอสฟอรัส (mg-P/kg)			
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	> 0.12 – 45.5	4.72 ± 7.08	2.54
ฟอสฟอรัสอินทรีย์	6.89 – 1,196	254 ± 244	190

nd = ไม่สามารถตรวจพบด้วยวิธีการที่ใช้ (not detectable)

ลักษณะเนื้อดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ส่วนใหญ่มีเนื้อหยาบ องค์ประกอบอนุภาค ประมาณ ร้อยละ 70 เป็นขนาดทราย (sand) มีอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay) ไม่ถึงร้อยละ 10 จากรูป 21 ไดอะแกรมสามเหลี่ยมประเภทของเนื้อดิน (Soil texture triangle) พบว่า ดินส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) รองลงมา คือ ดินทรายปนร่วน (loamy sand) ความหนาแน่นของดินส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน ค่าความหนาแน่นรวมประมาณ 1.5 g/cm^3 และค่าความหนาแน่นอนุภาคประมาณ 2.5 g/cm^3 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำเกษตรกรรม ดินส่วนใหญ่มีค่าความพรุนประมาณร้อยละ 40 (ตาราง 8) จัดอยู่ในประเภทดินทราย ซึ่งมีความพรุนระหว่างร้อยละ 35–50 (Tan, 2005)



รูป 21 ไดอะแกรมการกระจายโครงสร้างดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง

ดินมีสภาพเป็นกรดจัด ส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 5.0 – 5.5 ซึ่งสอดคล้องกับกรมพัฒนาที่ดิน (2558) ที่รายงานสภาพความเป็นกรด-ด่างของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและพื้นที่ส่วนใหญ่ของไทยอยู่ระหว่าง 4.6-5.5 ดังนั้น ในการทำเกษตรกรรมจึงต้องมีการจัดการดิน โดยดินที่มีความเป็นกรดไม่รุนแรง สามารถใช้น้ำชะล้างความเป็นกรด โดยการขังน้ำไว้นาน ๆ แล้วระบายน้ำออกก่อนปลูกพืช แต่ถ้าความเป็นกรดรุนแรงมาก จะใช้วิธีใส่วัสดุผสมลงไปดิน เช่น ปูนขาว ปูนมาร์ล เพื่อลดความเป็นกรดในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556a)

ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีค่าอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 - 5.29 แต่ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 1 (ตาราง 8) จัดว่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานสถานภาพทรัพยากรดินฯ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) ที่กล่าวว่า ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและประเทศไทยส่วนใหญ่มีค่าอินทรีย์วัตถุค่อนข้างต่ำ คือ ต่ำกว่า ร้อยละ 1.5 เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ที่อากาศร้อนและแห้งแล้ง อินทรีย์วัตถุจึงย่อยสลายตัวได้เร็ว และมีการสะสมตัวได้น้อยเนื่องจากเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นทราย (นวลศรี กาญจนกุล และคณะ, 2543) ดังนั้น ในการทำเกษตรกรรมจึงต้องมีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งทำได้โดยการใส่ปุ๋ย อาจเป็นปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยพืชสด ร่วมกับการปลูกพืชตระกูลถั่วลดการเผาแปลงและเปลี่ยนมาเป็นการไถตอซัง เศษพืชที่ทิ้งไว้ในแปลงจะเกิดการย่อยสลายกลายเป็นอินทรีย์วัตถุต่อไป (พัชรี ธีรจินดาขจร, 2549)

ไนโตรเจนในรูปไนเตรทและแอมโมเนียมีความเข้มข้นประมาณ 18 และ 52 mg-N/kg ตามลำดับ ในขณะที่ไนโตรเจนรวมมีความเข้มข้นที่ค่อนข้างแปรปรวน มีค่าอยู่ระหว่าง 291 - 5,380 mg-N/kg ส่วนใหญ่มีค่าประมาณ 884 mg-N/kg ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรีย์ในอินทรีย์วัตถุของดิน มีปริมาณน้อยมากที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งได้แก่ ไนเตรทและแอมโมเนีย ดังเช่นในงานวิจัยนี้ พบว่าปริมาณไนโตรเจนรวมมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 1,187 mg-N/kg แต่ปริมาณไนเตรทและฟอสฟอรัสมีเพียง 18.3 และ 51.8 mg-N/kg ตามลำดับ

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีค่าประมาณ 2.54 mg-P/kg โดยสอดคล้องกับดินส่วนใหญ่ในประเทศไทยที่ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ คือ มีค่าต่ำกว่า 10 mg-P/kg (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558)

ตาราง 9 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในกลุ่มน้ำห้วยหลวงตามประเภทธรณีสัณฐาน

ก) ขนาดอนุภาคดิน (%)

สมบัติดิน	ธรณีสัณฐาน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ขนาดดินทราย	พื้นที่ลาดชันเชิงชัน	4.50 – 74.0	46.1 ± 22.0	51.8
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	56.7 – 89.3	79.0 ± 8.74	80.9
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	57.0 – 86.3	74.2 ± 9.46	75.7
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	44.9 – 89.3	71.0 ± 11.6	68.3
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	27.6 – 85.6	67.8 ± 14.6	72.5
ขนาดดินทรายแป้ง	พื้นที่ลาดชันเชิงชัน	19.2 – 64.2	33.7 ± 14.7	29.4
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	6.71 – 28.5	15.0 ± 6.38	14.5
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	3.81 – 30.2	17.2 ± 16.0	7.52
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	3.76 – 36.8	19.9 ± 9.41	20.9
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	8.50 – 45.8	22.2 ± 8.62	19.3
ขนาดดินเหนียว	พื้นที่ลาดชันเชิงชัน	1.59 – 31.3	20.2 ± 9.85	21.8
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	1.19 – 14.8	6.03 ± 3.91	5.36
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	nd – 39.2	8.63 ± 8.64	7.03
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	1.69 – 25.4	9.10 ± 6.35	7.44
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	nd – 46.5	9.98 ± 10.5	5.89

nd = ไม่สามารถตรวจพบด้วยวิธีการที่ใช้ (not detectable)

ข) ความหนาแน่นของดิน (g/cm^3)

สมบัติดิน	ธรณีสัณฐาน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ความหนาแน่นรวม	พื้นที่ลาดชันเชิงชันเชิงชัน	1.31 – 1.59	1.47 ± 0.12	1.51
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	1.25 – 1.52	1.42 ± 0.08	1.42
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	1.26 – 1.64	1.48 ± 0.09	1.48
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	1.21 – 1.73	1.54 ± 0.12	1.52
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	1.19 – 1.79	1.50 ± 0.13	1.50
ความหนาแน่นอนุภาค	พื้นที่ลาดชันเชิงชันเชิงชัน	2.32 – 2.64	2.44 ± 0.13	2.36
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	2.41 – 2.65	2.53 ± 0.08	2.55
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	2.26 – 2.67	2.50 ± 0.11	2.52
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	2.33 – 3.87	2.53 ± 0.32	2.44
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	1.96 – 4.96	2.61 ± 0.54	2.49

ตาราง 9 (ต่อ)

ค) ความพรุน (%)

สมบัติดิน	ธรณีสัณฐาน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ความพรุน	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนเชิงซ้อน	33.4 - 44.4	39.5 ± 4.61	41.0
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	39.3 - 49.1	43.9 ± 2.82	44.1
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	33.0 - 47.1	40.6 ± 3.93	40.5
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	27.6 - 62.2	38.4 ± 7.64	37.5
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	28.0 - 76.0	40.7 ± 8.43	39.6

ง) ความเป็นกรด-ด่าง

สมบัติดิน	ธรณีสัณฐาน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ความเป็นกรด-ด่าง	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนเชิงซ้อน	4.88 - 7.26	6.51 ± 0.78	6.72
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	4.45 - 6.76	5.48 ± 0.66	5.34
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	4.03 - 7.99	5.50 ± 0.91	5.34
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	4.53 - 7.73	5.40 ± 0.69	5.18
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	4.04 - 7.89	5.32 ± 0.74	5.08

จ) อินทรีย์วัตถุ (%)

สมบัติดิน	ธรณีสัณฐาน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
อินทรีย์วัตถุ	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนเชิงซ้อน	0.44 - 3.44	1.24 ± 1.07	0.68
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	0.03 - 4.32	0.83 ± 1.22	0.44
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	0.09 - 1.15	0.60 ± 0.31	0.53
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	0.03 - 5.29	1.51 ± 1.62	0.73
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	0.01 - 5.11	0.90 ± 0.84	0.74

ตาราง 9 (ต่อ)

ฉ) ไนโตรเจน (mg-N/kg)

สมบัติดิน	กรณีศึกษาฐาน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ไนเตรท-ไนโตรเจน	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	7.16 - 36.3	21.5 ± 11.8	19.6
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	5.30 - 42.0	19.7 ± 9.92	19.5
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	8.30 - 38.7	19.2 ± 9.31	16.6
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	4.44 - 44.8	19.2 ± 10.8	15.4
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	5.74 - 65.2	16.9 ± 10.2	13.3
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	46.0 - 59.2	52.0 ± 4.03	52.1
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	47.1 - 67.6	55.3 ± 5.65	56.5
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	32.1 - 67.4	52.2 ± 7.85	52.6
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	33.8 - 67.2	49.8 ± 9.19	52.3
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	33.0 - 63.8	51.8 ± 7.90	52.5
ไนโตรเจนรวม	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	486 - 2,485	1,163 ± 647	937
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	383 - 2,444	826 ± 574	724
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	524 - 2,304	1,025 ± 556	779
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	455 - 2,569	1,041 ± 595	862
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	291 - 5,380	1,388 ± 972	1,195

ช) ฟอสฟอรัส (mg-P/kg)

สมบัติดิน	กรณีศึกษาฐาน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	>0.12 - 5.85	1.81 ± 2.30	0.37
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	>0.12 - 20.2	7.31 ± 5.62	6.37
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	2.22 - 45.5	10.8 ± 11.7	6.28
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	>0.12 - 10.9	2.45 ± 2.56	2.01
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	>0.12 - 25.6	3.42 ± 5.43	1.88
ฟอสฟอรัสอินทรีย์	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	101 - 482	271 ± 129	289
	พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน	43.9 - 558	273 ± 153	237
	ลานตะพักลำน้ำระดับสูง	45.3 - 831	260 ± 248	150
	ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง	40.9 - 2,058	409 ± 468	226
	ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ	25.5 - 945	225 ± 199	159

ตาราง 10 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ก) ขนาดอนุภาคดิน (%)

สมบัติดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ขนาดทราย	นาข้าว	49.7 – 85.9	70.1 ± 8.62	70.6
	อ้อย	59.0 – 84.4	72.2 ± 6.88	73.8
	มันสำปะหลัง	59.3 – 86.3	77.4 ± 9.73	79.3
	ยางพารา	44.9 – 89.3	73.1 ± 13.2	78.9
	ยูคาลิปตัส	57.0 – 84.8	77.2 ± 10.3	82.0
	เกษตรกรรมอื่นๆ	61.4 – 83.5	74.2 ± 8.52	76.9
	ป่าไม้	4.50 – 83.8	45.4 ± 26.0	46.7
	ที่ลุ่ม	27.6 – 84.1	46.4 ± 18.7	38.9
	ที่รกร้าง	27.8 – 89.3	71.6 ± 15.6	74.2
ขนาดทรายแป้ง	นาข้าว	10.4 – 39.0	22.7 ± 7.39	21.2
	อ้อย	8.54 – 30.8	19.4 ± 6.26	19.2
	มันสำปะหลัง	6.71 – 28.9	16.2 ± 6.77	16.5
	ยางพารา	8.14 – 437	20.6 ± 9.48	17.7
	ยูคาลิปตัส	3.76 – 13.9	8.16 ± 3.93	8.71
	เกษตรกรรมอื่นๆ	10.9 – 32.0	20.4 ± 7.18	19.0
	ป่าไม้	8.22 – 64.2	32.2 ± 18.9	33.6
	ที่ลุ่ม	13.5 – 45.8	29.5 ± 10.7	31.6
	ที่รกร้าง	8.00 – 31.9	17.0 ± 7.15	16.0
ขนาดดินเหนียว	นาข้าว	nd – 18.6	7.30 ± 4.71	5.93
	อ้อย	nd – 15.9	8.37 ± 4.58	8.92
	มันสำปะหลัง	nd – 19.3	6.44 ± 5.63	4.37
	ยางพารา	1.19 – 18.3	6.28 ± 4.87	5.38
	ยูคาลิปตัส	4.19 – 39.2	14.7 ± 12.7	10.3
	เกษตรกรรมอื่นๆ	2.94 – 8.78	5.43 ± 1.93	5.39
	ป่าไม้	7.96 – 31.3	22.4 ± 8.28	23.8
	ที่ลุ่ม	0.10 – 46.5	24.2 ± 17.5	29.0
	ที่รกร้าง	1.69 – 40.2	11.4 ± 10.8	6.54

nd = ไม่สามารถตรวจพบด้วยวิธีการที่ใช้ (not detectable)

ตาราง 10 (ต่อ)

ข) ความหนาแน่นของดิน (g/cm^3)

สมบัติดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ความหนาแน่นรวม	นาข้าว	1.30 – 1.72	1.51 ± 0.10	1.51
	อ้อย	1.39 – 1.64	1.52 ± 0.08	1.51
	มันสำปะหลัง	1.33 – 1.61	1.47 ± 0.08	1.47
	ยางพารา	1.41 – 1.58	1.48 ± 0.05	1.49
	ยูคาลิปตัส	1.26 – 1.68	1.49 ± 0.15	1.56
	เกษตรกรรมอื่นๆ	1.40 – 1.73	1.51 ± 0.12	1.45
	ป่าไม้	1.25 – 1.59	1.41 ± 0.14	1.32
	ที่ลุ่ม	1.19 – 1.70	1.39 ± 0.17	1.35
	ที่รกร้าง	1.21 – 1.79	1.55 ± 0.15	1.54
ความหนาแน่นอนุภาค	นาข้าว	2.28 – 3.87	2.52 ± 0.25	2.48
	อ้อย	2.26 – 2.67	2.49 ± 0.11	2.50
	มันสำปะหลัง	2.25 – 2.64	2.51 ± 0.12	2.50
	ยางพารา	2.41 – 2.65	2.52 ± 0.08	2.54
	ยูคาลิปตัส	2.35 – 2.52	2.44 ± 0.07	2.43
	เกษตรกรรมอื่นๆ	2.46 – 2.67	2.59 ± 0.07	2.60
	ป่าไม้	2.32 – 2.61	2.41 ± 0.11	2.34
	ที่ลุ่ม	1.96 – 4.96	2.74 ± 1.03	2.39
	ที่รกร้าง	2.33 – 4.59	2.78 ± 0.70	2.50

ค) ความพรุน (%)

สมบัติดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ความพรุน	นาข้าว	31.2 – 62.2	39.5 ± 5.77	38.8
	อ้อย	33.4 – 45.3	38.7 ± 4.09	38.5
	มันสำปะหลัง	34.3 – 46.1	41.3 ± 4.36	42.0
	ยางพารา	37.9 – 44.8	41.3 ± 2.39	40.5
	ยูคาลิปตัส	28.4 – 47.1	38.6 ± 6.66	37.9
	เกษตรกรรมอื่นๆ	32.1 – 46.2	41.2 ± 5.19	43.4
	ป่าไม้	33.5 – 49.1	41.6 ± 5.21	43.2
	ที่ลุ่ม	28.0 – 76.0	42.9 ± 16.5	37.6
	ที่รกร้าง	27.6 – 63.4	42.3 ± 9.91	41.5

ตาราง 10 (ต่อ)

ง) ความเป็นกรด-ด่าง

สมบัติดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ความเป็นกรด-ด่าง	นาข้าว	4.04 – 7.89	5.35 ± 0.69	5.31
	อ้อย	4.52 – 7.53	5.79 ± 0.99	5.51
	มันสำปะหลัง	4.66 – 7.99	5.52 ± 1.10	5.03
	ยางพารา	4.45 – 5.68	5.18 ± 0.38	5.23
	ยูคาลิปตัส	4.03 – 5.37	4.91 ± 0.47	5.07
	เกษตรกรรมอื่นๆ	5.58 – 6.46	6.02 ± 0.70	5.13
	ป่าไม้	6.39 – 7.26	6.79 ± 0.38	5.97
	ที่ลุ่ม ที่รกร้าง	4.73 – 5.11 4.53 – 6.88	4.90 ± 0.14 5.27 ± 0.64	4.83 5.18

จ) อินทรีย์วัตถุ (%)

สมบัติดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
อินทรีย์วัตถุ	นาข้าว	0.05 – 2.72	0.76 ± 0.61	0.50
	อ้อย	0.09 – 1.40	0.75 ± 0.40	0.68
	มันสำปะหลัง	0.13 – 1.42	0.63 ± 0.38	0.47
	ยางพารา	0.03 – 0.81	0.48 ± 0.26	0.47
	ยูคาลิปตัส	0.54 – 5.23	2.25 ± 1.88	0.99
	เกษตรกรรมอื่นๆ	0.15 – 1.69	0.94 ± 0.53	0.86
	ป่าไม้	0.44 – 4.32	2.12 ± 1.52	1.72
	ที่ลุ่ม ที่รกร้าง	0.01 – 5.11 0.01 – 5.29	1.46 ± 1.80 1.32 ± 1.50	0.59 0.96

ตาราง 10 (ต่อ)

ฉ) ไนโตรเจน (mg-N/kg)

สมบัติดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน
ไนเตรท-ไนโตรเจน	นาข้าว	6.48 – 65.2	18.2 ± 11.3	15.8
	อ้อย	7.43 – 38.7	21.5 ± 11.4	19.8
	มันสำปะหลัง	5.30 – 22.2	13.1 ± 4.52	12.6
	ยางพารา	9.12 – 29.2	17.7 ± 6.00	19.5
	ยูคาลิปตัส	10.9 – 27.0	18.2 ± 6.57	17.2
	เกษตรกรรมอื่นๆ	12.5 – 30.5	22.2 ± 6.74	21.5
	ป่าไม้	7.16 – 36.0	20.1 ± 9.90	18.4
	ที่ลุ่ม	11.0 – 38.6	21.8 ± 10.1	19.7
	ที่รกร้าง	4.44 – 44.8	15.9 ± 12.7	12.2
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	นาข้าว	33.1 – 62.4	51.3 ± 7.57	53.2
	อ้อย	32.1 – 55.4	45.7 ± 8.09	48.2
	มันสำปะหลัง	38.6 – 59.2	51.0 ± 6.95	50.8
	ยางพารา	39.1 – 67.4	56.8 ± 8.20	57.4
	ยูคาลิปตัส	33.0 – 63.1	51.5 ± 10.1	54.4
	เกษตรกรรมอื่นๆ	51.5 – 64.3	56.4 ± 4.55	55.8
	ป่าไม้	45.6 – 67.6	54.0 ± 7.28	52.3
	ที่ลุ่ม	50.1 – 56.7	52.2 ± 2.20	51.8
	ที่รกร้าง	33.8 – 63.8	52.2 ± 7.76	52.7
ไนโตรเจนรวม	นาข้าว	455 – 5,380	1,265 ± 1,024	875
	อ้อย	484 – 1,652	910 ± 432	648
	มันสำปะหลัง	485 – 1,832	955 ± 464	867
	ยางพารา	383 – 1,513	737 ± 319	639
	ยูคาลิปตัส	531 – 2,424	1,244 ± 751	886
	เกษตรกรรมอื่นๆ	411 – 1,489	899 ± 347	825
	ป่าไม้	771 – 2,485	1,590 ± 742	1,364
	ที่ลุ่ม	291 – 2,192	1,441 ± 653	1,670
	ที่รกร้าง	731 – 3,090	1,518 ± 799	1,129

ตาราง 10 (ต่อ)

ช) ฟอสฟอรัส (mg-P/kg)

สมบัติดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ค่าต่ำสุด - สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	มาตรฐาน
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	นาข้าว	<0.12 - 7.00	1.99 ± 1.64	2.05
	อ้อย	<0.12 - 23.6	6.48 ± 6.73	3.81
	มันสำปะหลัง	0.31 - 9.82	5.14 ± 2.87	6.17
	ยางพารา	<0.12 - 45.5	10.2 ± 12.9	5.66
	ยูคาลิปตัส	1.91 - 9.38	4.17 ± 2.70	3.06
	เกษตรกรรมอื่นๆ	5.74 - 30.2	19.2 ± 8.39	21.2
	ป่าไม้	<0.12 - 8.12	2.97 ± 3.36	0.63
	ที่ลุ่ม	<0.12 - 2.35	0.64 ± 0.80	0.26
	ที่รกร้าง	0.13 - 18.7	2.79 ± 4.88	1.05
ฟอสฟอรัสอินทรีย์	นาข้าว	44.0 - 945	210 ± 181	156
	อ้อย	45.3 - 762	239 ± 208	176
	มันสำปะหลัง	43.9 - 352	229 ± 115	257
	ยางพารา	25.5 - 663	218 ± 184	127
	ยูคาลิปตัส	101 - 1,197	433 ± 423	164
	เกษตรกรรมอื่นๆ	259 - 2,058	835 ± 593	686
	ป่าไม้	101 - 435	290 ± 111	329
	ที่ลุ่ม	55.8 - 644	255 ± 197	188
	ที่รกร้าง	40.9 - 733	244 ± 192	173

4.1.2 ลักษณะและสมบัติดินตามประเภทธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากตาราง 9 และ 10 สรุปสมบัติของดินตามลักษณะทางธรณีสัณฐานและตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ

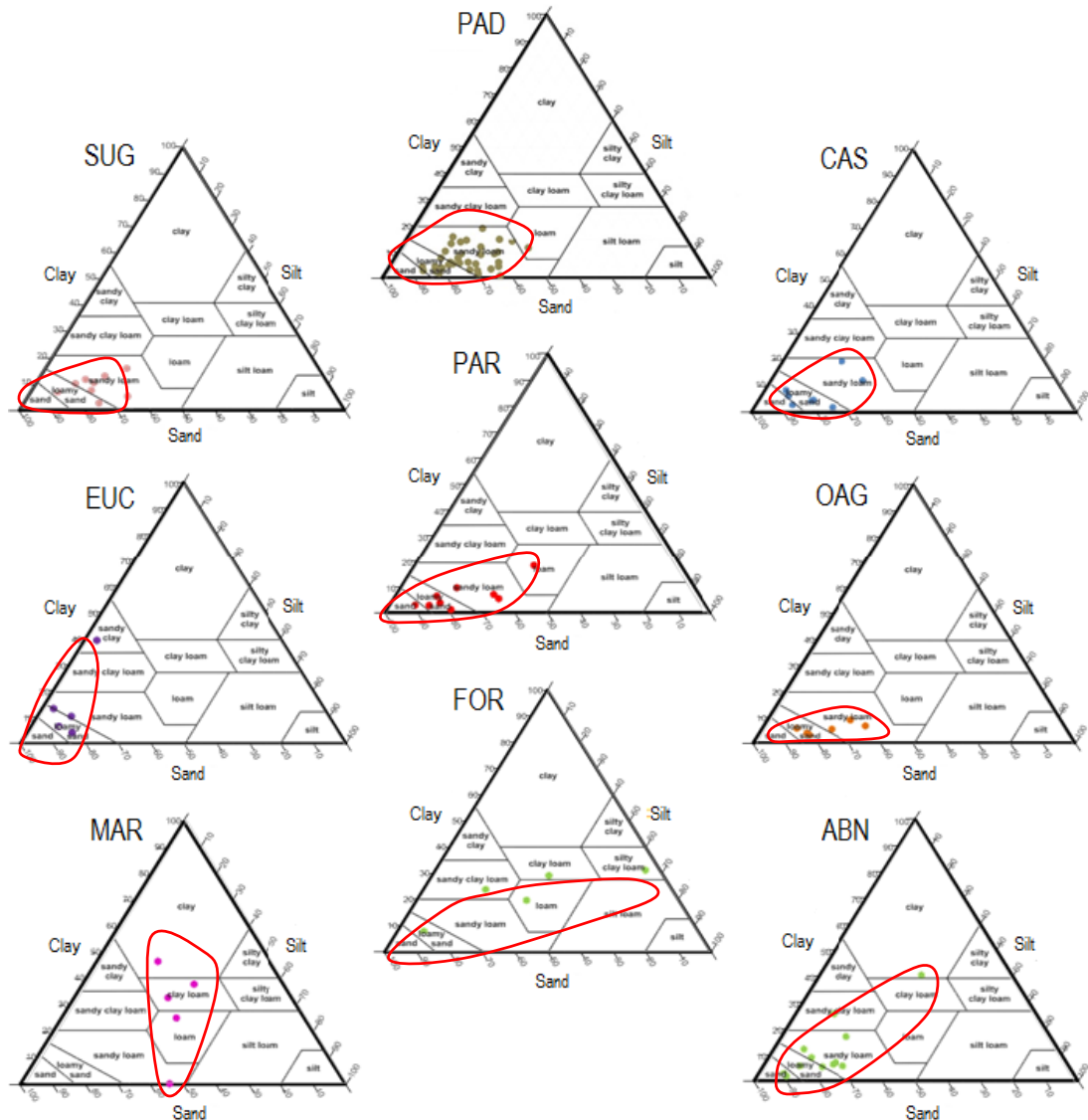
4.1.2.1 ขนาดอนุภาคดิน

เมื่อวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินตามประเภทธรณีสัณฐาน (ตาราง 9 ก) พบว่า ขนาดอนุภาคดินทรายมีปริมาณมากที่สุดในพื้นที่เหลือค้ำจองจากการกัดกร่อน ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) เท่ากับร้อยละ 79.0 ± 8.7 (80.9) และต่ำสุดในพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน 46.1 ± 22.0 (51.8) ขนาดอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียว มีปริมาณสูงสุดในพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) เท่ากับร้อยละ 33.7 ± 14.7 (29.4) และ 20.2 ± 9.9 (21.8) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาตามประเภทของเนื้อดินตามประเภทของการใช้ประโยชน์ (ตาราง 10 ก) ขนาดอนุภาคทรายมีปริมาณสูงสุดในพื้นที่ปลูกยูคาลิปตัส ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) ร้อยละ 77.2 ± 10.3 (82.0) พื้นที่อื่นๆที่เหลือมีปริมาณขนาดอนุภาคทรายใกล้เคียงกัน ยกเว้นพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่ลุ่มมีปริมาณขนาดอนุภาคทรายต่ำสุด คือ ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) เท่ากับร้อยละ 45.4 ± 26.0 (46.7) และ 46.4 ± 18.7 (38.9) ตามลำดับ ในทางตรงข้ามพื้นที่ป่าไม้และที่ลุ่มมีปริมาณขนาดอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียวสูงสุด ในพื้นที่ป่าไม้ มีค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) เท่ากับร้อยละ 32.2 ± 18.9 (33.6) และ 22.37 ± 8.28 (23.84) และในพื้นที่ลุ่ม ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละ 29.5 ± 10.7 (31.6) และ 24.2 ± 17.45 (28.97) ตามลำดับ นอกจากนี้ ขนาดอนุภาคทรายแป้งต่ำสุด ในพื้นที่ปลูกยูคาลิปตัส มีค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) เท่ากับร้อยละ 8.2 ± 3.9 (8.7) และในพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีสัดส่วนของอนุภาคดินเหนียวต่ำสุด ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) เท่ากับ 5.4 ± 1.9 (5.4) เนื่องจากอนุภาคทรายมีขนาดใหญ่ และมีโครงสร้างที่ไม่ยึดติดกัน ทำให้มีการพัดพาได้ง่ายสามารถไหลไปพร้อมกระแสน้ำหรือน้ำใต้ดิน ดังนั้น ในพื้นที่ที่มีความสูงชัน เช่น บริเวณที่ลาดชันเชิงซ้อน (พื้นที่ป่าไม้) จะพบขนาดอนุภาคทรายได้น้อยกว่าอนุภาคดินเหนียวและทรายแป้ง เนื่องจากถูกพัดไปในพื้นที่ต่ำกว่านั่นเอง

รูป 22 แสดงสัดส่วนอนุภาคดินตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่มีดินที่จัดอยู่ในประเภทดินร่วนปนทราย (sandy loam) และ ดินทรายปนร่วน (loamy sand) ส่วนในพื้นที่ป่าไม้ ที่ลุ่มน้ำขัง และที่รกร้าง พบว่ามีชนิดดินประเภทอื่นด้วย โดยมี

สัดส่วนของดินเหนียวและดินทรายแบ่งมากกว่าที่พบในพื้นที่เกษตรกรรม ชนิดดินที่พบ ได้แก่ ดินร่วนปนเหนียว (clay loam), ดินร่วน (loam), ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam)

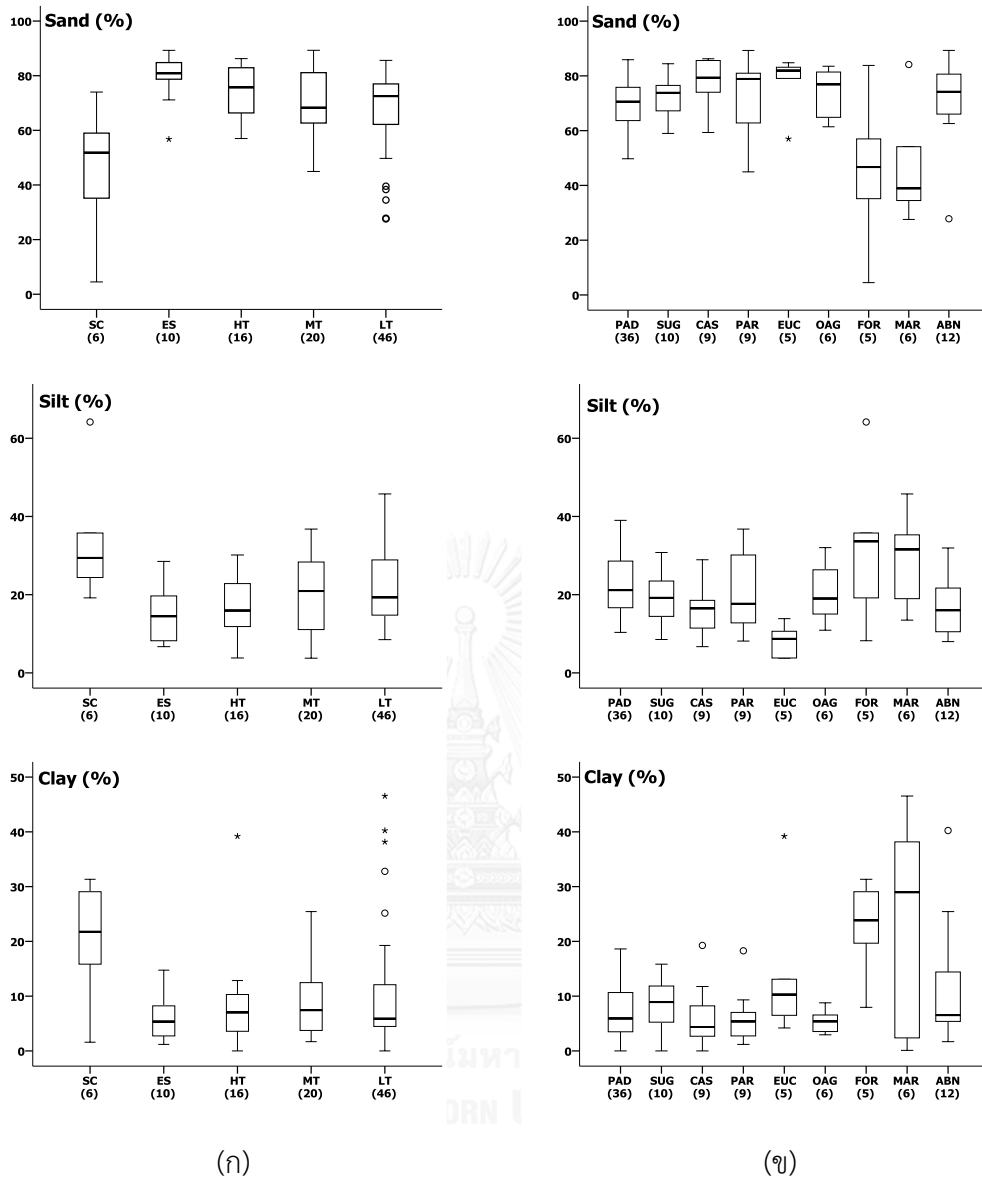


รูป 22 โดอะแกรมการกระจายโครงสร้างดินตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของปริมาณขนาดอนุภาคดินตามลักษณะธรณีสัณฐาน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้แผนภูมิกล่อง (Box Plot) ดังรูป 23 พบว่า หลายพื้นที่ที่มีความแปรปรวนของข้อมูลสูง ทั้งในขนาดอนุภาคดินทราย ดินทรายแป้ง และดินเหนียว เช่น อนุภาคทรายในพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน และพื้นที่ป่าไม้ อนุภาคดินเหนียวในที่ลุ่ม และลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ

จากการทำแผนที่แสดงลักษณะการกระจายของขนาดอนุภาคดินในกลุ่มน้ำห้วยหลวง (รูป 24, 26, และ 26) ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เทคนิค Ordinary kriging พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคดินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ตามสัดส่วนของชนิดดิน ในบริเวณตอนกลางของกลุ่มน้ำมีขนาดอนุภาคทรายและดินเหนียวต่ำ แต่มีอนุภาคทรายแป้งสูงกว่าบริเวณอื่น ในขณะที่บางส่วนของพื้นที่ต้นน้ำทางทิศใต้ของกลุ่มน้ำ พบว่ามีอนุภาคทรายและดินเหนียวสูง แต่อนุภาคทรายแป้งต่ำ

เมื่อพิจารณาสัดส่วนชนิดดินตลอดทั้งกลุ่มน้ำ พบว่าส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ซึ่งเป็นดินที่เหมาะสมปานกลางสำหรับข้าวและมีข้อจำกัด กล่าวคือ เนื้อดินที่ค่อนข้างเป็นทรายจะเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ เนื่องจากมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อย ดินมักจะขาดความชื้นได้ง่ายโดยเฉพาะในระยะที่ฝนทิ้งช่วง รวมทั้งดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ การปรับปรุงดินทำได้โดยการเพิ่มปริมาณวัตถุให้แกดินอย่างสม่ำเสมอ โดยเน้นที่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยชีวภาพควบคู่ไปกับปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนที่เหมาะสม รวมทั้งจัดหาแหล่งน้ำสำรองไว้ใช้ในช่วงฤดูเพาะปลูก

