



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT2000/GIS ในการประเมินการกระจายตัวของธาตุอาหาร
เชิงพื้นที่จากลุ่มน้ำอุทกภาคลงสู่ทะเลสาบสงขลา

Application of SWAT2000/GIS Modeling for Spatial Dispersion Evaluation of Nutrient
from Utapao River Basin to Songkhla Lake

นามผู้วิจัย นายจตุพร ปัญญาวัฒน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์สุชาติ เหลืองประเสริฐ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี, Ph.D.(Civil))

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงศรี, Dr.Ing.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT2000/GIS ในการประเมินการกระจายตัวของธาตุอาหารเชิงพื้นที่
จากลุ่มน้ำอุทตะเภาลงสู่ทะเลสาบสงขลา

Application of SWAT2000/GIS Modeling for Spatial Dispersion Evaluation of Nutrient
from Utapao River Basin to Songkhla Lake

โดย

นายจตุพร ปัญญาวัฒน์โน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2553

จตุพร ปัญญาวัฒน์ 2553: การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT2000/GIS ในการประเมินการกระจายตัวของธาตุอาหารเชิงพื้นที่จากลุ่มน้ำอุ้มตะเภาลงสู่ทะเลสาบสงขลา ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สุชาติ เหลืองประเสริฐ, Ph.D. 217 หน้า

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT2000/GIS ในการประเมินการกระจายตัวของธาตุอาหารเชิงพื้นที่จากลุ่มน้ำอุ้มตะเภาลงสู่ทะเลสาบสงขลา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT2000/GIS ในการประเมินด้านคุณภาพน้ำบนพื้นที่ประเทศไทย กรณีศึกษาประเมินธาตุอาหารที่ไหลจากลุ่มน้ำอุ้มตะเภาลงสู่ทะเลสาบสงขลา

ข้อมูลทุติยภูมิที่ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1.ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลประกอบด้วย สภาพภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน สภาพภูมิอากาศ ข้อมูลดิน และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2.ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองประกอบด้วยข้อมูลจากสถานีวัดน้ำท่า X.90 และสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ SK10 ในการเปรียบเทียบ

ผลลัพธ์ที่ได้หลังการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง SWAT 2000/GIS กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณปากคลองอุ้มตะเภา (SK10) มีดังนี้ 1. Mineral Nitrogen มีสัมประสิทธิ์ความแตกต่างสัมพัทธ์เท่ากับ 30.40 เปอร์เซ็นต์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.1 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลเท่ากับ -2.74 และ Total phosphorus มีสัมประสิทธิ์ความแตกต่างสัมพัทธ์เท่ากับ -129.4 เปอร์เซ็นต์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.04 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลเท่ากับ -23.07

จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง SWAT 2000/GIS ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการประเมินการกระจายตัวของธาตุอาหารบริเวณปากคลองอุ้มตะเภาของประเทศไทย เนื่องจากมีข้อจำกัดคือ ข้อมูลคุณภาพน้ำทุติยภูมิบนลุ่มน้ำอุ้มตะเภาที่ได้จากหน่วยงานราชการยังไม่คุณภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบ และตัวแปรในแบบจำลองไม่ครอบคลุมถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อธาตุอาหาร แต่สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำในพื้นที่อื่นในประเทศไทยได้

ลายมือชื่อนิพนธ์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Jatuporn Punyawattano 2010: Application of SWAT2000/GIS Modeling for Spatial Dispersion Evaluation of Nutrient from Utapao River Basin to Songkhla Lake. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Mr. Suchat Leungprasert, Ph.D. 217 pages.

Application of SWAT2000/GIS modeling for Spatial Dispersion Evaluation of Nutrient from Utapao River Basin to Songkhla Lake that has objective for Study the efficiency of SWAT2000/GIS Modeling to evaluated water quality on Thai area. The case study is evaluation of nutrient from Utapao River Basin to Songkhla Lake.

The secondary input data which were used in SWAT2000/GIS Modeling have 2 partitions 1.The data for simulating included factors of rain, soil, land use, weather and geography. 2.The data for model verification, included the hydrological station (X.90) and water quality station (SK10).

Efficiency of the modeling after adjusting factors is Relative Difference of Mineral Nitrogen between the Observed value and the Simulated value equaled to 30.40 %, Correlation Coefficient of Sediment value equaled to 0.1 Sutcliffe Efficiency Coefficient (NS) value equaled to 2.74 and Relative Difference of Total phosphorus between the Observed value and the Simulated value equaled to -129.4 %, Correlation Coefficient of Sediment value equaled to 0.04 Sutcliffe Efficiency Coefficient (NS) value equaled to -23.07

The resulting, The SWAT 2000/GIS Modeling is not suitable for Evaluation of Nutrient from Utapao River Basin to Songkhla Lake cause of the secondary water quality data at Thai institute has not enough quality for adjusting the data and SWAT2000/GIS has not microbial factor. However, this study can be used to evaluation of the other area of Thailand where has enough quality data.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ สุชาติ เหลืองประเสริฐ ที่ช่วยเหลือในการแนะนำ กวดขัน และตักเตือนในการทำงานวิจัยนี้ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี ที่ให้ คำปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้ง อาจารย์และผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณหน่วยงานราชการที่เอื้อเฟื้อข้อมูลที่น่าสนใจมาใช้ในการศึกษาแบบจำลอง SWAT 2000 ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญ ที่ทำให้ข้าพเจ้าดำเนินงานได้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการ ดำเนินงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำเนิดข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณญาติพี่น้อง ทุกท่านให้ความเมตตา ให้กำลังใจ และอุปการะข้าพเจ้าเป็นอย่างดีเสมอมา ขอขอบคุณพี่วินัสที่ทำงาน ข้าพเจ้าทำอยู่เรื่อยๆ จนสามารถฟันฝ่าวิกฤตด้านการเงินมาได้ด้วยดี ขอขอบคุณจินดารัชที่เป็น กำลังใจ คอยตักเตือน ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ได้ และขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจ และห่วงใยตลอดมา

จตุพร ปัญญาวัฒน์

มีนาคม 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(14)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	75
อุปกรณ์	75
วิธีการ	76
ผลและวิจารณ์การทดลอง	93
สรุปและข้อเสนอแนะ	126
สรุป	126
ข้อเสนอแนะ	128
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	130
ภาคผนวก	133
ภาคผนวก ก ผลลัพธ์จากการปรับเทียบแบบจำลอง	134
ภาคผนวก ข ข้อมูลทางอุตุนิยมิวิทยาและอุทกวิทยาบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเถา	139
ภาคผนวก ค ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของดินในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเถา	145
ภาคผนวก ง ค่าสัมประสิทธิ์พื้นที่ลุ่มน้ำ และ ลำน้ำที่จำเป็น	158
ภาคผนวก จ ขั้นตอนการใช้งานแบบจำลอง SWAT 2000/GIS	162
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเถา	208
ภาคผนวก ช การใส่ปุ๋ยในการเกษตร	212
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	217

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่า Crop Coefficient ของพืชแต่ละชนิด	26
2	ค่าเฉลี่ยความพรุนและการสูญเสียน้ำของดินแต่ละชนิด	28
3	แสดงเกณฑ์ความต้องการน้ำของสัตว์แต่ละชนิด	31
4	แสดงค่าเฉลี่ยความต้องการน้ำของสัตว์แต่ละชนิด	31
5	แสดงค่าเฉลี่ยการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเถา	32
6	แสดงการใช้น้ำตามขนาดของอุตสาหกรรม	33
7	แสดงอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยของอุตสาหกรรม	33
8	แสดงที่มาและวัตถุประสงค์ของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	78
9	แสดงประเภทหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาโดยแบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมกับชนิดของดินได้เป็น 5 ประเภท	95
10	แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพปริมาณน้ำท่าระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อจากการตรวจวัดจริง ณ สถานี x.90 จากปี พ.ศ.2522-2545 ก่อนการปรับเทียบค่าตัวแปร	98
11	แสดงค่า CN ก่อนปรับแก้ค่าในการปรับเทียบแบบจำลอง	100
12	แสดงค่าตัวแปรทางกายภาพอื่นๆก่อนปรับแก้ค่าในการปรับเทียบแบบจำลอง	100
13	แสดงค่าตัวแปรที่ควบคุมน้ำที่ไหลใต้ผิวดินก่อนปรับแก้ค่าในการปรับเทียบแบบจำลอง	100
14	แสดงผลการประเมินการปรับเทียบปริมาณตะกอนระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ก่อนการปรับเทียบค่าตัวแปร	101
15	แสดงค่าตัวแปรก่อนปรับแก้ค่าในการปรับเทียบแบบจำลอง	102
16	แสดงผลการประเมินการปรับเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ก่อนการปรับเทียบค่าตัวแปร	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	แสดงค่าตัวแปรก่อนปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง	105
18	แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณ Total Phosphorus ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ก่อนการปรับเทียบค่าตัวแปร	105
19	แสดงค่าตัวแปรก่อนปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง	107
20	แสดงค่า CN หลังปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง	107
21	แสดงค่าตัวแปรอื่นๆหลังปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง	107
22	แสดงค่าตัวแปรที่ควบคุมน้ำใต้ดินหลังปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง	108
23	แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพปริมาณน้ำท่าระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อจากการตรวจวัดจริง ณ สถานี x.90 จากปี พ.ศ.2522-2545 หลังการปรับเทียบ	108
24	แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพปริมาณน้ำท่าระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจากการตรวจวัดจริง ณ สถานี x.90 จากปี พ.ศ.2546-2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการปรับเทียบ	110
25	แสดงค่าตัวแปรก่อนปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง	112
26	แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 หลังการปรับเทียบ	112
27	แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการปรับเทียบ	114
28	แสดงค่าตัวแปรก่อนปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง	116
29	แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 หลังการปรับเทียบ	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
30	แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ	119
31	แสดงค่าตัวแปรก่อนปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง	121
32	แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณ Total Phosphorus ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546	121
33	แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณ Total Phosphorus ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ	123
ตารางผนวกที่		
ก1	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนบนลุ่มน้ำอุ้มตะเกาที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง พ.ศ.2542 ถึง พ.ศ.2551 (หน่วย: ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)	135
ก2	ปริมาณตะกอนรายเดือนบนลุ่มน้ำอุ้มตะเกาที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง พ.ศ.2543 ถึง พ.ศ.2551 (หน่วย: มิลลิกรัมต่อลิตร)	136
ก3	ปริมาณ Mineral Nitrogen รายเดือนบนลุ่มน้ำอุ้มตะเกาที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง พ.ศ.2543 ถึง พ.ศ.2551 (หน่วย: มิลลิกรัมต่อลิตร)	137
ก4	ปริมาณ Total phosphorus รายเดือนบนลุ่มน้ำอุ้มตะเกาที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง พ.ศ.2543 ถึง พ.ศ.2551 (หน่วย: มิลลิกรัมต่อลิตร)	138
ข1	แสดงข้อมูลทางอุทกนิยมนิยามวิทยานพื้นที่ทะเลสาบสงขลา (1973-2003)	140
ข2	แสดงตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะเกา	143
ข3	แสดงตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่าในบริเวณลุ่มน้ำอุ้มตะเกา	144
ค1	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินแยกตามเนื้อดิน	146

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินแยกตามชั้นดินของพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะเกา จ.สงขลา	147
ค3 ค่า CN condition II แบ่งตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน และชนิดดิน ประเภทต่าง ๆ พัฒนาโดย U.S. Department of Agriculture (1972)	156
ง1 Effective hydraulic conductivity of various channel bed material.	159
ง2 The channel Mannings's "n" values. for various conditions.	160
ง3 The surface roughness factor is Manning's "n" values. for various condition.	161
ฉ1 แสดงพื้นที่การเกษตรบนพื้นที่ชลประทานและนอกพื้นที่ชลประทานของพื้นที่ ลุ่มน้ำอุ้มตะเกา	209
ฉ2 แสดงพื้นที่การเกษตรตามชนิดของพืชบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะเกา	209
ฉ3 แสดงจำนวนสัตว์บนพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตั้งแต่ปี พ.ศ.2545-2551	210
ฉ4 แสดงการคาดการณ์จำนวนประชากรและอัตราการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค	210
ฉ5 แสดงการใช้น้ำตามขนาดของอุตสาหกรรม	211
ช1 แสดงพฤติกรรมการปลูกพืชบนลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	213
ช2 แสดงสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับเนื้อดิน	214
ช3 แสดงปริมาณธาตุอาหารและส่วนผสมของแม่ปุ๋ยในปุ๋ยผสมสูตรต่างๆ อัตรา 100 กิโลกรัม	215
ช4 แสดงระยะเวลาการใส่ปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยสำหรับยางที่เปิดกรีดแล้ว	215
ช5 แสดงปริมาณปุ๋ยที่ใส่ปาล์มน้ำมัน	216

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงที่ตั้งของกลุ่มน้ำอุ้ตะเภาในประเทศไทย	4
2	แสดงขอบเขตของกลุ่มน้ำอุ้ตะเภา	6
3	แผนที่ Digital Elevation Model (DEM)	9
4	แสดงแผนที่การใช้ประโยชน์ของที่ดิน	13
5	แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่าในพื้นที่กลุ่มน้ำอุ้ตะเภาและพื้นที่ใกล้เคียง	16
6	แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำบนพื้นที่กลุ่มน้ำอุ้ตะเภาและพื้นที่ใกล้เคียง	17
7	แสดงการเคลื่อนตัวทางด้านอุทกของ SWAT Model	18
8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำท่ากับน้ำฝนของ SCS curve number method	20
9	แสดงรูปแบบต่างๆของไนโตรเจนของ SWAT Model	37
10	แสดงรูปแบบต่างๆของไนโตรเจนของ SWAT Model	38
11	แสดงรูปแบบต่างๆของฟอสฟอรัสของ SWAT Model	47
12	แสดงรูปแบบต่างๆของฟอสฟอรัสของ SWAT Model	47
13	แสดงการลำดับขั้นตอนการ นำเข้าข้อมูล การปรับเทียบ และการประเมินของ SWAT2000 Model	53
14	แสดงผลการปรับเทียบและประเมินประสิทธิภาพที่ Dawsonville, MD (Seneca Creek) ปี 1967 – 1975 โดยแบบจำลอง SWAT	54
15	แสดงผลการปรับเทียบและประเมินประสิทธิภาพที่ Hico, Bosque River Watershed, TX ปี 1962 – 1996 โดยแบบจำลอง SWAT	54
16	แสดงกรณีข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองผิพลาตเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงด้านค่าสูงสุดในบางช่วงเวลา	55
17	แสดงกรณีข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	แสดงกรณีช่วงเวลาระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงไม่สัมพันธ์กัน	57
19	แสดงกรณีตลอดช่วงเวลา ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ยกเว้นช่วงค่าสูงสุดที่ปริมาณน้ำท่าสูงกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง	58
20	แสดงผลการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพที่ Dawsonville, MD (Seneca Creek) ปี 1980 – 1981 โดยแบบจำลอง SWAT	59
21	แสดงกรณีข้อมูลปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง	60
22	แสดงกรณีข้อมูลปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง	61
23	แสดงการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพที่ Hico, Bosque River Watershed, TX ปี 1993 – 1997 โดยแบบจำลอง SWAT	63
24	แสดงกรณีข้อมูลปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง	63
25	แสดงกรณีข้อมูลปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง	64
26	แสดงกรณีข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง	65
27	แสดงกรณีข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง	66
28	แสดงกรณีข้อมูลปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง	67
29	แสดงกรณีข้อมูลปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	แสดงขั้นตอนการใช้งาน SWAT Model ในการประเมินธาตุอาหาร	92
31	แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะโก จังหวัดสงขลา แบบจำลอง SWAT 2000	93
32	แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าและตรวจวัดคุณภาพน้ำที่เพิ่มเข้าไป ในแบบจำลอง เพื่อใช้ในการปรับเทียบปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำบนพื้นที่ลุ่ม น้ำอุ้มตะโก จังหวัดสงขลา	94
33	แสดงผลลัพธ์จากการนำเข้าแผนที่ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลชนิด ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะโกในแบบจำลอง SWAT 2000	95
34	แสดงทิศทางการชะพาของน้ำผิวดิน ตะกอน และธาตุอาหารจากส่วนที่เป็น แผ่นดินลงสู่ส่วนที่เป็นลำน้ำแล้วผ่านจู่อ้างอิงในลำน้ำบนลุ่มน้ำ	96
35	แสดงปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณ น้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี x.90 ก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อปรับเทียบ ข้อมูล	99
36	แสดงปริมาณตะกอนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณตะกอนที่ได้จาก การตรวจวัด ณ สถานี SK10 ก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อปรับเทียบข้อมูล	102
37	แสดงปริมาณไนโตรเจนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณไนโตรเจนที่ ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อปรับเทียบข้อมูล	104
38	แสดงปริมาณฟอสฟอรัสรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อปรับเทียบข้อมูล	106
39	แสดงปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณ น้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี x.90 หลังการปรับแก้ตัวแปรเพื่อปรับเทียบ ข้อมูล	109
40	แสดงปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี x.90 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการปรับเทียบ	111

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
41	แสดงปริมาณตะกอนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 หลังการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล	113
42	แสดงปริมาณตะกอนที่ได้จากการจำลองกับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ	115
43	แสดงปริมาณไนโตรเจนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 หลังการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล	117
44	แสดงปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการจำลองกับปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ	119
45	แสดงปริมาณฟอสฟอรัสรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 หลังการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล	122
46	แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จากการจำลองกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ	124
ภาพผนวกที่		
จ1	แสดงไอคอนโปรแกรม ArcView GIS 3.3	163
จ2	แสดงเมนู Extension ของ โปรแกรม ArcView GIS 3.3	163
จ3	แสดงเมนู AVSWAT 2000 ใน Extension ของโปรแกรม ArcView GIS 3.3	164
จ4	แสดงตำแหน่งที่นำเข้าข้อมูลพื้นฐานดินที่รวบรวมเพื่อใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองในหน้าแรกของแบบจำลอง	164
จ5	แสดงรายละเอียดข้อมูลพื้นฐานดินในแบบจำลอง SWAT 2000 ซึ่งในทุกตัวแปรในแบบจำลองเมื่อนำเมาส์ที่ไปวางบริเวณช่องสำหรับใส่ข้อมูล จะมีคำอธิบายความหมายของตัวแปรแสดงขึ้นมา	165

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า	
จ25	แสดงการประมวลผลข้อมูลเส้นลำน้ำ (3)	175
จ26	แสดงกำหนดความละเอียดของเส้นลำน้ำ 3800 ha บนลุ่มน้ำ	175
จ27	แสดงนำเข้าข้อมูลสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำ	176
จ28	แสดงการกำหนดจุดออกสุดท้ายของเส้นลำน้ำบนลุ่มน้ำ (1)	176
จ29	แสดงการกำหนดจุดออกสุดท้ายของเส้นลำน้ำบนลุ่มน้ำ (2)	177
จ30	แสดงเมนูนำเข้าข้อมูลดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน	177
จ31	แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (1)	178
จ32	แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (2)	178
จ33	แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (3)	179
จ34	แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (4)	179
จ35	แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (5)	180
จ36	แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (6)	180
จ37	แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (1)	181
จ38	แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (2)	181
จ39	แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (3)	182
จ40	แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (4)	182
จ41	แสดงการตั้งค่าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน	183
จ42	แสดงการนำเข้าแผนที่ดิน (1)	183
จ43	แสดงการนำเข้าแผนที่ดิน (2)	184
จ44	แสดงการนำเข้าแผนที่ดิน (3)	184
จ45	แสดงการนำเข้าแผนที่ดิน (4)	185
จ46	แสดงการนำเข้าแผนที่ดิน (5)	185
จ47	แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลดิน (1)	186
จ48	แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลดิน (2)	186
จ49	แสดงการตั้งค่าข้อมูลการดิน	187

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
จ50	แสดงการซ้อนทับระหว่างข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินกับข้อมูลแผนที่ดิน	187
จ51	แสดงเมนูการปรับค่าการตอบสนองทางอุทกวิทยา HRUs	188
จ52	แสดงการปรับค่าการตอบสนองทางอุทกวิทยา	188
จ53	แสดงเมนูการนำเข้าข้อมูลทางอุตุนิยมหาวิทยาลัย (1)	189
จ54	แสดงการนำเข้าข้อมูลน้ำฝน (1)	189
จ55	แสดงการนำเข้าข้อมูลน้ำฝน (2)	190
จ56	แสดงการนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ (1)	190
จ57	แสดงการนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ (2)	191
จ58	แสดงการประมวลข้อมูลที่นำเข้า (1)	191
จ59	แสดงการประมวลข้อมูลที่นำเข้า (2)	192
จ60	แสดงการประมวลข้อมูลที่นำเข้า (3)	192
จ61	แสดงการประมวลข้อมูลที่นำเข้า (4)	193
จ62	แสดงการประมวลข้อมูลที่นำเข้า (5)	193
จ63	แสดงการประมวลข้อมูลที่นำเข้า (6)	194
จ64	แสดงเมนูการนำเข้าหรือปรับแก้ค่าข้อมูลบนลุ่มน้ำย่อยบนลุ่มน้ำอุตะเกา	194
จ65	แสดงช่องตัวแปรค่า Curve number 2(CN2)	195
จ66	แสดงช่องตัวแปรค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำสาขาบนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (CH_N1)	195
จ67	แสดงช่องตัวแปรค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำหลักบนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (CH_N2)	196
จ68	แสดงช่องตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระบนผิวดิน (OV_N)	196
จ69	แสดงช่องตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การจัดการพืช (USLE_P)	197
จ70	แสดงช่องตัวแปรค่าตัวแปรการชะพังของลำน้ำ (CH_EROD)	197
จ71	แสดงช่องตัวแปรค่าตัวแปรสิ่งปกคลุมในลำน้ำ (CH_COV)	198
จ72	แสดงขั้นตอนการใส่ปุ๋ยบนพื้นที่ (1)	198

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
จ73	แสดงขั้นตอนการใส่ปุ๋ยบนพื้นที่ (2)	199
จ74	แสดงขั้นตอนการใส่ปุ๋ยบนพื้นที่ (3)	199
จ75	แสดงขั้นตอนการใส่ปุ๋ยบนพื้นที่ (4)	200
จ76	แสดงช่องตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของปุ๋ยบนพื้นที่ (FRT_LY1)	200
จ77	แสดงช่องตัวแปรค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดิน (BIOMIX)	201
จ78	แสดงช่องตัวแปรค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_NO3)	201
จ79	แสดงช่องตัวแปรค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_MINP)	202
จ80	แสดงช่องตัวแปรค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_ORGP)	202
จ81	แสดงช่องตัวแปรค่าการไหลซึมของฟอสฟอรัส (PPERCO)	203
จ82	แสดงช่องตัวแปรค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสต่อตะกอน (PHOSKD)	203
จ83	แสดงเมนูการประมวลผลจากข้อมูลที่นำเข้าและปรับแก้	204
จ84	แสดงการประมวลผลข้อมูล (1)	204
จ85	แสดงการประมวลผลข้อมูล (2)	205
จ86	แสดงการประมวลผลข้อมูล (3)	205
จ87	แสดงการประมวลผลข้อมูล (4)	206
จ88	แสดงการประมวลผลข้อมูล (5)	206
จ89	แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง	207
จ90	แสดงเมนูการนำเข้าหรือปรับแก้ค่าข้อมูลบนลุ่มน้ำย่อยบนลุ่มน้ำอุ้ตะเภา	207

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CN2	=	Curve Number ค่าตอบสนองทางอุทกวิทยา
OV_N	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระบนผิวดิน
CH_N1	=	ค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำสาขาบนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย
CH_N2	=	ค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำหลัก
GWQMN	=	ปริมาณน้ำสะสมต่ำสุดในชั้นดิน shallow aquifer ที่ทำให้เกิดการไหลกลับสู่ลำน้ำ
REVAPMN	=	ปริมาณน้ำสะสมต่ำสุดในชั้นดิน shallow aquifer ที่ทำให้เกิดการไหลกลับสู่เขตรากพืช
GW_REVAP	=	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลจากชั้นดิน shallow aquifer กลับสู่เขตรากพืช
USLE_P	=	ค่าสัมประสิทธิ์การจัดการพื้นที่
CH_EROD	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะดินของลำน้ำ
CH_COV	=	ค่าสัมประสิทธิ์การปกคลุมของลำน้ำ
SOL_NO3	=	ค่าสัมประสิทธิ์ในการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นไนเตรทในลำน้ำ
FRT_LY1	=	ค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของธาตุอาหารในดินชั้นแรก
NPERCO	=	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมของไนโตรเจน
BIOMIX	=	ค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดิน
SOL_MINP	=	ค่าสัมประสิทธิ์ในการเปลี่ยนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอินทรีย์ฟอสฟอรัสในลำน้ำ
SOL_ORGP	=	ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนฟอสฟอรัสสดเป็นอินทรีย์ฟอสฟอรัส
PHOSKD	=	ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนฟอสฟอรัสต่อดิน (ลูกบาศก์เมตรต่อเมกโครกรัม)
PPERCO	=	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมของฟอสฟอรัส

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT2000/GIS ในการประเมินการกระจายตัวของธาตุ
อาหารเชิงพื้นที่จากลุ่มน้ำอุ้ตะเภาลงสู่ทะเลสาบสงขลา

**Application of SWAT2000/GIS Modeling for Spatial Dispersion Evaluation of
Nutrient from Utapao River Basin to Songkhla Lake**

คำนำ

ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันเป็นปัญหามลภาวะทางน้ำในทะเลสาบสงขลามานาน มีสาเหตุมาจากแหล่งน้ำอุ้ตะเภาไปด้วยสารอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัส และไนโตรเจน ส่งผลให้สาหร่ายในแหล่งน้ำนั้นสามารถเจริญเติบโตได้ดี และรวดเร็ว ปริมาณสาหร่ายที่หนาแน่นนั้นจะไปกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงไปใต้น้ำได้ ทำให้พืชที่อยู่ใต้น้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงและตายลง ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง เป็นสาเหตุการตายของสัตว์น้ำทั้งที่อาศัยอยู่ตามธรรมชาติ และที่เลี้ยงในกระชังอันเนื่องจากการขาดออกซิเจน และการขาดออกซิเจนยังทำให้ดินตะกอนพื้นท้องน้ำเน่าเสีย ซึ่งนับวันจะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น

ลุ่มน้ำคลองอุ้ตะเภาเป็นลุ่มน้ำสาขาที่ใหญ่ที่สุดบนลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในแต่ละปีจะมีธาตุอาหารถูกชะล้างจากส่วนที่เป็นแผ่นดินโดยน้ำท่าไหลจากลุ่มน้ำอุ้ตะเภาแล้วลงสู่ทะเลสาบสงขลาตอนนอกเป็นปริมาณมาก ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

ปัจจุบันมีการนำแบบจำลอง SWAT มาใช้ในการประเมินด้านทรัพยากรน้ำในพื้นที่ของประเทศไทย เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายหรือที่เรียกว่าเป็นแบบจำลองสาธารณสิทธิ เช่น การประเมินสัมพันธภาพลุ่มน้ำแม่ต้นตอนบน อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ (กิตติพงษ์ ธนาศิริยะกุล, 2546) การประเมินปริมาณน้ำท่าเพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (ลิมป์ชัย ปรัชญาสิทธิกุล, 2549) เป็นต้น แต่ยังไม่เคยมีการนำแบบจำลอง SWAT มาใช้ในการประเมินด้านคุณภาพน้ำในประเทศไทย ซึ่งจากการศึกษาแบบจำลองสาธารณสิทธิ SWAT 2000/GIS พบว่ามีความสามารถในการพยากรณ์คุณภาพน้ำบนพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังนั้นการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT2000/GIS ในการประเมินการกระจายตัวของธาตุอาหารเชิงพื้นที่จากลุ่มน้ำอุ้ตะเภาลงสู่ทะเลสาบสงขลา จึงเป็นแนวทางในการนำแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการวางแผน

จัดการพื้นที่บนลุ่มน้ำเพื่อฟื้นฟูคุณภาพน้ำและป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันในพื้นที่
ประเทศไทยต่อไป



การตรวจเอกสาร

ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

1. ตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะลุ่มน้ำ



ภาพที่ 1 แสดงที่ตั้งของกลุ่มน้ำอุ้ตะเกาในประเทศไทย

ที่มา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2546)

ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ถือได้ว่าเป็นลุ่มน้ำย่อยที่ 7 ในลุ่มน้ำที่ 21(ลุ่มน้ำทะเลสาบ สงขลา) ที่ใหญ่ที่สุดในบรรดา 5 ลุ่มน้ำของจังหวัดสงขลา ตั้งอยู่ในพิกัดเส้นรุ้ง 7 องศา 14 ลิปดาเหนือ และเส้นแวง 100 องศา 28 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่วัดได้ประมาณ 2,840 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมอาณาเขตพื้นที่ อำเภอสะเดาอำเภอนาหม่อม อำเภอหาดใหญ่ อำเภอบางกล่ำ และอำเภอควนเนียง โดยมีสายน้ำสำคัญคือคลองอุตะเถาซึ่งเป็นสายน้ำที่ใหญ่ที่สุดในจังหวัดสงขลา หากมองดูในเชิงกายภาพแล้วจะมีความกว้างของผิวน้ำในหน้าแล้งโดยเฉลี่ย บริเวณต้นน้ำ 6-15 เมตร กลางน้ำ 15-30 เมตร และปลายน้ำ 30-50 เมตร มีความลึก 2-5 เมตร พื้นที่รับน้ำ 1,600 ลูกบาศก์กิโลเมตร

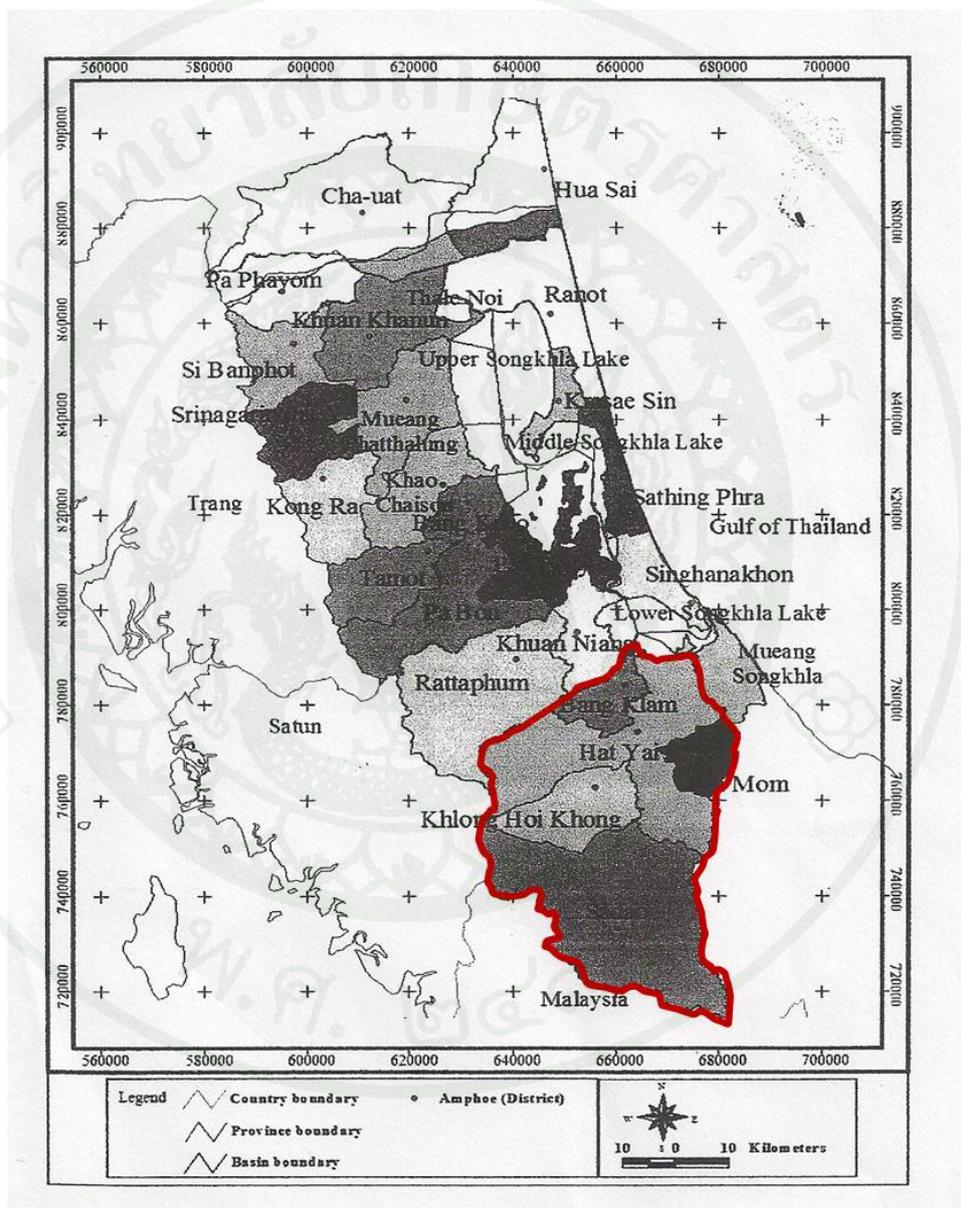
คลองอุตะเถานี้ไหลจากทิศใต้ไปสู่ทิศเหนือ โดยมีจุดเริ่มจากชายแดนไทย-มาเลเซีย ไปสิ้นสุดที่ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง บริเวณบ้านท่าเมรุ อำเภอบางกล่ำ และบ้านแหลมโพธิ์ อำเภอหาดใหญ่ รวมความยาวทั้งสิ้น (เฉพาะส่วนที่เรียกว่าคลองอุตะเถา) ประมาณ 130 กิโลเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2532 ระบุว่ายาวประมาณ 90 กม.) ทั้งนี้คลองอุตะเถาได้รับน้ำจากต้นป็นน้ำที่สำคัญสามแหล่งคือ

- เทือกเขาน้ำค้าง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาสันกาลาคีรี เขาน้ำค้างอยู่ในพื้นที่รอยต่อของ อำเภอสะเดา อำเภอนาทวี และประเทศมาเลเซีย (ในอดีตประมาณ พ.ศ.2500-2530 เขาน้ำค้างเป็นฐานบัญชาการใหญ่แห่งหนึ่งของพรรคคอมมิวนิสต์มาลายา) ต้นน้ำจากเขาน้ำค้าง เริ่มจากลำธารเล็กๆจำนวนมากรวมกันเป็นคลองที่ชื่อ “คลองใหญ่” ไหลจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เริ่มต้นจากชายแดนมาเลเซียมาในพื้นที่อำเภอสะเดา จนมาบรรจบกับคลองรำที่บ้านท่าโพธิ์ ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอสะเดา กลายเป็นคลองอุตะเถา

- เทือกเขาแก้ว เป็นเทือกเขารอยต่อระหว่างอำเภอสะเดา อำเภอคลองหอยโข่ง กับพื้นที่จังหวัดสตูล และประเทศมาเลเซียบางส่วน (ในอดีตเป็นฐานบัญชาการใหญ่ของพรรคคอมมิวนิสต์ไทยในสงขลาเรียกกันว่า “กองทัพผาดำ”) ต้นน้ำจากเทือกเขาแก้วนี้สายหลักๆเริ่มจากจุดที่เรียกว่าเขารูปช้างในเขตอำเภอสะเดา และสายน้ำจากน้ำตกผาดำ ในเขตอำเภอคลองหอยโข่ง สายน้ำทั้งสองมารวมกันที่บ้านคลองรำอำเภอสะเดา เรียกว่าคลองรำ ซึ่งไหลจากทิศ ตะวันตกเฉียงใต้ไปทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ ไปรวมกับคลองใหญ่ที่บ้านท่าโพธิ์ อำเภอสะเดา กลายเป็นคลองอุตะเถา

- เทือกเขาย่อยๆ ซึ่งเพิ่มปริมาณน้ำให้กับคลองอุตะเถาในตอนกลางน้ำ ตั้งแต่บ้านม่วงก็

อง ตำบลพังตา อำเภอสะเตา ถึงเขตเมืองหาดใหญ่ ทั้งด้านตะวันออกและตกของคลอง เช่น เขาวังชิง เขามีเกียรติ เขาคอหงส์ เขาคันหลาว และภูเขาในเขตอำเภอนาหม่อม และอำเภอจะนะบางส่วน รวมทั้งน้ำจากเทือกเขาแก้วตอนปลาย เช่นน้ำจากน้ำตกโดนงาช้างอีกด้วย ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ต้นน้ำทั้งสามแหล่งเป็นแม่ผู้ให้กำเนิดแก่คลองอู่ตะเภา



ภาพที่ 2 แสดงขอบเขตของกลุ่มน้ำอู่ตะเภา

ที่มา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2546)

สภาพตลิ่งของคลองอยู่ตะเภาก็มีความสูงเฉลี่ย 3-5 เมตร ในตอนต้นน้ำ และค่อยๆลดต่ำลงเหลือ 1-2 เมตร ในตอนปลายน้ำ ลักษณะตลิ่งจะเป็นตลิ่งลดระดับจากกว้างลงไปแคบ ในลักษณะ “บันไดสามขั้น” ทำให้รองรับน้ำได้มากในฤดูฝน (ปัจจุบันการขุดลอกของโครงการพัฒนาต่างๆ ได้ทำลายลักษณะบันไดสามขั้นของคลองอยู่ตะเภาไป ทำให้รองรับน้ำได้น้อยในฤดูฝน น้ำจึงท่วมง่ายขึ้น) นอกจากนี้ ยังมีพื้นที่รองรับน้ำในลักษณะ ป่าพรุ หนองน้ำ และทุ่งรับน้ำ อีกหลายจุดคลองอยู่ตะเภาเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ จัดอยู่ในทะเลสาบสงขลาตอนล่าง มีคลองเล็กหลายสาขาไหลมารวมกัน ได้แก่ คลองवाद ซึ่งมีต้นน้ำจากเทือกเขาบรรทัด คลองหลา คลองตำ คลองจำไทร คลองหอยโข่ง คลองสะเดา ซึ่งมีต้นน้ำจากเทือกเขาสันกาลาคีรี ทางตอนใต้ของจังหวัดสงขลา คลองอยู่ตะเภาจะไหลผ่านอำเภอสะเดา อำเภอหาดใหญ่ และไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง มีคลองอีกหลายสายที่ไหลเข้ามาวมกันกับคลองอยู่ตะเภา ได้แก่

- ด้านตะวันออกของคลองอยู่ตะเภา ได้แก่ คลองหินเหล็กไฟ คลองปอม คลองอ่าวเรียน คลองโป๊ะหมอ คลองยา ซึ่งคลองดังกล่าวอยู่ในพื้นที่ตำบลบ้านพรุ ในอดีตทางชาวบ้านจะใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรมและการเลี้ยงสัตว์ ต่อมามีกลุ่มนายทุนได้มาสร้างโรงงานอยู่ใกล้แหล่งน้ำ และมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำต่างๆทำให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนไป ซึ่งมีผลต่อพืชและสัตว์เลี้ยงของชาวบ้าน อีกทั้งชาวบ้านส่วนใหญ่ได้ขายที่ดินให้นายทุนเพื่อสร้างบ้านจัดสรรและอาคารพาณิชย์เป็นส่วนใหญ่

- ด้านทิศตะวันตกของคลองอยู่ตะเภา ได้แก่ คลองจำไทร คลองหอยโข่ง คลองจำหลา ซึ่งคลองดังกล่าวไหลมารวมแล้วไหลลงสู่คลองอยู่ตะเภาที่ตำบลบ้านพรุคลองเหล่านี้ ชาวบ้านสามารถนำมาใช้ในการเกษตรกรรมและการเลี้ยงสัตว์ได้เต็มที่เนื่องจากคุณภาพน้ำยังดีอยู่คลองที่แยกจากคลองอยู่ตะเภา คือ คลองเตย ไหลอ้อมผ่านเข้าสู่ตัวเขตเมืองหาดใหญ่ คลองवाद และคลองตำไหลรวมกับคลองอยู่ตะเภาที่บ้านควนลังค์และบ้านหัวพาน และคลองอยู่ตะเภาจะไหลรวมกับคลองเตยอีกครั้งที่บ้านรังนก ซึ่งอยู่ทางทิศเหนือของเมืองหาดใหญ่ประมาณ 7 กิโลเมตร จากนั้นก่อนจะไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา เป็น 2 สาย ที่บ้านควนใน

- ทิศเหนือ ติดต่ออำเภอปากพนัง อำเภอเชียรใหญ่ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

- ทิศใต้ ติดต่อประเทศมาเลเซีย

- ทิศตะวันออก ติดต่ออำเภอจะนะ อำเภอนาทวี จังหวัดสงขลา และทะเลอ่าวไทย

- ทิศตะวันตก ติดต่อเทือกเขาบรรทัด จังหวัดตรัง และจังหวัดสตูล

2. ลักษณะภูมิประเทศ

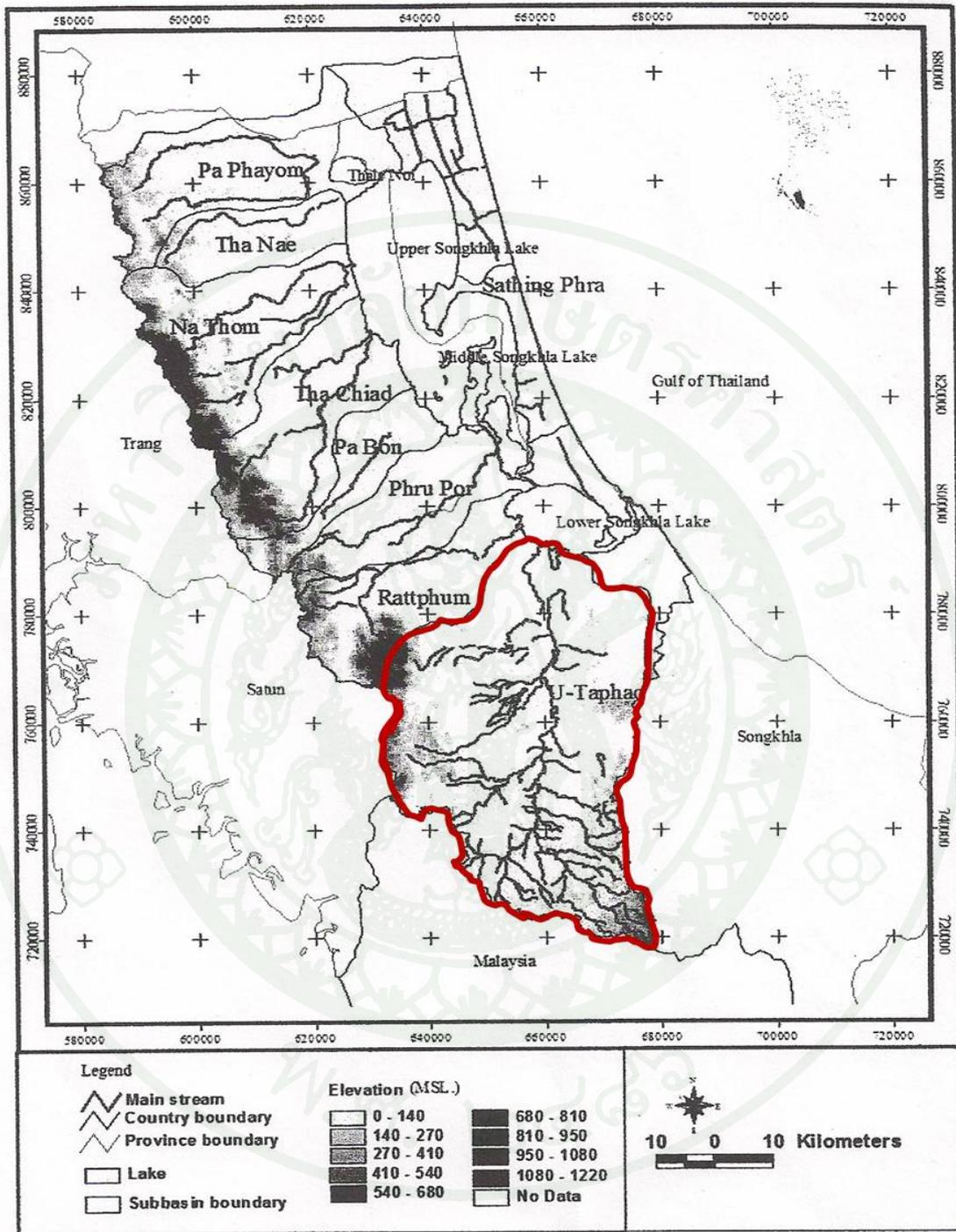
ลุ่มน้ำคลองอุตะเถา ลักษณะพื้นที่แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะหลัก คือ พื้นที่ภูเขา พื้นที่ราบลูกคลื่นและพื้นที่ราบ

- พื้นที่ภูเขาทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาบรรทัด ส่วนทางทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศใต้เป็นส่วนหนึ่งของแนวเทือกเขาสันกาลาคีรี พื้นที่ส่วนที่เป็นภูเขานี้มีความสูงลดหลั่นกัน ไปจากระดับน้ำทะเลปานกลาง พื้นที่บริเวณนี้เป็นแหล่งกำเนิดต้นน้ำ ลำธารหลายสายที่ไหลลงสู่คลองอุตะเถา

- พื้นที่ราบลูกคลื่น อยู่ถัดจากพื้นที่ภูเขาลงมา มีลักษณะเป็นเนินเขาลูกคลื่นลอนลาดและลอนชันสลับกันไป กระจายอยู่ทั่วไปตั้งแต่ตอนกลางถึงตอนใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกยางพารา

- พื้นที่ราบทางทิศเหนือของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ ส่วนใหญ่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำ อุ้ ตะเถาและลำน้ำสาขา เป็นที่ตั้งของชุมชนขนาดใหญ่ และพื้นที่ทำนาข้าว ทางทิศตะวันตก ทิศตะวันออก และทิศใต้ มีลักษณะพื้นที่เป็นที่สูง ลาดเอียงลงสู่ที่ราบลุ่มตอนกลางและทางทิศเหนือ

ดังนั้น โดยทั่วไปไม่มีปัญหาการระบายน้ำจะแต่จะมีปัญหาเฉพาะพื้นที่ราบลุ่มตอนกลางซึ่งเป็นที่ตั้งของอำเภอหาดใหญ่ เนื่องจากเป็นทางน้ำไหลผ่าน ประกอบกับมีการพัฒนาที่ดิน การถมที่เพื่อก่อสร้างอาคารสิ่งปลูกสร้างกีดขวางการระบายน้ำ เช่น ถนนเลียงเมือง ทำให้ตัวเมืองหาดใหญ่มีลักษณะเป็นแอ่ง เมื่อเกิดฝนตกหนักน้ำจึงระบายไม่ทัน ส่งผลทำให้เกิดสภาวะน้ำท่วม ฉับพลันได้



ภาพที่ 3 แผนที่ Digital Elevation Model (DEM)

ที่มา: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล (2008)

3. ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบมรสุมเขตร้อน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้มีฝนตกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ทำให้มีฝนในช่วงเดือนตุลาคมถึงมกราคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณฝนตกมากที่สุด เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน เป็นช่วงที่มีอากาศร้อนและฝนตกในปริมาณน้อย เกิดจากอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทะเลจีนใต้ จากข้อมูลอุตุวิทยามหาวิทยาลัยซึ่งทำการตรวจวัด ณ สถานีตรวจอากาศท่าอากาศยานหาดใหญ่ในคาบ 30 ปี พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในรอบปีมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และอยู่ในช่วง 25-28 องศาเซลเซียส ขณะที่ปริมาณฝนตกเฉลี่ยมากที่สุดจะอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงตามไปด้วย

พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียงที่ต่อเนื่อง จัดเป็นเขตภูมิอากาศ “แบบมรสุมเขตร้อน” ที่เป็นพื้นที่ที่มีอากาศร้อนและอุณหภูมิสูงตลอดปี มีฝนตกชุกแต่มีปริมาณน้ำฝน น้อยกว่า 62 มิลลิเมตร และมี 2 ฤดูกาล คือฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยสามารถสรุปองค์ประกอบและตัวแปรของภูมิอากาศได้ดังนี้

ฤดูฝน : เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนมกราคม โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลม มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งฤดูฝนออกเป็น 2 ช่วง คือ

- ฤดูฝนช่วงแรก เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงนี้ปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อย เนื่องจากมีเทือกเขาบรรทัดปะทะไว้
- ฤดูฝนช่วงหลัง เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงนี้ปริมาณน้ำฝนค่อนข้างมาก และอุณหภูมิของอากาศค่อนข้างเย็น

ความกดอากาศ : ค่าความกดอากาศเฉลี่ยต่อปี เท่ากับ 1,009.72 เฮกโตпасคอลล โดยมีความกดอากาศ เฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดตลอดปี เท่ากับ 1,018.11 และ 1,001.43 เฮกโตпасคอลลตามลำดับ

อุณหภูมิ : ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 28.1 องศาเซลเซียส โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดตลอดปี 31.4 และ 24.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ความชื้นสัมพัทธ์ : ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 77 โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดตลอดปี เท่ากับ 90 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง : ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 23.4 องศาเซลเซียส

การระเหย : ค่าการระเหยเฉลี่ยต่อปี เท่ากับ 1,771.2 มิลลิเมตร

ช่วงแสงอาทิตย์ : ค่าช่วงแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 2,546.3 ชั่วโมง

ทัศนวิสัย : ค่าทัศนวิสัยเฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 10.5 กิโลเมตร

ลม : ค่าความเร็วลมเฉลี่ยต่อปี เท่ากับ 5.3 นอต และค่าความเร็วลมสูงสุดตลอดปีเท่ากับ 99 นอต

ปริมาณน้ำฝน : ค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี เท่ากับ 1,994.9 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยตลอดปี เท่ากับ 153.6 วัน และค่าปริมาณฝนเฉลี่ยสูงสุดรายวัน เท่ากับ 390.6 มิลลิเมตร

4. สภาพดิน

จากการสำรวจดินของกองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน (2516) พบว่าพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำฯ ประกอบด้วยดินชุดต่างๆรวม 44 ชุดดิน ชุดดินที่ลาดเชิงชัน (slope complex) เป็นชุดดินที่พบมากที่สุดครอบคลุมพื้นที่ถึง 621 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 26 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ พื้นที่บริเวณนี้มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ชุดดินที่พบรองลงมา ได้แก่ ชุดดินหาดใหญ่ ชุดดินยะลา และหน่วยสัมพันธ์ ของชุดดินระนองชุดดินพะโต๊ะ มีพื้นที่ 295 220 และ 194 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 12 9 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ ตามลำดับ ส่วนชุดดินอื่น ๆ พบกระจายอยู่ทั่วไป ลักษณะของเนื้อดินส่วนใหญ่ นอกเหนือจากดินบริเวณพื้นที่ภูเขา จะเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนปนทรายแป้ง และดินเหนียว ซึ่งมีระดับการระบายน้ำของดินมีตั้งแต่ ดีมากเกินไป ถึงเลวมาก

5. การใช้ประโยชน์ที่ดิน

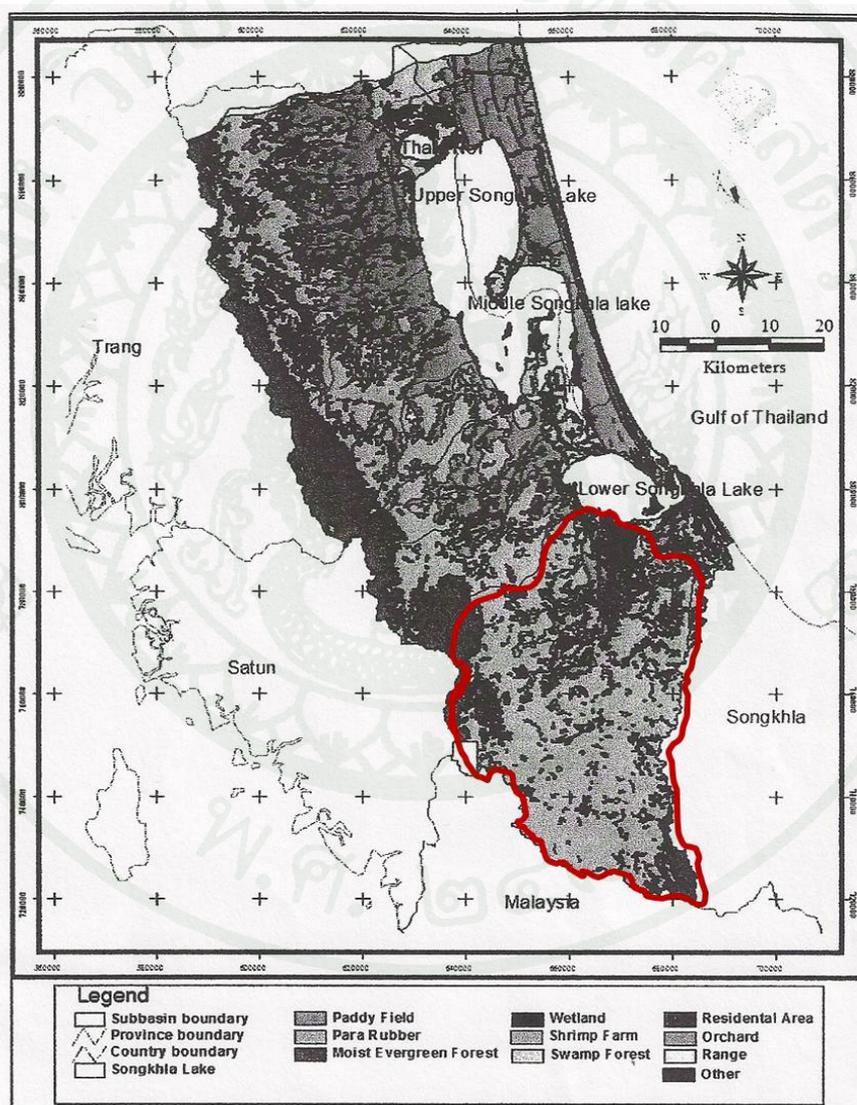
เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำฯ ประกอบไปด้วย พื้นที่ภูเขา ที่ราบลูกคลื่นลอนลาดลอนชัน และที่ราบ จึงทำให้มีความหลากหลายในการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากการสำรวจสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินครั้งล่าสุด โดยกรมพัฒนาที่ดิน ในปี พ.ศ. 2543 พบว่าส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ปลูกยางพารา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) จากการศึกษาข้อมูลการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาการใช้ที่ดิน เพื่อนำมาสรุปการใช้ที่ดินเบื้องต้นของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียงที่ต่อเนื่อง จำแนกแต่ละประเภทของการใช้ที่ดินหลักได้ ดังนี้

การใช้ที่ดินเพื่อเกษตรกรรม ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียงที่ต่อเนื่อง รวมทั้งสิ้น 7,194.00 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นสัดส่วนการใช้ที่ดินร้อยละ 72.92 ของพื้นที่โดยรวม การใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่รองรับสาขาการผลิตด้านกิจกรรมของการทำสวนยางพารา และพื้นที่ปลูกข้าว มีพื้นที่ 3,765.00 ตารางกิโลเมตร และ 2,320.00 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ รองลงมาเป็นพื้นที่ในการปลูกไม้ผลผสมและพื้นที่ทำนาข้าวในเขตชลประทาน มีพื้นที่ 456.00 ตารางกิโลเมตร และ 412.00 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับส่วนที่เหลือเป็นพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจแบบต่าง ๆ เช่น พืชไร่ พืชผัก ไม้ยืนต้นและผลไม้ในเขตชลประทานในขณะที่สาขาการผลิตด้านปศุสัตว์และการประมงเพื่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีพื้นที่ 200 ตารางกิโลเมตร และ 114.00 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

การใช้ที่ดินเพื่อรองรับการใช้พื้นที่ป่าไม้ ครอบคลุมพื้นที่ทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียงที่ต่อเนื่อง รวมทั้งสิ้น 1,724 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นสัดส่วนการใช้ที่ดินร้อยละ 17.48 ของพื้นที่โดยรวม การใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าดิบชื้น รองลงมาเป็นพื้นที่ป่าพรุและพื้นที่สวนป่า มีพื้นที่ 1,158.00 ตารางกิโลเมตร, 517.00 ตารางกิโลเมตร และ 49 ตารางกิโลเมตรตามลำดับ

การใช้ดินเพื่อรองรับการพัฒนา ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ ใกล้เคียงที่ต่อเนื่อง รวมทั้งสิ้น 389.00 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นสัดส่วนการใช้ที่ดินร้อยละ 3.94 ของพื้นที่โดยรวม การใช้ที่ดินส่วนใหญ่ใช้รองรับการพัฒนาของชุมชนเมือง หมู่บ้านและชุมชนชนบท มีพื้นที่ 231.00 และ 116.00 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นการใช้ที่ดินเพื่อรองรับการพัฒนาสถานที่ราชการ, การพัฒนาอุตสาหกรรม และการพัฒนาท่าเรือน้ำลึก มีพื้นที่ 25.00 ตารางกิโลเมตร 14.00 ตารางกิโลเมตร และ 3.00 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

