

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของฝนต่อการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัส  
ในกลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบนโดยใช้แบบจำลอง SWAT



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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2558  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPACT OF RAINFALL CHANGES ON NITROGEN AND PHOSPHORUS LEACHING  
IN UPPER U-TAPAO BASIN USING SWAT MODEL

Mr. Worapong Rerkkiang



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science  
(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของฝนต่อการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบนโดยใช้แบบจำลอง SWAT
โดย	นายวรพงศ์ ฤกษ์เกลี้ยง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(อาจารย์ ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิวงศ์ ศรีบุรี)

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

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทิรา สรรพณี)

สรรพคุณ ฤกษ์เกลี้ยง : ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของฝนต่อการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาตอนบนโดยใช้แบบจำลอง SWAT (IMPACT OF RAINFALL CHANGES ON NITROGEN AND PHOSPHORUS LEACHING IN UPPER U-TAPAO BASIN USING SWAT MODEL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 108 หน้า.

การศึกษานี้ทำการประเมินการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาตอนบนลงสู่คลองอู่ตะเภาโดยใช้แบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาตอนบนเป็นส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่ตั้งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ การเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ที่วิเคราะห์คุณสมบัติของดินตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อนำผลเข้าสู่แบบจำลองจำนวน 38 สถานี ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2558 เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของดินใน พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบุรณ, 2548) พบว่า ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก  $1.61 \pm 2.52$  เป็น  $5.18 \pm 6.11$  mg-N/kg ( $P=0.001$ ) และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและอนินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก  $15.2 \pm 17.5$  เป็น  $4.87 \pm 2.56$  mg-N/kg ( $P=0.0007$ ) และ  $16.9 \pm 17.8$  เป็น  $10.1 \pm 6.76$  mg-N/kg ( $P=0.02$ ) ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก  $19.3 \pm 41.4$  เป็น  $36.1 \pm 41.6$  mg-P/kg แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนที่สองคือการจำลองปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในคลองอู่ตะเภาโดยใช้แบบจำลอง SWAT ซึ่งทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าตะกอน ไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด (พ.ศ. 2552–2556) ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าจากการตรวจวัดจริง พบว่าปริมาณน้ำท่ามีความสัมพันธ์ทั้งในเชิงปริมาณ และแนวโน้มในแต่ละช่วงเวลา ปริมาณตะกอนมีความสัมพันธ์ในเชิงแนวโน้มในแต่ละช่วงเวลา ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม โดยที่ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดนั้นไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับปริมาณน้ำฝนและช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม ส่วนที่สามคือการจำลองปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดในอนาคต โดยใช้ข้อมูลสภาพฝนในอนาคต (พ.ศ. 2557–2586) จากแบบจำลองภูมิอากาศ RegCM3 (A1B) แต่ยังคงรูปแบบสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเหมือนในปัจจุบัน พบว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดมีแนวโน้มใกล้เคียงกับปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2552–2556) โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำฝนและช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม ส่วนของฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับช่วงเวลาการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม แต่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นชัดเจนในช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยโดยเฉพาะเดือนกุมภาพันธ์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5587165120 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: SWAT MODEL / NITROGEN / PHOSPHORUS

WORAPONG RERKLIANG: IMPACT OF RAINFALL CHANGES ON NITROGEN AND PHOSPHORUS LEACHING IN UPPER U-TAPAO BASIN USING SWAT MODEL. ADVISOR: PATAMA SINGHRUCK, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. PENJAI SOMPONGCHAIYAKUL, Ph.D., 108 pp.

This study evaluated nitrogen and phosphorus leaching from the upper part of U-Tapao river catchment to U-Tapao river by Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. The study area is a part of Songkhla lake basin in the southern Thailand. The study was divided into three parts comprising of sampling of soil properties for inclusion in SWAT model, model calibration and model projection. Soil samples were collected in April 2015 from 38 stations classified by land use types for chemical analyses in laboratory. Comparison with Suviboon (2005), showed that the content of nitrate-nitrogen was significantly increased from  $1.61 \pm 2.52$  to  $5.18 \pm 6.11$  mg-N/kg ( $P=0.001$ ). The means of ammonia-nitrogen and inorganic nitrogen were decreased from  $15.2 \pm 17.5$  to  $4.87 \pm 2.56$  mg-N/kg ( $P=0.0007$ ) and from  $16.9 \pm 17.8$  to  $10.1 \pm 6.76$  mg-N/kg ( $P=0.02$ ), respectively. This result probably occurred from nitrification process. Available phosphorus was increased from  $19.3 \pm 41.4$  to  $36.1 \pm 41.6$  mg-P/kg but not significantly. The second part was simulation of nitrogen and phosphorus in U-Tapao river by SWAT model. The model was calibrated using 5 years (2009–2013) of discharge, suspended sediment, nitrate-nitrogen and total phosphorus. Simulated discharge and suspended sediment from the model correlated with observed data through time. Concentration of nitrate-nitrogen was correlated with rainy season and period of applying fertilizer, while concentration of total phosphorus showed no clear correlation with rainfall and crops. The last part of the study was projection of nitrogen and phosphorus leaching under climate change scenario assuming no change in land use. Projected rainfall for 30 years (2014–2043) from regional climate model RegCM3 under A1B scenario were applied to SWAT model. The results showed that the projected concentration of nitrate-nitrogen and total phosphorus were similar to current concentrations. The projected nitrate-nitrogen was correlated with rainfall and period of applying fertilizer as in the present. However the projected total phosphorus was obviously increased during dry periods especially in February.

Field of Study: Environmental Science

Academic Year: 2015

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือรวมทั้งการสนับสนุนด้านต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้อย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิวงศ์ ศรีบุรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทิรา สรรมณี คณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ และทุนสนับสนุนวิทยานิพนธ์สำหรับหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ พี่จันทร์เลขา ภูทองคำ นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ และน้องเกศกนก สุดปราง เจ้าหน้าที่ธุรการประจำหลักสูตร ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ทำให้การดำเนินการวิจัยเป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็ว

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และหลักสูตรวิทยาศาสตร์ทางทะเล ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยอบรมสั่งสอน สนับสนุนปัจจัยด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้า ทำให้สามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดียิ่ง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป .....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย .....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.....	4
2.1.1 ไนโตรเจน.....	4
2.1.2 ฟอสฟอรัส.....	4
2.1.3 ผลกระทบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ.....	5
2.3. แบบจำลอง SWAT .....	6
2.3.1 การคำนวณทางอุทกวิทยาส่วนบนบนพื้นดิน (Land phase).....	7
2.3.2 การคำนวณทางอุทกวิทยาส่วนการเคลื่อนตัวของในลำน้ำ (Routing phase).....	14
2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต .....	16
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	19
3.1 การรวบรวมและการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT .....	20
3.1.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย .....	20
3.1.2 ข้อมูลสำหรับการประมวลแบบจำลอง .....	20
3.1.3 ข้อมูลที่ใช้ในการสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลอง.....	32
3.1.4 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ในอนาคต .....	34
3.2.การสร้างแบบจำลอง SWAT.....	34
3.2.1 การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ ( Watershed Delineate ) .....	34
3.2.2 การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrological Respond Units).....	34
3.2.3 การนำเข้าข้อมูลในแบบจำลอง .....	36
3.3 การสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลอง SWAT .....	36
3.4 การใช้แบบจำลอง SWAT กับกรณีศึกษาสภาพฝนในอนาคต .....	37
บทที่ 4 ผลการศึกษา และอภิปรายผลของคุณสมบัติดิน .....	38
4.1 ขนาดอนุภาคดิน (grain size) .....	40
4.2 อินทรีย์วัตถุ (organic matter).....	45
4.3 ไนเตรท - ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen).....	47
4.4 แอมโมเนีย - ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen).....	49
4.5 อนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic Nitrogen).....	51
4.6 อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen).....	53
4.7 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjedal Nitrogen).....	55
4.8 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) .....	57
4.9 ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic Phosphorus).....	59
4.10 ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส (Organic Phosphorus).....	61



4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus).....	63
บทที่ 5 ผลการศึกษา และอภิปรายผลแบบจำลอง .....	66
5.1 ผลการปรับเทียบแบบจำลอง(Model Calibration).....	66
5.1.1 ผลการปรับเทียบปริมาณน้ำท่า.....	66
5.1.2 ผลการปรับเทียบปริมาณตะกอน .....	70
5.1.3 ผลการปรับเทียบไนเตรท-ไนโตรเจน .....	71
5.1.4 ผลการปรับเทียบฟอสฟอรัสทั้งหมด.....	74
5.2 ผลการจำลองสถานการณ์จากสภาพภูมิอากาศในอนาคต.....	76
5.2.1 ปริมาณน้ำท่า.....	77
5.2.2 ปริมาณตะกอน.....	78
5.2.3 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน .....	80
5.2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด .....	81
บทที่ 6 สรุปการศึกษา และข้อเสนอแนะ.....	83
6.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของดิน .....	83
6.2 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง SWAT.....	85
6.3 ผลการจำลองสถานการณ์จากสภาพภูมิอากาศในอนาคต.....	87
6.4 ข้อเสนอแนะ .....	89
รายการอ้างอิง .....	90
ภาคผนวก ก จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่การศึกษา.....	95
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางเคมีในดิน ตามสถานีเก็บตัวอย่าง .....	97
ภาคผนวก ค ผลการจำลองสถานการณ์ในอนาคต .....	103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	108

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	วัฏจักรสมดุลน้ำในแบบจำลอง SWAT .....	8
รูปที่ 2.2	การจำลองกระบวนการของไนโตรเจนในแบบจำลอง SWAT .....	10
รูปที่ 2.3	การจำลองกระบวนการเคลื่อนที่ของฟอสเฟตในแบบจำลอง SWAT .....	13
รูปที่ 2.4	ส่วนของกระบวนการเคลื่อนที่ในลำน้ำของสารอาหารในแบบจำลอง SWAT .....	15
รูปที่ 3.1	วิธีดำเนินการศึกษา .....	19
รูปที่ 3.2	พื้นที่ทำการศึกษา .....	21
รูปที่ 3.3	แผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลข .....	22
รูปที่ 3.4	แผนที่ที่ตั้งสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ .....	23
รูปที่ 3.5	แผนภูมิร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่การศึกษา .....	24
รูปที่ 3.6	แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่การศึกษา .....	25
รูปที่ 3.7	แผนภูมิร้อยละของชุดดินในพื้นที่การศึกษา .....	26
รูปที่ 3.8	แผนที่ชุดดิน .....	27
รูปที่ 3.9	แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่างดิน .....	30
รูปที่ 3.10	จุดเก็บตัวอย่างใน 1 สถานี .....	31
รูปที่ 3.11	การเก็บตัวอย่าง .....	31
รูปที่ 3.12	การผสมตัวอย่างดินให้เข้ากัน (Composite sample) .....	31
รูปที่ 3.13	สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และคุณภาพน้ำ .....	33
รูปที่ 3.14	พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำคลองอุตะเกา .....	35
รูปที่ 3.15	เกณฑ์ในการใช้ค่า $R^2$ และ $r$ สำหรับกำหนดระดับประสิทธิภาพการใช้งานของแบบจำลอง .....	37
รูปที่ 4.1	Box plot แสดงร้อยละของอนุภาคขนาดทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) ในดินลุ่มน้ำคลองอุตะเกา ปี พ.ศ. 2558 .....	41
รูปที่ 4.2	แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอนุภาคขนาดทรายในดินลุ่มน้ำคลองอุตะเกาของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558 .....	42

รูปที่ 4.3	แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอนุภาคขนาดทรายแป้งในดินลุ่มน้ำ คลองอุต๊ะเกาของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558 .....	43
รูปที่ 4.4	แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอนุภาคขนาดดินเหนียวในดินลุ่มน้ำ คลองอุต๊ะเกาของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558 .....	44
รูปที่ 4.5	Box plot แสดงร้อยละอินทรีย์วัตถุในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558.....	45
รูปที่ 4.6	แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอินทรีย์วัตถุในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558 .....	46
รูปที่ 4.7	Box plot แสดงปริมาณไนเตรท – ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558...	47
รูปที่ 4.8	แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของไนเตรท-ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุ ต๊ะเกาของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558 .....	48
รูปที่ 4.9	Box plot แสดงปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558 .....	49
รูปที่ 4.10	แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำ คลองอุต๊ะเกาของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558 .....	50
รูปที่ 4.11	Box plot แสดงปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558.....	51
รูปที่ 4.12	แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลอง อุต๊ะเกาของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558 .....	52
รูปที่ 4.13	Boxplot แสดงปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558.....	53
รูปที่ 4.14	แผนที่การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอินทรีย์ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558.....	54
รูปที่ 4.15	Boxplot แสดงไนโตรเจนทั้งหมดในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558.....	55
รูปที่ 4.16	แผนที่การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของไนโตรเจนทั้งหมดในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558.....	56
รูปที่ 4.17	Boxplot แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558 .....	57

รูปที่ 4.18 แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภาของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558.....	58
รูปที่ 4.19 Boxplot แสดงปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภา ปี พ.ศ. 2558 .....	59
รูปที่ 4.20 แผนที่การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภา ปี พ.ศ. 2558 .....	60
รูปที่ 4.21 Boxplot แสดงปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภา ปี พ.ศ. 2558.....	61
รูปที่ 4.22 แผนที่การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภา ปี พ.ศ. 2558.....	62
รูปที่ 4.23 Boxplot แสดงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภา ปี พ.ศ. 2558.....	63
รูปที่ 4.24 แผนที่การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภา ปี พ.ศ. 2558.....	64
รูปที่ 5.1 ตำแหน่งสถานีวัดตรวจวัด ปริมาณน้ำท่า ตะกอน และคุณภาพน้ำ.....	67
รูปที่ 5.2 ผลการปรับเทียบน้ำท่าสถานี X.112 .....	69
รูปที่ 5.3 ผลการปรับเทียบน้ำท่าสถานี X.173A.....	69
รูปที่ 5.4 ผลการปรับเทียบน้ำท่าสถานี X.90.....	69
รูปที่ 5.5 ผลการปรับเทียบปริมาณตะกอนสถานี X.90.....	71
รูปที่ 5.6 ผลการปรับเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสถานี WQ .....	73
รูปที่ 5.7 ผลการปรับเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสถานี WQ .....	75
รูปที่ 5.8 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคต .....	76
รูปที่ 5.9 ผลการจำลองสถานการณ์ของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนในอนาคต.....	78
รูปที่ 5.10 ผลการจำลองสถานการณ์ของปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคต.....	79
รูปที่ 5.11 ผลการจำลองสถานการณ์ของปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคต .....	81
รูปที่ 5.12 ผลการจำลองสถานการณ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยรายเดือน.....	82

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	กิจกรรมในรอบปีของการเพาะปลูกยางพารา.....	28
ตารางที่ 3.2	กิจกรรมในรอบปีของการเพาะปลูกนาข้าว.....	28
ตารางที่ 3.3	กิจกรรมในรอบปีของการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน.....	28
ตารางที่ 3.4	กิจกรรมในรอบปีของการเพาะไม้ผลสวนผสม.....	29
ตารางที่ 3.5	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน.....	31
ตารางที่ 4.1	ค่าความเข้มข้นของตัวแปรทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ.....	38
ตารางที่ 4.2	สรุปค่าความเข้มข้นของ ตัวแปรทางกายภาพและทางเคมี แยกตามประเภทของ การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use) ในดินพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา .....	39
ตารางที่ 4.3	เปรียบเทียบคุณสมบัติของดินในพื้นที่การศึกษาระหว่าง พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2558 .....	65
ตารางที่ 4.4	เปรียบเทียบคุณสมบัติของดินแจกแจงตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่าง พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2558.....	65
ตารางที่ 5.1	ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า.....	66
ตารางที่ 5.2	ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณตะกอน .....	70
ตารางที่ 5.3	ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน .....	73
ตารางที่ 5.4	ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด .....	74

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำมีความจำเป็นสำหรับพืชน้ำและสาหร่ายในการเจริญเติบโต แต่หากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำมากเกินไป ก่อให้เกิดปรากฏการณ์การยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งอาจทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่ายรวดเร็ว (phytoplankton bloom) ส่งผลให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจน เนื่องจากเมื่อพืชน้ำและสาหร่ายตายและตกตะกอนเป็นสารอินทรีย์สะสมในแหล่งน้ำ จุลินทรีย์ในแหล่งน้ำก็จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้เกิดภาวะพร่องออกซิเจน (hypoxia) หรือขาดออกซิเจน (anoxia) (Camargo & Alonso, 2006; Fogg, 1965) ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ลงสู่แหล่งน้ำมาจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ แหล่งกำเนิดที่สามารถระบุตำแหน่งได้ (point sources) เช่น โรงงานอุตสาหกรรม และฟาร์มปศุสัตว์ เป็นต้น และแหล่งกำเนิดแบบแพร่กระจาย (non point sources) เช่น พื้นที่เกษตรกรรม และชุมชน เป็นต้น

ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเป็นลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยมีเป็นสวนยางพาราเป็นหลัก รองลงเป็นนาข้าว สวนปาล์ม และไม้ผลผสม ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเกิดการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับปานกลาง (5-15 ตัน/ไร่/ปี) และรองลงมาเป็นระดับรุนแรงมาก (มากกว่า 20 ตัน/ไร่/ปี) นอกจากนี้ปริมาณสารอาหารพืชในดินยังสูญเสียลงสู่แหล่งน้ำไปกับการชะล้างหน้าดิน (สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) ส่งผลให้แหล่งน้ำตื้นเขินและเกิดยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลาซึ่งอยู่ปลายน้ำ ซึ่งพบปรากฏการณ์การยูโทรฟิเคชันมาตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2527 และทวีความรุนแรงขึ้นตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2536 (เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 2548) ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน ได้แก่ ภูมิประเทศ ประเภทดิน พืชพันธุ์ กิจกรรมของมนุษย์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำฝนซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ อย่างที่ทราบการที่ก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศของโลกได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะตั้งแต่ในช่วงยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมานั้นให้เกิดภาวะโลกร้อนที่มีความรุนแรงมากขึ้นซึ่งส่งผลให้ภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (IPCC, 2001) และจากการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต พบว่าในพื้นที่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้แนวโน้มปริมาณฝนเพิ่มมากขึ้น (ศุภกร ชินวรรณ, 2551; สำนักพัฒนาอุตุฯนิคมวิทยา, 2552)

ดังนั้นเพื่อให้การประเมินปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในคลองอุ้ต๊ะเกาตอนบนมีประสิทธิภาพและสามารถคาดการณ์อนาคต จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการนำเครื่องมือหรือแบบจำลองที่มีความสามารถในการบ่งบอกถึงสถานภาพของแหล่งน้ำและปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลำน้ำ โดยการนำแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT (Soil and Water Assessment Tool) ที่เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่า ตะกอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในลำน้ำ

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อสอบเทียบแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอุ้ต๊ะเกาตอนบนลงสู่คลองอุ้ต๊ะเกา
- 1.2.2 เพื่อประเมินผลกระทบของสภาพฝนในอนาคตต่อการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอุ้ต๊ะเกาตอนบนลงสู่คลองอุ้ต๊ะเกา โดยใช้แบบจำลอง SWAT

## 1.3 สมมติฐานการวิจัย

สภาพฝนที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารอาหารพืชประเภทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในคลองอุ้ต๊ะเกาตอนบน

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 ประเมินการปริมาณการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอุ้ต๊ะเกาตอนบนลงสู่คลองอุ้ต๊ะเกา ด้วยแบบจำลอง SWAT ในช่วงปี พ.ศ.2552 – 2556
- 1.4.2 ประเมินผลกระทบของสภาพฝนในอนาคตต่อการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอุ้ต๊ะเกาลงสู่คลองอุ้ต๊ะเกา โดยใช้ข้อมูลการสภาพภูมิอากาศในอนาคตระยะ 30 ปี (พ.ศ. 2557-2587) จากแบบจำลอง RegCM3 ในโครงการ “การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM3 สำหรับประเทศไทย” ภายใต้ภาพฉายอนาคตสมมติ A1B

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถประเมินการชะล้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภาลงสู่คลองอยู่ตะเภา
- 1.5.2 ประเมินผลกระทบสภาพฝน โดยใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับในวางแผนจัดการประเมินและป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลา





## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

##### 2.1.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่ใช้ในการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งบนบกและในน้ำ ในดินเป็นธาตุอาหารจำเป็นที่ต้องใช้ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ในน้ำไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนเซลล์ และเป็นตัวควบคุมหรือเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโต (limiting factor) ของแพลงก์ตอนพืช (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532)

สารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ ประเภทแรกอยู่ในรูปแบบของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนประเภทที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน และยูเรีย ประเภทที่สองอยู่ในรูปแบบของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ( $\text{NH}_4^+$ ) ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) และไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) (กุลยา โอตากะ, 2547)

ไนโตรเจนในแหล่งน้ำมีแหล่งที่มาทั้งจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ จากธรรมชาติ ได้แก่ จากกระบวนการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ และสาหร่ายบางชนิด และจากแหล่งน้ำใต้ดิน (ณัฐกานต์ พันชนะ, 2537; ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531) ส่วนที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์สามารถแบ่งตามแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 แหล่ง คือ แหล่งกำเนิดมลพิษแบบทราบตำแหน่งแน่นอน ซึ่งมาจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล และฟาร์มเลี้ยงหมู เป็นต้น และแหล่งกำเนิดมลพิษแบบกระจาย โดยจะปล่อยไนโตรเจนเข้าสู่แหล่งน้ำในรูปของการไหลบ่า การซึมผ่านชั้นใต้ดิน มักจะมีรูปแบบการปล่อยมลพิษไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับกิจกรรมต่างๆ ตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ฤดูกาล และปัจจัยอื่น เช่น สมบัติบางประการของดิน กิจกรรมการเกษตร ปริมาณน้ำฝน และการก่อสร้าง เป็นต้น (ยงยุทธ โอสธสภา, ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชัยสิทธิ์ ทองจู, 2541)

##### 2.1.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช สัตว์ และมนุษย์ โดยฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พบได้ทั้งในดินและน้ำ ฟอสฟอรัสในน้ำนั้นมีปริมาณต่ำซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยจำกัดสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่าย และพืชน้ำ (Minnesota Pollution Control Agency, 2007) รูปแบบของฟอสฟอรัสในน้ำที่มีอยู่ในสองรูปแบบหลัก คือ รูปแบบแรกเป็นสารประกอบพวกอนินทรีย์ฟอสเฟต (inorganic phosphate) แบ่งย่อยออกเป็นออร์โธฟอสเฟต (orthophosphates) และโพลีฟอสเฟต (polyphosphates) และรูปแบบที่สองเป็นสารประกอบพวกอินทรีย์ฟอสเฟต (organic

phosphates) (ประเทือง เขาว์วันกลาง, 2534) ส่วนของฟอสฟอรัสในดินอยู่ในรูปอินทรีย์ฟอสเฟต และอนินทรีย์ฟอสเฟต (ศุภมาศ พินิชศักดิ์พัฒนา, จงรักษ์ จันทรเจริญสุข, ผกาทิพย์ จินตกานนท์, วิโรจ อิมพิทักษ์ และ อัญชลี สุทธิประการ, 2523) โดยพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้จะต้องอยู่ในรูปของ สารอนินทรีย์ที่เกิดประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด คือ กลุ่มออร์โธฟอสเฟต (กุลยา โอตากะ, 2547) ซึ่งฟอสฟอรัสในดินโดยทั่วไปมีปริมาณที่น้อย จัดว่าเป็นธาตุอาหารที่ขาดแคลนรองจากไนโตรเจน โดยที่ฟอสฟอรัสในดินโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.02-0.15 % (วิเชียร จาฎพจน์, 2549)

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ มีที่มาตามธรรมชาติจากการกร่อน (erosion) ของดิน และน้ำไหลบ่า หนาดิน โดยที่ติดไปกับอนุภาคดิน เนื่องจากฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ละลายน้ำได้น้อยมาก (คณาจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) และอีกส่วนจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น โรงงานผลิตผงซักฟอก และ โรงงานผลิตปุ๋ยฟอสฟอรัส เป็นต้น และน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนหรือชุมชน (domestic waste) (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2530)

### 2.1.3 ผลกระทบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

การที่ธาตุอาหารเข้าสู่แหล่งน้ำมากเกินไปจะก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน โดยเฉพาะไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัสซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำ ไนโตรเจนที่แพลงก์ตอนพืช และพืชน้ำ ใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไนเตรท และแอมโมเนีย ส่วนฟอสฟอรัสมักเป็นพวกอินทรีย์ ฟอสเฟต และอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้หรือติดมากับตะกอน ซึ่งอาจทำให้เกิดการเจริญเติบโต ของพืชน้ำและสาหร่ายรวดเร็วและมากเกินไป (plankton bloom) ส่งผลทำให้แหล่งน้ำขาด ออกซิเจน เนื่องจากเมื่อพืชน้ำและสาหร่ายตายและตกตะกอนเป็นสารอินทรีย์สะสมในแหล่งน้ำ จุลินทรีย์ในแหล่งน้ำก็จะใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้เกิดภาวะพร่อง ออกซิเจน (hypoxia) ลงลงจนสัตว์น้ำที่อาศัยในแหล่งน้ำตาย นอกจากนี้สัดส่วนธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส สัดส่วนของซิลิกาต่อไนโตรเจน หรือสัดส่วนของซิลิกาต่อฟอสฟอรัส สามารถ เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบบางชนิดของแพลงก์ตอนพืช และทำให้แพลงก์ตอนพืชบางชนิดเพิ่มปริมาณ ขึ้นอย่างรวดเร็วผิดปกติ (นิคม ละอองศิริวงศ์, ภาสกร ถมพลกรัง, ลักขณา ละอองศิริวงศ์, & ทอง เพชร สันบุคา, 2547; ศุภมาศ พินิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

### 2.3. แบบจำลอง SWAT

SWAT ย่อมาจาก Soil and Water Assessment Tool เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่สามารถเชื่อมต่อกับข้อมูลภูมิสารสนเทศได้ พัฒนาขึ้นโดย Dr. Jeff Arnold แบบจำลองนี้ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องภายใต้ความร่วมมือ ระหว่าง Blackland Research Center, TAES กับ United States Department of Agriculture–Agricultural Research Service (USDA-ARS) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 โดยแบบจำลอง SWAT นั้นจัดเป็นแบบจำลองประเภท continuous-time basin-scale ซึ่งสามารถประเมินผลกระทบจากสภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ สภาพทางอุทกวิทยา ชนิดของดินและการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำต่อปริมาณน้ำท่า การกัดเซาะและการเคลื่อนย้ายตะกอน สารปราบศัตรูพืช วัฏจักรสารอาหาร (กิตติพงษ์ ทรงรักษเกียรติ์, 2549; ดวงฤทัย มงคลเคหา, 2555; โอฬาร เวศอุไร, 2548) แบบจำลอง SWAT ต้องการข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับ สภาพภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน ภูมิประเทศ พืชพรรณ และการจัดการที่ดินที่เกิดขึ้นภายในลุ่มน้ำ โดยจะจำลองกระบวนการทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอน การเจริญเติบโตของพืช และ วัฏจักรสารอาหาร นอกจากนี้แบบจำลอง SWAT มีการแบ่งลุ่มน้ำเป็นลุ่มน้ำย่อย ซึ่งสามารถจำลองลุ่มน้ำที่มีลักษณะ และกระบวนการทางอุทกวิทยาที่แตกต่างกัน โดยข้อมูลที่ใช้ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะแบ่งออกเป็นกลุ่ม ดังนี้ ข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Unit; HRUs) ข้อมูลแหล่งน้ำและน้ำใต้ดิน แม่น้ำสายหลัก และช่วงลำน้ำในส่วนที่ระบายน้ำในแต่ละลุ่มน้ำย่อย ซึ่งข้อมูล HRUs จะเป็นการแบ่งพื้นที่ในลุ่มน้ำย่อยโดยใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะของดิน และความลาดชันเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง (ปรียาพร โภษา, 2553)

แบบจำลอง SWAT จำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์และข้อมูลการนำเข้าที่ค่อนข้างมาก เนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองเชิงกายภาพแบบกระจายพารามิเตอร์ (Distributed Model) ดังนั้น ความถูกต้องของการคำนวณจะใกล้เคียงกับสภาพจริงมากแค่ไหนนั้น จึงขึ้นกับความละเอียดของข้อมูลที่มีบันทึกไว้และสามารถเป็นตัวแทนให้กับพื้นที่ศึกษาได้จริง อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้สามารถนำเสนอในเชิงกายภาพได้ชัดเจน อีกทั้งยังมีศักยภาพในการใช้พารามิเตอร์และจัดเตรียมข้อมูลการนำเข้าที่มีจำนวนมากให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถใช้งานได้ง่าย และมีช่วงของพารามิเตอร์ที่แนะนำตามทฤษฎีที่สมเหตุสมผลกับสภาพพื้นที่จริง โดยความสำคัญจะอยู่ที่ความสามารถ และความเชี่ยวชาญของผู้ใช้แบบจำลอง (วินัย วังพิมูล, 2552)

การประมวลผลของแบบจำลอง SWAT ใช้วัฏจักรสมมูลน้ำเป็นพื้นฐานในการคำนวณ โดยแบ่งการจำลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการจำลองแบบในส่วนของพื้นดิน (Land Phase) และส่วนที่สองเป็นการจำลองส่วนของการเคลื่อนตัวในลำน้ำ (Routing Phase) (Arnold et al., 2009)

### 2.3.1 การคำนวณทางอุทกวิทยาส่วนบนพื้นดิน (Land phase)

องค์ประกอบทางอุทกวิทยาในส่วนของพื้นดิน แบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย 8 องค์ประกอบ คือ อุทกวิทยา (Hydrology) สภาพอากาศ (Climate) การกร่อน (Erosion) อุณหภูมิของดิน (Soil Temperature) สิ่งปกคลุมดิน/การเติบโตของพืช (Plant growth) สารอาหารพืช (Nutrients) ยาฆ่าแมลง (Pesticides) และการจัดการหรือกิจกรรมในลุ่มน้ำย่อย (Management) (Neitsch, Arnold, Kiniry, & Williams, 2009) การวิเคราะห์ส่วนพื้นดิน พิจารณาจากขั้นตอนการจำลองกระบวนการทางอุทกวิทยา โดยสมการสมดุลน้ำในแบบจำลอง SWAT แสดงดังสมการที่ 1 และวัฏจักรสมดุลน้ำในแบบจำลอง SWAT แสดงดังรูปที่ 2.1

สมการสมดุลน้ำ

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

เมื่อ	$SW_t$	คือ ปริมาณน้ำในดินสุดท้าย (mm.H <sub>2</sub> O)
	$SW_0$	คือ ปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นในวันที่ i (mm.H <sub>2</sub> O)
	t	คือ เวลา (วัน)
	$R_{day}$	คือ ปริมาณน้ำฝนในวันที่ i (mm.H <sub>2</sub> O)
	$Q_{surf}$	คือ ปริมาณน้ำไหลผิวดินในวันที่ i (mm.H <sub>2</sub> O)
	$E_a$	คือ ปริมาณการคายระเหยในวันที่ i (mm.H <sub>2</sub> O)
	$W_{seep}$	คือ ปริมาณน้ำไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในวันที่ i (mm.H <sub>2</sub> O)
	$Q_{gw}$	คือ ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลกลับสู่ลำน้ำในวันที่ i (mm.H <sub>2</sub> O)

#### 2.3.1.1 การคำนวณปริมาณน้ำท่าผิวดิน

ปริมาณน้ำท่าผิวดินรายวันในแบบจำลอง SWAT คำนวณได้จากปริมาณน้ำฝนรายวัน โดยใช้วิธี Soil Conservation Service (SCS Curve Number) (SCS, 1972) ดังสมการที่ 2 และสมการที่ 3

สมการ Soil Conservation Service (SCS)

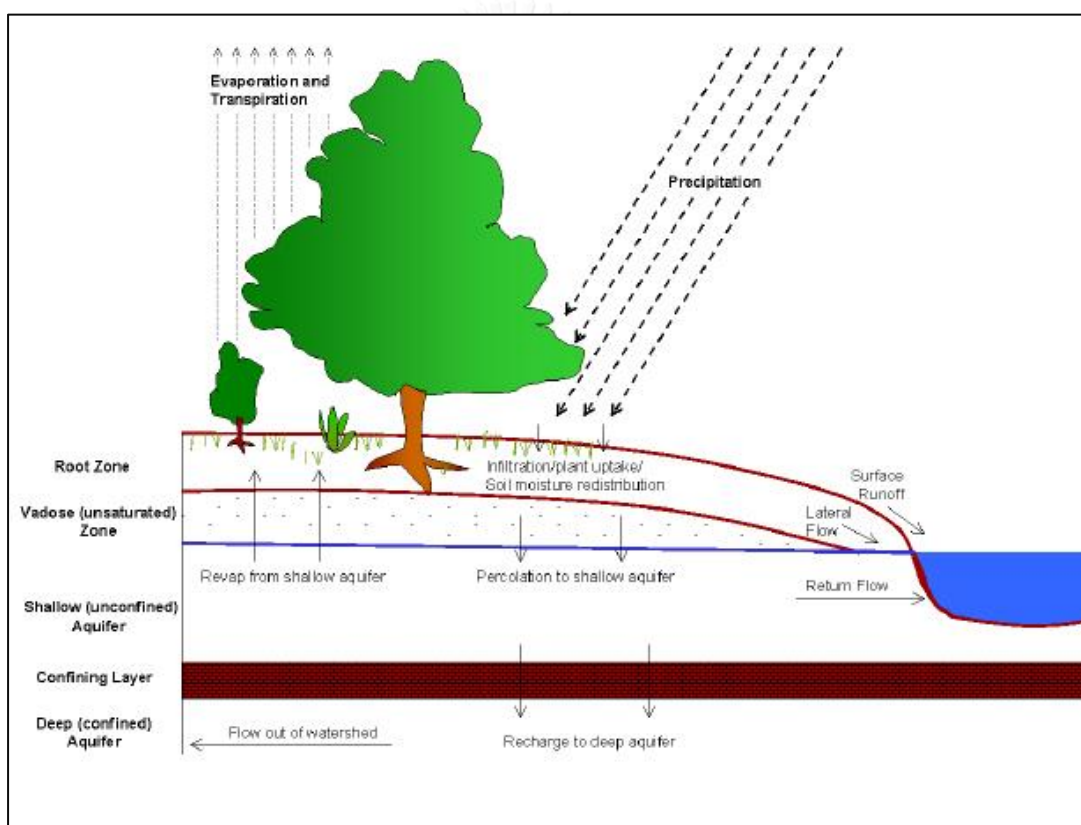
$$Q_{surf} = \frac{(R - 0.2S)^2}{R + 0.2S} \quad , R > 0.2S \quad \text{สมการที่ 2}$$

$$Q_{surf} = 0 \quad , R \leq 0.2S \quad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ  $Q_{surf}$  คือ ค่าของปริมาณน้ำท่ารายวัน ( $m^3/s$ )

R คือ ค่าของฝนรายวัน

S คือ ปัจจัยด้านการกักเก็บน้ำไว้ในดิน



รูปที่ 2.1 วัฏจักรสมตุน้ำในแบบจำลอง SWAT  
(Neitsch et al., 2009)

โดยค่า S คำนวณจากค่า Curve number (CN) ดังสมการที่ 4

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 1 \right) \quad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ S คือ ปัจจัยด้านการกักเก็บน้ำไว้ในดิน  
 CN คือ ค่า Curve Number ที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างความยากง่ายของน้ำในการซึมผ่านชั้นดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสถานะของน้ำในดินที่มีอยู่เดิม

### 2.3.1.2 การคำนวณปริมาณตะกอน

การคำนวณปริมาณตะกอนในส่วนของพื้นดิน (Upland) ในแบบจำลอง SWAT จะใช้สมการการสูญเสียดินสากล Universal Soil Loss Equation (USLE) โดยมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการนำมาใช้ในแบบจำลอง SWAT (Williams, 1995) ดังสมการที่ 5

สมการการสูญเสียดินในแบบจำลอง

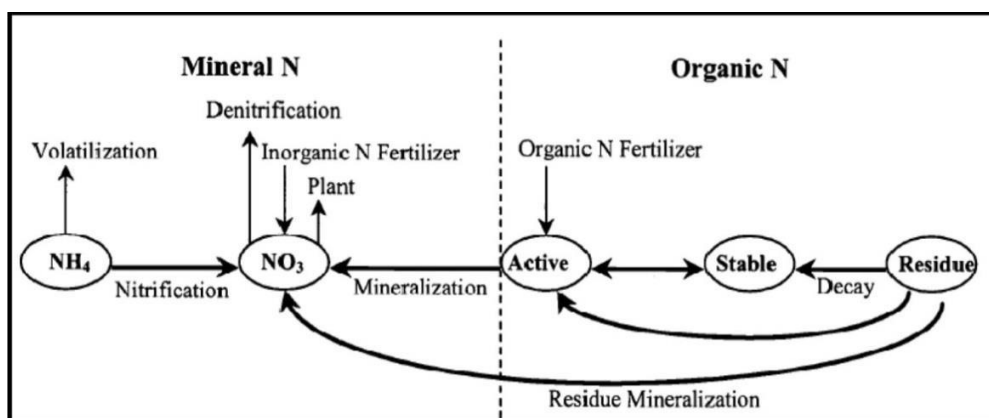
$$Sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \quad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ Sed คือ ปริมาณตะกอนรายวัน (metric tons)  
 $Q_{surf}$  คือ ปริมาณน้ำผิวดิน (mm H<sub>2</sub>O/ha)  
 $q_{peak}$  คือ อัตราการไหลของน้ำท่าสูงสุด (m<sup>3</sup>/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

### 2.3.1.3 การคำนวณปริมาณไนโตรเจน

แบบจำลองมีการจำลองกระบวนการของไนโตรเจนในดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งในกระบวนการจะอธิบายเรื่องการแพร่กระจายมลสารตลอดจนกระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน ดังรูปที่ 2.2 ในการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนจากดินจะเคลื่อนย้ายในรูปของ ไนเตรท ไนโตเจน โดยที่แบบจำลองคำนวณความเข้มข้นของไนเตรท ไนโตเจนที่จะเคลื่อนย้าย ดังสมการที่ 6 ซึ่งไนเตรท ไนโตเจน เคลื่อนย้าย