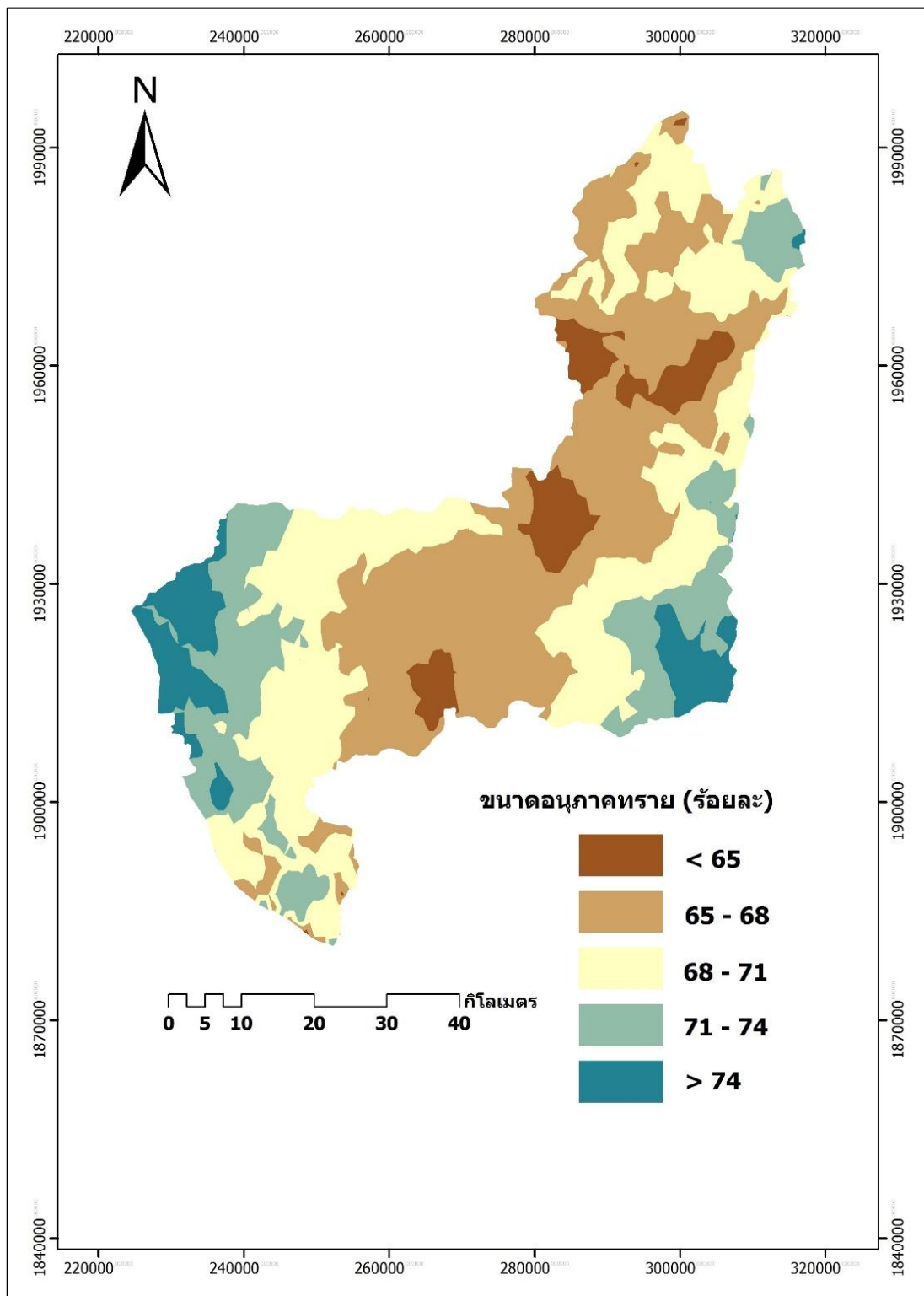


รูป 23 แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานและช่วงความเข้มข้นของอนุภาคขนาดดิน

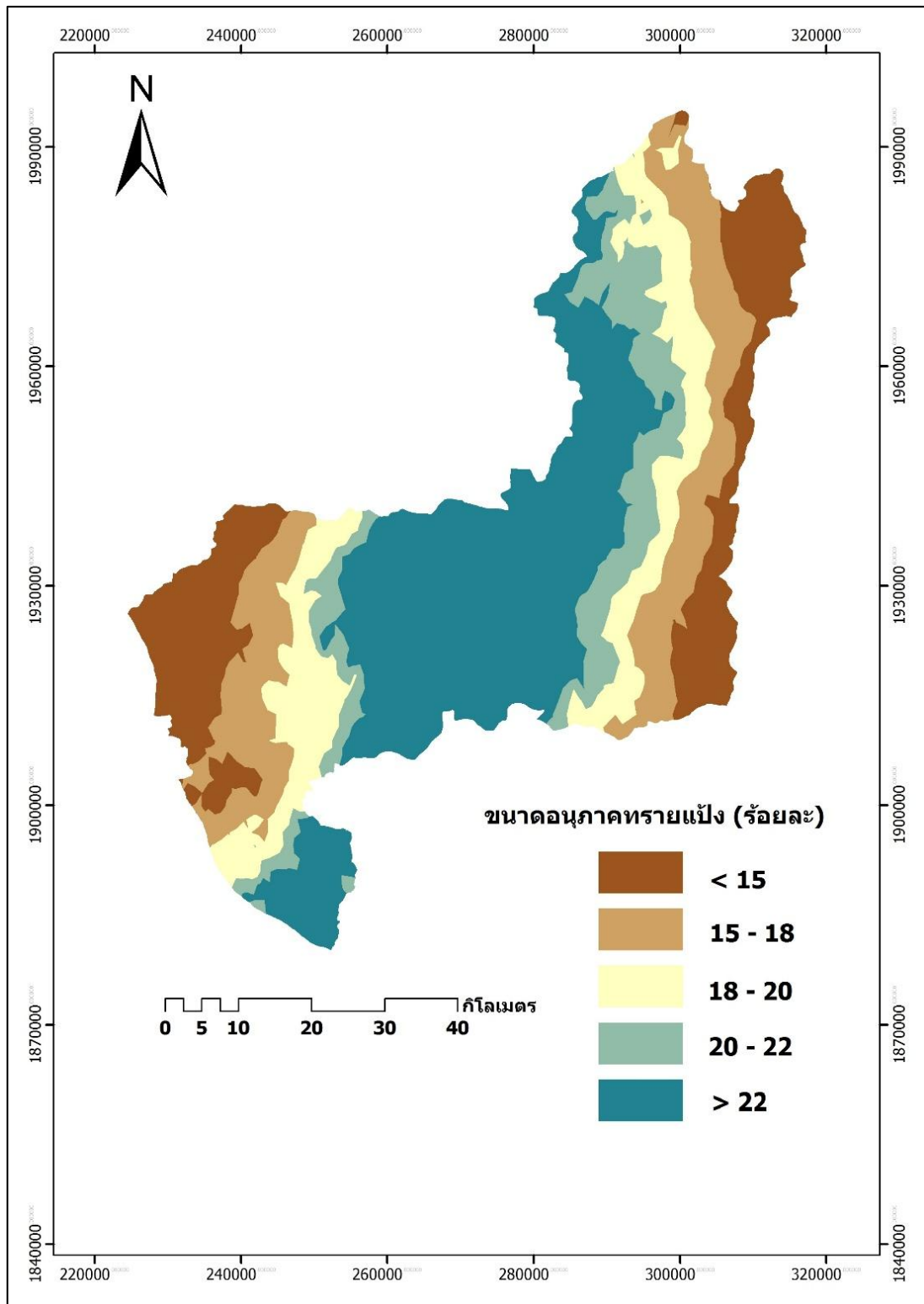
กราฟในแนว (ก) เปรียบเทียบตามลักษณะธรณีสัณฐาน 5 ประเภท ได้แก่ SC = ที่ลาดชันเชิงซ้อน, ES = พื้นที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน, HT = ลานตะพักลำน้ำระดับสูง, MT = ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง, LT = ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ

กราฟในแนว (ข) เปรียบเทียบตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน 9 ประเภท ได้แก่ PAD = นาข้าว, SUG = อ้อย, CAS = มันสำปะหลัง, PAR = ยางพารา, EUC = ยูคาลิปตัส, OAG = เกษตรกรรมอื่นๆ, FOR = ป่าไม้, MAR = ที่ลุ่ม, ABN = ที่รกร้าง

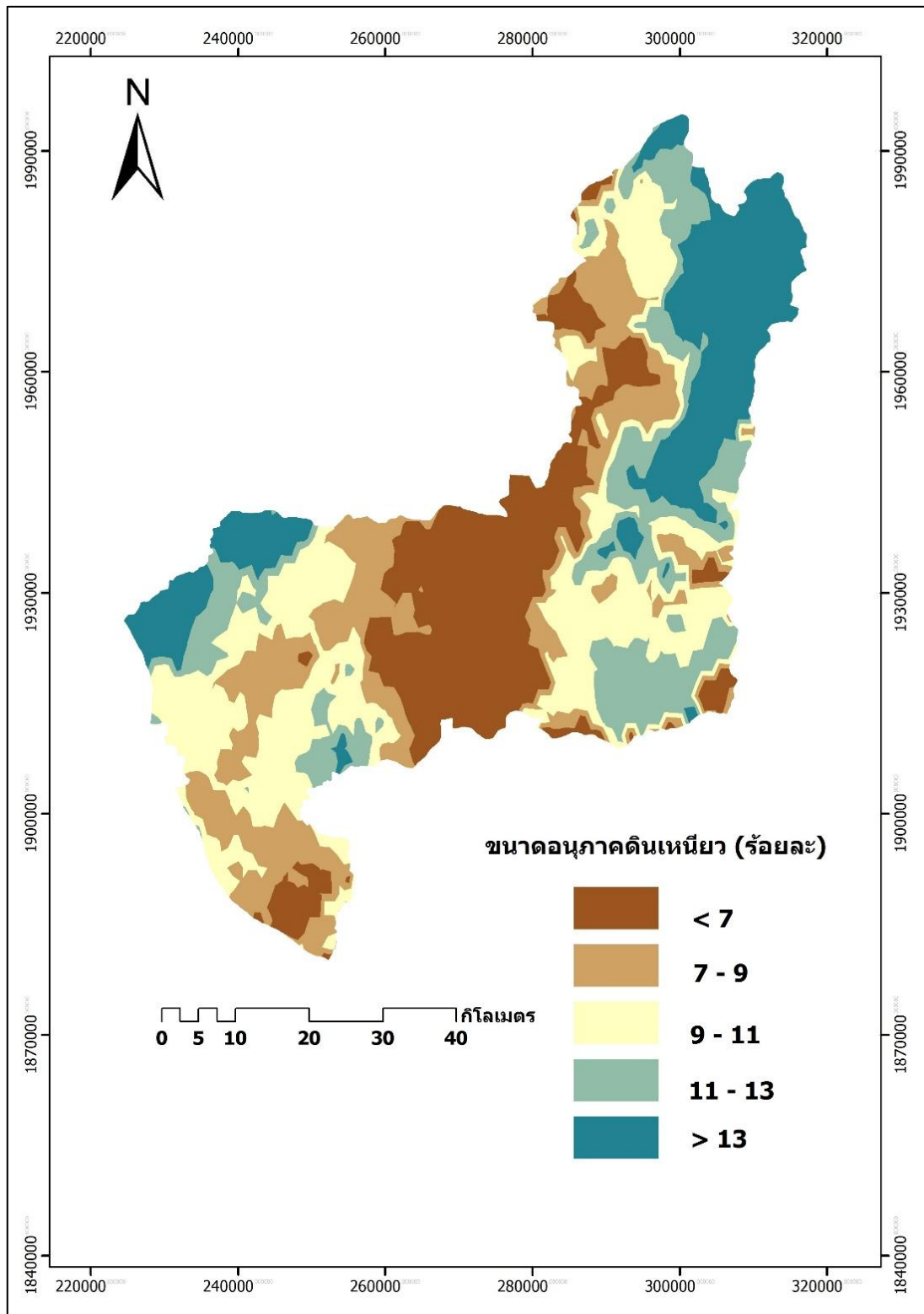
[เส้นกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน, เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ 25, เส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ 75, เครื่องหมายวงกลม (○) แสดงข้อมูลที่มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 3 เท่าของความกว้างของกล่อง, เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 3 เท่าของความกว้างของกล่อง]



รูป 24 แผนที่แสดงลักษณะการกระจายของอนภาคทรายในกลุ่มน้ำห้วยหลวง



รูป 25 แผนที่แสดงลักษณะการกระจายของอนุภาคทรายแป้งในกลุ่มน้ำห้วยหลวง



รูป 26 แผนที่แสดงลักษณะการกระจายของอนุภาคดินเหนียวในกลุ่มน้ำห้วยหลวง

4.1.2.2 ความหนาแน่นและความพรุน

ความหนาแน่นและความพรุนในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาตามประเภทธรณีสัณฐาน พบว่าความหนาแน่นรวมมีค่ามากที่สุดในพื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง ต่ำสุดในพื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) เท่ากับ 1.54 ± 0.12 (1.52) และ 1.42 ± 0.08 (1.42) g/cm^3 ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นของอนุภาคมีค่ามากที่สุดในพื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ และต่ำสุดในพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) เท่ากับ 2.61 ± 0.54 (2.49) และ 2.44 ± 0.13 (2.36) g/cm^3 ตามลำดับ สำหรับความพรุน พบว่า มีค่าสูงสุดในพื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน และต่ำสุดในพื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) เท่ากับ 43.9 ± 2.82 (44.1) และ 38.4 ± 7.64 (37.5) g/cm^3 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นของอนุภาค และความพรุนของดินตามประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกันในทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ความหนาแน่นรวมต่ำสุด พบในพื้นที่ป่าไม้ มีค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) เท่ากับ 1.41 ± 0.14 (1.32) g/cm^3 สูงสุดในพื้นที่รกร้าง 1.55 ± 0.15 (1.54) g/cm^3 ผลการศึกษาสอดคล้องกับ (Tan, 2005) ที่กล่าวว่า ค่าความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่เกษตรกรรม มักจะมีความหนาแน่นต่ำ คือ อยู่ระหว่าง $1.0 - 1.5 \text{ g/cm}^3$ ความหนาแน่นของอนุภาคสูงสุด พบในพื้นที่รกร้างและพื้นที่ลุ่ม ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มัธยฐาน) 2.78 ± 0.70 (2.50) และ 2.74 ± 1.03 (2.39) g/cm^3 ตามลำดับ พื้นที่อื่นๆ ที่เหลือมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างใกล้เคียงกัน ความพรุนสูงสุดในพื้นที่ลุ่มและต่ำสุดในพื้นที่ยูคาลิปตัส ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) ร้อยละ 42.9 ± 16.5 (37.6) และ 38.6 ± 6.67 (37.9) ตามลำดับ

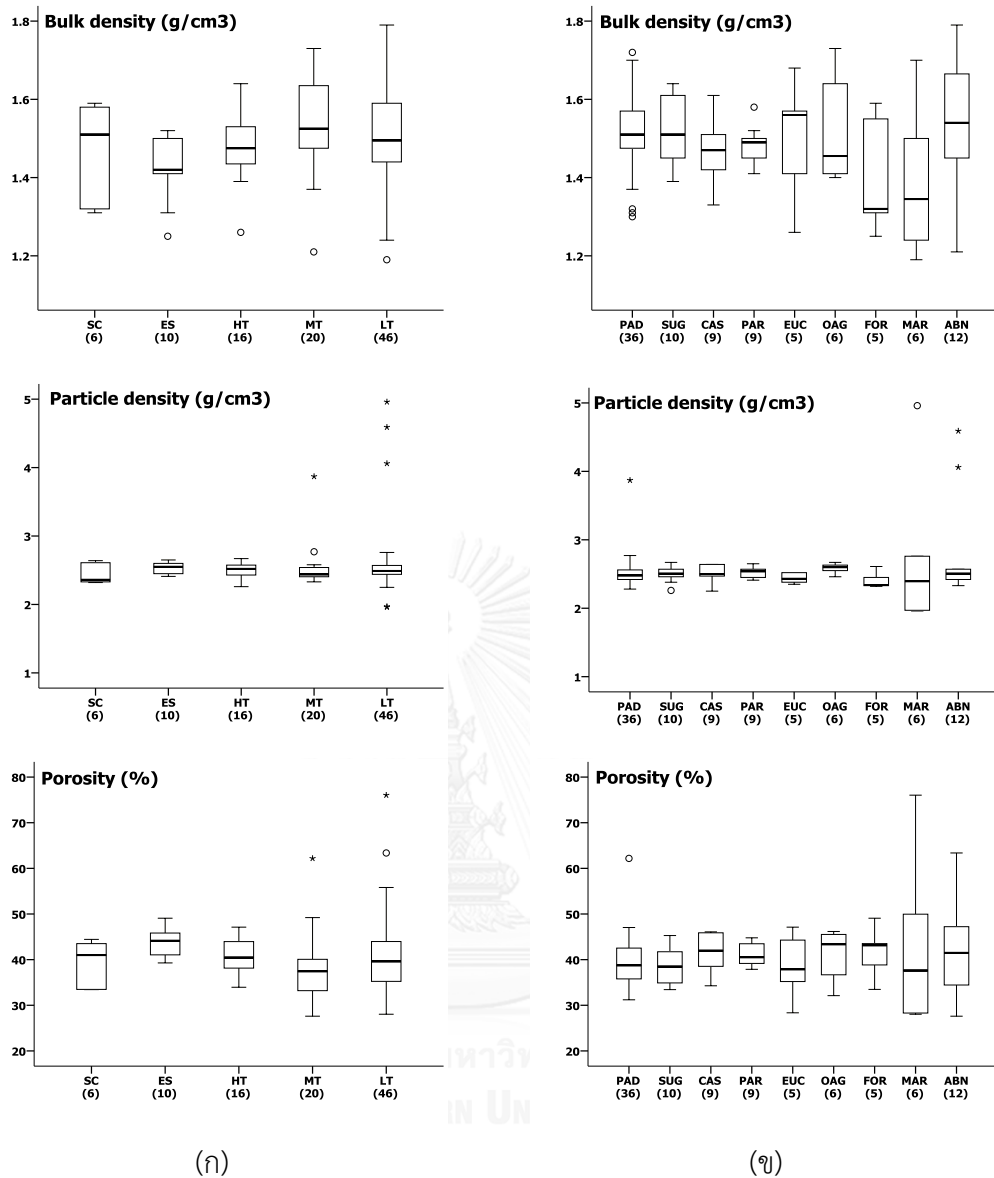
จากแผนภูมิกล่อง รูป 27 (ก) ความหนาแน่นรวมและความพรุนมีแปรปรวนของข้อมูลในทุกๆ ลักษณะธรณีสัณฐาน ส่วนความหนาแน่นของอนุภาค มีค่าความแปรปรวนของข้อมูลต่ำ ยกเว้นพื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง และลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ ที่พบว่ามีค่าข้อมูลต่ำและสูงมากผิดปกติ รูป 26 (ข) แสดงแผนภูมิกล่องตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า สวนยางพารามีค่าการกระจายข้อมูลของความหนาแน่นรวมน้อยที่สุด ส่วนค่าความหนาแน่นของอนุภาค มีการกระจายของข้อมูลมีค่าน้อยในเกือบทุกประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ยกเว้น พื้นที่ลุ่ม และพื้นที่รกร้างที่มีการกระจายข้อมูลสูงมีค่าข้อมูลสูงมากผิดปกติ ส่วนค่าความพรุนของดินเช่นกัน พบว่าพื้นที่ลุ่มและพื้นที่รกร้างมีค่าการกระจายของข้อมูลมากที่สุด

จากแผนที่แสดงการกระจายตัวของความหนาแน่นรวม (รูป 28) ส่วนใหญ่มีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่พื้นที่บริเวณทิศใต้ของลุ่มน้ำ บริเวณท้ายเขื่อนห้วยหลวงแสดงค่าความหนาแน่นรวม

ต่ำที่สุด ค่าสูงสุดพบในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ลุ่มน้ำ สำหรับค่าความหนาแน่นของอนุภาค (รูป 29) พบว่ามีค่าสูงสุดอยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ลุ่มน้ำ ค่าความพรุน (รูป 30) ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 38 – 42 แต่บริเวณทิศตะวันออกของพื้นที่ลุ่มน้ำพบว่ามีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น

โดยสรุป ค่าความหนาแน่นและความพรุนของดินในลุ่มน้ำห้วยหลวง มีค่าที่เหมาะสมสำหรับดินที่ทำเกษตรกรรม คือ ความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง $1.0 - 1.5 \text{ g/cm}^3$ (Tan, 2005) และเป็นดินที่มีเนื้อหยาบที่มีความพรุนประมาณร้อยละ 30 – 50 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยความหนาแน่นและความพรุนมีสัมพันธ์ต่อกัน หากความหนาแน่นมีมาก ความพรุนในดินจะลดลง การทำเกษตรกรรมจะทำได้ไม่ดี เนื่องจากสัดส่วนน้ำและอากาศในดินจะลดลง ส่งผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารลดลงไปด้วย ดังนั้น การพรุนดินในปริมาณที่เหมาะสมหรือการเพิ่มสัดส่วนในดิน เช่น ใส้เดือน จะช่วยทำให้ความหนาแน่นและความพรุนเพิ่มขึ้น แต่หากความพรุนของดินมีมากเกินไป อาจทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน ทำให้ดินสูญเสียธาตุอาหารได้ (ภัทรา ประเสริฐสมบัติ และคณะ, 2554)



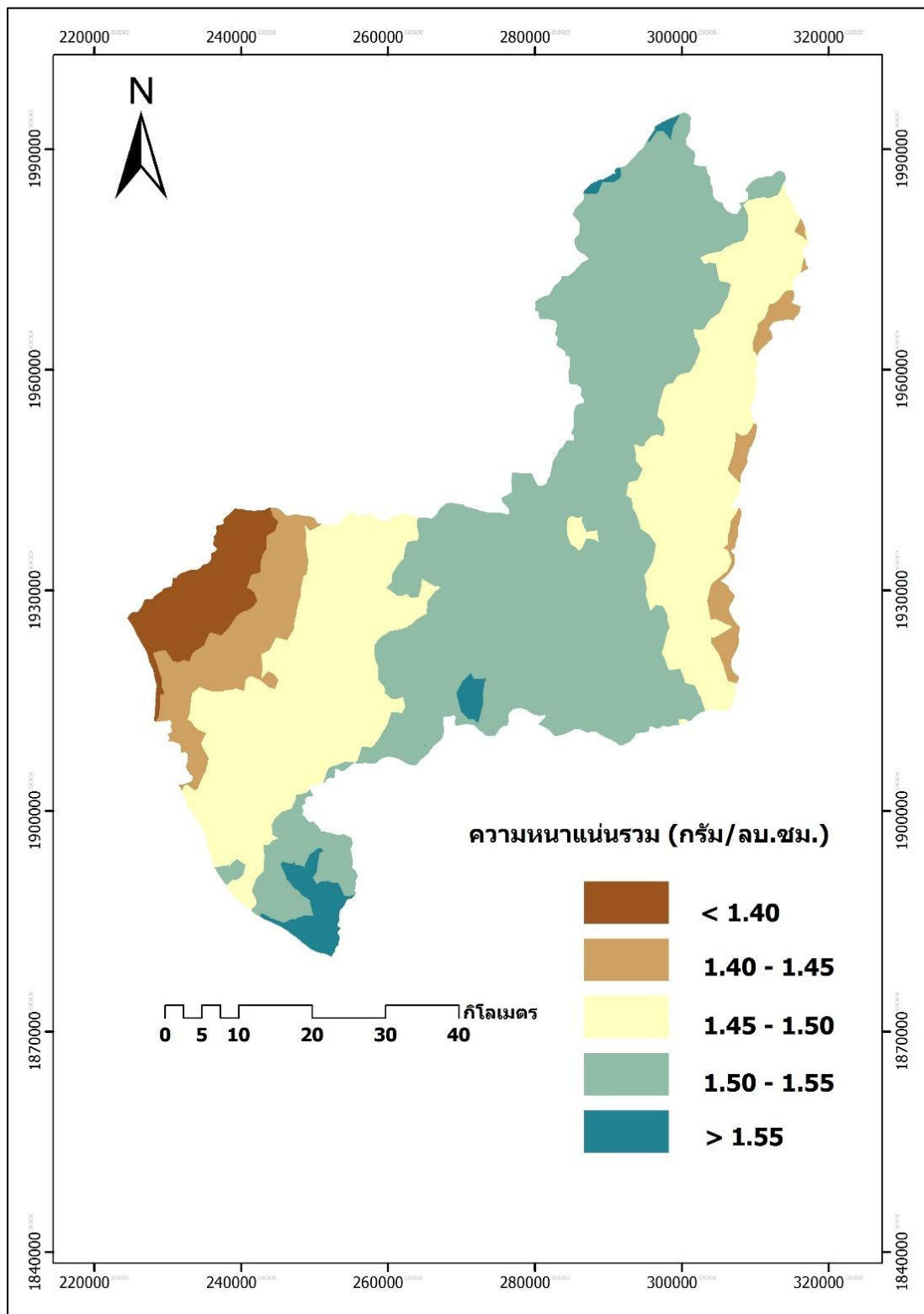


รูป 27 แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานและช่วงความเข้มข้นของความหนาแน่น และความพรุน (porosity)

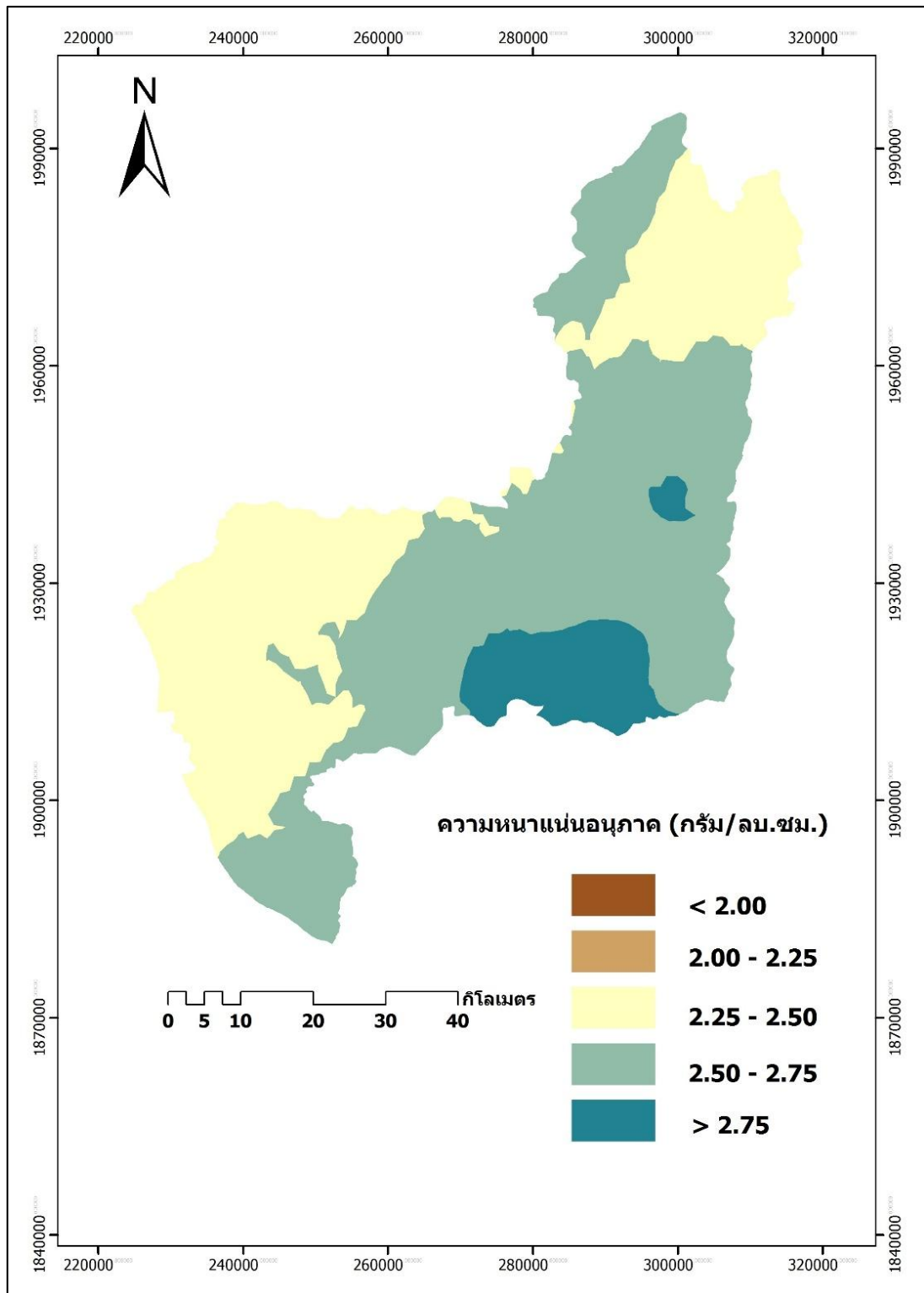
กราฟในแนว (ก) เปรียบเทียบตามลักษณะธรณีสัณฐาน 5 ประเภท ได้แก่ SC = ที่ลาดชันเชิงซ้อน, ES = พื้นที่เหล็ค่างจากการกัดกร่อน, HT = ลานตะพักลำนํ้าระดับสูง, MT = ลานตะพักลำนํ้าระดับกลาง, LT = ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ

กราฟในแนว (ข) เปรียบเทียบตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน 9 ประเภท ได้แก่ PAD = นาข้าว, SUG = อ้อย, CAS = มันสำปะหลัง, PAR = ยางพารา, EUC = ยูคาลิปตัส, OAG = เกษตรกรรมอื่นๆ, FOR = ป่าไม้, MAR = ที่ลุ่ม, ABN = ที่รกร้าง

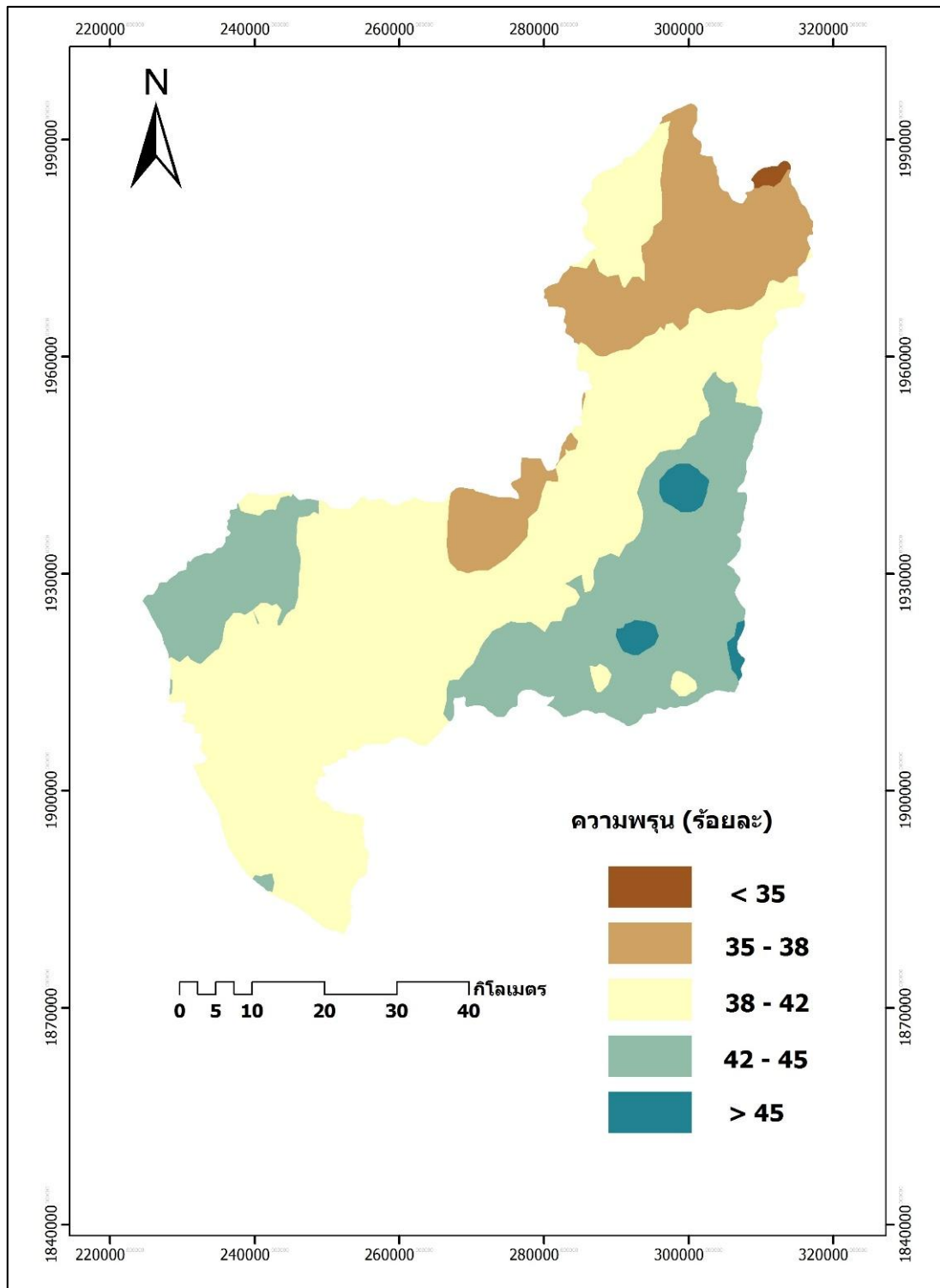
[เส้นกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน, เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25, เส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75, เครื่องหมายวงกลมเปิด (○) แสดงข้อมูลที่มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 3 เท่าของความกว้างของกล่อง, เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 3 เท่าของความกว้างของกล่อง]



รูป 28 แผนที่แสดงลักษณะการกระจายความหนาแน่นรวมในกลุ่มน้ำห้วยหลวง



รูป 29 แผนที่แสดงการกระจายความหนาแน่นของอนุภาคในลุ่มน้ำห้วยหลวง



รูป 30 แผนที่แสดงลักษณะการกระจายความพรุนในกลุ่มน้ำห้วยหลวง

4.1.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในกลุ่มน้ำห้วยหลวงตามลักษณะธรณีสัณฐาน พบว่าส่วนใหญ่ดินมีลักษณะเป็นกรด โดยพื้นที่ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด คือ ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 5.32 ± 0.74 (5.08) และพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด มีค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 6.51 ± 0.78 (6.72)

ค่าความเป็นกรดต่างของดินตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าพื้นที่ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุด คือ พื้นที่ลุ่ม ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 4.90 ± 0.14 (4.83) และป่าไม้มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด มีค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 6.79 ± 0.38 (5.97) รองลงมาคือ พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ 6.02 ± 0.70 (5.13) บริเวณพื้นที่อื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน

จากการเปรียบเทียบในพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในกลุ่มน้ำห้วยหลวงมีค่าต่ำกว่า เช่น ในพื้นที่เกษตรกรรมของสเปน ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเฉลี่ย 7.88 ± 0.10 ค่าต่ำสุด-สูงสุด อยู่ที่ 7.60 - 8.08 (López-Granados et al, 2002) พื้นที่เกษตรกรรมทางตอนใต้ของเม็กซิโก ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเฉลี่ย 7.10 ± 0.02 ค่าต่ำสุด-สูงสุด อยู่ที่ 6.40 - 8.50 (Sharma et al, 2011) และพื้นที่นาข้าวทางตอนใต้ของประเทศจีน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ย 5.87 ± 1.02 ค่าต่ำสุด-สูงสุด เท่ากับ 3.52 - 8.43 (Liu et al, 2014) ทั้งนี้ เนื่องจาก ความแตกต่างกันของวัตถุดิบกำเนิดดิน สภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ รวมถึงลักษณะพืชพรรณที่ขึ้นในบริเวณนั้นๆ ส่งผลให้สมบัติในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน (นวลศรี กาญจนกุล และคณะ, 2543)

จากแผนภูมิกล่อง (รูป 31 ก) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าข้อมูลต่ำผิดปกติในพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน และพบค่าข้อมูลสูงผิดปกติในทุกๆประเภทที่เหลือ เมื่อพิจารณาตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ค่าความเป็นกรด-ด่างในพื้นที่ปลูกอ้อยและพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีความแปรปรวนสูงมากที่สุด ส่วนในพื้นที่นาข้าว มันสำปะหลัง ยางพารา และพื้นที่รกร้าง มีค่าข้อมูลสูงผิดปกติปรากฏอยู่ ส่วนพื้นที่ลุ่มมีความแปรปรวนของความเป็นกรด-ด่างน้อยที่สุด (รูป 31 ข)

ในการวิเคราะห์แผนที่การแพร่กระจายของความเป็นกรด-ด่าง พบว่า พื้นที่ทางทิศใต้ที่เป็นพื้นที่ต้นน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ บริเวณตอนกลางของกลุ่มน้ำ ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 5.0 - 5.5 เป็นบริเวณกว้าง (รูป 32)