การใช้ที่ดินที่เป็นที่โล่งและที่รกร้างว่างเปล่า ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ ทะเลสาบสงขลา และพื้นที่ใกล้เคียงที่ต่อเนื่อง รวมทั้งสิ้น 558.00 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นสัดส่วนการใช้ที่ดินร้อยละ 5.66 ของพื้นที่โดยรวม การใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่พรุและหนองน้ำ รองลงมาเป็นพื้นที่ทุ่งหญ้าและไม้พุ่มเตี้ยที่เป็นที่รกร้างว่างเปล่า มีพื้นที่ 415.00 ตารางกิโลเมตร และ 76.00 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นการใช้ที่ดินที่เป็นพื้นที่เหมืองร้าง พื้นที่อ่างเก็บน้ำ พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติและอื่น ๆ



ภาพที่ 4 แสดงแผนที่การใช้ประโยชน์ของที่ดิน

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2543)

6. ธรณีสัณฐาน

ลักษณะทางธรณีสัณฐานในพื้นที่ลุ่มน้ำฯ แบ่งออกเป็น 8 ประเภท ได้แก่ สันหาดเก่า (Old beach ridge) ที่ราบลุ่มน้ำทะเลท่วมถึงและที่ลุ่มที่อยู่ระหว่างสันทราย (Tidal flats and depression between beach ridge) ที่ราบลุ่มน้ำทะเลเคยท่วมถึง (Former tidal flats) สันดินริมน้ำและที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (Levee and flood plain) ลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ (Low terrace) ลานตะพักลำน้ำขึ้นกลาง-สูง (Marginal terrace and partial peneplain) ที่ลาดเชิงเขาและเนินเขาที่มีการกัดกร่อน (Eroded hills and footslope) และบริเวณเทือกเขาหรือภูเขา (Hills) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2524)

7. ธรณีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จำแนกลักษณะของหิน 3 ประเภท (กรมทรัพยากรธรณี, 2523) คือ หินชั้น (Sedimentary rocks) หินแปร (Metamorphic rocks) และ หินแกรนิต (Igneous rocks) พบว่าส่วนใหญ่เป็นหินชั้นหินแปรในยุค ควาเทอร์นารี (Quaternary : Qa, Qt) ประกอบด้วยตะกอนน้ำพา และตะกอนตะกักลุ่มน้ำ พบในบริเวณตั้งแต่ที่ราบลุ่ม ที่ราบ ไปจนถึงที่ลูกคลื่นลอนลาด ทำให้มีลักษณะเป็นพื้นที่กว้างในแนวยาวทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งเกิดจากตะกอนกรวด ทราย ที่ถูกพัดพาทับถมมากับลำน้ำในคลองอู่ตะเภา และลำคลองสาขา หินที่พบเป็นประเภทกรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเลน นอกจากนี้ยังพบหินในยุคคาร์บอนิ-เฟอรัส (Carboniferous : C, Cb, Cy) ซึ่งประกอบไปด้วยหินดินดาน หินทรายหินชนวน หินฮอร์นเฟล และหินควอร์ตไซต์ เป็นต้น พบมากบริเวณพื้นที่ด้านทิศตะวันออกและตะวันตก ถัดจากพื้นที่ตะกอนตะกักลุ่มน้ำ ส่วนบริเวณที่เป็นหินในยุคไทรแอสสิก (Triassic : Tr) พบบริเวณเทือกเขาน้ำค้าง ประกอบด้วยหินทราย หินดินดาน และหินกรวดมน หินอัคนีที่พบในยุคจูแรสสิก-ไทรแอสสิก (Jurassic-Triassic: TRJgr) และครีเตเชียส (Cretaceous:Kgr) ประกอบด้วย หินใบโอไทด์แกรนิต หินทิวร์มาลีนแกรนิต และหินมัสโคไวต์ทิวร์มาลีน แกรนิต พบบริเวณเทือกเขาบรรทัดและเทือกเขาในเขตอำเภอนาหม่อมตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบแนวรอยเลื่อนและรอยแตก (Fault and Joint) ในพื้นที่ดังกล่าว

8. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุตุนิยมวิทยา

สภาพภูมิอากาศ

ในการรวบรวมข้อมูลของสภาพภูมิอากาศนั้น กรมอุตุนิยมวิทยา มีสถานีตรวจวัดอากาศอยู่ทั่วประเทศ ส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ตามอำเภอเมืองของจังหวัดต่างๆ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมารวบรวมเพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด-ต่ำสุดรายเดือน เป็นต้น สำหรับสถานีตรวจวัดอากาศที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา คือ สถานีตรวจอากาศ อ.เมืองนครศรีธรรมราช สถานีตรวจอากาศ อ.เมืองตรัง สถานีตรวจอากาศ อ.เมืองสงขลา สถานีตรวจอากาศ อ.หาดใหญ่ และสถานีตรวจอากาศ อ.เมืองสตูล

ปริมาณน้ำฝน

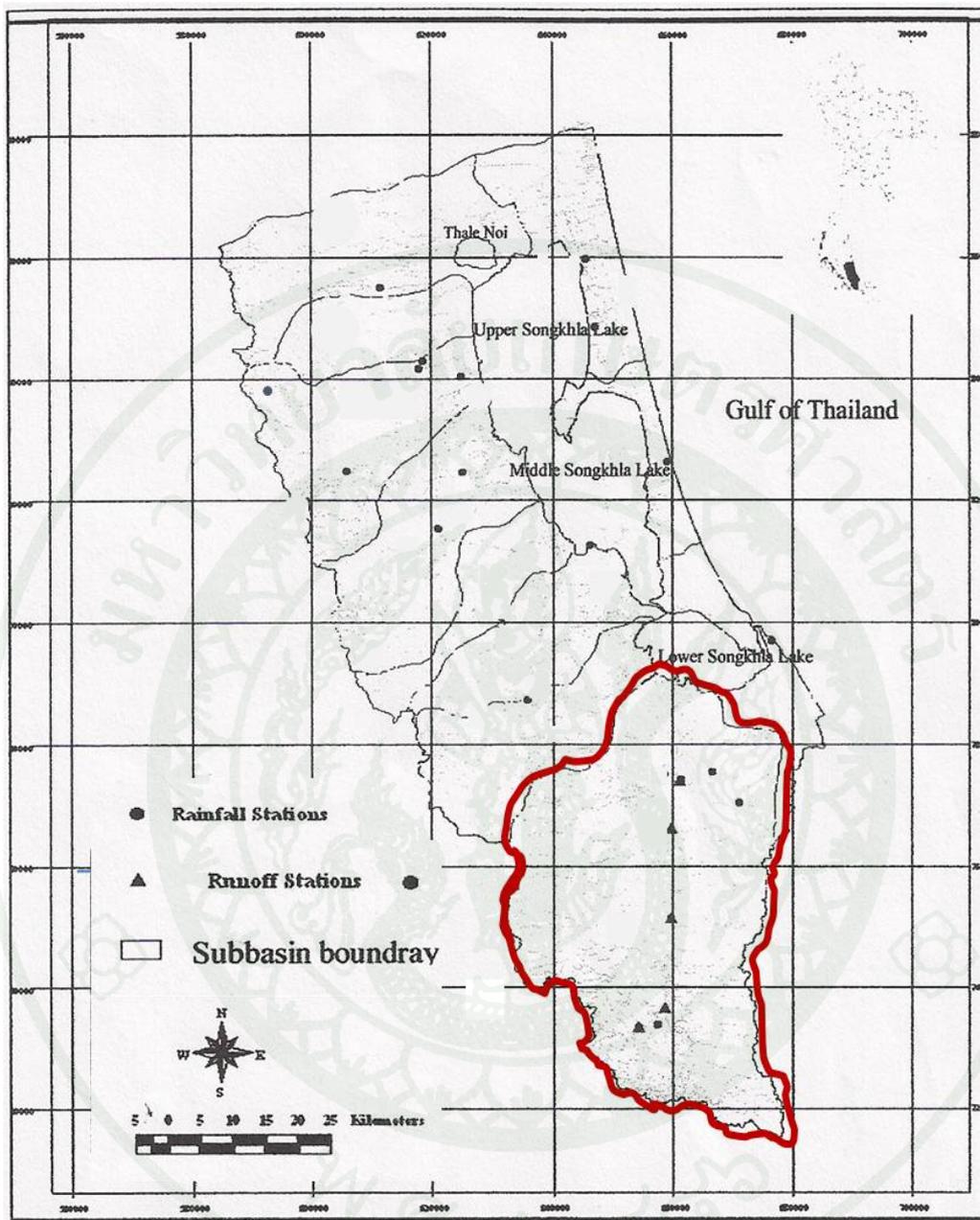
ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในประเทศไทยมีสถานีวัดอยู่มากมายกระจายอยู่ตามลุ่มน้ำต่างๆ โดยมีหน่วยงานหลักที่ทำกรวัดได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำคลองอุตะเถาได้มาจากข้อมูลของ กรมชลประทาน ได้แก่ สถานี 35012 สถานี 35022 สถานี 35032 สถานี 35042 สถานี 35052 สถานี 35061 สถานี 35071 สถานี 35091 สถานี 58013 สถานี 58022 สถานี 58032 สถานี 58042 สถานี 58092 สถานี 58102 สถานี 58112 และสถานี 65062 รวม 16 สถานี

น้ำท่า

ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำคลองอุตะเถาได้ข้อมูลมาจากกรมชลประทาน โดยได้ จากสถานีวัดน้ำท่าที่ สถานี x.44 x.90 x.112X.173 และX.181 ซึ่งตั้งอยู่ในจังหวัดสงขลา ซึ่งข้อมูลปริมาณน้ำที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบคือสถานี x.90 เนื่องจากมีข้อมูลที่ค่อนข้างสมบูรณ์และต่อเนื่องมากที่สุด

ปริมาณการระเหย

ปริมาณการระเหยได้นำข้อมูลมาจากสถานีตรวจอากาศ อ.เมืองนครศรีธรรมราช สถานีตรวจอากาศ อ.เมืองตรัง สถานีตรวจอากาศ อ.เมืองสงขลา สถานีตรวจอากาศ อ.หาดใหญ่ และสถานีตรวจอากาศ อ.เมืองสตูล

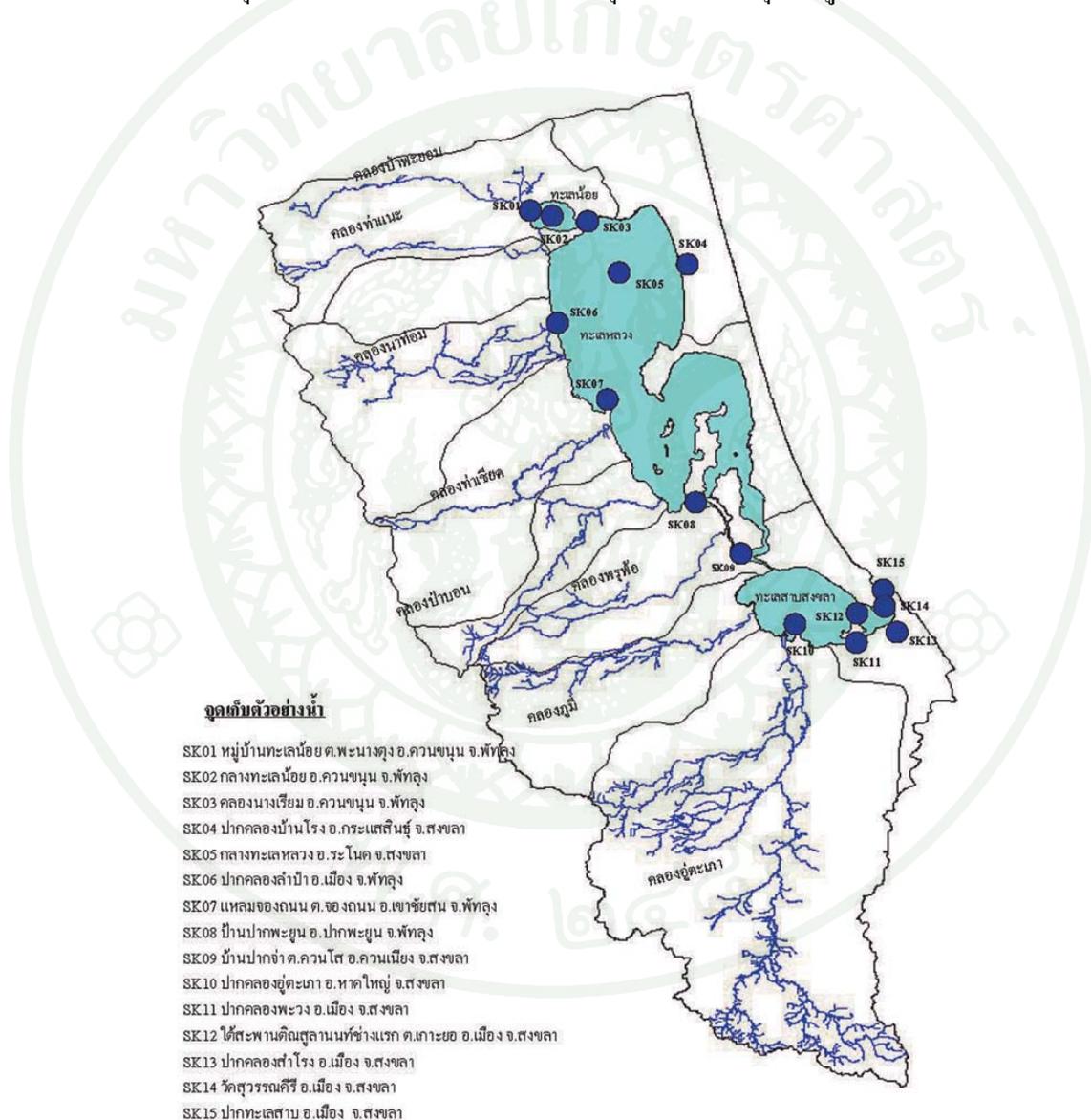


ภาพที่ 5 แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกาและพื้นที่ใกล้เคียง

ที่มา: กรมชลประทาน (2551) และกรมอุตุฯ (2551)

9. ข้อมูลด้านคุณภาพน้ำ

ซึ่งปริมาณตะกอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส บริเวณปากคลองอุตะเถาได้ข้อมูลมาจากกรมชลประทาน โดยได้ จากสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำที่สถานี SK10 ซึ่งตั้งอยู่บริเวณปากคลองอุตะเถาในจังหวัดสงขลา ซึ่งข้อมูลปริมาณน้ำที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบคือสถานี SK10 เนื่องจากเป็นสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำแห่งเดียวที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำบนลุ่มน้ำอุตะเถา

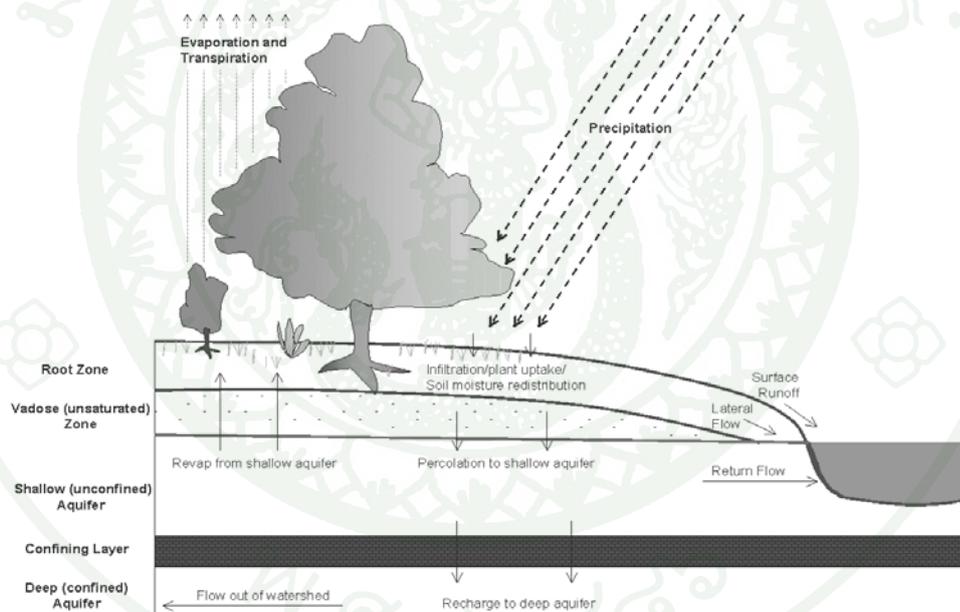


ภาพที่ 6 แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเถาและพื้นที่ใกล้เคียง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2551)

แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool version 2000 (SWAT 2000)

Soil and Water Assessment Tool version 2000 (SWAT 2000) เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยา ซึ่งสามารถใช้ติดต่อกับข้อมูลระบบ GIS ได้โดย SWAT เป็น model ประเภท continuous-time basin-scale hydrologic model ซึ่งมีความสามารถในการจำลองแบบที่มีความซับซ้อนทั้งทางด้านอุทกวิทยา การกัดเซาะและการเคลื่อนย้ายตะกอน (erosion and sediment transport) วงจรสารอาหาร (nutrient cycling) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นประเภท River basin scale model ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบในเชิงปริมาณของการจัดการพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ พื้นที่ลุ่มน้ำที่ซับซ้อน โดยเป็นแบบจำลองที่เป็น public domain model ซึ่งทำขึ้นโดย Agricultural Research Service ที่ Grassland Soil and Water Research Laboratory สหรัฐอเมริกา (Neitsch, *et al.*, 2001)



ภาพที่ 7 แสดงการเคลื่อนตัวทางด้านอุทกของ SWAT Model

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Theoretical documentation version 2000, Page8 (2002).

ปริมาณน้ำท่าของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

1. น้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff)

การคำนวณปริมาณของน้ำท่าผิวดิน และค่าอัตราการไหลของน้ำท่าสูงสุด โดยใช้ข้อมูลน้ำฝนรายวัน ด้วยการประยุกต์ใช้ Soil Conservation Service (SCS) curve number ซึ่งในการใช้วิธีนี้ ข้อมูลของค่าน้ำฝนรายวันจะเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญสำหรับวิธี SCS สำหรับที่มีการวัดปริมาณฝนหลาย ๆ ตำแหน่ง โดยข้อมูลที่มีช่วงการเก็บข้อมูลฝนที่มีค่าน้อยกว่า 1 วันจะไม่มีผลต่อแบบจำลอง แต่จะมีผลต่อความละเอียดถูกต้องต่อการคำนวณน้ำท่าสำหรับการปริมาณอัตราการไหลสูงสุด น้ำท่าผิวดินจะทำการทำนายจากค่าฝนรายวัน โดยการใช้สมการ SCS ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$Q_{\text{surf}} = \frac{(R-0.2s)^2}{(R+0.8s)}, R > 0.2s \quad (1)$$

$$Q_{\text{surf}} = 0.0, R \leq 0.2s \quad (2)$$

เมื่อ

Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำท่าผิวดิน (มิลลิเมตรน้ำ)

R คือ ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มิลลิเมตร)

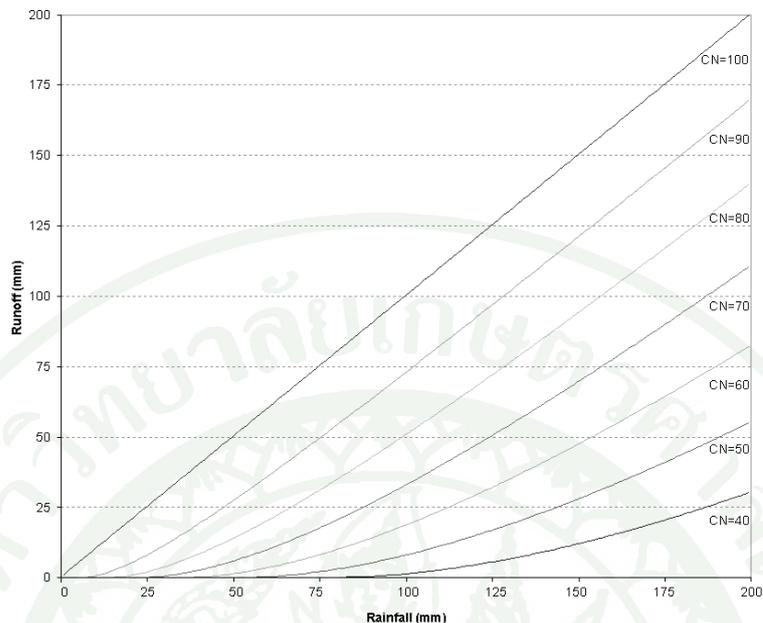
s คือ Retention Parameter

โดยตัวแปร s จะมีความสัมพันธ์กับค่า Curve number (CN) จากดังสมการสมการที่ (3)

$$s = 254 \left(\frac{100}{\text{CN}} - 1 \right) \quad (3)$$

เมื่อ

CN คือ ค่า Curve number



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำท่ากับน้ำฝนของ SCS curve number method

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Theoretical documentation version 2000, Page8 (2002).

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า CN มีดังนี้คือ

คุณสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน (Hydrologic soil group)

แบ่งกลุ่มดินออกเป็น 4 กลุ่มคือ A, B, C และ D โดยแต่ละกลุ่มดินจะขึ้นอยู่กับอัตราการซึมน้ำของดินสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- ดินกลุ่ม A มีอัตราการซึมสูง และ อัตราการไหลผิวดินต่ำ ส่วนใหญ่เป็นดินประเภทดินทราย (sandy soils) โดยมี ค่า $K_{sat} > 0.76$ เซนติเมตรต่อชั่วโมง
- ดินกลุ่ม B มีอัตราการซึมปานกลาง เป็นดินที่ระบายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นดินประเภทดินร่วน (loamy soils) โดยมี ค่า $0.38 < K_{sat} < 0.76$ เซนติเมตรต่อชั่วโมง
- ดินกลุ่ม C มีอัตราการซึมต่ำ จะประกอบด้วยชั้นดินอย่างน้อย 1 ชั้นที่ขัดขวางการ

ระบายน้ำ ส่วนใหญ่เป็นดินประเภทดินเหนียวปนทราย (sandy clay loam) โดยมีค่า $0.13 < K_{sat} < 0.38$ เซนติเมตรต่อชั่วโมง

- ดินกลุ่ม D มีอัตราการซึมต่ำมาก เป็นดินที่มีศักยภาพทำให้เกิดน้ำท่าผิวดินสูง ส่วนใหญ่เป็นดินประเภทดินเหนียว (sandy clay loam) โดยมีค่า $0 < K_{sat} < 0.13$ เซนติเมตรต่อชั่วโมง

สิ่งปกคลุม (Cover)

สิ่งปกคลุมคือสิ่งต่างๆ ที่ปกคลุมดิน และ ป้องกันการกระแทกของเม็ดฝนที่ตกลงมาสู่ดิน ประกอบด้วย

- ลักษณะการใช้ที่ดิน (Landuse)
- การรักษาหน้าดิน (land treatment) จะเกี่ยวข้องกับลักษณะและวิธีการปลูกพืช การเตรียมแปลง โดยแบ่งออกเป็น การทำการเพาะปลูกเป็นแถว (straight - row) การทำการเพาะปลูกเป็นแถวคล้อยตามระดับพื้นที่ (contoured) และ การทำการเพาะปลูกเป็นขั้นบันได (terraced)

สภาพอุทกวิทยา (hydrologic condition)

- สภาพเลว (poor) มีพืชคลุมดินพื้นที่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์
- สภาพปานกลาง (fair) มีพืชคลุมดินพื้นที่ระหว่าง 50 - 75 เปอร์เซ็นต์
- สภาพดี (good) มีพืชคลุมดินพื้นที่มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use classification)

- พื้นที่ป่า (wood, forest)
- พื้นที่เกษตรกรรม (agriculture)
- พื้นที่โล่งเตียน และ พื้นที่อยู่อาศัย (bare-land & residential)
- พื้นที่ที่เป็นน้ำ (water body)

เงื่อนไขความชื้นในดินเริ่มต้น (Antecedent moisture content; AMC)

ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในดิน โดยพิจารณาปริมาณฝนสะสมทั้งหมดที่ตกก่อนหน้าพายุฝนที่พิจารณา 5 วัน รวมทั้งพิจารณาช่วงฤดูการเพาะปลูกด้วย โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณี แสดงดังตารางผนวกที่ 4 สำหรับค่า CN ในตารางผนวกที่ 3 เป็นในกรณีของ AMC II เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ค่า CN ให้อยู่ในกรณีเดียวกับ AMC ในกรณีต่างๆ ตามเงื่อนไขความชื้นในดินก่อนหน้าที่คำนวณได้ โดยในการปรับค่า CN จำนวนได้ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$CNI = \frac{CNII}{(2.281 - 0.0128CNII)} \quad (4)$$

$$CNIII = \frac{CNII}{(0.427 - 0.00573CNII)} \quad (5)$$

เมื่อ

CNI

คือ moisture condition I Curve number

CNII

คือ moisture condition II Curve number

CNIII

คือ moisture condition III Curve number

อัตราไหลสูงสุด

แบบจำลอง SWAT 2000 ประมาณค่าอัตราการไหลสูงสุดโดยใช้วิธี Modified Rational Formula สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (6)

$$Q_{peak} = \frac{C \cdot i \cdot Area}{3.6} \quad (6)$$

เมื่อ

Q_{peak}

คือ อัตราการไหลสูงสุด (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

C

คือ สัมประสิทธิ์น้ำท่าที่แสดงถึงลักษณะอัตราการซึมของพื้นที่ลุ่มน้ำ

i

คือ ความเข้มของฝนในพื้นที่ (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)

Area

คือ พื้นที่การระบายน้ำ (ตารางกิโลเมตร)

2. น้ำที่ไหลทางข้างใต้ผิวดิน (Lateral Flow)

การจำลองการไหลทางข้างใต้ผิวดินสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (7)

$$Q_{L1} = 0.024 \left(\frac{2 \cdot SW_{ly,excess} \cdot K_{sat} \cdot slp}{\phi_d \cdot L_{hill}} \right) \quad (7)$$

เมื่อ

Q_{L1}	คือ อัตราการไหลเข้าสู่ลำน้ำของน้ำในชั้น Saturated Zone (มิลลิเมตรน้ำต่อวัน)
$SW_{ly,excess}$	คือ ปริมาณน้ำที่สามารถไหลได้ในส่วนดินชุ่มน้ำ Saturated Zone (มิลลิเมตรน้ำ)
K_{sat}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์เคลื่อนตัวของน้ำในชั้นดิน (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)
slp	คือ ค่าความชันของพื้นที่
ϕ_d	คือ ค่าความพรุนของดินในชั้นดิน (มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร)
L_{hill}	คือ Hillslope length (เมตร)

3. การไหลของน้ำใต้ดิน (Base Flow)

การจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ประกอบไปด้วย 4 ส่วน Control Volume คือ ผิวดิน เขตดินชั้นรากพืช Shallow aquifer และ deep aquifer ซึ่งก็คือ พื้นที่การไหลของลำน้ำ (stream flow area) น้ำท่าผิวดิน การไหลด้านข้างในเขตรากพืช และ น้ำไหลกลับ (return flow) จาก shallow aquifer ซึ่งจะมีน้ำส่วนหนึ่งที่ไหลซึมลึกลงดินลงสู่ชั้น deep aquifer แสดงดังภาพที่ (7) โดยจะเป็นน้ำที่เป็นส่วนที่สูญเสียไปของระบบ และจะไม่มี การไหลย้อนกลับออกมา สำหรับสมดุลของน้ำ สำหรับ shallow aquifer แสดงดังสมการที่ (8)

$$aq_{sh,t} = aq_{sh,t-1} + W_{rchrg} - Q_{gw} - W_{revap} - W_{deep} - W_{pump,sh} \quad (8)$$

เมื่อ

$aq_{sh,t}$	คือ ปริมาณน้ำในชั้น shallow aquifer (มิลลิเมตรน้ำ)
$aq_{sh,t-1}$	คือ ปริมาณน้ำเริ่มต้นในชั้น shallow aquifer (มิลลิเมตรน้ำ)
W_{rchrg}	คือ ปริมาณน้ำที่ไหลจากผิวดินเข้าสู่ชั้น shallow aquifer (มิลลิเมตรน้ำ)
W_{revap}	คือ น้ำที่ไหลจาก shallow aquifer กลับสู่ soil profile หรือเขตรากพืช (มิลลิเมตรน้ำ)

Q_{gw}	คือ return flow (มิลลิเมตรน้ำ)
W_{deep}	คือ น้ำไหลซึมลึกลงดินสู่ชั้น deep aquifer (มิลลิเมตรน้ำ)
$W_{pump,sh}$	คือ น้ำใช้การ (water use หรือ withdrawal) จาก shallow aquifer (มิลลิเมตรน้ำ)

สำหรับสมดุลของน้ำของ deep aquifer แสดงดังสมการที่ (9)

$$aq_{dp,t} - aq_{dp,t-1} + W_{deep} - W_{pump,sh} \quad (9)$$

เมื่อ

$aq_{dp,t}$	คือ ปริมาณน้ำในชั้น deep aquifer (มิลลิเมตรน้ำ)
$aq_{dp,t-1}$	คือ ปริมาณน้ำเริ่มต้นในชั้น deep aquifer (มิลลิเมตรน้ำ)
W_{deep}	คือ ปริมาณน้ำไหลซึมลึกลงดินสู่ชั้น deep aquifer (มิลลิเมตรน้ำ)
$W_{pump,sh}$	คือ ปริมาณการใช้น้ำจากชั้น deep aquifer (มิลลิเมตรน้ำ)