ไปกับน้ำท่าผิวดิน (surface runoff) การไหลซึมออกในแนวระนาบ (lateral flow) และการซึมลึก (percolation) โดยมีการคำนวณเคลื่อนย้ายดังสมการที่ 7 ถึง 10 ตามลำดับ ส่วนอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกนำไปกับตะกอนพร้อมกับน้ำท่าผิวดิน ซึ่งแบบจำลองคำนวณความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจนที่จะเคลื่อนย้ายดังสมการที่ 11 และคำนวณปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกนำไปกับตะกอนดังสมการที่ 12 (Neitsch et al., 2009)



รูปที่ 2.2 การจำลองกระบวนการของไนโตรเจนในแบบจำลอง SWAT (Neitsch et al., 2009)

สมการคำนวณความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนที่จะเคลื่อนย้าย

$$Conc_{NO_3, mobile} = \frac{NO_{3, ly} \cdot (1 - \exp\left[\left(\frac{-W_{mobile}}{1 - \theta_e \cdot SAT_{ly}}\right)\right])}{W_{mobile}} \quad \text{สมการที่ 6}$$

เมื่อ  $Conc_{NO_3, mob}$  คือ ความเข้มข้นไนเตรทที่เคลื่อนที่ได้ (kg-N/mm H<sub>2</sub>O)

$NO_{3, ly}$  คือ ปริมาณไนเตรทในดิน (kg-N/ha)

$W_{mobile}$  คือ ปริมาณน้ำที่เคลื่อนที่ (mm H<sub>2</sub>O)

$\theta_e$  คือ Fraction of porosity

$SAT_{ly}$  คือ ปริมาณน้ำอิ่มตัวในชั้นดิน (mm H<sub>2</sub>O)

สมการคำนวณปริมาณไนเตรท ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับน้ำท่าผิวดิน (surface runoff)

$$NO_{3,surf} = \beta_{NO_3} Conc_{NO_3,mobile} Q_{surf} \quad \text{สมการที่ 7}$$

เมื่อ $NO_{3,surf}$	คือ ปริมาณไนเตรทเคลื่อนที่ไปกับน้ำไหลบ่าผิวดิน (kg-N/ha)
$\beta_{NO_3}$	คือ สัมประสิทธิ์การซึมลึก (percolation) ของไนเตรท
$Conc_{NO_3,mobile}$	คือ ความเข้มข้นไนเตรทที่เคลื่อนที่ได้ (kg-N/mm H <sub>2</sub> O)
$Q_{surf}$	คือ น้ำไหลบ่าผิวดินต่อวัน (mm H <sub>2</sub> O)

สมการคำนวณปริมาณไนเตรท ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับการไหลซึมออกในแนวระนาบ (lateral flow)

$$NO_{3,lat} = \beta_{NO_3} Conc_{NO_3,mobile} Q_{lat} \quad \text{For top soil (10 mm)} \quad \text{สมการที่ 8}$$

$$NO_{3,lat} = Conc_{NO_3,mobile} Q_{lat} \quad \text{For lower layers} \quad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ $NO_{3,lat}$	คือ ปริมาณไนเตรทเคลื่อนที่ไปกับการไหลซึมออกในแนวระนาบ
$\beta_{NO_3}$	คือ สัมประสิทธิ์การซึมลึก (percolation) ของไนเตรท
$Conc_{NO_3,mobile}$	คือ ความเข้มข้นไนเตรทที่เคลื่อนที่ได้ (kg-N/mm H <sub>2</sub> O)
$Q_{lat}$	คือ น้ำไหลซึมออกในแนวระนาบ (mm H <sub>2</sub> O)

สมการคำนวณปริมาณไนเตรท ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับการซึมลึก (percolation)

$$NO_{3,perc} = Conc_{NO_3,mobile} W_{perc} \quad \text{สมการที่ 10}$$

เมื่อ $NO_{3,perc}$	คือ ปริมาณไนเตรทเคลื่อนที่ไปกับการซึมลึก (percolation)
$Conc_{NO_3,mobile}$	คือ ความเข้มข้นไนเตรทที่เคลื่อนที่ได้ (kg-N/mm H <sub>2</sub> O)
$W_{perc}$	คือ น้ำไหลซึมลึก (percolation) (mm H <sub>2</sub> O)



สมการคำนวณความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจนที่จะเคลื่อนย้ายไปกับตะกอน

$$CONC_{orgN} = \frac{(orgN_{frsh,surf} + orgN_{sta,surf} + orgN_{act,surf})}{P_b \cdot depth_{surf}} \quad \text{สมการที่ 11}$$

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 ( $Mg/m^3$ )
$depth_{surf}$	คือ ความลึกของดิน (10 mm)

สมการคำนวณปริมาณของอินทรีย์ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายไปกับตะกอน

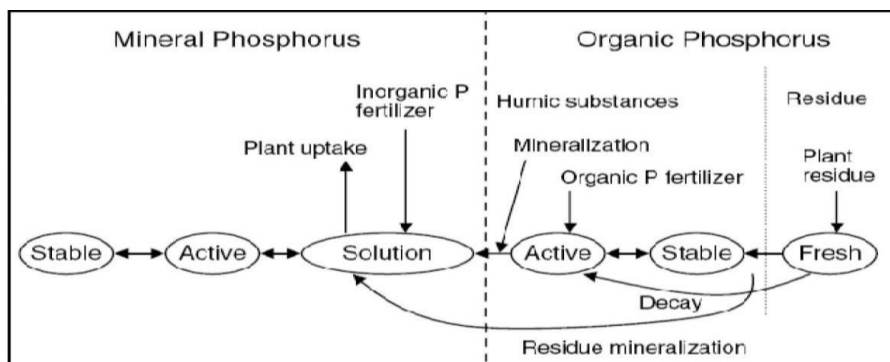
$$orgN_{surf} = 0.001 \cdot CONC_{orgN} \frac{sed}{area_{hru}} \epsilon_{N:sed} \quad \text{สมการที่ 12}$$

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)
$\epsilon_{N:sed}$	คือ Nitrogen enrichment ratio

#### 2.3.1.4 การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัส

ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินในแบบจำลองอยู่ในรูปแบบของอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ติดอยู่กับอิวมัส แร่ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งแหล่งกำเนิดของฟอสฟอรัส ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และวัฏจักรฟอสฟอรัสในเศษซากพืชและจุลินทรีย์ในสิ่งมีชีวิต โดยกระบวนการในการแพร่กระจายของฟอสฟอรัสนั้นรวมถึงการที่องค์ประกอบธาตุในอินทรีย์สารที่ยังมีชีวิตอยู่หรือตายแล้ว เปลี่ยนไปเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งสามารถถูกใช้ในวัฏจักรของสิ่งมีชีวิตอีกด้วย การจำลองกระบวนการเคลื่อนที่ของฟอสเฟตในแบบจำลอง SWAT แสดงดังรูปที่ 2.3 การเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสจากดินในแบบจำลองจะเคลื่อนย้ายในรูปของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้โดยอาศัยการแพร่ (Diffusion) โดยมีการคำนวณเคลื่อนย้ายดังสมการที่ 13 ส่วนใน

รูปของอินทรีย์ฟอสฟอรัสและแร่ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำจะเคลื่อนย้ายโดยการติดไปกับตะกอนโดยมีการคำนวณเคลื่อนย้ายดังสมการที่ 14 ซึ่งความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ติดไปกับตะกอนแบบจำลองคำนวณดังสมการที่ 15 (Neitsch et al., 2009)



รูปที่ 2.3 การจำลองกระบวนการเคลื่อนที่ของฟอสเฟตในแบบจำลอง SWAT (Neitsch et al., 2009)

สมการคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ที่เคลื่อนย้ายไปกับการแพร่ (Diffusion)

$$P_{surf} = \frac{P_{Solution,surf} \cdot Q_{surf}}{P_b \cdot depth_{surf} \cdot k_{d,surf}} \quad \text{สมการที่ 13}$$

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

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

$Q_{surf}$  คือ น้ำไหลบ่าหน้าดินต่อวัน (mm H<sub>2</sub>O)

$P_b$  คือ ค่าความหนาแน่นในดิน (Mg/m<sup>3</sup>)

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

$k_{d,surf}$  คือ สัมประสิทธิ์การละลายฟอสฟอรัสในดิน (m<sup>3</sup>/Mg)

สมการคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ฟอสฟอรัส และแร่ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำจะเคลื่อนย้าย โดยการติดไปกับตะกอน

$$sedP_{surf} = 0.001CONC_{sedP} \frac{sed}{area_{hru}} \epsilon_{P:sed} \quad \text{สมการที่ 14}$$

- 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)
- $\epsilon_{P:sed}$  คือ Phosphorus enrichment ratio

สมการคำนวณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่จะเคลื่อนย้ายติดไปกับตะกอน

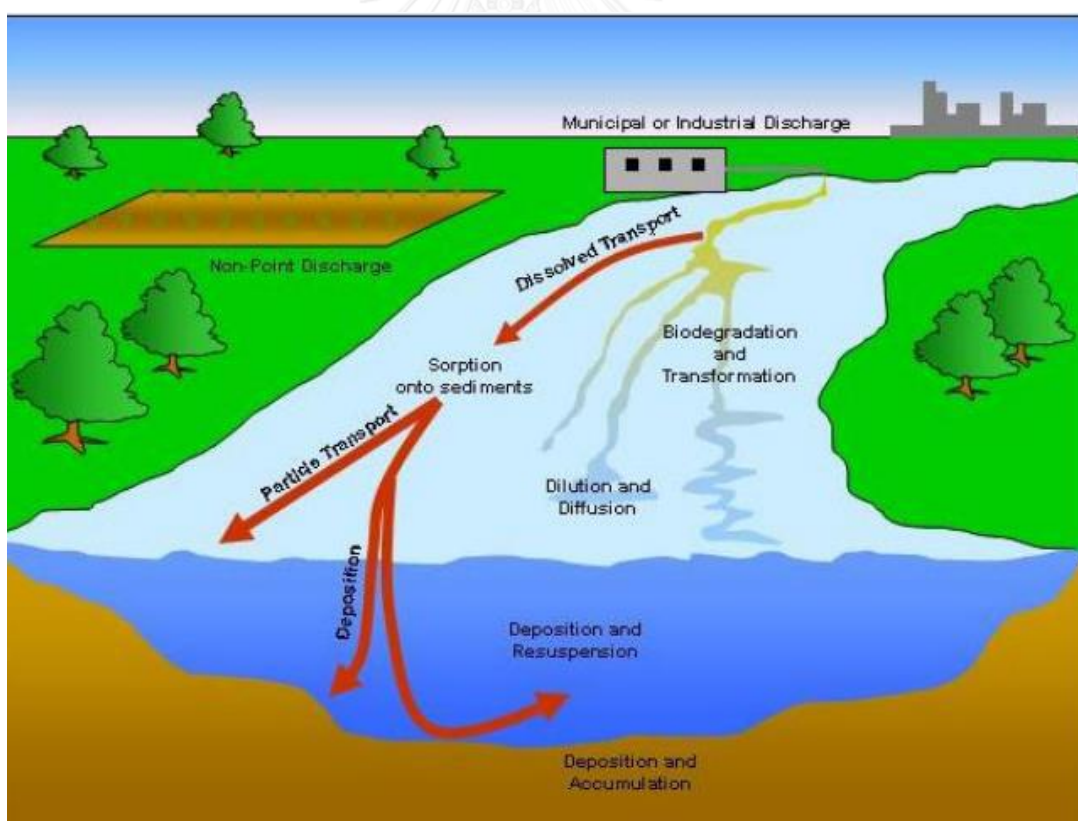
$$CONC_{sedP} = \frac{(minP_{act,surf} + minP_{sta,surf} + orgP_{hum,surf} + orgP_{frsh,surf})}{P_b \cdot depth_{surf}} \quad \text{สมการที่ 15}$$

- 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)
- $orgP_{hum,surf}$  คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสของดิน (kg-P/ha)
- $orgP_{frsh,surf}$  คือ ฟอสฟอรัสในรูปแบบ fresh ของดิน (kg-P/ha)
- $P_b$  คือ ค่าความหนาแน่นในดิน ( $Mg/m^3$ )
- $depth_{surf}$  คือ ความลึกของดินชั้น (10 mm)

### 2.3.2 การคำนวณทางอุทกวิทยาส่วนการเคลื่อนตัวของในลำน้ำ (Routing phase)

การคำนวณทางอุทกวิทยาส่วนการเคลื่อนตัวของในลำน้ำ (routing phase) เป็นส่วนของการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ ประกอบด้วย การเคลื่อนตัวผ่านทางน้ำ (channel routing) และการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ (reservoir routing)

ในแบบจำลอง SWAT การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านทางน้ำ ใช้วิธีการจัดเก็บค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปร (variable storage coefficient method) ซึ่งพัฒนาโดย Williams (1969) หรือวิธี Muskingum routing ส่วนของตะกอนที่การเคลื่อนตัวผ่านทางน้ำ ในการจำลองจะใช้การสะสมตัวและการสลายของตะกอนเป็นปัจจัยควบคุม และในส่วนของสารอาหาร จะควบคุมการเปลี่ยนรูปของสารอาหารในน้ำโดยใช้ in-stream water quality model ซึ่งการเคลื่อนตัวผ่านทางน้ำของสารอาหารนี้ปรับปรุงมาจากแบบจำลอง QUAL2E ซึ่งสารอาหารนี้จะไหลไปตามลำน้ำและเจือจางไปเรื่อย ๆ ตามความยาวของลำน้ำ (Williams & Hann, 1972) กระบวนการต่าง ๆ ในน้ำแสดงไว้ดังรูปที่ 2.4 การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ ในการประเมินปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำ มี 3 เลือก ประกอบด้วย ทางเลือกที่หนึ่งการใส่ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด ทางเลือกที่สองเหมาะสมสำหรับอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก โดยกำหนดอัตราการปล่อยน้ำ และทางเลือกที่สามเหมาะสมสำหรับอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ โดยใช้การกำหนดปริมาณรายเดือนสำหรับอ่างเก็บน้ำ (Neitsch et al., 2009)



รูปที่ 2.4 ส่วนของการเคลื่อนที่ในลำน้ำของสารอาหารในแบบจำลอง SWAT

(Williams & Hann, 1972)

## 2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามการให้ความหมายของ (IPCC, 2007) หมายถึง “ความแปรปรวนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของสภาวะภูมิอากาศ หรือความแปรปรวนที่เกิดขึ้นอย่างถาวรเป็นเวลานาน (ทศวรรษหรือนานกว่านั้น) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการภายในหรือแรงกดดันภายนอก หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ หรือพื้นดินที่เกิดจากกิจกรรมต่อเนื่องของมนุษย์” โดยระบบภูมิอากาศเป็นระบบที่ซับซ้อน ซึ่งพลวัตและความแปรปรวนเกิดจากการรักษาสมดุลของพลังงานระหว่างองค์ประกอบที่สำคัญของระบบภูมิอากาศโลก ได้แก่ 1) บรรยากาศ 2) พื้นดินและหิน 3) ธารน้ำแข็งและหิมะ 4) มหาสมุทรและแหล่งน้ำ และ 5) สิ่งมีชีวิต โดยมีพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญ การเปลี่ยนแปลงส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบภูมิอากาศโลก เช่น บรรยากาศมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกซึ่งดูดคลื่นความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างส่วนประกอบทั้งห้าเพื่อปรับสมดุลขึ้นใหม่ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (กัณทริย์ บุญประกอบ และอัศมน ลิมสกุล, 2554)

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จำเป็นต้องมองไปในอนาคตระยะยาว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศนั้น เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และใช้เวลานานกว่าที่จะสังเกตเห็นได้ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศนั้นมีความแปรปรวนอยู่แล้วตามธรรมชาติ ซึ่งเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้ยังไม่สามารถทำการพยากรณ์สภาพอากาศอนาคตระยะยาวได้ อีกทั้งพลวัตของภาคส่วนต่าง ๆ ก็ส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนได้มาก ดังนั้นแนวทางหนึ่งต่อการทำความเข้าใจต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว คือ การดำเนินการศึกษาโดยการจำลองสภาพอนาคตขึ้นภายใต้สมมุติฐานหรือเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นบางประการ (ศุภกร ชินวรรณ, 2551)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาตินั้นเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ และอยู่เหนือการควบคุมของมนุษย์ แต่สาเหตุส่วนใหญ่ที่เกิดจากก๊าซเรือนกระจกนั้นได้รับความสนใจจากหน่วยงานและองค์กรต่างๆ ทั่วโลก เพื่อศึกษาและหาแนวทางหรือมาตรการต่าง ๆ ในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่เนื่องจากในแต่ละพื้นที่ต่าง ๆ โลกมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม จำนวนประชากร และการใช้เทคโนโลยีในพื้นที่นั้น ดังนั้น คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) ในการประชุมการเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกครั้งที่สาม ที่ได้กำหนดสมมุติฐานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นมา หรือที่เรียกว่า The IPCC Special Report on Emission Scenarios; SRES โดยได้สร้างสมมุติฐานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามความเป็นไปได้ของการพัฒนาเป็น 4 รูปแบบหลัก คือ A1, A2, B1 และ B2 ดังนี้ (อำนาจ ชิดไธสง, 2553)

- แบบ A1 มีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจสูง มีประชากรเพิ่มสูงสุดในช่วงกลางของศตวรรษที่ 21 มีเทคโนโลยีใหม่และมีประสิทธิภาพสูง โดยแบบ A1 นี้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อยตามการเลือกใช้พลังงาน ได้แก่ A1FI (Fossil intensive) มีการใช้พลังงานฟอสซิลอย่างมาก A1T (Non-fossil energy sources and technology) ไม่ใช้พลังงานฟอสซิล และ A1B (Balance of all sources) เน้นความสมดุลของแหล่งพลังงานที่ใช้
- แบบ A2 มีการพัฒนาในอนาคตที่หลากหลาย มีการเพิ่มของประชากรสูง แต่การพัฒนาเศรษฐกิจและการพัฒนาเทคโนโลยีช้า
- แบบ B1 มีการเพิ่มขึ้นของประชากรสูงเหมือนแบบ A1 แต่มีการพัฒนาด้านเศรษฐกิจที่รวดเร็วกว่า
- แบบ B2 มีการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของประชากรอยู่ในระดับปานกลาง เน้นการพัฒนาด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

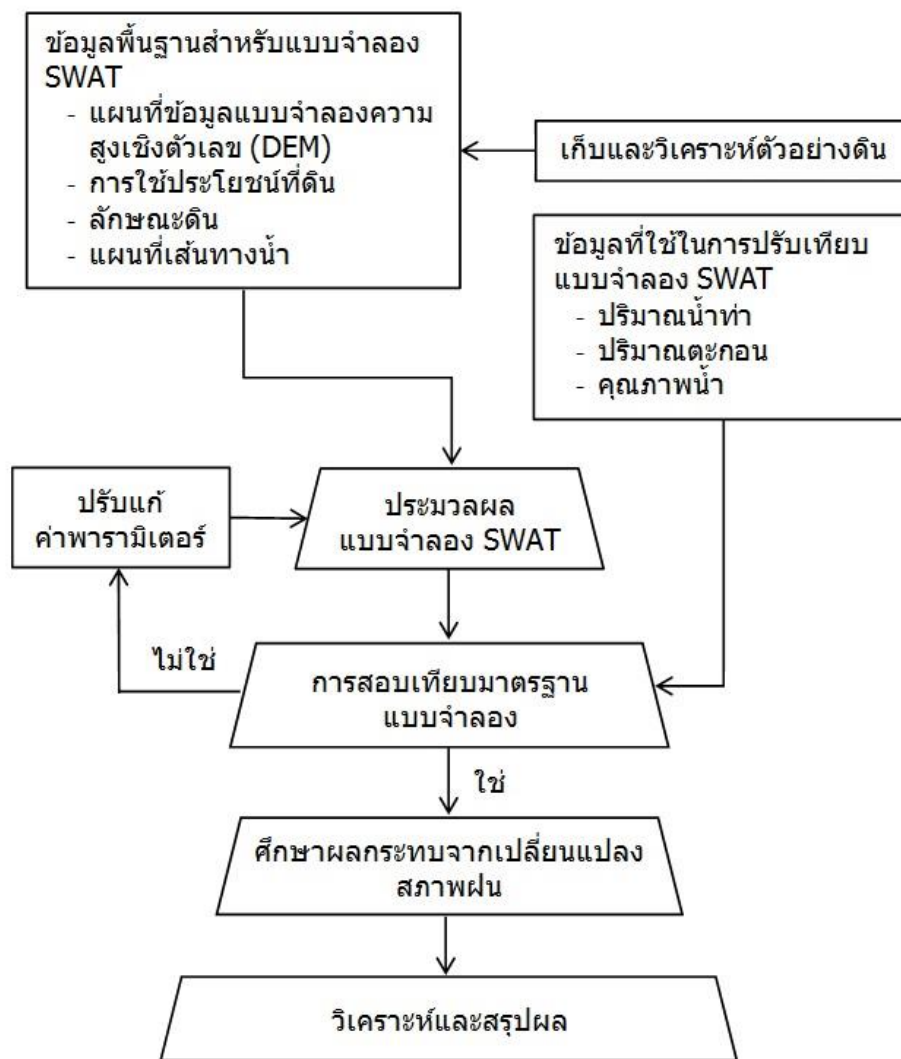
สาธิตา บุญแก้ววรรณ (2556) ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ประเมินปริมาณ ไนเตรทและฟอสเฟตที่ถูกปล่อยลงสู่น้ำยมตอนล่าง โดยจำลองสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 3 กรณี กรณีที่ 1 พื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมดเปลี่ยนเป็นพื้นที่นาข้าว กรณีที่ 2 พื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมดเปลี่ยนเป็นข้าวโพด กรณีที่ 3 คือ ชุมชนเมืองเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่นาข้าว ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสเฟตเพิ่มสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำยมตอนล่างที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน ในการเปรียบเทียบแบบจำลองได้มีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง พบว่าพารามิเตอร์ที่อ่อนไหวกับปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (RSDCO) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมลึกของไนโตรเจน (NPERCO) ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสเฟต พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหว คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (RSDCO) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมลึกของฟอสฟอรัส (PPERCO) สอดคล้องกับ Pisinaras, Petalas, Gikas, Gemitzi, and Tsihrintzis (2010) ที่ทำการศึกษาคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำ Kosynthos river โดยใช้แบบจำลอง SWAT ซึ่งใช้ค่า NPERCO และค่า PPERCO ในการเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตจากแบบจำลองเช่นเดียวกัน อีกทั้งมีการกำหนดค่าความเข้มข้นเริ่มต้น

ของปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตในน้ำใต้ดิน และจากการศึกษาคุณภาพน้ำ ในลุ่มน้ำ Thur ในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ของ Abbaspour et al. (2007) พบว่าในวิเคราะห์ความอ่อนไหวของปริมาณไนเตรทในแบบจำลอง นอกจากพารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นยังมีปริมาณไนเตรทในน้ำฝน (RCN) ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในตะกอน (ERORGN) และค่า Nitrogen uptake distribution (N\_UPDIS) มีผลต่อปริมาณปริมาณไนเตรทอีกด้วย ส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์ร่วมกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับปริมาณตะกอน



### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การประเมินปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในคลองอุต๊ะเกาตอนบน ประกอบด้วย การรวบรวมและการเตรียมข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบนที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง SWAT การปรับเทียบ (Model Calibration) และการจำลองสถานการณ์ในอนาคต สรุปดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินการศึกษา



### 3.1 การรวบรวมและการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT

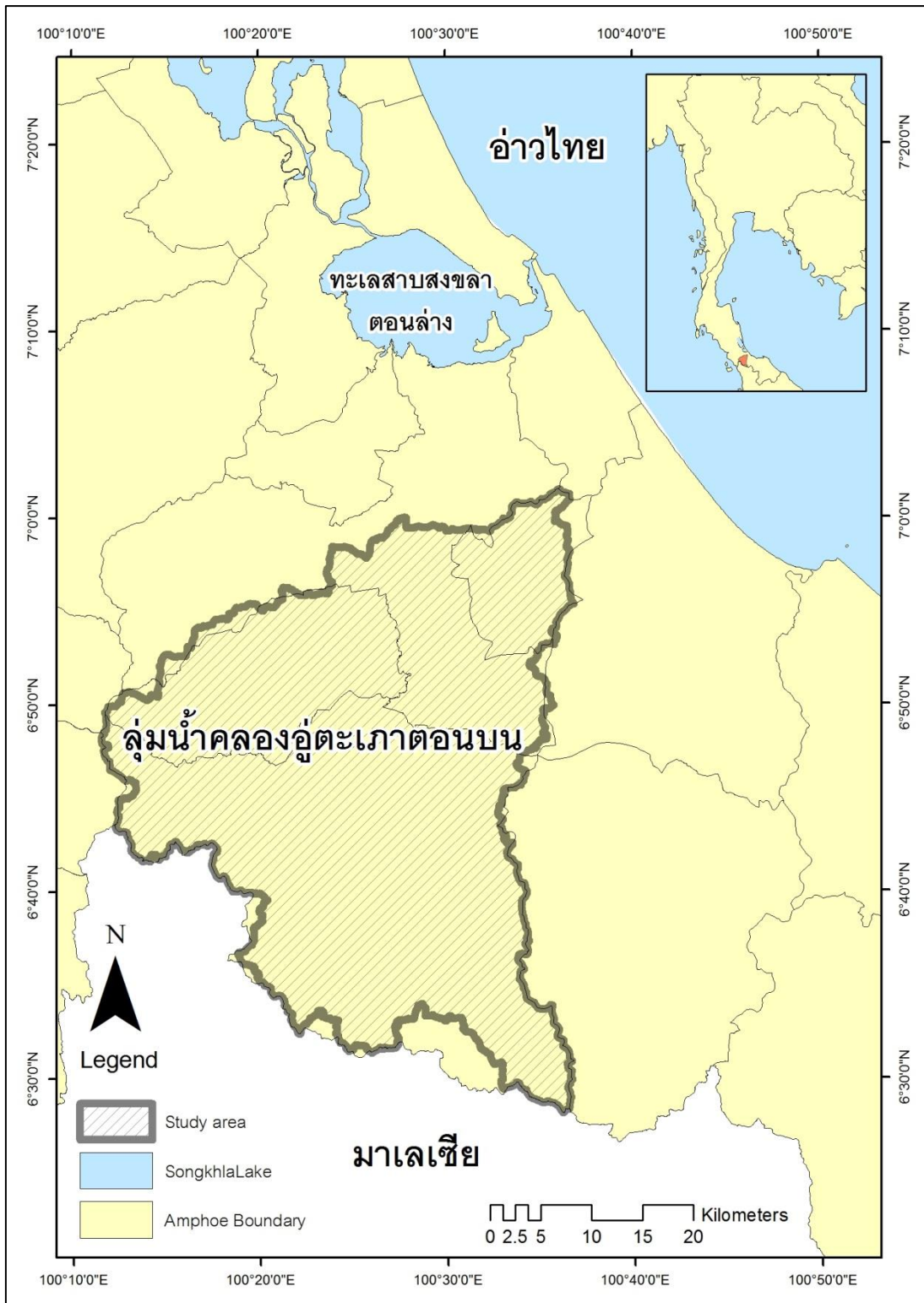
#### 3.1.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

พื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา จังหวัดสงขลา บริเวณพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ในการศึกษาครั้งนี้เรียกแทนพื้นที่การศึกษาว่า ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาตอนบน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 4 อำเภอ คือ อำเภอสะเดา อำเภอกลองหยอโข่ง อำเภอนาหม่อม อำเภอหาดใหญ่ แสดงดังรูปที่ 3.2 มีขนาดพื้นที่ประมาณ 1,639 ตารางกิโลเมตร

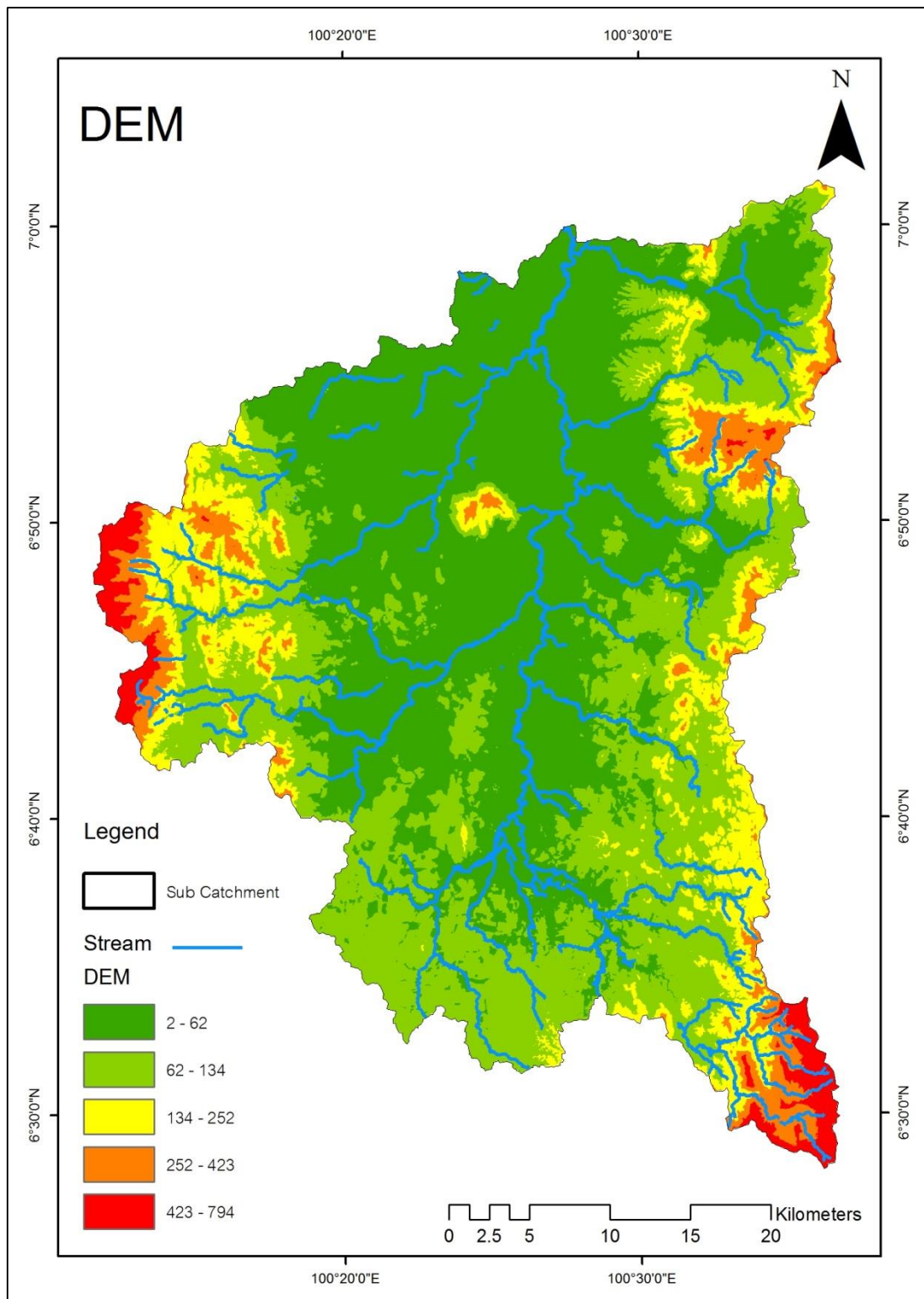
ลุ่มน้ำคลองอุตะเถามีลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบมรสุมเขตร้อน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ทำให้มีฝนตกเกือบตลอดทั้งปี โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำอยู่ 28.1 องศาเซลเซียส พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถานั้นแบ่งออกเป็น 2 ฤดู ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนมกราคม แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรก ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน เป็นช่วงมรสุม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย ช่วงนี้มีฝนตกน้อย และระยะที่ 2 ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พัดผ่านอ่าวไทย ทำให้ฝนตกชุก เดือนที่ฝนตกมากที่สุด คือ เดือนพฤศจิกายน และฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นลมร้อนและชื้น ทำให้อากาศร้อน โดยเดือนเมษายนเป็นเดือนที่อากาศร้อนที่สุด (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2553)

#### 3.1.2 ข้อมูลสำหรับการประมวลแบบจำลอง

- 1) ข้อมูลแผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model; DEM) เป็นข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะภูมิประเทศ สร้างจากข้อมูลเส้นชั้นความสูง ข้อมูลจุดความสูง (แหล่งที่มาของข้อมูล: จากกรมแผนที่ทหาร) แสดงดังรูปที่ 3.3
- 2) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด พลังงานแสงอาทิตย์ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ โดยเตรียมข้อมูล 2 แบบ คือ ส่วนข้อมูลแสดงตำแหน่งสถานีวัดสภาพภูมิอากาศ และส่วนข้อมูลรายละเอียดสภาพภูมิอากาศในรูปแบบตารางเพื่อเชื่อมต่อกับข้อมูลแสดงตำแหน่ง (แหล่งที่มาของข้อมูล: กรมอุตุนิยมวิทยา) ตำแหน่งที่ตั้งสถานีแสดงดังรูปที่ 3.4

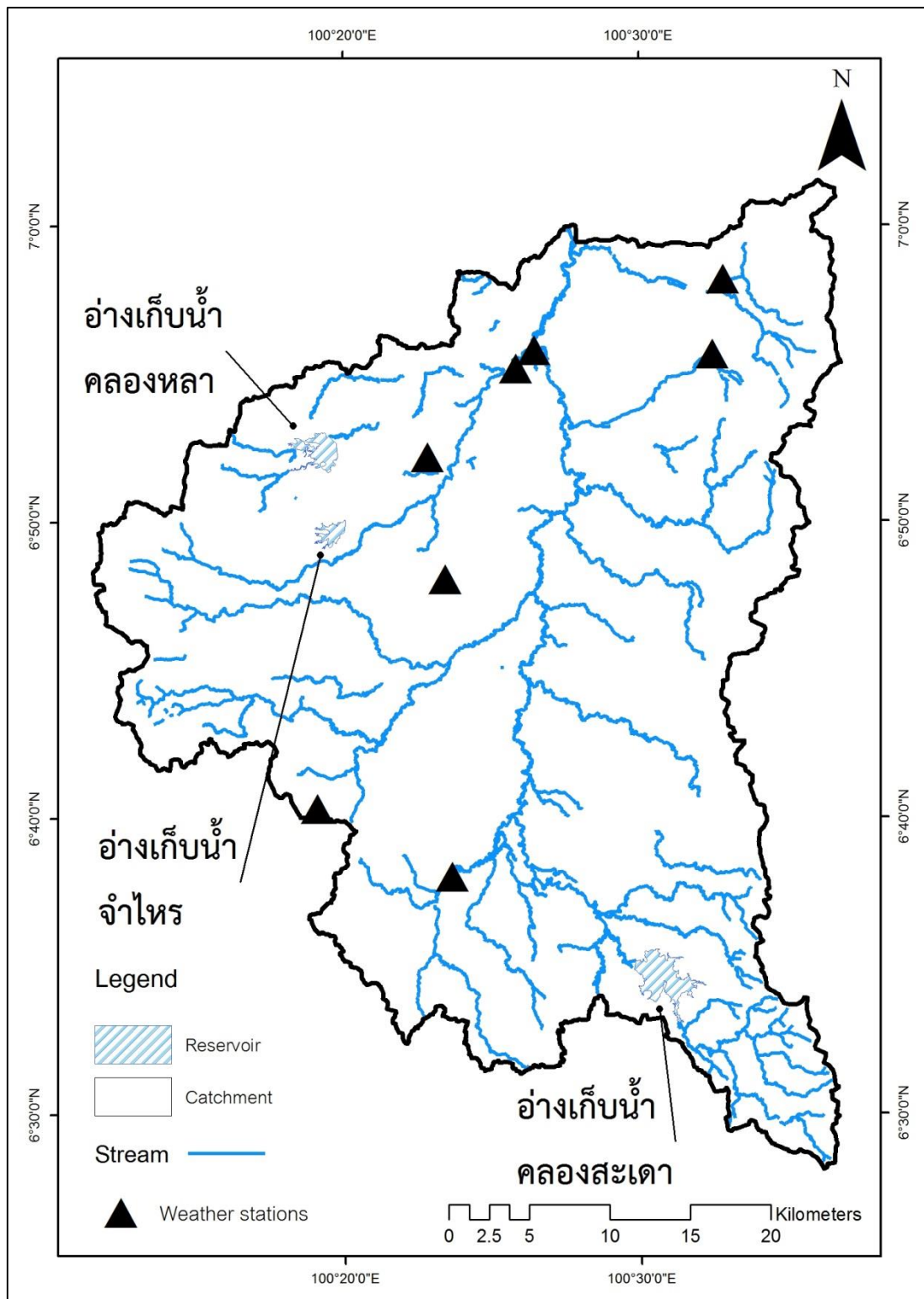


รูปที่ 3.2 พื้นที่ทำการศึกษา



รูปที่ 3.3 แผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลข

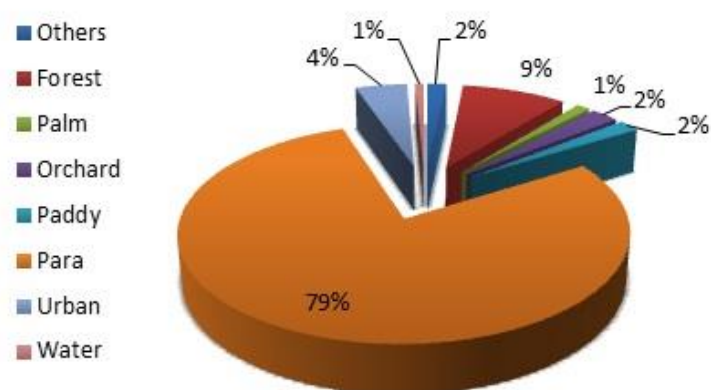
(ที่มา: กรมแผนที่ทหาร)