4.1.2.4 อินทรียวัตถุ

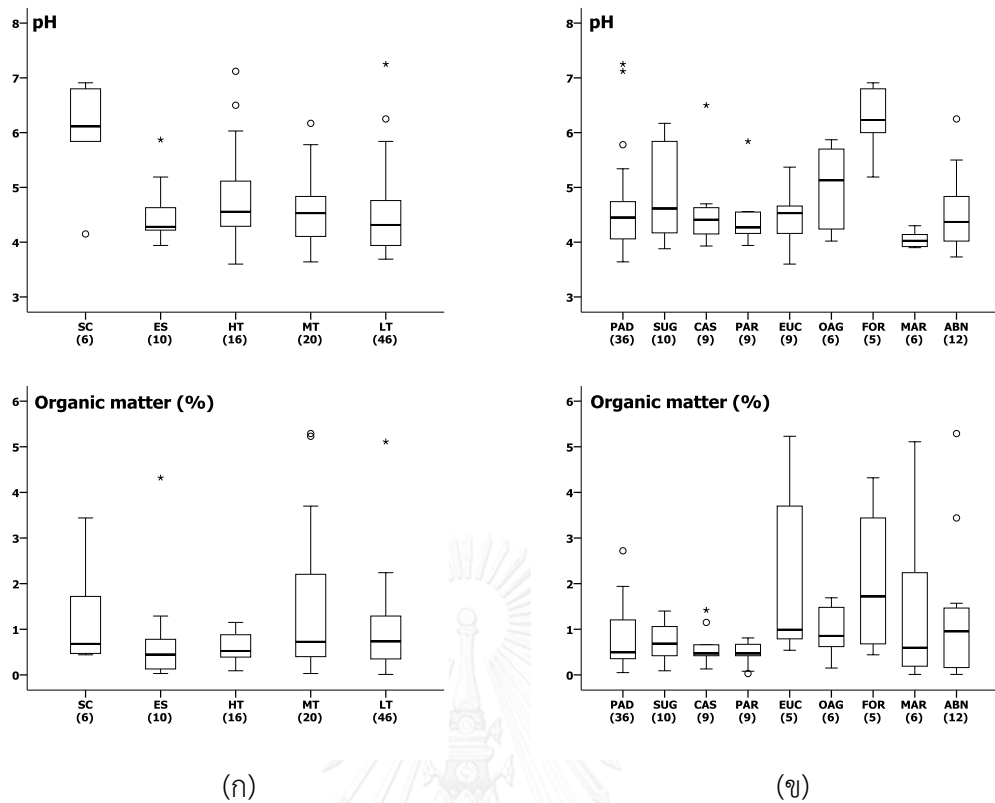
ในกลุ่มน้ำห้วยหลวง ส่วนใหญ่มีค่าอินทรียวัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำ เมื่อพิจารณาตามลักษณะธรณีสัณฐาน พบว่า ลานตะพักลำน้ำระดับกลางมีค่าอินทรียวัตถุสูงสุด ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) ร้อยละ 1.51 ± 1.62 (0.73) รองลงมาคือพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน ร้อยละ 1.24 ± 1.07 (0.68) ในขณะที่ลานตะพักลำน้ำระดับสูงมีค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) ร้อยละ 0.60 ± 0.31 (0.53)

เมื่อพิจารณาตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า พื้นที่ปลูกยูคาลิปตัสมีค่าอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) ร้อยละ 2.25 ± 1.88 (0.99) รองลงมาคือที่ป่าไม้ ร้อยละ 2.12 ± 1.52 (1.72) พื้นที่ยางพาราและมันสำปะหลังมีค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) ร้อยละ 0.48 ± 0.26 (0.47) และ 0.63 ± 0.38 (0.47) ตามลำดับ

แผนภูมิกล่องแสดงความแปรปรวนของข้อมูลอินทรีย์วัตถุในดิน โดยเมื่อพิจารณาตามประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า ค่าอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับสูงมีความแปรปรวนของข้อมูลน้อยที่สุด ส่วนพื้นที่อื่น นอกจากมีความแปรปรวนมากแล้วยังพบว่าค่าข้อมูลสูงผิดปกติอีกด้วย (รูป 31 ก) สำหรับค่าอินทรีย์วัตถุในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน พื้นที่ยูคาลิปตัส ป่าไม้ และที่ลุ่ม มีความแปรปรวนสูงมากที่สุด พบว่ามีบางประเภทที่มีค่าความแปรปรวนของข้อมูลต่ำแต่มีค่าข้อมูลสูงผิดปกติ ได้แก่ พื้นที่นาข้าว มันสำปะหลัง และพื้นที่รกร้าง (รูป 31 ข)

จากรูปที่ 33 แผนที่แสดงการแพร่กระจายของอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง เห็นได้ชัดเจนว่า พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีค่าอินทรีย์วัตถุไม่เกินร้อยละ 1.5 และบางพื้นที่มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 0.5 แต่บริเวณทางทิศเหนือของกลุ่มน้ำ มีค่าอินทรีย์วัตถุสูงกว่าบริเวณอื่น คือ ร้อยละ > 1.5

โดยสรุป ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงส่วนใหญ่มีความเป็นกรดจัด (5.1 – 5.5) มีค่าอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ (0.5-1.0) (เอิบ เขียวรีนรมณ์, 2542) โดยพบเป็นบริเวณกว้างในตอนกลางของกลุ่มน้ำ ป่าไม้ในพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนซึ่งเป็นต้นน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าพื้นที่บริเวณอื่น ในขณะที่ค่าอินทรีย์วัตถุสูงจะพบบริเวณปลายลุ่มน้ำ ลักษณะดินเช่นนี้สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพ คือ พื้นที่ส่วนใหญ่มีสัดส่วนของอนุภาคทรายมาก ซึ่งส่งผลให้คุณลักษณะของดินอุ้มน้ำได้ไม่ดี ความชื้นต่ำ ประกอบกับสภาพภูมิอากาศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำและย่อยสลายได้ง่าย

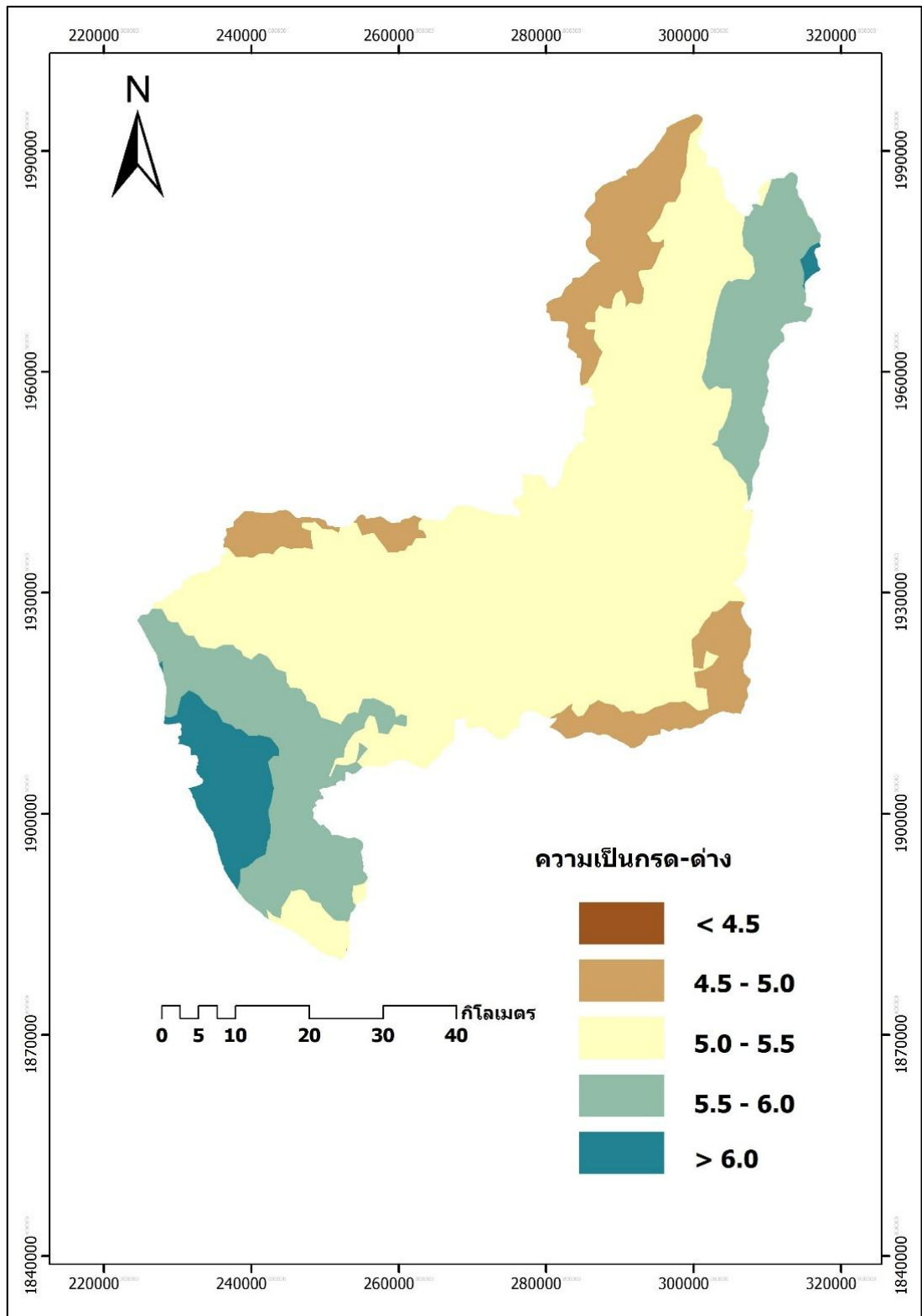


รูป 31 แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานและช่วงความเข้มข้นของความเป็นกรด-ด่าง และอินทรีย์วัตถุ

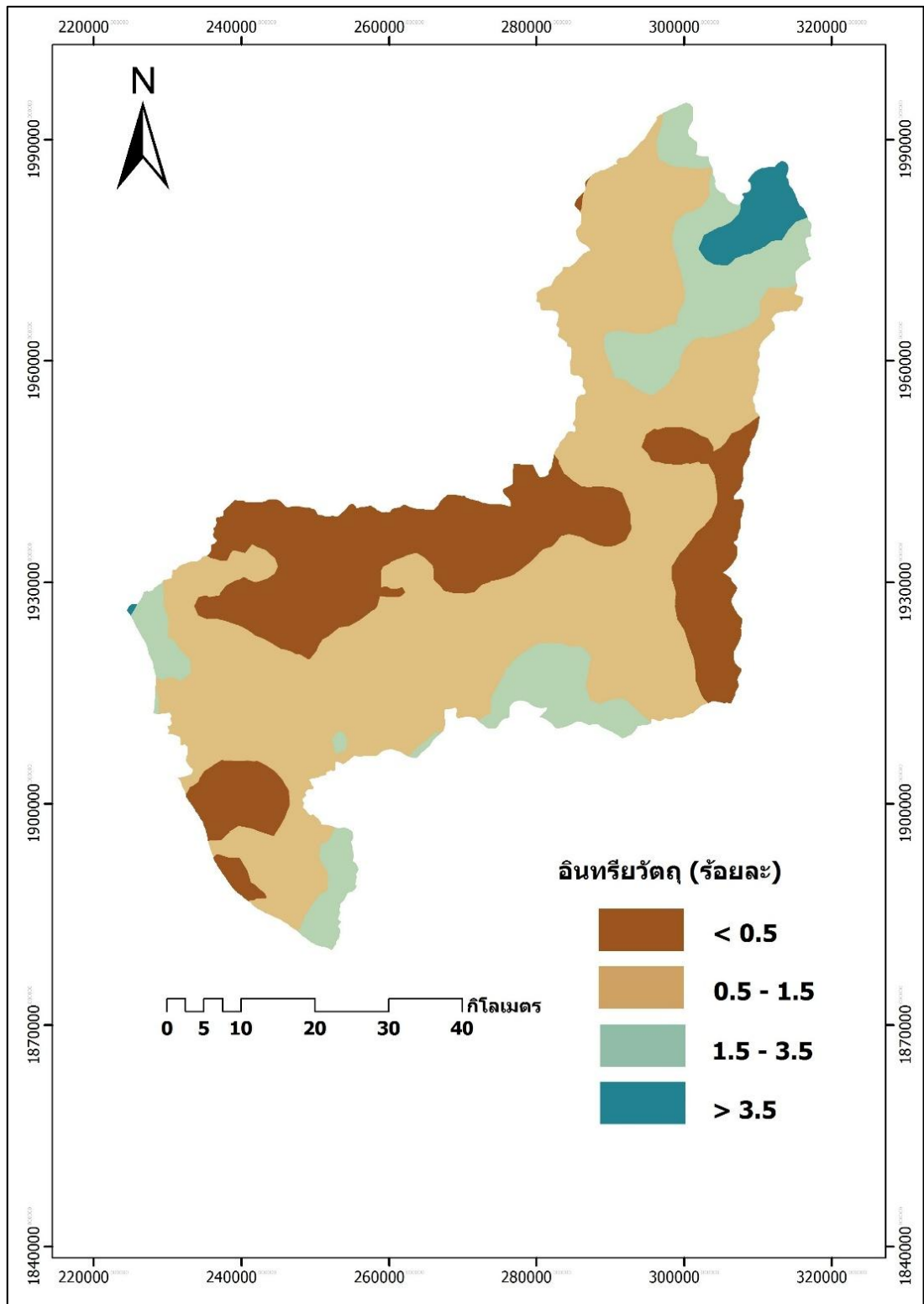
กราฟในแนว (ก) เปรียบเทียบตามลักษณะธรณีสัณฐาน 5 ประเภท ได้แก่ SC = ที่ลาดชันเชิงซ้อน, ES = พื้นที่เหลื่อมค้ำจากการกัดกร่อน, HT = ลานตะพักลำนํ้าระดับสูง, MT = ลานตะพักลำนํ้าระดับกลาง, LT = ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ

กราฟในแนว (ข) เปรียบเทียบตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน 9 ประเภท ได้แก่ PAD = นาข้าว, SUG = อ้อย, CAS = มันสำปะหลัง, PAR = ยางพารา, EUC = ยูคาลิปตัส, OAG = เกษตรกรรมอื่นๆ, FOR = ป่าไม้, MAR = ที่ลุ่ม, ABN = ที่รกร้าง

[เส้นกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน, เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25, เส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75, เครื่องหมายวงกลมเปิด (O) แสดงข้อมูลที่มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 3 เท่าของความกว้างของกล่อง, เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 3 เท่าของความกว้างของกล่อง]



รูป 32 แผนที่แสดงลักษณะการกระจายความเป็นกรด-ด่าง ในลุ่มน้ำห้วยหลวง



รูป 33 แผนที่แสดงการกระจายอินทรีย์วัตถุในลุ่มน้ำห้วยหลวง

4.1.2.5 ไนเตรท-ไนโตรเจน

การศึกษาปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนตามลักษณะธรณีสัณฐาน พบว่าพื้นที่ลาดชันเชิงชันมีค่า ไนเตรท-ไนโตรเจนสูงสุด ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 21.5 ± 11.5 (19.6) mg-N/kg และลานตะพักลำน้ำระดับต่ำมีการต่ำสุด ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 16.9 ± 10.2 (13.3) mg-N/kg เมื่อวิเคราะห์ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง พบว่า พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีปริมาณเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่ลุ่ม และอ้อย ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) คือ 22.19 ± 6.74 (21.53), 21.77 ± 10.11 และ 21.53 ± 11.44 (19.76) mg-N/kg ตามลำดับ ส่วนพื้นที่มันสำปะหลัง มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือ 13.13 ± 4.52 (12.63) mg-N/kg

เมื่อพิจารณาความแปรปรวนของไนเตรท-ไนโตรเจนตามประเภทธรณีสัณฐาน รูป 34 (ก) พบว่า มีความแปรปรวนของข้อมูลสูงในพื้นที่ลาดชันเชิงชัน และพบว่ามีค่าข้อมูลสูงผิดปกติในพื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำและพื้นที่เหลือค้างจากการกักกรอง สำหรับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน รูป 34 (ข) พื้นที่ปลูกอ้อยมีความแปรปรวนของค่าข้อมูลสูงสุด และพบค่าข้อมูลสูงผิดปกติในพื้นที่นาข้าว มันสำปะหลัง และที่รกร้าง

จากแผนที่การกระจายของไนเตรท-ไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง รูป 35 พบว่า การกระจายของไนเตรทส่วนใหญ่บริเวณพื้นที่ตอนกลางจะมีค่าไนเตรทต่ำกว่าบริเวณทางทิศใต้และทิศเหนือของกลุ่มน้ำ คือมีค่าต่ำกว่า 15 mg-N/kg บริเวณที่พบปริมาณไนเตรทมากที่สุด คือบางส่วนของตอนปลายลุ่มน้ำและพื้นที่ต้นน้ำ มีค่ามากกว่า 20 mg-N/kg

4.1.2.6 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

การศึกษาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนตามลักษณะธรณีสัณฐาน พื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับกลางมีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำสุด ในขณะที่ค่าสูงสุดพบในพื้นที่เหลือค้างจากการกักกรอง มีค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 49.8 ± 9.19 (52.3) และ 55.3 ± 5.65 (56.5) mg-N/kg ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง พบว่า พื้นที่ยางพารามีปริมาณเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ เกษตรกรรมอื่นๆ ค่าเฉลี่ย(มัธยฐาน) คือ 56.7 ± 8.20 (57.4) และ 56.3 ± 4.55 (55.7) mg-N/kg ตามลำดับ ส่วนอ้อย มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือ 45.6 ± 8.09 (48.1) mg-N/kg

ความแปรปรวนของค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนตามประเภทธรณีสัณฐาน รูป 34 (ก) พบว่าลานตะพักลำน้ำระดับกลางและต่ำมีค่าความแปรปรวนของข้อมูลสูง ในพื้นที่ลาดชันเชิงชัน และลานตะพักลำน้ำระดับสูงพบว่ามีค่าข้อมูลต่ำและสูงมากผิดปกติ ในการพิจารณาตามประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน รูป 34 (ข) พบว่า พื้นที่นาข้าวและพื้นที่ไร่อ้อยมีค่าความแปรปรวนของข้อมูล

มากที่สุด นอกจากนี้ ยังพบว่ามีความสูงและต่ำผิดปกติในพื้นที่บางพารา ยูคาลิปตัส ป่าไม้ ที่ลุ่ม และพื้นที่อื่นๆ

แผนที่การกระจายตัวของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (รูป 36) แสดงให้เห็นว่า ในพื้นที่ลุ่ม น้ำห้วยหลวง มีการกระจายตัวของแอมโมเนียที่แตกต่างกันไป โดยพบว่าส่วนใหญ่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียอยู่ที่ 50 -55 mg-N/kg บางส่วนของพื้นที่ต้นน้ำและปลายลุ่มน้ำมีความเข้มข้นต่ำกว่า 50 mg-N/kg

4.1.2.7 ไนโตรเจนรวม

ค่าไนโตรเจนรวมในลุ่มน้ำห้วยหลวงมีค่าค่อนข้างสูงมากเมื่อเทียบกับไนเตรทและแอมโมเนีย โดยเมื่อพิจารณาตามลักษณะธรณีสัณฐาน พบว่าพื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำมีค่าสูงสุดและต่ำสุดในพื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน มีค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) $1,388 \pm 972$ (1,195) และ 826 ± 574 (724) mg-N/kg ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง พบว่า พื้นที่ ป่าไม้ มีปริมาณเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่รกร้าง และที่ลุ่ม ค่าเฉลี่ย(มัธยฐาน) คือ 1590 ± 742 (1364), 1518 ± 799 (1129) และ 1441 ± 653 (1670) mg-N/kg ตามลำดับ ส่วนบางพาราและเกษตรกรรมอื่นๆ มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือ 737 ± 319 (639) และ 899 ± 347 (825) mg-N/kg ตามลำดับ

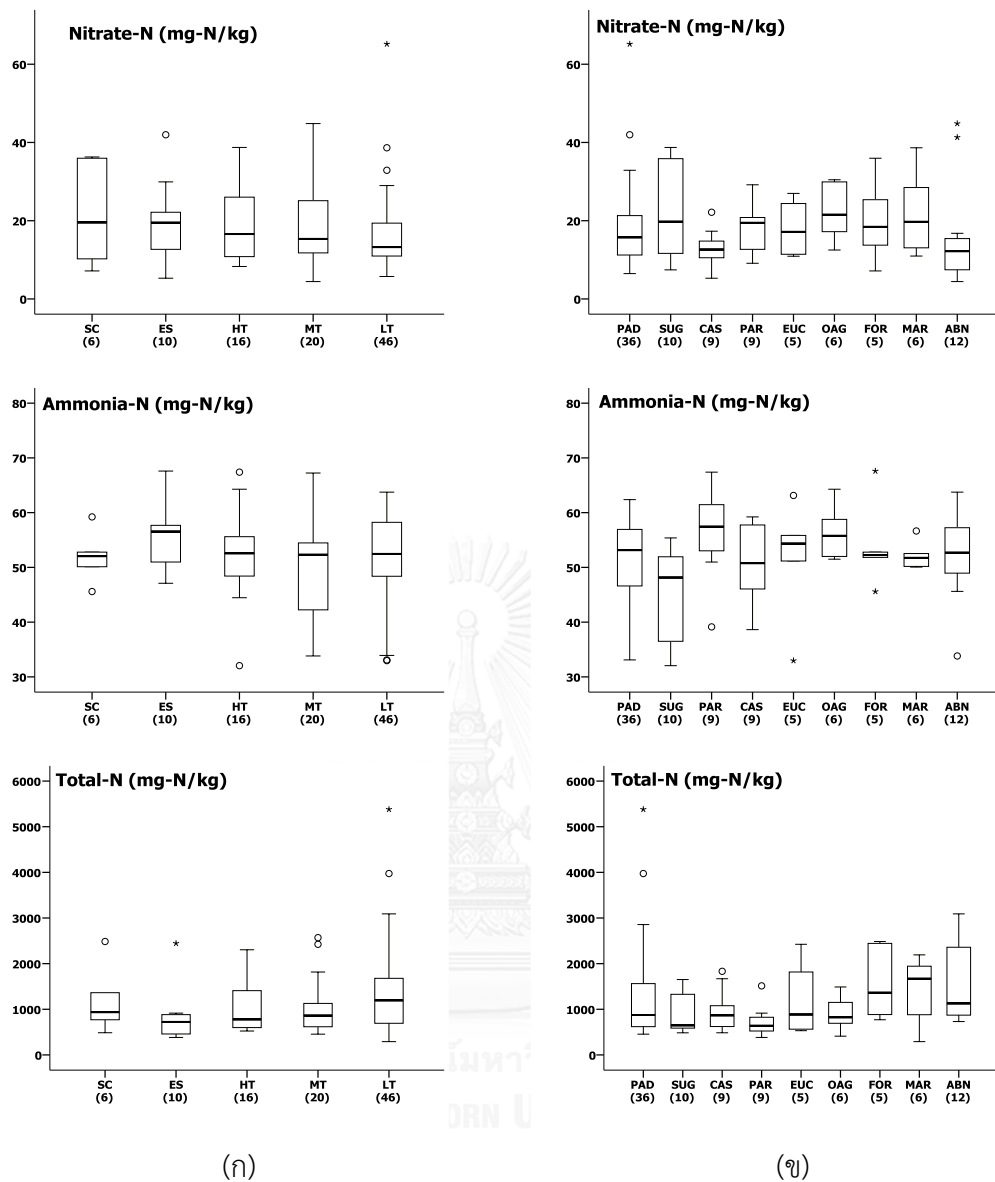
ความแปรปรวนของข้อมูลไนโตรเจนรวมตามประเภทธรณีสัณฐาน (รูป 34 ก) ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำมีความแปรปรวนของข้อมูลมากที่สุด และพบค่าข้อมูลสูงผิดปกติในทุกประเภทของธรณีสัณฐาน สำหรับความแปรปรวนของไนโตรเจนรวมตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (รูป 34 ข) พบว่า พื้นที่นาข้าวมีการกระจายของข้อมูลมากที่สุดและมีค่าข้อมูลสูงผิดปกติ ส่วนพื้นที่บางพาราและเกษตรกรรมอื่นๆ พบความแปรปรวนต่ำที่สุด

แผนที่แสดงลักษณะการกระจายตัวของไนโตรเจนรวมในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง (รูป 37) ส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำมีค่าไนโตรเจนรวมต่ำกว่า 2,000 mg-N/kg โดยบางส่วนของตอนกลางลุ่มน้ำพบว่ามีค่าไนโตรเจนรวมเข้มข้นมากที่สุด คือมากกว่า 2,000 mg-N/kg

โดยสรุป การกระจายของไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง พบว่ามีค่าแปรปรวนที่แตกต่างกันไปตามลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดิน แต่เมื่อนำข้อมูลมาแสดงเป็นแผนที่การกระจาย พบว่า ส่วนใหญ่จะมีค่าไนโตรเจนที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน แหล่งที่มาของไนเตรทแอมโมเนีย และไนโตรเจนรวมนอกจากไนโตรเจนดั้งเดิมที่มีอยู่ในดินแล้ว ยังมาจากธรรมชาติ เช่น อากาศ ชากพืชซากสัตว์ และจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ย ทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทพืชที่ปลูก ปริมาณที่ใส่ และปฏิทินการปลูกพืช จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกัน ในขณะที่การสูญเสียไนโตรเจนนอกจากพืชดูดไปใช้แล้ว ไนเตรทยังถูกชะล้างได้

ง่ายในดินชั้นรากพืช (root zone) ส่วนแอมโมเนียจะเปลี่ยนรูปจากสารละลายไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ดังนั้น จึงพบว่าปริมาณไนเตรทและแอมโมเนียมีค่าต่างจากไนโตรเจนรวมมาก ซึ่งโดยปกติแล้ว ไนโตรเจนรวมนั้นจะมีส่วนประกอบของอินทรีย์ไนโตรเจนถึงร้อยละ 90 (Plaster, 2014)



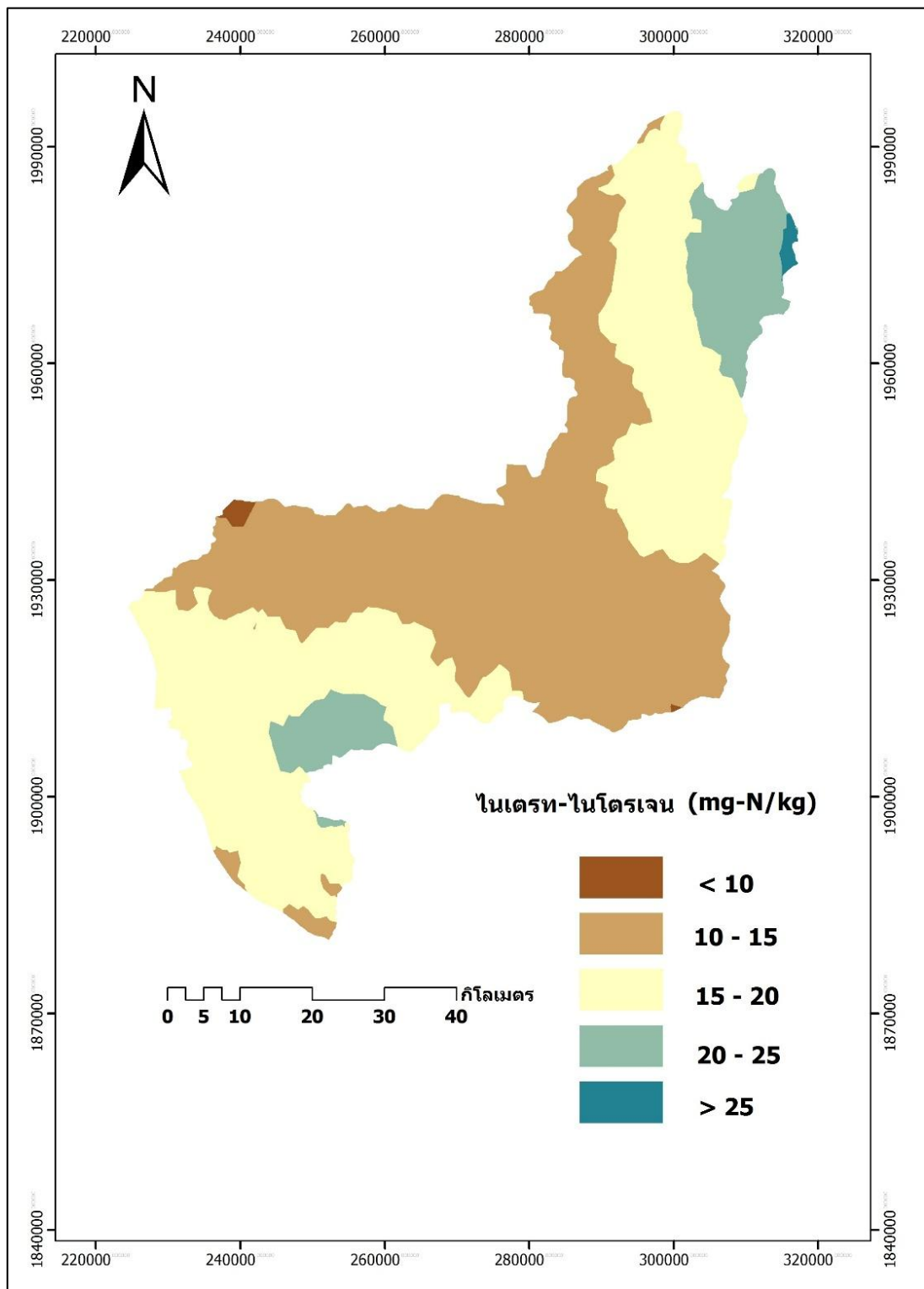


รูป 34 แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานและช่วงความเข้มข้นของไนโตรเจน

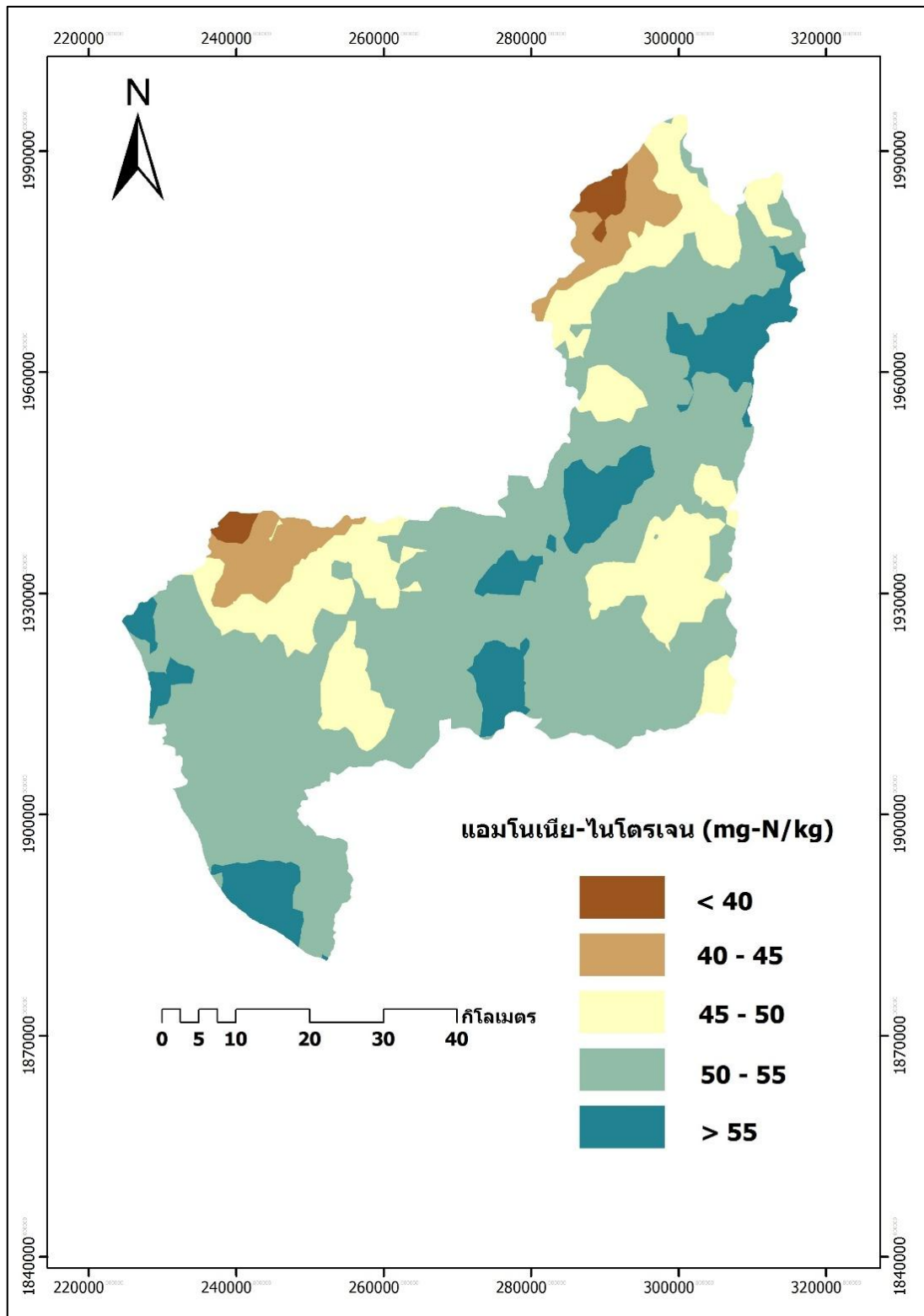
กราฟในแนว (ก) เปรียบเทียบตามลักษณะธรณีสัณฐาน 5 ประเภท ได้แก่ SC = ที่ลาดชันเชิงซ้อน, ES = พื้นที่เหลือค้ำจาก การกัดกร่อน, HT = ลานตะพักลำนํ้าระดับสูง, MT = ลานตะพักลำนํ้าระดับกลาง, LT = ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ

กราฟในแนว (ข) เปรียบเทียบตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน 9 ประเภท ได้แก่ PAD = นาข้าว, SUG = อ้อย, CAS = มันสำปะหลัง, PAR = ยางพารา, EUC = ยูคาลิปตัส, OAG = เกษตรกรรมอื่นๆ, FOR = ป่าไม้, MAR = ที่ลุ่ม, ABN = ที่รกร้าง