4. การระเหยของน้ำ

สำหรับในแบบจำลองได้มีทางเลือกในการประมาณค่าการระเหยของน้ำ 3 วิธี

4.1 วิธี Penman – Monteith ต้องการข้อมูล การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์

4.2 วิธี Priestley – Taylor ต้องการข้อมูล การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และ อุณหภูมิของอากาศ

4.3 วิธี Hargreaves and Samani ต้องการข้อมูลอุณหภูมิของอากาศเพียงอย่างเดียว

5. การเคลื่อนตัวผ่านทางน้ำของน้ำท่า

$$Q_{ch} = \frac{A_{ch} R_{ch}^{2/3} s_{p_{ch}}^{1/2}}{n} \quad (10)$$

เมื่อ

q_{ch}	คือ อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำท่าในลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
A_{ch}	คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล (ตารางเมตร)
R_{ch}	คือ รัศมีชลศาสตร์ (เมตร)
slp_{ch}	คือ ค่าความชันเฉลี่ยของลำน้ำ
n	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ลำน้ำ

6. สมดุลน้ำในลุ่มน้ำ

$$\text{ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลุ่มน้ำอุทตะเกา} = \text{ปริมาณน้ำที่มี} - \text{ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้} \quad (11)$$

เมื่อ

ปริมาณน้ำที่มี คือ ปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ คือ ปริมาณน้ำที่ถูกใช้ในกิจกรรมต่างๆ

ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในกิจกรรมต่างๆ

1. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเกษตร

การใช้น้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ชลประทาน

ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในการเกษตรบนพื้นที่ชลประทานสามารถคำนวณได้ดังสมการที่

(12)

$$IWR = \frac{\{(K_c \times ET_0) + P - E\} \times 1.6 \times \text{Area}}{Eff} \quad (12)$$

เมื่อ

IWR คือ ความต้องการใช้น้ำในการเกษตรบนพื้นที่ชลประทาน (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน)

K_c คือ Crop Coefficient ของพืชแต่ละชนิด

ET_0 คือ ปริมาณการคายระเหยตามสูตรของ Penman-Montieth (มิลลิเมตรต่อเดือน)

P คือ ปริมาณการไหลซึม (มิลลิเมตรต่อเดือน)

E	คือ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตรต่อเดือน)
Eff	คือ ประสิทธิภาพการชลประทาน (เปอร์เซ็นต์)
Area	คือ พื้นที่การเกษตร (ไร่)

การใช้น้ำเพื่อการเกษตรนอกพื้นที่ชลประทาน

ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในการเกษตรนอกพื้นที่ชลประทานสามารถคำนวณได้ดังสมการที่

(13)

$$CWR = [(K_c \times ET_0) + P - E] \times 1.6 \times Area \quad (13)$$

เมื่อ

CWR คือ ความต้องการใช้น้ำในการเกษตรนอกพื้นที่ชลประทาน (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน)

K_c คือ Crop Coefficient ของพืชแต่ละชนิด

ET₀ คือ ปริมาณการคายระเหยตามสูตรของ Penman-Montieth (มิลลิเมตรต่อเดือน)

P คือ ปริมาณการไหลซึม (มิลลิเมตรต่อเดือน)

E คือ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตรต่อเดือน)

Area คือ พื้นที่การเกษตร (ไร่)

ตารางที่ 1 แสดงค่า Crop Coefficient ของพืชแต่ละชนิด

Weeks	Local Rice	Peanuts	Cucumbers	Fruit Trees	Hardwood	Fishes Pond
1	0.83	0.6	1.02	0.6	0.9	1
2	0.83	0.72	1.14	All year	All year	All year
3	0.83	0.85	1.6	-	-	-
4	0.93	0.94	1.9	-	-	-
5	1.06	1.17	2.1	-	-	-
6	1.06	1.24	1.9	-	-	-
7	1.06	1.28	1.73	-	-	-
8	1.06	1.36	1.44	-	-	-

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Weeks	Local Rice	Peanuts	Cucumbers	Fruit Trees	Hardwood	Fishes Pond
9	1.06	1.04	1.03	-	-	-
10	1.06	0.99	0.75	-	-	-
11	1.06	0.91	0.65	-	-	-
12	1.06	0.77	0.52	-	-	-
13	0.96	0.6	-	-	-	-
14	0.83	0.5	-	-	-	-
15	0.83	0.4	-	-	-	-
16	0.83	-	-	-	-	-
17	0.83	-	-	-	-	-
18	0.72	-	-	-	-	-

ที่มา: กรมชลประทาน (2551)

2. ปริมาณน้ำที่ใช้ในประมงน้ำจืด

ตัวแปรที่มีผลต่อการประเมินการใช้น้ำในประมงน้ำจืดมีดังต่อไปนี้ (Yoo and Boyed, 1994)

2.1 แหล่งน้ำที่นำมาใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ (น้ำฝน น้ำใต้ดิน แม่น้ำ ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ ฯลฯ)

2.2 ปริมาณน้ำในการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ

2.3 ชนิดของดิน ข้อมูลดิน องค์ประกอบของดิน อัตราการไหลซึมดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2.4 ตำแหน่งและสภาพอากาศของพื้นที่เลี้ยงสัตว์น้ำ

2.5 องค์ประกอบของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (ขนาดพื้นที่ ความลึก ระบบการรับน้ำ ระบบการถ่ายเทน้ำ)

การใช้น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่ชลประทาน

ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในประมงน้ำจืดบนพื้นที่ชลประทานสามารถคำนวณจากข้อมูลสถิติฤดูกาลเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คุณลักษณะดิน และการใช้น้ำในประมงน้ำจืดในพื้นที่ชลประทาน การประเมินความต้องการน้ำในการเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ชลประทานสามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ (14)

$$IWR = \frac{(W_{cd} + ET_c + P - E) \times 1.6 \times Area}{Eff} \quad (14)$$

เมื่อ

IWR

คือ ความต้องการใช้น้ำในประมงน้ำจืดบนพื้นที่ชลประทาน (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน)

W_{cd}

คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการถ่ายเทน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (มิลลิเมตรต่อเดือน)

ET_c

คือ ปริมาณการคายระเหยของพืช (มิลลิเมตรต่อเดือน)

P

คือ ปริมาณการไหลซึม (มิลลิเมตรต่อเดือน)

E

คือ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตรต่อเดือน)

Eff

คือ ประสิทธิภาพการชลประทาน (เปอร์เซ็นต์)

Area

คือ พื้นที่การเกษตร (ไร่)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความพรุนและการสูญเสียของดินแต่ละชนิด

Soils	Pore Space (% capacity)	Percolation (mm./day)
Sand	38	25-50
Sandy Loam	43	13-76
Loam	47	8-20
Clay Loam	49	2.5-1.5
Silty Clay	51	1.25-1.0

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Soils	Pore Space (% capacity)	Percolation (mm./day)
Clay	53	0.25-0.5

ที่มา: วิรัช จิวเหยม (2544)

ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการคายระเหยของพืชในพื้นที่ประมงน้ำจืด

โดยการสูญเสียน้ำจากการคายระเหยของพืชในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นมีหลายปัจจัยที่มีผล อาทิเช่น ฤดูกาล คุณลักษณะของดิน และปัจจัยโดยรอบของพื้นที่ที่เพาะเลี้ยง การใช้น้ำของพืชสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (15)

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (15)$$

เมื่อ

ET_c

คือ ปริมาณการคายระเหยของพืช (มิลลิเมตรต่อเดือน)

K_c

คือ Crop Coefficient ของพืชแต่ละชนิด

ET_0

คือ ปริมาณการคายระเหยตามสูตรของ Penman-Montieth (มิลลิเมตรต่อเดือน)

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการถ่ายเทน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการถ่ายเทน้ำในบ่อนั้นคือปริมาณน้ำที่ใช้ในการแทนที่น้ำเดิม ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของบ่อและชนิดของสัตว์น้ำ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ (16)

$$W_{cd} = (W_f \times X) \times D \times T \quad (16)$$

เมื่อ

W_{cd}

คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการถ่ายเทน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (มิลลิเมตรต่อเดือน)

W_f

คือปริมาณน้ำเริ่มต้นในบ่อ (มิลลิเมตรต่อเดือน)

X

คือ จำนวนครั้งในการถ่ายเทน้ำใน 1 ปี

D

คือ ร้อยละของการถ่ายเทน้ำในแต่ละบ่อ

T คือ จำนวนบ่อที่ทำกรถ่ายเทน้ำ

การใช้น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่ชลประทาน

ในส่วนของกรณีประเมินความต้องการน้ำในการเลี้ยงสัตว์นอกพื้นที่ชลประทานสามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ (17)

$$WR = (W_{cd} + ET_c + P - E) \times 1.6 \times Area \quad (17)$$

เมื่อ

WR คือ ความต้องการใช้น้ำในประมงน้ำจืดบนพื้นที่ชลประทาน (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อเดือน)

W_{cd} คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการถ่ายเทน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (มิลลิเมตรต่อเดือน)

ET_c คือ ปริมาณการคายระเหยของพืช (มิลลิเมตรต่อเดือน)

P คือ ปริมาณการไหลซึมในบ่อ (มิลลิเมตรต่อเดือน)

E คือ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตรต่อเดือน)

Area คือ พื้นที่การเกษตร (ไร่)

3. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์

การใช้น้ำในการเลี้ยงสัตว์กล่าวคือการใช้สำหรับการเจริญเติบโตของสัตว์ อัตราการใช้ น้ำดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์ (กัมปนาท, 2544) เกณฑ์ความต้องการน้ำสำหรับการเลี้ยงสัตว์แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงเกณฑ์ความต้องการน้ำของสัตว์แต่ละชนิด

ชนิด	ลิตร/ตัว/วัน
โคนม	60
โคนเนื้อ	40
กระบือ	50

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชนิด	ลิตร/ตัว/วัน
สุกร	20

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2542)

กรมปศุสัตว์ (2542) ได้จัดแบ่งความต้องการน้ำของสัตว์ขึ้นกับชนิดและขนาดของสัตว์ รวมถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ก็มีผล อาทิเช่น คุณภาพน้ำ อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิอากาศ ความชื้น เป็นต้น ค่าเฉลี่ยความต้องการน้ำแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยความต้องการน้ำของสัตว์แต่ละชนิด

ชนิด	ลิตร/ตัว/วัน
โคเนื้อ โตเต็มที่	60
โคนมที่ยังไม่มีน้ำนม	60
โคนมที่ให้นม	90
ม้าโตเต็มที่	40
ม้าที่ให้นม	50
หมูน้ำหนัก 30 กิโลกรัม	6
หมูน้ำหนัก 60 - 100 กิโลกรัม	8
หมูที่ให้นม	14
แกะ	4
แกะที่ให้นม	6

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2542)

4. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภค

ความต้องการการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค กล่าวคือการใช้ น้ำของประชากรในชีวิตประจำวันบนพื้นที่นั้นๆ อัตราการใช้น้ำจะเปลี่ยนตามอัตราการเติบโตของจำนวนประชากร (ปราโมทย์, 2535)

ชินวัฒน์ (2542) ได้ศึกษาความต้องการใช้น้ำในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยการสำรวจการใช้น้ำในเมือง เช่น เทศบาลเมืองหาดใหญ่ เทศบาลจังหวัดสงขลา ที่กระจายอยู่ตามหน่วยงานด้านน้ำของทางราชการในจังหวัด ในส่วนของการใช้น้ำบริเวณชานเมืองหรือชนบทนั้น ได้ทำการสำรวจบริเวณรอบๆพื้นที่หาดใหญ่ และเขาชัยสน เพื่อใช้ในการหาอัตราการเติบโตของประชากรในอนาคต การเพิ่มจำนวนของประชากรสามารถคำนวณได้ด้วยกระบวนการของสำนักงานสถิติแห่งชาติดังสมการที่ (18)

$$P_n = P_0 (1+r)^n \quad (18)$$

เมื่อ

P_n	คือ จำนวนประชากรในปีที่ต้องการทราบจำนวนประชากร (คน)
P_0	คือ จำนวนประชากรในปีฐาน (คน)
r	คือ อัตราการเจริญเติบโตของประชากร
n	คือ จำนวนปีจากปีฐานถึงปีที่ต้องการทราบจำนวนประชากร

จากการสำรวจความต้องการน้ำจากการใช้น้ำในพื้นที่ได้ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกา

พื้นที่	ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร/คน/วัน)
ตัวเมือง	
- เทศบาลเมืองหาดใหญ่	323
- เทศบาลจังหวัดสงขลา	337
ชนบท	107

ที่มา: (ชินวัฒน์, 2542)

5. ปริมาณน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ความต้องการน้ำที่ใช้สำหรับภาคอุตสาหกรรมกล่าวคือการใช้น้ำในกระบวนการผลิต ซึ่งอัตราการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของอุตสาหกรรม (ปราโมทย์, 2535)

ตารางที่ 6 แสดงการใช้น้ำตามขนาดของอุตสาหกรรม

ชนิดของอุตสาหกรรม	อัตราการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน)	อัตราการใช้น้ำเฉลี่ย (ลบ.ม./วัน)
อุตสาหกรรมขนาดใหญ่	1,000-8,000	4,500
- ผลิตอาหารทะเล		
- แปรรูปน้ำยางพารา		
อุตสาหกรรมขนาดกลาง	50-450	250
- ผลิตยางแผ่นและยางรมควัน		
อุตสาหกรรมขนาดเล็ก	<2	1
- บริการทั่วไป		

ที่มา: สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา (2550)

ตารางที่ 7 แสดงอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยของอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรม	อัตราการใช้น้ำเฉลี่ย (ลบ.ม./ไร่/วัน)
เคมี	8
อาหาร	12
กระดาษ	4
ผ้า	5
โลหะ	5
อโลหะ	8
ไม้	3

ที่มา: สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา (2550)

ปริมาณตะกอนในลำน้ำของแบบจำลอง SWAT2000/GIS

1. ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาโดยน้ำท่าผิวดินลงสู่ลำน้ำ

ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นและถูกพัดพาโดยน้ำท่าผิวดินลงสู่ลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (19)

$$sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.566} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \quad (19)$$

เมื่อ

sed	คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาโดยน้ำผิวดิน (ตัน)
Q_{surf}	คือ ปริมาณน้ำผิวดิน (มิลลิเมตรน้ำต่อเฮกแตร์)
q_{peak}	คือ อัตราการไหลสูงสุดของน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
area_{hru}	คือ พื้นที่ (เฮกแตร์)
K_{USLE}	คือ ค่าตัวแปรการชะล้างดิน
C_{USLE}	คือ ค่าตัวแปรการปกคลุมบนพื้นที่
P_{USLE}	คือ ค่าตัวแปรการจัดการพื้นที่
LS_{USLE}	คือ ค่าตัวแปรความชันของพื้นที่
CFRG	คือ ค่าตัวแปรความขรุขระของพื้นที่

2. การเคลื่อนตัวผ่านทางน้ำของตะกอน

การประเมินปริมาณตะกอนในลำน้ำนั้นมีตัวแปรที่มีผลต่อการชะล้างตะกอนลงสู่ลำน้ำคือ ความลาดชันและความเร็วของน้ำท่าในลำน้ำ สำหรับปริมาณตะกอนสูงสุดสามารถคำนวณได้ดังสมการดังนี้

$$V_{ch,pk} = \frac{q_{ch,pk}}{A_{ch}} \quad (20)$$

เมื่อ

V_{ch,pk}	คือ ความเร็วสูงสุดในลำน้ำ (เมตรต่อวินาที)
--------------------------	---

$Q_{ch,pk}$ คือ อัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าในลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
 A_{ch} คือ พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ (ตารางเมตร)

โดยที่ $Q_{ch,pk} = prf \cdot Q_{ch}$ (21)

เมื่อ

$Q_{ch,pk}$ คือ อัตราเร็วสูงสุดในลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
 prf คือ ตัวแปรการปรับค่าอัตราเร็วสูงสุด
 Q_{ch} คือ อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำท่าในลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

ความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้สามารถคำนวณได้ดังสมการ
 ที่ (22)

$$conc_{sed, ch, mx} = c_{sp} \cdot V_{ch, pk}^{spexp} \quad (22)$$

เมื่อ

$conc_{sed, ch, mx}$ คือ ค่าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้ (ต้นต่อ
 ลูกบาศก์เมตร)
 c_{sp} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ปรับค่าโดยผู้ใช้งาน โปรแกรม
 $V_{ch, pk}$ คือ ความเร็วสูงสุดในลำน้ำ (เมตรต่อวินาที)
 $spexp$ คือ ค่ายกกำลังที่ปรับค่าโดยผู้ใช้งาน โปรแกรม

ค่าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้ ที่คำนวณด้วยสมการ(14)
 ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำนั้น

หากค่าความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำมากกว่าค่าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดใน
 ในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้แล้ว กระบวนการทับถมลงสู่ท้องน้ำจะเป็นกระบวนการหลักซึ่ง
 สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (23)

$$sed_{dep} = (conc_{sed, ch, i} - conc_{sed, ch, mx}) \cdot V_{ch} \quad (23)$$

เมื่อ

sed_{dep} คือ ปริมาณตะกอนที่ตกตะกอนทับถมลงสู่ท้องน้ำ (ตัน)

- $conc_{sed, ch, i}$ คือ ความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ (ต้นต่อลูกบาศก์เมตร)
- $conc_{sed, ch, mx}$ คือ ค่าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้ (ต้นต่อลูกบาศก์เมตร)
- V_{ch} คือ ปริมาณน้ำในช่วงลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตรน้ำ)

หากค่าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้มากกว่าค่าความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำแล้ว กระบวนการกัดเซาะดินจากท้องน้ำและด้านข้างลำน้ำจะเป็นกระบวนการหลักซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (24)

$$sed_{deg} = (conc_{sed, ch, mx} - conc_{sed, ch, i}) \cdot V_{ch} \cdot K_{ch} \cdot C_{ch} \quad (24)$$

- เมื่อ
- sed_{deg} คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกกัดเซาะดินจากท้องน้ำและด้านข้างลำน้ำตกตะกอน (ตัน)
- $conc_{sed, ch, i}$ คือ ความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ (ต้นต่อลูกบาศก์เมตร)
- $conc_{sed, ch, mx}$ คือ ค่าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้ (ต้นต่อลูกบาศก์เมตร)
- V_{ch} คือ ปริมาณน้ำในช่วงลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตรน้ำ)
- K_{ch} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะ (เซนติเมตรต่อชั่วโมงต่อปาสคาล)
- C_{ch} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปกคลุมลำน้ำ

ปริมาณตะกอนที่คงแขวนลอยสามารถคำนวณได้ดังสมการดังที่ (25)

$$sed_{ch} = sed_{ch, i} sed_{dsp} + sed_{deg} \quad (25)$$

- เมื่อ
- sed_{ch} คือ ปริมาณตะกอนที่คงแขวนลอยในลำน้ำ (ตัน)
- $sed_{ch, i}$ คือ ปริมาณตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ (ตัน)
- sed_{dsp} คือ ปริมาณตะกอนตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำ (ตัน)
- sed_{deg} คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกชะล้างเข้าสู่ลำน้ำ (ตัน)

ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาออกจากช่วงลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการดังนี้ (26)

$$sed_{out} = sed_{ch} \cdot \frac{V_{out}}{V_{ch}} \quad (26)$$

เมื่อ

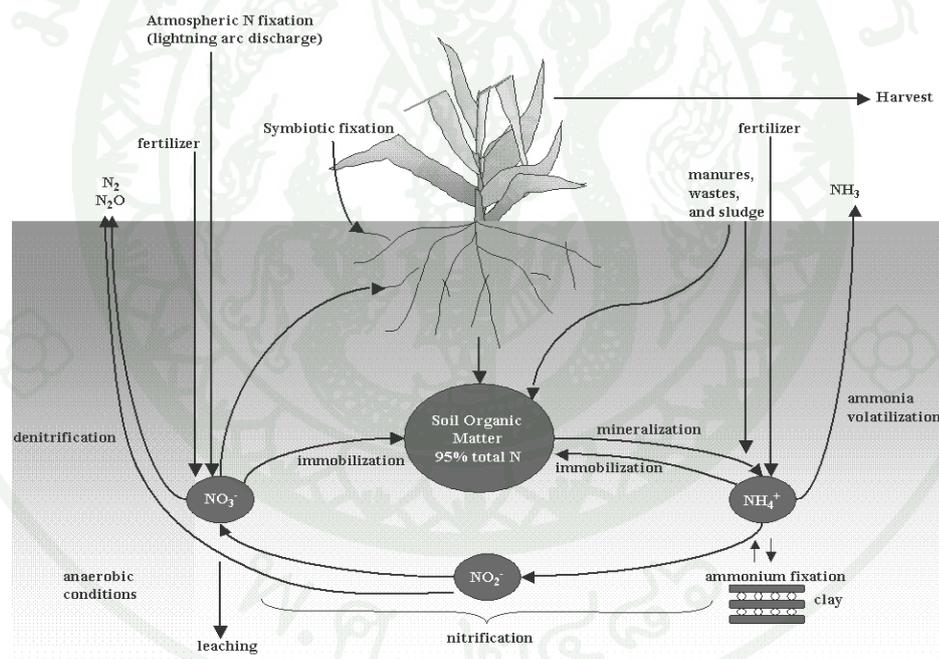
sed_{out} คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาออกจากลำน้ำ (ตัน)

sed_{ch} คือ ปริมาณตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ (ตัน)

V_{out} คือ ปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกจากช่วงลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตรน้ำ)

V_{ch} คือ ปริมาณน้ำในช่วงลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตรน้ำ)

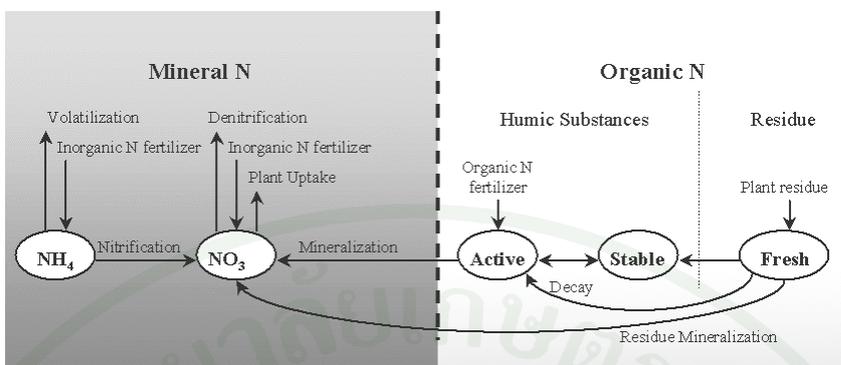
ปริมาณไนโตรเจนในลำน้ำของแบบจำลอง SWAT2000/GIS



ภาพที่ 9 แสดงรูปแบบต่างๆของไนโตรเจนของ SWAT Model

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Theoretical documentation version 2000, Page176 (2002).

NITROGEN



ภาพที่ 10 แสดงรูปแบบต่างๆของไนโตรเจนของ SWAT Model

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Theoretical documentation version 2000, Page18 (2002).

ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาลงสู่ลำน้ำ

ปริมาณไนเตรทที่เคลื่อนตัวไปกับน้ำท่าผิวดิน น้ำข้างใต้ผิวดิน และน้ำที่ไหลซึมลงสู่ลำน้ำได้ดินนั้นมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนที่เปลี่ยนแปลงทั้งบนแผ่นดินและในลำน้ำ

ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำที่สามารถเคลื่อนตัวได้จากการถูกพัดพาโดยทั้งน้ำท่าผิวดิน น้ำข้างใต้ผิวดิน และน้ำที่ไหลซึมลงสู่ลำน้ำได้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (27)

$$conc_{NO_3, mobile} = \frac{NO3_{ly} \cdot \exp\left[\frac{-W_{mobile}}{(1-\theta_s) \cdot SAT_{ly}}\right]}{W_{mobile}} \quad (27)$$

เมื่อ

$conc_{NO_3, mobile}$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำที่เคลื่อนตัวได้ (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อมิลลิเมตรน้ำ)

$NO3_{ly}$ คือ ปริมาณไนเตรทที่มีอยู่ในชั้นดิน (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกเตอร์)

W_{mobile} คือ ปริมาณน้ำที่เคลื่อนตัวได้ (มิลลิเมตรน้ำ)

θ_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความพรุนของชั้นดิน (ตัน)

SAT_{ly} คือ ค่าความอิ่มตัวของน้ำในชั้นดิน (มิลลิเมตรน้ำ)

โดยที่ สำหรับ 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน

$$W_{mobile} = Q_{surf} + Q_{lat,ly} + W_{perc,ly} \quad (28)$$

สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่า 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน

$$W_{mobile} = Q_{lat,ly} + W_{perc,ly} \quad (29)$$

เมื่อ

W_{mobile} คือ ปริมาณน้ำที่เคลื่อนที่ได้ (มิลลิเมตรน้ำ)
Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดิน (มิลลิเมตรน้ำ)
Q_{lat,ly} คือ ปริมาณน้ำที่ไหลทางข้างใต้ผิวดิน (มิลลิเมตรน้ำ)
W_{perc,ly} คือ ปริมาณน้ำไหลซึมลึกลงสู่ชั้นดินด้านล่าง (มิลลิเมตรน้ำ)

1. ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดิน

ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดินสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (30)

$$NO3_{surf} = \beta_{NO3} \cdot conc_{NO3,mobile} \cdot Q_{surf} \quad (30)$$

เมื่อ

NO3_{surf} คือ ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดิน (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกเตอร์)
β_{NO3} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมลงสู่ชั้นดินด้านล่างของไนเตรท
conc_{NO3,mobile} คือ ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำที่เคลื่อนที่ได้ (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อมิลลิเมตรน้ำ)
Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดิน (มิลลิเมตรน้ำ)

2. ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำที่ไหลทางข้างใต้ผิวดิน

ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำที่ไหลทางข้างใต้ผิวดินสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (23) และ (24)

โดยที่ สำหรับ 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน

$$NO3_{lat.ly} = \beta_{NO3} \cdot conc_{NO3.mobile} \cdot Q_{lat.ly} \quad (31)$$

สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่า 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน

$$NO3_{lat.ly} = conc_{NO3.mobile} \cdot Q_{lat.ly} \quad (32)$$

เมื่อ

$NO3_{lat.ly}$ คือ ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำที่ไหลทางข้างใต้ผิวดิน (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์)

β_{NO3} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมลงสู่ชั้นดินด้านล่างของไนเตรท

$conc_{NO3.mobile}$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำที่เคลื่อนที่ได้ (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อมิลลิเมตรน้ำ)

$Q_{lat.ly}$ คือ ปริมาณน้ำที่ไหลทางข้างใต้ผิวดิน (มิลลิเมตรน้ำ)

3. ปริมาณไนเตรทที่ไหลซึมลึกลงสู่ชั้นดินด้านล่าง

ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยไหลซึมลึกลงสู่ชั้นดินด้านล่างสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (33)

$$NO3_{perc.ly} = conc_{NO3.mobile} \cdot W_{perc.ly} \quad (33)$$

เมื่อ

$NO3_{perc.ly}$ คือ ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำไหลซึมลึกลงสู่ชั้นดินด้านล่าง (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์)

$conc_{NO_3, mobile}$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำที่เคลื่อนที่ได้ (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อมิลลิเมตรน้ำ)

$W_{perc, ly}$ คือ ปริมาณน้ำที่ไหลซึมลึกลงสู่ชั้นดินด้านล่าง (มิลลิเมตรน้ำ)

4. การเคลื่อนตัวของอินทรีย์ไนโตรเจน

ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดินสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (34)

$$orgNO_3_{surf} = 0.001 \cdot conc_{orgN} \cdot \frac{sed}{area_{hru}} \cdot E_{N, sed} \quad (34)$$

เมื่อ

$orgNO_3_{surf}$ คือ ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดิน (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์)

$conc_{orgN}$ คือ ความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจนในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อมิลลิเมตรน้ำ)

sed คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาโดยน้ำผิวดิน (ตัน)

$area_{hru}$ คือ พื้นที่ (เฮกแตร์)

$E_{N, sed}$ คือ สัดส่วนการถูกพัดพาของไนโตรเจนต่อตะกอน

โดยที่

$$conc_{orgN} = 100 \cdot \frac{(orgN_{fresh, surf} + orgN_{sta, surf} + orgN_{act, surf})}{\rho_b \cdot depth_{surf}} \quad (35)$$

เมื่อ

$orgN_{fresh, surf}$ คือ ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในซากพืชซากสัตว์สดในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์)

$orgN_{sta, surf}$ คือ ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปที่เสถียรในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์)