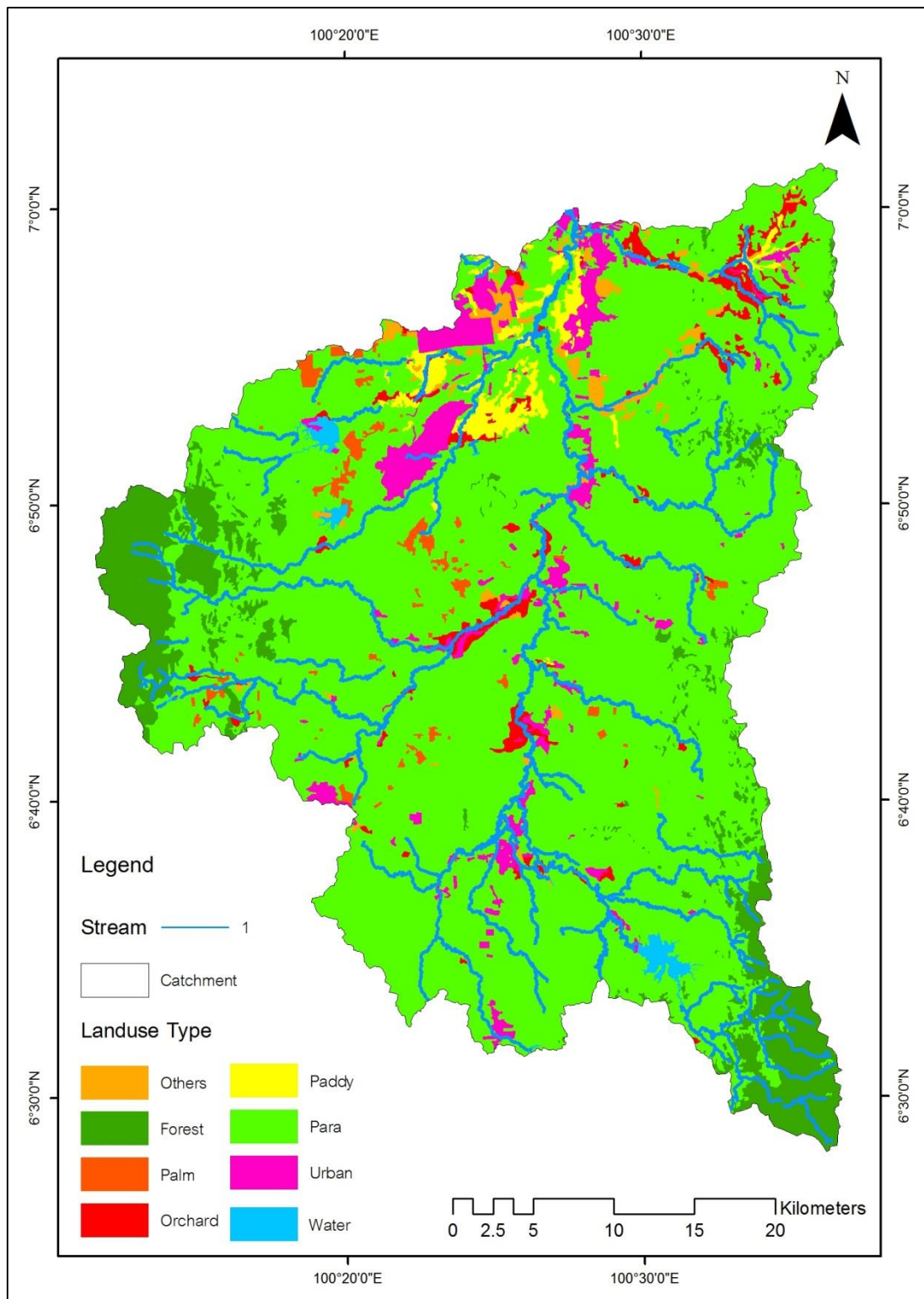
รูปที่ 3.4 แผนที่ที่ตั้งสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ

(ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา)

- 3) ข้อมูลอ่างเก็บน้ำและเส้นลำน้ำ ในส่วนของข้อมูลอ่างเก็บน้ำประกอบไปด้วยข้อมูลแสดงที่ตั้ง และข้อมูลการระบายทางน้ำ ในพื้นที่การศึกษามีอ่างเก็บน้ำ 3 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำคลองสะเดา ความจุ 56.741 ล้านลูกบาศก์เมตร มีวัตถุประสงค์เพื่อประปาสงขลา หาดใหญ่ และช่วยบรรเทาอุทกภัย อ่างเก็บน้ำคลองหลา ความจุ 21.420 ล้านลูกบาศก์เมตร มีวัตถุประสงค์เพื่อการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก และเพื่อการอุปโภคบริโภค และอ่างเก็บน้ำคลองจำไทร ความจุ 6.000 ล้านลูกบาศก์เมตร มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก และเพื่อการอุปโภคบริโภค (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2553) โดยที่ตั้งอ่างเก็บน้ำแสดงดังรูปที่ 3.4 ส่วนของเส้นลำน้ำเป็นข้อมูลที่กำหนดทิศทางไหลของน้ำโดยในพื้นที่การศึกษามีคลองอุตะเกาเป็นลำน้ำสายหลัก (แหล่งที่มาของข้อมูล: สำนักงานชลประทานที่ 16 จังหวัดสงขลา)
- 4) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน แบ่งข้อมูลได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแผนที่ซึ่งแสดงการกระจายลักษณะการใช้ที่ดิน และส่วนที่เป็นรายละเอียดการใช้ที่ดินในรูปแบบตารางเพื่อเชื่อมต่อกับแผนที่ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 เป็นตัวแทนในการสร้างแบบจำลอง โดยแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ สวนยาง (Para) มีเนื้อที่ 1288.79 ตารางกิโลเมตร ป่าไม้ (Forest) มีเนื้อที่ 148.57 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง(Urban) มีเนื้อที่ 73.62 ตารางกิโลเมตร สวนผสม (Orchard) มีเนื้อที่ 39.42 ตารางกิโลเมตร นาข้าว (Paddy) มีเนื้อที่ 30.62 ตารางกิโลเมตร สวนปาล์ม (Palm) มีเนื้อที่ 19.23 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่การใช้ประโยชน์อื่น ๆ (Others) มีเนื้อที่ 27.49 ตารางกิโลเมตร รายละเอียดแสดงในแผนภูมิร้อยละ และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน รูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 ตามลำดับ (แหล่งที่มาของข้อมูล: สถานีวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

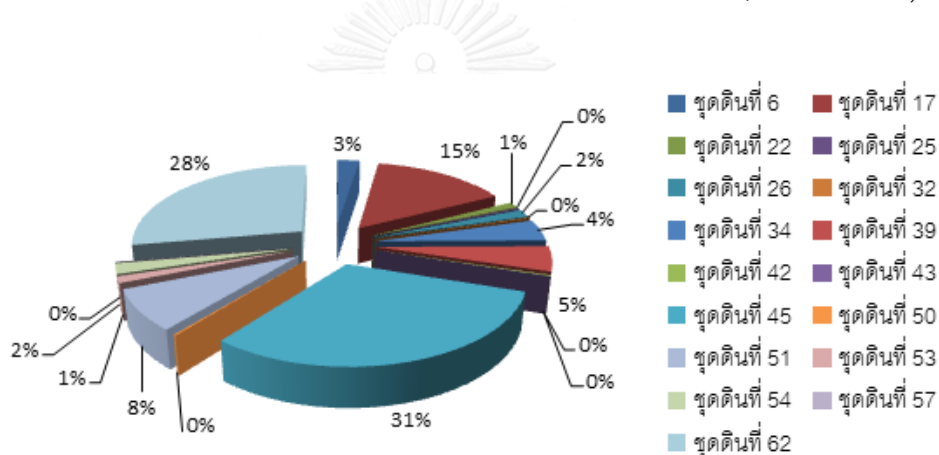


รูปที่ 3.5 แผนภูมิร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่การศึกษา



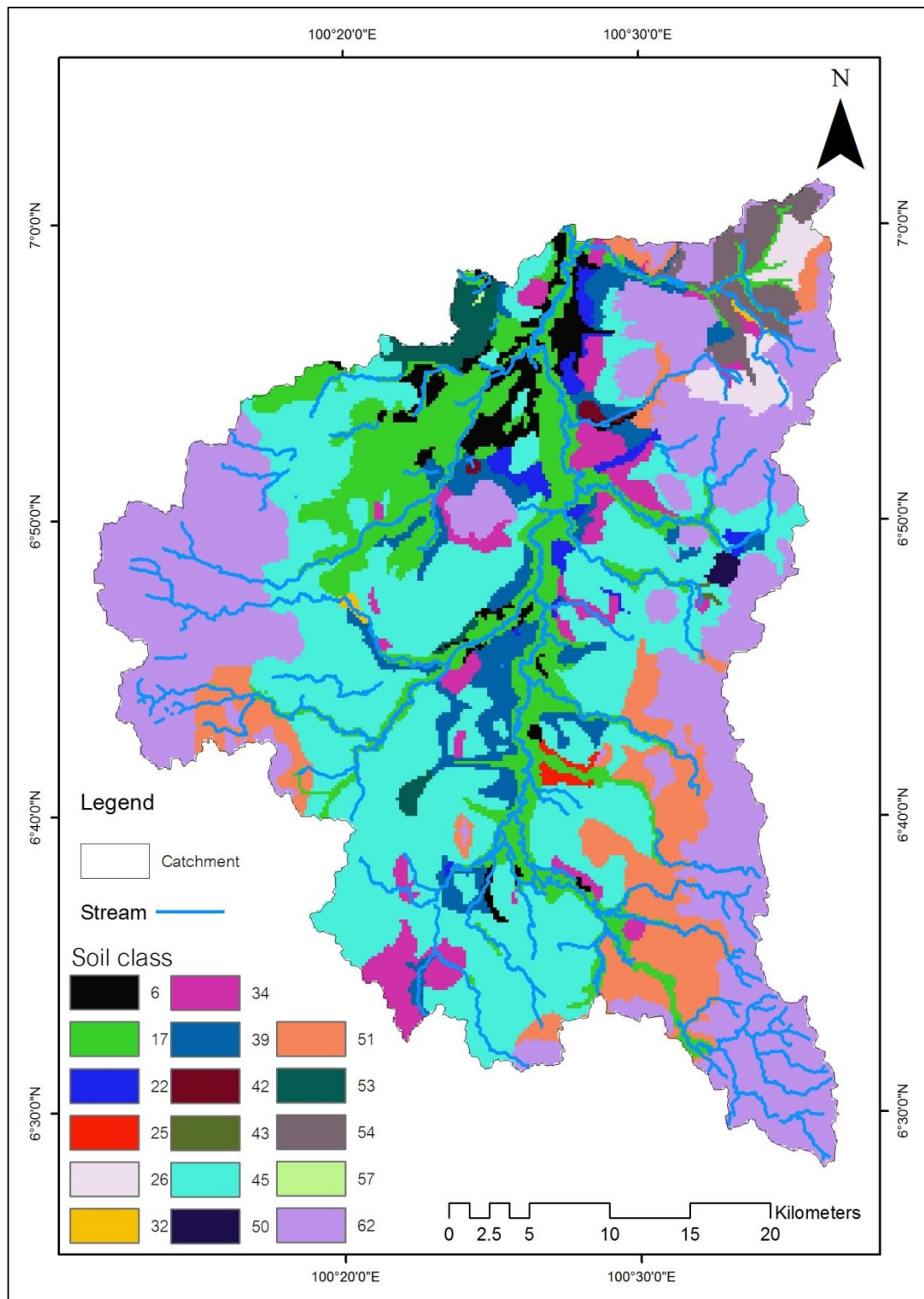
รูปที่ 3.6 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่การศึกษา  
(ที่มา: สถาบันวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

- 5) ข้อมูลชุดดิน (Soil Class) แบ่งข้อมูลได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแผนที่ซึ่งแสดงการกระจายลักษณะดิน และสมบัติของดิน และข้อมูลรายละเอียดดินในรูปแบบตารางเพื่อเชื่อมต่อกับแผนที่ (แหล่งที่มาของข้อมูล: กรมพัฒนาที่ดิน) การสำรวจของกรมพัฒนาที่ดินพบว่าพื้นที่การศึกษาประกอบด้วยดินชุดต่าง ๆ รวม 17 ชุดดิน ชุดดินที่ 45 เป็นชุดดินที่พบมากที่สุดครอบคลุมพื้นที่ถึง 506 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 31 รองลงมา คือ ชุดดินที่ลาดเชิงซ้อน (slope complex) และชุดที่ดิน 17 มีพื้นที่ 455 และ 245 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 28 และ 15 ตามลำดับ ส่วนชุดดินอื่น ๆ พบกระจายอยู่ทั่วไป รายละเอียดแสดงในแผนภูมิร้อยละและแผนที่ชุดดิน รูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 ลักษณะของเนื้อดินส่วนใหญ่ นอกเหนือจากดินบริเวณพื้นที่ภูเขา จะเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนปนทรายแป้ง และดินเหนียว ซึ่งมีระดับการระบายน้ำของดินมีตั้งแต่ ดีมากเกินไป ถึงเลวมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2524)



รูปที่ 3.7 แผนภูมิร้อยละของชุดดินในพื้นที่การศึกษา

- 6) ข้อมูลกิจกรรมการเพาะปลูก ในพื้นที่การศึกษาปรากฏการเพาะปลูก 4 ประเภท ได้แก่ สวนยางพารา นาข้าว (นาปี) ปาล์มน้ำมัน และไม้ผลสวนผสม(ลองกอง) ซึ่งมีรายละเอียดกิจกรรมในรอบปีของการเพาะปลูกดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 แผนที่ชุดดิน  
(ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน)



ตารางที่ 3.1 กิจกรรมในรอบปีของการเพาะปลูกยางพารา

กิจกรรม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ใส่ปุ๋ยสูตร 30-05-18 (40 กิโลกรัมต่อไร่)					■					■		
กำจัดวัชพืช				■					■			
การเก็บเกี่ยวผลผลิต				■	■	■	■	■	■	■	■	■

หมายเหตุ ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ยางพารามีอายุที่ให้ผลผลิตแล้ว (มากกว่า 7 ปี)

ที่มา : ทักษิณานต์ นวลแก้ว, จักรกฤษณ์ พูนภักดี, จุฑามาศ แก้วมโน และจำเป็น อ่อนทอง (2556)

ตารางที่ 3.2 กิจกรรมในรอบปีของการเพาะปลูกนาข้าว

กิจกรรม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ไถพรวน					■							
หว่านข้าว					■							
ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-08 (2 กิโลกรัมต่อไร่)						■						
ถอนกล้า และปักดำ							■					
ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-08 (2.5 กิโลกรัมต่อไร่)								■				
ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 (2.5 กิโลกรัมต่อไร่)									■			
กำจัดวัชพืช						■	■					
เก็บเกี่ยวผลผลิต											■	

หมายเหตุ ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้มีการปลูกข้าวเฉพาะช่วงนาปี

ที่มา : สมปอง นุกุลรัตน์, ศรีธรรมา ชูธรรมธัช, สุนันท์ ธีราวุฒิ, สรัญญา คำอำภัย และอมรรรัตน์ นาทวีไพโรจน์ (2553)

ตารางที่ 3.3 กิจกรรมในรอบปีของการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

กิจกรรม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ใส่ปุ๋ยสูตร 21-00-00 (200 กิโลกรัมต่อไร่)					■					■		
ใส่ปุ๋ยสูตร 00-03-00 (120 กิโลกรัมต่อไร่)					■					■		
กำจัดวัชพืช				■					■			
การเก็บเกี่ยวผลผลิต				■	■	■	■	■	■	■	■	■

หมายเหตุ ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ปาล์มน้ำมันมีอายุที่ให้ผลผลิตแล้ว (มากกว่า 5 ปี)

ที่มา : ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และธีระพงศ์ จันทรนิยม (2558)

ตารางที่ 3.4 กิจกรรมในรอบปีของการเพาะไม้ผลสวนผสม

กิจกรรม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ระยะก่อนออกดอก												
ใส่ปุ๋ยสูตร 08-24-24 (45 กิโลกรัมต่อไร่)	■											
ใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 (45 กิโลกรัมต่อไร่)	■											
ระยะแทงช่อดอก												
ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 (45 กิโลกรัมต่อไร่)					■							
ใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 (45 กิโลกรัมต่อไร่)							■					
ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต										■		
ระยะหลังเก็บเกี่ยว												
ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 (90 กิโลกรัมต่อไร่)											■	

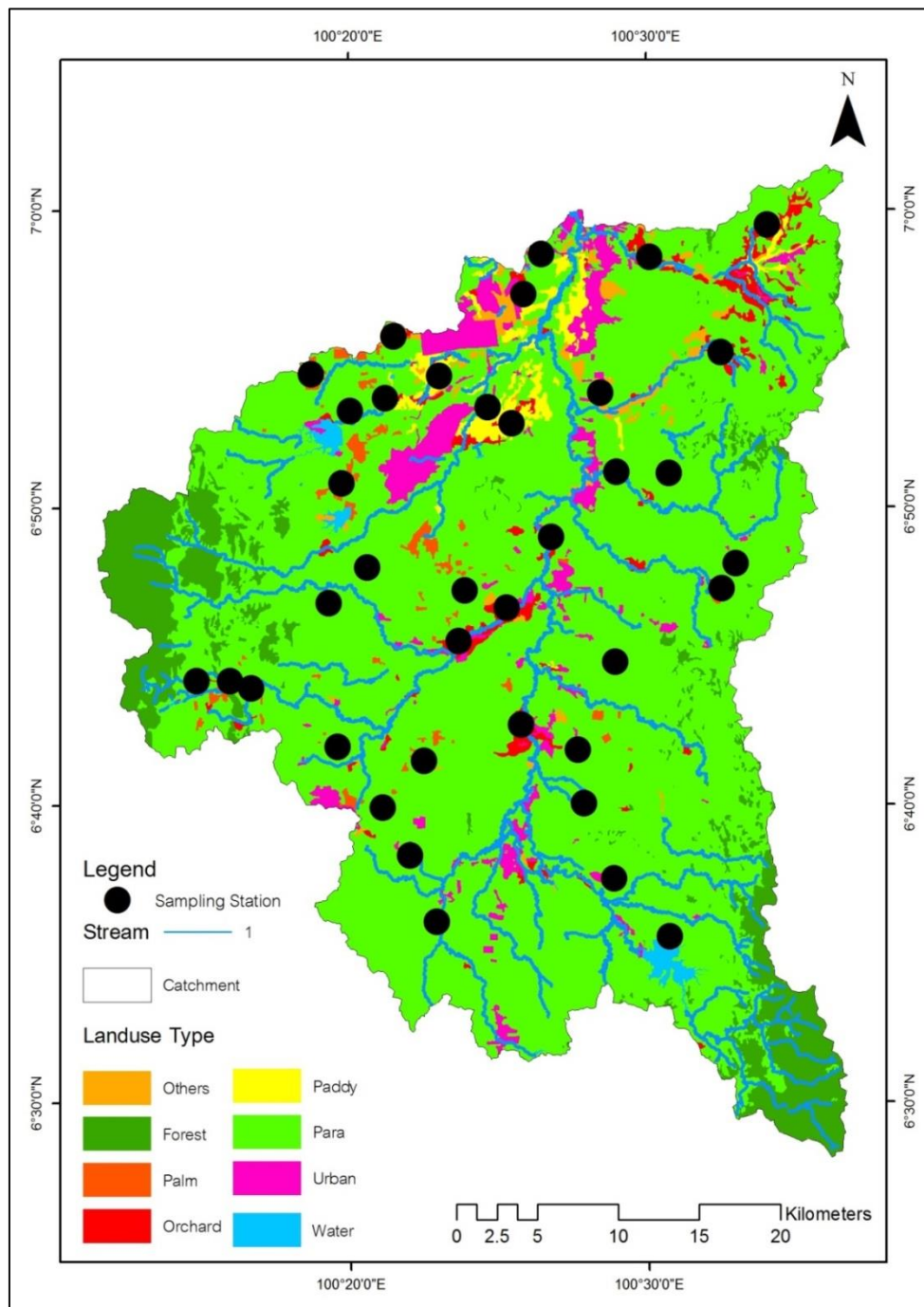
หมายเหตุ ในการศึกษานี้กำหนดให้ลองกองเป็นตัวแทนของไม้ผลสวนผสมในพื้นที่การศึกษา โดยกำหนดให้ลองกองมีอายุที่ให้ผลผลิตแล้ว (มากกว่า 5 ปี)

ที่มา : สุพจน์ ชัยวิมล และสุวิช ทาเจริญ (2554)

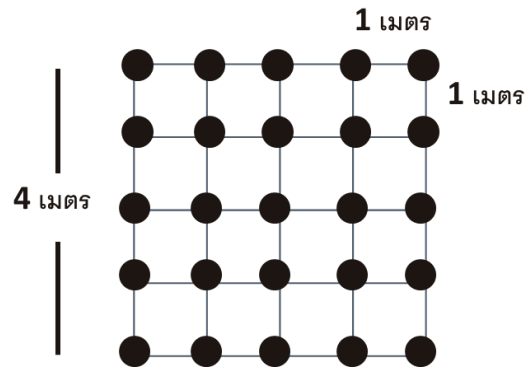
- 7) ข้อมูลปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน แบบจำลองต้องการข้อมูลของปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปแบบของ ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen) อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ (Soluble Phosphorus) และอินทรีย์ฟอสฟอรัส (Organic Phosphorus) โดยข้อมูลดังกล่าวได้จากการเก็บตัวอย่างดินในภาคสนาม โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

- การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง ในการศึกษา นี้ เพื่อให้ได้ตัวอย่างครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยใช้วิธีการสุ่มเลือกตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified sampling) โดยเลือกจุดเก็บตาม ลุ่มน้ำย่อย 7 กลุ่ม และการใช้ที่ดิน 5 กลุ่ม ประกอบด้วยยางพารา ปาล์ม สวนผสมไม้ผล นาข้าว และการใช้ประโยชน์อื่น จะได้ตัวอย่างทั้งหมด 38 สถานี แสดงดังรูปที่ 3.9 โดยทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 27 -28 เมษายน พ.ศ. 2558
- วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างดินเพื่อเป็นตัวแทนของดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร (Top soil) เนื่องจากต้องการศึกษาการกระจาย และการชะล้างของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ระดับผิวน้ำดิน การเก็บตัวอย่างหนึ่งสถานี ต้องทำการเก็บดินทั้งหมด 25 จุด ในพื้นที่ 4x4 เมตร โดยเว้นระยะทุก 1 เมตร ดังรูปที่ 3.10 เพื่อให้ได้เป็นตัวแทนของดินในพื้นที่นั้นอย่างแท้จริง โดยใช้โดยใช้เครื่องเจาะเก็บตัวอย่างดินแบบ Tube auger แสดงดังรูปที่ 3.11 เนื่องจาก Tube auger

จะช่วยให้ได้ตัวอย่างดินทั้ง 25 จุด มีปริมาตรที่เท่ากัน แล้วนำตัวอย่างดินที่ได้มาผสมให้เข้ากัน (Composite sample) แสดงดังรูปที่ 3.12 นำตัวอย่างดินที่ได้เก็บใส่ถุงพลาสติกและติดป้ายแสดงจุดเก็บตัวอย่าง หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป ดังพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ดัง ตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.9 แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.10 จุดเก็บตัวอย่างใน 1 สถานี



(ก) การเก็บตัวอย่างด้วย Tube auger

(ข) ตัวอย่างที่ทำการเก็บด้วย Tube auger

รูปที่ 3.11 การเก็บตัวอย่าง  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



(ก) การผสมตัวอย่างดินให้เข้ากัน

(ข) การแบ่งส่วนสำหรับเก็บไปวิเคราะห์ต่อไป

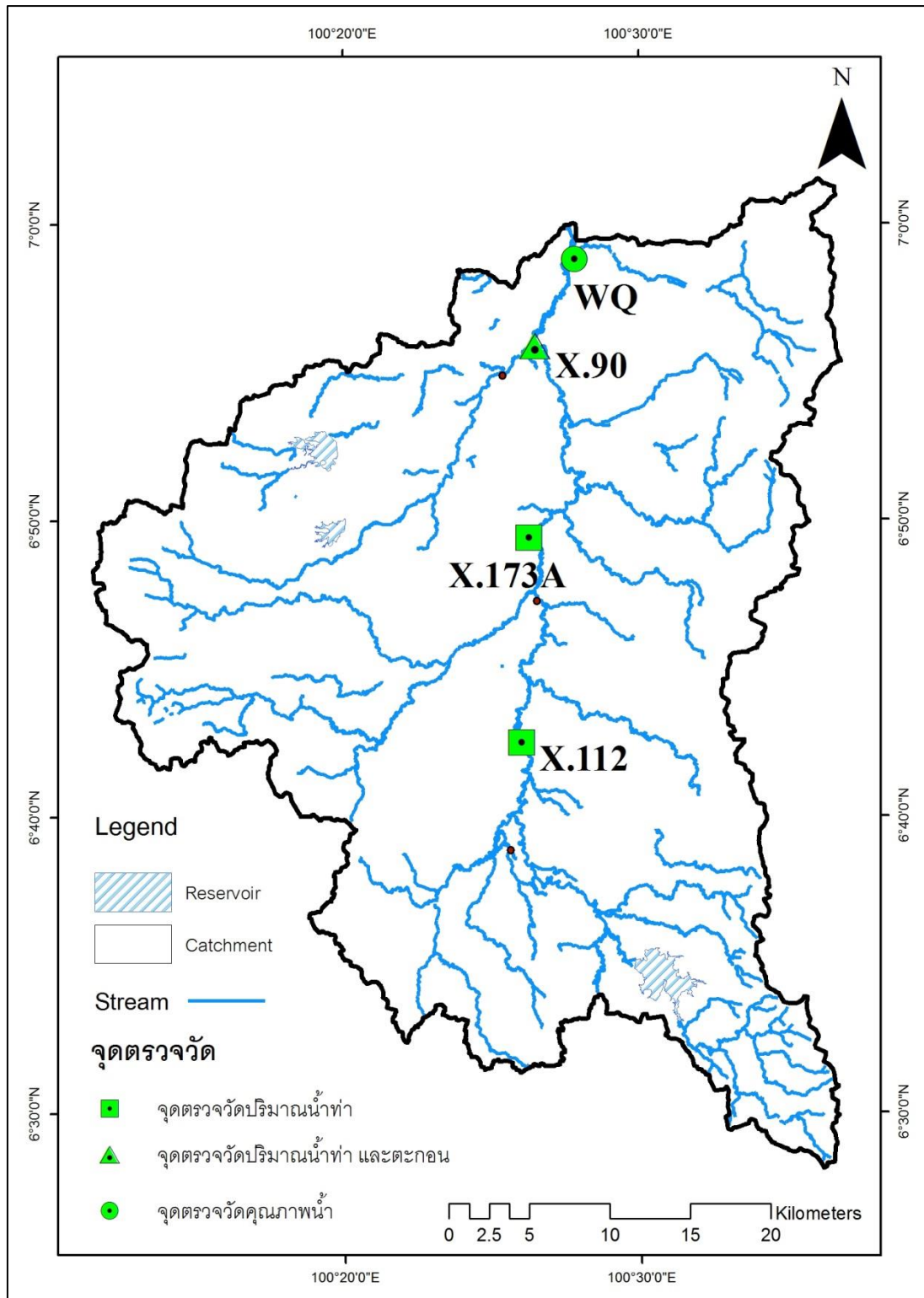
รูปที่ 3.12 การผสมตัวอย่างดินให้เข้ากัน (Composite sample)

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1) ขนาดอนุภาคของดิน (grain size)	Sieve and Pipette method, based on Stoke's law (Anderson & Ingram, 1993)
2) อินทรีย์วัตถุ (organic matter)	Walkley and Black method (Loring & Rantala, 1992)
3) ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน (Nitrate-nitrogen)	Extracted with $K_2SO_4$ & Colorimetric method (Anderson & Ingram, 1993)
4) ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-nitrogen)	Extracted with KCl & Colorimetric method (Beathgen & Alley, 1989)
5) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus)	Extracted with Bray II & Colorimetric method (Bray & Kurtz, 1945)
6) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	Kjeldahl method (Eaton, Clesceri, & Greenberg, 1995)
7) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	basic EDTA extraction method (Halloran & Cade-Menun, 2007)
8) ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic Phosphorus)	basic EDTA extraction method (Halloran & Cade-Menun, 2007)

### 3.1.3 ข้อมูลที่ใช้ในการสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลอง

- ข้อมูลปริมาณน้ำท่า แบ่งข้อมูลได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนข้อมูลแสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำท่า และส่วนข้อมูลรายละเอียดปริมาณน้ำท่าในรูปแบบตาราง เพื่อเชื่อมต่อกับส่วนข้อมูลตารางแสดงตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 3.13 (แหล่งที่มา: อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคใต้ สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน)
- ข้อมูลปริมาณตะกอน แบ่งข้อมูลได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนข้อมูลแสดงตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่า และส่วนข้อมูลรายละเอียดปริมาณน้ำท่า ในรูปแบบตารางเพื่อเชื่อมต่อกับส่วนข้อมูลแสดงตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 3.13 (แหล่งที่มา: อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคใต้ สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน)
- ข้อมูลคุณภาพน้ำ แบ่งข้อมูลได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนข้อมูลแสดงตำแหน่งสถานีวัดคุณภาพน้ำ และส่วนข้อมูลรายละเอียดคุณภาพน้ำ ในรูปแบบตารางเพื่อเชื่อมต่อกับส่วนข้อมูลแสดงตำแหน่งรูปที่ 3.13 (แหล่งที่มา: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)



รูปที่ 3.13 สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และคุณภาพน้ำ

### 3.1.4 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ในอนาคต

ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต จากแบบจำลอง RegCM3 ในโครงการ “การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM3 สำหรับประเทศไทย” ภายใต้ภาพฉายอนาคตสมมติ A1B โดยใช้ข้อมูลการสภาพภูมิอากาศในอนาคตระยะ 30 ปี (พ.ศ. 2557 - พ.ศ. 2586)

## 3.2. การสร้างแบบจำลอง SWAT

สำหรับการสร้างแบบจำลองการนำเข้าข้อมูลของแบบจำลอง SWAT มีการนำเข้าข้อมูล 2 รูปแบบ คือ นำเข้าข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ และนำเข้าข้อมูลที่เป็นตาราง ซึ่งข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลองจะต้องได้รวบรวมและวิเคราะห์ จัดทำเป็นไฟล์ไว้ก่อนแล้ว จึงค่อยนำเข้าแบบจำลอง โดยมีขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองดังนี้

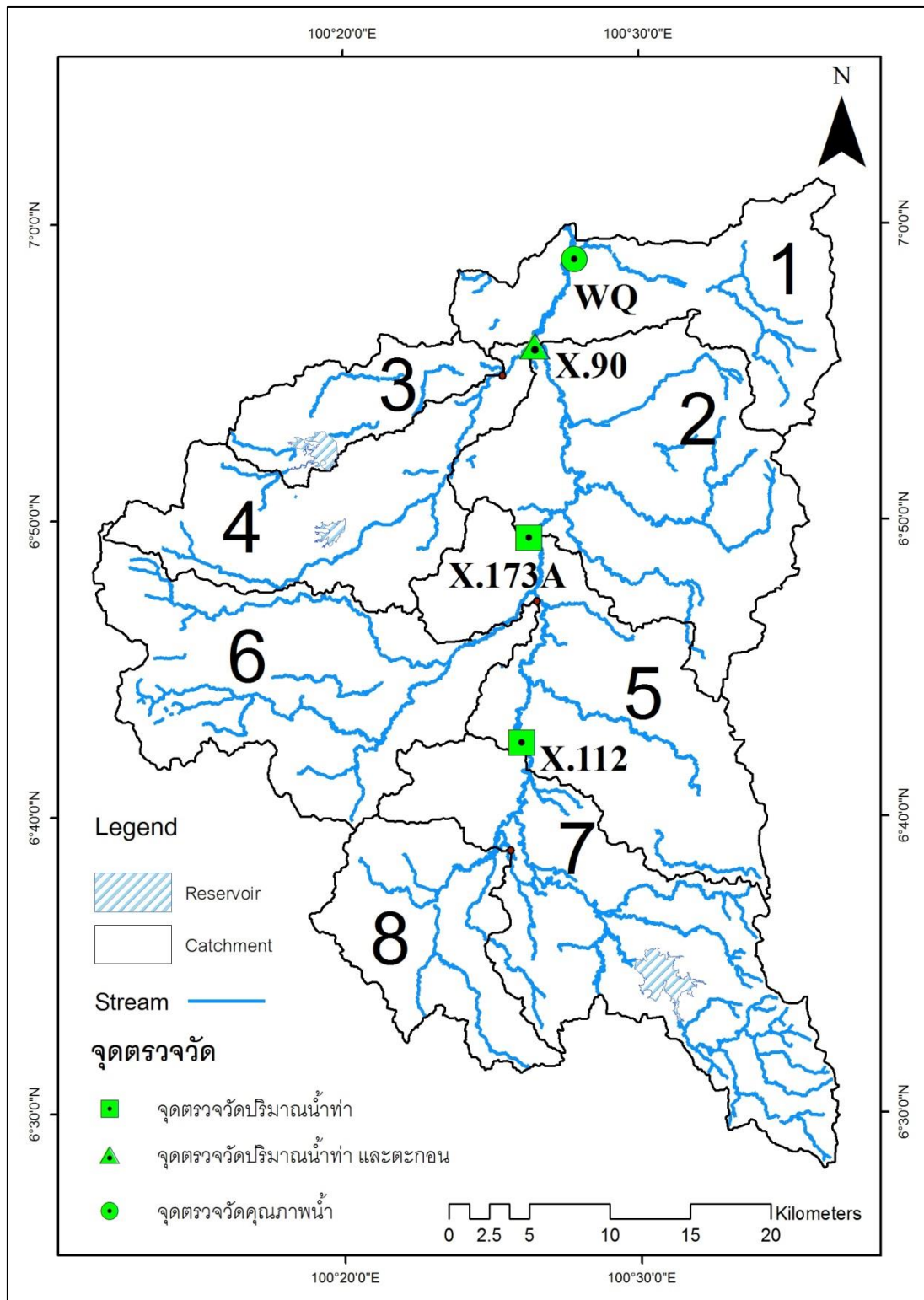
### 3.2.1 การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ ( Watershed Delineate )

การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำในแบบจำลอง SWAT จำเป็นต้องใช้ข้อมูลแผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model; DEM) เพื่อให้แบบจำลองใช้ในการคำนวณสภาพทางกายภาพทั่วไปของพื้นที่ เช่น ความลาดชันของพื้นที่ ขอบเขตสันปันน้ำเพื่อกำหนดพื้นที่รับน้ำ เป็นต้น และในขั้นตอนนี้ กำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ที่ตั้งสถานีตรวจสำหรับการใช้สอบเทียบแบบจำลอง และที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำ

การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ในการศึกษาครั้งนี้ แบ่งออก 8 ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งแตกต่างการแบ่งลุ่มน้ำย่อยในการเก็บตัวอย่างดิน ที่มี 7 ลุ่มน้ำย่อย เนื่องจากในแบบจำลองกำหนดให้หนึ่งลุ่มน้ำย่อยจะมีได้หนึ่งอ่างเก็บน้ำ จึงจำเป็นต้องแบ่งลุ่มน้ำย่อยที่ 3 ที่อ่างเก็บน้ำ 2 แห่ง ออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 3.14

### 3.2.2 การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrological Respond Units)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดเงื่อนไขการสร้างหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrological Respond Units; HRUs) ของพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อให้สอดคล้องตามการแพร่กระจายของลักษณะการใช้ที่ดินและชนิดของดินขั้นตอนนี้เป็นการนำเข้าข้อมูลการใช้ที่ดิน (Land Use) และชนิดดิน (Soil Class) และความลาดชัน (Slope) ซึ่งมีการนำลักษณะข้อมูลที่เหมือนกัน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ข้อมูลแผนที่ และตารางข้อมูล โดยใช้การกำหนดรหัสเพื่อเชื่อมโยงข้อมูลทั้งสองลักษณะเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.14 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา



### 3.2.3 การนำเข้าข้อมูลในแบบจำลอง .

ในการศึกษาครั้งนี้มีการนำเข้าข้อมูล 4 ประเภทประกอบด้วย ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลการระบายน้ำของอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลปฏิทินเพาะปลูกและการใช้ปุ๋ย และข้อมูลปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดิน

### 3.3 การสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลอง SWAT

การสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลองเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ที่ความเหมาะสมกับแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองมีถูกต้อง โดยเกณฑ์ในการสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลองนั้นพิจารณาด้วยการใช้กราฟเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากตรวจวัด และข้อมูลจากแบบจำลอง และการใช้ค่าทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากผลการคำนวณของแบบจำลอง กับข้อมูลที่ได้จากตรวจวัด ซึ่งค่าทางสถิติที่ใช้เป็นเกณฑ์ซึ่ง คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of Determination;  $R^2$ ) ดังสมการที่ 16 เป็นพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ซึ่งใช้วิธีกำลังสองสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยมีสมการดังนี้

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

- เมื่อ
- $R^2$  = Coefficient of Determination
  - $O_i$  = ค่าที่ได้จากการตรวจวัด
  - $\bar{O}$  = ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการตรวจวัด
  - $P_i$  = ค่าที่ได้จากการแบบจำลอง
  - $\bar{P}$  = ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากแบบจำลอง

เกณฑ์ของค่า  $R^2$  และ  $r$  สำหรับกำหนดระดับประสิทธิภาพการใช้งานของแบบจำลอง (model performance) (Donigian, 2002) แสดงดังรูปที่ 3.15

### 3.4 การใช้แบบจำลอง SWAT กับกรณีศึกษาสภาพฝนในอนาคต

การจำลองสถานการณ์ผลกระทบของสภาพภูมิอากาศในอนาคต ดำเนินการแบ่งช่วงข้อมูลปี พ.ศ. 2552 - 2586 แบ่งออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงปี พ.ศ. 2552 - 2556 ช่วงปี พ.ศ. 2557- 2566 ช่วงปี พ.ศ. 2567 - 2576 และช่วงปี พ.ศ. 2577 - 2586 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายเดือน ของ ปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน ไนโตรเจน-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด

การจำลองสถานการณ์ผลกระทบของสภาพภูมิอากาศในอนาคต จะนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองมาใช้ โดยจะใช้ข้อมูลอื่น ๆ เหมือนกับการสอบเทียบแบบจำลอง ประกอบด้วย ข้อมูลแผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM) ข้อมูลชุดดิน (Soil Class) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) ปี พ.ศ. 2552 ข้อมูลกิจกรรมการเพาะปลูก ข้อมูลไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดิน และข้อมูลอ่างเก็บน้ำ ยกเว้นข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ใช้ข้อมูลจากการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต

พารามิเตอร์ทางสถิติ	ค่าสัมประสิทธิ์ที่ยอมรับได้ในระดับต่างๆ				
R	← 0.75	0.80	0.85	0.90	0.96 →
R <sup>2</sup>	← 0.6	0.7	0.8	0.9	→
Daily	แย่มาก Poor	พอใช้ Fair	ดี Good	ดีมาก Very Good	
Monthly	แย่มาก Poor	พอใช้ Fair	ดี Good	ดีมาก Very Good	

รูปที่ 3.15 เกณฑ์ในการใช้ค่า R<sup>2</sup> และ r สำหรับกำหนดระดับประสิทธิภาพการใช้งานของแบบจำลอง  
ที่มา : สาธิตา บุญแก้ววรรณ (2556)

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา และอภิปรายผลของคุณสมบัติดิน

การศึกษาในบทนี้กล่าวถึง ลักษณะทางเคมีและกายภาพของดิน รูปแบบการแพร่กระจายของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ตามอิทธิพลของการใช้ที่ดิน ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาตอนบนตามจุดเก็บตัวอย่าง 38 สถานี สรุปไว้ในตาราง 4.1 สำหรับปริมาณของตัวแปรทางกายภาพ และทางเคมีของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาตอนบนจำแนกตามประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use) แสดงดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นของตัวแปรทางกายภาพและเคมีของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ

Parameter	Min-Max	Mean±SD
Sand (%)	3.8 - 91.8	52 ± 19.8
Slit (%)	1.8 - 70.3	36.5 ± 16.1
Clay (%)	3.2 - 42.7	11.7 ± 7.2
Organic Matter; OM (%)	0.4 - 3.5	1.4 ± 0.7
Nitrate-Nitrogen; Nitrate-N (mg-N/kg)	0 - 31	5.2 ± 6.2
Ammonia- Nitrogen; Ammonia-N (mg-N/kg)	0.8 - 14	4.9 ± 2.6
Total Inorganic Nitrogen; TIN (mg-N/kg)	3 - 38.6	10.1 ± 6.8
Organic Nitrogen; Organic-N (mg-N/kg)	271 - 2,466	979 ± 481
Total Kjedal Nitrogen; TKN (mg-N/kg)	273 - 2,478	983 ± 483
Inorganic Phosphorus; Inorganic-P (mg-P/kg)	27 - 963	269 ± 203
Organic Phosphorus; Organic-P (mg-P/kg)	21 - 2,318	578 ± 516
Total Phosphorus; Total P (mg-P/kg)	112 - 3,282	847 ± 650
Available-Phosphorus; Avai-P (mg-P/kg)	2.8 - 159	36 ± 41

ตารางที่ 4.2 สรุปค่าความเข้มข้นของ ตัวแปรทางกายภาพและทางเคมี แยกตามประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use) ในดินพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

Parameter	Statistics	Orchard	Others	Paddy	Palm	Para	All sample
Sand (%)	Mean±SD	58±19.3	40.5±25.1	47.1±17.3	49.4±15.1	54.4±21.3	52±19.8
	Min-Max	18.8-78.1	3.8-65.6	33.5-66.5	30.5-77.5	23-91.8	3.8-91.8
	n	10	5	3	7	13	38
Slit (%)	Mean±SD	32.1±19.2	42.4±12.3	44.5±13.9	40.6±13.7	33.5±16.6	36.5±16.1
	Min-Max	14.3-70.3	26.3-53.5	29-55.7	14.1-55.3	1.8-56.8	1.8-70.3
	n	10	5	3	7	13	38
Clay (%)	Mean±SD	10.1±2.8	17.3±15.3	8.5±3.5	10.2±4.5	12.3±6.6	11.7±7.2
	Min-Max	6.3-14.9	6.8-42.7	4.5-10.8	3.2-16.3	5.5-25	3.2-42.7
	n	10	5	3	7	13	38
OM (%)	Mean±SD	1.5±0.4	1.5±0.6	0.9±0.7	1.5±0.7	1.4±0.9	1.4±0.7
	Min-Max	0.8-1.9	1-2.2	0.4-1.6	0.6-2.5	0.7-3.5	0.4-3.5
	n	10	5	3	7	13	38
Nitrate-N (mg-N/kg)	Mean±SD	5.1±2.3	3.7±3.8	2.8±1.5	6.5±8.7	5.8±8.1	5.2±6.2
	Min-Max	1.2-8.3	0.9-9.2	1.2-4.1	0-23.3	0.1-31	0-31
	n	10	5	3	7	13	38
Ammonia-N (mg-N/kg)	Mean±SD	4.6±1	7.2±4.5	4.1±2.9	3.3±1.2	5.3±2.6	4.9±2.6
	Min-Max	3.5-6.2	3.2-14	2.3-7.4	0.8-4.6	3-12.7	0.8-14
	n	10	5	3	7	13	38
TIN (mg-N/kg)	Mean±SD	9.6±2.5	10.8±5.8	6.9±1.6	9.8±9.2	11.1±8.9	10.1±6.8
	Min-Max	5.1-12.7	5.1-18.3	5.5-8.6	3-27.1	4.9-38.6	3-38.6
	n	10	5	3	7	13	38
Organic N (mg-N/kg)	Mean±SD	1,029±418	1,067±369	673±539	1,041±342	944±633	979±482
	Min-Max	479-1616	711-1640	271-1,285	565-1,536	370-2,466	271-2,466
	n	10	5	3	7	13	38
TKN (mg-N/kg)	Mean±SD	1,034±418	1,074±370	677.2±541	1,044±341	948±634	983±483
	Min-Max	485-1,623	715-1,649	273.7-1,292	568-1,540	375-2,478	273-2478
	n	10	5	3	7	13	38
Inorganic P (mg-P/kg)	Mean±SD	324±285	137±111	301±47	261.6±63	274±222	269±203
	Min-Max	27-947	44-293	268-355	143-325	36-963	27-963
	n	10	5	3	7	13	38
Organic P (mg-P/kg)	Mean±SD	748±462	528±564	253±133	583±540	537±592	578±515
	Min-Max	21-1,681	45-1,428	109-373	47-1,596	29-2,318	21-2,318
	n	10	5	3	7	13	38
Total P (mg-P/kg)	Mean±SD	1,072±690	665±510	554±153	845±554	812±787	847±649
	Min-Max	121-2,628	112-1,472	377-653	292-1,897	344-3,282	112-3,282
	n	10	5	3	7	13	38
Avai-P (mg-P/kg)	Mean±SD	55±47.9	30.4±37.1	9.5±6.4	38.3±52	28.9±35.7	36.1±41.7
	Min-Max	7.7-158.9	7.6-95.2	3.1-15.7	2.8-133.4	8.4-126.5	2.8-158.9
	n	10	5	3	7	13	38

#### 4.1 ขนาดอนุภาคดิน (grain size)

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดินตามลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกาตอนบนพบว่า พื้นที่ไม้ผสมสวนผสม (Orchard) มีปริมาณอนุภาคทราย (Sand) เฉลี่ยสูงสุดคิดเป็นร้อยละ  $58 \pm 19.3$  ของอนุภาคดินทั้งหมด รองลงมาในพื้นที่ และพื้นที่สวนยางพารา (Para) คิดเป็นร้อยละ  $54.4 \pm 21.3$  และพื้นที่การประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ (Others) ที่มีอนุภาคดินทรายน้อยคือค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ  $40.5 \pm 25.1$  (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.1 พบว่าในพื้นที่นาข้าว (Paddy) มีการกระจายตัวของปริมาณอนุภาคทรายมากที่สุด รองลงมาคือในพื้นที่การประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ ส่วนของพื้นที่ปาล์มน้ำมัน (Palm) มีการกระจายตัวของน้อยที่สุด

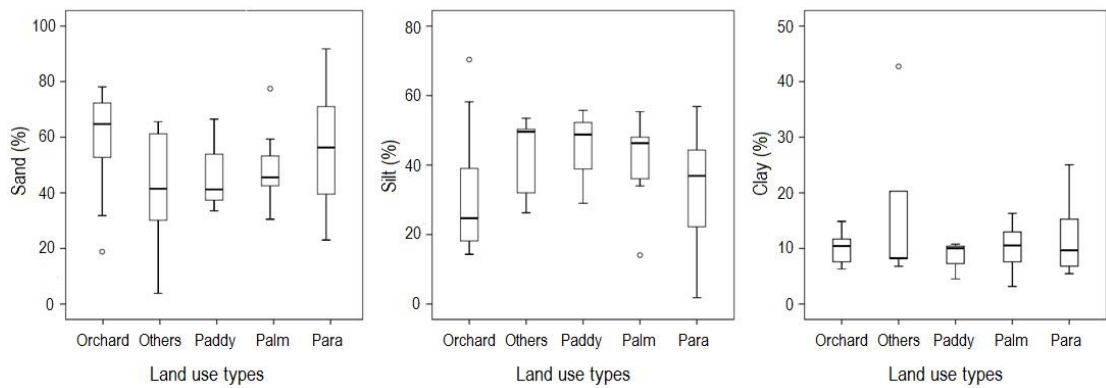
ส่วนของปริมาณอนุภาคทรายแป้ง (Silt) ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกาตอนบนตามการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า พื้นที่นาข้าว มีค่าเฉลี่ยสูงสุดร้อยละ  $44.5 \pm 13.9$  ของขนาดอนุภาคดินทั้งหมด รองลงมาในพื้นที่การประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ  $42.4 \pm 12.3$  และพื้นที่ไม้ผสมสวนผสม มีปริมาณอนุภาคทรายแป้งน้อยที่สุด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ  $32.1 \pm 19.2$  (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.1 พบว่าในพื้นที่นาข้าว มีการกระจายตัวของปริมาณอนุภาคทรายมากที่สุด และพื้นที่ปาล์มน้ำมัน มีการกระจายตัวของน้อยที่สุด

ปริมาณของอนุภาคดินเหนียว (Clay) ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกาตอนบนตามการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า การประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดร้อยละ  $17.3 \pm 15.3$  ของขนาดอนุภาคดินทั้งหมด และพื้นที่นาข้าว มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละ  $8.5 \pm 3.5$  (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.1 พบว่าในพื้นที่การประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ มีการกระจายตัวของปริมาณอนุภาคทรายมากที่สุด และพื้นที่ไม้ผสมสวนผสมมีการกระจายตัวของน้อยที่สุด

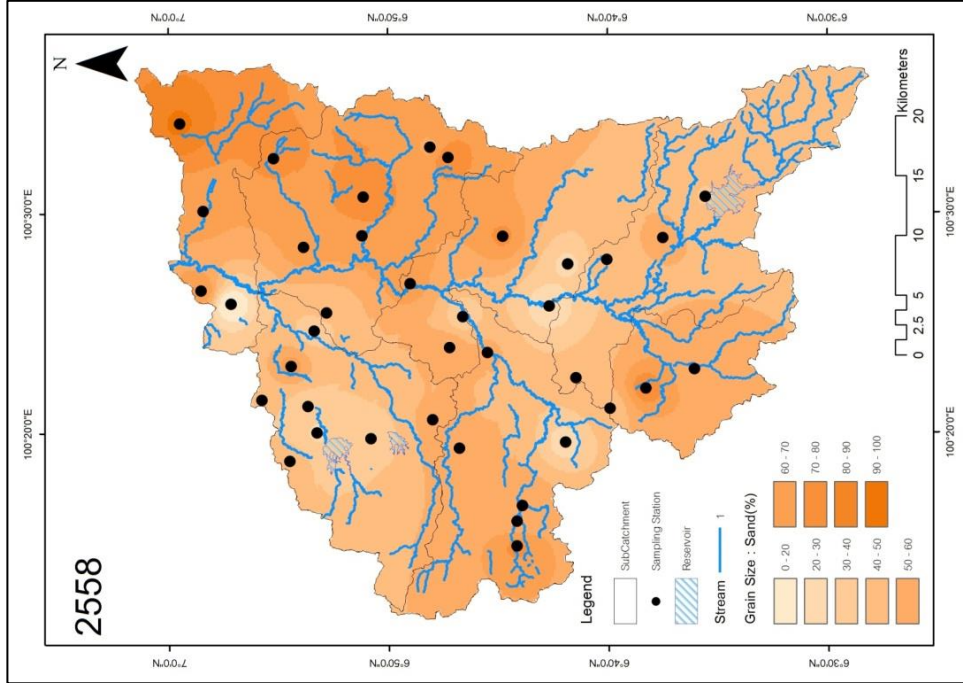
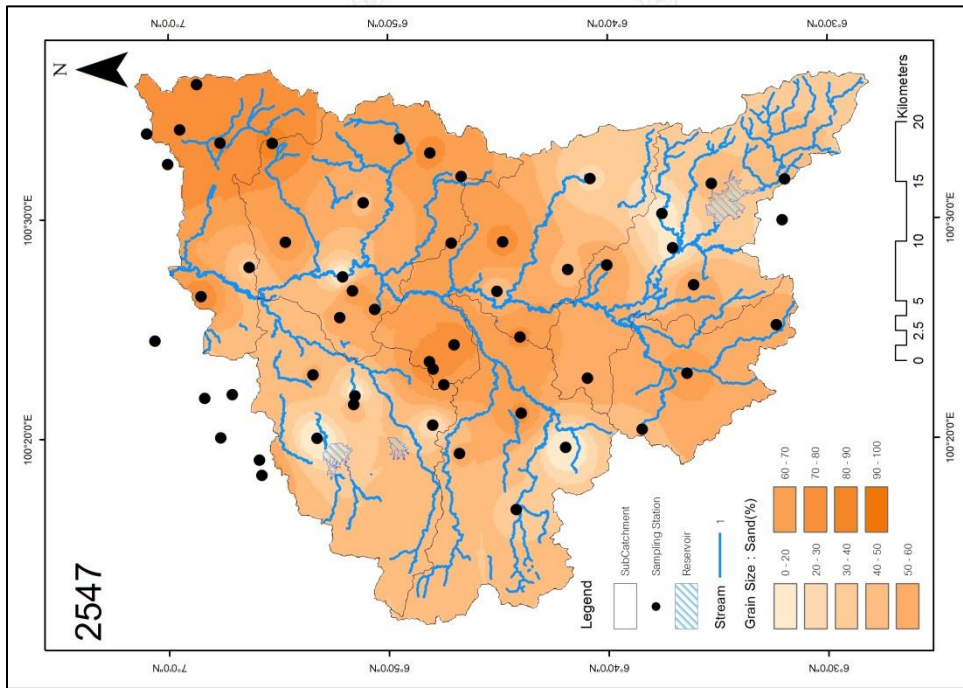
เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล ปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูลย์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษาปริมาณอนุภาคทรายมีค่าลดลงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณอนุภาคทรายแป้งมีค่าเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ กลับกันปริมาณของอนุภาคดินเหนียว ค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยรายละเอียดการเปรียบเทียบดังแสดงตารางที่ 4.3

การแพร่กระจายของปริมาณทราย ดังรูปที่ 4.2 ในพื้นที่การศึกษาการแพร่กระจายปริมาณทราย ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 50-70 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยตลอดทั้งพื้นที่ โดยจะการแพร่กระจายหนาแน่นบริเวณพื้นที่ที่มีภูเขาหรือพื้นที่ที่ค่อนข้างสูง ส่วนของการแพร่กระจายปริมาณทรายแป้ง ดังรูปที่ 4.3 ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 40-50 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยตลอดทั้งพื้นที่ และการแพร่กระจายปริมาณดินเหนียว ดังรูปที่ 4.4 ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 0-20 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย

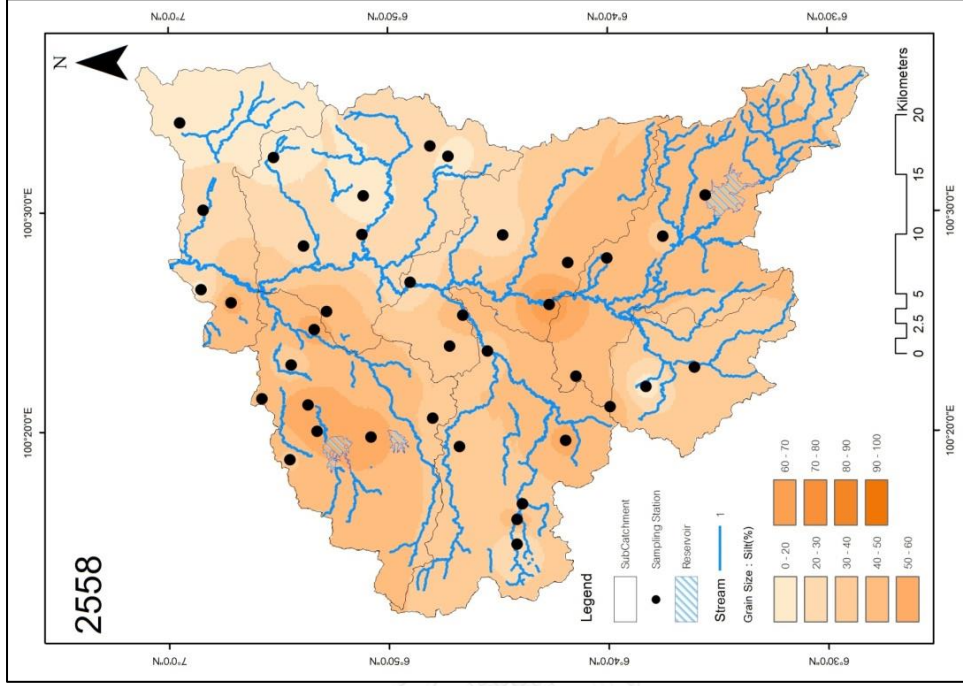
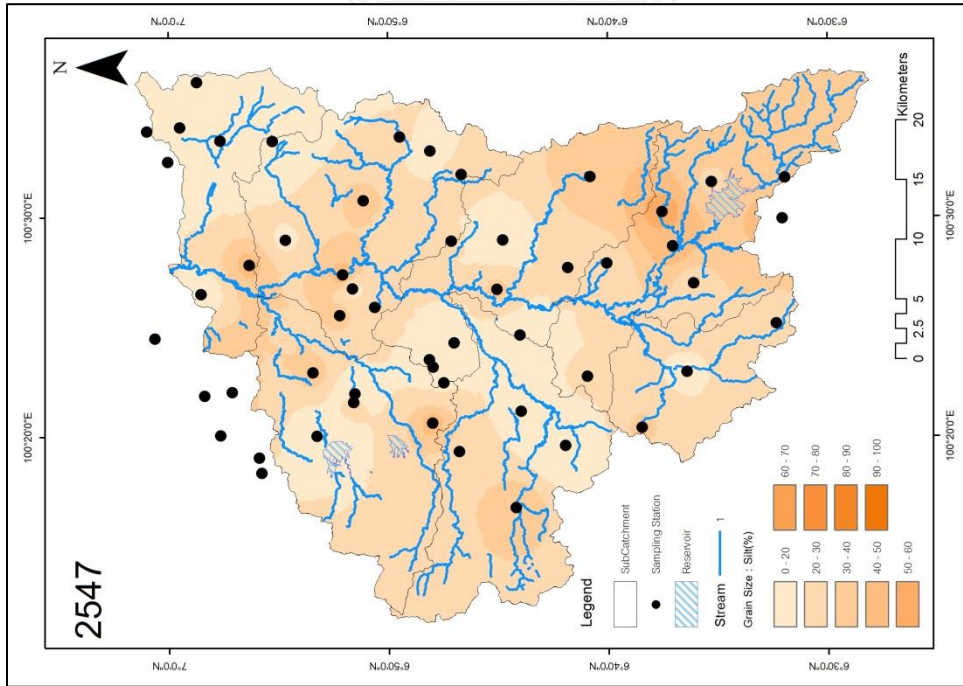
ตลอดทั้งพื้นที่ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า แนวโน้ม ทั้งเชิงปริมาณ และเชิงพื้นที่ มีความใกล้เคียงกัน ทั้ง ปริมาณอนุภาคทรายปริมาณทรายแป้ง ปริมาณดินเหนียว



รูปที่ 4.1 Box plot แสดงร้อยละของอนุภาคขนาดทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) ในดินลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ปี พ.ศ. 2558

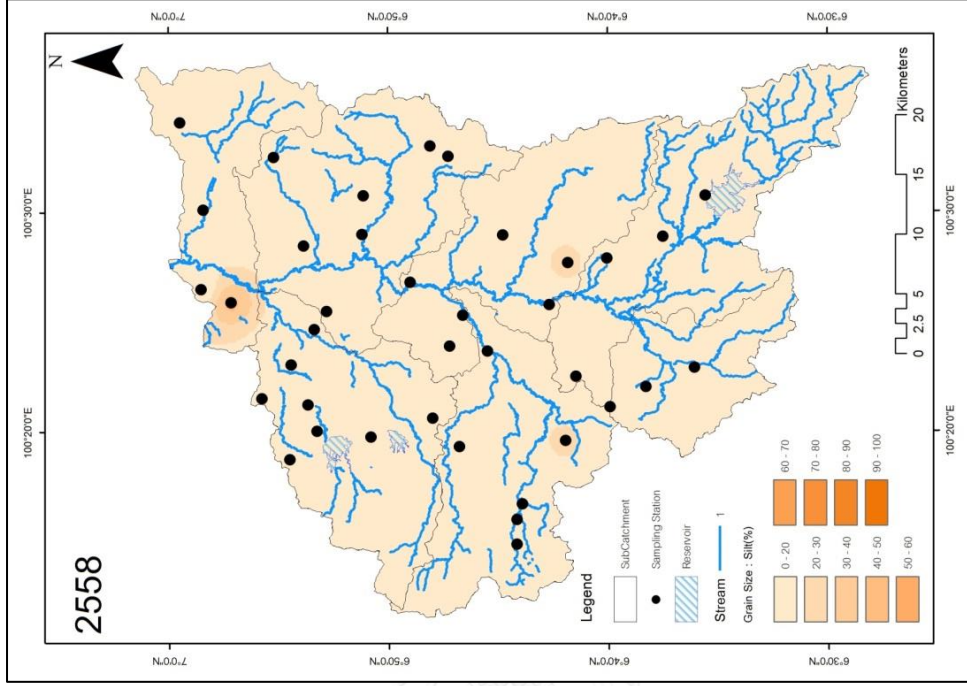
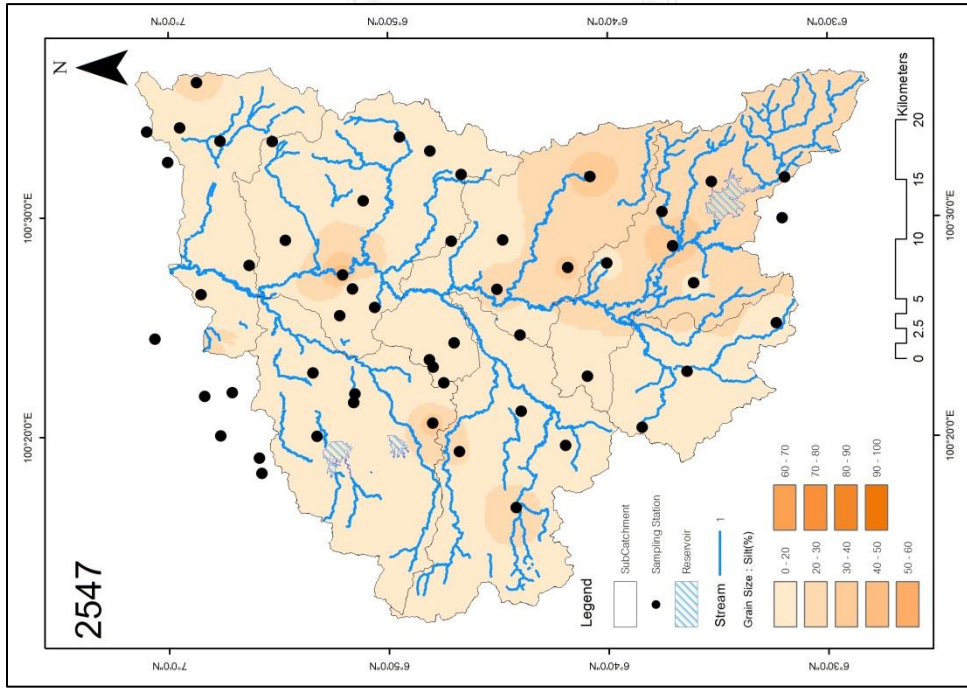


รูปที่ 4.2 แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอนุภาคขนาดทรายในดินลุ่มน้ำคลองอุ้มเอื้องระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558  
ที่มาข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (ทรัพย์สินศิริบุรณ์, 2549)



รูปที่ 4.3 แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอนุภาคขนาดทรายแป้งในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะภาคของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558  
ที่มาข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (ทรัพย์สินศิริบุรณ์, 2549)





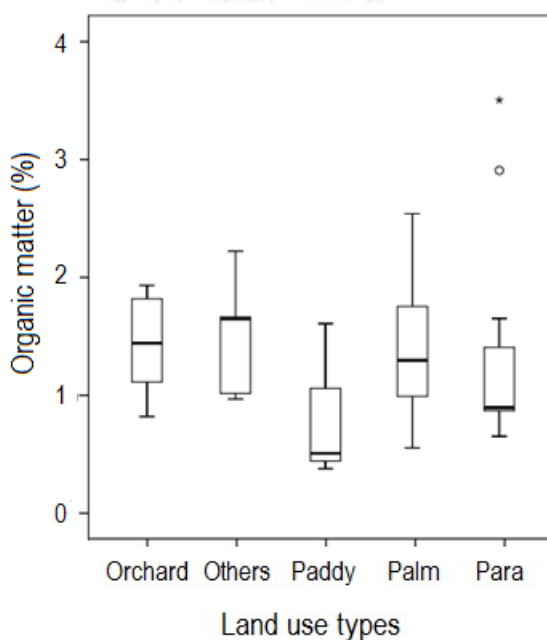
รูปที่ 4.4 แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอนุภาคขนาดดินเหนียวในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะสภาพระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558  
ที่มาข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (ทรัพย์สินศิริบูรณ์, 2549)

## 4.2 อินทรีย์วัตถุ (organic matter)

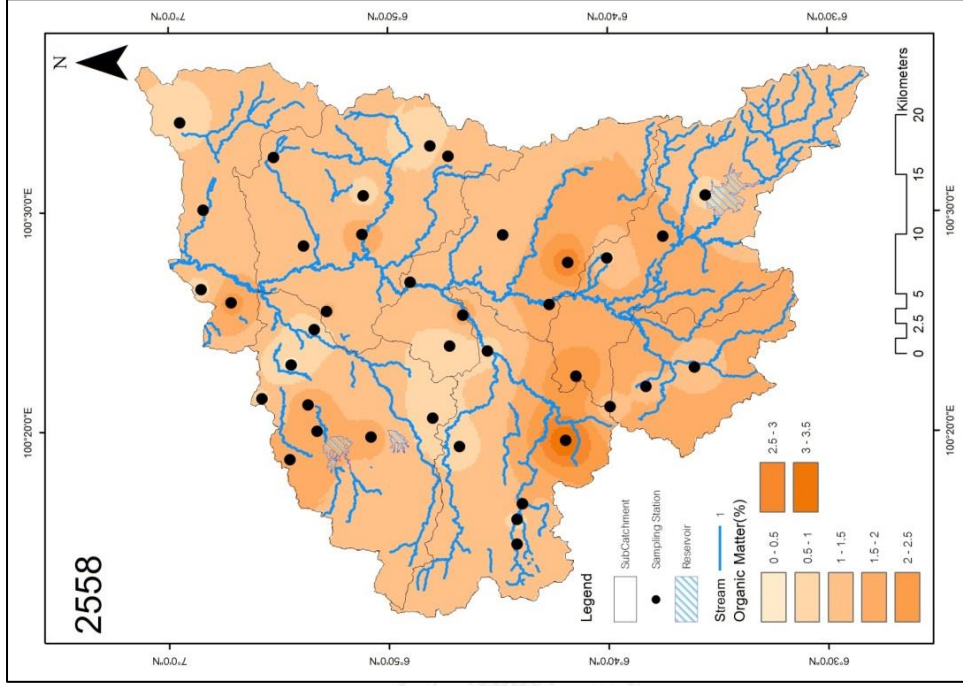
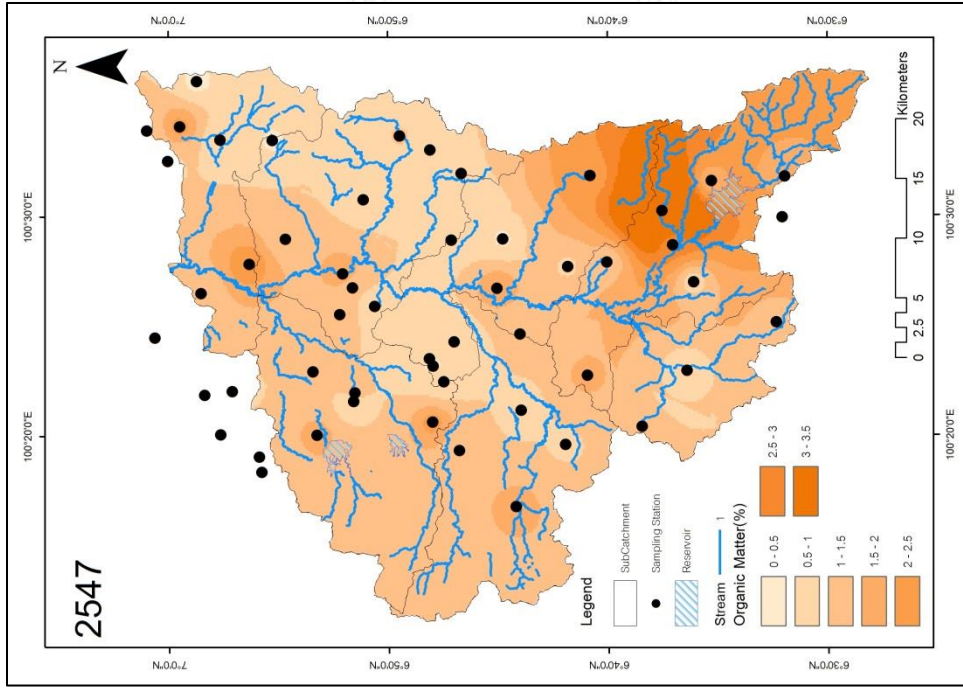
ปริมาณอินทรีย์วัตถุตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาพบว่ามีผลสวนผสม พื้นที่การประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ และพื้นที่ปาล์มปาล์มน้ำมันมีปริมาณร้อยละของอินทรีย์วัตถุสูง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1.5 \pm 0.4$ ,  $1.5 \pm 0.6$  และ  $1.5 \pm 0.7$  ตามลำดับ โดยที่พื้นที่นาข้าวมีปริมาณร้อยละของอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ  $0.9 \pm 0.7$  (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.5 พบว่าในพื้นที่ปาล์มน้ำมันมีการกระจายตัวของปริมาณอนุภาคทรายมากที่สุด รองลงมา คือ ในพื้นที่นาข้าว

เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล ปี พ.ศ. 2547 (ศิริญาติ สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษาใกล้เคียงกัน รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.3

การแพร่กระจายของอินทรีย์วัตถุในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.6 โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1-1.5 เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (ศิริญาติ สุวิบูรณ์, 2549) พบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันชัดเจนในพื้นที่ที่พบปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง



รูปที่ 4.5 Box plot แสดงร้อยละอินทรีย์วัตถุในดินลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ปี พ.ศ. 2558



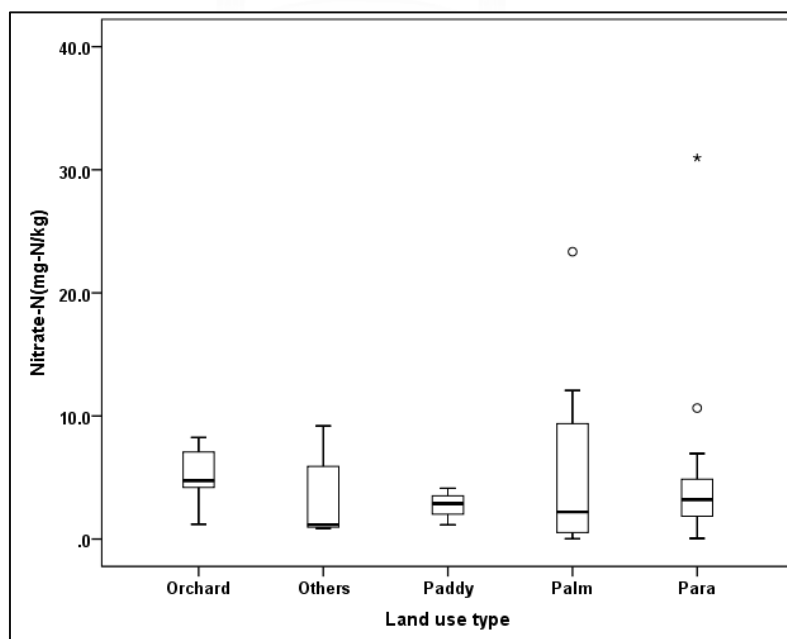
รูปที่ 4.6 แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอินทรีย์วัตถุในดินลุ่มน้ำคลองอยู่ตะพานระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558  
ที่มาข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (ทรัพย์สินศิริบูรณ์, 2549)

### 4.3 ไนเตรท - ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen)

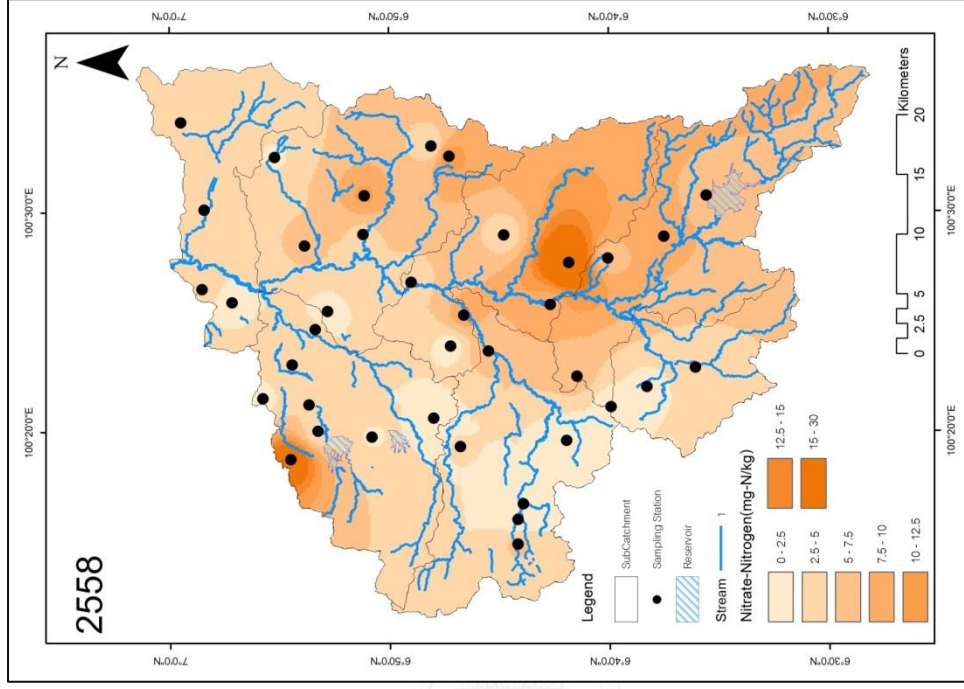
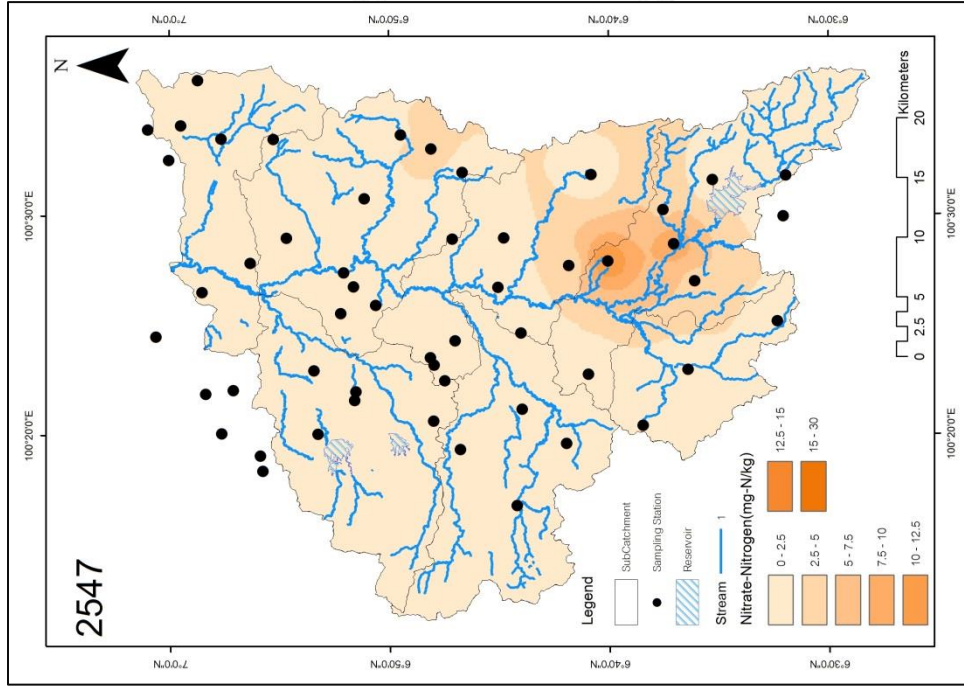
ปริมาณไนเตรท - ไนโตรเจน ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาตอนบน พบว่าพื้นที่ปาล์มปาล์มน้ำมันมีค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับ  $6.5 \pm 8.7$  (mg-N/kg) รองลงมาในพื้นที่ยางพารา มีค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน เท่ากับ  $5.8 \pm 8.1$  (mg-N/kg) และการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีปริมาณเฉลี่ยของไนเตรท-ไนโตรเจนน้อยที่สุดคือ พื้นที่นาข้าว เท่ากับ  $2.8 \pm 1.5$  (mg-N/kg) (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.7 พบว่าในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ มีการกระจายตัวของปริมาณไนเตรท- ไนโตรเจน มากที่สุด และในพื้นที่นาข้าว มีการกระจายตัวของปริมาณไนเตรท- ไนโตรเจน น้อยที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล ปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งอาจเกิดจากในพื้นที่การศึกษาส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมโดยยางพาราที่มีการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิต เมื่อเทียบเฉพาะการใช้ประโยชน์ที่ดินดังตารางที่ 4.4 โดยในพื้นที่ยางพารา พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.74 เป็น 5.77 (mg-N/kg)

การแพร่กระจายของปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.8 การแพร่กระจายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2.5-7.5 (mg-N/kg) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยการแพร่กระจายในปี พ.ศ. 2547ส่วนใหญ่อยู่ 0-2.5 (mg-N/kg) ซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวค่าเฉลี่ยตลอดทั้งพื้นที่



รูปที่ 4.7 Box plot แสดงปริมาณไนเตรท - ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ปี พ.ศ. 2558



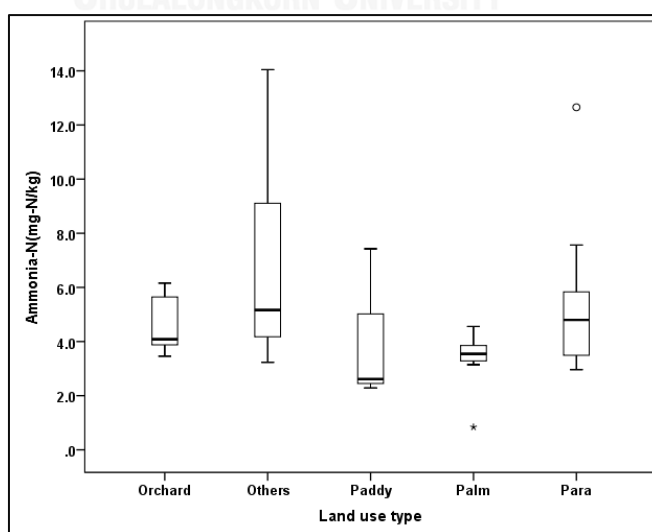
รูปที่ 4.8 แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอยู่ตมของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558  
ที่มาข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (ทรัพย์สินศิริบูรณ์, 2549)