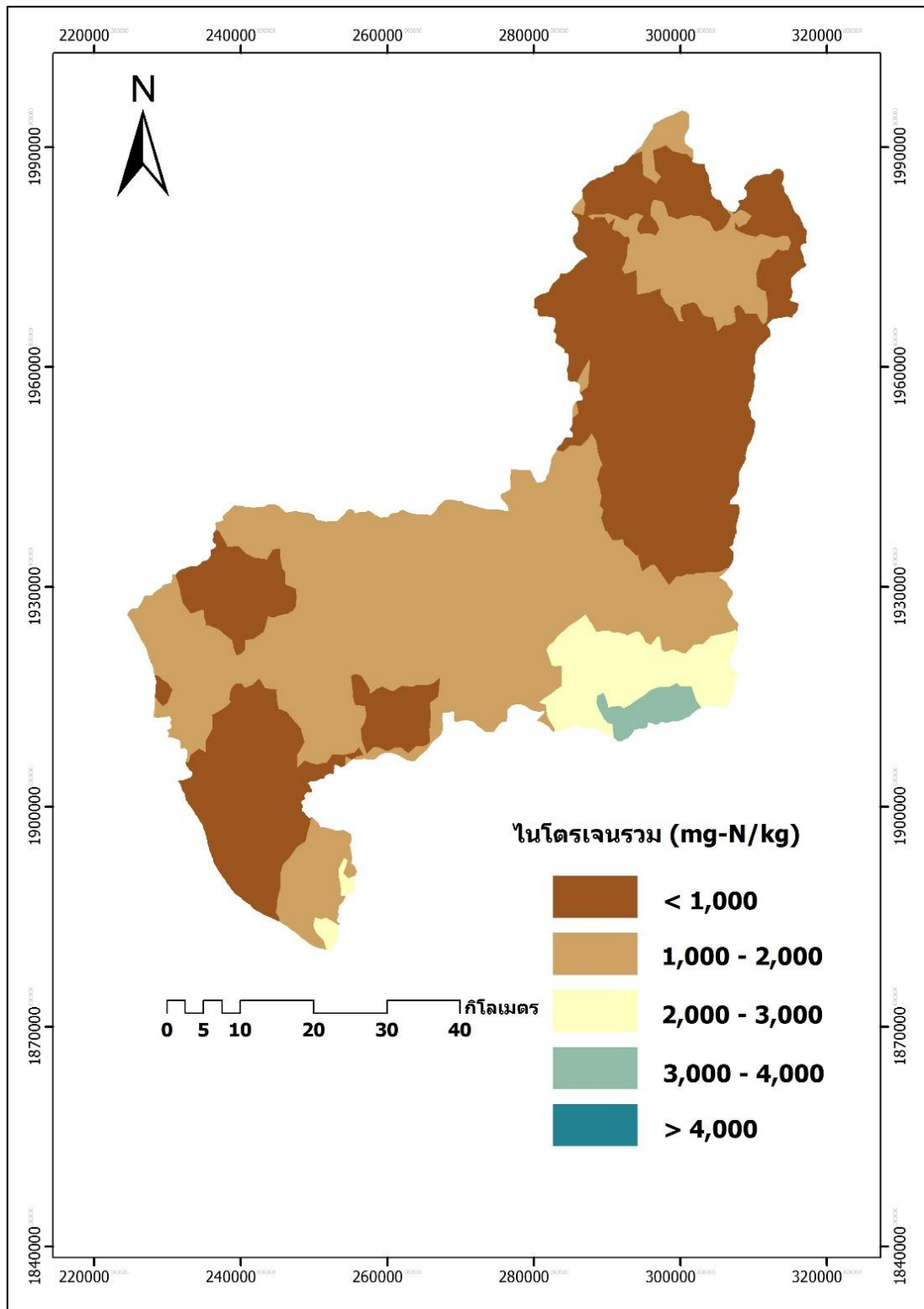
[เส้นกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน, เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25, เส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75, เครื่องหมายวงกลมเปิด (○) แสดงข้อมูลที่มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 3 เท่าของความกว้างของกล่อง, เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 3 เท่าของความกว้างของกล่อง]



รูป 35 แผนที่แสดงลักษณะการกระจายไนเตรท-ไนโตรเจนในกลุ่มน้ำห้วยหลวง



รูป 36 แผนที่แสดงการกระจายแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในลุ่มน้ำห้วยหลวง



รูป 37 แผนที่แสดงการกระจายไนโตรเจนรวมในกลุ่มน้ำห้วยหลวง

4.1.2.8 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ในการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัส พบว่าลักษณะธรณีสัณฐานที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุด คือ พื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับสูง มีค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 10.8 ± 11.7 (6.28) mg-P/kg และพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนมีค่าต่ำสุด มีค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 1.81 ± 2.30 (0.37) mg-P/kg เมื่อวิเคราะห์ตามลักษณะ การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง พบว่า พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีปริมาณเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ ยางพารา และมันสำปะหลัง ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) คือ 19.2 ± 8.39 (21.2), 10.2 ± 12.9 (5.66) และ 5.14 ± 2.87 (6.17) mg-P/kg ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ลุ่มและนาข้าว มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือ 0.64 ± 0.80 (0.26) และ 1.99 ± 1.64 (2.05) mg-P/kg ตามลำดับ

ความแปรปรวนของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ตามแผนภูมิกล่อง (รูป 38 ก) เมื่อพิจารณาตามประเภทธรณีสัณฐาน พบว่า ในทุกประเภทธรณีสัณฐานยกเว้นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน มีค่าข้อมูลสูงผิดปกติ โดยเฉพาะในพื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำและกลาง ในส่วนของการกระจายข้อมูลของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (รูป 38 ข) พบว่า ส่วนใหญ่มีลักษณะการกระจายใกล้เคียงกัน แต่พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ ที่มีการกระจายของข้อมูลมากที่สุด

แผนที่แสดงลักษณะการกระจายของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (รูป 39) ทั่วทั้งพื้นที่ที่มีการกระจายความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีค่าต่ำกว่า 3 mg-P/kg แต่บางส่วนของบริเวณทิศใต้ที่เป็นพื้นที่ต้นน้ำมีค่าความเข้มข้นสูงมากกว่าบริเวณอื่น

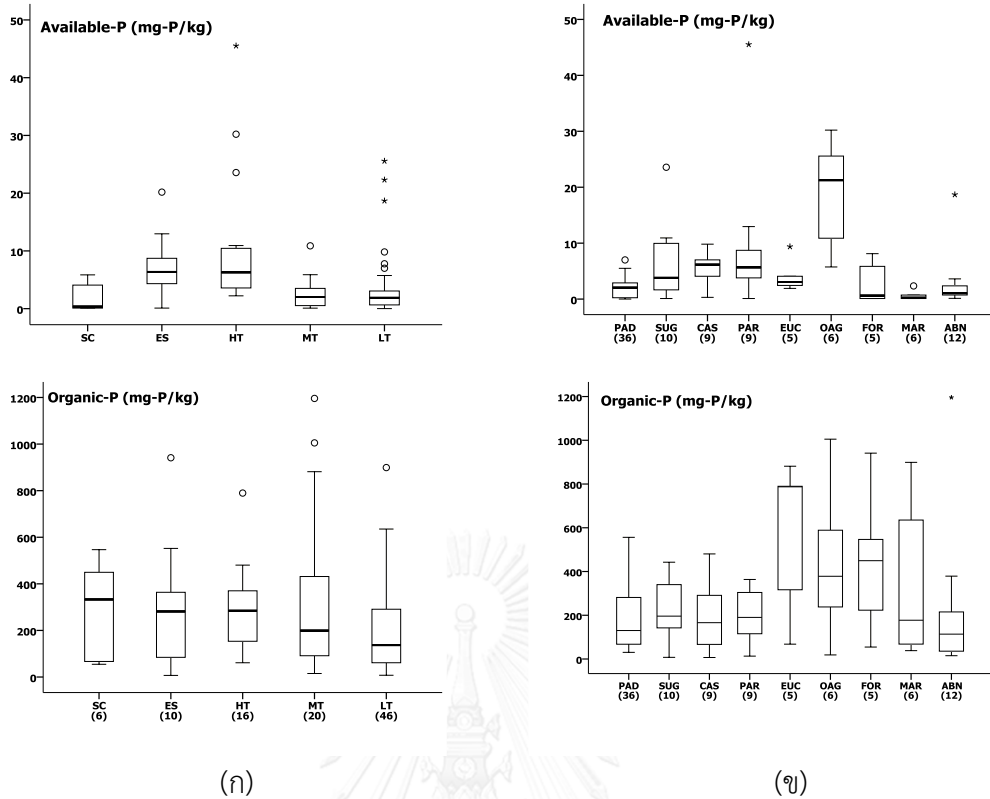
4.1.2.9 ฟอสฟอรัสอินทรีย์

ฟอสฟอรัสอินทรีย์ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีมากที่สุดในลักษณะธรณีสัณฐานประเภทลานตะพักลำน้ำระดับกลาง และต่ำที่สุดในพื้นที่ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 409 ± 468 (226) และ 225 ± 199 (159) mg-P/kg ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีปริมาณเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ ยูคาลิปตัสและป่าไม้ ค่าเฉลี่ย (มัธยฐาน) 834 ± 593 (685), 433 ± 422 (164) และ 290 ± 111 (329) mg-P/kg ตามลำดับ ส่วนพื้นที่นาข้าวและยางพารา มีค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือ 209 ± 180 (155) และ 218 ± 183 (126) mg-P/kg ตามลำดับ

การศึกษาการกระจายข้อมูลของฟอสฟอรัสอินทรีย์ตามประเภทลักษณะธรณีสัณฐาน (รูป 38 ก) พบว่ามีส่วนใหญ่มีค่าข้อมูลสูงผิดปกติในทุกประเภทธรณีสัณฐาน ยกเว้นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน เมื่อพิจารณาตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (รูป 38 ข) พบว่า ความแปรปรวนของฟอสฟอรัสอินทรีย์มีค่าค่อนข้างสูง โดยเฉพาะพื้นที่อ้อย เกษตรกรรมอื่นๆ ป่าไม้ และที่ลุ่ม

แผนที่แสดงลักษณะการแพร่กระจายของปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง (รูป 40) แสดงให้เห็นชัดเจนว่า ส่วนใหญ่มีฟอสฟอรัสอินทรีย์ต่ำกว่า 200 mg-P/kg โดยพบว่า บางส่วนของพื้นที่ต้นน้ำและปลายน้ำมีค่าที่สูงกว่าบริเวณอื่น

โดยสรุป การกระจายของฟอสฟอรัสในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง พบว่ามีค่าแปรปรวนที่แตกต่างกันไป ตามลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดิน แต่เมื่อนำข้อมูลมาแสดงเป็นแผนที่การกระจาย พบว่า ทั้งฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และฟอสฟอรัสอินทรีย์มีการกระจายที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ผลการศึกษาสอดคล้องกับการรายงานสถานการณ์ดินในประเทศไทย ปี 2543 และ 2558 ที่พบว่า ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อยู่ในระดับต่ำ (<10 mg-P/kg) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558; นวลศรี กาญจนกุล และคณะ, 2543) สาเหตุเนื่องจากคุณลักษณะของฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เปลี่ยนรูปได้ง่าย กลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง โดยทั่วไปในดินมีฟอสฟอรัสต่ำมาก ฟอสฟอรัสรวมมีเพียงร้อยละ 0.06 (Plaster, 2014; Roy et al, 1977) ดังนั้น การทำเกษตรกรรมจึงต้องมีการเพิ่มฟอสฟอรัสในดินด้วยการใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี ทั้งนี้ มีการแนะนำในการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสว่า ควรมีการจัดการสภาพดินให้เหมาะสมก่อนใส่ปุ๋ย โดยฟอสฟอรัสจะละลายน้ำได้ดีในดินที่มีความเป็นกรด-ต่างระหว่าง 6.0-7.0 นอกจากนี้ ต้องคำนึงถึงช่วงเวลาที่เหมาะสม คือ ต้องให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในช่วงที่พืชต้องการ เพื่อป้องกันฟอสฟอรัสถูกตรึงไว้ในดิน และการใส่ปุ๋ยคอกอย่างสม่ำเสมอจะช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในดินได้อีกทางหนึ่ง

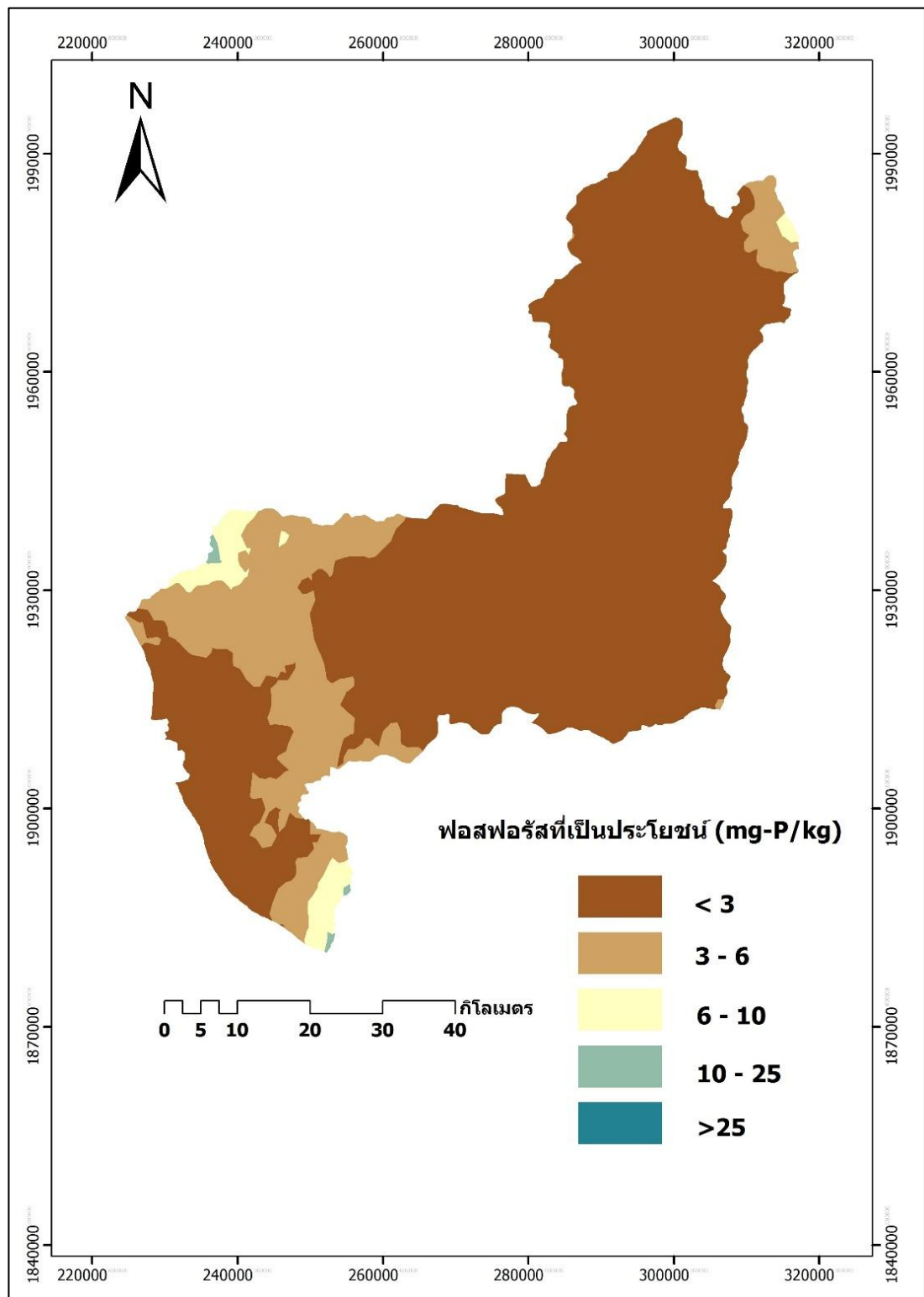


รูป 38 แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานและช่วงความเข้มข้นของฟอสฟอรัส

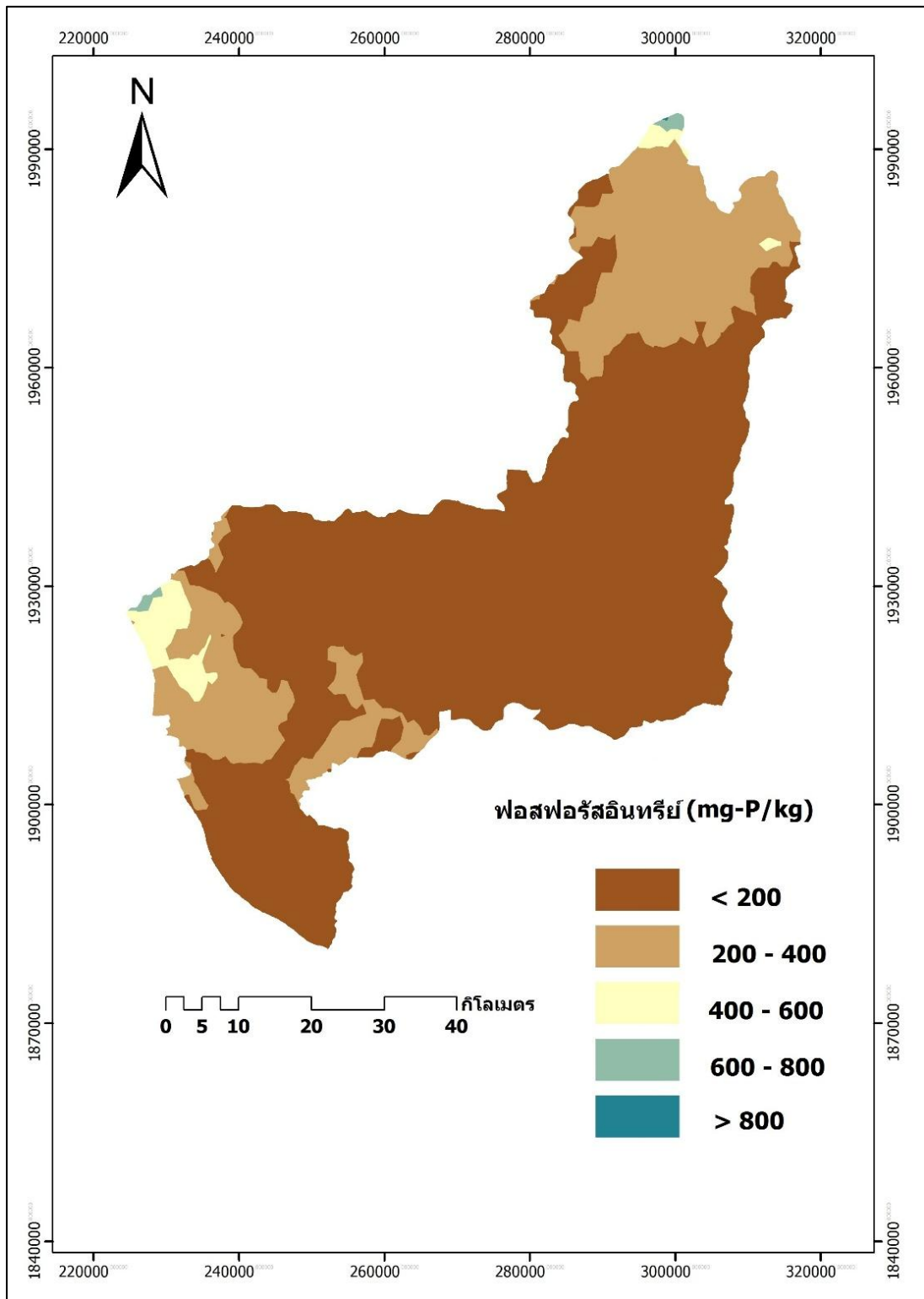
กราฟในแนว (ก) เปรียบเทียบตามลักษณะธรณีสัณฐาน 5 ประเภท ได้แก่ SC = ที่ลาดชันเชิงซ้อน, ES = พื้นที่เหลื่อมค้ำจากการกัดกร่อน, HT = ลานตะพักลำน้ำระดับสูง, MT = ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง, LT = ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ

กราฟในแนว (ข) เปรียบเทียบตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน 9 ประเภท ได้แก่ PAD = นาข้าว, SUG = อ้อย, CAS = มันสำปะหลัง, PAR = ยางพารา, EUC = ยูคาลิปตัส, OAG = เกษตรกรรมอื่นๆ, FOR = ป่าไม้, MAR = ที่ลุ่ม, ABN = ที่รกร้าง

[เส้นกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน, เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25, เส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75, เครื่องหมายวงกลมเปิด (O) แสดงข้อมูลที่มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 3 เท่าของความกว้างของกล่อง, เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 3 เท่าของความกว้างของกล่อง]



รูป 39 แผนที่แสดงลักษณะการกระจายฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในลุ่มน้ำห้วยหลวง



รูป 40 แผนที่แสดงลักษณะการกระจายฟอสฟอรัสอินทรีย์ในลุ่มน้ำห้วยหลวง

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ

การศึกษาความแตกต่างของสมบัติระหว่างธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ (Multivariate Analysis Of Variance; MANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ $P < 0.05$ โดยมีตัวแปรต้น คือ ลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตัวแปรตาม คือ สมบัติดินต่างๆ จากการวิเคราะห์พบว่า ในลักษณะธรณีสัณฐานที่ต่างกัน มีสมบัติดินที่ต่างกัน ได้แก่ อนุภาคทราย อนุภาคทรายแป้ง และความเป็นกรด - ด่าง ส่วนลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต่างกัน มีสมบัติดินที่ต่างกัน ได้แก่ อนุภาคทราย อนุภาคทรายแป้ง อนุภาคดินเหนียว ความเป็นกรด - ด่าง อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และฟอสฟอรัสอินทรีย์ ผลการศึกษาดังตาราง 11

ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติดิน

สมบัติดิน	F- Test	
	ธรณีสัณฐาน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน
ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	1.911	1.557
ความหนาแน่นอนุภาค (g/cm^3)	0.426	0.803
ความพรุน (%)	1.024	0.411
อนุภาคทราย (%)	6.271*	5.465*
อนุภาคทรายแป้ง (%)	4.961*	3.810*
อนุภาคดินเหนียว (%)	2.462	5.209*
ความเป็นกรด-ด่าง	5.391*	3.799*
อินทรีย์วัตถุ (%)	1.901	2.708*
ไนเตรท-ไนโตรเจน (mg-N/kg)	0.461	0.672
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg-N/kg)	0.802	1.575
ไนโตรเจนรวม (mg-N/kg)	1.521	1.193
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg-P/kg)	2.062	6.429*
ฟอสฟอรัสอินทรีย์ (mg-P/kg)	1.316	2.691*

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าลุ่มน้ำห้วยหลวงมีลักษณะธรณีสัณฐาน 5 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน พื้นที่เหลือค้ำจากการกัดกร่อน และส่วนใหญ่เป็นแบบลานตะพักลำน้ำ ซึ่งมีระดับสูง กลาง และต่ำ พื้นที่แบบลานตะพักเป็นที่ราบริมแม่น้ำ เกิดจากการชะล้างพังทลายของดินทับถมกัน

เป็นเวลานาน ซึ่งขนาดอนุภาคของดินจะถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำและกระแสลมได้ เมื่อดินถูกชะล้าง อนุภาครายและทรายแป้งจะเคลื่อนที่ไปยังที่ต่างๆ ได้ง่ายกว่าเพราะเม็ดดินไม่ยึดติดกัน จึงทำให้ขนาดอนุภาคดินในลักษณะธรณีสัณฐานต่างๆ แตกต่างกันไป นอกจากนี้ ลักษณะธรณีสัณฐานที่ต่างกันทำให้ความเป็นกรด - ด่างของดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุมาจากดินส่วนใหญ่เป็นขนาดอนุภาครายทำให้มีอินทรีย์วัตถุต่ำ ซึ่งเป็นคุณลักษณะของดินที่มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Buffer Capacity) ต่ำ จึงทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่างเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ซึ่งแตกต่างจากดินเหนียวที่จะคงระดับความเป็นกรด - ด่างในดินไว้อย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นสาเหตุให้เกิดความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่างในลักษณะธรณีสัณฐานที่แตกต่างกัน

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ในลุ่มน้ำห้วยหลวงมี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ พื้นที่เกษตรกรรม ได้แก่ นาข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ยางพารา และยูคาลิปตัส และพื้นที่ไม่ใช่เกษตรกรรม ได้แก่ ป่าไม้ ที่ลุ่ม และพื้นที่อื่นๆ ในการทำเกษตรกรรมที่ต่างชนิดกันจะมีกิจกรรมในแปลงที่ต่างกันไปด้วย เช่น วิธีการเตรียมดิน ปริมาณและชนิดปุ๋ย ระยะเวลาเก็บเกี่ยว เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ ล้วนส่งผลต่อคุณลักษณะของดิน จึงส่งผลให้ขนาดอนุภาคดิน ความเป็นกรด - ด่าง อินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสในดินมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนความหนาแน่นและความพรุน อย่างที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 (หัวข้อ 2.1.1 สมบัติดินทางกายภาพ) ว่าความหนาแน่นของดินเป็นค่าคงที่ซึ่งเปลี่ยนแปลงได้ยาก (Tan, 2005) จึงทำให้มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ไนโตรเจนในดินทั้ง ไนเตรท-ไนโตรเจน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนโตรเจนรวม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน สาเหตุเนื่องจากไนโตรเจนนั้นสูญหายไปจากดินได้ง่าย โดยไนเตรท-ไนโตรเจนจะถูกชะล้างในชั้นรากพืช แอมโมเนีย-ไนโตรเจนเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซได้ (หัวข้อ 2.1.1 สมบัติทางเคมีของดิน ข้อ (3) วัฏจักรไนโตรเจน) ดังนั้น จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษา สอดคล้องกับ (Wang et al (2001)) พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต่างกัน (ทุ่งหญ้า, พืชไร่, สวนผลไม้, ป่าไม้, ไม้พุ่ม, สวนผสม และที่รกร้าง) ทำให้ค่าอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนรวมในดินต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) Wang et al (2009a) พบว่าประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (นาข้าว, สวนผลไม้, เกษตรกรรมเชิงเขา, ป่าไม้ และพื้นที่รกร้าง) ทำให้ค่าอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนรวม ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสรวม และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) Islam and Weil (2000) พบว่าประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่งผลต่อสมบัติดินทางกายภาพ โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) แต่ความหนาแน่นและความพรุนของดินไม่แตกต่างกัน

4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติของสมบัติดิน

การศึกษาความสัมพันธ์ของสมบัติดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยใช้วิธีสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation) โดยทั้งหมดพิจารณาความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p < 0.05$ (ตาราง 12) ผลการศึกษาพบว่าขนาดอนุภาคของเนื้อดิน มีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ เมื่อขนาดอนุภาคดินทรายเพิ่มสูงขึ้น ขนาดอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียวจะมีปริมาณลดลง ดินทรายมีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับค่าความหนาแน่นของอนุภาคอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่อินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับดินเหนียวและความหนาแน่นของอนุภาคอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอนุภาคทรายและทรายแป้ง ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Bai and Wang (2011) ที่รายงานความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคดิน

ความเป็นกรด-ด่างเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสมบัติดินอื่นๆ เช่น ความเป็นกรด-ด่างเข้าใกล้ 7.0 เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ดินที่ช่วยย่อยสลายซากพืชซากสัตว์เพื่อให้ได้อินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะถูกตรึงอยู่ในดินและพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.5 และอยู่ระหว่าง 7.5 – 8.5 (Foth, 1984) เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างในลุ่มน้ำห้วยหลวง (ตาราง 9) พบว่า มีค่าเฉลี่ย 5.44 จึงทำให้อินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในเกณฑ์ต่ำไปด้วย (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.99 และ 4.72 mg-P/kg ตามลำดับ) ทั้งนี้ ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติดินด้วย เช่น ลักษณะอากาศร้อนชื้นเหมาะแก่การทำงานของจุลินทรีย์ดิน ทำให้อินทรีย์วัตถุมีปริมาณมาก แต่อินทรีย์วัตถุไม่เกาะกับเม็ดดินทราย ทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัวไป (ปีพมา วิทยากร, 2533) นอกจากนี้ เนื่องจากคุณลักษณะของดินเหนียวมีประจุเป็นลบเหมือนกันกับไนเตรท-ไนโตรเจน เมื่อน้ำไหลดิน ทำให้ไนเตรทถูกชะล้างได้ง่าย (Plaster, 2014) เป็นต้น จึงทำให้พบว่าความเป็นกรด-ด่างมีความสัมพันธ์กับสมบัติดินอื่นๆ อย่างไม่มีนัยสำคัญ

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญกับอนุภาคทราย ทั้งที่ตามทฤษฎีแล้วอนุภาคทรายซึ่งมีเนื้อหยาบจะไม่จับกับฟอสฟอรัสในดิน แต่ในการศึกษานี้ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นนาข้าว มีการขังน้ำในแปลงเพื่อให้ข้าวเจริญเติบโต และลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นลานตะพักระดับกลาง ดังนั้น ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจึงไม่ถูกชะไหลไปที่อื่น เพราะฉะนั้นจึงพบความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคทรายกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ตาราง 12 ค่าสถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Correlation) ของสมบัติดิน

	Sand	Silt	Clay	BD	PD	PO	pH	OM	NO ₃ -N	NH ₄ -N	TN	AP	OP
Sand	1												
Silt	-0.796*	1											
Clay	-0.773*	0.231*	1										
BD	0.015	0.147	-0.178	1									
PD	-0.223*	0.150	0.201*	0.050	1								
PO	-0.085	-0.005	0.142	-0.539*	0.776*	1							
pH	-0.119	0.106	0.081	0.156	0.012	-0.043	1						
OM	-0.144	-0.030	0.262*	-0.082	0.222*	0.138	0.126	1					
NO ₃ -N	-0.168	0.030	0.238*	-0.033	-0.051	-0.047	0.098	0.245*	1				
NH ₄ -N	0.076	-0.089	-0.029	0.020	-0.007	0.020	0.161	-0.019	0.063	1			
TN	-0.111	0.009	0.169	0.189	0.034	-0.105	0.130	0.191	-0.060	0.194	1		
AP	0.308*	-0.285*	-0.196	-0.109	-0.057	0.073	-0.008	-0.117	0.005	0.134	-0.170	1	
OP	-0.123	-0.117	0.320*	-0.106	-0.177	-0.106	0.156	0.428*	0.329*	0.238*	0.135	0.036	1

* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

Sand = ดินทราย, Silt = ดินทรายแป้ง, Clay = ดินเหนียว, BD = ความหนาแน่นรวม, PD = ความหนาแน่นของอนุภาค, pH = ค่าความเป็นกรด-ด่าง, OM = อินทรีย์วัตถุ, NO₃-N = ไนเตรท-ไนโตรเจน, NH₄-N = แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, TN = ไนโตรเจนรวม, AP = ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์, OP = ฟอสฟอรัสอินทรีย์

อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยที่พบความสัมพันธ์กันระหว่างความเป็นกรด – ต่างกับสมบัติดินอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เช่น Adhikari et al (2011) และ Adhikari et al (2012) พบความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด – ต่างกับไนเตรท – ไนโตรเจน Bai and Wang (2011) พบความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด – ต่างกับอนุภาคดินเหนียว Wang et al (2009b) รายงานความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนรวมกับอินทรีย์วัตถุและแอมโมเนีย – ไนโตรเจน Liu et al (2014) และ Ouyang et al (2013) พบความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนรวมกับความเป็นกรด – ต่าง

โดยสรุป สมบัติดินทั้งทางกายภาพและเคมีมีความสัมพันธ์ต่อกัน แต่มีปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ด้วย เช่น สภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนั้น เพื่อให้ดินมีความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ และป้องกันการเสื่อมโทรมของดิน จึงควรนำปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มาพิจารณาประกอบกัน

4.4 การเปรียบเทียบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินช่วงก่อน-ระหว่างปลูกข้าว

ในการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ เพื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในช่วงก่อนและระหว่างปลูกข้าว โดยทำการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 24 สถานี (หัวข้อ 3.2.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน) ครั้งแรกในเดือนมิถุนายน ครั้งที่สองเดือนกันยายน นำมาวิเคราะห์ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ผลการศึกษาแสดงดังตาราง 13 ซึ่งพบว่าธาตุอาหารที่มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ได้แก่ ไนเตรท-ไนโตรเจน จาก 16.7 ± 6.56 เป็น 9.74 ± 6.66 mg-N/kg และไนโตรเจนรวม จาก 1.149 ± 524 ลดลงเป็น 641 ± 336 mg-N/kg แอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จาก 53.2 ± 7.58 เป็น 57.9 ± 4.84 mg-N/kg ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย คือ 9.45 ± 11.4 เป็น 9.84 ± 10.0 mg-P/kg

ตาราง 13 ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในช่วงก่อน-ระหว่างปลูกข้าว

พารามิเตอร์	ช่วงเวลา	ค่าเฉลี่ย±		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	T-test	F-test
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
ไนเตรท-ไนโตรเจน (mg-N/kg)	มิ.ย.	16.7 ± 6.56		7.21	29.8	3.635*	0.861
	ก.ย.	9.74 ± 6.66		3.90	28.5		
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg-N/kg)	มิ.ย.	53.2 ± 7.58		32.1	67.6	-3.155*	1.907
	ก.ย.	57.9 ± 4.84		49.7	72.2		
ไนโตรเจนรวม (mg-N/kg)	มิ.ย.	1.149 ± 524		0.41	2.44	5.074*	0.729
	ก.ย.	641 ± 336		0.28	2.03		
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg-P/kg)	มิ.ย.	9.45 ± 11.4		0.08	45.52	0.031	4.866*
	ก.ย.	9.84 ± 10.0		0.17	36.05		

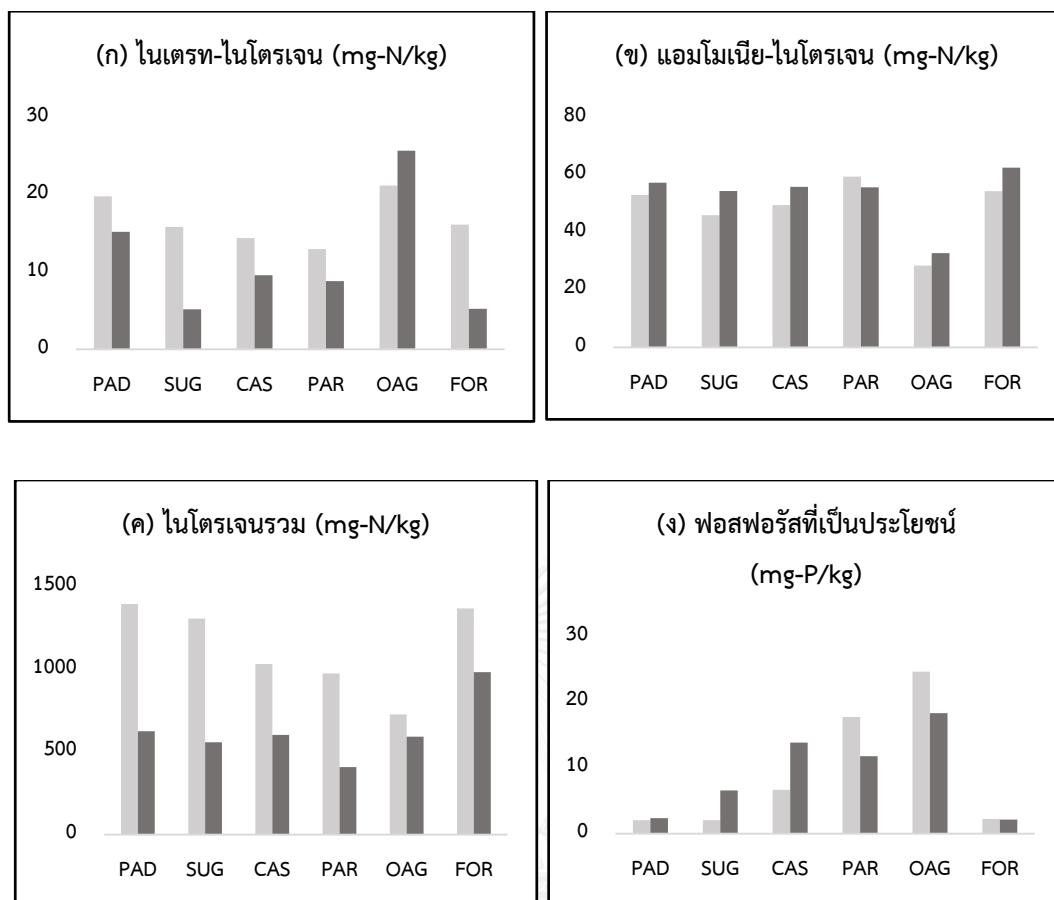
ปริมาณไนโตรเจนทั้ง 2 ช่วงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เกิดจากหลายปัจจัยด้วยกัน ปัจจัยแรก สภาพภูมิอากาศ ในการเก็บตัวอย่างทั้งสองครั้ง อยู่ในช่วงฤดูฝน ซึ่งจากฐานข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาคาบ 30 ปี พบว่า ช่วงระหว่างเดือนมิถุนายน – กันยายน 2557 มีปริมาณน้ำฝนรวมทั้งสิ้น 1,030 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน 8.44 มิลลิเมตร และจำนวนวันที่ฝนตก 80 วัน ประกอบกับปัจจัยด้านสมบัติดินทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์กับการถูกชะล้างของธาตุอาหารจากน้ำผิวดิน จากผลการศึกษาหัวข้อ 4.1 พบว่า ดินในลุ่มน้ำห้วยหลวงเป็นดินร่วนปนทราย (sandy-loam soil) คือ มีปริมาณอนุภาคทรายมากที่สุด รองลงมาคืออนุภาคทรายแป้ง และอนุภาคดินเหนียว ดังนั้น เมื่อมีฝนตก ไนโตรเจนจะถูกชะล้างด้วยน้ำผิวดินได้ง่าย โดยเฉพาะไนเตรท-ไนโตรเจน และไนโตรเจนรวม ที่พบว่ามีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากเป็นธาตุที่มีประจุบวก (NH_4^+) จึงจับกับประจุลบของดินเหนียว ดังนั้น จึงจะไม่ถูกชะล้างไปกับน้ำผิวดิน และเนื่องจากอยู่ในช่วงฤดูการเพาะปลูก เกษตรกรได้ใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในแปลง ดังนั้น จึงส่งผลให้มีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังรูป 41 (ก-ง) พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและไนโตรเจนรวม มีค่าลดลงในทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ยกเว้น ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ยกเว้น พื้นที่ปลูกยางพาราที่มีปริมาณลดลง สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่ามีทั้งที่ปริมาณเพิ่มขึ้น (อ้อย และมันสำปะหลัง) มีปริมาณลดลง (ยางพาราและเกษตรกรรมอื่นๆ) และมีการเปลี่ยนแปลงเพียงน้อย (นาข้าวและป่าไม้) ทั้งนี้ จากตาราง 13 ที่ได้แสดงค่าสถิติ One-way ANOVA (F-test) ซึ่งวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยธาตุอาหารระหว่างประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิด ผลการวิเคราะห์