$orgN_{act, surf}$ คือ ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปที่ไม่เสถียรในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์)

ρ_b คือ ค่าความหนาแน่นของชั้นดิน (แมกโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$depth_{surf}$ คือ ความลึกจากผิวดิน (10 มิลลิเมตร)

ค่าสัดส่วนการถูกพัดพาของไนโตรเจนต่อตะกอน

ค่าสัดส่วนการถูกพัดพาของไนโตรเจนต่อตะกอนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (36)

$$E_{N_{sed}} = 0.78 \cdot (\text{conc}_{sed, surf})^{-0.2463} \quad (36)$$

เมื่อ

$\text{conc}_{sed, surf}$ คือ ความเข้มข้นของตะกอนในน้ำท่าผิวดิน (แมคโครกรัมตะกอนต่อลูกบาศก์เมตรน้ำ)

โดยที่

$$\text{conc}_{sed, surf} = \frac{\text{sed}}{10 \cdot \text{area}_{lru} \cdot Q_{surf}} \quad (37)$$

เมื่อ

sed คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาโดยน้ำผิวดิน (ตัน)

area_{lru} คือ พื้นที่ (เฮกแตร์)

Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำท่าผิวดิน (มิลลิเมตรน้ำ)

5. การปริมาณไนโตรเจนในลำน้ำ

อินทรีย์ไนโตรเจนในลำน้ำ

ความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (38)

$$\Delta \text{orgN}_{str} = (\alpha_1 \cdot \rho_a \cdot \text{algae} - \beta_{N,3} \cdot \text{orgN}_{str} - \sigma_4 \cdot \text{orgN}_{str}) \cdot TT \quad (38)$$

เมื่อ

ΔorgN_{str} คือ ความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)

α_1 คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสาหร่ายต่อไนโตรเจน (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อมิลลิกรัมสาหร่าย)

ρ_a	คือ อัตราการตายของสาหร่าย (วัน^{-1})
algae	คือ ความเข้มข้นโดยมวลของสาหร่ายเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมโดยมวลของสาหร่ายต่อลิตร)
$\beta_{N,3}$	คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนอินทรีย์ในโตรเจนเป็นแอมโมเนีย (วัน^{-1})
orgN_{str}	คือ ความเข้มข้นของอินทรีย์ในโตรเจนเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)
σ_4	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตกตะกอนของอินทรีย์ในโตรเจน (วัน^{-1})
TT	คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (วัน)

โดยที่
$$\beta_{N,3} = \beta_{N,3,20} \cdot 1.047^{(T_{\text{water}} - 20)} \quad (39)$$

เมื่อ $\beta_{N,3,20}$ คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนอินทรีย์ในโตรเจนเป็นแอมโมเนียที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (วัน^{-1})

T_{water} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในลำน้ำ (องศาเซลเซียส)

และ
$$\sigma_4 = \sigma_{4,20} \cdot 1.024^{(T_{\text{water}} - 20)} \quad (40)$$

เมื่อ $\sigma_{4,20}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตกตะกอนของอินทรีย์ในโตรเจนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (วัน^{-1})

T_{water} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในลำน้ำ (องศาเซลเซียส)

แอมโมเนียมในลำน้ำ

ความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (41)

$$\Delta \text{NH}_4_{\text{str}} = (\beta_{N,3} \cdot \text{orgN}_{\text{str}} - \beta_{N,1} \cdot \text{NH}_4_{\text{str}} + \frac{\sigma_3}{(1000 \cdot \text{depth})} - f_{\text{rNH}_4} \cdot \alpha_1 \cdot \mu_a \cdot \text{algae}) \cdot TT \quad (41)$$

เมื่อ

$\Delta\text{NH}_4_{\text{str}}$	คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)
$\beta_{\text{N},3}$	คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย (วัน ⁻¹)
$\beta_{\text{N},1}$	คือ ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียโดยจุลินทรีย์ (วัน ⁻¹)
NH_4_{str}	คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)
σ_3	คือ อัตราการเกิดแอมโมเนียจากตะกอนในท้องน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน)
depth	คือ ความลึกของน้ำในลำน้ำ (เมตร)
fr_{NH_4}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนจากแอมโมเนียมในลำน้ำของสาหร่าย
α_1	คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสาหร่ายต่อไนโตรเจน (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อมิลลิกรัมสาหร่าย)
μ_3	คือ อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (วัน ⁻¹)
algae	คือ ความเข้มข้นโดยมวลของสาหร่ายเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมโดยมวลของสาหร่ายต่อลิตร)
TT	คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (วัน)

โดยที่

$$\beta_{\text{N},1} = \beta_{\text{N},1,20} \cdot (1 - \exp [0.6 \cdot \text{Ox}_{\text{str}}]) \cdot 1.083^{(T_{\text{water}} - 20)} \quad (42)$$

เมื่อ

$\beta_{\text{N},1,20}$	คือ ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียโดยจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (วัน ⁻¹)
Ox_{str}	คือ ค่าออกซิเจนละลายน้ำในลำน้ำ (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร)
T_{water}	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในลำน้ำ (องศาเซลเซียส)

และ

$$\sigma_3 = \sigma_{3,20} \cdot 1.074^{(T_{\text{water}} - 20)} \quad (43)$$

เมื่อ

$\sigma_{3,20}$	คือ อัตราการเกิดแอมโมเนียจากตะกอนในท้องน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน)
-----------------	--

T_{water} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในลำน้ำ (องศาเซลเซียส)

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนจากแอมโมเนียมในลำน้ำของสาหร่ายสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (44)

$$fr_{NH4} = \frac{fr_{NH4} \cdot NH4_{str}}{(fr_{NH4} \cdot NH4_{str} + (1 - fr_{NH4}) \cdot NO3_{str}} \quad (44)$$

เมื่อ

fr_{NH4} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนจากแอมโมเนียมในลำน้ำของสาหร่าย

$NH4_{str}$ คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)

$NO3_{str}$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)

ไนโตรทในลำน้ำ

ความเข้มข้นของไนโตรทที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (45)

$$\Delta NO2_{str} = (\beta_{N,1} \cdot NH4_{str} - \beta_{N,2} \cdot NO2_{str}) \cdot TT \quad (45)$$

เมื่อ

$\Delta NO2_{str}$ คือ ความเข้มข้นของไนโตรทที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)

$\beta_{N,1}$ คือ ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียโดยจุลินทรีย์ (วัน⁻¹)

$\beta_{N,2}$ คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนไนโตรทเป็นไนเตรท (วัน⁻¹)

$NH4_{str}$ คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)

$NO2_{str}$ คือ ความเข้มข้นของไนโตรทเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)

TT คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (วัน)

โดยที่ $\beta_{N,2} = \beta_{N,2,20} \cdot (1 - \exp[0.6 \cdot O_{N,2}]) \cdot 1.047^{(T_{water} - 20)}$ (46)

เมื่อ

$\beta_{N_2,20}$ คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นไนเตรทที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (วัน^{-1})

ON_{str} คือ ค่าออกซิเจนละลายน้ำในลำน้ำ (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร)

T_{water} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในลำน้ำ (องศาเซลเซียส)

ไนเตรทในลำน้ำ

ความเข้มข้นของไนเตรทที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่

(47)

$$\Delta NO3_{str} = (\beta_{N_2} \cdot NO2_{str} - (1 - fr_{NH_4}) \cdot \alpha_1 \cdot \mu_a \cdot algae) \cdot TT \quad (47)$$

เมื่อ

$\Delta NO3_{str}$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)

β_{N_2} คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นไนเตรท (วัน^{-1})

$NO2_{str}$ คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร)

fr_{NH_4} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนจากแอมโมเนียมในลำน้ำของสาหร่าย

α_1 คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสาหร่ายต่อไนโตรเจน (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อมิลลิกรัมสาหร่าย)

μ_a คือ อัตราการเจริญเติบโต (วัน^{-1})

$algae$ คือ ความเข้มข้นโดยมวลของสาหร่ายเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมโดยมวลของสาหร่ายต่อลิตร)

TT คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (วัน)

โดยที่

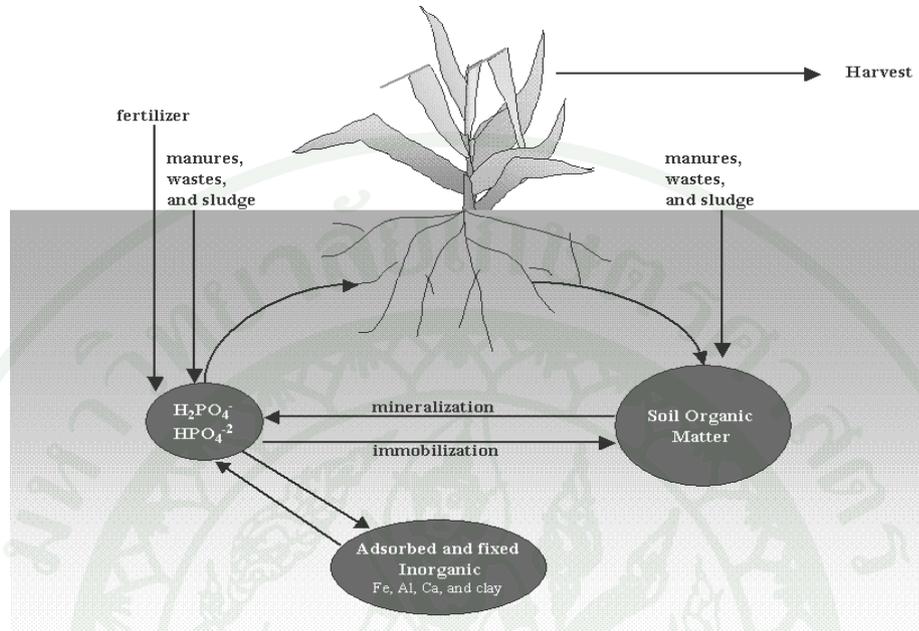
$$\mu_a = \mu_{a,20} \cdot 1.047^{(T_{water}-20)} \quad (48)$$

เมื่อ

$\mu_{a,20}$ คือ อัตราการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (วัน^{-1})

T_{water} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในลำน้ำ (องศาเซลเซียส)

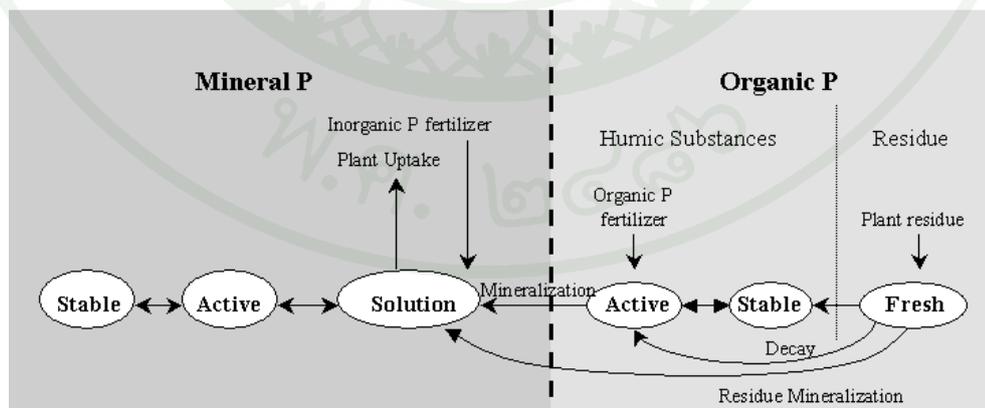
ปริมาณฟอสฟอรัสในลำน้ำของแบบจำลอง SWAT2000/GIS



ภาพที่ 11 แสดงรูปแบบต่างๆของฟอสฟอรัสของ SWAT Model

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Theoretical documentation version 2000, Page194 (2002).

PHOSPHORUS



ภาพที่ 12 แสดงรูปแบบต่างๆของฟอสฟอรัสของ SWAT Model

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Theoretical documentation version 2000, Page194 (2002).

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกชะพาลงสู่ลำน้ำ

1. ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดิน

ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดินสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (49)

$$P_{surf} = \frac{P_{solution, surf} \cdot Q_{surf}}{\rho_b \cdot depth_{surf} \cdot k_{d, surf}} \quad (49)$$

เมื่อ

P_{surf} คือ ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดิน (กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกแตร์)

$P_{solution, surf}$ คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่สามารถละลายน้ำได้ที่มืออยู่ในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกแตร์)

ρ_b คือ ค่าความหนาแน่นของชั้นดินในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (แมกโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$depth_{surf}$ คือ ความลึกจากผิวดิน (10 มิลลิเมตร)

$k_{d, surf}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนฟอสฟอรัสต่อดิน (ลูกบาศก์เมตรต่อแมกโครกรัม)

Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดิน (มิลลิเมตรน้ำ)

2. ปริมาณอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปตะกอนที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดิน

ปริมาณอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปตะกอนที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดินสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (50)

$$sedP_{surf} = 0.001 \cdot conc_{sed, P} \cdot \frac{sed}{area_{hru}} \cdot E_{P, sed} \quad (50)$$

เมื่อ

$sedP_{surf}$ คือ ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปตะกอนที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดิน (กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกแตร์)

$conc_{sed,P}$	คือ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตะกอนในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (กรัมฟอสฟอรัสต่อตันตะกอน)
sed	คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาโดยน้ำผิวดิน (ตัน)
$area_{hu}$	คือ พื้นที่ (เฮกแตร์)
$E_{P,sed}$	คือ สัดส่วนการถูกพัดพาของฟอสฟอรัสต่อตะกอน

โดยที่
$$conc_{sed,P} = 100 \cdot \frac{(orgP_{fresh,surf} + orgP_{hum,surf} + minP_{sta,surf} + minP_{act,surf})}{\rho_b \cdot depth_{surf}} \quad (51)$$

เมื่อ

$orgP_{fresh,surf}$	คือ ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในซากพืชซากสัตว์สดในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกแตร์)
$orgP_{hum,surf}$	คือ ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในซากพืชซากสัตว์ที่ย่อยสลายแล้วในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกแตร์)
$minP_{sta,surf}$	คือ ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปที่เสถียรในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกแตร์)
$minP_{act,surf}$	คือ ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่เสถียรในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อเฮกแตร์)
ρ_b	คือ ค่าความหนาแน่นของชั้นดิน (แมกโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
$depth_{surf}$	คือ ความลึกจากผิวดิน (10 มิลลิเมตร)

ค่าสัดส่วนการถูกพัดพาของฟอสฟอรัสต่อตะกอน

ค่าสัดส่วนการถูกพัดพาของฟอสฟอรัสต่อตะกอนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (52)

$$E_{P,sed} = 0.78 \cdot (conc_{sed,surq})^{-0.2468} \quad (52)$$

เมื่อ

$conc_{sed,surq}$	คือ ความเข้มข้นของตะกอนในน้ำท่าผิวดิน (แมกโครกรัมตะกอนต่อลูกบาศก์เมตรน้ำ)
-------------------	---

โดยที่

$$\text{conc}_{\text{sed,surf}} = \frac{\text{sed}}{10 \cdot \text{area}_{\text{hru}} \cdot Q_{\text{surf}}} \quad (53)$$

เมื่อ

sed คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาโดยน้ำผิวดิน (ตัน)

area_{hru} คือ พื้นที่ (เฮกแตร์)

Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำท่าผิวดิน (มิลลิเมตรน้ำ)

3. การเคลื่อนตัวผ่านทางน้ำของฟอสฟอรัส

อินทรีย์ฟอสฟอรัสในลำน้ำ

ความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (54)

$$\Delta \text{orgP}_{\text{str}} = (\alpha_2 \cdot \rho_a \cdot \text{algae} - \beta_{P,4} \cdot \text{orgP}_{\text{str}} - \sigma_5 \cdot \text{orgP}_{\text{str}}) \cdot TT \quad (54)$$

เมื่อ

ΔorgP_{str} คือ ความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำ (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร)

α₂ คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสาหร่ายต่อฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อมิลลิกรัมสาหร่าย)

μ₂ คือ อัตราการตายของสาหร่าย (วัน⁻¹)

algae คือ ความเข้มข้นโดยมวลของสาหร่ายเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมโดยมวลของสาหร่ายต่อลิตร)

β_{P,4} คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (วัน⁻¹)

orgP_{str} คือ ความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสฟอรัสเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร)

σ₅ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตกตะกอนของอินทรีย์ฟอสฟอรัส (วัน⁻¹)

TT คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (วัน)

โดยที่ $\beta_{P,4} = \beta_{P,4,20} \cdot 1.047^{(T_{\text{water}} - 20)}$ (55)

เมื่อ

$\beta_{P,3,20}$ คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (วัน⁻¹)

T_{water} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในลำน้ำ (องศาเซลเซียส)

และ $\sigma_5 = \sigma_{5,20} \cdot 1.024^{(T_{\text{water}} - 20)}$ (56)

เมื่อ

$\sigma_{5,20}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตกตะกอนของอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (วัน⁻¹)

T_{water} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในลำน้ำ (องศาเซลเซียส)

ฟอสฟอรัสละลายน้ำในลำน้ำ

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสละลายน้ำที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (57)

$$\Delta \text{solP}_{\text{str}} = (\beta_{P,4} \cdot \text{orgP}_{\text{str}} + \frac{\sigma_2}{(1000 \cdot \text{depth})} - \alpha_2 \cdot \mu_a \cdot \text{algae}) \cdot \text{TT} \quad (57)$$

เมื่อ

$\Delta \text{solP}_{\text{str}}$ คือ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสละลายน้ำที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำ (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร)

$\beta_{P,4}$ คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (วัน⁻¹)

orgP_{str} คือ ความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสฟอรัสเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร)

σ_2 คือ อัตราการเกิดฟอสฟอรัสละลายน้ำจากตะกอนในท้องน้ำ (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อตารางเมตรต่อวัน)

depth คือ ความลึกของน้ำในลำน้ำ (เมตร)

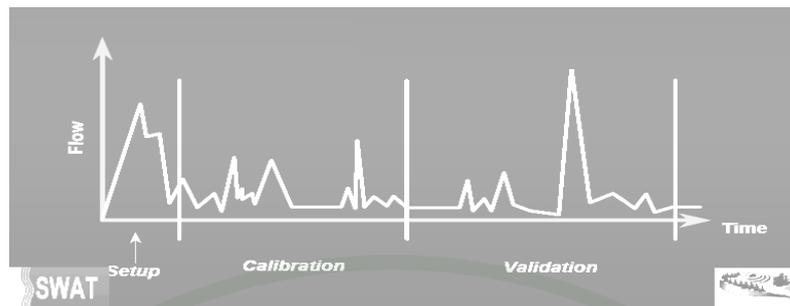
α_2	คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสาหร่ายต่อฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อ มิลลิกรัมสาหร่าย)
H_2	คือ อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (วัน ⁻¹)
$algae$	คือ ความเข้มข้นโดยมวลของสาหร่ายเริ่มต้นในลำน้ำ (มิลลิกรัมโดยมวลของ สาหร่ายต่อลิตร)
TT	คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (วัน)
โดยที่	$\sigma_3 = \sigma_{3,20} \cdot 1.074^{(T_{water}-20)}$ (58)
เมื่อ	
$\sigma_{3,20}$	คือ อัตราการเกิดแอมโมเนียจากตะกอนในท้องน้ำ (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)
T_{water}	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในลำน้ำ (องศาเซลเซียส)

แนวทางในการปรับเทียบค่าตามคู่มือ SWAT Calibration Techniques

การปรับเทียบข้อมูลและการประเมินประสิทธิภาพ

การปรับเทียบค่า คือการปรับค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องในแบบจำลองเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่มีการตรวจวัดจริงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อให้แบบจำลองสามารถประเมินหรือทำนาย ปริมาณน้ำท่า ตะกอน ธาตุอาหาร ได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ

การประเมินประสิทธิภาพ คือการใช้แบบจำลองที่ทำการปรับเทียบค่าแล้วมาใช้ประเมินหรือทำนายปริมาณน้ำท่า ตะกอน ธาตุอาหาร โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลอิสระที่ไม่ได้นำมาใช้ในการปรับเทียบ เพื่อประเมินประสิทธิภาพ ถูกต้อง แม่นยำ ของแบบจำลอง



ภาพที่ 13 แสดงการลำดับขั้นตอนการ นำเข้าข้อมูล การปรับเทียบ และการประเมิน ของ SWAT 2000 Model

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page3 (2002).

ขั้นตอนในการปรับเทียบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000

1. การปรับเทียบปริมาณน้ำท่า โดยมีขั้นตอนดังนี้
2. การปรับเทียบปริมาณตะกอน โดยการตรวจสอบและปรับเทียบสมมูลปริมาณตะกอน
3. การปรับเทียบปริมาณธาตุอาหาร โดยการตรวจสอบและปรับเทียบและธาตุอาหาร

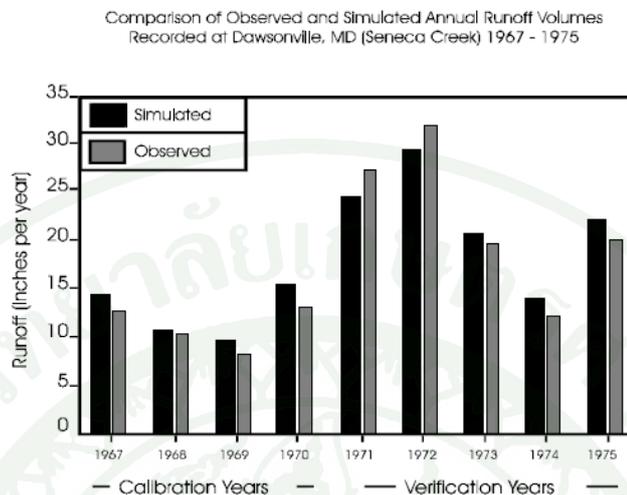
สถิติที่ใช้ในการปรับเทียบและประเมินประสิทธิภาพ

1. ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด
2. ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์ความแตกต่าง
3. ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ

ปัญหาและอุปสรรคในการปรับเทียบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

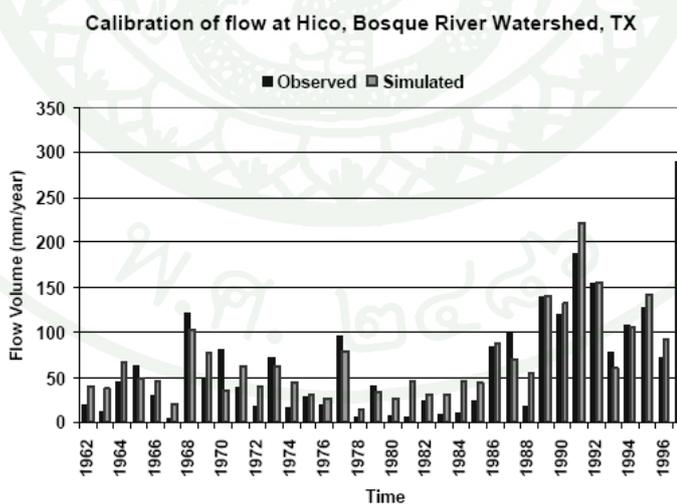
1. ข้อมูลที่มีการตรวจวัดและเก็บรวบรวมมีน้อยเกินไป
2. การปรับเทียบและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองไม่ได้ทดสอบอย่างเพียงพอ
3. การปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อปรับเทียบข้อมูลอาจไปทำลายโครงสร้างต่างๆในแบบจำลอง
4. การปรับแก้ตัวแปรผิดตัวแปร

1. การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำท่า



ภาพที่ 14 แสดงผลการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพที่ Dawsonville, MD (Seneca Creek) ปี 1967 – 1975 โดยแบบจำลอง SWAT

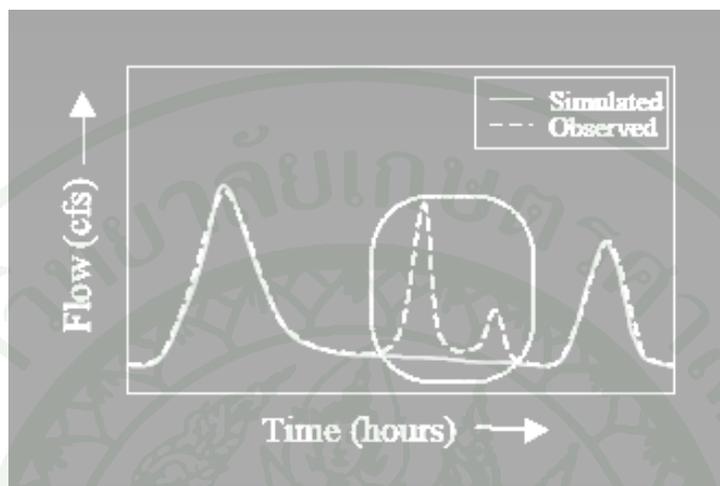
ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page12 (2002).



ภาพที่ 15 แสดงผลการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพที่ Hico, Bosque River Watershed, TX ปี 1962 – 1996 โดยแบบจำลอง SWAT

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page13 (2002).

1.1 กรณีข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองผิพลาตเมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้านค่าสูงสุดในบางช่วงเวลา



ภาพที่ 16 แสดงกรณีข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองผิพลาตเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้านค่าสูงสุดในบางช่วงเวลา

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page15 (2002).

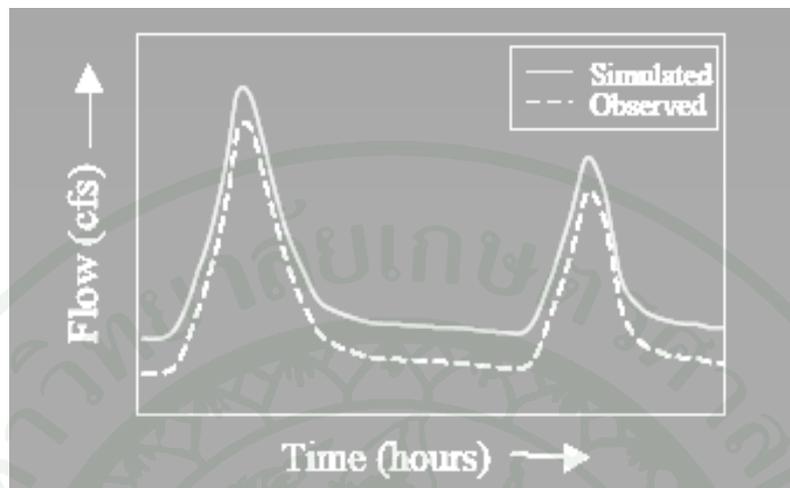
สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด

- สถานีตรวจวัดน้ำฝนที่นำเข้าแบบจำลองไม่เกี่ยวข้องกับพื้นที่
- ศึกษาแบบจำลองไม่ตอบสนองในช่วงที่มีฝนตกหนัก
- สถานีตรวจวัดน้ำฝนหรือสถานีตรวจวัดน้ำท่าผิดปกติ

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปร

- ใช้ข้อมูลน้ำฝนที่เป็นตัวแทนพื้นที่ศึกษาจากสถานีอุตุนิยมวิทยา
- ระมัดระวังในการตรวจสอบข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่าในช่วงเวลาดังกล่าว

1.2 กรณีข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง



ภาพที่ 17 แสดงกรณีข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page17 (2002).

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปรในกรณีปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงมี 2 ปัจจัยดังนี้

สาเหตุจากน้ำผิวดินมีปริมาณสูง

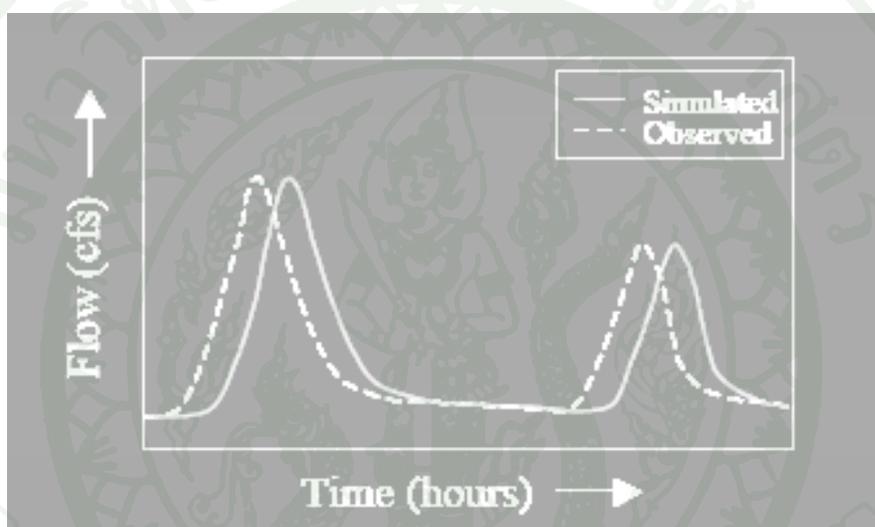
- ปรับลดค่า CN2 ในเรื่องการใช้ประโยชน์ที่ดินลง 10% (CN2 ใน .mgt.)
- ปรับเพิ่มค่าการอุ้มน้ำของดิน ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 0.04 (SOL_AWC ใน .sol)
- ปรับเพิ่มค่าการซดเชยการคายระเหยของดิน ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 1.0 (ESCO ใน .hru)

สาเหตุจากน้ำใต้ดินมีปริมาณสูงและ/หรือการคายระเหยน้อยเกินไป

- ปรับเพิ่มค่าปริมาณน้ำสะสมต่ำสุดใน shallow aquifer ที่เกิดการไหลกลับสู่ลำน้ำ (GWQMN ใน .gw)

- ปรับเพิ่มค่าปริมาณน้ำสะสมต่ำสุดใน shallow aquifer ที่เกิดการไหลกลับสู่ลำน้ำ (GW_REVAP ใน .gw ค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.40)
- ปรับลดค่าสัมประสิทธิ์การคายระเหยจาก shallow aquifer กลับสู่เขตรากพืช (REVAPMN ใน .gw ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.0)

1.3 กรณีช่วงเวลาระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงไม่สัมพันธ์กัน



ภาพที่ 18 แสดงกรณีช่วงเวลาระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงไม่สัมพันธ์กัน

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page20 (2002).