#### 4.4 แอมโมเนีย - ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen)

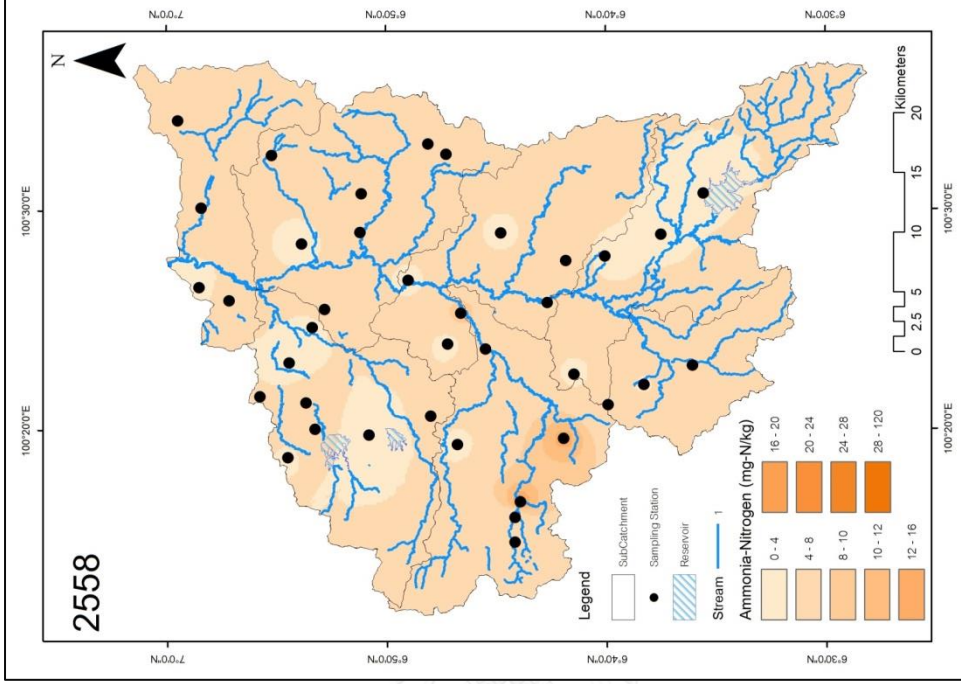
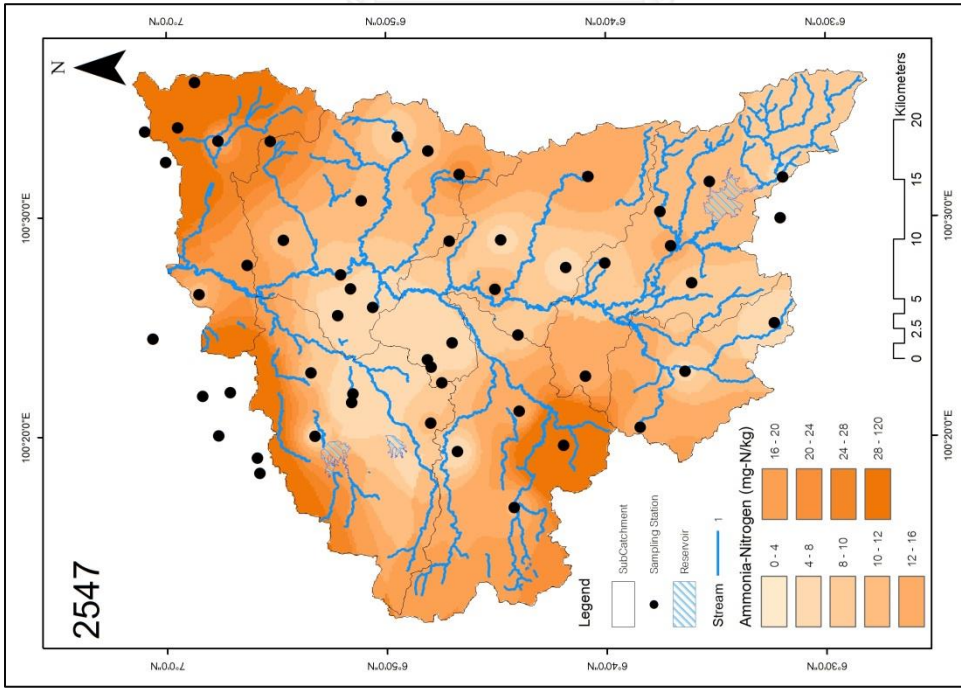
ปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจน ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา ตอนบนพบว่า พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจน สูงที่สุด เท่ากับ  $7.2 \pm 4.5$  (mg-N/kg) รองลงมาคือพื้นที่ยางพารา มีค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจน เท่ากับ  $5.3 \pm 2.6$  (mg-N/kg) และในพื้นที่ปาล์มปาล์มน้ำมันมีค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจน น้อยที่สุดเท่ากับ  $3.3 \pm 1.2$  (mg-N/kg) (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.9 พบว่าในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ มีการกระจายตัวของปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจนมากที่สุด และในพื้นที่ไม้ผลสวนผสม และพื้นที่ปาล์มน้ำมัน มีการกระจายตัวของปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจนน้อยที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล ปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอด พื้นที่การศึกษาลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อาจเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่ง สอดคล้องกับปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อเทียบ เฉพาะการใช้ประโยชน์ที่ดินดังตารางที่ 4.4 โดยในพื้นที่ยางพาราพบว่ามีค่าลดลงจาก 13.83 เป็น 5.28 (mg-N/kg)

การแพร่กระจายของปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจนในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.10 การแพร่กระจายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 4-8 (mg-N/kg) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่าการแพร่กระจายในปี พ.ศ. 2547 ส่วนใหญ่อยู่ 0-4 (mg-N/kg) ในพื้นที่ราบ แต่พบปริมาณแอมโมเนียสูงในพื้นที่สูง



รูปที่ 4.9 Box plot แสดงปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา ปี พ.ศ. 2558



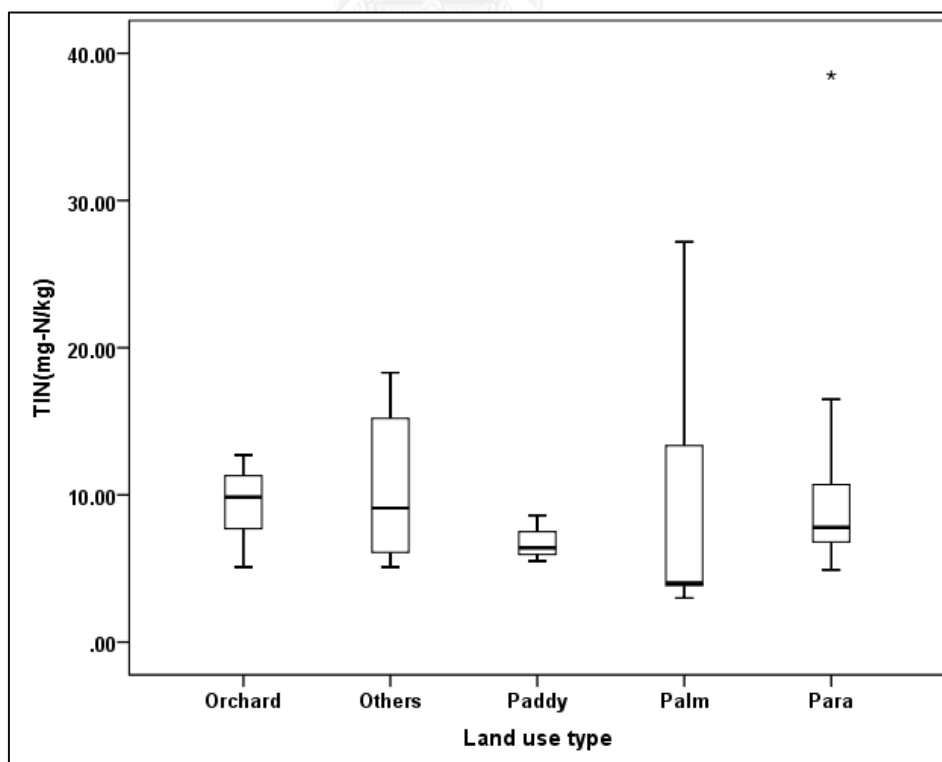
รูปที่ 4.10 แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุตตะมาของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558  
ที่มาข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (ทรัพย์สินศิริบุรณ์, 2549)

#### 4.5 อนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic Nitrogen)

ปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic Nitrogen) ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาตอนบนพบว่า พื้นที่ยางพารา มีค่าเฉลี่ยปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับ  $11.1 \pm 8.9$  (mg-N/kg) และในพื้นที่นาข้าว มีค่าเฉลี่ยมีค่าเฉลี่ยปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนน้อยที่สุด เท่ากับ  $6.9 \pm 1.6$  (mg-N/kg) (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.11 พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ มีการกระจายตัวของปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน มากที่สุด ในส่วนการกระจายตัวของปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนน้อยที่สุดในพื้นที่ยางพารา และในพื้นที่นาข้าว

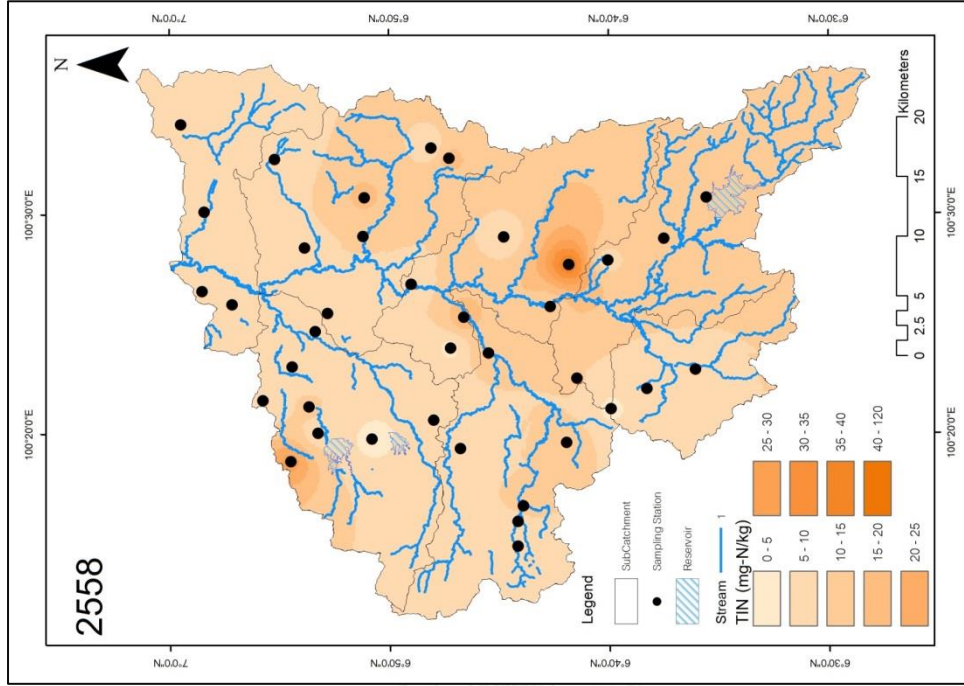
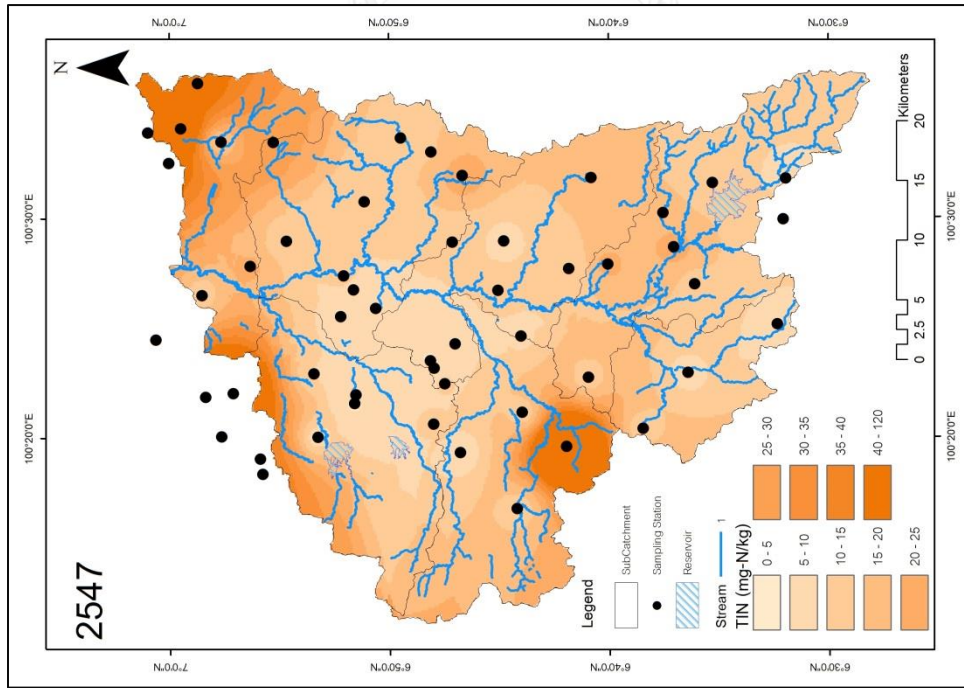
เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล ปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษาลดลงอย่างมีนัยสำคัญ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อเทียบเฉพาะการใช้ประโยชน์ที่ดินดังตารางที่ 4.4 โดยในพื้นที่ยางพารา พบว่ามีค่าลดลงจาก 15.57 เป็น 11.05 (mg-N/kg) ซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

การแพร่กระจายของปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.12 ส่วนใหญ่แพร่กระจายอยู่ในช่วง 5-10 (mg-N/kg) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่าส่วนใหญ่มีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่สูง



รูปที่ 4.11 Box plot แสดงปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ปี พ.ศ. 2558



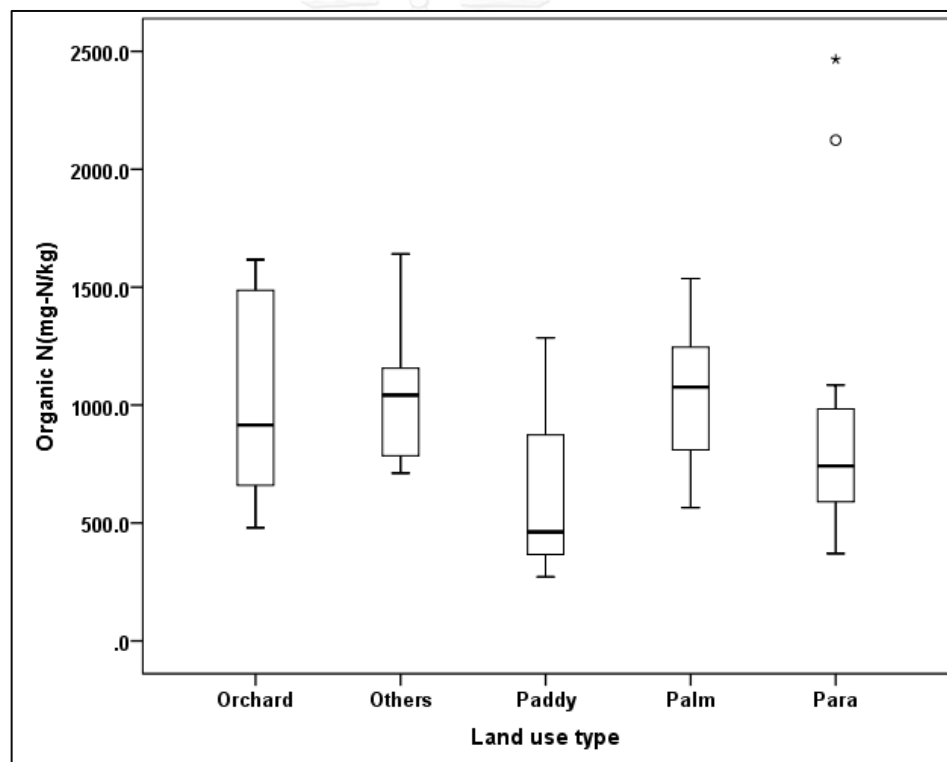


รูปที่ 4.12 แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอนินทรีไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะสภาพของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558  
ที่มาข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (ทรัพย์สินศิริบุรณ์, 2549)

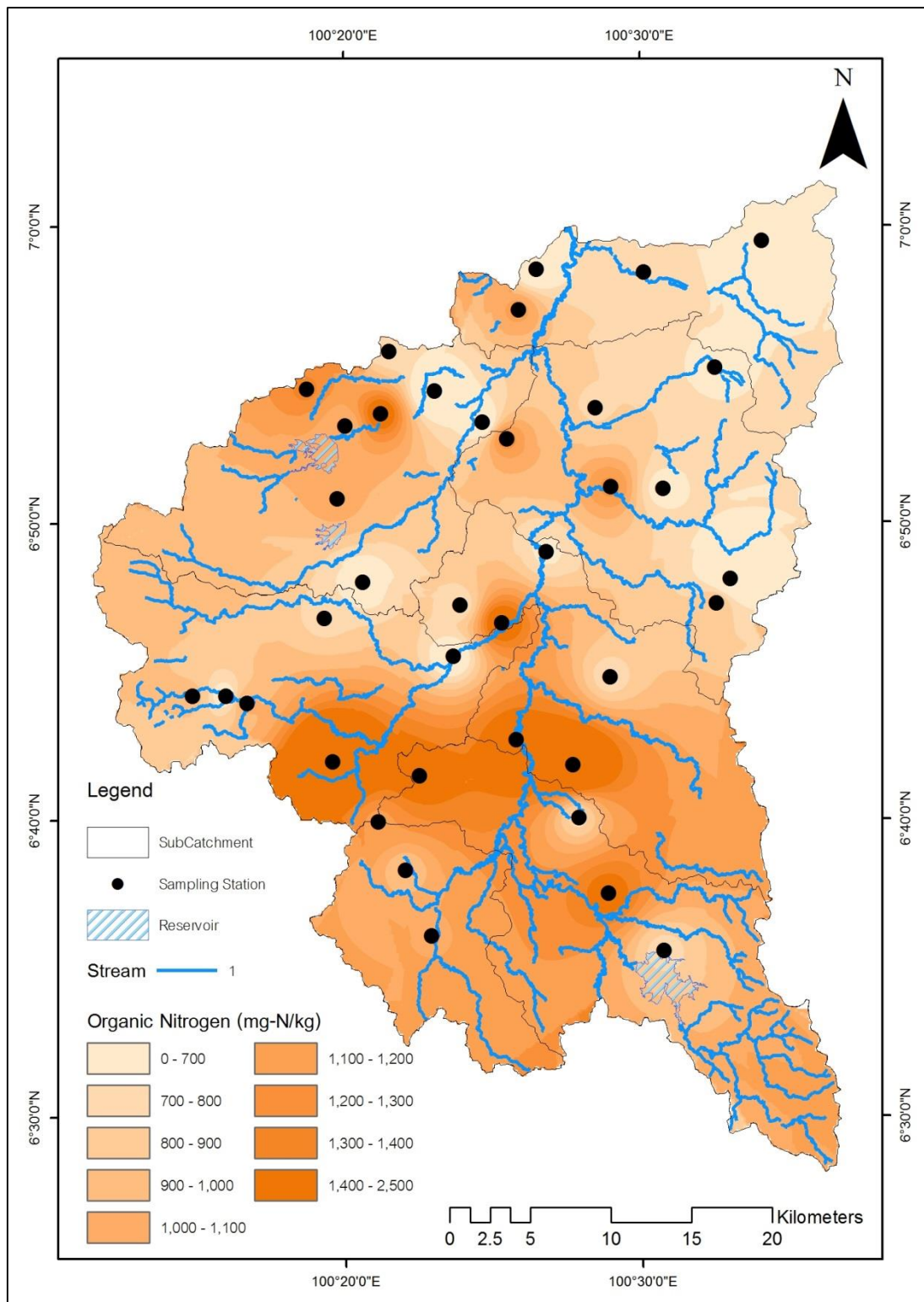
#### 4.6 อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen)

ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาตอนบน พบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ และพื้นที่ปาล์มปาล์มน้ำมัน มีค่าเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกัน คือ  $1,029 \pm 417$ ,  $1,067 \pm 368$  และ  $1041 \pm 341$  (mg-N/kg) ตามลำดับ และในพื้นที่นาข้าว มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด  $673 \pm 538$  (mg-N/kg) (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.13 พบว่าในพื้นที่นาข้าว มีการกระจายตัวของปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจนมากที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ พื้นที่ปาล์มปาล์มน้ำมัน และในพื้นที่ไม้ผลสวนผสม ตามลำดับ และในส่วนการกระจายตัวของปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจนน้อยที่สุดในพื้นที่ยางพารา

การแพร่กระจายของปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่ามีค่าสูงในพื้นที่ต้นน้ำ และมีค่าต่ำบริเวณปลายน้ำ



รูปที่ 4.13 Boxplot แสดงปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ปี พ.ศ. 2558



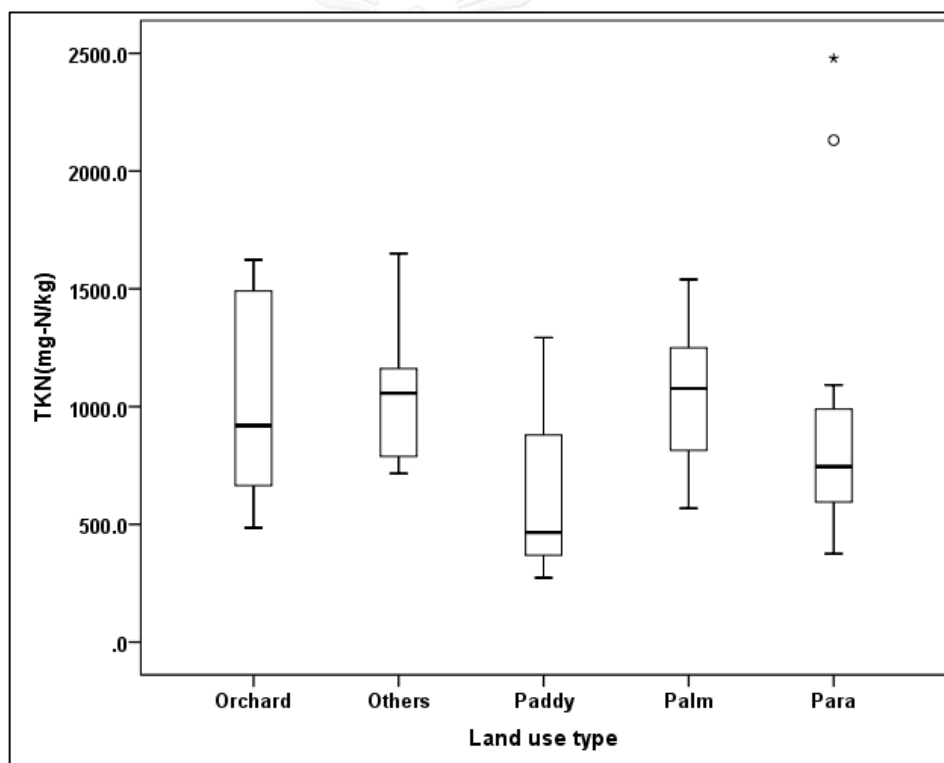
รูปที่ 4.14 แผนที่การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอินทรีย์ไนโตรเจนในดินลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา

ปี พ.ศ. 2558

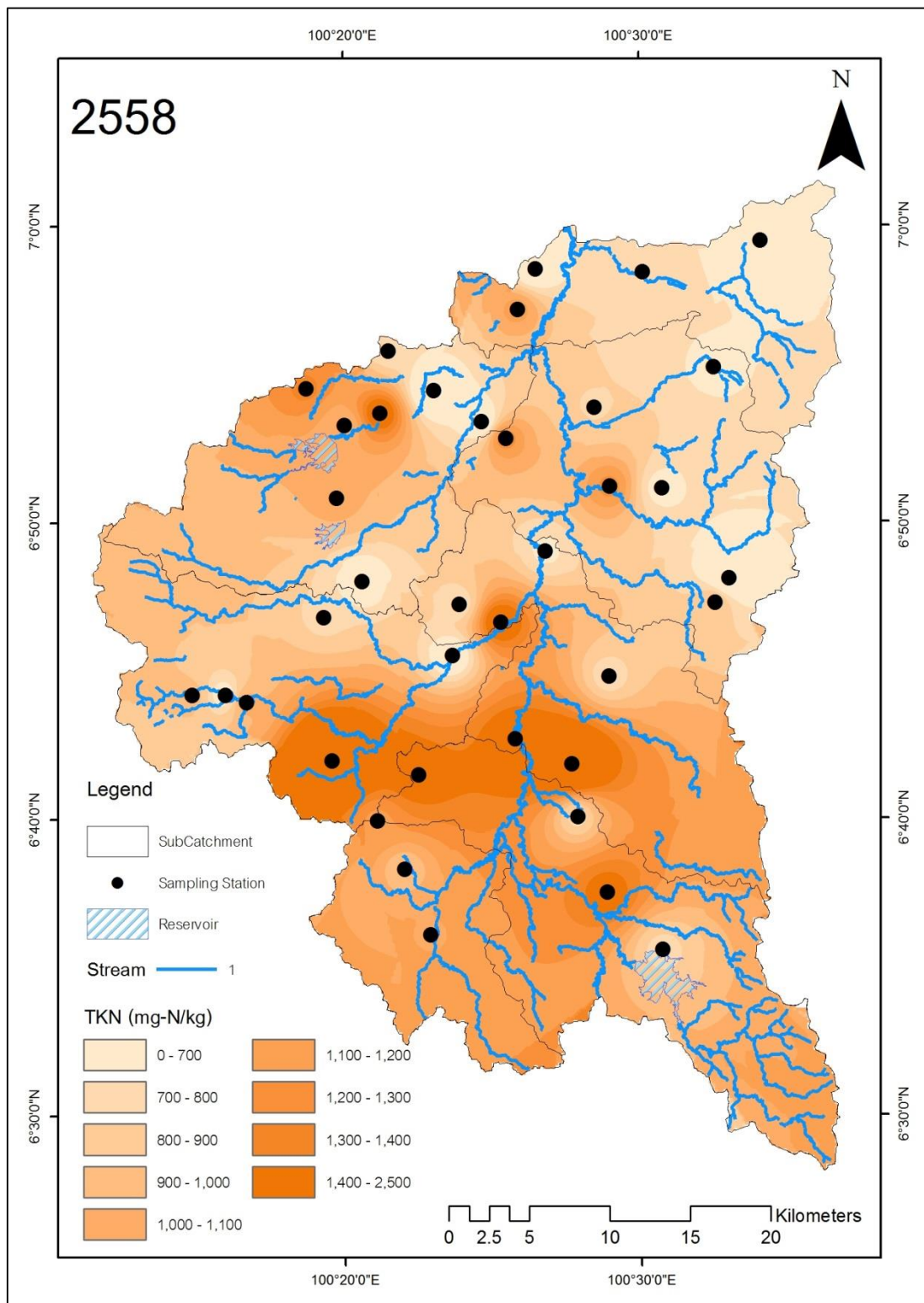
#### 4.7 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjedal Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjedal Nitrogen) ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบนพบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ และพื้นที่ปาล์ม ปาล์มน้ำมันมีค่าเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกัน คือ  $1,033 \pm 417$ ,  $1,074 \pm 370$  และ  $1,044 \pm 341$  (mg-N/kg) (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.15 พบว่าพื้นที่ไม้ผลสวนผสม มีการกระจายตัวของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุด และในส่วนของกระจายตัวของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็นประโยชน์น้อยที่สุดในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ

การแพร่กระจายของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.16 พบว่ามีค่าสูงในพื้นที่ต้นน้ำ และมีค่าต่ำบริเวณปลายน้ำ เป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน



รูปที่ 4.15 Boxplot แสดงไนโตรเจนทั้งหมดในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558



รูปที่ 4.16 แผนที่การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของไนโตรเจนทั้งหมดในดินลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

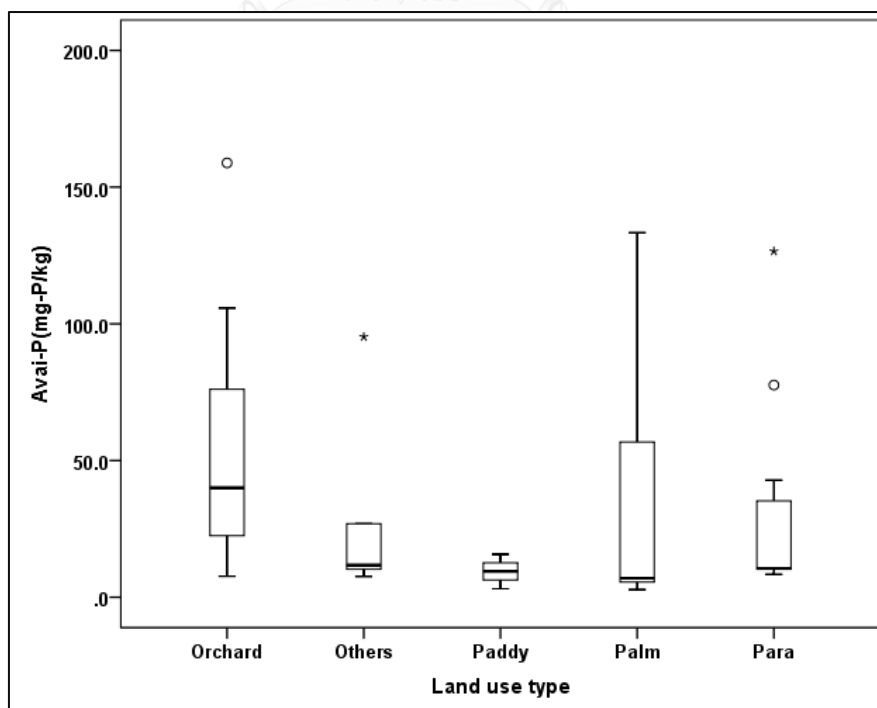
ปี พ.ศ. 2558

#### 4.8 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus)

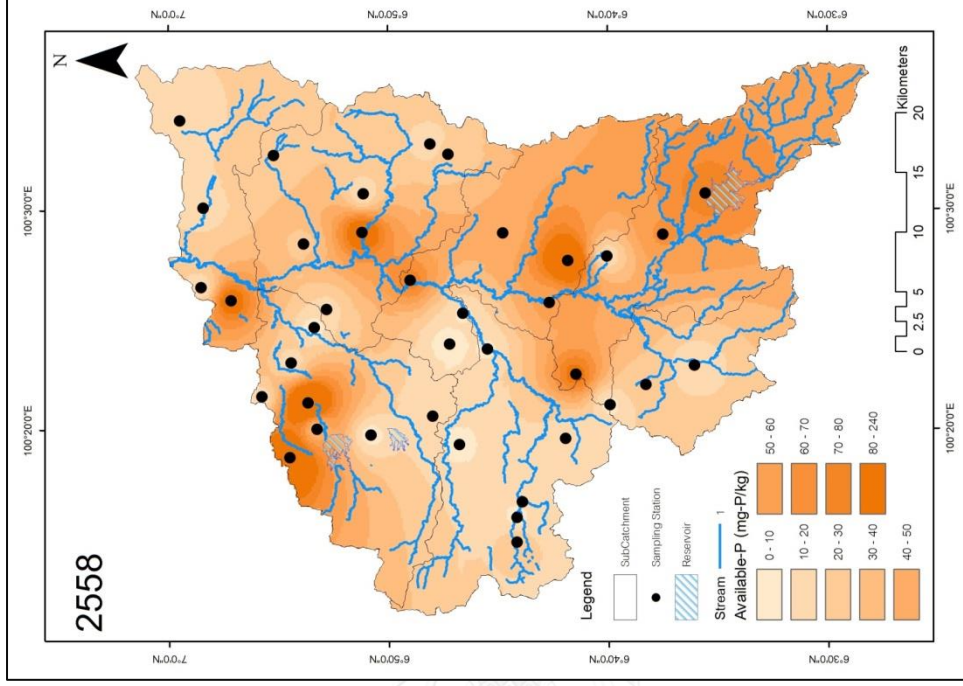
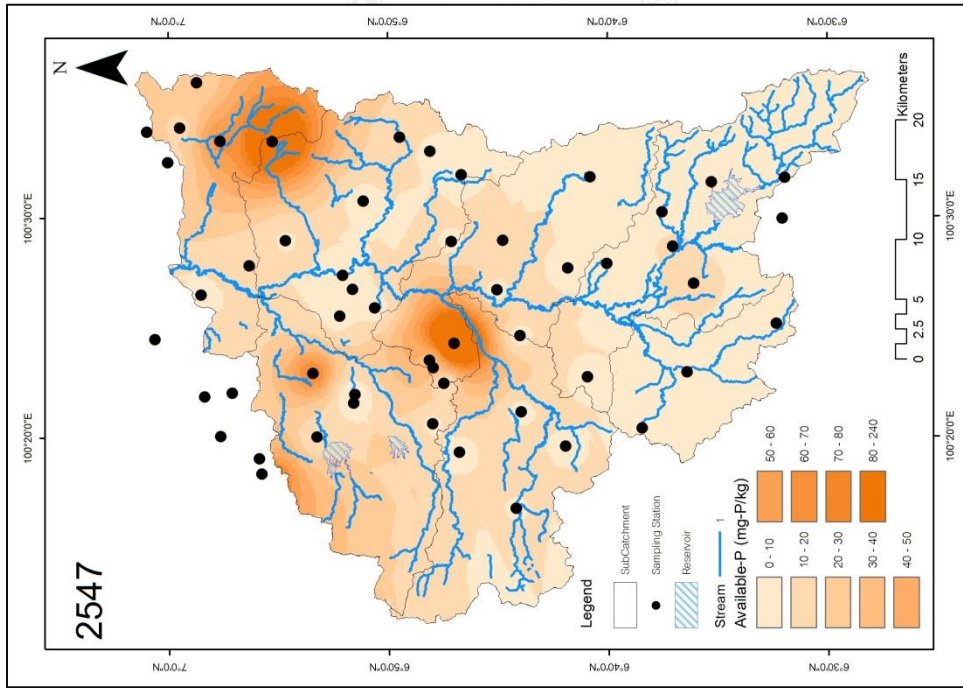
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ตอนบนพบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด เท่ากับ  $55 \pm 47.9$  (mg-P/kg) รองลงมาคือพื้นที่ปาล์มน้ำมัน เท่ากับ  $38.3 \pm 52$  (mg-P/kg) ส่วนในพื้นที่นาข้าว มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด  $9.5 \pm 6.4$  (mg-P/kg) (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.17 พบว่าพื้นที่ปาล์มน้ำมันมีการกระจายตัวของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุด และในส่วนของกระจายตัวของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยที่สุดในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล ปี พ.ศ. 2547 (ศิริวุฒิ สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่ การศึกษาเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อเทียบเฉพาะ การใช้ประโยชน์ที่ดินดังตารางที่ 4.4 โดยในพื้นที่ยางพารา พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 13.3 เป็น 28.8 (mg-P/kg)

การแพร่กระจายของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.18 พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 40-60 (mg-P/kg) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (ศิริวุฒิ สุวิบูรณ์, 2549) พบว่ามีค่าลดลง โดยในปี พ.ศ. 2547 ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0-20 (mg-P/kg)



รูปที่ 4.17 Boxplot แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ปี พ.ศ. 2558

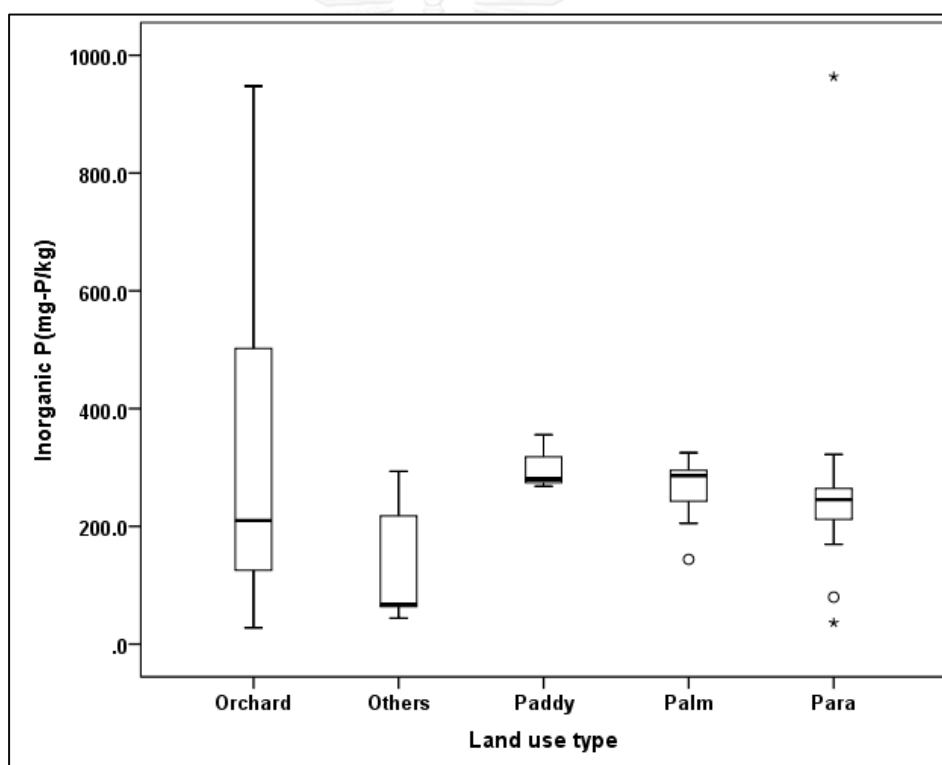


รูปที่ 4.18 แผนที่เปรียบเทียบการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินกลุ่มน้ำคลองอุ้งเขาของระหว่างปี พ.ศ. 2547 และ ปี พ.ศ. 2558  
ที่มาข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (ทรัพย์สินศิริบุรินทร์, 2549)