พบว่า มีเพียงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างครั้งแรก ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุอาหารระหว่างการใช้ที่ดินแต่ละประเภท พบว่าค่าไนโตรเจนในดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่ากิจกรรมการทำเกษตรในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน เช่น ปฏิทินการเพาะปลูกของพืชแต่ละชนิด ชนิดปุ๋ย การดูแลรักษา รวมถึงการจัดการอื่นๆ ในแปลงเพาะปลูก แต่ปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กับหลายปัจจัย เช่น วัตถุดิบกำเนิดดินที่เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดชนิดดิน ความหนาแน่นและความพรุนของดิน รวมถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่จะส่งผลไปถึงปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อปริมาณไนโตรเจน (ดังหัวข้อ 4.3) ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า ค่าไนโตรเจนในลุ่มน้ำห้วยหลวงมีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินจะแตกต่างกันก็ตาม

ในขณะที่ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพื้นที่ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดคือ เกษตรกรรมอื่นๆ รองลงมาคือสวนยางพารา และมันสำปะหลัง ในขณะที่นาข้าว อ้อย และป่าไม้ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสต่างกันนั้น มีสาเหตุมาจากความแตกต่างกันของการจัดการต่างๆ ในแปลง ปฏิทินการปลูกของพืช ชนิดและปุ๋ยที่ใส่ รวมถึงการดูแลรักษาอื่นๆ ในแปลง และอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ ค่าเป็นกรด-ด่าง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัส กล่าวคือ ฟอสฟอรัสจะละลายน้ำได้ดีในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 6.0-7.0 และฟอสฟอรัสจะถูกตรึงในดินและพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.5 และอยู่ระหว่าง 7.5 – 8.5 (Foth, 1984)



■ ก่อนปลูกข้าว ■ ระหว่างปลูกข้าว;

PAD = นาข้าว, SUG = อ้อย, CAS = มันสำปะหลัง, OAG = เกษตรกรรมอื่นๆ, FOR = ป่าไม้

รูป 41 ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

บทที่ 5

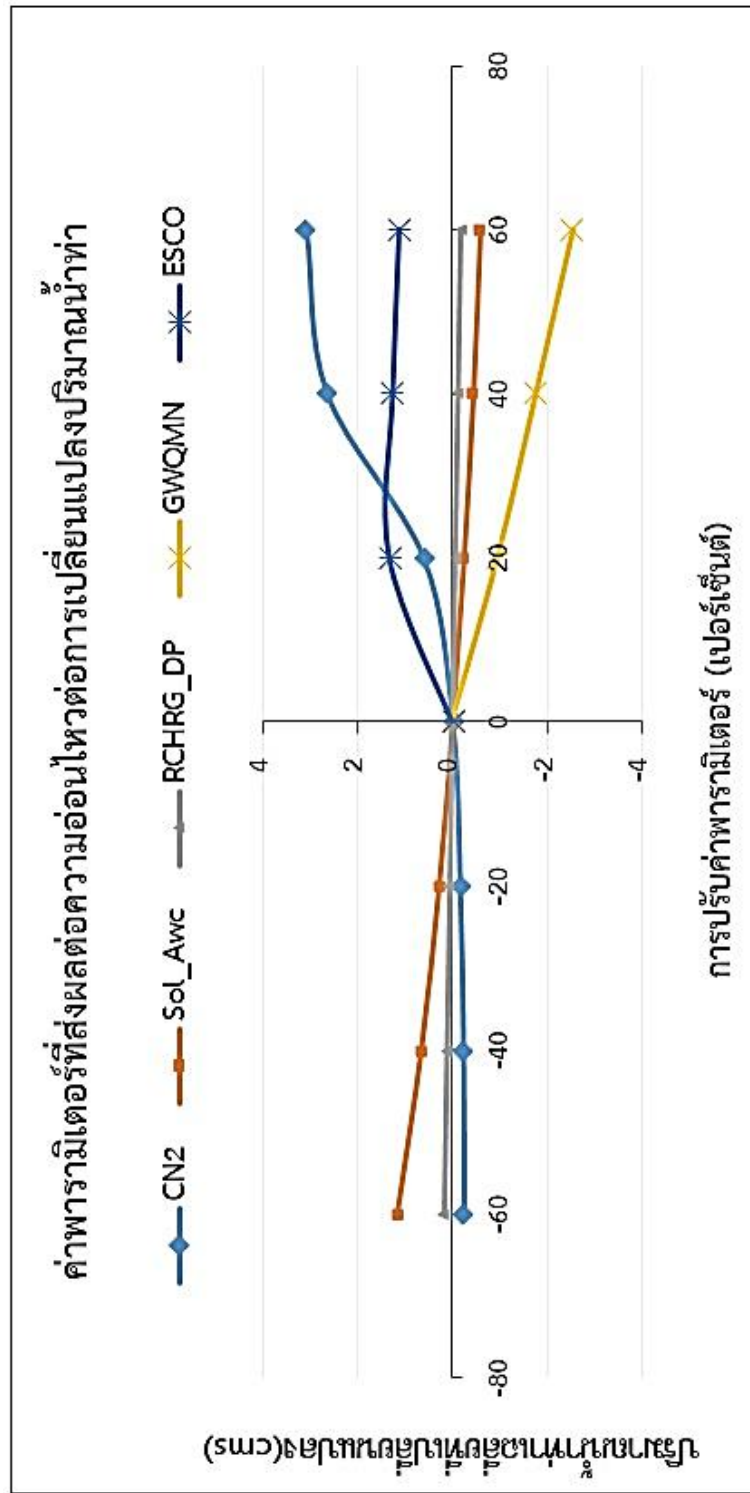
ผลการศึกษาระบบชลประทานอาหารในดิน

การศึกษาระบบชลประทานอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ลงสู่ลำน้ำห้วยหลวง ในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWAT มาใช้ในการวิเคราะห์ ผลการศึกษา แบ่งเป็น ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง ผลการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง ของปริมาณน้ำท่า ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอน ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และปริมาณฟอสเฟต

5.1 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์

ในการศึกษานี้ ได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์เฉพาะที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า โดยการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว และดูว่ามีผลต่อปริมาณน้ำท่ามากขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใด การศึกษานี้จะนำเสนอผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า จากการเพิ่มขึ้นและลดลง ค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบร้อยละ 20 ร้อยละ 40 และร้อยละ 60 ดังแสดงในรูป 42 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่อปริมาณน้ำท่าสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มพารามิเตอร์ ดังนี้

1) กลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการจัดการในพื้นที่ (Management : .Mgt) ได้แก่ พารามิเตอร์ CN2 (Curve number) โดย CN2 คือค่าตัวแปรที่เป็นผลรวมของปัจจัยลักษณะพื้นที่ ลุ่มน้ำที่มีบทบาทต่อการให้น้ำท่าที่ไหลในลำธาร ประกอบด้วย ลักษณะภูมิประเทศ ชนิดดิน ชนิดกับ ปริมาณพืชปกคลุมดิน และแอ่งน้ำผิวดิน จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ พบว่า เมื่อเพิ่มค่า CN2 ขึ้นร้อยละ 20, 40 และ 60 ปริมาณน้ำท่าในแบบจำลองจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.28, 22.71 และ 26.41 ตามลำดับ ขณะเดียวกันที่เมื่อลดค่า CN2 ลงร้อยละ 20, 40 และ 60 ปริมาณน้ำท่าในแบบจำลองจะลดลงร้อยละ 1.32 1.95 และ 2.07 ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มค่า CN2 ปริมาณน้ำท่าในแบบจำลองจะเพิ่มขึ้น และขณะเดียวกันเมื่อลดค่า CN2 ปริมาณน้ำท่าจะลดลงด้วย โดย CN2 เป็นค่าที่เกี่ยวข้องความสัมพันธ์ระหว่างความยากง่ายของน้ำในการซึมผ่านชั้นดิน ดังนั้น เมื่อเพิ่มค่าปรับค่า CN2 ให้เพิ่มขึ้น ความยากในการซึมผ่านของน้ำผิวดินจะเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น จากรูป 41 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มค่า CN2 ที่ร้อยละ 20 และ 40 ปริมาณน้ำท่าจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ขณะที่การเพิ่มค่าที่ร้อยละ 60 จะเพิ่มขึ้นคงที่ ดังนั้น ในแบบจำลองจะปรับเพิ่มค่า CN2 ได้ไม่เกินร้อยละ 60 หลังจากนั้นปริมาณน้ำท่าจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ปรับลดค่า CN2 พบว่าปริมาณน้ำท่าลดลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่า ในการปรับค่าพารามิเตอร์ หากได้ผลปริมาณน้ำท่าจาก



รูป 42 ค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า

แบบจำลองสูงกว่าจากการตรวจวัดจริง ต้องพิจารณาพารามิเตอร์อื่น เพราะการปรับลดค่า CN2 จะไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าในทางลบมากนัก

2) กลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับดิน (Soil : .Sol) ได้แก่ พารามิเตอร์ Sol_Awc (Available soil water capacity) คือ ค่าความจุน้ำที่มีอยู่ในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ พบว่า เมื่อเพิ่มค่า Sol_Awc ขึ้นร้อยละ 20, 40 และ 60 ปริมาณน้ำท่าในแบบจำลองจะลดลงร้อยละ 1.99, 3.66 และ 4.92 ตามลำดับ ขณะเดียวกันที่เมื่อลดค่า Sol_Awc ลงร้อยละ 20, 40 และ 60 ปริมาณน้ำท่าในแบบจำลองจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.39, 5.56 และ 9.28 ตามลำดับ จากรูป 41 ปริมาณน้ำท่าจะแปรผกผันกับ Sol_Awc เนื่องจากเป็นค่าของน้ำที่มีตั้งเดิมในดินยังมีมาก น้ำผิวดินจะยังไม่สามารถซึมผ่านลงไปได้ ดังนั้น ในการปรับเทียบแบบจำลอง หากต้องการลดหรือเพิ่มปริมาณน้ำท่า จะต้องพิจารณาปรับค่า Sol_Awc ในทิศทางตรงกันข้าม

3) กลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับน้ำใต้ดิน (Groundwater : .Gw) ได้แก่ RCHRG_DP (Deep aquifer percolation fraction) คือ ค่าระดับความลึกการซึมผ่านของชั้นน้ำ และ GWQMN (Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur) คือ ค่าความลึกต่ำสุดของน้ำในแหล่งน้ำตื้นที่ไหลกลับสู่ลำน้ำ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ พบว่า เมื่อเพิ่มค่า RCHRG_DP ขึ้นร้อยละ 20, 40 และ 60 ปริมาณน้ำท่าในแบบจำลองลดลงร้อยละ 0.53, 1.07 และ 1.62 ตามลำดับ ขณะเดียวกันที่เมื่อลดค่า RCHRG_DP ลงร้อยละ 20 40 และ 60 ปริมาณน้ำท่าในแบบจำลองจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.53 1.08 และ 1.62 ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มค่า RCHRG_DP ปริมาณทำน้ำในแบบจำลองจะลดลง และขณะเดียวกันเมื่อลดค่า RCHRG_DP ปริมาณน้ำท่าจะเพิ่มขึ้น ส่วน GWQMN พบว่า เมื่อเพิ่มค่า GWQMN ขึ้นร้อยละ 20, 40 และ 60 ปริมาณน้ำท่าในแบบจำลองจะลดลงร้อยละ 8.22, 15.1 และ 21.76 ตามลำดับ จากรูป 41 ปริมาณน้ำท่าแปรผกผันกับค่า RCHRG_DP และ GWQMN เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระดับน้ำใต้ดิน ยิ่งมีค่ามากแสดงว่าระดับน้ำยังอยู่ลึกลงไปจากผิวดิน ส่งผลให้น้ำผิวดินสามารถไหลซึมลงไปได้มาก ทำให้ปริมาณน้ำท่าลดลง โดยเฉพาะค่า GWQMN จากรูป 41 จะเห็นว่ายิ่งปรับลดค่าลง ปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ดังนั้น ในการปรับเทียบควรจะต้องให้ความระมัดระวังในการลดหรือเพิ่มค่าพารามิเตอร์เนื่องจากมีความอ่อนไหวมาก

4) กลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrological Response Units; HRUs) ได้แก่ ESCO (Soil Evaporation Compensation Factor) คือ ค่าชดเชยการระเหยในดิน การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ พบว่า เมื่อเพิ่มค่า ESCO ขึ้นร้อยละ 20, 40 และ 60 ปริมาณน้ำท่าในแบบจำลองจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.32, 10.66 และ 9.48 ตามลำดับ

กล่าวคือ เมื่อเพิ่มค่า ESCO ปริมาณทำน้ำในแบบจำลองจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มขึ้น ESCO มากกว่าร้อยละ 20 ปริมาณน้ำท่าจะเพิ่มขึ้นแบบคงที่

จากรูป 42 พบว่า พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่ามากที่สุดคือ CN2 ซึ่งสอดคล้องกับ ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ et al (2559) ที่วิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ในกลุ่มน้ำห้วยหลวง พบว่าพารามิเตอร์ที่อ่อนไหวมากที่สุด คือ CN2, SOL_AWC และ SOL_K ตามลำดับ ในการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า ควรให้ความสำคัญและระมัดระวังในการปรับค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อแบบจำลอง และพิจารณาผลของพารามิเตอร์แต่ละตัวว่าให้ผลต่อปริมาณน้ำท่าไปในทิศทางใด เพื่อนำไปพิจารณาการปรับเทียบแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป (โอฬาร เวศอุไร, 2548)

5.2 ผลการจำลองปริมาณน้ำท่า

5.2.1 ผลการปรับเทียบปริมาณน้ำท่า

ในการศึกษาี้ มีการปรับเทียบปริมาณน้ำท่าโดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัด 1 สถานี คือ สถานีวัดน้ำท่า KH53 ตั้งอยู่ที่ บ้านหนองวัวซอ อำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี โดยใช้ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน ระหว่างปี พ.ศ. 2543 – 2553 เป็นเวลา 11 ปี ใช้แผนที่ใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544 ตาราง 14 แสดงค่าการปรับแก้พารามิเตอร์ที่เหมาะสม จำนวน 5 พารามิเตอร์

ตาราง 14 ค่าการปรับแก้พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า

พารามิเตอร์	คำนิยาม	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าที่เหมาะสม
1. CN2 (.Mgt)	Curve number	35 - 98	Increase multiply 0.6
2. Sol_AWC (.Sol)	Available soil water capacity	0 - 1	Increase multiply 4
3. GWQMN (.Gw)	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur	1 - 1000	350
4. RECHRG_DP (.Gw)	Deep aquifer percolation fraction	0 - 1	0.7
5 ESCO (.HRU)	Soil Evaporation Compensation Factor	0 - 1	0.5

ผลจากการปรับเทียบ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.70 ผลที่ได้จากการปรับเทียบแสดงในรูป 43 พบว่า ข้อมูลจากแบบจำลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับข้อมูลจากการตรวจวัด แต่มีข้อมูลบางช่วงเวลาที่มีข้อมูลตรวจวัดและแบบจำลองมีความแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่พบว่าข้อมูลจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าจากการตรวจวัด เช่น ช่วงเดือนสิงหาคม-

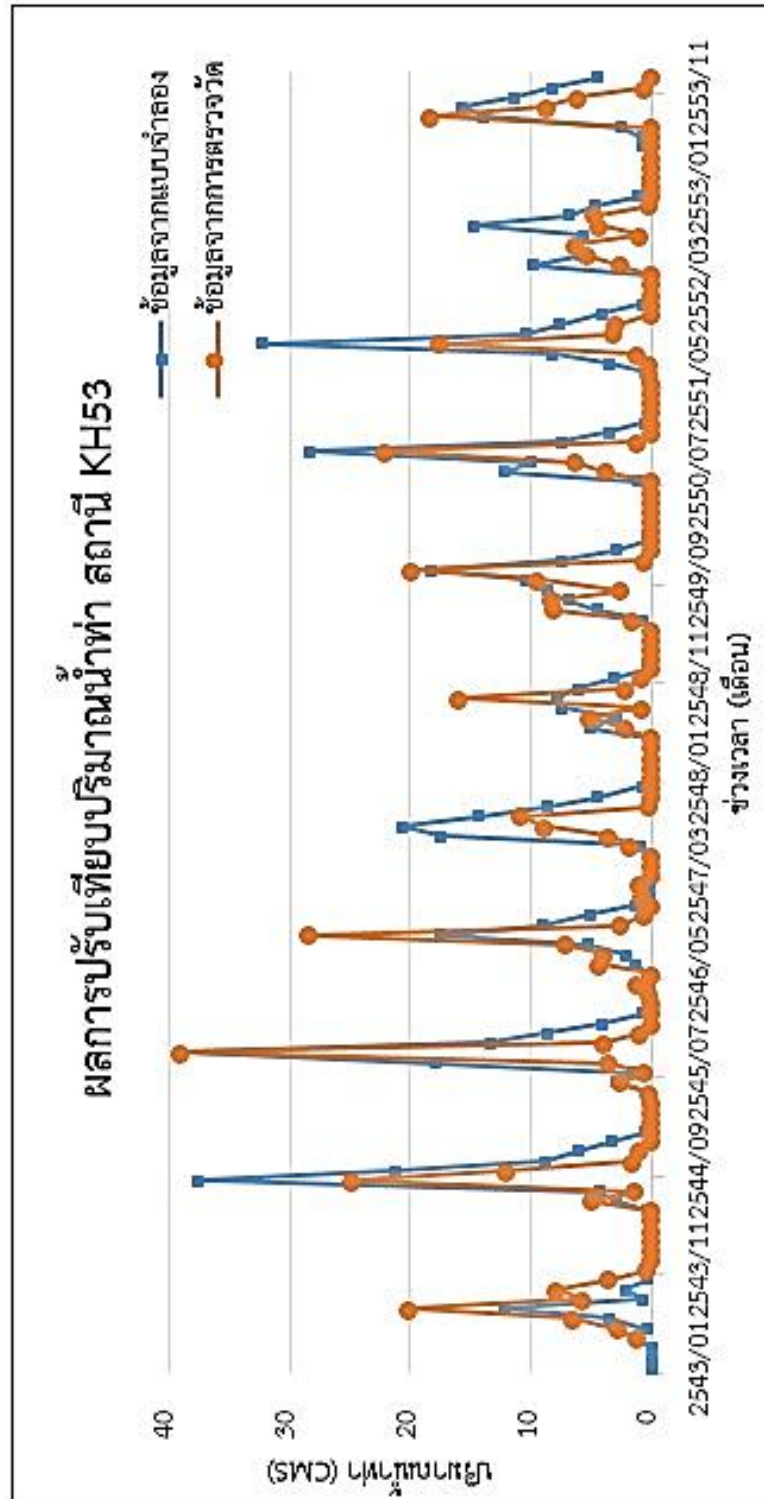
กันยายน 2544, สิงหาคม 2545, สิงหาคม-กันยายน 2547, สิงหาคม 2545 และ กันยายน 2552 สำหรับช่วงที่ค่าตรวจวัดมีค่าสูงกว่าอยู่ในเดือนกันยายน 2546, กันยายน 2548 และกันยายน 2551 จะสังเกตได้ว่าช่วงเวลาที่เกิดความต่างกันของข้อมูลจะเกิดขึ้นในฤดูฝน ดังนั้น ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะปริมาณฝนจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการจำลองปริมาณน้ำท่า

5.2.2 ผลการสอบทานปริมาณน้ำท่า

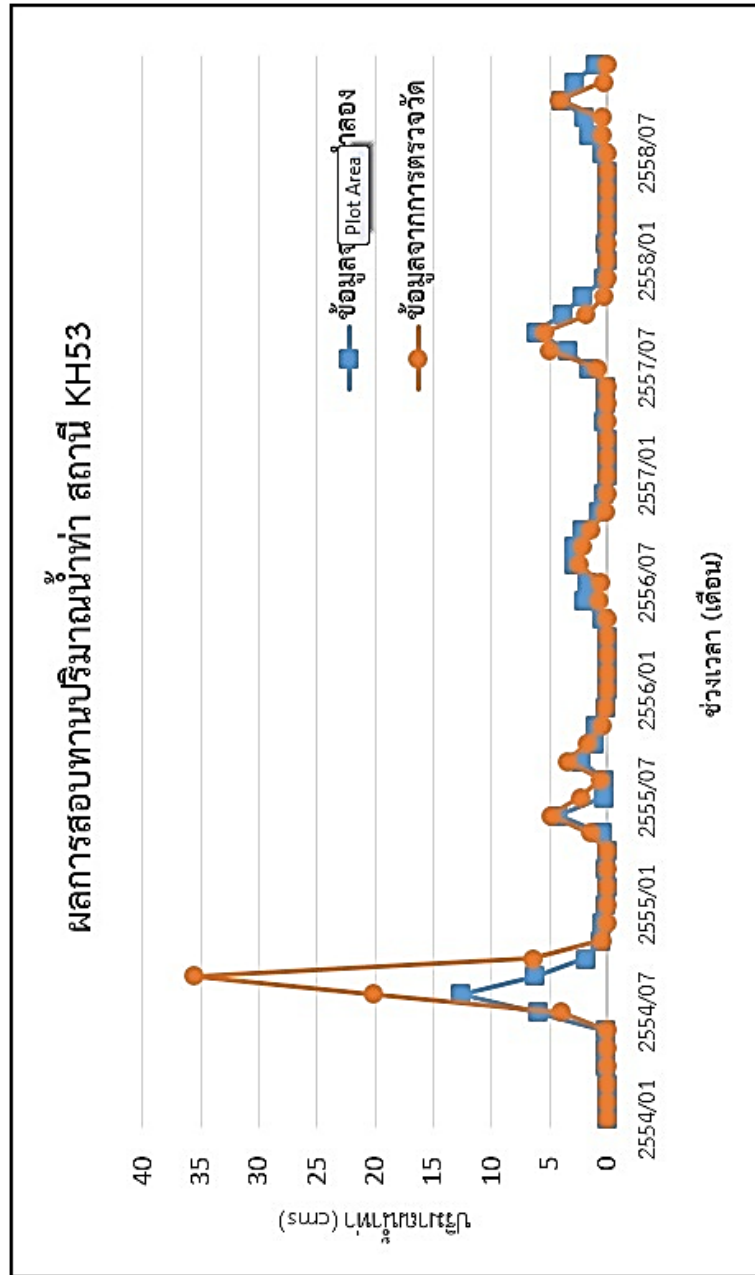
ในการศึกษานี้ มีการสอบทานปริมาณน้ำท่า โดยใช้ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน ระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2558 เป็นเวลา 6 ปี ใช้แผนที่ใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2554 ผลจากการสอบทาน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.51 ผลที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับผลการตรวจวัด แต่มีข้อมูลบางช่วงเวลาที่ข้อมูลตรวจวัดและแบบจำลองมีความแตกต่างกัน จากรูป 44 เห็นได้ชัดเจนว่าข้อมูลจากการตรวจวัดมีค่าสูงกว่าข้อมูลจากแบบจำลองในช่วงเดือนกันยายน 2559 โดยช่วงเวลาที่เกิดความต่างกันของข้อมูลจะเกิดขึ้นในฤดูฝน ดังนั้น ข้อมูลสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการจำลองปริมาณน้ำท่า นอกจากนี้ มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี 2544 – 2554 มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าเปลี่ยนมาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม เกษตรกรเปลี่ยนชนิดของพืชที่ปลูก โดยมีการเปลี่ยนจากพื้นที่ปลูกอ้อยมาเป็นพืชไร่ชนิดอื่นที่หลากหลายมากขึ้น เช่น ยางพารา มันสำปะหลัง ข้าวโพด เป็นต้น (ตาราง 15) ดังนั้น จึงเป็นสาเหตุทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลการสอบทานปริมาณน้ำท่า จึงน้อยกว่าผลจากการเปรียบเทียบ

ตาราง 15 พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544 และ 2554

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)		พื้นที่ (ร้อยละ)		
	2544	2554	2544	2554	
1	มันสำปะหลัง	37.96	29.62	9.35	7.30
2	ป่าไม้	186.80	177.98	46.04	43.89
3	พืชไร่	1.02	12.91	0.25	3.18
4	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	0.00	16.22	0.00	4.00
5	นาข้าว	97.89	99.15	24.13	24.45
6	ไม้ยืนต้น	3.21	23.10	0.79	5.70
7	อ้อย	62.83	24.96	15.48	6.15
8	เมือง ชุมชน	14.98	15.17	3.69	3.74
9	แหล่งน้ำ	1.05	6.42	0.26	1.58
	รวม	405.74	405.52	100.00	100.00



รูป 43 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำทำ



รูป 44 ผลการสอบทานปริมาณน้ำท่า ระหว่างปี 2544 – 2558

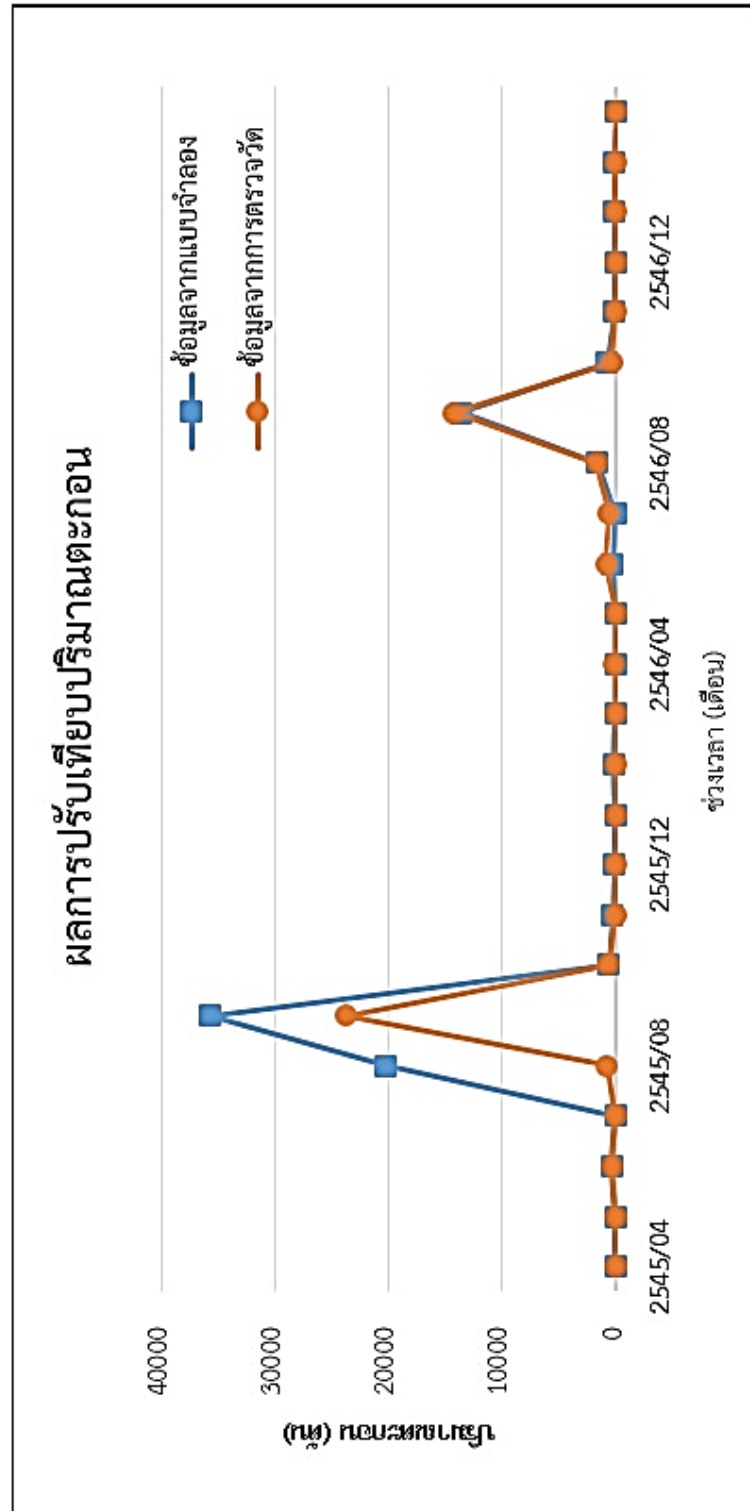
5.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอน

การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงด้วยแบบจำลอง SWAT มีการเปรียบเทียบ ปริมาณตะกอน 1 สถานี คือ สถานี KH53 โดยใช้ปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายเดือน ระหว่างปี พ.ศ. 2545 – 2547 เป็นเวลา 3 ปี โดยพารามิเตอร์ที่ปรับแก้ แสดงในตาราง 16 ซึ่งพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณตะกอนมีเพียง USLE_P (USLE equation support practice (P) factor) เท่านั้น

ตาราง 16 ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณตะกอน

พารามิเตอร์	คำนิยาม	ค่าต่ำสุด – สูงสุด	ค่าที่เหมาะสม
1. USLE_P (.Mgt)	USLE equation support practice (P) factor	0 -1	0.0005
2. SPEXP (.Bsn)	Exponential parameter for calculating sediment re-entrained in channel sediment routing	1 – 1.5	การปรับ
3. SPCON (.Bsn)	Linear parameter for calculating the maximum amount of sediment	0.0001 - 0.01	ค่าพารามิเตอร์ ไม่ส่งผลต่อ ปริมาณ
4. PRF (.Bsn)	Peak rate adjustment factor for sediment routing in the main channel.	0 - 2	ตะกอน

ผลการเปรียบเทียบ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.75 ผลที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับผลการตรวจวัด แต่มีข้อมูลบางช่วงที่ข้อมูลจากการตรวจวัดและแบบจำลองมีความแตกต่างกัน คือในช่วงเดือนสิงหาคม - กันยายน 2549 โดยข้อมูลจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดจริง สังเกตได้ว่าช่วงเวลาที่ตะกอนมีค่าสูงในช่วงเดือนกรกฎาคม - กันยายนที่เป็นฤดูฝน ดังนั้น ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจึงเป็นตัวแปรสำคัญในการเปรียบเทียบปริมาณตะกอน (รูป 45)



รูป 45 ผลการปรับเทียบปริมาณตะกอน ระหว่างปี พ.ศ. 2545 – 2547

5.4 ผลการจำลองปริมาณไนโตรเจน

การจำลองปริมาณไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงด้วยแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2554 มีการปรับเทียบโดยใช้ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์โดยผู้วิจัย ระหว่างปี พ.ศ. 2557 – 2558 ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 เดือน ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแก้ แสดงในตาราง 17

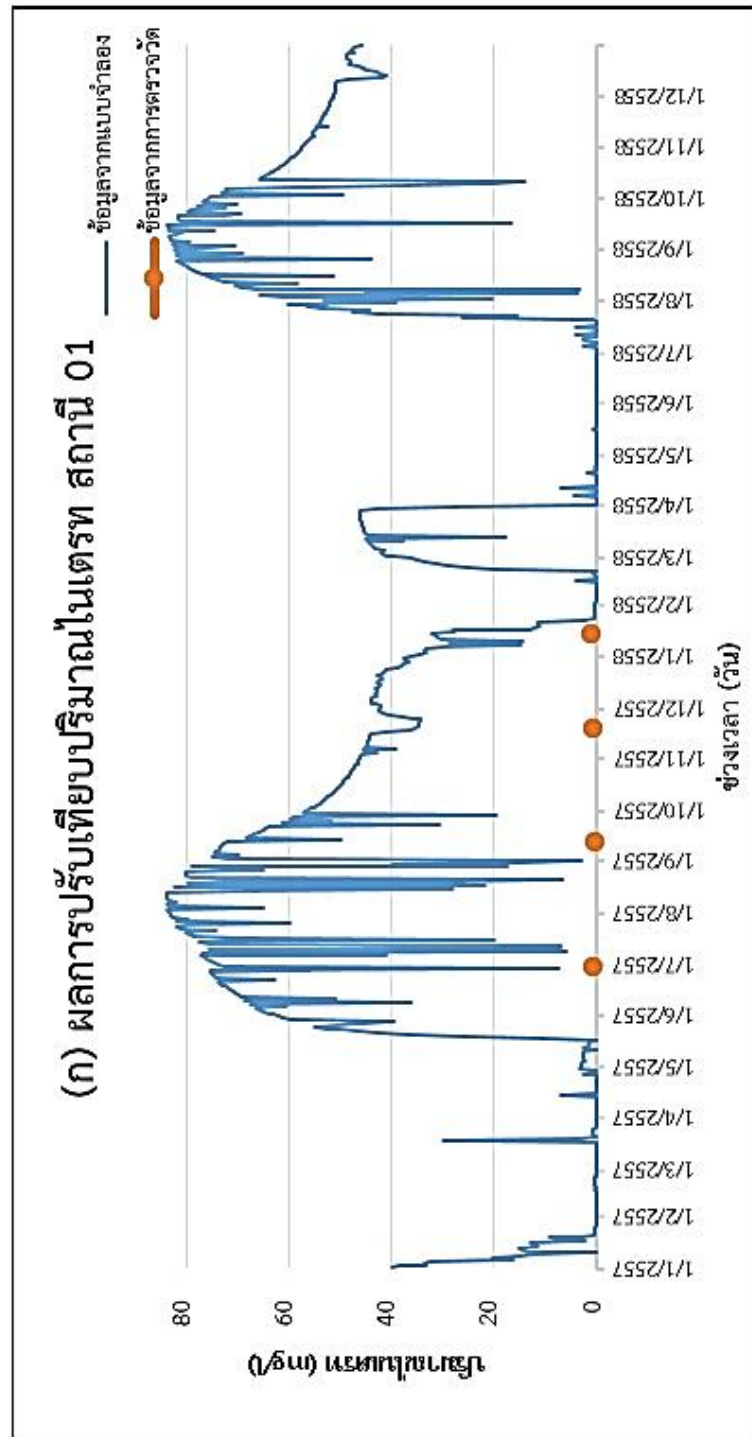
ตาราง 17 ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน

พารามิเตอร์	คำนิยาม	ค่าต่ำสุด – สูงสุด	ค่าที่เหมาะสม
1. Soil_NO ₃	Initial NO ₃ concentration in first soil layer	0-100	
2. NPERCO (.bsn)	Nitrogen percolation coefficient	0 - 1	
3. RCN (.bsn)	Nitrogen in rain	0 - 1	
4. N_UPDIS (.bsn)	Nitrogen uptake distribution parameter	0 - 100	การปรับ ค่าพารามิเตอร์
5. SCNDO (.bsn)	Denitrification threshold water content	0 - 1	ไม่ส่งผลต่อ ปริมาณไนเตรท
6. CDN (.bsn)	Denitrification exponential rate coefficient.	0 - 3	
7. CMN	Rate coefficient for mineralization of the humus active organic nutrients	0.001-0.003	
8. RSDCO (.bsn)	Residue decomposition coefficient	0.02-0.1	

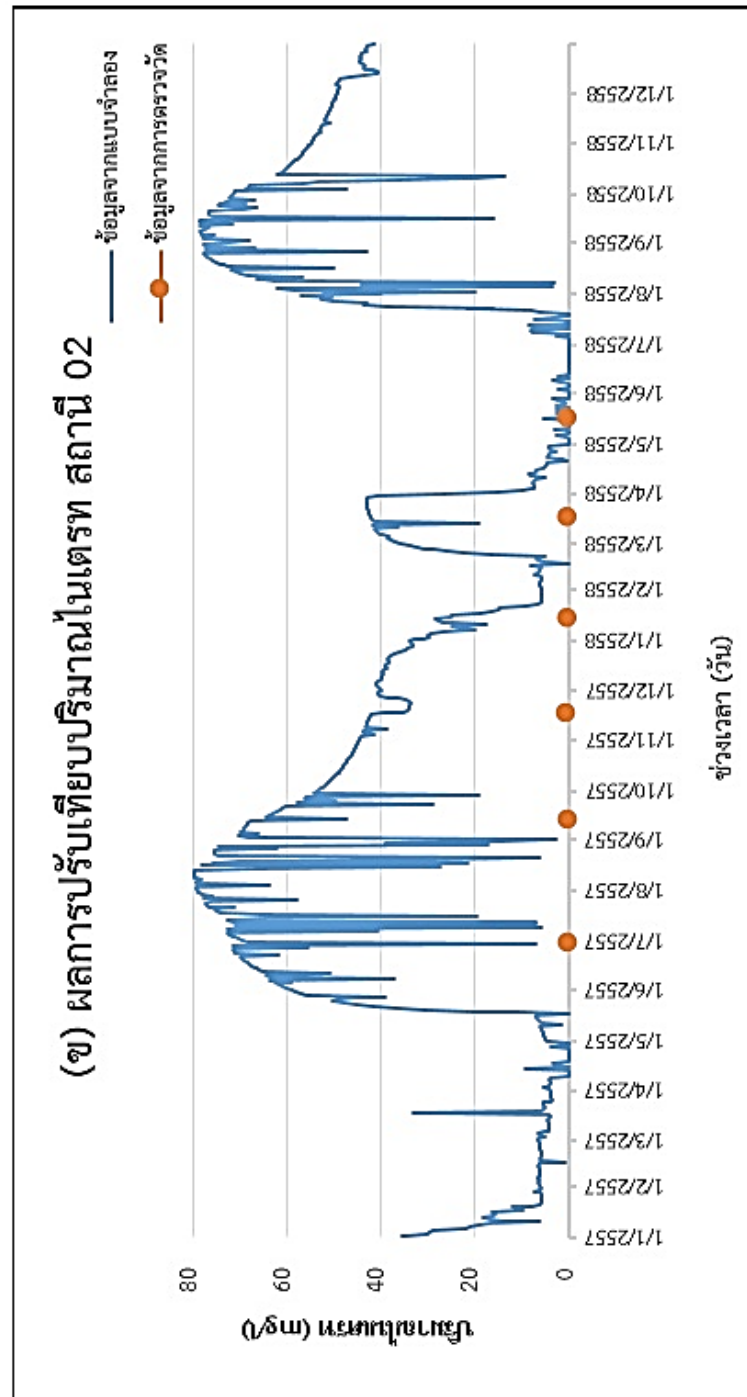
พารามิเตอร์ที่ปรับแก้ทั้งสิ้น 8 พารามิเตอร์ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลุ่มน้ำ (.bsn) ซึ่งเป็นกลุ่มหลักในการปรับเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน พบว่าทั้ง 8 พารามิเตอร์ไม่ส่งผลต่อปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน โดยผลจากการปรับเทียบในสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ ทั้ง 3 สถานี พบว่า ข้อมูลจากการจำลองและจากการตรวจวัดไม่มีความสอดคล้องกัน โดยผลจากแบบจำลองมีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสูงกว่าผลจากการตรวจวัดจริง (รูป 46 – 48)

ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนที่ได้จากแบบจำลองจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งช่วงเดือนมิถุนายน-มกราคม โดยแบบจำลองจะให้ผลในลักษณะเช่นนี้ ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2558 แนวโน้มของปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนจากแบบจำลอง มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาของการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม (ตาราง 7 ข้อมูลปฏิทินการเพาะปลูกพืช) โดยนาข้าวใส่ปุ๋ยเดือนสิงหาคมและตุลาคม อ้อยใส่ปุ๋ยเดือนธันวาคมและกุมภาพันธ์ และยางพาราใส่ปุ๋ยเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน และเดือนกันยายน-ตุลาคม นอกจากนี้ ปริมาณของไนเตรท-ไนโตรเจนจะมากหรือน้อยขึ้นยังอยู่กับปริมาณน้ำฝนด้วย

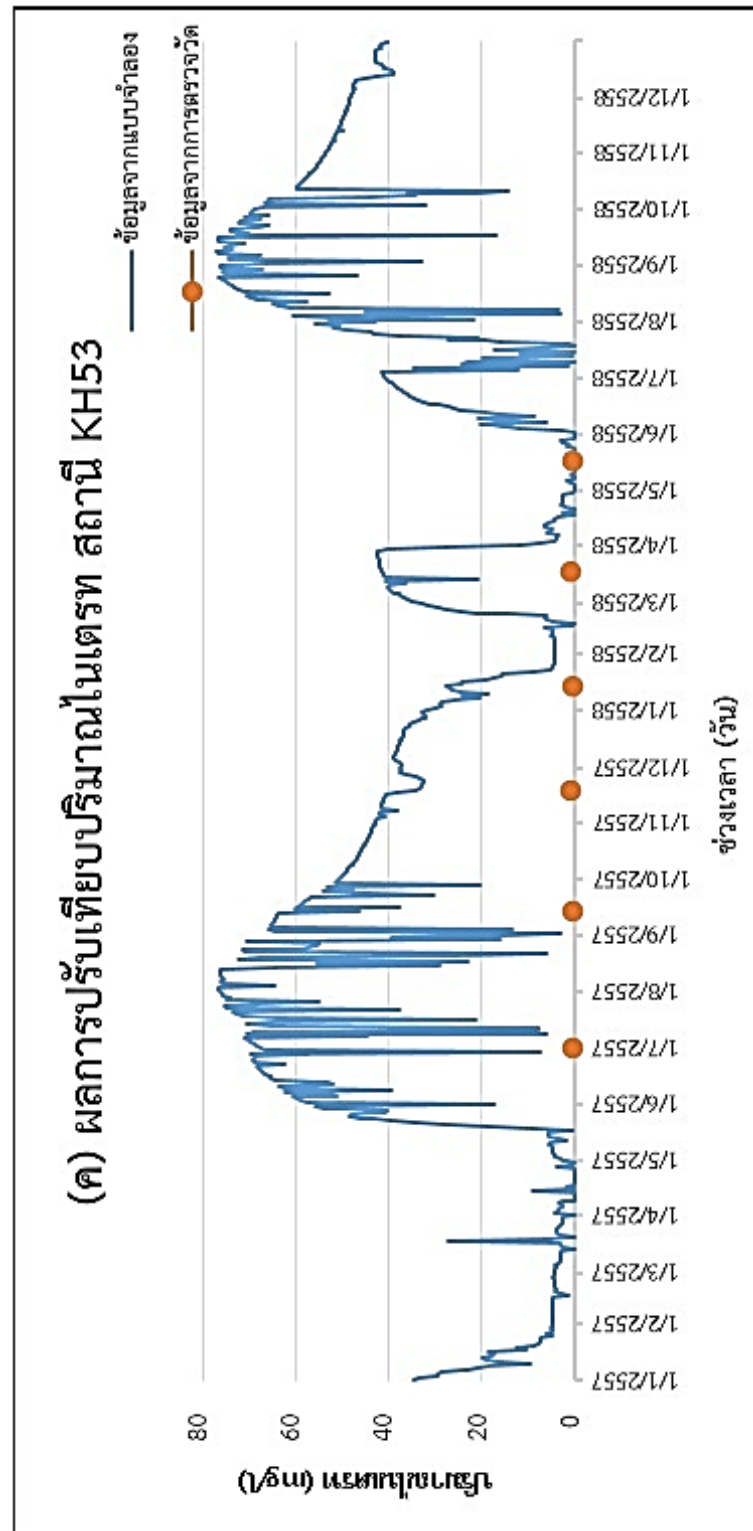




รูป 46 การเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท สถานี 01



รูป 47 การปรับเทียบปริมาณไนเตรท สถานี 02



รูป 48 การปรับเทียบปริมาณไนเตรท สถานี KH53

5.5 ผลการจำลองปริมาณฟอสเฟต

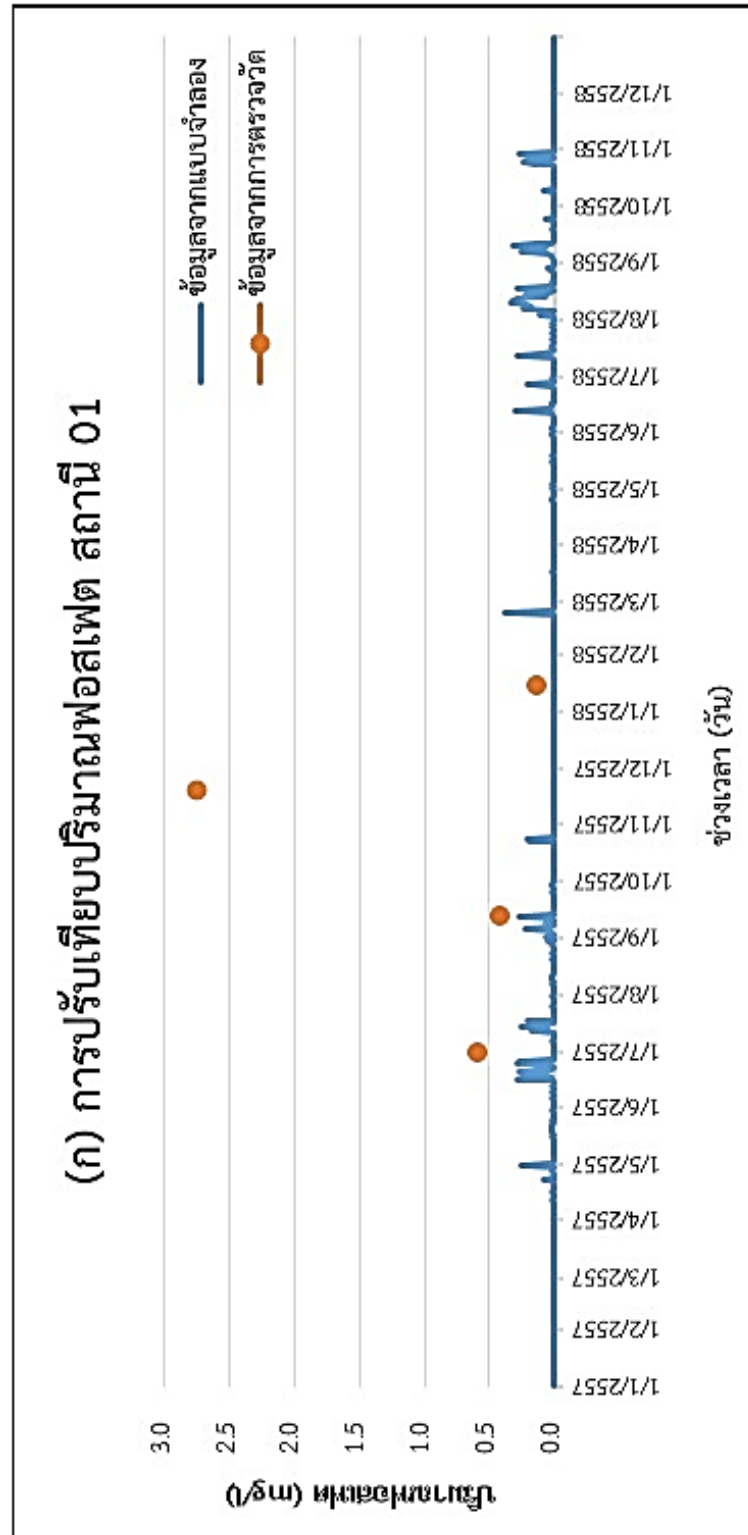
การจำลองปริมาณฟอสเฟตในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงด้วยแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2554 มีการปรับเทียบโดยใช้ปริมาณฟอสเฟต ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์โดยผู้วิจัย ระหว่างปี พ.ศ. 2557 – 2558 ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 เดือน ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแก้ แสดงในตาราง 18

ตาราง 18 ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณฟอสเฟต

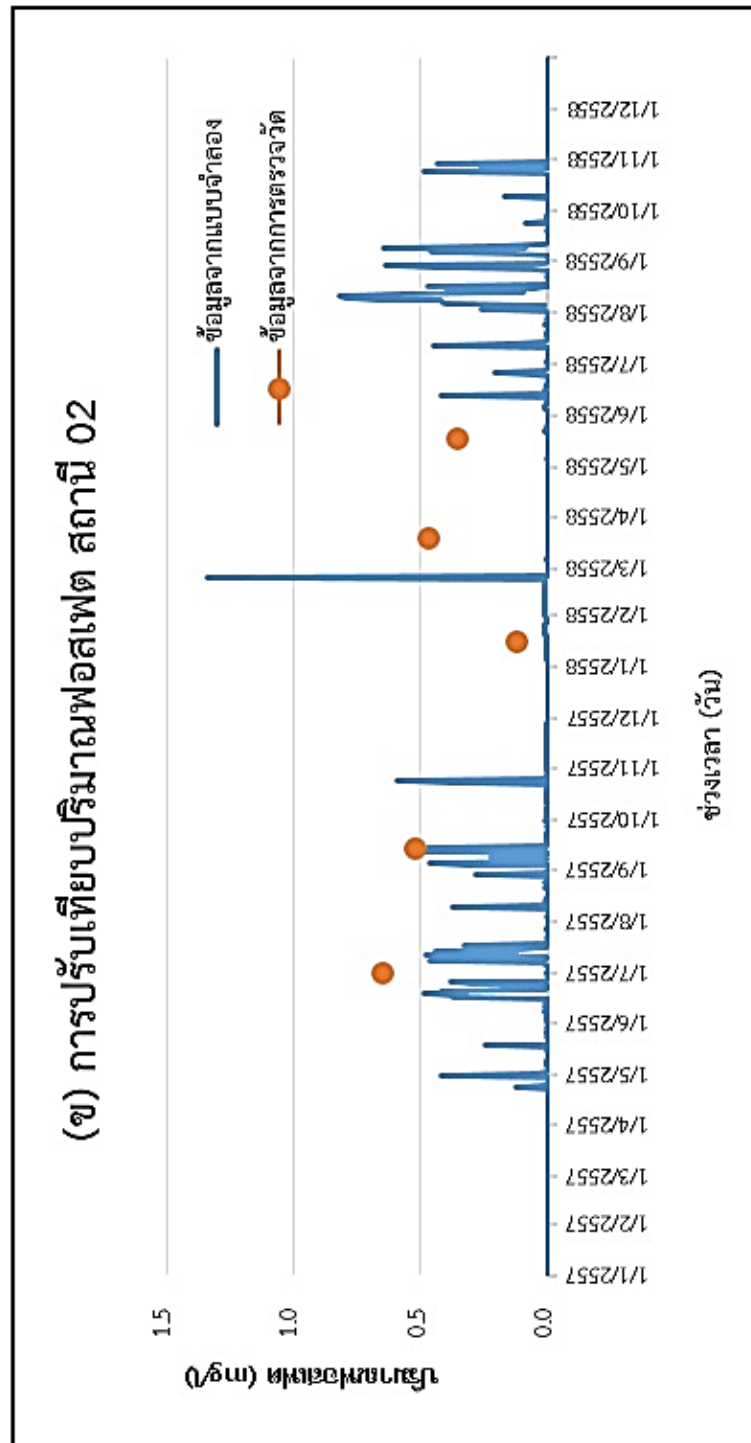
พารามิเตอร์	คำนิยาม	ค่าต่ำสุด – สูงสุด	ค่าที่เหมาะสม
1. Sol_labP	Initial solution phosphorus concentration in first soil layer	0-100	
2. PPERCO (.bsn)	Phosphorus percolation coefficient	0 - 1	การปรับ
3. P_UPDIS (.bsn)	Phosphorus uptake distribution parameter	0 - 100	ค่าพารามิเตอร์ ไม่ส่งผลต่อ
4. PHOSKD (.bsn)	Phosphorus soil partitioning coefficient	100 - 200	ปริมาณ ฟอสเฟต
5. PSP (.bsn)	Phosphorus sorption coefficient	0.01 – 0.7	

จากรูป 49-51 แสดงผลการปรับเทียบฟอสเฟต พารามิเตอร์ที่ปรับแก้ทั้งสิ้น 5 พารามิเตอร์ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลุ่มน้ำ (.bsn) ซึ่งเป็นกลุ่มหลักในการปรับเทียบปริมาณฟอสเฟต ผลจากการปรับเทียบพบว่า ข้อมูลจากการจำลองและจากการตรวจวัดจากทั้ง 3 สถานี ไม่มีความสอดคล้องกัน โดยผลจากแบบจำลองมีปริมาณฟอสเฟตต่ำกว่าผลจากการตรวจวัดจริง นอกจากนี้ พบว่าค่าฟอสเฟตจากแบบจำลองจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมีนาคมและเดือนพฤษภาคม-พฤษภาคม โดยแบบจำลองจะให้ผลในลักษณะเช่นนี้ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2558

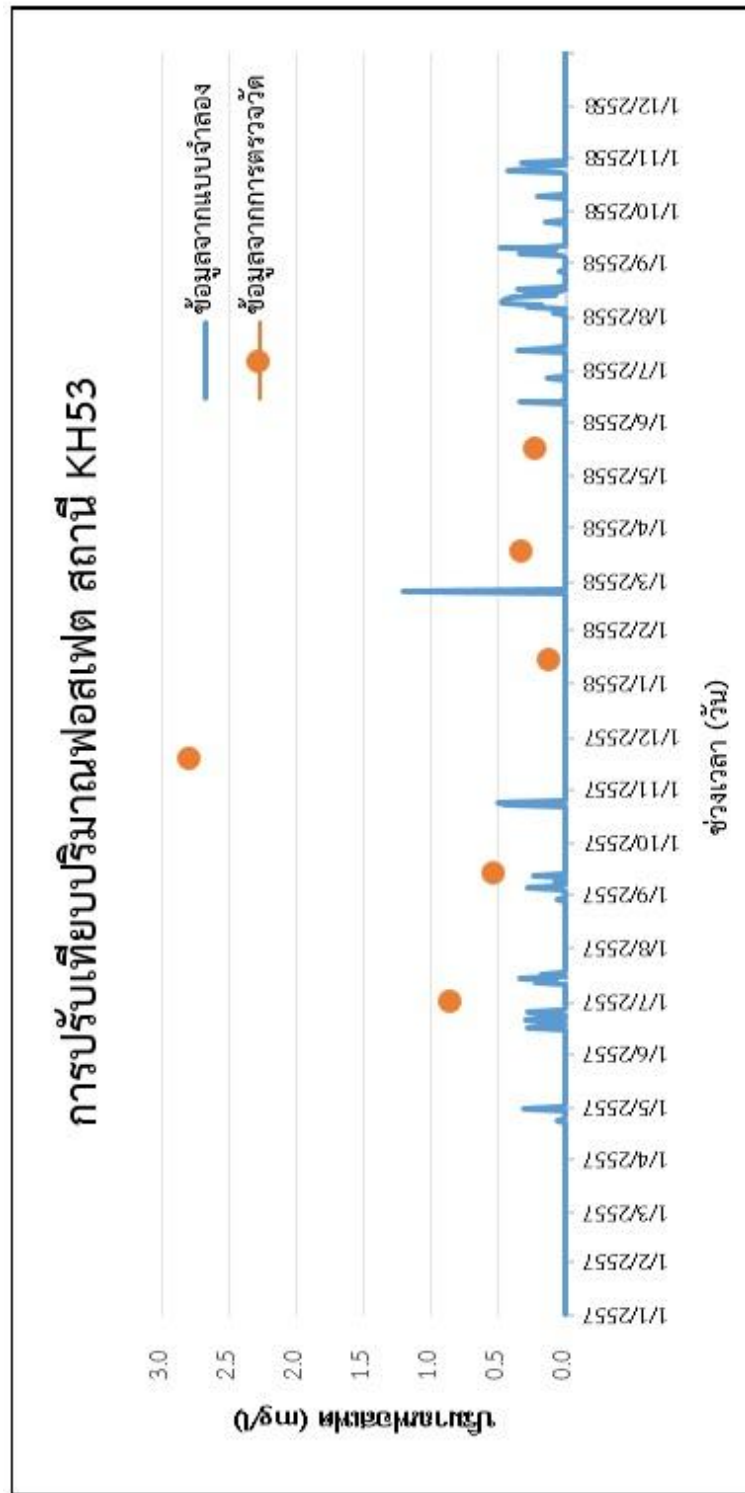
แนวโน้มของปริมาณฟอสเฟตจากแบบจำลอง มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาของการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม (ตาราง 7 ข้อมูลปฏิทินการเพาะปลูกพืช) โดยนาข้าวใส่ปุ๋ยเดือนสิงหาคมและตุลาคม และยางพาราใส่ปุ๋ยเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน และเดือนกันยายน-ตุลาคม นอกจากนี้ ปริมาณของฟอสเฟตจะมากหรือน้อยขึ้นยังอยู่กับปริมาณน้ำฝนด้วย



รูป 49 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสเฟต สถานี 01



รูป 50 การปรับเทียบปริมาณฟอสเฟต สถานี 02



รูป 51 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสเฟต สถานี KH53

ในการเปรียบเทียบไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสเฟตจากแบบจำลอง SWAT ไม่สอดคล้องกับค่าที่ตรวจวัด อาจมาจากหลายปัจจัย ดังนี้

1) ความสัมพันธ์กันของสมบัติดิน เนื่องจากทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส มีความสัมพันธ์กับสมบัติดินอื่นๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3 ดังนั้น การกำหนดข้อมูลนำเข้าลักษณะต่างๆ ของดินจึงมีความสำคัญ โดยการนำเข้าข้อมูลดินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ลักษณะดินทางกายภาพ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อควบคุมการไหลของน้ำและอากาศในชั้นดิน และเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลในหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU) ในขณะที่ลักษณะดินทางเคมีจะเป็นตัวกำหนดค่าเริ่มต้นของความแตกต่างของสมบัติดินทางเคมี แต่ในการนำเข้าข้อมูลบางค่าไม่สามารถกำหนดค่าในแบบจำลองได้ ต้องใช้ข้อมูลเริ่มต้นจากแบบจำลอง เช่น SOL_CAL คือ ค่า CaCO_3 มีค่าระหว่างร้อยละ 0 – 50 และ SOL_PH คือ ค่าความเป็นกรด – ด่าง มีค่าระหว่าง 3 – 10 จะเห็นว่าเป็นช่วงที่ไม่สอดคล้องกับดินในลุ่มน้ำห้วยหลวง ซึ่งมีค่าความเป็นกรด – ด่าง เฉลี่ย 5.44 จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองไม่สอดคล้องกันกับค่าที่ตรวจวัดจริง

2) ลักษณะธรณีสัณฐานของพื้นที่ต้นน้ำ เป็นภูเขาล้อมรอบ ตรงกลางเป็นพื้นที่เหลือค้างจากกัฏกร่อน และลานตะพักลำน้ำระดับสูง การนำเข้าจากแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (DEM) ที่กำหนดความชันของพื้นที่รวมถึงข้อมูลสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยส่งผลการการไหลของน้ำผิวดินและการชะล้างไนเตรท-ไนโตรเจนจากดินลงสู่แหล่งน้ำ ดังนั้น ในการจำลองค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดินจึงพบว่ามีปริมาณสูงมากกว่าจากค่าที่ตรวจวัด ในขณะที่ค่าฟอสเฟตที่ได้จากแบบจำลองต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด เนื่องจากแหล่งกำเนิดฟอสฟอรัสในน้ำมาจากกิจกรรมในครัวเรือน เช่น ผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน น้ำยาทำความสะอาดต่างๆ ซึ่งมีส่วนผสมของฟอสฟอรัสอยู่ และข้อมูลนี้ไม่ได้ถูกนำเข้าในแบบจำลอง ดังนั้น จึงทำให้การปรับเทียบแสดงผลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

3) การปรับเทียบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส พบว่าไม่มีพารามิเตอร์ที่ตอบสนอง จึงเป็นไปได้ว่าข้อมูลที่นำเข้าไม่ถูกนำไปคำนวณ และจะนำค่าเริ่มต้น (Default) ไปคำนวณแทน ดังนั้น ค่าที่ได้ในการปรับเทียบจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ข้อเสนอคือต้องใช้คำสั่ง Rewrite เพื่อลบค่าข้อมูลเก่า แล้วจึงสั่งให้แบบจำลองคำนวณค่าใหม่

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

6.1.1 สมบัติดิน

งานวิจัยครั้งนี้ ศึกษาสมบัติดินทั้งกายภาพและเคมีในกลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินสองครั้ง ครั้งแรกในช่วงก่อนปลูกข้าว โดยเก็บตัวอย่างดินตามลักษณะธรณีสัณฐานและลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคดิน ความหนาแน่น ความพรุน ความเป็นกรด-ด่าง อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน-ไนโตรเจน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และฟอสฟอรัสอินทรีย์ หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์สถิติพรรณา แผนภูมิกล่อง สถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน และจัดทำแผนที่การกระจายสมบัติดินด้วยวิธีคริกกิง และเก็บตัวอย่างตัวอย่างดินครั้งที่สองในช่วงระหว่างปลูกข้าว และนำมาหาค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จากนั้นนำมาหาความแตกต่างกันของสองช่วงฤดู

ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะเนื้อดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ส่วนใหญ่มีเนื้อหยาบ มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) องค์ประกอบอนุภาคประมาณร้อยละ 70 เป็นขนาดทราย (sand) ความหนาแน่นของดินส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความหนาแน่นรวมประมาณ 1.5 g/cm^3 ความหนาแน่นอนุภาค 2.5 /cm^3 ค่าความพรุนประมาณร้อยละ 40 ดินมีสภาพเป็นกรดจัด ส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5.0 – 5.5 ค่าอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง ร้อยละ 5.29 แต่ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 1 ซึ่งจัดว่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ที่อากาศร้อนและแห้งแล้ง อินทรีย์วัตถุจึงย่อยสลายตัวได้เร็ว และมีการสะสมตัวได้น้อยเนื่องจากเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นทราย ไนโตรเจนในรูปไนเตรทและแอมโมเนียมีความเข้มข้นประมาณ 18 และ 52 mg-N/kg ตามลำดับ ในขณะที่ไนโตรเจนรวมมีความเข้มข้นที่ค่อนข้างแปรปรวน มีค่าอยู่ระหว่าง 291-5,380 mg-N/kg ส่วนใหญ่มีค่าประมาณ 884 mg-N/kg ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และฟอสฟอรัสอินทรีย์ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.72 และ 254 mg-P/kg โดยการศึกษาโดยรวม มีความสอดคล้องกับรายงานสถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย

สมบัติดินตามลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า ป่าไม้ในพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน มีสัดส่วนอนุภาคทรายต่ำ แต่อนุภาคทรายแป้งและดินเหนียวสูงกว่าพื้นที่ประเภทอื่น ความหนาแน่นและความพรุนในดินโดยส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกันในทุกลักษณะธรณีสัณฐานและลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าสูงในป่าไม้ในพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน อินทรีย์วัตถุ

ในพื้นที่ปลูกยูคาลิปตัสมีค่าสูงสุด ในขณะที่ยางพาราและมันสำปะหลังมีค่าอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุดในเขตท-ไนโตรเจนและไนโตรเจนรวมมีค่าสูงบริเวณป่าไม้ในพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน ในขณะที่แอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยเท่าๆกันทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่มีค่าต่ำ (<10 mg-P/kg) ตลอดพื้นที่ลุ่มน้ำ ยกเว้นพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆในลานตะพักลำน้ำระดับกลางที่พบว่ามีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และฟอสฟอรัสอินทรีย์สูงกว่าพื้นที่อื่นๆ

โดยสรุป ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีสภาพที่มีความเป็นกรดจัด มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (อินทรีย์วัตถุต่ำ) ดังนั้น เพื่อปรับปรุงสมบัติดินให้มีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการทำเกษตรกรรมจึงต้องมีการปรับปรุงดินด้วยการลดความเป็นกรดของดินด้วยการใช้น้ำชะล้างความเป็นกรด โดยการขังน้ำไว้นาน ๆ แล้วระบายน้ำออกก่อนปลูกพืช หรือใส่วัสดุผสมลงไปดิน เช่น ปูนขาว ปูนมาร์ล เพื่อลดความเป็นกรดในดิน นอกจากนี้ ควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเพิ่มค่าอินทรีย์วัตถุอินทรีย์ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสอินทรีย์ในดิน สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีเกษตรควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดปุ๋ยควรเหมาะสมกับสภาพดินและความต้องการของพืช ระยะเวลาและปริมาณที่ใส่ ทั้งนี้ เพื่อป้องกันการชะล้างของไนเตรท-ไนโตรเจน การระเหยของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และการถูกตรึงของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ซึ่งจะทำให้ไม่ได้ประโยชน์จากปุ๋ยเคมีได้เท่าที่ต้องการ

จากแผนภูมิกล่องและแผนที่แสดงลักษณะการกระจายของสมบัติดินในลุ่มน้ำห้วยหลวงพบว่า ค่าสมบัติดินในแต่ละลักษณะธรณีสัณฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความแปรปรวนมากน้อยแตกต่างกัน ยกเว้น ค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นอนุภาคที่ส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับตลอดพื้นที่ จากแผนที่การกระจายพบว่าส่วนใหญ่บริเวณตอนกลางของลุ่มน้ำจะมีสมบัติดินที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่แสดงการกระจายเท่ากันเกือบทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ

ลักษณะธรณีสัณฐานส่งผลต่อขนาดอนุภาคทราย ทรายแป้ง และความเป็นกรด - ต่างให้ค่าต่างกัน ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างส่งผลต่อขนาดอนุภาคดิน ความเป็นกรด - ต่าง อินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง พบความสัมพันธ์กันระหว่างขนาดอนุภาคของเนื้อดิน ดินทรายมีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับค่าความหนาแน่นของอนุภาค ในขณะที่อินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับดินเหนียวและความหนาแน่นของอนุภาคอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอนุภาคทรายและทรายแป้ง ความเป็นกรด-ต่างไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับสมบัติดินอื่นๆ นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์กับอนุภาคทรายและทรายแป้ง ฟอสฟอรัสอินทรีย์กับอนุภาคดินเหนียว อินทรีย์วัตถุ ไนเตรท-ไนโตรเจน และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์วัตถุกับไนเตรท

ในการเปรียบเทียบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในช่วงก่อน-ระหว่างปลูกข้าว พบว่าธาตุอาหารที่มีปริมาณลดลง ได้แก่ ไนเตรท-ไนโตรเจน และไนโตรเจนรวม แอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีปริมาณเพิ่มขึ้น ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและไนโตรเจนรวม มีค่าลดลงในเกือบทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีปริมาณเพิ่มขึ้นเกือบทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์นั้น พบว่ามีทั้งที่ปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลง ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยธาตุอาหารระหว่างประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิด พบว่า มีเพียงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างครั้งแรกที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สาเหตุที่ทำให้ปริมาณ ธาตุอาหารแตกต่างกันเกิดจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น สภาพภูมิอากาศ ชนิดดิน สมบัติเฉพาะตัวของธาตุอาหารแต่ละชนิด และถึงแม้ว่ากิจกรรมการทำ การเกษตรในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน แต่ปริมาณไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6.1.2 การชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำห้วยหลวง

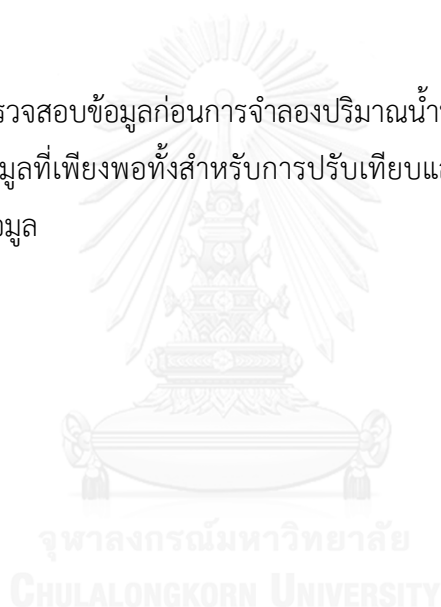
งานวิจัยนี้ในแบบจำลอง SWAT มาใช้การคำนวณการชะล้างธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าที่แบบจำลองต้องการ ได้แก่ แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (DEM) แผนที่ชนิดดิน แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลอุตุวิทยามหวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา และข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ดินและน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ในการประเมินจะประกอบด้วย การจำลองปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และปริมาณฟอสเฟต ก่อนดำเนินการจำลองข้อมูลต่างๆ ได้มีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า เพื่อทดสอบความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ว่าจะส่งผลต่อปริมาณน้ำท่ามากน้อยเพียงใด ในงานวิจัยนี้พบว่า พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำห้วยหลวงมากที่สุดคือ CN2 (Curve Number)

การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2543 – 2553 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.7 การสอบทานปริมาณน้ำท่า ระหว่างปี พ.ศ. 2554 - 2558 โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2554 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.51 การเปรียบเทียบปริมาณตะกอน ระหว่างปี พ.ศ. 2545 – 2547 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.75 ทั้งนี้ ข้อมูลจากแบบจำลองและข้อมูลจากการตรวจวัดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีข้อมูลช่วงฤดูฝนในบางปีที่ค่าข้อมูลมีความแตกต่าง ดังนั้น ข้อมูลสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการจำลองปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอน

การเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสเฟต ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2554 มีการเปรียบเทียบโดยใช้ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสเฟต จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์โดยผู้วิจัย ระหว่างปี พ.ศ. 2557 – 2558 โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 เดือน รวมทั้งสิ้น 6 ครั้ง จำนวน 3 สถานี ผลการเปรียบเทียบพบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าจากการตรวจวัด ในขณะที่ปริมาณฟอสเฟตจากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าจากการตรวจวัด ปริมาณไนโตรเจนจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาของการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม นาข้าว อ้อย และยางพารา ในขณะที่ปริมาณฟอสเฟตจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาของการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม นาข้าว และยางพารา นอกจากนี้ ปริมาณของไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสเฟตจะมากหรือน้อยขึ้นยังอยู่กับปริมาณน้ำฝนด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการตรวจสอบข้อมูลก่อนการจำลองปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และธาตุอาหารในแหล่งน้ำ โดยต้องมีข้อมูลที่เพียงพอทั้งสำหรับการเปรียบเทียบและสอบทาน เพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อมูล



รายการอ้างอิง

- A. M, R. S, V. S (2010) Evaluation of Non-Point Source N and P Loads in a Small Mixed Land Use Land Cover Watershed. *Journal of Water Resource and Protection 2*: 362-372
- Abbaspour KC, Yang J, Maximov I, Siber R, Bogner K, Mieleitner J, Zobrist J, Srinivasan R (2007) Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology 333*: 413-430
- Adhikari, Shukla P, Kumar M, Mexal JG (2012) Spatial variability of soil properties in an arid ecosystem irrigated with treated municipal and industrial wastewater. *Soil Science 177*: 458-469
- Adhikari P, Shukla MK, Mexal JG, Sharma P (2011) Assessment of the Soil Physical and Chemical Properties of Desert Soils Irrigated With Treated Wastewater Using Principal Component Analysis. *Soil Science 176*: 356-366
- Anderson JM, Ingram JSI (1993) *Tropical Biology and Fertility: A Handbook of Methods*, UK: S.I, CAB International.
- Arnold J, Srinivasan R, Neitsch S, George C, Abbaspour K, Hao FH, Sombatpanit S (2009) *Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Global Application*, Bangkok, Thailand: World Association of Soil and Water Conservation (WASWAC).
- Bai Y, Wang Y (2011) Spatial Variability of Soil Chemical Properties in a Jujube Slope on the Loess Plateau of China. *Soil Science 176*: 550-558
- Beathgen WE, Alley MM (1989) A Manual Colorimetric Procedure for Measuring Ammonium Nitrogen in soil and Plant Kjeldahl Digest. *Soil Sci Plant Anal 20*: 961-969.
- Bray RH, Kurtz LT (1945) DETERMINATION OF TOTAL, ORGANIC, AND AVAILABLE FORMS OF PHOSPHORUS IN SOILS. *Soil Science 59*: 39-46
- Bremner JM, Mulvaney CS (1982) *Nitrogen—total*. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds), *Methods of soil analysis. Part 2. Soil Sci. Soc. , Vol. 595-624*, Madison, WI.: Am. Inc.