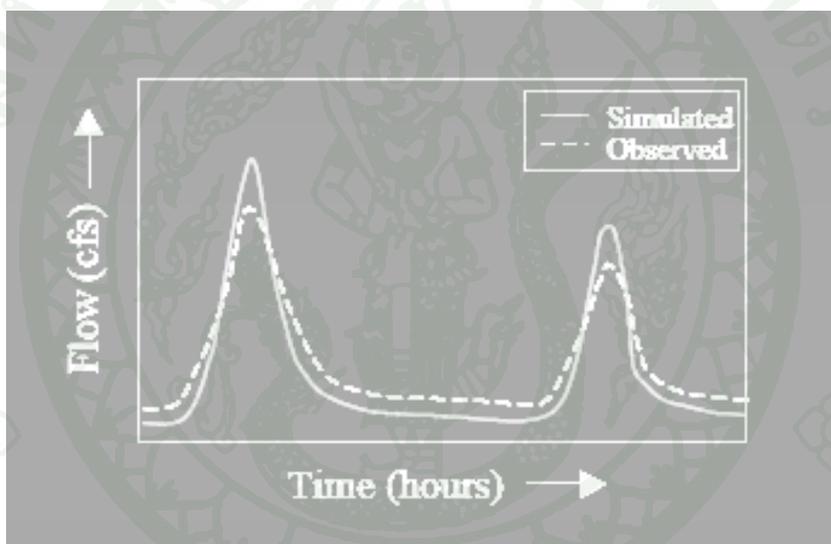
สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด

- ช่วงเวลาที่จะเกิดฝนตกปริมาณมากนานเกินไป
- ค่าความลาดชันของพื้นที่ในแบบจำลองน้อยกว่าพื้นที่จริง
- ค่าความขรุขระของผิวพื้นที่ในแบบจำลองมากเกินไป

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปร

- ปรับเพิ่มค่าความชัน ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 20% สำหรับปริมาณน้ำผิวดิน (SLOPE)
- ปรับลดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลงหลังจากตรวจสอบค่า OV_N ในตารางแล้ว (.hru)
- ปรับลดค่าความยาวในการไหลของน้ำผิวดินลง 5 - 10 เมตร ถ้าจำเป็น (SLSUBBSN)

1.4 กรณีตลอดช่วงเวลา ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ยกเว้นช่วงค่าสูงสุดที่ปริมาณน้ำท่าสูงกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง



ภาพที่ 19 แสดงกรณีตลอดช่วงเวลา ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ยกเว้นช่วงค่าสูงสุดที่ปริมาณน้ำท่าสูงกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page23 (2002).

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปร

- ปรับปริมาณน้ำผิวดิน โดยปรับลดค่า CN ปรับเพิ่มค่าการอุ้มน้ำของดิน (SOL_AWC)
- ปรับค่าการคายระเหยของดิน(ESCO)ปรับค่าตัวแปรน้ำใต้ผิวดินใน .gwt

2. การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนในลำน้ำ

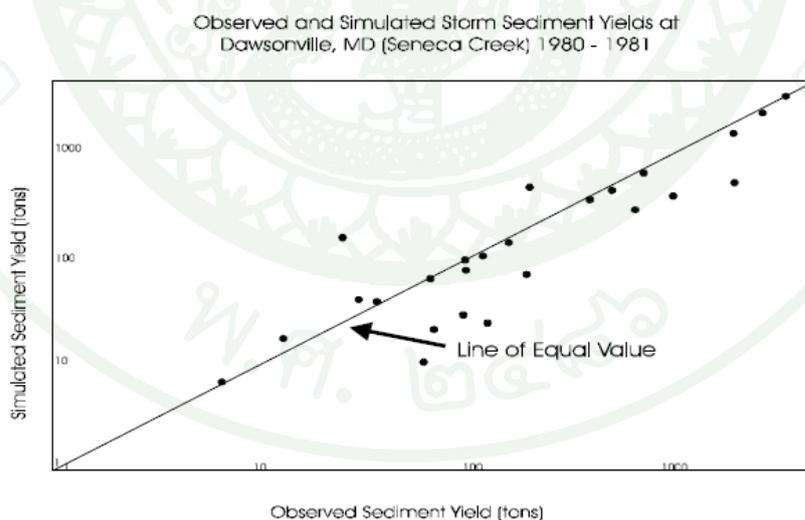
ข้อควรพิจารณาในการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนในลำน้ำ

แหล่งที่มาของตะกอน

- ตะกอนมาจากส่วนที่เป็นแผ่นดิน
- ตะกอนจากการชะล้างหรือการพัดพาตะกอนจากท้องน้ำในลำน้ำ

การกระจายตัวของการพัดพาตะกอนสู่ลำน้ำ

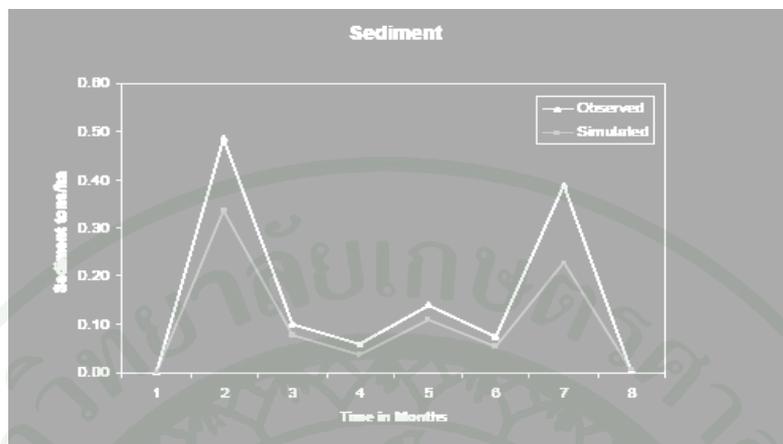
- ปริมาณตะกอนรวมทั้งหมด
- ช่วงเวลาในการเกิดตะกอนในลำน้ำ
- การเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้านอุทกวิทยาในลำน้ำ
- ช่วงที่ความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำ



ภาพที่ 20 แสดงผลการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพที่ Dawsonville, MD (Seneca Creek) ปี 1980 – 1981 โดยแบบจำลอง SWAT

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page25 (2002).

2.1 กรณีข้อมูลปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง



ภาพที่ 21 แสดงกรณีข้อมูลปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page26 (2002).

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปรตะกอนที่เกิดจากส่วนที่เป็นแผ่นดิน

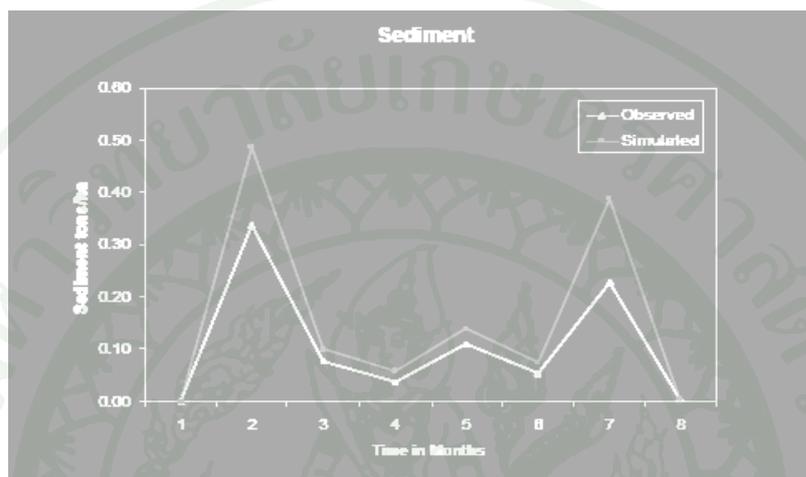
- ปรับเพิ่มค่าตัวแปรการจัดการพืช USLE (P) หลังจากตรวจสอบค่าในตาราง USLE เพื่อให้การปรับค่ามีการตอบสนอง (USLE_P ใน .sub)
- ปรับเพิ่มค่าตัวแปร Slope length ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 10 m (LS) (SLSUBBSN ใน .sub)
- ปรับเพิ่มความลาดชันของ HRUs ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 20% (SLOPE ใน .sub)

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปรตะกอนที่เกิดจากในลำน้ำ

- ปรับเพิ่มตัวแปร Linear และ Exponential ของตะกอนในลำน้ำโดย สามารถปรับตัวแปร Linear ได้ถึง 0.01 และ สามารถปรับตัวแปร Exponential ได้ถึง 2.0 (SPCON และ SPEXP ใน.bsn)
- ปรับเพิ่มค่าตัวแปรการชะพังของลำน้ำซึ่งสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0.3 – 0.4 ถ้าสามารถปรับได้ (CH_EROD ใน .rte)

- ปรับเพิ่มค่าตัวแปรสิ่งปกคลุมในลำน้ำซึ่งสามารถปรับได้ถึง 1.0 ถ้าในท้องน้ำไม่มีสิ่งปกคลุมเลย (CH_COV ใน .rte)

2.2 กรณีข้อมูลปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง



ภาพที่ 22 แสดงกรณีข้อมูลปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page30 (2002).

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปรตะกอนที่เกิดจากส่วนที่เป็นแผ่นดิน

- ปรับลดค่าตัวแปรการจัดการพืช USLE (P) หลังจากตรวจสอบค่าในตาราง USLE เพื่อให้การปรับค่ามีการตอบสนอง (USLE_P ใน .sub)
- ปรับลดค่าตัวแปร Slope length ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 10 m (LS) (SLSUBBSN ใน .sub)
- ปรับลดความลาดชันของ HRUs ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 20% (SLOPE ใน .sub)

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปรตะกอนที่เกิดจากในลำน้ำ

- ปรับเพิ่มตัวแปร Linear และ Exponential ของตะกอนในลำน้ำโดย สามารถปรับตัว

แปร Linear ได้ถึง 0.0005 และ สามารถปรับตัวแปร Exponential ได้ถึง 1.0 (SPCON และ SPEXP ใน.bsn)

- ปรับลดค่าตัวแปรการชะล้างของลำน้ำซึ่งสามารถปรับได้ถึง 0.1 ถ้าสามารถห้อมมีลักษณะเป็นหินหรือไม่มีการชะล้าง (CH_EROD ใน .rte)
- ปรับเพิ่มค่าตัวแปรสิ่งปกคลุมในลำน้ำซึ่งสามารถปรับได้ถึง 0.1 ถ้าในท้องน้ำมีพืชปกคลุม 100% (CH_COV ใน .rte)

3. การปรับเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ในลำน้ำ

ข้อควรพิจารณาในการปรับเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ในลำน้ำ

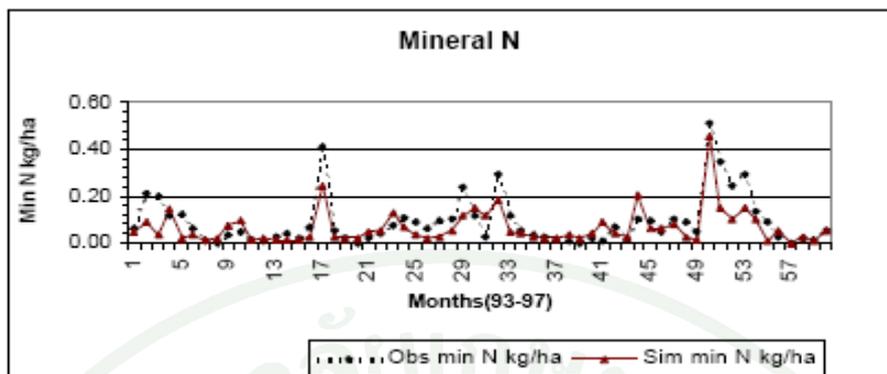
แหล่งที่มาของ Mineral Nitrogen

- Mineral Nitrogen มาจากส่วนที่เป็นแผ่นดิน
- Mineral Nitrogen จากการชะล้างหรือการพัดพาตะกอนจากท้องน้ำในลำน้ำ

การกระจายตัวของการการพัดพา Mineral Nitrogen สู่ลำน้ำ

- ปริมาณ Mineral Nitrogen รวมทั้งหมด
- ช่วงเวลาในการเกิด Mineral Nitrogen ในลำน้ำ
- การเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้านอุทกวิทยาในลำน้ำ
- ช่วงที่ความเข้มของตะกอนสูงสุดในลำน้ำ

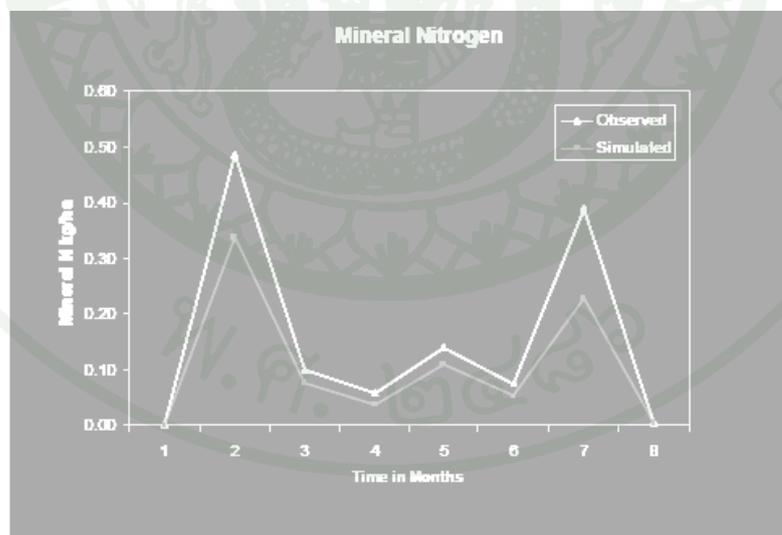
ซึ่งการเพิ่มหรือลดลงของปริมาณ Mineral Nitrogen จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในลำน้ำ เนื่องจากธาตุอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของตะกอน



ภาพที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพที่ Hico, Bosque River Watershed, TX ปี 1993 – 1997 โดยแบบจำลอง SWAT

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page34 (2002).

3.1 กรณีข้อมูลปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง



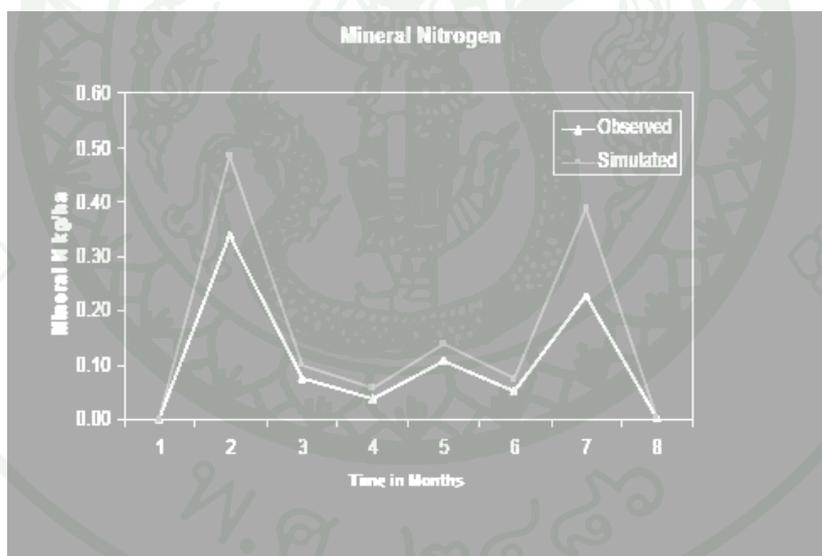
ภาพที่ 24 แสดงกรณีข้อมูลปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page35 (2002).

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปร Mineral Nitrogen

- ปรับเพิ่มค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_NO3 ใน .sol)
- ปรับเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถค่าตัวแปรได้ถึง 1.0 ถ้าพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้ปุ๋ย (FRT_LY1 ใน .mgt)
- ตรวจสอบการจัดการพื้นที่ใน .mgt ซึ่งปรับเพิ่มค่าการตกค้างของพืชบนพื้นที่หลังเก็บเกี่ยวได้ถึง 0.1 (RSDCO) และค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดินซึ่งสามารถปรับลดค่าได้ถึง 0.01 (BIOMIX ใน .bsn)ปรับเพิ่มค่าการไหลซึมของไนโตรเจนได้ถึง 1.0 (NPERCO ใน .bsn)

3.2 กรณีข้อมูลปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง



ภาพที่ 25 แสดงกรณีข้อมูลปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

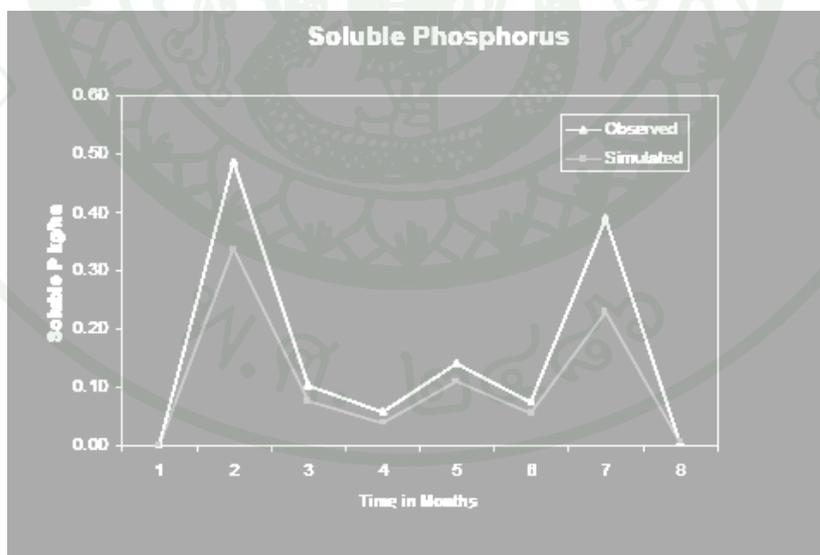
ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page37 (2002).

วิธีปรับแก้ตัวแปร Mineral Nitrogen

- ปรับลดค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ได้ถึงศูนย์ถ้าพิจารณาว่าเหมาะสม (SOL_NO3 ใน .sol)
- ปรับลดค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของปุ๋ยบนพื้นที่ ตรวจสอบการประยุกต์ใช้ปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับลดค่าตัวแปรได้ถึง 0.01 (FRT_LY1 ใน .mgt)
- ตรวจสอบการจัดการพื้นที่ใน .mgt ซึ่งปรับลดค่าการตกค้างของพืชบนพื้นที่หลังเก็บเกี่ยวได้ถึง 0.01 (RSDCO) และค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดินซึ่งสามารถปรับเพิ่มค่าได้ถึง 0.4 (BIOMIX ใน .bsn)
- ปรับลดค่าการไหลซึมของไนโตรเจนได้ถึง 0.01 (NPERCO ใน .bsn)

4. การเปรียบเทียบปริมาณ Total Phosphorus ในลำน้ำ

4.1 กรณีข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง



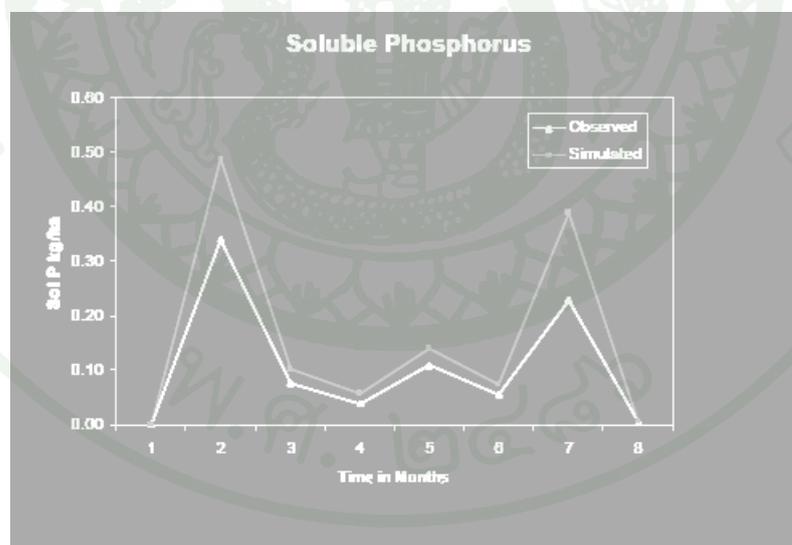
ภาพที่ 26 แสดงกรณีข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page43 (2002).

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปรฟอสฟอรัสละลายน้ำ

- ปรับเพิ่มค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ โดยสามารถเพิ่มระดับของฟอสฟอรัสได้ถึง 250 – 300 ppm หากมีการใส่ปุ๋ยอย่างต่อเนื่องกันหลายปี(SOL_MINP ใน .sol)
- ปรับเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับเพิ่มค่าตัวแปรได้ถึง 1.0 ถ้าพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้ปุ๋ย (FRT_LY1 ใน .mgt)
- ตรวจสอบการจัดการพื้นที่ใน .mgt ซึ่งปรับเพิ่มค่าการตกค้างของพืชบนพื้นที่หลังเก็บเกี่ยวได้ถึง 0.1 (RSDCO) และค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดินซึ่งสามารถปรับลดค่าได้ถึง 0.01 (BIOMIX ใน .bsn)
- ปรับลดค่าการไหลซึมของฟอสฟอรัสได้ถึง 10 (PPERCO ใน .bsn)
- ปรับลดค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสต่อตะกอนได้ถึง 100 (PHOSKD ใน .bsn)

4.2 กรณีข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง



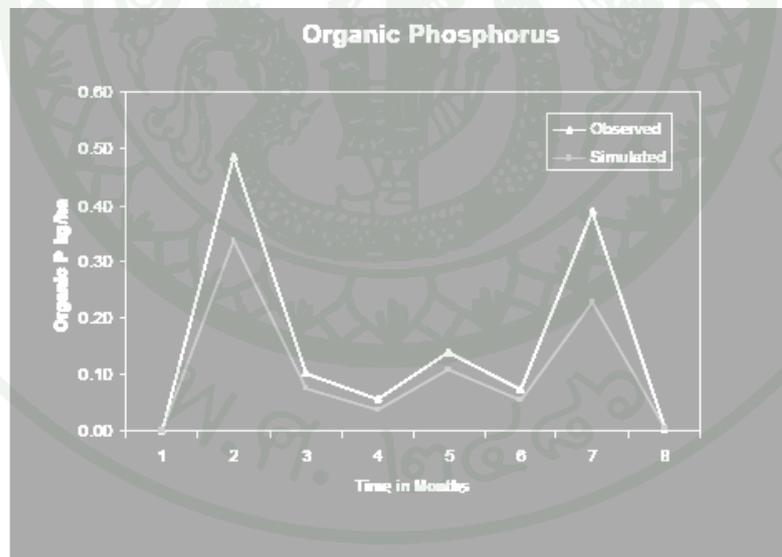
ภาพที่ 27 แสดงกรณีข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page43 (2002).

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปรฟอสฟอรัสละลายน้ำ

- ปรับลดค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ โดยสามารถลดระดับของฟอสฟอรัสได้ถึง ศูนย์ ถ้าเหมาะสม(SOL_MINP ใน .sol)
- ปรับลดค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับลดค่าตัวแปรได้ถึง 0.01 (FRT_LY1 ใน .mgt)
- ตรวจสอบการจัดการพื้นที่ใน .mgt ซึ่งปรับลดค่าการตกค้างของพืชบนพื้นที่หลังเก็บเกี่ยวได้ถึง 0.1 (RSDCO) และปรับลดค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดินซึ่งสามารถปรับได้ถึง 0.4 (BIOMIX ใน .bsn)
- ปรับเพิ่มค่าการไหลซึมของฟอสฟอรัสได้ถึง 20 (PPERCO ใน .bsn)
- ปรับเพิ่มค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสต่อตะกอนได้ถึง 200 (PHOSKD ใน .bsn)

4.3 กรณีข้อมูลปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง



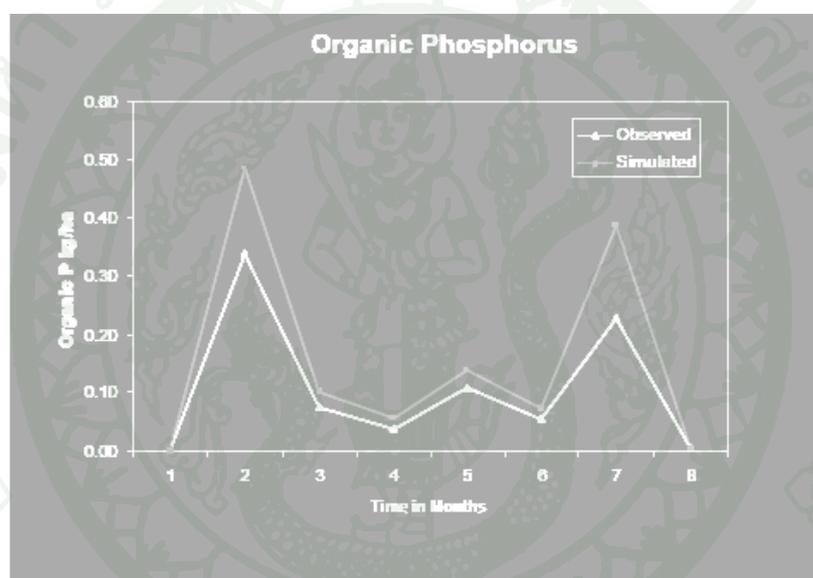
ภาพที่ 28 แสดงกรณีข้อมูลปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page49 (2002).

วิธีปรับแก้ค่าตัวแปรอินทรีย์ฟอสฟอรัส

- ปรับเพิ่มค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_ORGP ใน .sol)
- ปรับเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับเพิ่มค่าตัวแปรได้ถึง 1.0 ถ้าพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้ปุ๋ย (FRT_LY1 ใน .mgt)

4.4 กรณีข้อมูลปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง



ภาพที่ 29 แสดงกรณีข้อมูลปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ที่มา: Soil and Water Assessment Tool Calibration Techniques, Page51(2002).

วิธีปรับแก้ตัวแปรอินทรีย์ฟอสฟอรัส

- ปรับลดค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_ORGP ใน .sol)
- ปรับลดค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับลดค่าตัวแปรได้ถึง 0.01 ถ้าพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้ปุ๋ย (FRT_LY1 ใน .mgt)

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองSWAT2000/GIS

การประเมินผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง SWAT2000/GIS บนลุ่มน้ำอุ้มตะโกจากการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ตรวจวัดได้จริงจากสถานีโดยใช้สมการของ Nash and Sutcliffe (Wainwright and Mulligan, 2004:56) ดังสมการที่ (59)

$$NS = 1 - \frac{\sum_1^n (O_i - M_i)^2}{\sum_1^n (O_i - O_{avg})^2} \quad (59)$$

เมื่อ

NS คือ ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ

n คือ จำนวนชุดข้อมูล

O_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

M_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการจำลอง

หาก

NS เข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลมีค่าความถูกต้องมาก

NS เข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลมีค่าความถูกต้องน้อย

การประเมินความสัมพันธ์ของข้อมูลผ่านค่า Correlation Coefficient ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง $-1 > R > 1$ ดังสมการ (60)

$$R^2 = \frac{N \sum_1^n O_i M_i - \sum_1^n O_i \sum_1^n M_i}{\sqrt{[N \sum_1^n O_i^2 - (\sum_1^n O_i)^2][N \sum_1^n M_i^2 - (\sum_1^n M_i)^2]}} \quad (60)$$

เมื่อ

R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

N คือ จำนวนชุดข้อมูล

n คือ จำนวนชุดข้อมูล

O_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

M_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการจำลอง

หาก R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมาก
 R^2 เข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันน้อย

การประเมินความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ตรวจวัดได้จากสถานีผ่านค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ในรูปของร้อยละดังสมการที่ (61)

$$R = \frac{(O_{avg} - M_{avg})}{O_{avg}} \times 100 \quad (61)$$

เมื่อ

R คือ ค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ ซึ่งค่าที่ยอมรับได้ไม่ควรเกิน ± 10 เปอร์เซ็นต์

O_{avg} คือ ข้อมูลเฉลี่ยที่ได้จากการสำรวจ

M_{avg} คือ ข้อมูลเฉลี่ยที่ได้จากการจำลอง

ยูโทรฟิเคชัน

คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา (2541) ยูโทรฟิเคชันคือกระบวนการนำเสียของแหล่งน้ำจืดและน้ำเค็มออกซิเจน เนื่องจากน้ำมีธาตุอาหารพืชที่สำคัญ เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูง ทำให้พืชหรือจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อพืชหรือจุลินทรีย์นั้นตายลงและเกิดการเน่าเปื่อยจึงทำให้ออกซิเจนในน้ำหมดไป

OSPAR (1999) ยูโทรฟิเคชันคือความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุอาหารของแหล่งน้ำเป็นเหตุให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชชั้นสูงเพิ่มมากขึ้นจนก่อการรบกวนต่อสมดุลของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำและต่อคุณภาพน้ำ

Nedwell *et al.* (2002) โดยทั่วไปยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำสามารถบ่งชี้ได้จากปริมาณแพลงก์ตอนพืชที่วัดได้ในรูปของคลอโรฟิลล์เอหรือปริมาณผลผลิตขั้นต้น แหล่งน้ำที่เกิดยูโทรฟิเคชันนั้นจะมีความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอมากกว่า 10 มกค/ล.