#### 4.9 ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic Phosphorus)

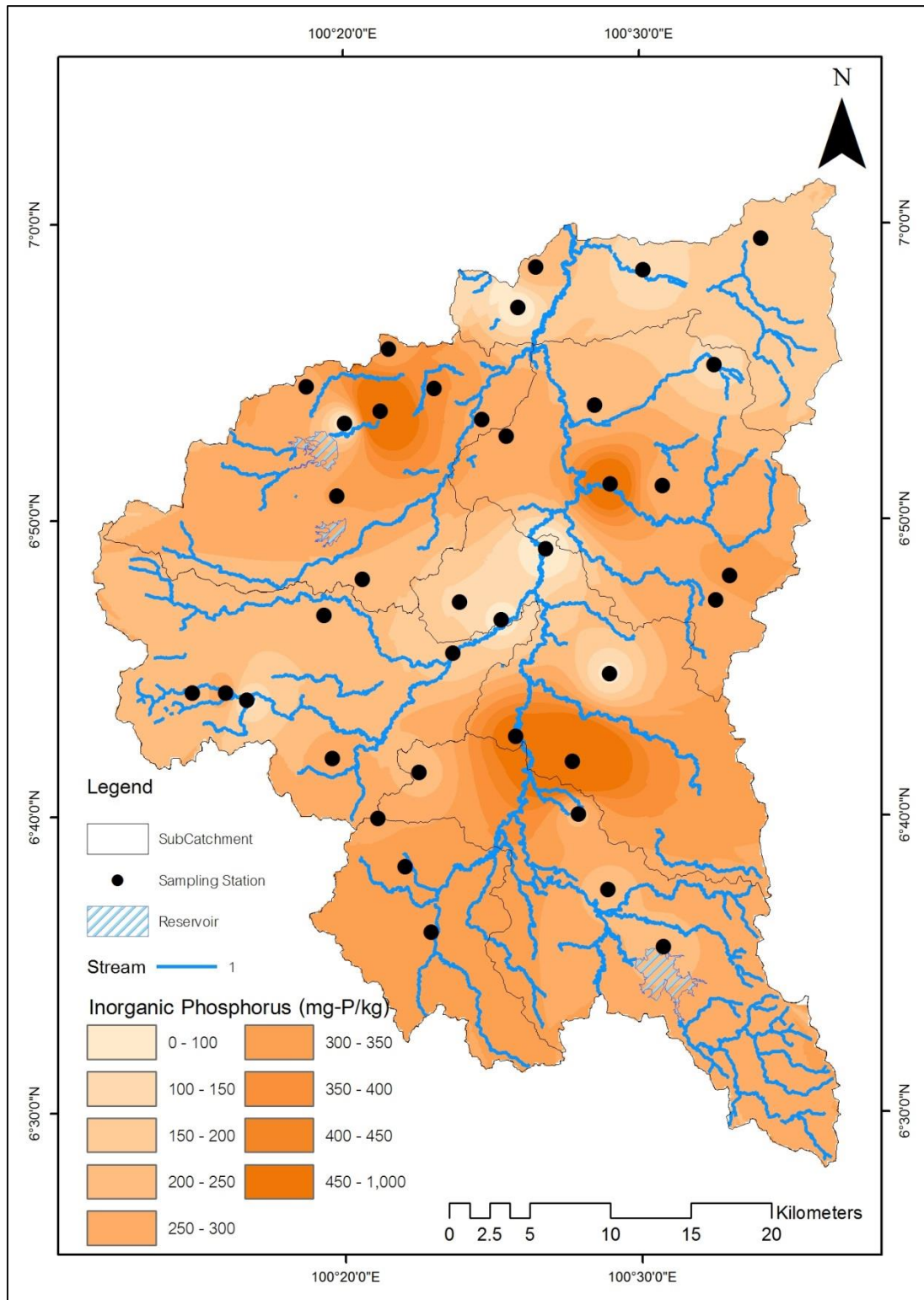
ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบน พบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม ค่าเฉลี่ยปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงสุด เท่ากับ  $324 \pm 285.5$  (mg-P/kg) รองลงมาคือพื้นที่นาข้าว เท่ากับ  $301.4 \pm 47.5$  (mg-P/kg) ส่วนพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ  $137.2 \pm 111.7$  (mg-P/kg) (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.19 และพบว่า พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ มีการกระจายตัวของปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมากที่สุด

การแพร่กระจายของปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.20 พบว่าส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายอยู่ในช่วง 250-350 (mg-P/kg)



รูปที่ 4.19 Boxplot แสดงปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558





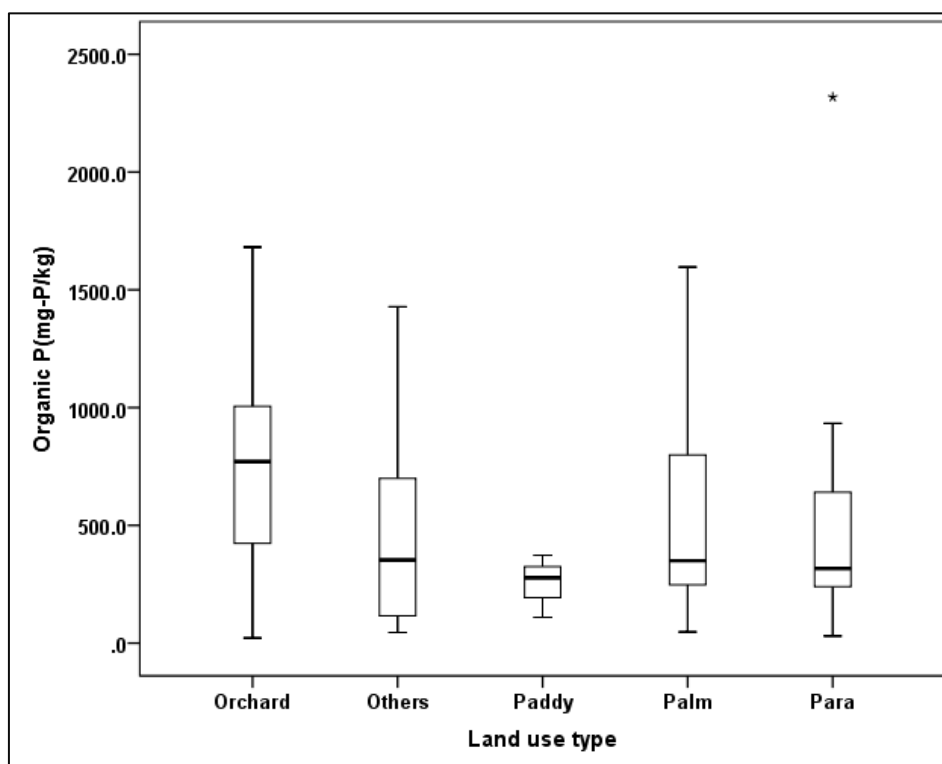
รูปที่ 4.20 แผนที่การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

ปี พ.ศ. 2558

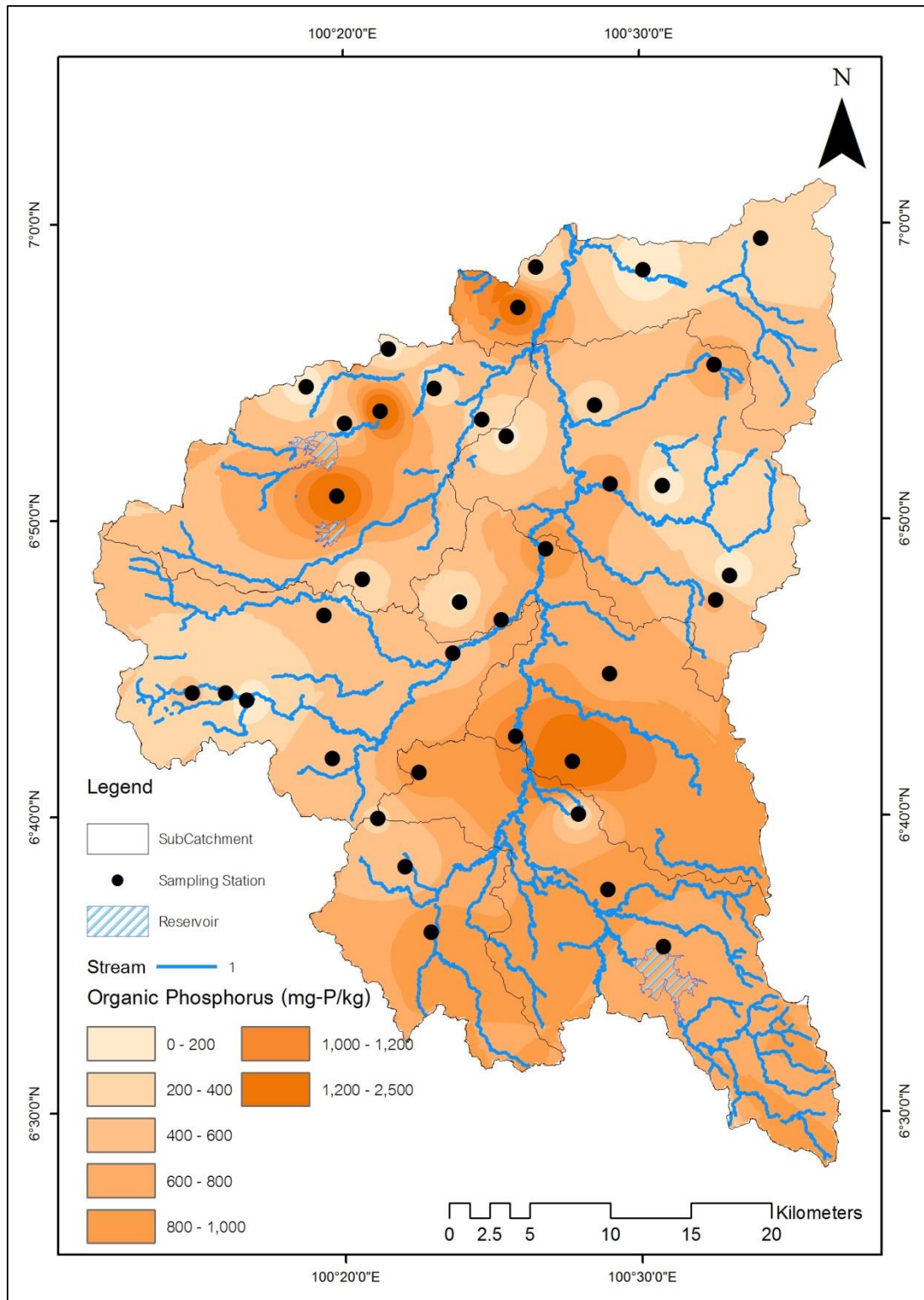
#### 4.10 ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส (Organic Phosphorus)

ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบน พบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงสุด เท่ากับ  $748.8 \pm 462.1$  (mg-P/kg) ส่วนในพื้นที่นาข้าว มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ  $253.2 \pm 133.4$  (mg-P/kg) (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.21 พบว่า พื้นที่นาข้าว มีการกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสน้อยที่สุด

การแพร่กระจายของปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.22 พบว่ามีการแพร่กระจายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 600-1000 (mg-P/kg)



รูปที่ 4.21 Boxplot แสดงปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกา ปี พ.ศ. 2558



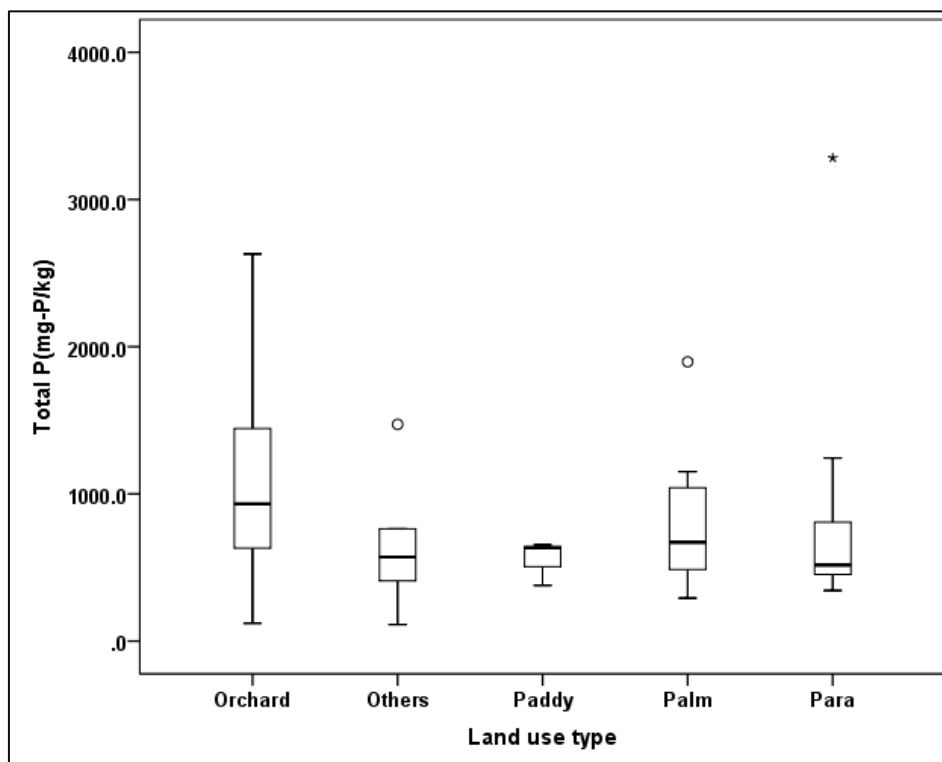
รูปที่ 4.22 แผนที่การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

ปี พ.ศ. 2558

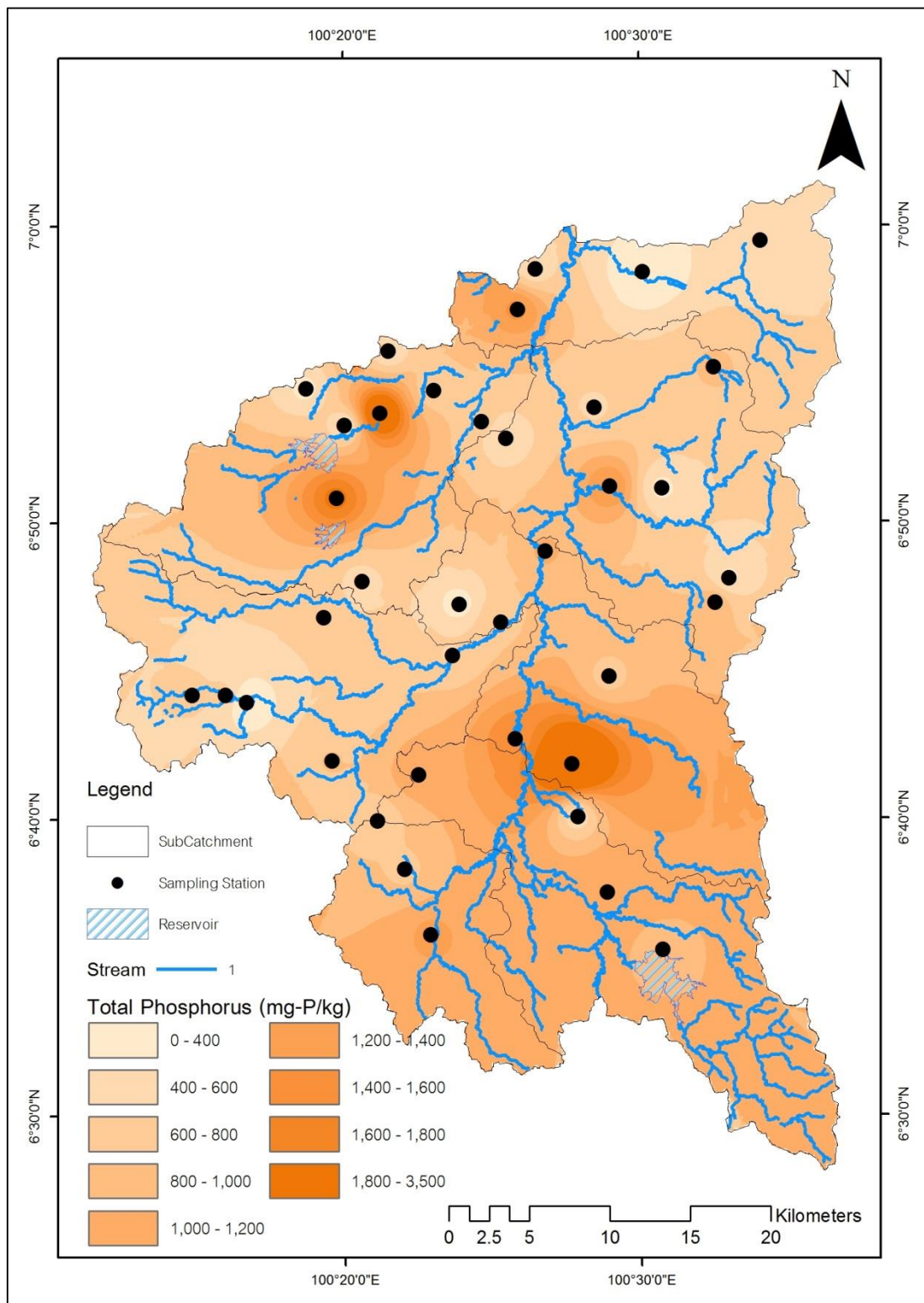
#### 4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเถาตอนบน พบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงที่สุด เท่ากับ  $1,073 \pm 690$  (mg-P/kg) ส่วนในพื้นที่นาข้าว มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ  $554 \pm 153$  (mg-P/kg) (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาจากกราฟ Boxplot ดังรูปที่ 4.23 พบว่า พื้นที่ยางพารา มีการกระจายตัวของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุด และในพื้นที่นาข้าว มีการกระจายตัวของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยที่สุด

การแพร่กระจายของปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในพื้นที่แสดงดังรูปที่ 4.24 พบว่าการแพร่กระจายส่วนใหญ่อยู่ช่วง 800-1,200 (mg-P/kg)



รูปที่ 4.23 Boxplot แสดงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ปี พ.ศ. 2558



รูปที่ 4.24 แผนที่การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินลุ่มน้ำคลองอุตะภา

ปี พ.ศ. 2558

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของดินในพื้นที่การศึกษาระหว่าง พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2558

ปัจจัย	Mean±SD		Range		T-Test
	2547 (n=47)	2558 (n=38)	2547 (n=47)	2558 (n=38)	P value*
Sand (%)	55.2±22.1	52±19.8	1.61-83.4	3.8-91.8	0.4266
Silt (%)	25.6±15.0	36.5±16.1	nil-59.4	1.8-70.3	0.0017
Clay (%)	19.2±9.16	11.7±7.2	8.32-49.6	3.2-42.7	0.0001
OM (%)	1.38±1.53	1.4±0.7	0.35-10.3	0.4-3.5	0.9906
Nitrate-N (mg-N/kg)	1.61±2.52	5.2±6.2	0.06-12.8	0-31	0.0013
Ammonia-N (mg-N/kg)	15.2±17.5	4.9±2.6	3.84-103.5	0.84-14	0.0007
TIN (mg-N/kg)	16.9±17.8	10.1±6.8	4.15-106.7	3-38.6	0.0205
Avai-P (mg-P/kg)	19.3±41.4	36.1±41.7	1.23-231.5	2.8-158.9	0.0544

\*ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 \*\*หมายเหตุ ที่มาข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549)

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของดินแฉกแฉงตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่าง พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2558

	Mean	Sand	Silt	Clay	OM	Nitrate-N	Ammonia-N	TIN	Avai-P
Orchard	2547 (n=1)	81.19	8.15	10.66	0.5	0.55	13.44	13.99	64.11
	2558 (n=10)	57.94	32.01	10.05	1.45	5.02	4.5	9.52	54.91
Others	2547 (n=1)	8.17	59.43	32.4	0.47	0.48	10.05	10.53	1.23
	2558 (n=5)	40.45	42.32	17.24	1.5	3.62	7.14	10.77	30.33
Paddy	2547 (n=6)	54.53	29.32	16.14	1.78	1.15	39.06	40.22	9.73
	2558 (n=3)	47.08	44.49	8.43	0.83	2.73	4.11	6.84	9.43
Palm	2547 (n=2)	75.41	15.6	9	0.53	0.13	5.47	5.53	133.55
	2558 (n=7)	49.3	40.55	10.16	1.41	6.48	3.31	9.8	38.24
Para	2547 (n=37)	55.32	24.83	19.85	1.38	1.74	13.83	15.57	13.32
	2558 (n=13)	54.31	33.42	12.27	1.32	5.77	5.28	11.05	28.85

\*หมายเหตุ ที่มาข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549)

## บทที่ 5

### ผลการศึกษา และอภิปรายผลแบบจำลอง

#### 5.1 ผลการปรับเทียบแบบจำลอง(Model Calibration)

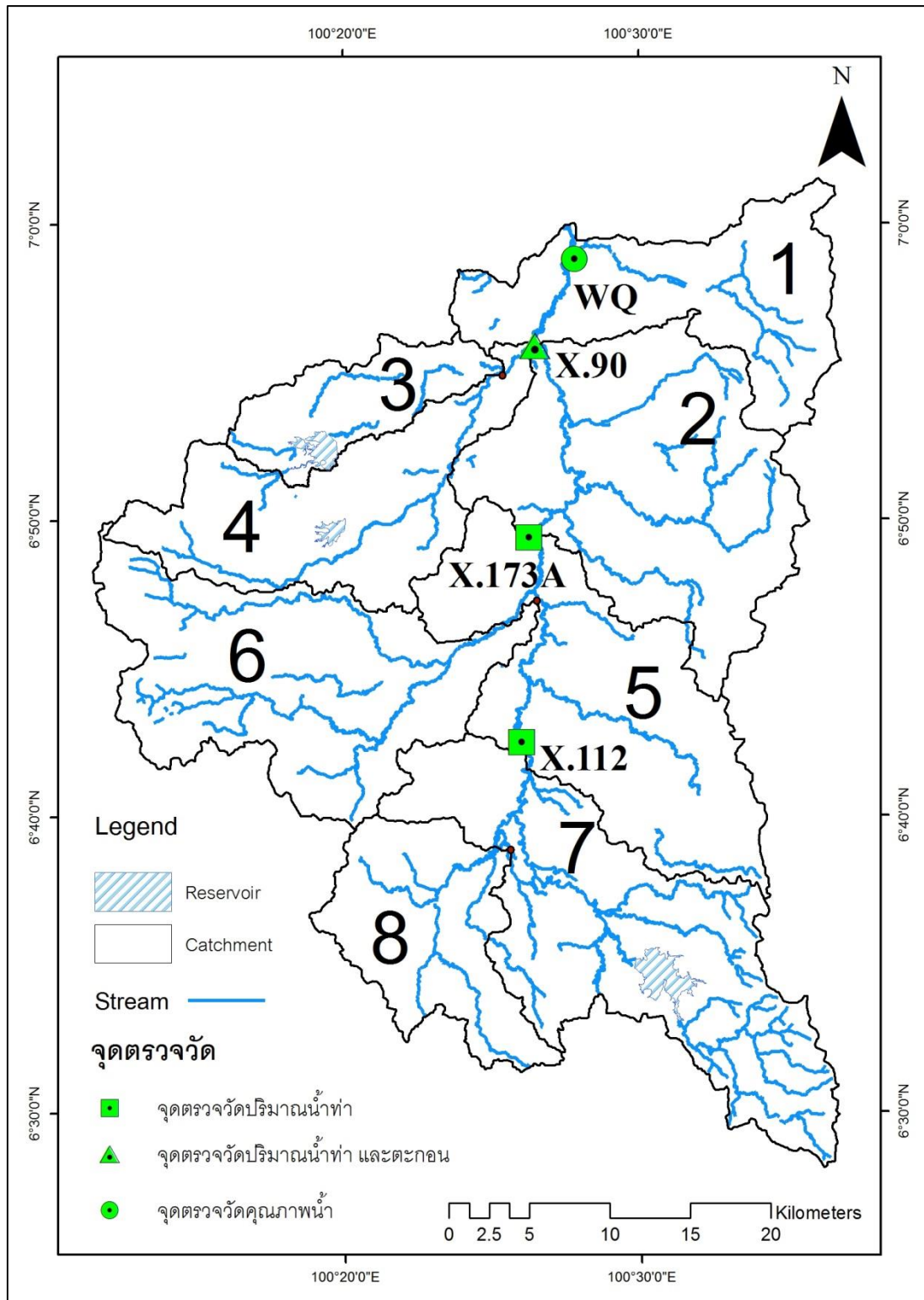
##### 5.1.1 ผลการปรับเทียบปริมาณน้ำท่า

การปรับเทียบปริมาณน้ำท่าในพื้นที่การศึกษาครั้งนี้ มีการปรับเทียบด้วยกัน 3 สถานี ณ จุดตำแหน่งเดียวกันกับสถานีตรวจวัดน้ำท่าของกรมชลประทาน ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า X.112 ตั้งอยู่บ้านตะเคียนเกา อำเภอสระเดา , X.173A ตั้งอยู่ บ้านม่วงก้อง อำเภอสระเดา และ ตั้งอยู่ X.90 บ้านบางศาลา อำเภอลองหอยโข่ง แสดงดังรูปที่ 5.1 โดยที่ใช้ข้อมูลระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2556 ในการปรับเทียบครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน

การปรับเทียบปริมาณน้ำท่าในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตามคำแนะนำคู่มือของแบบจำลอง และจากการสำรวจเอกสารงานวิจัย โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มตามแบบจำลอง ได้แก่ กลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการจัดการในพื้นที่ (Management : .Mgt) กลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับดิน (Soil : .Sol) กลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับน้ำใต้ดิน (Groundwater : .Gw) และกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการไหลของน้ำในลำน้ำ (Routing: .Rte) โดยมีรายละเอียดปรับแก้พารามิเตอร์ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า

Parameter	Definition	Normal Range	Actual Value
1. CN(.Mgt)	Curve number	35 - 98	Decrease 60%
2. Sol_AWC(.Sol)	Available soil water capacity	0 - 1	Increase multiply 2
3. CH_K(.Rte)	Effective hydraulic conductivity in the main channel alluvium	-0.1 - 500	Increase plus 300
4. ALPHA_BF(.Gw)	Baseflow alpha factor	0 - 1	Increase plus 1
5. GW_REVAP(.Gw)	Groundwater “revap” coefficient	0.02 – 0.2	0.2
6. REVAPMN(.Gw)	Threshold depth of water in the shallow aquifer for re-evaporation or percolation to the deep aquifer	0 - 500	0
7. RECHRG_DP(.Gw)	Deep aquifer percolation fraction	0 - 1	Increase plus 0.65



รูปที่ 5.1 ตำแหน่งสถานีวัดตรวจวัด ปริมาณน้ำท่า ตะกอน และคุณภาพน้ำ



ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า ซึ่งสามารถผลตามแบ่งตามสถานีวัดน้ำท่า 3 สถานีที่กล่าวข้างต้น ดังต่อไปนี้

#### 5.1.1.1 สถานี X.112

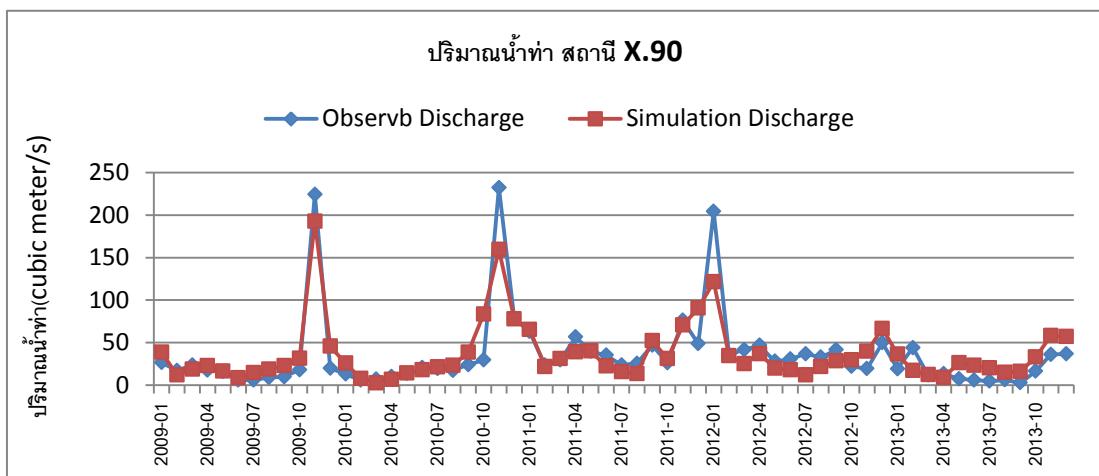
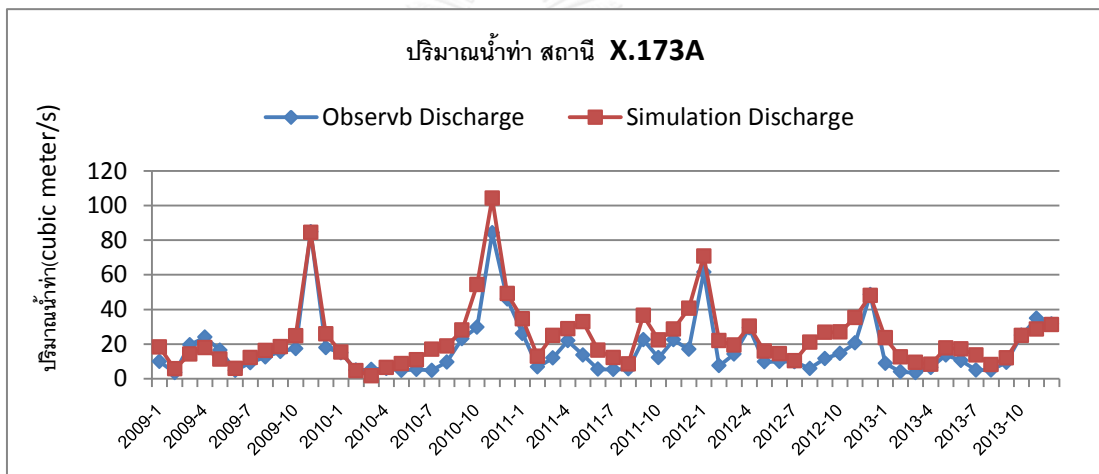
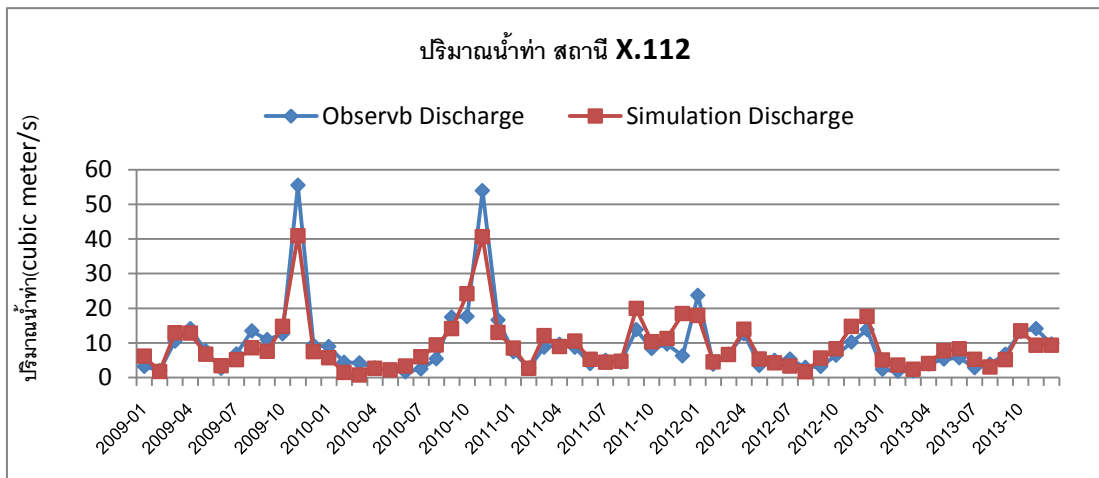
สถานี X.112 ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 7-8 ดังรูปที่ 5.1 ซึ่งเป็นพื้นที่ต้นน้ำ และมีอ่างเก็บน้ำสะอาดตั้งอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว ผลการเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ดังรูปที่ 5.2 พบว่า ผลจากแบบจำลองมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับผลการตรวจวัด โดยที่มีความแตกต่างที่เห็นได้ชัดในช่วงที่เดือนตุลาคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวเกิดน้ำท่วมใหญ่ในพื้นที่ และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าเท่ากับ 0.85 ( $R=0.92$ )

#### 5.1.1.2 สถานี X.173A

สถานี X.173A ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 5-6 ดังรูปที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ดังรูปที่ 5.3 พบว่า ผลจากแบบจำลองมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับผลการตรวจวัด และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าเท่ากับ 0.86 ( $R=0.93$ )

#### 5.1.1.3 สถานี X.90

สถานี X.90 ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1-4 ดังรูปที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบ ในพื้นที่ดังกล่าว มีอ่างเก็บน้ำด้วยกัน 2 แห่ง คือ อ่างเก็บน้ำคลองจำไทร และอ่างเก็บน้ำคลองหลา เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ดังรูปที่ 5.4 พบว่า ผลจากแบบจำลองมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับผลการตรวจวัด โดยที่มีความแตกต่างที่เห็นได้ชัดในช่วงที่เดือนตุลาคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวเกิดน้ำท่วมใหญ่ในพื้นที่ และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าเท่ากับ 0.81 ( $R=0.90$ )



### 5.1.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอน

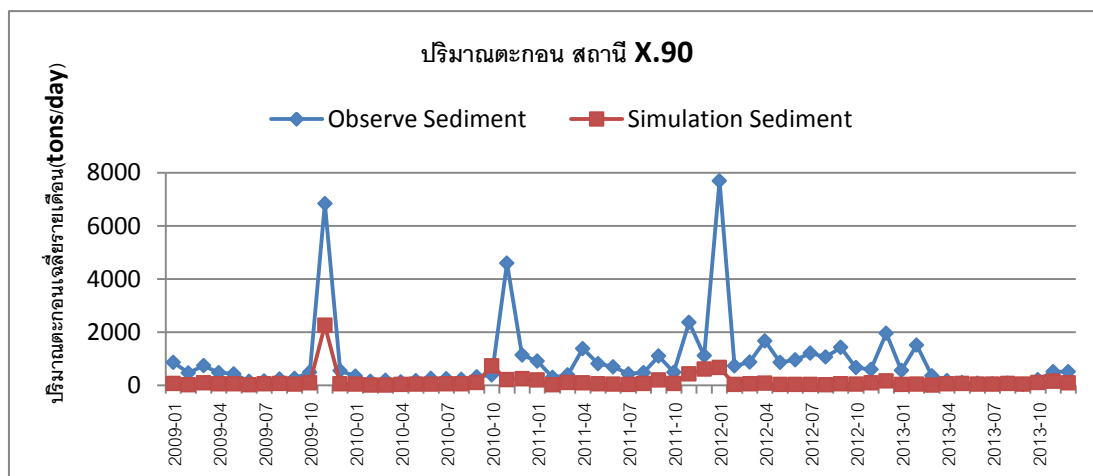
การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนในพื้นที่การศึกษาครั้งนี้ มีการเปรียบเทียบด้วย สถานีวัดปริมาณตะกอน X.90 แสดงดังรูปที่ 5.1 โดยที่ใช้ข้อมูลระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2552 – 2556 ในการเปรียบเทียบครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายเดือน

การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตามคำแนะนำคู่มือของแบบจำลอง และจากการสำรวจเอกสารงานวิจัย โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณตะกอน โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มตามแบบจำลอง ได้แก่ กลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการจัดการในพื้นที่ (Management : .Mgt) และกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับลุ่มน้ำ (basin : .Bsn) โดยมีรายละเอียดปรับแก้พารามิเตอร์ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณตะกอน

Parameter	Definition	Normal Range	Actual Value
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	No Effect
3. SPCON (.Bsn)	Linear parameter for calculating the maximum amount of sediment	0.0001 - .01	No Effect
4. PRF (.Bsn)	Peak rate adjustment factor for sediment routing in the main channel.	0 - 2	No Effect

ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนในพื้นที่การศึกษาได้เปรียบเทียบกับสถานีตรวจวัด X.90 ผลการเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด ดังรูปที่ 5.5 พบว่า ผลจากแบบจำลองมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับผลการตรวจวัด แต่ปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) มีค่าเท่ากับ 0.51 ( $R=0.71$ )



รูปที่ 5.5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนสถานี X.90

จากเปรียบเทียบปริมาณตะกอนโดยใช้พารามิเตอร์ตามคำแนะนำคู่มือของแบบจำลอง และจากการสำรวจเอกสารงานวิจัย ซึ่งพบปัญหาว่า เมื่อปรับแก้พารามิเตอร์ในกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับลุ่มน้ำ (basin : .Bsn) นั้นไม่มีผลต่อเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณตะกอนหลังการจากปรับแก้ โดยเฉพาะพารามิเตอร์ PRF (.Bsn) ที่มีผลต่อปริมาณสูงสุดของตะกอนที่เคลื่อนที่ในลำน้ำ เนื่องจากก่อนการเปรียบเทียบในช่วงที่มีปริมาณสูงสุดของตะกอนที่ได้จากแบบจำลอง มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก เมื่อพารามิเตอร์ PRF (.Bsn) นั้นไม่มีผลต่อเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณตะกอนหลังการจากปรับแก้ จึงทำให้ต้องมีการปรับพารามิเตอร์ USLE\_P (.Mgt) เพื่อให้ช่วงค่าของปริมาณตะกอนจากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด แต่ปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด

### 5.1.3 ผลการเปรียบเทียบไนเตรท-ไนโตรเจน

การเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในพื้นที่การศึกษาครั้งนี้ มีการปรับเทียบด้วย สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ WQ แสดงดังรูปที่ 5.1 โดยที่ใช้ข้อมูลระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2552 – 2556 ในการปรับเทียบครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในแต่ละเดือน

การเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตามคำแนะนำคู่มือของแบบจำลอง จากการสำรวจเอกสารงานวิจัย โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณตะกอน โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามแบบจำลอง ได้แก่ กลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับลุ่มน้ำ (basin : .Bsn) กลุ่ม

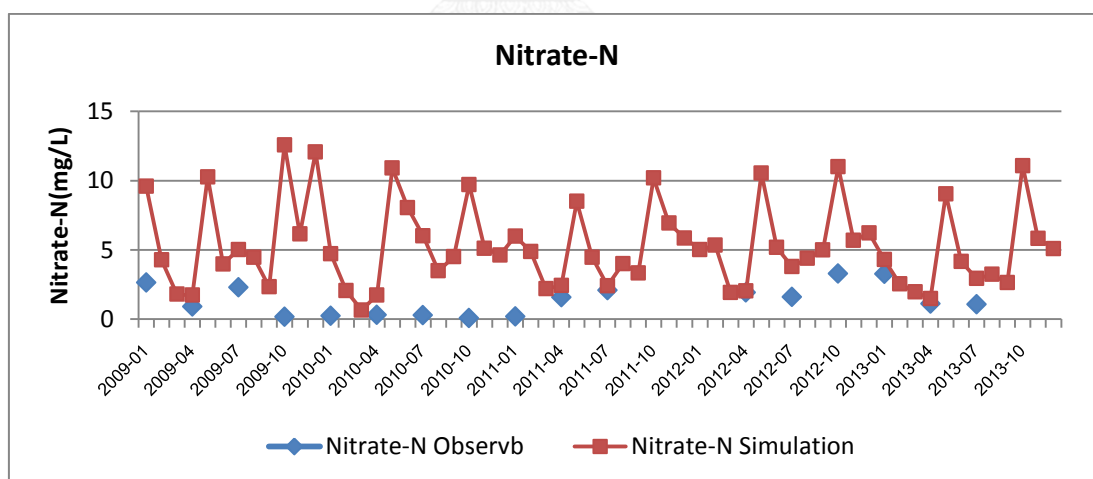
พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดิน (Groundwater : .Gw) และกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับดิน (Soil : .Sol) ค่า Sol\_K (Saturated hydraulic conductivity of first layer) โดยมีรายละเอียดปรับแก้พารามิเตอร์ดังตารางที่ 5.3

ผลการเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในพื้นที่การศึกษาได้เปรียบเทียบกับสถานีตรวจวัด WQ ผลการเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่ได้จากการตรวจวัดดังรูปที่ 5.6 พบว่า ผลจากแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัด พบว่าค่าจากแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าจากการตรวจวัด โดยที่แนวโน้มของปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีความสัมพันธ์ช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ยางพาราซึ่งเป็นการพื้นที่ส่วนใหญ่ของพื้นที่การศึกษา แต่เห็นได้ว่าปริมาณของไนเตรท-ไนโตรเจนจะมากขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน แต่เนื่องจากการตรวจวัดปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนนั้นเพียง 2-3 ครั้งในแต่ละปีตามช่วงฤดู ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบแนวโน้มได้ว่าเป็นไปตามแบบจำลองหรือไม่ อีกทั้งมีสถานีสอบเทียบเพียงสถานีเดียว จึงไม่สามารถหาพื้นที่แหล่งที่มาของไนโตรเจนได้ทำให้การสอบเทียบมีความคลาดเคลื่อน (จากความถี่ของการตรวจวัดปริมาณของไนเตรท-ไนโตรเจนน้อยจึงไม่ได้นำค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด( $R^2$ ) มาใช้เป็นเกณฑ์พิจารณา)

จากเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนโดยใช้พารามิเตอร์ตามคำแนะนำคู่มือของแบบจำลอง และจากการสำรวจเอกสารงานวิจัย ซึ่งพบปัญหาว่า เมื่อปรับแก้พารามิเตอร์ในกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลุ่มน้ำ (basin : .Bsn) ซึ่งเป็นกลุ่มหลักในการเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน นั้นไม่มีผลต่อเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน หลังการจากปรับแก้ ซึ่งทำให้ผลปรับปริมาณในพื้นที่ศึกษามีค่าจากแบบจำลองสูงกว่าจากการตรวจวัดประมาณ 10 เท่า ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจาก การที่แบบจำลองไม่ได้ดึงชุดข้อมูลปริมาณไนโตรเจนในดินระบุไปใช้ เนื่องจากผู้ทำการศึกษาได้เปรียบเทียบผลปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ที่ไม่ใส่ชุดข้อมูลปริมาณไนโตรเจนในดิน โดยใช้ค่าเริ่มต้นจากแบบจำลอง และที่ใช้ชุดที่ข้อมูลปริมาณไนโตรเจนในดินที่ได้ทำการศึกษามา พบว่าผลการจำลองปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนนั้นไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5.3 ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน

Parameter	Definition	Normal Range	Actual Value
1. RSDCO (.Bsn)	Residue decomposition coefficient	0.02 - 0.1	No Effect
2. NPERCO (.Bsn)	Nitrogen percolation coefficient	0 - 1	No Effect
3. RCN (.bsn)	Nitrogen in rain	0 - 1	No Effect
4. N_UPDIS (.bsn)	Nitrogen uptake distribution parameter	0 - 100	No Effect
5. SCNDO (.bsn)	Denitrification threshold water content	0 - 1	No Effect
6. CDN (.Bsn)	Denitrification exponential rate coefficient.	0 - 3	No Effect
7. SHALLST_N (.Gw)	Concentration of nitrate in groundwater contribution to streamflow from subbasin	0 -1000	0
8. Sol_K (.Sol)	Soil hydraulic conductivity.	0 - 2000	1000



รูปที่ 5.6 ผลการปรับเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสถานี WQ

#### 5.1.4 ผลการเปรียบเทียบฟอสฟอรัสทั้งหมด

การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพื้นที่การศึกษาครั้งนี้ มีการเปรียบเทียบด้วย สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ WQ แสดงดังรูปที่ 5.1 โดยที่ใช้ข้อมูลระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2552 –พ.ศ. 2556 ในการเปรียบเทียบครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในแต่ละเดือน

การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตามคำแนะนำคู่มือของแบบจำลอง จากการสำรวจเอกสารงานวิจัย โดยมีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณตะกอน โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามแบบจำลอง ได้แก่ กลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลุ่มน้ำ (basin : .Bsn) และกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับน้ำใต้ดิน (Groundwater : .Gw) โดยมีรายละเอียดปรับแก้พารามิเตอร์ดังตารางที่ 5.4

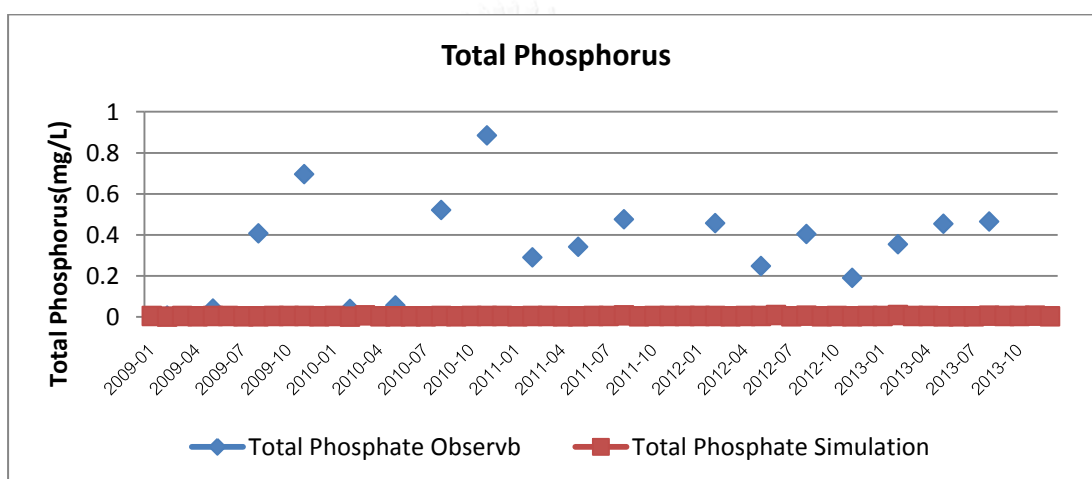
ตารางที่ 5.4 ค่าการปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

Parameter	Definition	Normal Range	Actual Value
1. RSDCO (.Bsn)	Residue decomposition coefficient	0.02 - 0.1	No Effect
2. PPERCO (.Bsn)	Phosphorus percolation coefficient	0 - 1	No Effect
4. P_UPDIS (.Bsn)	Phosphorus uptake distribution parameter	0 - 100	No Effect
5. PHOSKD (.Bsn)	Phosphorus soil partitioning coefficient	100 - 200	No Effect
6. PSP (.Bsn)	Phosphorus sorption coefficient	0.01 – 0.7	No Effect
7. GWSOLP (.Gw)	Concentration of Soluble phosphorus in groundwater contribution to streamflow from subbasin	0 -1000	0.08*

\* อ้างอิงจาก (Pisinaras et al., 2010)

ผลการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพื้นที่การศึกษาได้เปรียบเทียบกับสถานีตรวจวัด WQ ผลการเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ได้จากการตรวจวัดดังรูปที่ 5.7 พบว่า ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าจากการตรวจวัด ประมาณ 100 เท่า ซึ่งอาจเกิดมาจาก 2 สาเหตุ คือสาเหตุเกิดจากผลปริมาณตะกอนจากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าจากค่าการตรวจวัด ซึ่งจากการศึกษาของ (Abbaspour et al., 2007) ที่ได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ในการปรับเทียบแบบจำลอง

พบว่า มีพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวร่วมกันระหว่าง ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณตะกอน โดยเฉพาะ พารามิเตอร์ USLE\_P (.Mgt) ซึ่งการปรับเทียบปริมาณตะกอนผลจากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าจากค่าการตรวจวัด อาจส่งผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลงไปด้วย สาเหตุที่สอง แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสในน้ำ มาจากน้ำเสียชุมชนเป็นหลัก ซึ่งจากแผนที่ใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่การศึกษา พบว่า บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ(สถานี WQ) นั้นมีชุมชนอยู่หนาแน่น โดยที่ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้เข้าข้อมูล จุดปล่อยน้ำเสียจากแหล่งชุมชน อีกทั้งในการศึกษานี้มีสถานีสอบเทียบเพียงหนึ่งสถานีจึงไม่สามารถหาพื้นที่แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสได้ทำให้การสอบเทียบมีความคลาดเคลื่อน (จากค่าของตรวจวัดปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยจึงไม่นำค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด( $R^2$ ) มาใช้เป็นเกณฑ์พิจารณา)



รูปที่ 5.7 ผลการปรับเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสถานี WQ

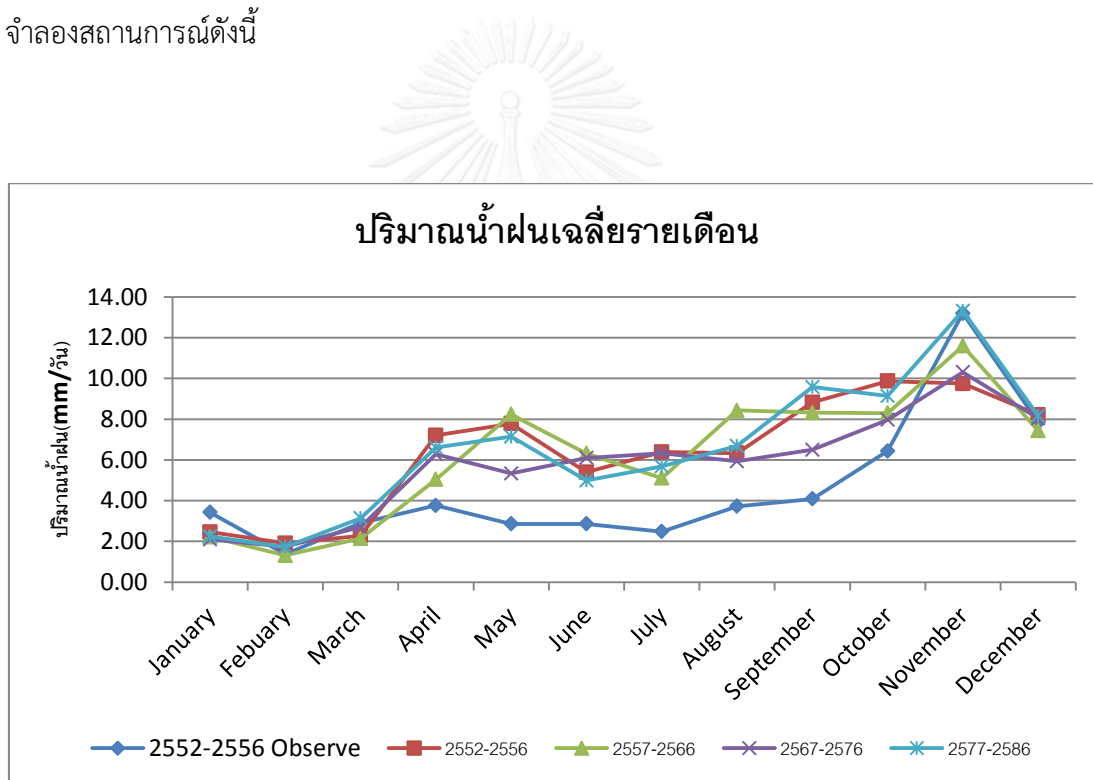
จากปรับเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้พารามิเตอร์ตามคำแนะนำคู่มือของแบบจำลอง และจากการสำรวจเอกสารงานวิจัย ซึ่งพบปัญหาว่า เมื่อปรับแก้พารามิเตอร์ในกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มน้ำ (basin : .Bsn) ซึ่งเป็นกลุ่มหลักในการปรับเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด นั้นไม่มีผลต่อเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดหลังจากการปรับแก้ ซึ่งทำให้ผลปรับปริมาณในพื้นที่การศึกษามีค่าจากแบบจำลองน้อยกว่าจากการตรวจวัดประมาณ 100 เท่า ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจาก การที่แบบจำลองไม่ได้ดึงชุดข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสในดินระบุไปใช้ เนื่องจากผู้ทำการศึกษาได้เปรียบเทียบผลปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ที่ไม่ใช่ชุดข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสในดินโดยใช้ค่าเริ่มต้นจากแบบจำลอง และที่ใช้ชุดที่ข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้ทำการศึกษามา พบว่าผลการจำลองปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดนั้นไม่แตกต่างกัน



## 5.2 ผลการจำลองสถานการณ์จากสภาพภูมิอากาศในอนาคต

การจำลองสถานการณ์ผลกระทบของสภาพภูมิอากาศในอนาคต ดำเนินการแบ่งช่วงข้อมูลปี พ.ศ. 2552 - 2586 แบ่งออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงปี พ.ศ. 2552 - 2556 ช่วงปี พ.ศ. 2557 - 2566 ช่วงปี พ.ศ. 2567 - 2576 และช่วงปี พ.ศ. 2577 - 2586 จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายเดือน ดังรูปที่ 5.8 พบว่า แนวโน้มในแต่เดือนเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งแจกแจงดังตารางที่ ค.1 ในภาคผนวก ค

ผลที่เกิดขึ้นจากการจำลองสถานการณ์ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละช่วงปี มีผลการจำลองสถานการณ์ดังนี้



รูปที่ 5.8 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคต

## 5.2.1 ปริมาณน้ำท่า

### 5.2.1.1 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2552-2556

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.9 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 แต่ในช่วง พฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำท่าสูงสุด มีค่าเฉลี่ยลดลงจาก  $86.6 \pm 57$  เป็น  $54.9 \pm 24$  (ลูกบาศก์เมตร/วินาที) (ตารางที่ ค.2 ในภาคผนวก ค)

### 5.2.1.2 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2557-2566

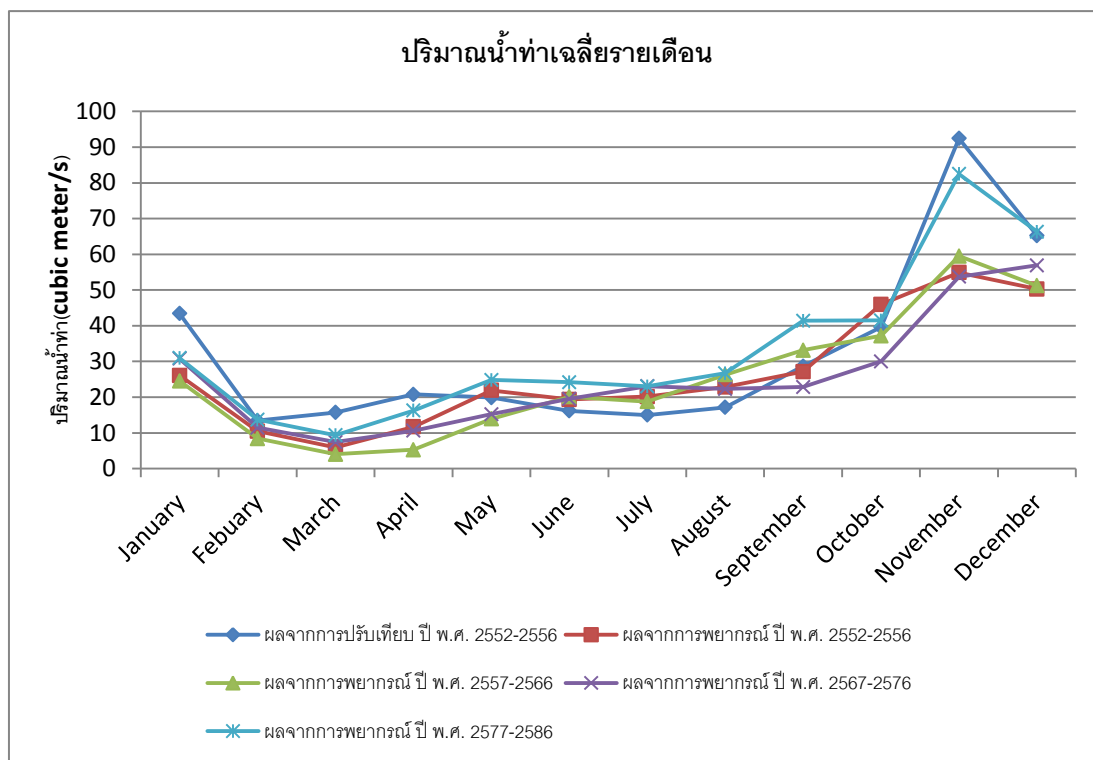
ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.9 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 แต่ในช่วง พฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำท่าสูงสุด มีค่าเฉลี่ยลดลงจาก  $86.6 \pm 57$  เป็น  $59.5 \pm 10.9$  (ลูกบาศก์เมตร/วินาที) (ตารางที่ ค.2 ในภาคผนวก ค)

### 5.2.1.3 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2567-2576

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.9 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 แต่ในช่วง พฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำท่าสูงสุด มีค่าเฉลี่ยลดลงจาก  $86.6 \pm 57$  เป็น  $53.8 \pm 15$  (ลูกบาศก์เมตร/วินาที) (ตารางที่ ค.2 ในภาคผนวก ค)

### 5.2.1.4 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2557-2567

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.9 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 และมีค่าเฉลี่ยรายเดือนใกล้เคียงมากที่สุด (ตารางที่ ค.2 ในภาคผนวก ค)



รูปที่ 5.9 ผลการจำลองสถานการณ์ของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนในอนาคต

## 5.2.2 ปริมาณตะกอน

### 5.2.2.1 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2552-2556

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณตะกอนรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.10 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 แต่ในช่วงพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณตะกอนสูงสุด มีค่าเฉลี่ยลดลงจาก  $580.1 \pm 826.7$  เป็น  $218.2 \pm 98.2$  (ตัน/วัน) (ตารางที่ ค.3 ในภาคผนวก ค)

### 5.2.2.2 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2557-2566

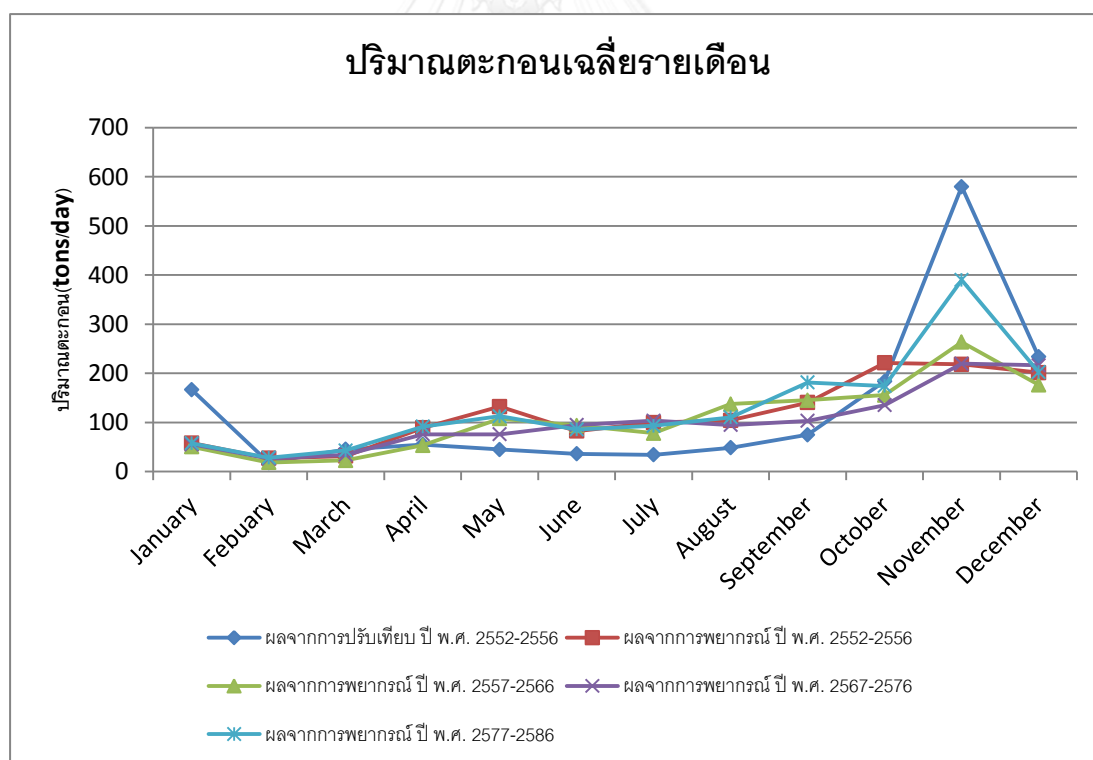
ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณตะกอนรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.10 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 แต่ในช่วงพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณตะกอนสูงสุด มีค่าเฉลี่ยลดลงจาก  $580.1 \pm 826.7$  เป็น  $263.8 \pm 79.5$  (ตัน/วัน) (ตารางที่ ค.3 ในภาคผนวก ค)

### 5.2.2.3 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2567-2576

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณตะกอนรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.10 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 แต่ในช่วงพฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณตะกอนสูงสุด มีค่าเฉลี่ยลดลงจาก  $580.1 \pm 826.7$  เป็น  $219.6 \pm 74.4$  (ตัน/วัน) (ตารางที่ ค.3 ในภาคผนวก ค)

### 5.2.2.4 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2577-2586

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณตะกอนรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.10 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 แต่ในช่วงพฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณตะกอนสูงสุด มีค่าเฉลี่ยลดลงจาก  $580.1 \pm 826.7$  เป็น  $390 \pm 226.3$  (ตัน/วัน) (ตารางที่ ค.3 ในภาคผนวก ค)



รูปที่ 5.10 ผลการจำลองสถานการณ์ของปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคต

### 5.2.3 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน

#### 5.2.3.1 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2552-2556

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.11 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 โดยที่มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสูงในช่วงเวลาเดียวกับการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม คือ เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม โดยมีค่าเฉลี่ยรายเดือนใกล้เคียงกัน (ตารางที่ ค.4 ในภาคผนวก ค)

#### 5.2.3.2 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2557-2566

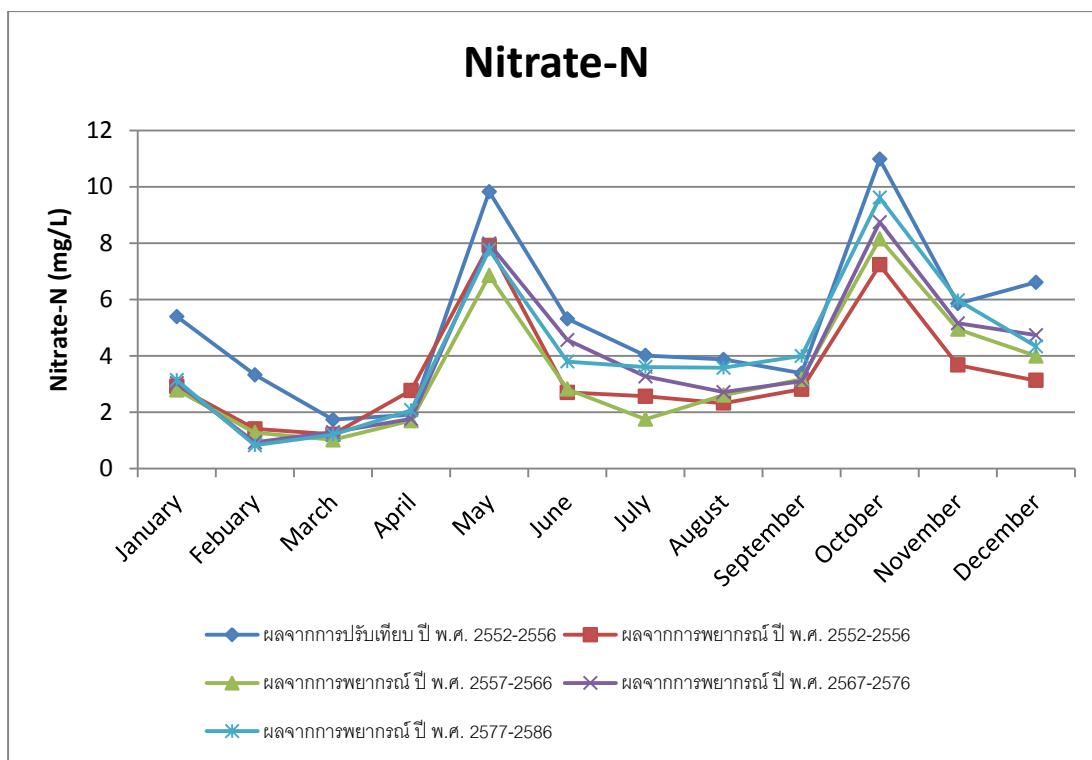
ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.11 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 โดยที่มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสูงในช่วงเวลาเดียวกับการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม คือ เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม โดยมีค่าเฉลี่ยรายเดือนใกล้เคียงกัน (ตารางที่ ค.4 ในภาคผนวก ค)

#### 5.2.3.3 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2567-2576

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.11 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 โดยที่มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสูงในช่วงเวลาเดียวกับการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม คือ เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม โดยมีค่าเฉลี่ยรายเดือนใกล้เคียงกัน (ตารางที่ ค.4 ในภาคผนวก ค)

#### 5.2.3.4 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2577-2586

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.11 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 โดยที่มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสูงในช่วงเวลาเดียวกับการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม คือ เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม โดยมีค่าเฉลี่ยรายเดือนใกล้เคียงกัน (ตารางที่ ค.4 ในภาคผนวก ค)



รูปที่ 5.11 ผลการจำลองสถานการณ์ของปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคต

## 5.2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

### 5.2.4.1 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2552-2556

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.12 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 ยกเว้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก  $0.012 \pm 0.038$  เป็น  $0.019 \pm 0.08$  (mg-P/l) ซึ่งเป็นช่วงที่ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดในปี (ตารางที่ ค.5 ในภาคผนวก ค)

### 5.2.4.2 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2557-2566

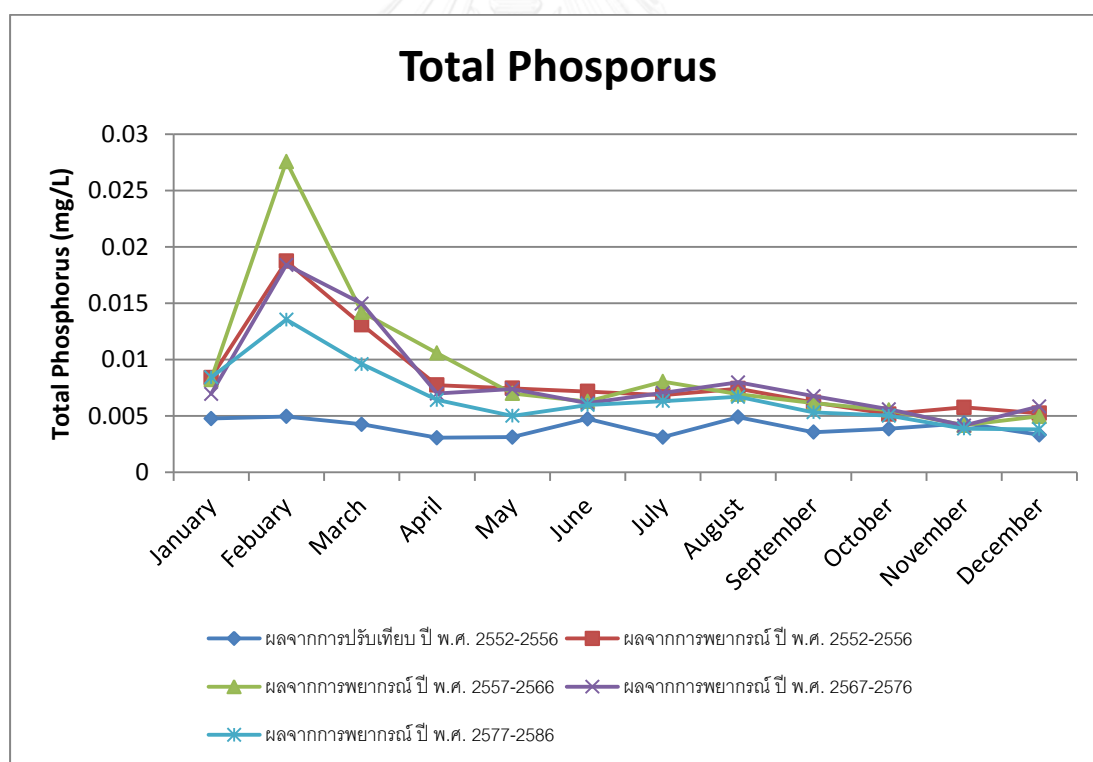
ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.12 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 ยกเว้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก  $0.012 \pm 0.038$  เป็น  $0.028 \pm 0.069$  (mg-P/l) ซึ่งเป็นช่วงที่ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดในปี (ตารางที่ ค.5 ในภาคผนวก ค)

#### 5.2.4.3 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2567-2576

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.12 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 ยกเว้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก  $0.012 \pm 0.038$  เป็น  $0.019 \pm 0.059$  (mg-P/l) ซึ่งเป็นช่วงที่ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดในปี (ตารางที่ ค.5 ในภาคผนวก ค)

#### 5.2.3.4 ผลการจำลองสถานการณ์ช่วงปี พ.ศ. 2577-2586

ผลการจำลองสถานการณ์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดรายเดือน เมื่อพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 5.12 มีค่าเฉลี่ยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 ยกเว้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก  $0.012 \pm 0.038$  เป็น  $0.014 \pm 0.026$  (mg-P/l) ซึ่งเป็นช่วงที่ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดในปี (ตารางที่ ค.5 ในภาคผนวก ค)



รูปที่ 5.12 ผลการจำลองสถานการณ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยรายเดือน

## บทที่ 6

### สรุปการศึกษา และข้อเสนอแนะ

ในการประเมินปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตในลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบนด้วยแบบจำลอง SWAT สามารถสรุปผลได้ใน 3 ส่วนหลัก ได้แก่

#### 6.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของดิน

##### 6.1.1 ขนาดอนุภาคของดิน (Grain size)

ขนาดอนุภาคของดินทราย ดินทรายแป้ง และดินเหนียวมีค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา  $52\pm 19.8$   $36.5\pm 16.1$  และ  $11.7\pm 7.2$  (%) ตามลำดับ โดยพื้นที่ไม้ผลสวนผสม (Orchard) มีปริมาณอนุภาคดินทราย มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ขณะที่อนุภาคดินทรายแป้ง (Silt) ในพื้นที่นาข้าว (Paddy) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และการประโยชน์ที่ดินอื่นๆ มีค่าเฉลี่ยดินเหนียวสูงสุด เมื่อเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคดินทรายแป้งตลอดทั้งพื้นที่การศึกษา มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคดินเหนียว ที่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคดินทราย พบการเปลี่ยนแปลงมีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

##### 6.1.2 อินทรีย์วัตถุของดิน (Organic matter)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนพบว่า ในพื้นที่ไม้ผลสวนผสม พื้นที่การประโยชน์ที่ดินอื่นๆ (Others) และพื้นที่ปาล์มน้ำมัน (Palm) สูงใกล้เคียงกัน โดย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1.5\pm 0.4$ ,  $1.5\pm 0.6$  และ  $1.5\pm 0.7$  (%) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

##### 6.1.3 ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen)

ปริมาณไนเตรท - ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา  $5.2\pm 6.2$  (mg-N/kg) และตามการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่าพื้นที่ปาล์มน้ำมัน มีค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรท - ไนโตรเจนสูงสุด เท่ากับ  $6.5\pm 8.7$  (mg-N/kg) เมื่อเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



#### 6.1.4 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen)

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา  $4.9 \pm 2.6$  (mg-N/kg) และตามการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน สูงที่สุด เท่ากับ  $7.2 \pm 4.5$  (mg-N/kg) เมื่อเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

#### 6.1.5 อนินทรีย์ไนโตรเจน (Total Inorganic Nitrogen)

ปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา  $10.1 \pm 6.8$  (mg-N/kg) และตามการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า พื้นที่ยางพารา (Para) มีค่าเฉลี่ยปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน สูงที่สุด เท่ากับ  $11.1 \pm 8.9$  (mg-N/kg) เมื่อเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

#### 6.1.6 อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen)

ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา  $979.1 \pm 481.6$  (mg-N/kg) และตามการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ และพื้นที่ปาล์มน้ำมัน (Palm) มีค่าเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกัน คือ  $1,029 \pm 417$ ,  $1,067 \pm 368$  และ  $1,041 \pm 341$  (mg-N/kg) ตามลำดับ

#### 6.1.7 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldal Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา  $983 \pm 483$  (mg-N/kg) และตามการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ และพื้นที่ปาล์มน้ำมัน มีค่าเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกัน คือ  $1,033 \pm 417$ ,  $1,074 \pm 370$  และ  $1,044 \pm 341$  (mg-N/kg) ตามลำดับ

#### 6.1.8 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา  $36.1 \pm 41.7$  (mg-P/kg) และตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาตอนบนพบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด เท่ากับ  $55 \pm 47.9$  (mg-P/kg) เมื่อเทียบกับข้อมูลปี พ.ศ. 2547 (หิรัญวดี สุวิบูรณ์, 2549) พบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

### 6.1.9 อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic Phosphorus)

ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา  $269 \pm 203$  (mg-P/kg) และตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบนพบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม ค่าเฉลี่ยปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงที่สุด เท่ากับ  $324 \pm 285$  (mg-P/kg)

### 6.1.10 อินทรีย์ฟอสฟอรัส (Organic Phosphorus)

ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา  $578 \pm 515$  (mg-P/kg) และตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบนพบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงที่สุด เท่ากับ  $748 \pm 462$  (mg-P/kg)

### 6.1.11 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ยตลอดพื้นที่การศึกษา  $847 \pm 649$  (mg-P/kg) และตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบนพบว่า พื้นที่ไม้ผลสวนผสม ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงที่สุด เท่ากับ  $1,072 \pm 690$  (mg-P/kg)

จากการศึกษาในส่วนของคุณสมบัติดิน แสดงให้เห็นถึงปริมาณ และการแพร่กระจายของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่อยู่ดิน ซึ่งอาจจะถูกชะพาจากพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ อีกทั้งในลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบน พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่พื้นที่เกษตรกรรม(ยางพารา) ที่มีการใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิต และชดเชยปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปจากดิน ซึ่งอาจเป็นแหล่งที่มาหลักของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำของพื้นที่การศึกษา และจากการศึกษาที่ผ่านมาในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาซึ่งรวมถึงลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาตอนบนชี้ให้เห็นได้ว่าการแพร่กระจายของธาตุอาหารในดินบริเวณพื้นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับการแพร่กระจายของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

## 6.2 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง SWAT

### 6.2.1 ปริมาณน้ำท่า

ในการสอบเทียบปริมาณน้ำท่า สอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552- พ.ศ.2556 โดยสอบเทียบด้วยกัน 3 สถานี ประกอบด้วยสถานี X.112, X.173A และ X.90 เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลอง และผลที่ได้จากการตรวจวัด พบว่า แนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งในเชิงปริมาณ และช่วงเวลา เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) ทั้ง 3 สถานี ค่าเท่ากับ 0.85 0.86 และ 0.81

ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลการสอบเทียบปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริงกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับที่ดี

### 6.2.2 ปริมาณตะกอน

ในการสอบเทียบปริมาณตะกอนสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552- 2556 โดยสอบเทียบที่สถานี X.90 เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลอง และผลที่ได้จากการตรวจวัด พบว่าแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันแต่ช่วงเวลา แต่ผลปริมาณตะกอนจากแบบจำลองมีค่าที่ต่ำกว่าจากการตรวจวัด เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) ที่สถานี X.90 ค่าเท่ากับ 0.51 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลการสอบเทียบปริมาณตะกอนจากการตรวจวัดจริงกับปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองมีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับที่แย่ เนื่องจากปัญหาในการปรับแก้พารามิเตอร์ในกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลุ่มน้ำ (basin : .Bsn) นั้นไม่มีผลเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณตะกอนหลังการปรับแก้ โดยเฉพาะพารามิเตอร์ PRF (.Bsn) ที่มีผลต่อปริมาณสูงสุดของตะกอนที่เคลื่อนที่ในลำน้ำ เนื่องมาก่อนการปรับเทียบในช่วงที่มีปริมาณสูงสุดของตะกอนที่ได้จากแบบจำลอง มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก เมื่อพารามิเตอร์ PRF (.Bsn) นั้นไม่มีผลต่อเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณตะกอนหลังการปรับแก้ จึงทำให้ต้องมีการปรับพารามิเตอร์ USLE\_P (.Mgt) เพื่อให้ช่วงค่าของปริมาณตะกอนจากแบบจำลอง มีความใกล้เคียงกับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด แต่ผลปริมาณตะกอนจากแบบจำลองมีค่าที่ต่ำกว่าจากการตรวจวัด และในการศึกษาครั้งนี้มีสถานีสอบเทียบปริมาณตะกอนเพียงสถานีเดียวบริเวณปลายน้ำทำให้ไม่สามารถหาพื้นที่แหล่งที่มาขอตะกอนได้จึงซึ่งทำให้การสอบเทียบปริมาณตะกอนมีความคลาดเคลื่อนสูง

### 6.2.3 ไนเตรท-ไนโตรเจน

ในการสอบเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ.2552- 2556 โดยสอบเทียบที่ สถานี WQ เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลอง และผลที่ได้จากการตรวจวัด พบว่าผลจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าจากการตรวจวัด เนื่องจากปัญหาในการปรับแก้พารามิเตอร์ในกลุ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลุ่มน้ำ (basin : .Bsn) นั้นไม่มีผลต่อปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนหลังการปรับแก้ ซึ่งจากการศึกษาคู่มือการสอบเทียบแบบจำลอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าพารามิเตอร์กลุ่มลุ่มน้ำ (basin : .Bsn) เป็นส่วนสำคัญในการสอบเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในแบบจำลอง และในการศึกษาครั้งนี้มีสถานีสอบเทียบปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเพียงสถานีเดียวบริเวณปลายน้ำทำให้ไม่สามารถหาพื้นที่แหล่งที่มาได้จึงซึ่งทำให้การสอบเทียบมีความคลาดเคลื่อนสูง รวมทั้งข้อมูลจากการตรวจวัดเพียง 2-3 ครั้งต่อปี ตามช่วงฤดู จึงไม่สามารถดูแนวโน้มที่ชัดเจนของปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน โดยที่แนวโน้มของผลจากแบบจำลองจะมีค่าสูงในช่วงการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม คือ

เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม เมื่อพิจารณาพร้อมกับปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าพบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนแปรผันกับปริมาณน้ำฝน กล่าวคือ เมื่อปริมาณน้ำฝนสูง ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนจะสูงตามไปด้วย

#### 6.2.4 ฟอสฟอรัสทั้งหมด

ในการสอบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552- 2556 โดยสอบเทียบที่ สถานี WQ เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลอง และผลที่ได้จากการตรวจวัด พบว่าผลจากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าจากตรวจวัด ซึ่งอาจเกิดจาก 2 สาเหตุ คือ สาเหตุแรกอาจเกิดจากผลปริมาณตะกอนจากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าจากค่าการตรวจวัด อาจส่งผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลงไปด้วย สาเหตุที่สองอาจเกิดในบริเวณพื้นที่ปลายน้ำ ณ สถานีตรวจวัด คุณภาพน้ำ เป็นพื้นที่ชุ่มชนหนาแน่น ทำให้ค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าสูง อีกทั้งในการสร้างแบบจำลองครั้งไม่ได้นำเข้าข้อมูลจุดปล่อยน้ำเสียของชุมชนจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้มีสถานีสอบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเพียงสถานีเดียวบริเวณปลายน้ำทำให้ไม่สามารถหาพื้นที่แหล่งที่มาของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้จึงซึ่งทำให้การสอบเทียบมีความคลาดเคลื่อนสูง รวมทั้งข้อมูลจากตรวจวัดเพียง 2-3 ครั้งต่อปี ตามช่วงฤดู จึงไม่สามารถดูแนวโน้มที่ชัดเจนของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้

#### 6.3 ผลการจำลองสถานการณ์จากสภาพภูมิอากาศในอนาคต

การจำลองสถานการณ์จากสภาพภูมิอากาศในอนาคต ซึ่งใช้ข้อมูลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตจากแบบจำลอง RegCM3 ในโครงการ “การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM 3 สำหรับประเทศไทย” ภายใต้ภาพฉายอนาคตสมมติ A1B โดยใช้ข้อมูลการสภาพภูมิอากาศในอนาคตระยะ 30 ปี (พ.ศ. 2557 - พ.ศ. 2586) สภาพฝนในอนาคตมีแนวโน้มในแต่เดือนเป็นไปในทิศทางเดียวกับในปัจจุบัน (พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2556) โดยที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ แต่เมื่อเทียบกันระหว่างปริมาณน้ำฝนจากการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต และปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงปี พ.ศ.2552-พ.ศ.2556 พบว่าปริมาณน้ำฝนจากการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าข้อมูลในช่วงเดือนเมษายน-เดือนตุลาคม

### 6.3.1 ปริมาณน้ำท่า

ผลปริมาณน้ำท่าการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต พบว่า ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคตมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียว และมีปริมาณใกล้เคียงกับผลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากสอบเทียบ ในช่วงปี พ.ศ. 2552 - 2556 โดยมีการผันผวนเป็นไปตามปริมาณน้ำฝน

### 6.3.2 ปริมาณตะกอน

ผลปริมาณตะกอนการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต พบว่า ปริมาณตะกอนรายเดือนในอนาคตมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียว และมีปริมาณใกล้เคียงกับผลปริมาณตะกอนที่ได้จากสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552 - 2556 โดยมีการผันผวนเป็นไปตามปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่า

### 6.3.3 ไนเตรท-ไนโตรเจน

ผลปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนรายเดือนในอนาคตมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียว และมีปริมาณใกล้เคียงกับผลปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่ได้จากสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552 - 2556 โดยที่พิจารณาร่วมกับปริมาณน้ำฝน ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าสูงตามปริมาณน้ำฝนในแต่ละเวลา

ทั้งนี้ผลปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในอนาคตที่มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียว และมีปริมาณใกล้เคียงกับผลปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่ได้จากสอบเทียบ เนื่องจากการจำลองสถานการณ์ในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเฉพาะข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีแนวโน้มใกล้เคียงกับในปัจจุบัน (พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2556) แต่ในอนาคตอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และกิจกรรมการเพาะปลูก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจทำให้ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ทั้งในช่วงเวลา และปริมาณ เนื่องจากจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนจะเป็นไปตามช่วงเวลาของการใช้ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม

### 6.3.4 ฟอสฟอรัสทั้งหมด

ผลปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดรายเดือนในอนาคตมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียว และมีปริมาณใกล้เคียงกับผลฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ได้จากสอบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2552 - 2556 ยกเว้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีสูงขึ้น โดยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่า พบว่าเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท้าน้อยที่สุด

ทั้งนี้ผลปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอนาคตที่มีแนวโน้มเป็นไปได้ในทิศทางเดียว และมีปริมาณใกล้เคียงกับผลปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ได้จากสอเทียบ เนื่องจากในการจำลองสถานการณ์ในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเฉพาะข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีแนวโน้มใกล้เคียงกับในปัจจุบัน (พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2556) แต่ในอนาคตอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ทั้งในช่วงเวลา และปริมาณ เนื่องจากฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ มีแหล่งที่มาสำคัญจากน้ำเสียชุมชน ซึ่งหากเกิดการขนาดตัวของชุมชนอาจส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำได้

ในการทำการศึกษารั้งนี้ แม้ว่าผลของปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำจากแบบจำลองเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากตรวจวัดนั้นจะมีความคลาดเคลื่อน แต่จากผลแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงแหล่งที่มา และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการชะล้างไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาตอนบน และสามารถคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในอนาคตที่มี อิทธิพลของปัจจัยสภาพภูมิอากาศในอนาคต ได้ อีกทั้งจากการศึกษาคุณสมบัติของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งแหล่งที่มาสำคัญของปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำในพื้นที่การศึกษา ซึ่งสามารถนำไปประเมินปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งโดยใช้แบบจำลอง SWAT อีกในอนาคต

#### 6.4 ข้อเสนอแนะ

ในการจำลองปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำให้มีประสิทธิภาพ โดยใช้แบบจำลอง SWAT จำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ปรับเทียบที่มีเพียงพอ ควรมีการเพิ่มทั้งความถี่ช่วงเวลา และจำนวนสถานีในการตรวจวัด อีกทั้งเนื่องจากความถี่ช่วงเวลาสามารถอธิบายแนวโน้มแต่ละช่วงเวลา ส่วนจำนวนสถานีสามารถอธิบายถึงแหล่งที่มาของปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ นอกจากข้อมูลที่ใช้ปรับเทียบแล้ว หากต้องการแบบจำลองปริมาณไนเตรท ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมด มีประสิทธิภาพ ควรมีข้อมูลในการปล่อยของเสียแบบทราบตำแหน่งแน่นอน เช่น จากน้ำเสียชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และฟาร์มปศุสัตว์ เป็นต้น

ในการจำลองสถานการณ์ในอนาคต นอกจากจำลองเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศแล้ว ควรศึกษาร่วมกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และกิจกรรมการเพาะปลูก ซึ่งถือเป็นอีกปัจจัยสำคัญในการที่มีผลต่อปริมาณปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

## รายการอ้างอิง

- Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., . . . Srinivasan, R. (2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 413-430.
- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*: C.A.B. International.
- Arnold, J., Srinivasan, R., Neitsch, S., George, C., Abbaspour, K., Hao, F. H., . . . Sombatpanit, S. (2009). *Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Global Application*. Bangkok, Thailand: World Association of Soil and Water Conservation (WASWAC).
- Beathgen, W. E., & Alley, M. M. (1989). A Manual Colorimetric Procedure for Measuring Ammonium Nitrogen in Soil and Plant Kjeldahl Digests. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20(9-10).
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of Total, Organic, and Available Forms of Phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39-46.
- Camargo, J. A., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32(6), 831-849.
- Donigan, A. S. (2002). *Watershed Model Calibration and Validation-The HSPF Experience*: AQUA TERRA Consultants.
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., & Greenberg, A. E. (1995). *Standard Methods for the Examination of water and wastewater* (19 Ed.).
- Fogg, G. E. (1965). Algal Cultures and Phytoplankton Ecology. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* (Vol. 51, pp. 203-204). University of Wisconsin.
- Halloran, I. P. O., & Cade-Menun, B. J. (2007). *Total and Organic Phosphorus Soil Sampling and Methods of Analysis, Second Edition*: CRC Press.

- IPCC. (2001). *Climate change 2001: The scientific basis. contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* (Y. D. J. T. Houghton, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson Ed.). Cambridge, UK: Cambridge University.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri R.K. and Reisinger, A. (eds.)]. (pp. 104). IPCC: Geneva, Switzerland.
- Loring, D. H., & Rantala, R. T. T. (1992). Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews*, 32(4), 235-283.
- Minnesota Pollution Control Agency. (2007). Phosphorus: Sources, Forms, Impact on Water Quality. from Minnesota Pollution Control Agency <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/wq-iw3-12.pdf>
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2009). Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation version 2009: Texas Water Resources Institute.
- Pisinaras, V., Petalas, C., Gikas, G. D., Gemitzi, A., & Tsihrintzis, V. A. (2010). Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *Desalination*, 250(1), 274-286.
- SCS. (1972). *Section 4 : Hydrology In National Engineering Handbook* USDA.
- Williams, J. R. (1969). flood routing with variable travel time or variable storage coefficients. *Transactions of the ASAE*, 12(1), 100-103.
- Williams, J. R. (1995). *The EPIC model : Computer models of watershed hydrology*.
- Williams, J. R., & Hann, R. W. (1972). HYMO, a problem-oriented computer language for building hydrologic models. *Water Resources Research*, 8(1), 79-86.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2524). รายงานสำรวจดิน จังหวัดสงขลา. กองสำรวจดิน กรุงเทพมหานคร.
- กันทรีย์ บุญประกอบ และอัศมน ลิมสกุล. (2554). การจัดทำรายงานสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย ในกลุ่มองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).



- กิตติพงศ์ ทรงรักษ์เกียรติ. (2549). การประเมินการชะล้างพังทลายของดิน ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดย  
แบบจำลองคณิตศาสตร์. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กุลยา โอตากะ. (2547). เคมีสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2544). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณัฐกานต์ พันชนะ. (2537). ผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการสูญเสียธาตุอาหารบริเวณแม่น้ำลั่นถัน  
จังหวัดกาญจนบุรี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ดวงฤทัย มงคลเคหา. (2555). การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินศักยภาพการให้น้ำท่าของเกาะสมุย  
จังหวัดสุราษฎร์ธานี. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และธีระพงศ์ จันทรมนิม. (2558). คู่มือปาล์มน้ำมัน. สงขลา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิต  
ปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิคม ละอองศิริวงศ์, ภาศกร ฅมพลกรัง, ลักขณา ละอองศิริวงศ์, & ทองเพชร สันบุญกา. (2547). ยูโทรฟิเคชัน :  
ผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการประมงในทะเลสาบสงขลา. กรุงเทพฯ: กลุ่มงานวิจัยระบบและ  
การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและ  
สหกรณ์.
- ประเทือง เขาวัวนกลาง. (2534). คุณภาพน้ำทางการประมง. ลำปาง: แผนกประมง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง.
- ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์. (2531). ชลธิวิทยา. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- ปรียาพร โกษา. (2553). รายงานฉบับสมบูรณ์การศึกษาผลกระทบของภูมิอากาศ และการใช้ที่ดินที่มีต่อปริมาณ  
น้ำท่าด้วยภาพถ่ายดาวเทียมธีออส. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. (2548). คุณภาพน้ำในทะเลสาบและปัญหายูโทรฟิเคชัน โครงการจัดทำแผนแม่บทการ  
พัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (pp. 236-237). สงขลา: หน่วยงานส่วนสามัญนีโอ พ้อยท์.
- มนูวดี หังสพฤกษ์. (2532). สมุทรศาสตร์เคมี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.: กรุงเทพมหานคร.
- ยงยุทธ โอสดสภา, ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, & ชัยสิทธิ์ ทองจุ. (2541). ปฐพีวิทยา  
เบื้องต้น. กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิเชียร จากุพจน์. (2549). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วินัย วัชพิมูล. (2552). คู่มือปฏิบัติการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง SWAT. กรุงเทพมหานคร: ส่วนงาน  
คณะกรรมการลุ่มน้ำโขง สำนักประสานความร่วมมือระหว่างประเทศ กรมทรัพยากรน้ำ.
- ศุภกร ชินวรรณ. (2551). การคาดการณ์สภาพอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทย:ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศ  
โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. Paper presented at the การประชุมสัมมนาวิชาการระบบเกษตร  
แห่งชาติ ครั้งที่ 4 27-28 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 โรงแรมดิเอ็มเพรส ถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่.
- ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. (2545). ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภมาศ พิณชัคคัตพัฒนา, จงรักษ์ จันทรเจริญสุข, ผกาทิพย์ จินตกานนท์, วิโรจ อิมพิทักษ์, & อัญชลี สุทธิประการ.

(2523). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถานีวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). ปัญหาในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.

<http://slb-gis.envi.psu.ac.th/>

สมปอง นุกุลรัตน์, ศรีนิมา ชูธรรมรัช, สุนันท์ ธีราวุฒิ, สรัญญา คำอำภย์, & อมรัตน์ นาทวีไพโรจน์. (2553).

การจัดเขตศักยภาพการผลิตข้าวจังหวัดสงขลา. สงขลา: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 8.

สาธิตา บุญแก้ววรรณ. (2556). การประเมินปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตในแม่น้ำยมตอนล่างด้วยแบบจำลอง

SWAT. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2530). รายงานคุณภาพแหล่งน้ำทำจัน. กรุงเทพฯ: กองมาตรฐาน

คุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2548). โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่ม

น้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 3 แผนแม่บท. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ และ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16. (2553). รายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำคลองอู่ตะเภาและคลองสาขา ปี 2553 :

โครงการเฝ้าระวังและติดตามตรวจสอบคุณภาพแหล่งน้ำวิกฤติในพื้นที่จังหวัดสงขลา(คลองสำโรง คลองอู่ตะเภา และคลองสาขา) สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (2552). การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต. กรมอุตุนิยมวิทยา.

สุพจน์ ชัยวิมล และสุวิช ทาเจริญ. (2554). การใช้ปุ๋ยกับคลองกองในภาคใต้ของประเทศไทย. สงขลา: กองวิจัยและ

พัฒนางานส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร.

หทัยกานต์ นวลแก้ว, จักรกฤษณ์ พูนภักดี, จุฬามาศ แก้วมโน, & จำเป็น อ่อนทอง. (2556). การใช้ปุ๋ยและแนว

ทางการจัดการดินปลูกยางพาราในที่ลุ่มและที่ดอนในจังหวัดสงขลา. *Journal of Yala Rajabhat University, Vol.8(No.2 July-December), 146-159.*

หิรัญวดี สุวิบูรณ์. (2549). การประเมินปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิดในลุ่มน้ำทะเลสาบ

สงขลา. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อำนาจ ชิตไธสง. (2553). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Change

Information) เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

โอฬาร เวศอุไร. (2548). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำทำในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบน โดยใช้

แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ภาคผนวก ก**  
**จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่การศึกษา**

ตาราง ก จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่การศึกษา

ID	Land use	พิกัด	
		X	Y
1	Palm	649424	736964
2	Orchard	651116	733966
3	Para	652751	729874
4	Palm	651974	739832
5	Orchard	663720	732554
6	Para	667181	728981
7	Para	661869	737236
8	Others	641273	744329
9	Palm	639956	744776
10	Orchard	637895	744773
11	Orchard	654095	747259
12	Para	646077	749605
13	Para	646600	740700
15	Others	657078	749326
16	Palm	654481	750415
17	Orchard	657970	742084
18	Orchard	659851	753733
19	Para	661503	740522
20	Para	663813	745976
21	Paddy	652906	763696
22	Paddy	655889	761776
23	Others	650085	766154
24	Palm	646869	757020
25	Palm	644965	763810
26	Orchard	649554	762304
27	Para	648449	751837
28	Para	647367	761536

ตาราง ก (ต่อ) จุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่การศึกษา

ID	Land use	พิกัด	
		X	Y
29	Paddy	657393	760748
30	Others	662880	762672
31	Palm	670407	750562
32	Orchard	670311	765180
33	Orchard	663865	757764
34	Para	671268	752093
35	Para	667103	757687
37	Others	658111	768765
38	Orchard	665903	771098
39	Para	659214	771257
40	Para	673207	773068

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีในดิน ตามสถานีเก็บตัวอย่าง

ตาราง ข.1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีในดิน ตามสถานีเก็บตัวอย่าง

ID	Sand	Slit	Clay	OM
	(%)	(%)	(%)	(%)
1	43.2	46.3	10.5	1.3
2	78.1	14.3	7.6	1.4
3	56.3	36.9	6.8	1.4
4	41.9	46.4	11.7	2.5
5	53.7	39	7.3	1.9
6	39.5	43.6	16.9	0.9
7	47.9	44.3	7.8	0.9
8	61.2	32	6.8	1.6
9	47.2	49.7	3.2	0.7
10	74	18.2	7.8	1.5
11	52.8	35.9	11.4	0.8
12	59.6	30.8	9.7	0.8
13	23	53.3	23.7	3.5
15	30.1	49.6	20.3	1.7
16	59.3	34	6.7	0.6
17	18.8	70.3	10.8	1.5
18	65.2	19.9	14.9	1.1
19	26.7	48.3	25	2.9
20	72.3	22.2	5.5	1.1
21	66.5	29	4.5	0.4
22	33.5	55.7	10.8	0.5
23	41.5	50.3	8.3	1
24	30.5	55.3	14.2	1.6
25	45.6	38.1	16.3	1.9
26	31.8	58.2	10	1.9
27	52.3	39	8.7	0.7
28	27.9	56.8	15.3	1.7

ตาราง ข.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ทางเคมีในดิน ตามสถานีเก็บตัวอย่าง

ID	Sand	Slit	Clay	OM
	(%)	(%)	(%)	(%)
29	41.2	48.8	10	1.6
30	65.6	26.3	8.2	1
31	77.5	14.1	8.5	1.3
32	72.3	15	12.7	1.1
33	68.4	19.9	11.7	1.8
34	57.8	27.2	15	0.7
35	79.9	13.3	6.8	0.9
37	3.8	53.5	42.7	2.2
38	64.2	29.5	6.3	1.3
39	71	17.1	11.9	0.9
40	91.8	1.8	6.4	0.9

ตาราง ข.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีปัจจัยไนโตรเจนในดิน ตามสถานีเก็บตัวอย่าง

ID	Nitrate	Ammonia	TIN	TKN	Organic N
	mg-N/kg	mg-N/kg	mg-N/kg	mg-N/kg	mg-N/kg
1	0.01	3.9	3.9	1164.6	1160.7
2	1.2	3.9	5.1	897.8	893.9
3	3.2	6	9.2	1091.3	1085.3
4	6.7	3.4	10.1	1540	1536.5
5	7.7	3.5	11.3	1490.5	1486.9
6	6.9	3.8	10.7	751.5	747.7
7	4.9	3	7.8	744.8	741.8
8	1.2	14	15.2	1056.4	1042.4
9	0.4	3.5	4.0	568.6	565
10	5.9	3.9	9.8	940.5	936.6
11	7.1	5.6	12.7	485.6	479.9
12	2.7	3.2	6.0	759.1	755.8
13	1	12.7	13.6	2478.8	2466.1
15	9.2	9.1	18.3	1649.7	1640.6
16	0.6	3.1	3.8	707.4	704.3
17	8.3	3.9	12.1	1569.9	1566
18	4.2	3.5	7.7	660	656.5
19	31	7.6	38.5	2131.2	2123.6
20	2.5	3.5	6.0	729.6	726.1
21	4.1	2.3	6.4	273.7	271.4
22	2.9	2.6	5.5	465.1	462.5
23	0.9	4.2	5.1	715.8	711.6
24	2.2	0.8	3.0	1076.8	1076
25	23.3	3.8	27.2	1334.9	1331
26	5	6.2	11.2	1623	1616.8
27	0.1	4.8	4.9	554.2	549.4
28	1.8	5.6	7.4	989.1	983.5
29	1.2	7.4	8.6	1292.8	1285.4
30	5.9	3.2	9.1	788.7	785.4
31	12.1	4.6	16.6	920.3	915.7



ตาราง ข.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ทางเคมีปัจจัยไนโตรเจนในดิน ตามสถานีเก็บตัวอย่าง

ID	Nitrate	Ammonia	TIN	TKN	Organic N
	mg-N/kg	mg-N/kg	mg-N/kg	mg-N/kg	mg-N/kg
32	2.2	4.3	6.4	664.4	660.2
33	4.2	5.7	9.9	1247.6	1241.9
34	1.9	4.9	6.8	375.4	370.5
35	10.6	5.8	16.5	629.6	623.7
37	1	5.2	6.1	1161.5	1156.4
38	4.5	4.6	9.0	757.7	753.2
39	3.8	3.3	7.1	505.2	501.9
40	4.7	4.5	9.2	594.8	590.3



ตาราง ข.3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีปัจจัยฟอสฟอรัสในดิน ตามสถานีเก็บตัวอย่าง

ID	Avai-P	Inorganic P	Organic P	Total P
	mg-P/kg	mg-P/kg	mg-P/kg	mg-P/kg
1	6.5	286.1	350.1	636.2
2	23.6	348.4	404.1	752.6
3	10.3	309.9	933.1	1243
4	88.8	205.1	946.2	1151.3
5	61.5	217.9	943.1	1161
6	77.6	230.8	694.5	925.3
7	10.3	222.1	239.5	461.6
8	10.2	67.3	45	112.3
9	7	325.1	346.7	671.7
10	28.1	201.7	429.3	631
11	7.7	160.6	423.4	584
12	8.4	212	416.9	628.9
13	9.4	264.2	542.8	807.1
15	7.6	63.6	698.9	762.5
16	2.8	143.9	148.7	292.6
17	51.8	502.2	1037.9	1540.1
18	76.1	27.6	1005.5	1033.1
19	126.5	963.7	2318.4	3282.2
20	42.8	79.8	640.2	720
21	9.5	355.7	277.1	632.8
22	3.1	280.3	373	653.3
23	11.7	293.4	115.8	409.2
24	4.5	300.7	1596.7	1897.4
25	133.4	289.5	47.5	337
26	158.9	947.6	1681.2	2628.8
27	10.6	248.7	268.4	517.1
28	35.2	36.2	317.2	353.4
29	15.7	268.2	109.5	377.7
30	26.9	217.7	353.2	570.9
31	24.7	280.3	650.9	931.1

ตาราง ข.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ทางเคมีปัจจัยฟอสฟอรัสในดิน ตามสถานีเก็บตัวอย่าง

32	22.5	125.3	706.2	831.6
33	105.8	609	835.5	1444.5
34	12.7	322.2	29.6	351.8
35	10.5	260.1	84	344.1
37	95.2	44	1428.4	1472.4
38	13.1	99.4	21.7	121.1
39	9.8	245.4	222.3	467.8
40	11	169.5	283.8	453.3



**ภาคผนวก ค**  
**ผลการจำลองสถานการณ์ในอนาคต**

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายเดือนในอนาคต

Month	Stats	ผลจากการ ตรวจวัด พ.ศ.	ผลจากการ พยากรณ์ ปี พ.ศ.	ผลจากการ พยากรณ์ ปี พ.ศ.	ผลจากการ พยากรณ์ ปี พ.ศ.	ผลจากการ พยากรณ์ ปี พ.ศ.
		2552-2556	2552-2556	2567-2576	2567-2576	2577-2586
1	Mean±SD	3.5±9.5	2.5±3.7	2.3±3.9	2.1±4.4	2.3±5.2
	Min-Max	0-94.7	0-25	0-31	0-44.1	0-65
2	Mean±SD	1.4±5.8	2±3.1	1.4±2.3	1.8±2.6	1.8±3.2
	Min-Max	0-44.1	0-14.9	0-11.2	0-11.7	0-25.4
3	Mean±SD	3±6.7	2.3±2.8	2.2±3	2.8±3.8	3.2±4.6
	Min-Max	0-50	0-16.8	0-17.9	0-23.4	0-33
4	Mean±SD	3.8±5.6	7.3±5.9	5.1±3.7	6.3±3.7	6.7±4.1
	Min-Max	0-40.8	0-43.5	0-25.8	0-20.4	0-24
5	Mean±SD	2.9±4.6	7.8±5.2	8.3±5.2	5.4±3.4	7.2±4.8
	Min-Max	0-25	0-35.3	0-54.9	0-22.3	0-63.8
6	Mean±SD	2.9±5.9	5.4±3.6	6.4±3.8	6.1±3.4	5±2.6
	Min-Max	0-46.6	0-18.7	0.1-22	0.3-26.1	0-20.1
7	Mean±SD	2.5±5	6.4±3.7	5.2±3.4	6.4±3.4	5.7±2.6
	Min-Max	0-32.2	0.3-23.9	0-17	0-19.6	0.4-19.8
8	Mean±SD	3.8±5.4	6.4±2.8	8.5±4.4	6±3.2	6.7±3.9
	Min-Max	0-35.1	0.1-19.3	0-33.4	0.1-22.2	0-25.6
9	Mean±SD	4.1±8.1	8.9±3.5	8.4±3.9	6.5±3.5	9.6±5.5
	Min-Max	0-67.2	0.6-21	0-23.2	0-21.8	0.2-58.7
10	Mean±SD	6.5±14.7	9.9±8.6	8.3±4.3	8±4.2	9.2±3.9
	Min-Max	0-176.8	0-90.8	0-23.6	0-23.5	0-35.5
11	Mean±SD	13.2±24.9	9.8±8.7	11.6±7.8	10.4±8	13.4±10
	Min-Max	0-192.1	0-40.8	0-49.9	0-60.3	0-101
12	Mean±SD	7.9±15.2	8.3±7.5	7.5±8.1	8.1±11.1	8.2±8.4
	Min-Max	0-151.6	0-39.1	0-77.6	0-75.2	0-69.6

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต

Month	Stats	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ
		เปรียบเทียบ ปี พ.ศ.2552-2556	พยากรณ์ ปี พ.ศ. 2552-2556	พยากรณ์ ปี พ.ศ. 2567-2576	พยากรณ์ ปี พ.ศ.2567-2576	พยากรณ์ ปี พ.ศ. 2577-2586
1	Mean±SD	38.3±33.3	26.1±18.6	24.6±4.4	30.8±9.2	31±8.4
	Min-Max	0.7-97.6	0.5-45.6	18.9-31.2	18.5-44.1	16.9-43.8
2	Mean±SD	11.2±8.2	10.5±9.5	8.5±2.1	11.5±6.9	13.8±5.7
	Min-Max	0.3-24	0.9-23.2	5.7-11.9	4.5-28.3	5-22.4
3	Mean±SD	14.1±11.6	6±6.5	4.1±1.6	7.5±8.3	9.4±8.5
	Min-Max	1.7-29.2	1-18	2.4-7.4	2-28.6	2.3-24.7
4	Mean±SD	18.1±13.5	11.7±11.3	5.3±5	10.7±11.1	16.3±12.3
	Min-Max	5.2-33.2	1.2-26.7	1.7-18.9	1.8-35.2	1.8-34.7
5	Mean±SD	17±9	22±17.3	14±10.7	15.3±11	24.9±10.7
	Min-Max	8.3-32.1	3.8-52.3	4.2-42.4	2-35.8	7.8-35.7
6	Mean±SD	13.7±4.4	19.4±10.7	20.2±9.7	19.6±9.4	24.3±9.3
	Min-Max	8.1-19.8	8.2-37	7.2-34.4	4.6-36.9	13.2-36.4
7	Mean±SD	12.6±3.1	20.2±6.9	18.8±7.7	23.1±9.1	23.1±6.9
	Min-Max	8.6-16.4	10.4-31.7	11.2-33.8	11.7-41.3	14.3-35.3
8	Mean±SD	14.8±3.7	22.9±8.3	26.3±12.6	22.4±6.4	26.7±10.4
	Min-Max	10.2-20.2	12.4-31.5	15.1-47.8	14.4-34.4	9.2-40.4
9	Mean±SD	24.9±13.2	27.2±5.9	33.2±11.5	22.9±5.6	41.5±22.6
	Min-Max	13.2-47.5	20.2-35.5	16.9-54.9	15.8-32.6	16.8-95.6
10	Mean±SD	35.1±21.2	46±17	37.2±11.7	30.1±8.5	41.5±9.8
	Min-Max	20.3-77.7	33.3-78.5	15.2-51.1	21-43.6	26.7-60.2
11	Mean±SD	86.6±57	54.9±24	59.5±10.9	53.8±15	82.5±24.6
	Min-Max	34.5-174.7	23.2-90	37.2-71.7	28.7-81.1	44-132.9
12	Mean±SD	57.8±16.1	50.3±24.3	51.3±12.9	56.9±18.7	66.4±18.3
	Min-Max	37.9-81.3	23.1-91.3	32.3-72.1	20.7-93.1	46.4-112.7

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณตะกอนรายเดือนในอนาคต

Month	Stats	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ
		ปรับเทียบ ปี พ.ศ. 2552-2556	พยากรณ์ ปี พ.ศ. 2552-2556	พยากรณ์ ปี พ.ศ. 2567-2576	พยากรณ์ ปี พ.ศ.2567-2576	พยากรณ์ ปี พ.ศ. 2577-2586
1	Mean±SD	166.5±248.1	57.9±41.9	50.5±12.6	55.5±28.4	57.7±27.1
	Min-Max	11.5-653.1	17.7-131.4	28.5-70.4	31.2-103.3	26.8-106
2	Mean±SD	18.2±12.4	27±26.6	18.5±13.1	26.8±20.8	28.4±21.5
	Min-Max	5.6-38.5	5.2-62	6.2-39.9	6-75.5	6.4-66.3
3	Mean±SD	45.3±40	31.7±31.4	23±20.1	34.4±41.6	42.9±52.4
	Min-Max	5.5-102.3	1.9-90	2.9-60.5	4.9-129.3	2.8-136.2
4	Mean±SD	55.1±21.5	89±45.4	53.6±28.3	76±38.8	91.4±47.1
	Min-Max	25.1-82.7	12.8-139.8	12.7-105.5	6.5-140	16.9-184.2
5	Mean±SD	44.9±13.1	132.2±105.8	107.9±39.6	76±34.1	112.9±36
	Min-Max	25.8-62.5	71.8-345.4	51-178.4	37.1-151.8	61.9-186.8
6	Mean±SD	36.3±14.7	82.5±28.8	93.8±37.8	94.7±30.7	85.7±20.7
	Min-Max	11.8-54.9	48.6-126.7	55.8-181.9	61.9-149	56.3-116
7	Mean±SD	34.1±10.8	99.7±27.9	78.3±33	103.7±29.4	93.1±15.3
	Min-Max	22-48.1	69.7-144.6	32.4-130	64.3-151.4	62-116.7
8	Mean±SD	48.7±15.8	104.3±27.4	137.6±54.6	95±32.9	110.4±51.9
	Min-Max	19.2-61	66.7-138.2	82.5-248.5	65.2-171.6	27.3-199.7
9	Mean±SD	75±65.9	140.3±24.6	145.4±49.3	103.2±33.9	181.5±95.1
	Min-Max	32.5-199.3	111.7-185.7	64-230.4	62-163.1	102.6-423.7
10	Mean±SD	183.8±265.4	221.3±126.2	155.8±44.7	135.4±28.9	174.5±38.3
	Min-Max	42.6-723.3	135.3-467.6	77.4-223.1	82.5-168.5	112.6-250.1
11	Mean±SD	580.1±826.7	218.2±98.2	263.8±79.5	219.6±74.4	390±226.3
	Min-Max	84.1-2243	68.6-355.3	166.8-396.8	81.9-369.4	171.6-960.2
12	Mean±SD	233.9±196.1	201.5±146.2	176.7±45.6	216.3±97.7	202.6±90.2
	Min-Max	51.4-595.1	95.3-486	92.6-234.3	74.3-352.1	99.6-427.1

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนรายเดือนในอนาคต

Month	Stats	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ
		เปรียบเทียบ ปี พ.ศ.2552-2556	พยากรณ์ ปี พ.ศ. 2552-2556	พยากรณ์ ปี พ.ศ. 2567-2576	พยากรณ์ ปี พ.ศ. 2567-2576	พยากรณ์ ปี พ.ศ. 2577-2586
1	Mean±SD	5.4±3.4	3±2.5	2.8±2.2	3.1±1.6	3.2±2.1
	Min-Max	1-15.1	0-10.9	0.3-10.6	0.5-9.1	0.4-10.2
2	Mean±SD	3.4±3	1.5±1.6	1.3±1.5	1±1.1	0.9±0.8
	Min-Max	0-10.9	0-6.7	0-10.2	0-5.9	0-4.3
3	Mean±SD	1.8±1.2	1.3±1.9	1.1±1.1	1.3±1.4	1.3±1.6
	Min-Max	0.1-7.6	0-19.3	0-9.9	0-12.2	0-12.2
4	Mean±SD	2±1.7	2.8±8.2	1.8±3.4	1.8±2.6	2.1±2.4
	Min-Max	0.4-18.8	0-77.5	0.3-40.6	0.4-25	0.1-20.7
5	Mean±SD	9.9±5	8±5	6.9±4.9	8±5	7.8±4.9
	Min-Max	0.5-24	1.1-22.9	1-23.3	1.5-28.5	1-23.2
6	Mean±SD	5.4±2.6	2.8±1.7	2.9±1.5	4.6±2.3	3.9±2.3
	Min-Max	0.1-11.1	0.5-7.4	0.5-7.7	0.7-11.7	0.6-10.9
7	Mean±SD	4.1±2.3	2.6±1.4	1.8±1.1	3.3±1.7	3.7±2.1
	Min-Max	0.1-10.1	0.5-5.8	0.4-6.8	0.7-8.2	0.7-9.3
8	Mean±SD	3.9±2	2.4±1.5	2.7±1.9	2.8±1.4	3.6±2.6
	Min-Max	0.1-13.1	0.4-7.5	0.5-10.3	0.4-6.1	0.4-13.4
9	Mean±SD	3.4±2.5	2.9±2.5	3.2±2.7	3.2±2.3	4.1±3
	Min-Max	0.4-19.3	0.6-23.1	0.5-23.3	0.5-24.9	0.7-21.3
10	Mean±SD	11±5	7.3±4.6	8.2±4.6	8.8±4.7	9.7±5.1
	Min-Max	2.8-25.9	1.2-21.6	1.3-23.5	1.3-25.9	1.2-23.7
11	Mean±SD	5.9±2	3.7±1.7	5±2.4	5.2±2.2	6±3.6
	Min-Max	1.8-15.7	0.6-8.1	1-13.2	1.1-19.5	1.5-18
12	Mean±SD	6.7±4.5	3.2±1.4	4.1±2.6	4.8±2.4	4.4±2.9
	Min-Max	2.2-22.5	0.8-8.8	0.6-15.2	1-18.3	1-17.6

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดรายเดือนในอนาคต

Month	Stats	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ	ผลจากการ
		เปรียบเทียบ ปี พ.ศ.2552-2556	พยากรณ์ ปี พ.ศ.2552-2556	พยากรณ์ ปี พ.ศ.2567-2576	พยากรณ์ ปี พ.ศ.2567-2576	พยากรณ์ ปี พ.ศ.2577-2586
1	Mean±SD	0.009±0.023	0.009±0.019	0.009±0.011	0.007±0.013	0.009±0.025
	Min-Max	0.001-0.279	0-0.214	0.001-0.089	0.001-0.132	0.001-0.394
2	Mean±SD	0.012±0.038	0.019±0.08	0.028±0.069	0.019±0.059	0.014±0.026
	Min-Max	0-0.403	0-0.969	0-0.537	0-0.898	0-0.209
3	Mean±SD	0.014±0.051	0.014±0.029	0.015±0.025	0.015±0.05	0.01±0.023
	Min-Max	0-0.407	0-0.322	0-0.269	0-0.722	0-0.348
4	Mean±SD	0.005±0.005	0.008±0.006	0.011±0.013	0.007±0.005	0.007±0.005
	Min-Max	0.001-0.025	0-0.042	0.002-0.175	0.001-0.042	0.001-0.026
5	Mean±SD	0.005±0.004	0.008±0.004	0.007±0.004	0.008±0.007	0.006±0.003
	Min-Max	0.001-0.016	0.002-0.022	0.001-0.029	0.001-0.094	0.001-0.014
6	Mean±SD	0.013±0.043	0.008±0.005	0.007±0.004	0.007±0.003	0.006±0.004
	Min-Max	0.001-0.318	0.002-0.026	0.002-0.024	0.001-0.017	0.002-0.027
7	Mean±SD	0.005±0.005	0.007±0.004	0.009±0.005	0.008±0.004	0.007±0.003
	Min-Max	0-0.022	0.002-0.025	0.001-0.035	0.002-0.027	0.002-0.021
8	Mean±SD	0.008±0.03	0.008±0.004	0.007±0.005	0.008±0.005	0.007±0.005
	Min-Max	0.001-0.396	0.002-0.021	0.002-0.048	0.002-0.034	0.002-0.058
9	Mean±SD	0.005±0.006	0.007±0.003	0.007±0.004	0.007±0.005	0.006±0.003
	Min-Max	0.001-0.031	0.002-0.02	0.002-0.024	0.001-0.037	0.002-0.018
10	Mean±SD	0.004±0.004	0.006±0.002	0.006±0.004	0.006±0.004	0.006±0.003
	Min-Max	0-0.017	0.001-0.013	0.001-0.032	0.001-0.041	0.001-0.027
11	Mean±SD	0.005±0.004	0.006±0.007	0.005±0.003	0.005±0.003	0.004±0.002
	Min-Max	0.001-0.018	0.001-0.05	0.001-0.018	0.001-0.02	0.001-0.018
12	Mean±SD	0.005±0.004	0.006±0.005	0.005±0.005	0.006±0.009	0.004±0.004
	Min-Max	0.001-0.027	0.001-0.037	0.001-0.041	0.001-0.1	0.001-0.029



### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรพงศ์ ฤกษ์เกลี้ยง เกิดเมื่อวันที่ 24 เมษายน พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดพัทลุง สำเร็จ การศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร สาขาเทคโนโลยีการ จัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ในปีการศึกษา 2553 และได้เข้าศึกษา ต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี การศึกษา 2555

บางส่วนของการวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอผลงานในการการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 26 ประจำปี 2559 ในหัวข้อเรื่อง "การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดินในกลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภาดอนบนระหว่าง ปี พ.ศ. 2547 และปี พ.ศ. 2558" เมื่อวันที่ 26-29 พฤษภาคม 2559 ณ โรงแรม บุรีศรีภูมิ บุตริก หาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัด สงขลา