- Carter MR, Gregorich EG (2008) *Soil sampling and methods of analysis / edited by* 2edn. Boca Raton, FL: [Pinawa, Manitoba] : Canadian Society of Soil Science ; CRC Press,.
- Celik I (2005) Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research* 83: 270-277
- Dixon B, Earls J (2012) Effects of urbanization on streamflow using SWAT with real and simulated meteorological data. *Applied Geography* 35: 174-190
- Foth HD (1978) *Fundamentals of soil science* New York Wiley.
- Foth HD (1984) *Fundamentals of soil science* 7edn. New York: Wiley.
- Fu B, Chen L, Ma K, Zhou H, Wang J (2000) The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China. *CATENA* 39: 69-78
- Gosain AK, Rao S, Basuray D (2006) Climate Change Impact Assessment on Hydrology of Indian River Basins. *Current Science* 90: 346-353
- Hajabbasi MA, Jalalian A, Karimzadeh HR (1997) Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. *Plant and Soil* 190: 301-308
- Havlin JL, Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD (2014a) *Soil fertility and fertilizers : an introduction to nutrient management* 8edn. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, 2014.
- Havlin JL, Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD (2014b) *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*, 8 edn. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall.
- Hou-Long J, Guo-Shun L, Xin-Zhong W, Wen-Feng S, Rui-Na Z, Chun-Hua Z, Hong-Chao H, Yan-Tao L (2010) Spatial Variability of Soil Properties in a Long-Term Tobacco Plantation in Central China. *Soil Science* 175: 137-144
- Islam KR, Weil RR (2000) Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 79: 9-16
- Lam QD, Schmalz B, Fohrer N (2012) Assessing the spatial and temporal variations of water quality in lowland areas, Northern Germany. *Journal of Hydrology* 438: 137-147

- Lamb JA, Fernandez FG, Kaiser DE. (2014) Extension Specialists in Nutrient Management. University of Minnesota Extension, Vol. 2017.
- Li XF, Chen ZB, Chen HB, Chen ZQ (2011) Spatial Distribution of Soil Nutrients and Their Response to Land Use in Eroded Area of South China. *Procedia Environmental Sciences* 10, Part A: 14-19
- Liu Z-P, Shao M-A, Wang Y-Q (2013) Spatial patterns of soil total nitrogen and soil total phosphorus across the entire Loess Plateau region of China. *Geoderma* 197–198: 67-78
- Liu Z, Zhou W, Shen J, He P, Lei Q, Liang G (2014) A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields in South China. *Geoderma* 235–236: 39-47
- López-Granados F, Jurado-Expósito M, Atenciano S, García-Ferrer A, Sánchez de la Orden M, García-Torres L (2002) Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil* 246: 97-105
- Loring DH, Rantala RTT (1992) Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews* 32: 235-283
- Maillard P, Pinheiro Santos NA (2008) A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed – Brazil. *Journal of Environmental Management* 86: 158-170
- Muttiah RS, Wurbs RA (2002) Modeling the Impacts of Climate Change on Water Supply Reliabilities. *Water International* 27: 407-419
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR (2011) *Soil & Water Assessment Tool*, Theoretical Documentation Version 2009, Texas: Texas Water Resource Institute.
- Nyle BC, Weil RR (2010) *Elements of the nature and properties of soils* / Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall.
- Ouyang W, Shan Y, Hao F, Chen S, Pu X, Wang MK (2013) The effect on soil nutrients resulting from land use transformations in a freeze-thaw agricultural ecosystem. *Soil and Tillage Research* 132: 30-38

- Plaster EJ (2014) *Soil science & management*, Clifton Park, NY: Cengage Learning.
- Pohlert T, Huisman JA, Breuer L, Frede HG (2005) Modelling of point and non-point source pollution of nitrate with SWAT in the river Dill, Germany. *Adv Geosci* 5: 7-12
- Roy DL, Miller RW, Miller JU (1977) *Soils : an introduction to soils and plant growth*, Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall.
- Saleh A, Arnold JG, Gassman PW, Hauck LM, Rosenthal WD, Williams JR, McFarland AMS (2000) APPLICATION OF SWAT FOR THE UPPER NORTH BOSQUE RIVER WATERSHED. 43
- Sanchez PA (1976) *Properties and management of soils in the tropics* New York: Wiley.
- Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Hauck LM, Dugas WA (2001) APPLICATION OF A WATERSHED MODEL TO EVALUATE MANAGEMENT EFFECTS ON POINT AND NONPOINT SOURCE POLLUTION. 44: 1559
- Sharma P, Shukla MK, Mexal JG (2011) Spatial variability of soil properties in agricultural fields of Southern New Mexico. *Soil Science* 176: 288-302
- Tan KH (2005) *Soil sampling, preparation, and analysis*, Florida: Taylor & Francis Group.
- Wang HJ, Shi XZ, Yu DS, Weindorf DC, Huang B, Sun WX, Ritsema CJ, Milne E (2009a) Factors determining soil nutrient distribution in a small-scaled watershed in the purple soil region of Sichuan Province, China. *Soil and Tillage Research* 105: 300-306
- Wang J, Fu B, Qiu Y, Chen L (2001) Soil nutrients in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on the loess plateau in China. *Journal of Arid Environments* 48: 537-550
- Wang Y, Zhang X, Huang C (2009b) Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma* 150: 141-149
- Zhang P, Liu Y, Pan Y, Yu Z (2013) Land use pattern optimization based on CLUE-S and SWAT models for agricultural non-point source pollution control. *Mathematical and Computer Modelling* 58: 588-595

- กรมพัฒนาที่ดิน (2556a) ชุดองค์ความรู้กึ่งศตวรรษพัฒนาที่ดิน การชะล้างพังทลายของดิน และการอนุรักษ์ดินและน้ำ, กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- กรมพัฒนาที่ดิน (2556b) ชุดองค์ความรู้กึ่งศตวรรษพัฒนาที่ดิน ดินของประเทศไทย, กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมพัฒนาที่ดิน (2558) สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย = *State of soil and land resources of Thailand* กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.
- กิตติพงษ์ ธนาศิริยะกุล (2546) การประเมินสัมพันธภาพลำน้ำย่อยของประเทศไทยด้วยข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศและแบบจำลองสาธารณสิทธิ์ SWAT/GIS : กรณีศึกษา พื้นที่แม่น้ำแม่ตื่น ตอนบน อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต Thesis, วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- เกษมศรี ชัยซ้อน (2541) ปฐพีวิทยา (*Soil Science*), กรุงเทพฯ: นานาสีพิมพ์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นวลศรี กาญจนกุล และคณะ (2543) ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทย, กรุงเทพฯ: กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.
- ปัทมา วิทยากร (2533) ดิน : แหล่งธาตุอาหารของพืช, ขอนแก่น: ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ, พีรวัฒน์ ปลาเงิน, สมพินิจ เหมืองทอง (2559) การศึกษาการจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวงโดยใช้แบบจำลอง SWAT. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า 14: 145-158
- พัชรี อธิจินดาจจร (2549) หลักและวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมี, ขอนแก่น: ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พันธุ์ลพ หัตถโกศล (2540) ธรณีสถิติ = *geostatistics* คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภัทรา ประเสริฐสมบัติ และคณะ (2554) ผลของการไถพรวนต่อสมบัติดินและผลผลิตข้าวโพดที่ปลูกบนดินชุดดินวาริน. เกษตร 39: 13-24
- ลิมป์ชัย ประชญาสิทธิกุล (2549) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL (SWAT MODEL) เพื่อการศึกษาสมดุลของน้ำในแม่น้ำทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต Thesis, มหาวิทยาลัยมหิดล,
- วรพงศ์ ฤกษ์เกลี้ยง (2559) ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของฝนต่อการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาตอนบนโดยใช้แบบจำลอง SWAT. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต Thesis, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

- ศรายุทธ วงษาศรี (2555) การประเมินปริมาณและคุณภาพน้ำในแม่น้ำพองตอนล่างโดยใช้
แบบจำลอง SWAT. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต Thesis, มหาวิทยาลัยขอนแก่น,
สาธิตา บุญแก้ววรรณ (2556) การประเมินปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตในแม่น้ำยมตอนล่างด้วย
แบบจำลอง SWAT. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต Thesis, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 (2560) รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม ปี 2559, กรุงเทพฯ:
สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
สิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 (2555) รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม ปีที่ 2554 ภาคที่ 9
ลุ่มน้ำโขง (เลย อุตรดิตถ์ หนองคาย บึงกาฬ สกลนคร นครพนม): กระทรวง
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- หิรัญวดี สุวิบูลย์ (2549) การประเมินปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิดในกลุ่ม
น้ำทะเลสาบสงขลา. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต Thesis, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,
เอิบ เขียววีร์นรมณ์ (2542) การสำรวจดิน, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โอฬาร เวศอุไร (2548) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่แม่น้ำน่านตอนบน
โดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต Thesis,
วิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก พิกัดจุดเก็บตัวอย่างดิน

ตาราง ก-1 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างในกลุ่มน้ำห้วยหลวง ครั้งที่ 1 ทั้งลุ่มน้ำ และครั้งที่ 2 ในพื้นที่ต้นน้ำ

สถานี	X	Y	การใช้ประโยชน์ ที่ดิน	ธรณีสัณฐาน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	241207	1887625	FOR	SC	26 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
2	241666	1887504	CAS	ES	26 มิ.ย. 2557	
3	242054	1887165	CAS	SC	26 มิ.ย. 2557	
4	242703	1886670	PAR	ES	26 มิ.ย. 2557	
5	243303	1887623	PAD	LT	26 มิ.ย. 2557	
6	244799	1891672	OAG	LT	26 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
7	240334	1892584	CAS	HT	26 มิ.ย. 2557	
8	240885	1891870	SUG	HT	26 มิ.ย. 2557	
9	242528	1894070	PAD	LT	26 มิ.ย. 2557	
10	244648	1895369	OAG	ES	26 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
11	244912	1895885	PAR	ES	26 มิ.ย. 2557	
12	245680	1896447	FOR	SC	26 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
13	244730	1907492	FOR	SC	26 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
14	242991	1912167	CAS	ES	26 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
15	245854	1912642	OAG	LT	26 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
16	264221	1914536	PAD	LT	26 มิ.ย. 2557	
17	263449	1912542	PAR	HT	26 มิ.ย. 2557	
18	262254	1909920	EUC	HT	26 มิ.ย. 2557	
19	259514	1910171	SUG	HT	26 มิ.ย. 2557	
20	257291	1911700	PAD	ES	26 มิ.ย. 2557	
21	253533	1909275	FOR	SC	27 มิ.ย. 2557	
22	243871	1910436	PAD	LT	27 มิ.ย. 2557	
23	240318	1914472	PAR	ES	27 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
24	233869	1917242	SUG	SC	27 มิ.ย. 2557	
25	233282	1918037	FOR	ES	27 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
26	233253	1918643	PAD	ES	27 มิ.ย. 2557	
27	237363	1922459	CAS	HT	27 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
28	237342	1928812	SUG	HT	27 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
29	233805	1929096	PAR	HT	27 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
30	233903	1929108	EUC	HT	27 มิ.ย. 2557	
31	239859	1927990	ABN	LT	27 มิ.ย. 2557	
32	243848	1932035	PAD	LT	27 มิ.ย. 2557	
33	246482	1927339	SUG	HT	27 มิ.ย. 2557	
34	290719	1986554	PAD	MT	27 มิ.ย. 2557	
35	299564	1990978	OAG	MT	27 มิ.ย. 2557	

ตาราง ก-1 (ต่อ)

สถานี	X	Y	การใช้ประโยชน์ ที่ดิน	กรณีพื้นฐาน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
36	301556	1989176	EUC	MT	27 มิ.ย. 2557	
37	303627	1986140	ABN	MT	27 มิ.ย. 2557	
38	301684	1986315	CAS	LT	27 มิ.ย. 2557	
39	301118	1985361	PAD	LT	27 มิ.ย. 2557	
40	301997	1981806	PAD	MT	27 มิ.ย. 2557	
41	301077	1979256	ABN	MT	27 มิ.ย. 2557	
42	298907	1981966	PAD	MT	27 มิ.ย. 2557	
43	302109	1974545	EUC	MT	27 มิ.ย. 2557	
44	305584	1976308	ABN	MT	27 มิ.ย. 2557	
45	308289	1970556	MAR	LT	27 มิ.ย. 2557	
46	311419	1969455	PAD	LT	27 มิ.ย. 2557	
47	308924	1962396	ABN	LT	27 มิ.ย. 2557	
48	303621	1956136	PAD	MT	27 มิ.ย. 2557	
49	295319	1951795	PAD	MT	27 มิ.ย. 2557	
50	294472	1948632	PAR	MT	27 มิ.ย. 2557	
51	284829	1966047	PAD	MT	28 มิ.ย. 2557	
52	283567	1967982	ABN	MT	28 มิ.ย. 2557	
53	294973	1970941	PAD	LT	28 มิ.ย. 2557	
54	290617	1976637	SUG	LT	28 มิ.ย. 2557	
55	288355	1980837	PAR	MT	28 มิ.ย. 2557	
56	295747	1972546	MAR	LT	28 มิ.ย. 2557	
57	292958	1963768	OAG	LT	28 มิ.ย. 2557	
58	289508	1962701	PAD	LT	28 มิ.ย. 2557	
59	290761	1956496	SUG	LT	28 มิ.ย. 2557	
60	296027	1956264	PAD	MT	28 มิ.ย. 2557	
61	298713	1947706	PAD	MT	28 มิ.ย. 2557	
62	289821	1938823	PAD	LT	28 มิ.ย. 2557	
63	298748	1942498	MAR	LT	28 มิ.ย. 2557	
64	301495	1937813	EUC	LT	28 มิ.ย. 2557	
65	305547	1936476	PAD	LT	28 มิ.ย. 2557	
66	304796	1933408	ABN	MT	28 มิ.ย. 2557	
67	263853	1932767	MAR	LT	28 มิ.ย. 2557	
68	268858	1932768	MAR	LT	28 มิ.ย. 2557	
69	274091	1940202	ABN	LT	28 มิ.ย. 2557	
70	286336	1946665	PAD	LT	28 มิ.ย. 2557	

ตาราง ก-1 (ต่อ)

สถานี	X	Y	การใช้ประโยชน์ ที่ดิน	ธรณีสัณฐาน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
71	288691	1938107	PAD	LT	28 มิ.ย. 2557	
72	287944	1936447	PAD	LT	28 มิ.ย. 2557	
73	282853	1932380	ABN	LT	28 มิ.ย. 2557	
74	289601	1931949	PAD	LT	28 มิ.ย. 2557	
75	306471	1926629	ABN	MT	28 มิ.ย. 2557	
76	307101	1916102	CAS	LT	29 มิ.ย. 2557	
77	299653	1914345	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	
78	296808	1920781	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	
79	292169	1921320	ABN	LT	29 มิ.ย. 2557	
80	288695	1915695	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	
81	283089	1918807	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	
82	276146	1918019	ABN	LT	29 มิ.ย. 2557	
83	254396	1919134	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	
84	249779	1919590	ABN	MT	29 มิ.ย. 2557	
85	244839	1914740	CAS	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
86	239887	1908239	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
87	246325	1891105	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
88	248336	1888192	ABN	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
89	247593	1886427	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
90	243463	1887393	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
91	239855	1896730	ABN	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
92	243234	1899966	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
93	239204	1901270	ABN	MT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
94	244123	1903130	CAS	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
95	234364	1926555	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
96	244575	1923433	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	13 ก.ย. 2557
97	252027	1933470	ABN	LT	29 มิ.ย. 2557	
98	258777	1932243	PAD	LT	29 มิ.ย. 2557	

ABN = abandoned land (ที่รกร้าง); CAS = cassava (มันสำปะหลัง); EUC = eucalyptus (ยูคาลิปตัส); FOR = forest (ป่าไม้); MAR = marsh and swamp (ที่ลุ่ม); OAG = other agriculture (เกษตรกรรมอื่นๆ); PAD = paddy (นาข้าว); PAR = para rubber (ยางพารา); SUG = sugarcane (อ้อย)

ES = erosion surface (พื้นที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน); HT = high terrace (ลานตะพักลำนํ้าระดับสูง); LT = low terrace (ลานตะพักลำนํ้าระดับต่ำ); MT = middle terrace (ลานตะพักลำนํ้าระดับกลาง); SC = slope complex (ที่ลาดชันเชิงซ้อน)

ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์

ภาคผนวก ข-1 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (Particle density)

ความหนาแน่นมี 2 ประเภท คือ ความหนาแน่นรวม (bulk density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลแห้งของดินและปริมาตรรวม และ ความหนาแน่นอนุภาค (particle density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลแห้งของดินต่อหน่วยปริมาตรของของแข็ง โดยความหนาแน่นรวมจะมีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นอนุภาคเสมอ การวิเคราะห์หาความหนาแน่นรวมของดิน ทำได้โดยการใช้กระบอกเจาะดินเก็บตัวอย่างดินจากภาคสนาม นำมาไล่ความชื้นออกให้หมดด้วยการอบดินที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาคำนวณค่าความหนาแน่น ซึ่งได้จากอัตราส่วนของมวลดินแห้งต่อปริมาตรของกระบอกเก็บดิน โดยปริมาตรของกระบอกที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เท่ากับ 5.72 ลูกบาศก์เซนติเมตร

อุปกรณ์

- 1) Volumetric flask 50 mL
- 2) Hot plate และ ถาดใส่น้ำ หรือ water bath
- 3) เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

- 1) ชั่งน้ำหนัก volumetric flask ที่แห้งและสะอาดแล้วบันทึกน้ำหนักไว้ (W_a) โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 2) เติมน้ำกรองซึ่งไล่อากาศออกแล้ว (เติมน้ำกรองปริมาณ 1,800 mL ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 mL ที่ตั้งบน hot plate ต้มนาน 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าฟองอากาศจะหมด และปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง) ใน volumetric flask จนได้ปริมาตร 50 mL (สังเกตจากขีดที่คอขวดของ volumetric flask) เช็ดภายนอก volumetric flask ให้แห้งด้วยผ้าสะอาดหรือกระดาษทิชชู แล้วชั่งน้ำหนัก (W_w)
- 3) เทน้ำกรองใน volumetric flask ออกแล้วใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2,000 mL (นำไปใช้สำหรับขั้นตอนที่ 5) และนำ volumetric flask ไปอบให้แห้งในตู้อบ ใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
- 4) ถ่ายตัวอย่างดินผึ่งแห้ง (air dry) ประมาณ 10 g ลงใน volumetric flask โดยใช้กรวยขนาดเล็ก บันทึกน้ำหนักดินที่เป็น air dry weight ไว้ (W_s)

5) นำ volumetric flask ในขั้นตอนที่ 4 เติมน้ำกรองที่ผ่านการต้มไล่อากาศแล้ว (จากขั้นตอนที่ 3) ปริมาณ 15 mL และนำ volumetric flask บรรจุลงภาดทรงสูงซึ่งบรรจุได้ 35 flask ที่เติมน้ำล่งที่ว่างของภาด และทำการต้มบน hot plate เพื่อไล่อากาศที่ละลายอยู่ในน้ำกรองและติดอยู่กับอนุภาคดิน (entrapped air) ระวังอย่าใ้ น้ำใน flask เดือดจนล้นและต้มให้ฟองอากาศหมดประมาณ 3-4 วันระหว่างต้มควรเขย่า volumetric flask เบาๆ เป็นครั้งคราว เพื่อป้องกันไม่ให้ฟองล้นและเป็นการช่วยไล่ฟองอากาศ

6) นำ volumetric flask ที่ต้มไล่อากาศในน้ำกรองและอนุภาคดินจนหมดแล้ว มาพักไว้จนเย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง เติมน้ำกรองจนได้ปริมาณ 50 mL (สังเกตจากขีดที่คอขวดของ volumetric flask) เช็ดภายนอก flask ให้แห้งด้วยผ้าสะอาดหรือกระดาษทิชชูแล้วชั่งน้ำหนัก (W_{sw}) และคำนวณผลการทดลอง

การคำนวณหา particle density ได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\rho_s = \frac{\rho_w (w_s)}{(w_w - w_a) - (w_{sw} - w_s - w_a)} \quad (\text{ข-1})$$

ภาคผนวก ข-2 ขนาดอนุภาคดิน (soil particle)

การหาขนาดอนุภาคดำเนินการโดยใช้เทคนิคการร่อนและการตกตะกอนด้วยวิธีการปิเปตซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ตามกฎของสโตรก (Annual Book of ASTM Standard, 1982) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การคำนวณเวลาที่ต้องใช้ในวิธีปิเปต

ก่อนการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยเทคนิคการตกตะกอน ต้องมีการคำนวณเวลาที่จะใช้ในการปิเปตสารละลายออกจากระดับความลึกที่กำหนด เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่ต้องการ โดยใช้กฎของสโตรก (Stroke' Law) ดังนี้

จากกฎของสโตรก

$$D = \sqrt{[30n/980(G-G_1)] \times L/T}$$

เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (มิลลิเมตร)

n = ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของตัวกลางแขวนลอย (poises)

ซึ่งในกรณีนี้ คือ น้ำ โดยค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของตัวกลางแขวนลอย

L = ระยะทางจากผิวหน้าของตัวกลางแขวนลอย ถึงระดับซึ่งความหนาแน่นของตัวกลางแขวนลอยถูกวัด (เซนติเมตร)

T = ระยะเวลาจากที่เริ่มตกตะกอนจนถึงตอนที่ดูดสารละลายออกโดยใช้ปิเปต (นาทีก)

G = ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคดิน

G_1 = ความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่นสัมพัทธ์) ของตัวกลางแขวนลอย

การทดลองในครั้งนี้ออนุภาคที่ใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการคำนวณหาเวลาที่ต้องการคือ ควอตซ์ (Quartz) ซึ่งเมื่อมีการกระจายตัวในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะมีค่า $G = 2.65$, $G_1 = 0.998$ และ $n = 0.01$ เมื่อนำมาคำนวณเวลา (T) ซึ่งไม่มีขนาดอนุภาคที่มากกว่า D ไมโครเมตร ในชั้นของสารละลายเหนือความลึก L (เมื่อ $D = 2$ ไมโครเมตร และ $L = 5$ เซนติเมตร) จะได้ค่า $T = 231.7266949$ นาที หรือ 3 ชั่วโมง 52 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ปิเปตอัตโนมัติ ขนาด 5 มิลลิเมตร
- 2) กระจกตกตะกอน
- 3) ไมค์นตะกอน

- 4) อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 5) เทอร์โมมิเตอร์
- 6) นาฬิกาจับเวลา
- 7) ตะแกรงร่อน
- 8) อลูมิเนียมฟรอย
- 9) เดสิกเคเตอร์
- 10) เครื่องชั่ง
- 11) ตู้อบ

สารเคมีและวิธีการเตรียม

- 1) สารกระจายเม็ดดิน (Dispersing Agent) ใช้ สารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต เข้มข้น 10% โดยปริมาตร
- 2) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 10% โดยปริมาตร

วิธีการดำเนินการ

- กำจัดสารอินทรีย์ออกจากตะกอนดังนี้
- 1) ชั่งตะกอนแห้งประมาณ 20-30 กรัม (บันทึกน้ำหนัก)
 - 2) เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 10% โดยปริมาตร เพื่อกำจัดอินทรีย์วัตถุ และช่วยให้ตะกอนกระจายตัว ทิ้งให้เกิดปฏิกิริยา 1 คืน
 - 3) ให้ความร้อนที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียสเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ บางตัวอย่าง ตะกอนซึ่งมีสารอินทรีย์อยู่มากอาจต้องมีการเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใน ปริมาณมาก
 - 4) กำจัดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากเกินไปออกโดยการทำให้เดือด
 - 5) ร่อนตะกอนแบบเปียก (Wet-Sieved) ผ่านตะแกรงร่อนขนาดรู 63 ไมโครเมตร ตะกอน ที่มีขนาดใหญ่กว่า 63 ไมโครเมตร ทำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก ผลที่ได้จะเป็นน้ำหนัก อนุภาคทราย (Sand) ตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่า 63 ไมโครเมตร ซึ่งประกอบด้วยขนาด อนุภาคที่เป็นทรายแป้ง (Silt) และ ดินเหนียว (Clay) มาวิเคราะห์ต่อด้วยวิธีการปิเปต โดยนำตะกอนส่วนนี้ใส่ลงในกระบอกตักตะกอน
 - 6) เติมสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต เข้มข้น 10% โดยปริมาตร ประมาณ 8-10 มิลลิลิตร

- 7) เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรบนสุดของกระบอกตวง เริ่มใช้ไม้คนกระบอกตวงจนอนุภาคภายในฟุ้งกระจาย เริ่มจับเวลาทันทีหลังจากหยุดคน (การวิเคราะห์ทำที่ อุณหภูมิคงที่ 20 องศาเซลเซียส)
- 8) หลังจากเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง 52 นาที ดูดน้ำที่เหนือระดับความลึก 5 เซนติเมตร ใส่ในอลูมิเนียมฟลอยซึ่งชั่งน้ำหนักไว้ก่อนแล้วโดยใช้ปิเปตอัตโนมัติ
- 9) ทำให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ และ ชั่งน้ำหนัก ผลที่ได้จะเป็นน้ำหนักของอนุภาคขนาดดินเหนียว (<2 ไมโครเมตร)
- 10) คำนวณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคแต่ละขนาด (ทราย ทรายแป้ง และ ดินเหนียว) โดยถือว่า น้ำหนักรวมของทุกขนาดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์



ภาคผนวก ข-3 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด (acidity) หรือความเป็นด่าง (alkalinity) ของดิน หมายถึง ปฏิกริยาของดิน โดยดินที่เป็นกรด (acid soil) คือ ดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 ดินที่เป็นด่าง (alkaline soil) คือ ดินที่มีค่า pH สูงกว่า 7 แต่ถ้าดินมีค่า pH เท่ากับ 7 หมายความว่าดินมีความเป็นกลาง โดยตาราง ข-1 แสดงปฏิกริยาของดินตามระดับค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆความเป็นกรด-ด่างจะเป็นตัวกลางในการควบคุมปฏิกริยาต่างๆ ของดิน และมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่ควบคุมการแปรรูปของธาตุอาหารพืชหลายชนิด

การวัดความเป็นกรดเป็นด่างของดิน นิยมวัดออกมาเป็นค่าของ pH แทนการบอกเป็นค่าความเข้มข้นของ H^+ หรือ OH^- ในสารละลาย ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย “ผลคูณของความเข้มข้นของ H^+ และ OH^- จะมีค่าคงที่เท่ากับ $10^{-14} M$ ” ดังนั้น การวัดความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย จึงนิยมวัดเฉพาะความเข้มข้นของ H^+ (active acidity) เท่านั้น โดยที่

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

เมื่อ $[H^+]$ คือความเข้มข้นของ H^+ ในสารละลาย มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร

การวัด pH ของดิน ในห้องปฏิบัติการทดลอง สามารถวัดในสารละลายได้หลายชนิด เช่น วัดในน้ำ, สารละลายโปแตสเซียมคลอไรด์, สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์ และโดยทั่วไปมักใช้สัดส่วนของดินต่อน้ำเป็น 1:1 หรือ 1:2

อุปกรณ์

1. เครื่อง pH meter
2. เครื่องชั่ง
3. ปีกเกอร์พลาสติก ขนาด 50 มล.
4. แท่งแก้วสำหรับคน
5. กระจกฉีดยาน้ำ
6. ซ้อนตวง
7. กระจกตวง 25 มล.

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐาน pH 7.0 (Standard buffer Solution)
2. สารละลายมาตรฐาน pH 4.0 (Standard buffer Solution)
3. สารละลายมาตรฐาน pH 10.0 (Standard buffer Solution)

วิธีการ

การวัด pH ในน้ำ อัตราส่วน ดิน : น้ำ = 1:1 (w/w)

ชั่งดิน 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์พลาสติก เติมน้ำกลั่น 20 มล. คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว เป็นระยะ ให้บ่อยครั้งในระยะ 30 นาทีแรก หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที จึงวัด pH ของดินในส่วนที่เป็นน้ำใสด้วย pH meter หรือใช้ช้อนตวงตักดินและตวงน้ำแทนการชั่งดิน เพื่อวัด pH (1:1, v/v)

ตาราง ข-1 ปฏิกริยาดินตามระดับค่าความเป็นกรด-ต่างต่างๆ

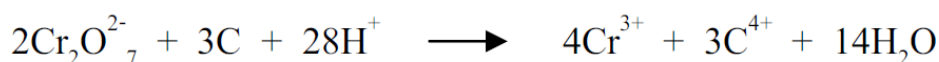
ค่าความเป็นกรด-ต่าง	ปฏิกริยาดิน
< 3.5	กรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)
3.5 – 4.4	กรดรุนแรงมาก (extremely acid)
4.5 – 5.0	กรดจัดมาก (very strongly acid)
5.1 – 5.5	กรดจัด (strongly acid)
5.6 – 6.0	กรดปานกลาง (moderately acid)
6.1 – 6.5	กรดเล็กน้อย (slightly acid)
6.6 – 7.3	เป็นกลาง (neutral)
7.4 – 7.8	ด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)
7.9 – 8.4	ด่างปานกลาง (moderately alkaline)
8.5 – 9.0	ด่างจัด (strongly alkaline)
> 9.0	ด่างจัดมาก (very strongly alkaline)

ที่มา; (เอิบ เขียวรัตน์, 2542)

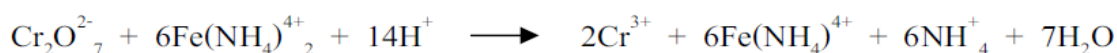
ภาคผนวก ข - 4 อินทรีย์วัตถุ

อินทรีย์วัตถุที่วิเคราะห์ในครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์โดยวิธี วอลกี-แบล็ค (Walkey-Black Method) ซึ่งพัฒนาและปรับปรุงโดย Loring and Rantala (1995) เป็นวิธีที่แยกสารฮิวมัสออกจากคาร์บอนอินทรีย์อื่นๆ เช่น แกรไฟท์ (Graphite) ถ่านหิน (Coal) และคาร์บอนอินทรีย์ที่เฉื่อยต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และเป็นวิธีที่ดีวิธีหนึ่งในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในตะกอน โดยสารอินทรีย์ที่วิเคราะห์ออกมาโดยวิธีนี้ เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถออกซิไดซ์ได้ (Readily Oxidizable Organic Matter) ซึ่งถือเป็นสารอินทรีย์ในรูปที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยง่ายในสิ่งแวดล้อม

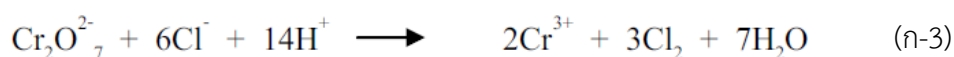
หลักการวิเคราะห์ คือ ในสภาวะที่เป็นกรด คาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไดโครเมต ดังแสดงในสมการ (ก-1)



เมื่อใส่ไดโครเมตให้มีปริมาณที่มากเกินไป เมื่อคาร์บอนอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์ไปหมดแล้วสามารถหาปริมาณไดโครเมตที่เหลือ โดยปฏิกิริยารีดักชันของไดโครเมตด้วยสารละลายเฟอร์รัส ใช้ไดฟีนิลลามีนเป็นอินดิเคเตอร์ เติมกรดฟอสฟอริกลงไปเพื่อสังเกตจุดยุติได้ง่ายขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น แสดงในสมการ (ก-2)



เนื่องจากไดโครเมตทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออน ดังสมการ (ก-3) เพื่อป้องกันการสูญเสียไดโครเมตไปในปฏิกิริยานี้ จึงมีการเติมซิลเวอร์ซัลเฟตลงไป



วิธีการตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอน มีรายละเอียดและขั้นตอนดังแสดงต่อไปนี้

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
- 2) เครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer)
- 3) ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมีและวิธีการเตรียม

- 1) กรดฟอสฟอริก
- 2) โซเดียมฟลูออไรด์
- 3) เดกโทรส

- 4) สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นและซิลเวอร์ซัลเฟต (Concentrated H_2SO_4 with Ag_2SO_4)
(เตรียมโดย ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 2.5 กรัม ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ลิตร)
- 5) สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 1 นอร์มอล (Standard 1 N $K_2Cr_2O_7$ Solution)
(เตรียมโดย ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 49.04 กรัม ในน้ำ และ เจือจางเป็น 1 ลิตร)
- 6) สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เข้มข้น 0.5 นอร์มอล (0.5 N Ferrous Solution)
(เตรียมโดย ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 19.1 กรัม ในน้ำ 800 มิลลิลิตร ซึ่งมีกรดซัลฟูริกเข้มข้นอยู่ 20 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางให้เป็น 1 ลิตร)
- 7) ไตฟีนิลลามีนอินดิเคเตอร์ (เตรียมโดย ละลายไตฟีนิลลามีนประมาณ 0.5 กรัม ในน้ำ 20 มิลลิลิตร และ กรดซัลฟูริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร)

วิธีดำเนินการ

1. ใช้ตัวอย่างตะกอนแห้งที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาดรู 1000 ไมโครเมตร จำนวน 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยใช้บิวเรต และ เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต จำนวน 20 มิลลิลิตร ผสมกัน โดยค่อยๆ หมุนประมาณ 1 นาที ตั้งของผสมที่ได้ไว้ประมาณ 30 นาที
3. ทำแบลنگ์ทุกครั้งเมื่อเปลี่ยนชุดทดลองใหม่
4. หลังจาก 30 นาทีผ่านไป เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ตามด้วยกรดฟอสฟอริก จำนวน 10 มิลลิลิตร และ โซเดียมฟลูออไรด์ ปริมาตร 0.2 กรัม
5. เติมไตฟีนิลลามีนอินดิเคเตอร์ จำนวน 15 หยด (0.5 มิลลิลิตร)
6. ไตรเตรทสารละลายที่ได้ด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เข้มข้น 0.5 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายสีเขียวทัวเป็ด (brilliant green)

การคำนวณผล

$$\% \text{ อินทรีย์วัตถุ} = 10 (1-T/S) \times F$$

S = ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เข้มข้น 0.5 นอร์มอล ที่ใช้ไปใน การไตเตรทแบลنگ์ (มิลลิลิตร)

T = ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เข้มข้น 0.5 นอร์มอล ที่ใช้ไปใน การไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

F = ค่าที่ได้จาก

$$F = (1.0 \text{ N}) \times 12/4000 \times 1.72 \times 100/\text{น้ำหนักตัวอย่างตะกอน}$$

$$= 1.03 \text{ เมื่อน้ำหนักของตัวอย่างเท่ากับ } 0.5 \text{ กรัม}$$

การทำมาตรฐานในการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ

ทำมาตรฐานของสารละลายที่ใช้ในการไตเตรทสารอินทรีย์โดยใช้เดกโทรส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) เป็นสารมาตรฐานซึ่งในเดกโทรสจะมีคาร์บอนอยู่ประมาณ 39.99 เปอร์เซ็นต์ โดยการชั่งเดกโทรส 0.01 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ แล้วทำการทดลองหาปริมาณคาร์บอนด้วยวิธีการเหมือนกับขั้นตอนการหาสารอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอกดินหรือแบลงก์ จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ค่าที่ได้ควรใกล้เคียงกับ 39.99 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีคำนวณดังสมการ

$$\% \text{ คาร์บอน} = 10 (1-T/S) \times F$$

$$\text{เมื่อ } F = (1.0 \text{ N}) \times 12/4000 \times 100/\text{น้ำหนักเดกโทรส}$$

(F มีค่าเท่ากับ 30 เมื่อดอกโทรสหนัก 0.01 กรัม)

ภาคผนวก ข – 5 การวิเคราะห์ไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน

การสกัดไนเตรทออกจากดินจะใช้โพแทสเซียมซัลเฟต(K_2SO_4) ในการทำให้เกิดสีเป็นการเกิดปฏิกิริยาของไนเตรทที่ได้จากการสกัดทำปฏิกิริยากับกรดซาลิไซลิก ($C_7H_6O_3$) ในกรดกำมะถัน (H_2SO_4) เกิดเป็นสารประกอบสีเหลืองเมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร (Anderson & Ingram, 1993)

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 มล.
2. กระจกบอทวงขนาด 25 มล.
3. กระจกตาชกรองวัดแมนเบอร์ 5
4. ปิเปตปรับปริมาตร
5. หลอดทดลองขนาด 16x150 มล.
6. เครื่องชั่งละเอียด 0.01 กรัม
7. เครื่องเขย่า
8. เครื่องกรอง
9. เครื่องวัดวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สารเคมีและวิธีเตรียมการ

1. สารโพแทสเซียมซัลเฟต 0.5 โมลาร์: ละลายสารโพแทสเซียมซัลเฟต 87.14 กรัม ในน้ำปราศจากไอออนและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 โมลาร์: ละลายสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 80.00 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 500 มล.
3. สารละลายกรดซาลิไซลิก (5%) ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น: ละลายกรดซาลิไซลิก 5 กรัม ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 95 มล. ควรเก็บสารนี้ไว้ในขวดสีชาและเก็บในที่เย็น สารนี้สามารถเก็บไว้ได้นาน 7 วัน
4. สารละลายมาตรฐานไนเตรทไนโตรเจน 1,000 มก.ต่อลิตร: นำโพแทสเซียมไนเตรทที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 5 ชม. มา 0.7223 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มล.