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติพงษ์ (2549) ทำการประเมินการชะล้างพังทลายของดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยใช้แบบจำลอง Morgan, Morgan and Finney 1984 (MMF) และมีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือในการประมวลผล สำหรับข้อมูลที่ใช้ป้อนเข้าสู่แบบจำลองนั้นประกอบด้วย ปัจจัยด้านน้ำฝน ปัจจัยทางดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสภาพภูมิประเทศ ผลการชะล้างพังทลายของดินจากแบบจำลอง MMF แบ่งออกเป็น 5 ระดับตามความรุนแรง คือระดับ 1 น้อยมาก (0-2 ตัน/ไร่/ปี) มีเนื้อที่ 4,425,001 ไร่ หรือร้อยละ 92.25 ของพื้นที่ทั้งหมด ระดับ 2 น้อย (2-5 ตัน/ไร่/ปี) มีเนื้อที่ 210,729 ไร่ หรือร้อยละ 4.39 ของพื้นที่ทั้งหมด ระดับ 3 ปานกลาง (5-15 ตัน/ไร่/ปี) มีเนื้อที่ 147,919 ไร่ หรือร้อยละ 3.08 ของพื้นที่ทั้งหมด ระดับ 4 รุนแรง (15-20 ตัน/ไร่/ปี) มีเนื้อที่ 8,010 ไร่ หรือร้อยละ 0.17 ของพื้นที่ทั้งหมด และระดับ 5 รุนแรงมาก (> 20 ตัน/ไร่/ปี) มีเนื้อที่ 5,165 ไร่ หรือร้อยละ 0.11 ของพื้นที่ทั้งหมด และจากการเปรียบเทียบการชะล้างพังทลายของดินที่ประเมินโดยแบบจำลอง MMF กับสมการสูญเสียดินสากล พบว่าพื้นที่ที่มีระดับการชะล้างพังทลายทั้ง 5 ระดับตรงกันมีค่าเท่ากับ 3,535,965 ไร่ หรือร้อยละ 73.71 ของพื้นที่ทั้งหมด ในส่วนของปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่ลุ่มน้ำพบว่ามีความเท่ากับ 3,213,385 ตันต่อปี โดยเป็นปริมาณการสูญเสียดินจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยทางตะวันตกของทะเลสาบสงขลาเท่า 2,883,832 ตันต่อปี สำหรับปริมาณตะกอนแขวนลอยในคลองสายที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาทางฝั่งตะวันตก จากการศึกษาที่มีค่าเท่ากับ 247,248 ตันต่อปี เมื่อนำผลการศึกษาดังกล่าวมาคำนวณอัตราส่วนการพัดพาตะกอนพบว่าอัตราส่วนการพัดพาตะกอนของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.57

กิตติพงษ์ (2546) ได้ทำการศึกษาการประเมินสัมพันธภาพลำนํ้าย่อยของประเทศไทยด้วยข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศและแบบจำลองสารสนเทศ SWAT/GIS กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ต้นตอนบน อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ มีพื้นที่ประมาณ 1,500 ตารางกิโลเมตร โดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็น 7 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และ 10 หน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU, Hydrologic Response Unit) มีสถานีวัดน้ำทำเพื่อใช้ในการสอบเทียบ 2 สถานีคือ สถานี P64 (บ้านหลวง อ.อมก๋อย เชียงใหม่) และ สถานี PN-8 (บ้านป่าค่า อ.อมก๋อย เชียงใหม่) จากการศึกษาโครงสร้างข้อมูลของแบบจำลอง SWAT/GIS ได้พัฒนาโปรแกรม Data Analysis ขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการสอบเทียบ ผลการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองแสดงความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำ ณ สถานีวัดน้ำ บ้านหลวง P64. ได้ผลลัพธ์ดังนี้คือ 0.67%, -1.16%, 1.14%

และ ณ.สถานีวัดน้ำป่าคา PN.8 ได้ผลลัพธ์ดังนี้คือ -2.77%, 0.58%, -4.33% สำหรับค่า น้ำท่ารวม, น้ำท่าผิวดิน และ การไหลใต้ดิน

ไชยา (2535) แนวโน้มคุณภาพน้ำในอนาคตของทะเลสาบตอนนอกจากการศึกษาคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลาตอนนอก บริเวณแหลมทรายถึงบริเวณปากกรอ ตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2534 พบว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่าง ๆ อยู่ในช่วงดังนี้คือ พีเอช 7.1 – 8.0 อุณหภูมิของน้ำ 27.6 – 29.4 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งแขวนลอย 52.2 – 77.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมดละลายน้ำ 1,250.0 – 34,090.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 1,320.0 – 34,150.0 มิลลิกรัมต่อลิตร การนำ ไฟฟ้า 9,984 – 45,800 ไมโครซีเมนต์ ความเค็ม 0.6 – 29.7 พีพีที และปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ 5.16 – 7.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ในแต่ละพื้นที่และแต่ละช่วงปริมาณน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลาตอนนอก พ.ศ. 2534 นั้นค่าเฉลี่ยของพีเอช อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และปริมาณของแข็งแขวนลอย เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกเว้นบริเวณปากคลองอู่ตะเภา ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำค่อนข้างต่ำ และบริเวณปากคลองพะวงซึ่งมีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูงทำให้มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำบ้าง จากการใช้ข้อมูลทั้งในอดีตและปัจจุบันมาศึกษาแนวโน้มของคุณภาพน้ำของทะเลสาบสงขลา ตอนนอกในอนาคต พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและพีเอชมีแนวโน้มลดลง แต่ความเค็มมีแนวโน้มสูงขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำในอนาคตของทะเลสาบสงขลาตอนนอกมีแนวโน้มเสื่อมโทรมลง

นิคม (2547) ได้ทำการศึกษาธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัดมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชในทะเลสาบสงขลา โดยวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำรายเดือนระหว่างปี 2535 จนถึงปี 2546 ที่ได้จากสถานีเก็บตัวอย่างในทะเลสาบสงขลา 21 สถานี โดยแบ่งเป็นสามส่วน คือ ทะเลหลวง ทะเลสาบตอนกลาง และทะเลสาบตอนนอก และแบ่งฤดูกาลในรอบปีออกเป็นฤดูแล้ง (ก.พ.-เม.ย.) ฤดูฝนน้อย (พ.ค.-ต.ค.) และฤดูฝนชุก (พ.ย.-ม.ค.) จากการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอและธาตุอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ในทะเลสาบสงขลามากกว่าฤดูกาลคลอโรฟิลล์เอพบสูงสุดในทะเลหลวง เฉลี่ย 36.0 + 27.8 มกค./ล. ต่ำสุดในทะเลสาบตอนกลาง เฉลี่ย 10.5 + 10.7 มกค./ล. ไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำและฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำพบมีค่าสูงสุดในทะเลสาบตอนนอก เฉลี่ย 0.273 + 0.500 และ 0.021 + 0.039 มก./ล. ตามลำดับ ไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำพบมีค่าต่ำสุดในทะเลหลวง เฉลี่ย 0.063 + 0.069 มก./ล. ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ละลายน้ำพบมีค่าต่ำสุดในทะเลหลวงและทะเลสาบตอนกลาง เฉลี่ย 0.005 + 0.005 และ

0.005 + 0.006 มก./ล. ตามลำดับไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำ ไนโตรเจนอินทรีย์ในอนุภาค ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัส อินทรีย์ละลายน้ำ ฟอสฟอรัสในอนุภาค และฟอสฟอรัสรวมพบมีค่าสูงสุดในทะเลหลวง เฉลี่ย $0.36 + 0.14$, $0.27 + 0.19$, $0.70 + 0.29$, $0.027 + 0.026$, $0.059 + 0.054$ และ $0.089 + 0.063$ มก./ล. ตามลำดับ และพบมีค่าต่ำสุดในทะเลสาบตอนกลางสำหรับไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำไนโตรเจนอินทรีย์ในอนุภาค ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสในอนุภาค และฟอสฟอรัสรวม เฉลี่ย $0.028 + 0.014$, $0.09 + 0.08$, $0.42 + 0.16$, $0.037 + 0.033$ และ $0.063 + 0.045$ มก./ล. ตามลำดับ ส่วนฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำพบมีค่าต่ำสุดในทะเลสาบตอนกลางและทะเลสาบตอนนอก เฉลี่ย $0.024 + 0.021$ และ $0.024 + 0.023$ มก./ล. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในทะเลสาบสงขลาพบอยู่ในรูปสารอินทรีย์ละลายน้ำและในรูปอนุภาคเป็นส่วนใหญ่ ไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำและไนโตรเจนอินทรีย์ในอนุภาคมีส่วนรวมกันมากกว่า 75% ของไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสในอนุภาคและฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำมีส่วนรวมกันมากกว่า 80% ฟอสฟอรัสรวม จากการศึกษาธาตุอาหารจำกัดโดยใช้ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำและสัดส่วนไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำต่อฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำ (ในรูปอะตอม) เป็นเกณฑ์ พบว่า ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่ควบคุมมวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชในทะเลสาบสงขลา สอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์กับฟอสฟอรัส อินทรีย์ละลายน้ำและฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งให้เห็นว่า การเพิ่มสูงขึ้นของฟอสฟอรัสเป็นต้นเหตุสำคัญของการเกิดยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลาส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ เช่น ทำให้ออกซิเจนละลายและพีเอชในตอนกลางวันเพิ่มสูงขึ้น ขณะเดียวกันค่าความโปร่งใสของน้ำลดลง เป็นต้น ดังนั้นการจัดการยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลาควรมุ่งเน้นไปที่การลดความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลายน้ำให้ต่ำกว่า 0.005 มก./ล. และควบคุมสัดส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (ในรูปอะตอม) ให้สูงกว่า 22 : 1 ซึ่งจะช่วยให้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอมีค่าต่ำช่วยป้องกันและลดการเกิดยูโทรฟิเคชันได้

ทรงวุฒิ (2545) ทำการศึกษาสมดุลน้ำในลุ่มน้ำอู่ตะเภา ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลที่สถานีวัดปริมาณน้ำท่าสถานี x.90 ของกรมชลประทานเป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับผลการศึกษาด้วยแบบจำลอง WUSMO version 5.0 โดยนำค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนใน 5 ปี สุดท้ายของผลการศึกษาจากแบบจำลอง (Calculated) เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าจากสถานี x.90 ในช่วง 5 ปีสุดท้ายของข้อมูลทั้งหมด (Observed)

ลิมป์ชัย (2549) การศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อจำลองเหตุการณ์ในการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยการวิเคราะห์ใช้หลักการความสมดุลของน้ำ (Water Balance) เพื่อศึกษาศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุน และความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ความขาดแคลนน้ำหรือความพอเพียงของปริมาณน้ำต้นทุนกับความต้องการ ใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ การประเมินประเมินศักยภาพปริมาณน้ำต้นทุนของแต่ละลุ่มน้ำย่อย ในการศึกษาครั้งนี้โดยใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าโดยมีเกณฑ์เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (Nash and Sutcliffe), ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสัมพัทธ์ (Relative Difference in Percentages) ผลการเทียบปรับในสามลุ่มน้ำที่มีสถานีวัด ได้แก่ คลองนาท่อม ท่าเขียด และอุตะเกา พบว่าค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ มีค่า 17.29%, 2.18% และ-4.51% ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้นั้นมีค่า 0.70, 0.56 และ 0.73 ตามลำดับ และค่า Nash-Sutcliffe ที่ได้นั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.68, 0.50 และ 0.65 ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองสามารถจำลองปริมาณน้ำท่าได้ดี เนื่องจากมีสถานีน้ำฝนครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำทำให้ได้ข้อมูลน้ำฝนที่เป็นตัวแทนที่ดีเพียงพอของพื้นที่ลุ่มน้ำที่พิจารณาในลุ่มน้ำย่อยคลองอุตะเกา รองลงมาได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยคลองนาท่อม และคลองท่าเขียดตามลำดับ

United States Department of Agriculture (2003) การใส่ฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยสำหรับผลผลิตพืชและการดำรงชีวิตอยู่ด้านการเกษตร การดำเนินกิจการฟาร์มในหลายๆพื้นที่ ได้สร้างความไม่สมดุลในเรื่องฟอสฟอรัส ในพื้นที่ เมื่อฟอสฟอรัสที่ใช้อยู่ในระดับที่เกินความต้องการของพืช และทำให้มีศักยภาพในการถูกชะโดยน้ำผิวดิน ฟอสฟอรัสที่พาออกไปกับน้ำผิวดิน จะเป็นตัวเร่งให้เกิดยูโทรฟิเคชั่น การเติบโตอย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นของพืช

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. Notebook Computer : Centrino core II Duo 2.0 GHz
2. RAM 1 GB
3. Microsoft Windows Vista home premium
4. เนื้อที่ใน Hard Disk 160 MB
5. จอภาพ VGA 256 MB
6. GIS Software : ArcView 3.3
7. ชุดโปรแกรม Microsoft Office 2007
8. ArcView Extension
 - Spatial Analyst
 - 3D Analysis
 - Spatial tool
 - Projector
 - Image register
9. โปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศ SWAT 2000/GIS
10. แผนที่ภูมิประเทศจังหวัดพัทลุง จังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราชมาตรา 1:50,000
11. ข้อมูลทุติยภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ของบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกา
12. ข้อมูลทุติยภูมิอุตุ-อุทกของบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกา
13. ข้อมูลทุติยภูมิคุณภาพน้ำในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกา

วิธีการ

1. การรวบรวมและเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลในแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

1.1 ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการนำเข้าแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

1.1.1 ข้อมูลแผนที่ระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM) โดยแหล่งข้อมูลจากคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล เนื่องจากระบบ Windows Vista จะใช้พื้นที่หน่วยความจำมากทำให้การประมวลผลค่อนข้างช้าและผิดพลาดบ่อย จึงเลือกใช้ DEM ขนาดเซลล์เท่ากับ 500 เมตร

1.1.2 ข้อมูลของดิน (Soil Map) บนพื้นที่ลุ่มน้ำอู่ตะเภา โดยแหล่งข้อมูลจากคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของดิน คุณลักษณะของดิน และคุณสมบัติต่างๆของดินบนพื้นที่ลุ่มน้ำอู่ตะเภา เช่น การอุ้มน้ำ เปอร์เซ็นต์คาร์บอนในดิน เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณการไหลของน้ำท่า ปริมาณตะกอน ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสในลำน้ำที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

- ข้อมูลคุณลักษณะ คุณสมบัติดินบนลุ่มน้ำ
- ข้อมูลแผนที่ดิน (Shap file)
- ข้อมูลเชื่อมต่อระหว่างแผนที่ดินกับฐานข้อมูลดิน (Text file)

1.1.3 ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use/Land Cover Map) บนพื้นที่ลุ่มน้ำอู่ตะเภา โดยแหล่งข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน เป็นข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์บนพื้นที่ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณการไหลของน้ำท่า ปริมาณตะกอน ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสในลำน้ำ ซึ่งบนลุ่มน้ำอู่ตะเภาโดยข้อมูลแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

- ข้อมูลแผนที่ดิน (Shap file)
- ข้อมูลเชื่อมต่อระหว่างแผนที่ดินกับฐาน
- ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Text file)

1.1.4 ข้อมูลเส้นแนวลำน้ำ (Stream Burn in Theme) เป็นข้อมูลเกี่ยวกับทิศทางในการไหลของน้ำในลำน้ำ (Shape file) ซึ่งข้อมูลแผนที่เส้นแนวลำน้ำสามารถสร้างขึ้นได้เองจากแผนที่ DEM ที่นำเข้าแบบจำลองโดยแบบจำลองจะทำการลากเส้น (Delineation) แนวลำน้ำโดยการใช้ Spatial Analysis Tool ของ GIS Software ทั่วไป แต่ถ้าขนาดความละเอียดถูกต้องของแผนที่ DEM มีค่าความผิดพลาดอยู่สูงจะทำให้การลากเส้นแนวลำน้ำอาจจะคลาดเคลื่อนจากแนวสภาพลำน้ำจริงได้ ถ้าเมื่อทำการลากเส้นแนวลำน้ำแล้วแนวลำน้ำต่างจากความเป็นจริงมาก ๆ จึงมีความจำเป็นต้องแนวลำน้ำจริงจากการ Digitize ช่วยเพื่อเพิ่มความละเอียดถูกต้องของข้อมูลให้มากยิ่งขึ้น

1.1.5 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Climate Data) ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ การระเหย ค่าความชื้น และความเร็วลม จากกรมอุตุนิยมวิทยาทั้งหมด 4 สถานีคือ จังหวัดสงขลาปี พ.ศ. 2520-2551 สนามบินหาดใหญ่ปี พ.ศ. 2487-2551 อากาศเกษตร คอหงส์ปี พ.ศ. 2520-2551 และอำเภอเมือง จังหวัดพัทลุงปี พ.ศ. 2525-2551 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อจำลองสภาพอากาศ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมต่างๆของสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต บนพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในลำน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลาบริเวณปากคลองอุตะเกา

1.1.6 ข้อมูลน้ำฝนรายเดือน 30 ปีย้อนหลัง (พ.ศ.2522-2551) ทั้งหมด 16 สถานี ซึ่งสถานีตรวจวัดน้ำฝนจะอยู่บนพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกาและบริเวณใกล้เคียง เป็นข้อมูลที่ใช้ประมวลผลเพื่อจำลองด้านน้ำฝนที่ตกบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกาในในช่วงเวลาต่างๆที่ต้องการศึกษา ทั้งในด้านปริมาณน้ำฝน ความถี่ฝน ช่วงเวลาที่ฝนตก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่า รวมไปถึงการชะล้างตะกอนและธาตุอาหารลงสู่ทะเลสาบสงขลาบริเวณปากคลองอุตะเกา

1.1.7 ข้อมูลการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสมมูลน้ำบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าต้นทุนแล้ว อาจจะไม่มีการกระทบต่อปริมาณน้ำท่าที่ยังคงเหลือ แต่เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นจึงนำมาใช้ในแบบจำลองด้วย

1.2 ข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

1.2.1 ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่า ตำแหน่ง และปริมาณน้ำท่า 30 ปีย้อนหลัง (พ.ศ.2522-2551) ณ สถานี x.90 บนลุ่มน้ำอุ้มตะเกา โดย 24 ปีแรกใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง 6 ปีหลังใช้เพื่อประเมินความถูกต้อง แม่นยำ ด้านปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาบริเวณปากคลองอุ้มตะเกา

1.2.2 ข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ ตำแหน่ง และดัชนีคุณภาพน้ำ 10 ปีย้อนหลัง (พ.ศ.2542-2551) ณ สถานี SK10 บนลุ่มน้ำอุ้มตะเกา โดย 5 ปีแรกใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณตะกอน ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัส ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง 5 ปีหลังใช้เพื่อประเมินความถูกต้อง แม่นยำ ด้านปริมาณตะกอน ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณฟอสฟอรัสที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาบริเวณปากคลองอุ้มตะเกา

ตารางที่ 8 แสดงที่มาและวัตถุประสงค์ของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ชนิดข้อมูล	แหล่งที่มา	วัตถุประสงค์
ข้อมูล Digital Elevation Model (DEM)	คณะสิ่งแวดล้อมฯ ม.มหิดล	จำลองทิศทางการไหลของน้ำท่า
อุตุนิยมวิทยา	กรมอุตุนิยมวิทยา	เพื่อใช้ในการทำนายสภาพอากาศ
ข้อมูลน้ำฝน	กรมชลประทาน	เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า
ข้อมูลน้ำท่า	กรมชลประทาน	เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า
ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและแผนที่ดิน	คณะสิ่งแวดล้อมฯ ม.มหิดล	ใช้ในการประมวลผลการตอบสนองด้านอุทกวิทยา
ข้อมูลคุณภาพน้ำที่สถานี SK10	กรมควบคุมมลพิษ	เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับปริมาณตะกอน Mineral Nitrogen และ Total Phosphorus

2. ใช้โปรแกรม SWAT 2000/GIS (Soil and Water Assessment Tool version 2000) ในการประเมินด้านคุณภาพน้ำบนลุ่มน้ำ

2.1 เปิดโปรแกรม ArcviewGIS 3.3 > extension > AVSWAT2000

2.2 นำเข้าฐานข้อมูลภูมิข้อมูลที่รวบรวมประมวลผลของแบบจำลอง โดยเลือก Edit SWAT Database ในหน้าแรกของแบบจำลอง

2.2.1 นำเข้าข้อมูลดิน โดยการพิมพ์ข้อมูลเข้าในหัวข้อ User Soils

2.2.2 นำเข้าข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาโดยการพิมพ์ข้อมูลเข้าในหัวข้อ User Weather Stations

2.2.3 นำเข้าข้อมูลพืชที่มีอยู่บนลุ่มน้ำโดยการพิมพ์ข้อมูลเข้าในหัวข้อ LandCover /PlantGrowth

2.2.4 นำเข้าข้อมูลปุ๋ยโดยการพิมพ์ข้อมูลเข้าในหัวข้อ Fertilizer

เมื่อนำเข้าข้อมูลครบแล้วให้เลือก New Project เพื่อสร้างแบบจำลองในพื้นที่ที่ศึกษา ก็คือลุ่มน้ำอุ้มตะเกา

2.3 นำข้อมูลเพื่อประมวลผลเส้นลำน้บบนลุ่มน้ำในหน้า Watershed Delineation

2.3.1 นำเข้าข้อมูลแผนที่ความสูงต่ำของพื้นที่ที่อิเล็กทรอนิกส์ (DEM, Digital Elevation Model) ของลุ่มน้ำอุ้มตะเกา โดยเลือก Load the Dem grid > Load Dem grid from disk > dem_slb500m > OK

2.3.2 กำหนดคุณสมบัติของแผนที่ความสูงต่ำ

- เลือก > Properties กำหนดให้ Z unit และ XY unit เป็น meter
- เลือก > Projection > OK > แบบจำลองถามว่าต้องการปรับค่าใช่หรือไม่

เลือก Yes

- เลือก Custom Projection > Category > UTM 1983, Type > Zone 47

2.3.3 นำเข้าข้อมูลขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะเกา (Polygon Shape file)

- เลือก add theme > Utapao.shp
- เลือกช่องด้านหน้า Focusing watershed area option > Select boundry

from Watershed View > Utapao.shp

2.3.4 นำเข้าข้อมูลเส้นลำน้ำ (Line Shape file) โดยเลือกช่องด้านหน้า Burn_in option > Digitized Stream Network > Load from disk > Streamutapao.shp > Apply

2.3.5 กำหนดความละเอียดของเส้นลำน้ำบนลุ่มน้ำเลือก 3800 ha > Apply

2.3.6 นำเข้าข้อมูลสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า คุณภาพน้ำ (Point Shape file) โดยเลือก Add by table > Outletstation.dbf > OK

2.3.7 ตรวจสอบหมายเลข Subbasin ที่สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า คุณภาพน้ำเป็นจุดทางออก (Outlet) จากแผนที่แบบจำลอง เพื่อใช้เทียบหาข้อมูลปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำจากตารางผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

2.3.8 กำหนดจุดออกสุดท้ายของเส้นลำน้ำบนลุ่มน้ำที่หัวข้อ Whole Watershed Outlet (s) โดยเลือก Select > เลือกจุดออกสุดท้ายที่ต้องการ ในที่นี้เลือกปากทางออกลุ่มน้ำอุตะเภา > Yes > Apply

2.4 นำเข้าข้อมูลดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเลือกเมนู Avswat > Land Use and Soil Definition

2.4.1 นำเข้าข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Grid file) โดยเลือก Load Land Use Theme and Clip on the watershed > Load Landuse theme(s) from disk > Grid > Yes > lugrd_utapao > OK

2.4.2 นำเข้าตารางเชื่อมต่อระหว่างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินกับฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Text file) โดยเลือกที่หัวข้อ Lookup Table Grid Values Land cover classes เลือกที่ Load and Apply Land Use Look Up table > User table > .text file > landuse_utapao.txt > OK > Reclassify

2.4.3 นำเข้าข้อมูลแผนที่ดิน (Grid file) โดยเลือก Load Soil Theme and Clip on the watershed > Load Soil theme(s) from disk > Grid > Yes > soilgrd_slb > OK

2.4.4 นำเข้าตารางเชื่อมต่อระหว่างแผนที่ดินกับฐานข้อมูลดิน (Text file) โดยเลือกที่หัวข้อ Lookup Table Grid Values Soil attributes เลือกที่ Load and Apply Soil Look Up table > User table > .text file > soilslb.txt > OK > Reclassify

2.4.5 ซ้อนทับระหว่างข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินกับข้อมูลแผนที่ดินโดยเลือกที่ Overlay

2.5 การปรับค่าการตอบสนองทางอุทกวิทยาโดยเลือกเมนู Avswat > HRUs Distribution > Multiple Hydrologic Response Units โดยกำหนดให้พื้นที่การใช้ประโยชน์ของที่ดินเป็น 20% และพื้นที่ชนิดของดินเป็น 10% ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

2.6 นำเข้าข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาโดยเลือกเมนู Input > Weather Stations

2.6.1 นำเข้าข้อมูลสถานีตรวจวัดน้ำฝน โดยเลือกที่หัวข้อ Rainfall data > Raingages > Location table > pcp_station.dbf > OK

2.6.2 นำเข้าข้อมูลสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ โดยเลือกที่หัวข้อ Weather simulation data > Custom database > Location table > weat_station.dbf > OK > OK

2.7 ประมวลผลข้อมูลที่นำเข้าเลือกเมนู Input > Write All

- แบบจำลองถามว่าแน่ใจหรือไม่ที่จะ Write All เลือก Yes
- แบบจำลองถามว่าค่า Manning's "n" ในเส้นลำน้ำของกลุ่มน้ำสาขามีค่าเท่ากับ 0.014 ต้องการเปลี่ยนหรือไม่ตอบ NO
- แบบจำลองถามว่าค่า Manning's "n" ในเส้นลำน้ำของกลุ่มน้ำหลักมีค่าเท่ากับ 0.014 ต้องการเปลี่ยนหรือไม่ตอบ NO
- แบบจำลองถามว่าจะประเมินสิ่งปกคลุมพื้นที่โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศในแต่ละ

พื้นที่ใช้หรือไม่ตอบ Yes > OK

2.8 นำเข้าหรือปรับแก้ค่าตัวแปรบนลุ่มน้ำย่อยบนลุ่มน้ำอุทกเงาะ ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอน และวิธีการปรับแก้เพื่อการปรับเทียบแบบจำลองเช่นเดียวกันโดยเลือกเมนู Edit Input > Subbasins data ซึ่งประกอบด้วยฐานข้อมูลต่างๆดังนี้

2.8.1 ฐานข้อมูลดิน (.sol)

2.8.2 ฐานข้อมูลสภาพอากาศ (.wgn)

2.8.3 ฐานข้อมูลทั่วไปของลุ่มน้ำสาขา (.sub)

2.8.4 ฐานข้อมูลการตอบสนองทางอุทกวิทยา (.hru)

2.8.5 ฐานข้อมูลทางกายภาพของลุ่มน้ำ (.rte)

2.8.6 ฐานข้อมูลน้ำใต้ดิน (.gw)

2.8.7 ฐานข้อมูลการใช้น้ำบนลุ่มน้ำ (.wus)