วิธีดำเนินการ

1. การสกัด

- 1.1. ชั่งดิน 10.00 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 มล.
- 1.2. เติมโพแทสเซียมซัลเฟต 0.5 โมลาร์ ลงไป 20 มล.
- 1.3. นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่า 1 ชม.
- 1.4. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 5

2. การทำให้เกิดสี

- 2.1. เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรทไนโตรเจน 0, 0.2, 0.5, 1, 2, และ 4 มก.ต่อลิตร จากสารละลายมาตรฐานไนเตรทไนโตรเจน 1,000 มก.ต่อลิตร เป็น stock 1 แล้วเตรียม stock 2 โดยใช้สารละลายมาตรฐานไนเตรทไนโตรเจน 1,000 มก.ต่อลิตร เจือจางเป็นสารละลายมาตรฐานไนเตรทไนโตรเจน 100 มก.ต่อลิตร ปรับปริมาตรด้วยโพแทสเซียมซัลเฟต 0.5 โมลาร์
- 2.2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานในข้อ 2.1 มา 1 มล. ใส่ลงหลอดทดลอง
- 2.3. เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 1 มล. และเขย่าเบาๆ
- 2.4. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มล. เขย่าเบาๆ แล้ววางทิ้งไว้ 1 ชม.
- 2.5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ อ่านค่าการดูดกลืนแสง (ABS: Absorbance) ที่ 410 นาโนเมตร และใช้สารละลายที่ไม่มีไนเตรทไนโตรเจนอยู่ (Zero standard) ปรับให้เครื่องเท่ากับ 0
- 2.6. ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน

ภาคผนวก ข – 6 การวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในดิน

การหาแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะทำการสกัดดินด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) และนำไปทำให้เกิดสีด้วยโซเดียมซาลิไซเลท และคลอรีนที่ได้จากโซเดียมไฮโปคลอไรด์ เกิดเป็นสารสีเขียว นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 มล.
2. กระจกตวงขนาด 25 มล.
3. กระจกทรงวงวัดแมนเบอร์ 5
4. ปิเปตปรับปริมาตร
5. หลอดทดลองขนาด 16x150 มล.
6. เครื่องชั่งละเอียด 0.01 กรัม
7. เครื่องเขย่า
8. เครื่องกรอง
9. เครื่องวัดวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สารเคมีและวิธีเตรียมการ

1. สารโพแทสเซียมคลอไรด์ 2 โมลาร์: ละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 149.12 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. สารละลายบัฟเฟอร์: ละลายโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตไดไฮเดรต 29.48 กรัม โซเดียม-โพแทสเซียมทาเทรต 55 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 59.4 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
3. สารละลายโซเดียมซาลิไซเลต-โซเดียมไนโตรพลัสไซด์: ละลายโซเดียมซาลิไซเลต 150 กรัม และโซเดียมไนโตรพลัสไซด์ 0.3 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาในตู้เย็น
4. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์: ผสมโซเดียมไฮโปคลอไรด์ 7% จำนวน 4.5 มล. กับน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มล.
5. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียไนโตรเจน 1,000 มก.ต่อลิตร: ละลายแอมโมเนียมซัลเฟตที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสประมาณ 2 ชั่วโมง มา 4.714 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีดำเนินการ

1. การสกัด

- 1.1. ชั่งดิน 2.5 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 มล.
- 1.2. เติมโพแทสเซียมคลอไรด์ 2.0 โมลาร์ 25 มล.
- 1.3. นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่า 1 ชั่วโมง
- 1.4. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 5

2. การทำให้เกิดสี

- 2.1. เตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียไนโตรเจน 0, 2, 5, 10, และ 20 มก.ต่อลิตร จากสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียไนโตรเจน 1,000 มก.ต่อลิตร ปรับปริมาตรด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์
- 2.2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานในข้อ 2.1 มา 0.5 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมบัฟเฟอร์ลงไป 2.5 มล. เขย่าให้เขย่ากัน
- 2.3. เติมสารโซเดียมซาลิไซเลต-โซเดียมไนโตรพลัสไซด์ 2 มล. และเขย่า
- 2.4. เติมสารโซเดียมไฮโปคลอไรด์ 1 มล. เขย่าและวางทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
- 2.5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ อ่านค่าการดูดกลืนแสง (ABS: Absorbance) ที่ 650 นาโนเมตร และใช้สารละลายที่ไม่มีแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ (Zero standard) ปรับให้เครื่องเท่ากับ 0
- 2.6. ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน

ภาคผนวก ข – 7 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ทำการสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากดินด้วยน้ำยาเบรย์ทู (Bray-II) โดยเป็นสารผสมระหว่างกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) หลังจากนั้นนำมาทำให้เกิดสีด้วยการทำปฏิกิริยาของแอมโมเนียมโมลิบเดต [$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$] แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์ทเรต ($\text{KSbO}_3 \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) และกรดบอริก (H_3BO_3) จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดเหยียงพลาสติกขนาด 50 มล.
2. กระจกบอทวงขนาด 25 มล.
3. กระจกตาชกรองวัดแมนเบอร์ 5
4. ปิเปตปรับปริมาตร
5. หลอดทดลองขนาด 16x150 มล.
6. เครื่องชั่งละเอียด 0.01 กรัม
7. เครื่องเขย่า
8. เครื่องกรอง
9. เครื่องวัดวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สารเคมีและวิธีเตรียมการ

1. น้ำยาสกัดเบรย์ทู (HCl 10 M + NH_4F 0.03 M: Bray II reagent): ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ 1.1112 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออนประมาณ 500 มล. เติมกรดไฮโดรคลอริก 37% w/w 8.1 มล. ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. สารละลายกรดแอสคอร์บิก 0.5% w/v: ละลายกรดแอสคอร์บิก 0.50 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 100 มล. ในขวดปรับปริมาตร (สารนี้เก็บได้ไม่เกิน 2 วัน)
3. น้ำยาที่ทำให้เกิดสี
 - 3.1 สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 3% w/v: ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 15.00 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน 250 มล. เติมกรดกำมะถัน 98% w/w 140 มล. ทิ้งให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 500 มล.
 - 3.2 สารละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์ทเรต 0.1% w/v: ละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์ทเรต 0.50 กรัม ในน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 500 มล.

3.3 สารละลายกรดบอริก 5% w/v: ละลายกรดบอริก 25 กรัม ในน้ำร้อน 475 มล. ปล่อยให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 500 มล.

(ผสมสารในข้อ 3.1-3.3 และน้ำปราศไออน ในอัตราส่วน 1:1:3:10 โดยปริมาตร)

4. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 มก.ต่อลิตร: ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสอย่างน้อย 3 ชม. มา 4.3937 กรัม ปรับปริมาตรในน้ำปราศจากไออน 1 ลิตร

วิธีดำเนินการ

1. การสกัด

- 1.1 ชั่งดิน 1.00 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 มล.
- 1.2 เติมน้ำยาเบรย์ทู่ 10 มล. เขย่าด้วยมือ 1 นาที
- 1.3 นำไปกรองผ่านกระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 5

2. การทำให้เกิดสี

- 2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มก.ต่อลิตร: เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 มก.ต่อลิตรจากสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 มก.ต่อลิตร ปรับปริมาตรโดยน้ำปราศจากไออน และเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มก.ต่อลิตร โดยใช้ น้ำยาเบรย์ทู่ในการปรับปริมาตร
- 2.2 ปิดเตาสารละลายมาตรฐานในข้อ 2.1 มา 1 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำยาทำให้เกิดสีและกรดแอสคอร์บิกลงไปอย่างละ 1 มล.
- 2.3 เติมน้ำกลั่น 2 มล. เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสีโดยสมบูรณ์ 30 นาที
- 2.4 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ อ่านค่าการดูดกลืนแสง (ABS: Absorbance) ที่ 820 นาโนเมตร และใช้สารละลายที่ไม่มีฟอสฟอรัสอยู่ (Zero standard) ปรับให้เครื่องเท่ากับ 0
- 2.5 ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน

ภาคผนวก ข – 8 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสอินทรีย์ในดิน

ฟอสฟอรัสอินทรีย์ในดินไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยตรง ต้องทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสโดยใช้เทคนิคการสกัด ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการสกัดด้วย EDTA ของโบแมนและมัวร์ (Bowman & Moir, 1993) วิธีนี้ฟอสฟอรัสอินทรีย์ในดินจะถูกสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.5 โมล และไดโซเดียมเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติกแอซิด (Na_2EDTA) วิธีนี้ง่ายและรวดเร็วกว่าการสกัดด้วยไฮโดรคลอไรด์/โซเดียมไฮดรอกไซด์ (HCl/NaOH) ตามวิธีของแอนเดอร์สัน (Anderson, 1960) หรือวิธีการเผาไหม้ของซออันเดอร์และวิลเลียม (Saunders & Williams, 1995) ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพเท่าเทียมกัน

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดเหวี่ยงพลาสติกทนความร้อน (centrifuge tube) และฝาปิดขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)
3. เตาอบ (oven) ตั้งอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส
4. เครื่องนึ่งสำหรับฆ่าเชื้อ (autoclave)
5. กระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 42

สารเคมีและวิธีเตรียมสาร

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.5 โมล: ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็น 500 มิลลิลิตร
2. ไดโซเดียมเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติกแอซิด (Na_2EDTA) 0.1 โมล: ละลายไดโซเดียมเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติกแอซิด ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็น 500 มิลลิลิตร
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์-เอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติกแอซิด (NaOH-EDTA) : ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลและสารละลายไดโซเดียมเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติกแอซิด 0.1 โมล (ข้อ 2)
4. แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$
5. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 5.5 โมล: ตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 306 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็น 500 มิลลิลิตร
6. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 0.9 โมล: ตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็น 1 ลิตร

วิธีการสกัด

1. ชั่งดินที่บดแล้ว 0.5 กรัมใส่ในหลอดเหวี่ยง
2. เติมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์-เอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติกแอซิด (NaOH-EDTA) 25 มิลลิลิตร ปิดฝาและเขย่าให้ดินและสารละลายผสมกัน
3. คลายฝาหลอดให้หลวม นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส 10 นาที จากนั้นปิดฝาหลอดให้แน่นอีกครั้ง อบอุ่นไป 1 ชั่วโมง 50 นาที
4. นำหลอดไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 25,000 g/10 นาที
5. กรองสารละลายใส่เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

อนินทรีย์ฟอสฟอรัส

1. นำสารที่สกัดได้ 5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดเซนติฟิวขนาด 50 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริก 0.9 โมล 0.5 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าตู้เย็น 30 นาที
2. นำออกมาแล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง 25,000 กรัม 10 นาที ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส
3. นำสารละลายใส่เทลงขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนทำให้เกิดสี

ฟอสฟอรัสทั้งหมด

1. นำสารที่สกัดได้ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร
2. เติมแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$ 0.5 กรัม และกรดซัลฟิวริก 0.9 โมล 10 มิลลิลิตร
3. ปิดปากขวดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ และนำเข้าเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) 90 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น
4. เติมน้ำปราศจากไอออนประมาณ 10 มิลลิลิตร และเข้าสู่ขั้นตอนทำให้เกิดสี

การเตรียมสารที่ทำให้เกิดสี

1. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate solution): ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตเตตระไฮเดรต $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}]$ 12 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออน 250 มิลลิลิตร
2. สารละลายโพแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เตรต (Potassium antimony tartrate solution): ละลาย โพแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เตรต $(\text{KSbOC}_4\text{H}_4\text{O}_6)$ 0.2908 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร

3. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 2.5 โมล: นำขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร เติมน้ำปราศจากไอออน ประมาณ 600 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 139 มิลลิลิตรอย่างช้าๆ ผสมเบาๆให้เข้ากัน ทิ้งให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
4. รีเอเจนท์เอ: ผสมสารละลาย 7.1, 7.2 และ 7.3 แล้วปรับปริมาตรเป็น 2 ลิตร เก็บในขวดแก้ว สีชา และแช่เย็น
5. สารทำให้เกิดสี : ละลายกรดแอสคอบิก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) 1.056 กรัม ด้วยรีเอเจนท์เอ 200 มิลลิลิตร (สารนี้ไม่ควรเก็บเกิน 1 วัน)
6. สารละลาย พี-ไนโตรฟินอล ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_3$): ละลายพี-ไนโตรฟินอล 0.25 กรัม ในน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 4 โมล: ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 160 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
8. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 0.25 โมล: นำขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร เติมน้ำปราศจากไอออน ประมาณ 800 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 14 มิลลิลิตรอย่างช้าๆ ผสมเบาๆให้เข้ากัน ทิ้งให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
9. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (100 มิลลิกรัมต่อลิตร): ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 0.4394 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร

ขั้นตอนการทำให้เกิดสี

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8,10 ในขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่มีน้ำปราศจากไอออนอยู่ 15 มิลลิลิตร และเตรียมแบลنگก์ (Blank) ด้วยน้ำปราศจากไอออน
2. เตรียมตัวอย่าง 15 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร
3. เติม สารละลาย พี-ไนโตรฟินอล 1-2 หยด ทดสอบค่า pH โดยต้องมีค่าประมาณ 5 ถ้าตัวอย่างมีค่า pH ต่ำกว่า 5 ให้หยดโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 โมลจนกว่าสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริก 0.25 โมล จนกระทั่งไม่มีสี แต่ถ้าตัวอย่างมีค่า pH มากกว่า 5 ให้เติมกรดซัลฟิวริก 0.25 โมลจนกระทั่งไม่มีสี
4. เติมสารที่ทำให้เกิดสี (ข้อ 5) 8 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 10 นาทีแล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 882 หรือ 712 นาโนเมตร

วิธีคำนวณ

หลังจากได้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่สกัดได้และคำนวณกลับจากน้ำหนักดินแล้ว
คำนวณหาค่าฟอสฟอรัสอินทรีย์ ดังนี้

$$P_o = P_t - P_i$$

เมื่อ P_o = ฟอสฟอรัสอินทรีย์
 P_t = ฟอสฟอรัสทั้งหมด
 P_i = อนินทรีย์ฟอสฟอรัส



ภาคผนวก ค สมบัติดิน

ตาราง ค-1 ความหนาแน่น ความหนาแน่นอนุภาค ความพรุน ขนาดอนุภาคดิน ความเป็นกรด-ด่าง และอินทรีย์วัตถุ ของดินในกลุ่มน้ำห้วยหลวง

สถานี	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	ความ หนาแน่น อนุภาค (g/cm ³)	ความพรุน (%)	ดินทราย (%)	ทรายแป้ง (%)	ดินเหนียว (%)	ความเป็น กรด-ด่าง	อินทรีย์วัตถุ (%)
1	1.59	2.61	38.8	4.50	64.2	31.3	7.13	0.44
2	1.42	2.64	46.0	78.7	16.9	4.37	5.03	0.42
3	1.47	2.64	44.4	74.0	24.4	1.59	4.88	0.47
4	1.50	2.65	43.5	78.9	19.9	1.19	4.45	0.78
5	1.49	2.61	42.8	61.1	29.8	9.07	4.88	0.16
6	1.40	2.60	46.2	72.9	21.9	5.22	4.75	0.62
7	1.40	2.59	46.1	86.3	13.7	nd	7.02	0.42
8	1.52	2.47	38.4	67.2	19.9	12.9	6.35	0.34
9	1.48	2.42	38.7	62.2	33.4	4.47	4.86	1.37
10	1.41	2.60	45.5	80.9	16.2	2.94	6.46	0.62
11	1.41	2.54	44.8	89.3	8.14	2.58	5.55	0.08
12	1.55	2.34	33.5	35.2	35.8	29.1	7.26	1.72
13	1.31	2.33	43.5	46.7	33.6	19.7	6.39	0.68
14	1.51	2.50	39.3	85.1	6.71	8.23	4.94	0.13
15	1.44	2.46	41.7	83.5	10.9	5.56	6.45	1.09
16	1.49	2.54	41.6	63.4	35.7	0.90	4.88	0.35
17	1.42	2.52	43.7	62.8	30.2	7.03	4.73	0.81
18	1.57	2.52	37.9	84.8	8.71	6.50	4.03	0.99
19	1.45	2.60	44.2	77.5	12.2	10.2	5.22	0.42
20	1.42	2.41	41.0	56.7	28.5	14.8	5.34	0.15
21	1.32	2.32	43.2	57.0	19.2	23.8	6.77	3.44
22	1.52	2.49	38.8	73.0	19.4	7.54	5.05	0.33
23	1.45	2.57	43.3	84.8	12.5	2.74	5.23	0.47
24	1.58	2.38	33.4	59.0	25.2	15.8	6.66	0.68
25	1.25	2.45	49.1	83.8	8.22	7.96	6.76	4.32
26	1.31	2.43	45.8	71.1	19.7	9.19	5.33	1.29
27	1.48	2.41	38.5	59.3	28.9	11.8	5.08	0.66
28	1.39	2.26	38.5	71.8	17.8	10.4	4.88	0.58
29	1.49	2.45	39.2	81.0	15.4	3.63	5.00	0.46
30	1.26	2.38	47.1	57.0	3.81	39.2	5.37	0.79
31	1.45	2.53	42.6	78.3	9.61	12.1	5.02	0.20
32	1.32	2.49	47.0	75.6	14.3	10.1	4.55	1.38
33	1.47	2.52	41.7	84.4	8.54	7.03	5.65	0.09

ตาราง ค-1 (ต่อ)

สถานี	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความหนาแน่น อนุภาค (g/cm ³)	ความพรุน (%)	ดินทราย	ทรายแป้ง	ดินเหนียว	ความเป็น กรด-ด่าง	อินทรีย์วัตถุ (%)
34	1.46	3.87	62.2	64.0	24.2	11.9	5.03	1.26
35	1.73	2.55	32.1	64.9	26.4	8.78	5.97	1.69
36	1.56	2.43	35.2	79.1	10.6	10.3	5.07	3.70
37	1.57	2.46	36.3	62.6	12.0	25.4	4.53	0.81
38	1.45	2.25	34.3	62.2	18.6	19.3	4.77	1.42
39	1.57	2.28	31.2	69.0	17.2	13.7	5.45	1.21
40	1.52	2.42	36.9	85.9	11.5	2.58	4.6	0.45
41	1.21	2.39	49.2	62.8	20.5	16.7	5.33	3.44
42	1.60	2.34	31.5	76.0	18.0	5.96	5.38	0.38
43	1.68	2.35	28.3	83.2	3.76	13.1	5.24	5.23
44	1.65	2.45	32.5	72.2	21.6	6.19	5.34	5.29
45	1.40	1.96	28.3	34.9	19.0	46.5	4.73	2.24
46	1.49	2.59	42.6	72.1	14.8	13.1	7.89	1.20
47	1.41	2.57	45.2	83.0	11.4	5.59	5.95	1.08
48	1.37	2.58	47.0	85.5	10.4	4.18	4.87	0.45
49	1.72	2.77	37.4	60.1	21.3	18.6	6.64	0.38
50	1.50	2.41	37.9	44.9	36.8	18.3	5.32	0.42
51	1.49	2.42	38.6	65.1	31.6	3.30	4.79	0.61
52	1.69	2.33	27.6	77.8	13.5	8.69	4.65	1.15
53	1.53	2.47	37.8	70.6	23.3	6.08	4.88	0.16
54	1.50	2.57	41.3	76.5	23.5	nd	4.52	0.69
55	1.45	2.41	39.8	62.3	32.3	5.38	5.11	0.64
56	1.50	2.43	38.2	39.5	35.3	25.2	4.81	0.21
57	1.64	2.63	36.7	61.4	32.0	6.56	5.64	1.48
58	1.59	2.45	35.2	68.6	26.2	5.16	6.03	1.94
59	1.45	2.67	45.3	74.1	23.2	2.69	4.72	1.29
60	1.53	2.53	39.4	71.5	25.5	2.99	5.08	2.72
61	1.50	2.40	37.5	59.7	30.4	9.93	5.29	0.07
62	1.56	2.32	32.8	81.5	14.1	4.48	4.04	0.07
63	1.19	4.96	76.0	27.6	34.3	38.2	5.11	5.11
64	1.41	2.52	44.3	81.9	13.9	4.19	4.86	0.54
65	1.70	2.57	33.8	82.2	15.4	2.38	5.18	0.42
66	1.45	2.57	43.5	89.0	9.30	1.69	5.64	0.12
67	1.29	2.76	50.0	84.1	13.5	2.38	4.83	0.98
68	1.70	2.36	28.0	54.1	45.8	0.10	4.73	0.19
69	1.65	2.38	30.5	71.3	21.8	6.88	4.87	0.01
70	1.57	2.49	37.0	70.0	28.7	1.33	5.01	0.94

ตาราง ค-1 (ต่อ)

สถานี	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความหนาแน่นอนุภาค (g/cm ³)	ความพรุน (%)	ดินทราย	ทรายแป้ง	ดินเหนียว	ความเป็นกรด-ด่าง	อินทรีย์วัตถุ (%)
71	1.50	2.54	41.0	78.0	14.4	7.59	5.91	0.32
72	1.40	2.55	45.1	79.7	16.6	3.69	5.36	0.42
73	1.48	2.48	40.3	76.2	18.6	5.30	5.47	0.83
74	1.49	2.56	41.6	49.7	39.0	11.3	5.16	0.54
75	1.51	2.53	40.4	89.3	8.00	2.70	4.92	0.03
76	1.33	2.47	45.9	85.6	8.50	5.89	4.66	0.50
77	1.62	2.44	33.6	70.5	14.0	15.5	5.39	0.37
78	1.30	2.33	44.0	74.0	18.1	4.87	4.65	0.86
79	1.68	4.59	63.4	27.8	31.9	40.2	4.63	1.36
80	1.63	2.57	36.3	81.4	16.8	1.89	5.32	0.82
81	1.48	2.42	39.0	61.3	32.8	5.89	6.08	1.74
82	1.79	4.06	55.8	69.3	25.2	5.48	6.88	1.57
83	1.62	2.47	34.6	67.0	18.8	14.1	5.44	1.76
84	1.47	2.56	42.4	69.5	27.8	2.68	5.32	0.36
85	1.53	2.64	41.8	53.2	32.9	13.9	5.98	0.78
86	1.62	2.46	33.9	64.0	30.8	5.25	7.53	1.40
87	1.53	2.32	33.9	65.5	25.8	8.74	5.03	0.95
88	1.61	2.50	35.5	79.3	16.5	4.17	7.99	1.15
89	1.64	2.52	34.9	73.9	18.5	7.60	5.37	0.99
90	1.58	2.59	39.0	73.0	17.7	9.32	5.52	0.67
91	1.61	2.49	35.2	73.7	14.4	11.9	7.02	1.06
92	1.69	2.47	31.6	75.5	19.2	5.26	6.52	0.05
93	1.52	2.56	40.5	80.9	12.8	6.35	5.68	0.03
94	1.53	2.64	42.0	85.9	11.5	2.68	5.35	0.47
95	1.47	2.67	45.1	81.4	15.1	3.54	5.58	0.15
96	1.46	2.55	42.8	73.4	21.0	5.60	5.45	0.43
97	1.24	1.97	37.0	38.3	28.9	32.8	5.03	0.01
98	1.55	2.47	37.5	73.6	26.4	nd	5.89	0.67

ABN = abandoned land (ที่รกร้าง); CAS = cassava (มันสำปะหลัง); EUC = eucalyptus (ยูคาลิปตัส); FOR = forest (ป่าไม้); MAR = marsh and swamp (ที่ลุ่ม); OAG = other agriculture (เกษตรกรรมอื่นๆ); PAD = paddy (นาข้าว); PAR = para rubber (ยางพารา); SUG = sugarcane (อ้อย)

ES = erosion surface (พื้นที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน); HT = high terrace (ลานตะพักลำน้ำระดับสูง); LT = low terrace (ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ); MT = middle terrace (ลานตะพักลำน้ำระดับกลาง); SC = slope complex (ที่ลาดชันเชิงซ้อน)

ตาราง ค-2 ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินลุ่มน้ำห้วยหลวง

สถานี	ไนโตรเจน (mg-N/kg)			ฟอสฟอรัส (mg-P/kg)	
	ไนเตรต	แอมโมเนีย	ไนโตรเจนรวม	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	ฟอสฟอรัสอินทรีย์
1	7.16	45.6	771	0.10	54.7
2	5.30	58.3	622	0.31	6.90
3	10.3	59.2	486	4.08	66.8
4	21.2	57.4	459	5.66	13.2
5	32.9	62.4	724	0.12	251
6	12.5	58.2	693	22.3	18.6
7	14.1	57.7	671	4.39	366
8	16.2	54.6	587	10.9	426
9	29.0	56.4	476	0.94	69.9
10	29.9	53.3	411	20.2	238
11	20.6	56.5	383	5.61	364
12	13.8	51.8	1,364	0.10	450
13	25.4	52.3	885	0.63	223
14	22.2	56.6	485	7.07	271
15	17.2	51.5	725	25.6	382
16	9.16	50.9	526	2.80	314
17	29.2	53.0	524	3.79	327
18	17.2	55.8	531	9.38	317
19	35.9	45.8	611	23.6	253
20	42.0	47.1	830	4.33	84.5
21	36.0	52.8	2,485	5.85	547
22	20.4	54.0	606	0.83	513
23	10.0	57.7	916	8.72	304
24	36.3	50.1	989	0.10	443
25	18.4	67.6	2,444	8.12	941
26	14.9	47.8	883	0.10	552
27	11.1	46.1	1,079	6.39	480
28	8.30	32.1	626	2.22	340
29	9.12	67.4	639	45.5	190
30	27.0	51.2	886	4.08	790
31	8.34	45.6	888	18.68	22.0
32	12.2	33.1	659	2.98	39.5
33	38.7	51.9	543	9.96	142
34	14.0	35.5	849	0.22	197
35	30.0	52.0	924	10.89	1005

ตาราง ค-2 (ต่อ)

สถานี	ไนโตรเจน (mg-N/kg)			ฟอสฟอรัส (mg-P/kg)	
	ไนเตรต	แอมโมเนีย	ไนโตรเจนรวม	ฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์	ฟอสฟอรัส อินทรีย์
36	11.4	63.1	1,817	1.91	881
37	14.1	52.8	855	3.61	204
38	17.3	46.8	867	1.00	291
39	11.7	45.0	880	0.01	304
40	11.0	42.6	633	3.47	93.1
41	44.8	61.3	2,569	0.60	1,196
42	19.1	34.5	475	3.55	111
43	24.4	54.4	2,424	2.44	787
44	41.3	33.8	771	2.61	204
45	38.6	52.5	1,944	2.35	899
46	11.5	59.6	1065	0.65	192
47	16.8	62.1	731	1.37	26.0
48	12.1	56.7	455	2.51	48.3
49	30.6	54.3	984	0.10	556
50	16.6	67.2	602	0.10	116
51	6.83	54.6	869	5.50	89.7
52	13.3	52.6	1072	0.93	226
53	8.23	58.5	658	3.00	527
54	11.7	33.9	484	4.24	75.8
55	19.5	39.1	769	5.88	98.5
56	28.5	56.7	1,643	0.10	635
57	18.0	58.8	1,151	5.74	589
58	13.4	52.4	516	1.94	295
59	12.7	36.5	670	7.77	190
60	13.3	41.9	485	2.11	61.1
61	25.5	48.7	526	0.09	307
62	9.83	58.2	504	0.26	130
63	26.2	50.2	291	0.10	38.2
64	10.9	33.0	564	3.06	67.9
65	65.2	55.5	743	0.79	60.4
66	6.57	53.2	943	0.46	83.8
67	13.1	51.7	881	0.72	98.5
68	13.3	50.1	2192	0.10	68.1
69	5.74	49.5	2295	0.95	69.0
70	7.50	59.9	1,612	1.77	61.3

ตาราง ค-2 (ต่อ)

สถานี	ไนโตรเจน (mg-N/kg)			ฟอสฟอรัส (mg-N/kg)	
	ไนเตรต	แอมโมเนีย	ไนโตรเจนรวม	ฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์	ฟอสฟอรัส อินทรีย์
71	18.6	58.3	1,651	2.18	206
72	13.2	60.1	1,473	1.83	84.0
73	12.8	53.0	1,393	2.12	144
74	26.2	40.5	1,413	0.10	123
75	4.44	50.5	1,185	1.14	15.1
76	12.6	38.6	1,832	9.82	75.9
77	18.0	60.5	5,380	0.16	30.4
78	16.8	53.4	2,049	3.74	268
79	11.7	48.4	3,090	0.86	45.5
80	6.48	54.2	3,974	2.81	53.6
81	22.2	57.2	1,513	2.00	168
82	10.9	63.7	2,423	0.13	379
83	16.6	43.3	1,678	7.00	345
84	9.66	52.3	2,032	2.45	130
85	23.8	52.2	1,240	0.08	41.9
86	24.8	47.6	1,613	0.95	202
87	16.9	52.9	2,304	2.58	86.8
88	14.8	50.8	1,670	6.17	166
89	23.3	55.4	1,328	3.38	165
90	20.8	61.5	1,513	3.58	166
91	7.43	48.7	1,652	1.65	7.60
92	19.3	50.7	767	2.80	65.2
93	12.7	51.0	825	13.0	292
94	10.5	44.5	887	7.01	61.2
95	25.1	64.3	1,489	30.2	374
96	18.0	56.2	1,260	2.69	145
97	11.0	51.8	1,697	0.41	256
98	7.56	46.1	2,856	3.11	183

ภาคผนวก ง คุณภาพน้ำ

ตาราง ง - 1 ไนเตรท - ไนโตรเจน (mg/l) ในลำน้ำห้วยหลวง

สถานี	1 ก.ค. 2557	13 ก.ย. 2557	19 พ.ย. 2557	15 ม.ค. 2558	18 มี.ค. 2558	17 พ.ค. 2558
01	nd	2.96	nd	6.94	-	-
02	nd	7.29	2.80	5.35	1.47	3.93
03	nd	8.09	2.33	9.18	5.36	10.59
04	nd	1.21	0.22	6.72	0.34	1.93
05	0.25	4.11	nd	-	-	-

nd = ไม่สามารถตรวจพบด้วยวิธีการที่ใช้ (not detectable)

(-) ไม่มีน้ำในลำน้ำเพียงพอที่จะเก็บมาตรวจวัด

ตาราง ง - 2 ฟอสเฟต (mg/l) ในลำน้ำห้วยหลวง

สถานี	1 ก.ค. 2557	13 ก.ย. 2557	19 พ.ย. 2557	15 ม.ค. 2558	18 มี.ค. 2558	17 พ.ค. 2558
01	0.59	0.42	2.76	0.13	-	-
02	0.86	0.54	2.80	0.13	0.33	0.24
03	0.65	0.52	3.30	0.12	0.47	0.36
04	0.44	0.42	2.24	0.10	0.17	0.11
05	1.07	0.42	5.65			

nd = ไม่สามารถตรวจพบด้วยวิธีการที่ใช้ (not detectable)

(-) ไม่มีน้ำในลำน้ำเพียงพอที่จะเก็บมาตรวจวัด

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอริตา อินทสิน สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต วิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2544 และปริญญาสาธารณสุขมหาบัณฑิต สาขา
อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา 2549 เข้ารับ
การศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 ปัจจุบัน ดำรงตำแหน่ง อาจารย์ ประจำสำนักวิชา
ศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