2.8.8 ฐานข้อมูลการจัดการหรือการใช้ประโยชน์พื้นที่ลุ่มน้ำ (.mgt)

2.8.9 ฐานข้อมูลด้านธาดอาหารบนลุ่มน้ำ (.chm)

2.8.10 ฐานข้อมูลคุณภาพน้ำตั้งต้น (.swq)

2.9 การประมวลผลจากข้อมูลที่นำเข้าและปรับแก้โดยเลือกเมนู Simulation > Run Swat

2.9.1 กำหนดช่วงเวลาในการประมวลผลในแบบจำลองโดยเลือกเวลาเริ่มต้นคือ January / 1 / 1979 และเวลาสุดท้ายคือ December / 31 / 2002

2.9.2 เลือกใช้สมการ Penman-Monteith Method ในการจำลองด้านสภาพอากาศ

2.9.3 เลือกความถี่ (Printout frequency) คือ Monthly

2.9.4 ประมวลผลโดยเลือก Setup Swat Run เมื่อแบบจำลองถามว่าต้องการตั้งค่าอีกครั้งหรือไม่ เลือก No

2.10 อ่านผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองในตาราง Swat-Rch

ซึ่งภาพขั้นตอนการการใช้งานแบบจำลอง SWAT 2000 แสดงดังภาพผนวก จ

3. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองหลังจากปรับแก้ค่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า ตะกอน และธาตุอาหารกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

เมื่อผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองยังไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงเพียงพอ ให้ไปที่ข้อที่ 2.8 เพื่อทำการปรับแก้ค่าตัวแปรตามแนวทางในการปรับเทียบค่าในคู่มือ SWAT Calibration Techniques ซึ่งมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

3.1 เปรียบเทียบการไหลในลำน้ำ (Water balance and Stream flow) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า 24 ปีแรก (พ.ศ.2522-2545) ณ สถานี x.90 บนลุ่มน้ำอุ้มตะเกา

3.1.1 กรณีข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

สาเหตุจากปริมาณน้ำผิวดิน (Surface runoff) สูง

- ปรับลดค่า CN ในเรื่องการใช้ประโยชน์ที่ดินลง 10% (CN ใน .mgt.)
- ปรับเพิ่มค่าการอุ้มน้ำของดิน ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 0.04 (SOL_AWC ใน .sol)
- ปรับเพิ่มค่าการซดเชยการคายระเหยของดิน ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 1.0 (ESCO ใน .hru)

- ปรับเพิ่มค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำสาขาบนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยซึ่งสามารถปรับได้ถึง 30 (CH_N1 ใน .sub)
- ปรับเพิ่มค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำหลักซึ่งสามารถปรับได้ถึง 0.3 (CH_N2 ใน .rte)

สาเหตุจากปริมาณน้ำไหลใต้ผิวดิน (Base flow) สูง

- ปรับเพิ่มค่าปริมาณน้ำสะสมต่ำสุดใน shallow aquifer ที่ทำให้เกิดการไหลกลับสู่ลำน้ำ (GWQMN ใน .gw)
- ปรับลดค่าปริมาณน้ำสะสมต่ำสุดใน shallow aquifer ที่ทำให้เกิดการคายระเหยจาก shallow aquifer กลับสู่เขตรากพืช (REVAPMN ใน .gw ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.0)
- ปรับเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การคายระเหยจาก shallow aquifer กลับสู่เขตรากพืช (GW_REVAP ใน .gw ค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.40)

3.1.2 กรณีช่วงเวลาระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงไม่สัมพันธ์กัน

- ปรับเพิ่มค่าความชัน ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 20% สำหรับปริมาณน้ำผิวดิน (SLOPE)
- ปรับลดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลงหลังจากตรวจสอบค่า OV_N ในตารางแล้ว (.hru)
- ปรับลดค่าความยาวในการไหลของน้ำผิวดินลง 5 - 10 เมตร ถ้าจำเป็น (SLSUBBSN)

3.1.3 กรณีตลอดช่วงเวลา ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ยกเว้นช่วงค่าสูงสุดที่ปริมาณน้ำท่าสูงกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

- ปรับปริมาณน้ำผิวดินโดยปรับลดค่า CN ปรับเพิ่มค่าการอุ้มน้ำของดิน และปรับค่าการคายระเหยของดิน

เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ได้จากแบบจำลองในตาราง Swat-Rch ซึ่งกำหนดช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2522 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2545 กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้สมการที่ (59) (60) และ (61) ในการประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลหลังจากปรับแก้ค่าตัวแปร หากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองยังไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงเพียงพอ ให้กลับไปข้อที่ 2.8 เพื่อทำการปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองแล้วประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลซ้ำจนกว่าจะมีประสิทธิภาพเพียงพอ

3.2 เปรียบเทียบปริมาณตะกอนในน้ำ (Sediment) โดยใช้ข้อมูลปริมาณตะกอน 5 ปีแรก (พ.ศ.2542-2546) ณ สถานี SK10 บริเวณปากคลองอุตตะเกา

ปรับแก้ค่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณตะกอนในแบบจำลองตามแนวทางในการปรับเทียบค่าในคู่มือ SWAT Calibration Techniques ซึ่งมีดังนี้

3.2.1 กรณีข้อมูลปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ปรับแก้ค่าตัวแปรตะกอนที่เกิดจากส่วนที่เป็นแผ่นดิน

- ปรับเพิ่มค่าตัวแปรการจัดการพืช USLE (P) หลังจากตรวจสอบค่าในตาราง USLE เพื่อให้การปรับค่ามีการตอบสนอง (USLE_P ใน .sub)
- ปรับเพิ่มค่าตัวแปร Slope length ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 10 m (LS) (SLSUBBSN ใน .sub)
- ปรับเพิ่มความลาดชันของ HRUs ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 20% (SLOPE ใน .sub)

ปรับแก้ค่าตัวแปรตะกอนที่เกิดจากในลำน้ำ

- ปรับเพิ่มตัวแปร Linear และ Exponential ของตะกอนในลำน้ำโดย สามารถปรับตัวแปร Linear ได้ถึง 0.01 และ สามารถปรับตัวแปร Exponential ได้ถึง 2.0 (SPCON และ SPEXP ใน.bsn)

- ปรับเพิ่มค่าตัวแปรการชะพังของลำน้ำซึ่งสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0.3 – 0.4 ถ้าสามารถปรับได้ (CH_EROD ใน .rte)
- ปรับเพิ่มค่าตัวแปรสิ่งปกคลุมในลำน้ำซึ่งสามารถปรับได้ถึง 1.0 ถ้าในท้องน้ำไม่มีสิ่งปกคลุมเลย (CH_COV ใน .rte)

3.2.2 กรณีข้อมูลปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ปรับแก้ค่าตัวแปรตะกอนที่เกิดจากส่วนที่เป็นแผ่นดิน

- ปรับลดค่าตัวแปรการจัดการพืช USLE (P) หลังจากตรวจสอบค่าในตาราง USLE เพื่อให้การปรับค่ามีการตอบสนอง (USLE_P ใน .sub)
- ปรับลดค่าตัวแปร Slope length ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 10 m (LS) (SLSUBBSN ใน .sub)
- ปรับลดความลาดชันของ HRUs ซึ่งสามารถปรับได้ถึง 20% (SLOPE ใน .sub)

ปรับแก้ค่าตัวแปรตะกอนที่เกิดจากในลำน้ำ

- ปรับเพิ่มตัวแปร Linear และ Exponential ของตะกอนในลำน้ำโดย สามารถปรับตัวแปร Linear ได้ถึง 0.0005 และ สามารถปรับตัวแปร Exponential ได้ถึง 1.0 (SPCON และ SPEXP ใน.bsn)
- ปรับลดค่าตัวแปรการชะพังของลำน้ำซึ่งสามารถปรับได้ถึง 0.1 ถ้าสามารถต้องมีลักษณะเป็นหินหรือไม่มีการชะพัง (CH_EROD ใน .rte)
- ปรับเพิ่มค่าตัวแปรสิ่งปกคลุมในลำน้ำซึ่งสามารถปรับได้ถึง 0.1 ถ้าในท้องน้ำมีพืชปกคลุม 100% (CH_COV ใน .rte)

เปรียบเทียบปริมาณตะกอนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองในตาราง Swat-Rch ซึ่งกำหนดช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2542 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2546 กับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้สมการที่ (59) (60) และ (61) ในการประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลหลังจากการปรับแก้ตัวแปร หากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองยัง

ไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงเพียงพอ ให้กลับไปข้อที่ 2.8 เพื่อทำการปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองแล้วประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลซ้ำจนกว่าจะมีประสิทธิภาพเพียงพอ

3.3 ปรับเทียบไนโตรเจน ซึ่งเป็นธาตุอาหารในน้ำ (Mineral Nitrogen) โดยใช้ข้อมูลปริมาณไนโตรเจน 5 ปีแรก (พ.ศ.2542-2546) ณ สถานี SK10 บริเวณปากคลองอู่ตะเภา

ปรับแก้ค่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนในแบบจำลองตามแนวทางในการปรับเทียบค่าในกลุ่มมือ SWAT Calibration Techniques ซึ่งมีดังนี้

3.3.1 กรณีข้อมูลปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

- ปรับเพิ่มค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_NO3 ใน .sol)
- ตรวจสอบการประยุกต์ใช้ปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับเพิ่มค่าตัวแปรได้ถึง 1.0 ถ้าพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้ปุ๋ย (FRT_LY1 ใน .mgt)
- ตรวจสอบการจัดการพื้นที่ใน .mgt ซึ่งปรับเพิ่มค่าการตกค้างของพืชบนพื้นที่หลังเก็บเกี่ยวได้ถึง 0.1 (RSDCO) และค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดินซึ่งสามารถปรับลดค่าได้ถึง 0.01 (BIOMIX ใน .bsn)
- ปรับเพิ่มค่าการไหลซึมของไนโตรเจนได้ถึง 1.0 (NPERCO ใน .bsn)

3.3.2 กรณีข้อมูลปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

- ปรับลดค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ได้ถึงศูนย์ถ้าพิจารณาว่าเหมาะสม (SOL_NO3 ใน .sol)ตรวจสอบการประยุกต์ใช้ปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับลดค่าตัวแปรได้ถึง 0.01 (FRT_LY1 ใน .mgt)
- ตรวจสอบการจัดการพื้นที่ใน .mgt ซึ่งปรับลดค่าการตกค้างของพืชบนพื้นที่หลังเก็บเกี่ยวได้ถึง 0.01 (RSDCO) และค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดินซึ่งสามารถปรับเพิ่มค่าได้ถึง 0.4 (BIOMIX ใน .bsn)

- ปรับลดค่าการไหลซึมของไนโตรเจนได้ถึง 0.01 (NPERCO ใน .bsn)

เปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen รายเดือนที่ได้จากแบบจำลองในตาราง Swat-Rch ซึ่งกำหนดช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2542 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2546 กับปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้สมการที่ (59) (60) และ (61) ในการประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลหลังจากการปรับแก้ตัวแปร หากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองยังไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงเพียงพอ ให้กลับไปข้อที่ 2.8 เพื่อทำการปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองแล้วประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลซ้ำจนกว่าจะมีประสิทธิภาพเพียงพอ

3.4 เปรียบเทียบฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารในน้ำ (Total Phosphorus) โดยใช้ข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัส 5 ปีแรก (พ.ศ.2542-2546) ณ สถานี SK10 บริเวณปากคลองอู่ตะเภา

ปรับแก้ค่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสในแบบจำลองตามแนวทางในการปรับเทียบค่าในคู่มือ SWAT Calibration Techniques ซึ่งมีดังนี้

3.4.1 กรณีข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ปรับแก้ค่าตัวแปรฟอสฟอรัสละลายน้ำ

- ปรับเพิ่มค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ โดยสามารถเพิ่มระดับของฟอสฟอรัสได้ถึง 250 – 300 ppm หากมีการใส่ปุ๋ยอย่างต่อเนื่องกันหลายปี (SOL_MINP ใน .sol)
- ตรวจสอบการประยุกต์ใช้ปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับเพิ่มค่าตัวแปรได้ถึง 1.0 ถ้าพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้ปุ๋ย (FRT_LY1 ใน .mgt)
- ตรวจสอบการจัดการพื้นที่ใน .mgt ซึ่งปรับเพิ่มค่าการตกค้างของพืชบนพื้นที่หลังเก็บเกี่ยวได้ถึง 0.1 (RSDCO) และค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดินซึ่งสามารถปรับลดค่าได้ถึง 0.01 (BIOMIX ใน .bsn)
- ปรับลดค่าการไหลซึมของฟอสฟอรัสได้ถึง 10 (PPERCO ใน .bsn)
- ปรับลดค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสต่อตะกอนได้ถึง 100 (PHOSKD ใน .bsn)

3.4.2 กรณีข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ปรับแก้ค่าตัวแปรฟอสฟอรัสละลายน้ำ

- ปรับลดค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ โดยสามารถลดระดับของฟอสฟอรัสได้ถึง ศูนย์ ถ้าเหมาะสม (SOL_MINP ใน .sol)
- ตรวจสอบการประยุกต์ใช้ปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับลดค่าตัวแปรได้ถึง 0.01 (FRT_LY1 ใน .mgt)
- ตรวจสอบการจัดการพื้นที่ใน .mgt ซึ่งปรับลดค่าการตกค้างของพืชบนพื้นที่หลังเก็บเกี่ยวได้ถึง 0.1 (RSDCO) และปรับลดค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดินซึ่งสามารถปรับได้ถึง 0.4 (BIOMIX ใน .bsn)
- ปรับเพิ่มค่าการไหลซึมของฟอสฟอรัสได้ถึง 20 (PPERCO ใน .bsn)
- ปรับเพิ่มค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสต่อตะกอนได้ถึง 200 (PHOSKD ใน .bsn)

3.4.3 กรณีข้อมูลปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ปรับแก้ค่าตัวแปรอินทรีย์ฟอสฟอรัส

- ปรับเพิ่มค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_ORGP ใน .sol)
- ตรวจสอบการประยุกต์ใช้ปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับเพิ่มค่าตัวแปรได้ถึง 1.0 ถ้าพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้ปุ๋ย (FRT_LY1 ใน .mgt)

3.4.4 กรณีข้อมูลปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

ปรับแก้ค่าตัวแปรอินทรีย์ฟอสฟอรัส

- ปรับลดค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_ORGP ใน .sol)

- ตรวจสอบการประยุกต์ใช้ปุ๋ยบนพื้นที่ โดยสามารถปรับลดค่าตัวแปรได้ถึง 0.01 ถ้าพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้ปุ๋ย (FRT_LY1 ใน .mgt)

เปรียบเทียบปริมาณ Total Phosphorus รายเดือนที่ได้จากแบบจำลองในตาราง Swat-Rch ซึ่งกำหนดช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2542 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2546 กับปริมาณ Total Phosphorus ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้สมการที่ (59) (60) และ (61) ในการประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลหลังจากการปรับแก้ตัวแปร หากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองยังไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงเพียงพอ ให้กลับไปข้อที่ 2.8 เพื่อทำการปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อปรับเทียบแบบจำลองแล้วประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลซ้ำจนกว่าจะมีประสิทธิภาพเพียงพอ

4. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS หลังจากการปรับเทียบในการประเมินปริมาณน้ำท่า ตะกอน และธาตุอาหารในอนาคต

4.1 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS หลังจากการปรับเทียบการไหลในลำน้ำ (Water balance and Stream flow) ในการประเมินปริมาณน้ำท่าในอนาคต โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า 6 ปีย้อนหลัง (พ.ศ.2546-2551) ณ สถานี x.90 บนลุ่มน้ำอุ้มตะเกา

ประเมินประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ได้จากแบบจำลองในตาราง Swat-Rch ในช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2546 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2551 กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้สมการที่ (59) (60) และ (61) ในการประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลหลังจากการปรับเทียบแบบจำลอง

4.2 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS หลังจากการปรับเทียบปริมาณตะกอนในลำน้ำ (Sediment) ในการประเมินปริมาณตะกอนในอนาคต โดยใช้ข้อมูลปริมาณตะกอน 5 ปีหลัง (พ.ศ.2547-2551) ณ สถานี SK10 บริเวณปากคลองอุ้มตะเกา

ประเมินประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบปริมาณตะกอนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองในตาราง Swat-Rch ในช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2547 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2551 กับปริมาณ

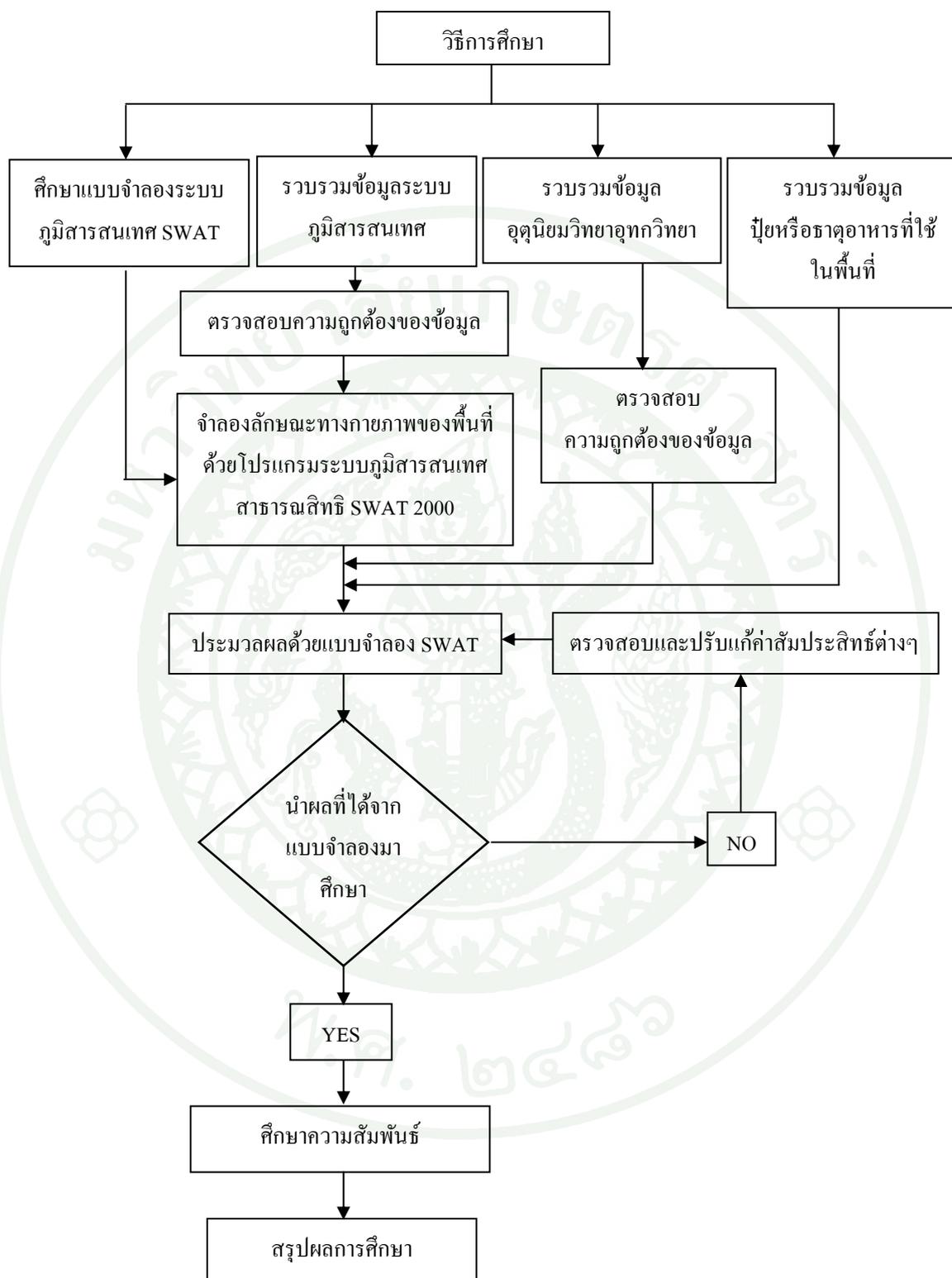
ตะกอนที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้สมการที่ (59) (60) และ (61) ในการประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลหลังจากการปรับเทียบแบบจำลอง

4.3 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS หลังจากการปรับเทียบปริมาณไนโตรเจน(Mineral Nitrogen) ในลำน้ำ ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนในอนาคต โดยใช้ข้อมูลปริมาณไนโตรเจน 5 ปีหลัง (พ.ศ.2547-2551) ณ สถานี SK10 บริเวณปากคลองอุตะเกา

ประเมินประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen รายเดือนที่ได้จากแบบจำลองในตาราง Swat-Rch ในช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2547 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2551 กับปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้สมการที่ (59) (60) และ (61) ในการประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลหลังจากการปรับเทียบแบบจำลอง

4.4 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS หลังจากการปรับเทียบปริมาณฟอสฟอรัส(Total Phosphorus) ในลำน้ำ ในการประเมินปริมาณฟอสฟอรัสในอนาคต โดยใช้ข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัส 5 ปีหลัง (พ.ศ.2547-2551) ณ สถานี SK10 บริเวณปากคลองอุตะเกา

ประเมินประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบปริมาณ Total Phosphorus รายเดือนที่ได้จากแบบจำลองในตาราง Swat-Rch ในช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2547 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2551 กับปริมาณ Total Phosphorus ที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้สมการที่ (59) (60) และ (61) ในการประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพัทธ์ และประสิทธิผลหลังจากการปรับเทียบแบบจำลอง



ภาพที่ 30 แสดงขั้นตอนการใช้งาน SWAT Model ในการประเมินธาตุอาหาร

ผลและวิจารณ์การทดลอง

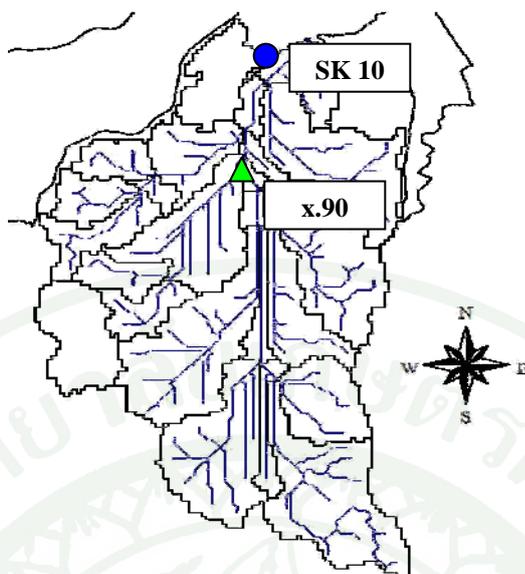
เมื่อนำข้อมูลภูมิประเทศที่เก็บรวบรวมมาเข้าแบบจำลอง ปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อปรับเทียบแบบจำลอง และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประเมินปริมาณน้ำท่า ตะกอน และธาตุอาหารในอนาคต ได้ผลลัพธ์ดังนี้

1. พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะเกาที่ได้จากแบบจำลอง SWAT 2000/GIS



ภาพที่ 31 แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะเกา จังหวัดสงขลาในแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

จากภาพที่ 31 แสดงผลลัพธ์เส้นลำน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำย่อยบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะเกา จังหวัดสงขลาในแบบจำลอง SWAT 2000/GIS ที่ได้จากการนำเข้าข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่ (DEM) ข้อมูลเส้นลำน้ำ ข้อมูลความละเอียดเส้นลำน้ำ Stream definition ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 3800 ha และข้อมูลจุดทางออก (Outlet) ของลุ่มน้ำ โดยผลลัพธ์ที่ได้แบ่งขอบเขตลุ่มน้ำย่อยออกเป็น 27 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

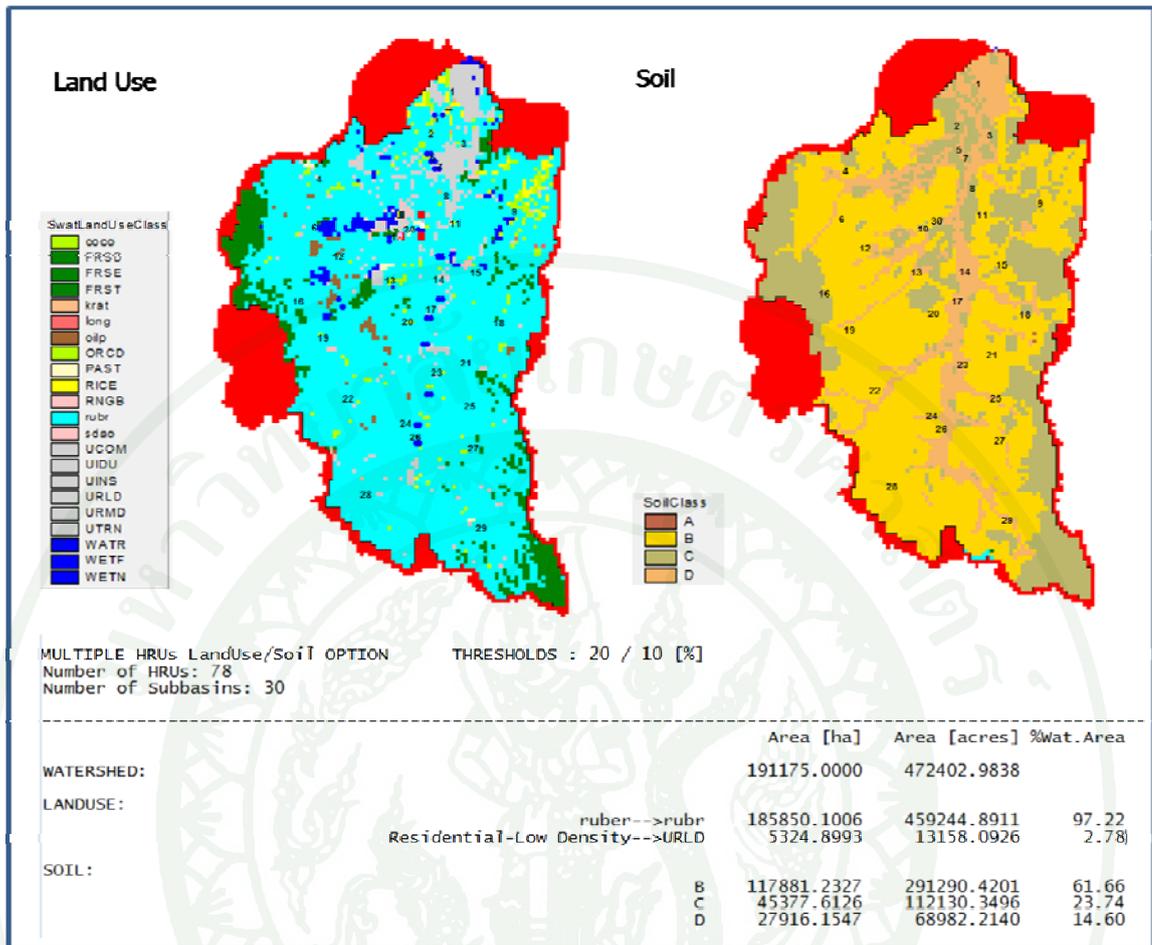


ภาพที่ 32 แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าและตรวจวัดคุณภาพน้ำที่เพิ่มเข้าไปในแบบจำลอง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะโก จังหวัดสงขลา

ภาพที่ 32 เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการนำเข้าสู่ข้อมูลจุดทางออกของลำน้ำเพิ่มเติมเข้าไปในบางครั้งแบบจำลองไม่ได้แสดงจุดที่ต้องการใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูล การนำเข้าสู่ข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้เป็นตัวแทนตำแหน่งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าและสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำในแบบจำลอง ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำท่า ตะกอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

2. การแพร่กระจายของหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU Distribution)

จากการซ้อนทับของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลดินที่นำเข้าแบบจำลอง SWAT 2000/GIS และกำหนดค่าการตอบสนองทางอุทกวิทยานบนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยกำหนดให้พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็น 20 % และพื้นที่ชนิดดินเป็น 10 % ผลลัพธ์คือได้หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาเท่ากับ 78 HRUs แสดงดังภาพที่ 19 ซึ่งแบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินประกอบด้วยเกษตรกรรม (ORCD) ยางพารา (Rubr) ป่าร้อนเขตร้อน (FRSE) และเขตชุมชน (URLD) ร่วมกับชนิดของดินซึ่งแบ่งกลุ่มดินออกเป็น 4 กลุ่มคือ A, B, C และ D โดยแต่ละกลุ่มดินจะขึ้นอยู่กับอัตราการซึมน้ำของดิน ดิน A เป็นดินที่มีอัตราการซึมน้ำมากที่สุดและดิน D เป็นดินที่มีอัตราการซึมน้ำน้อยที่สุดตามลำดับ ได้เป็น 6 ประเภทการตอบสนองทางอุทกวิทยา ดังตารางที่ 9



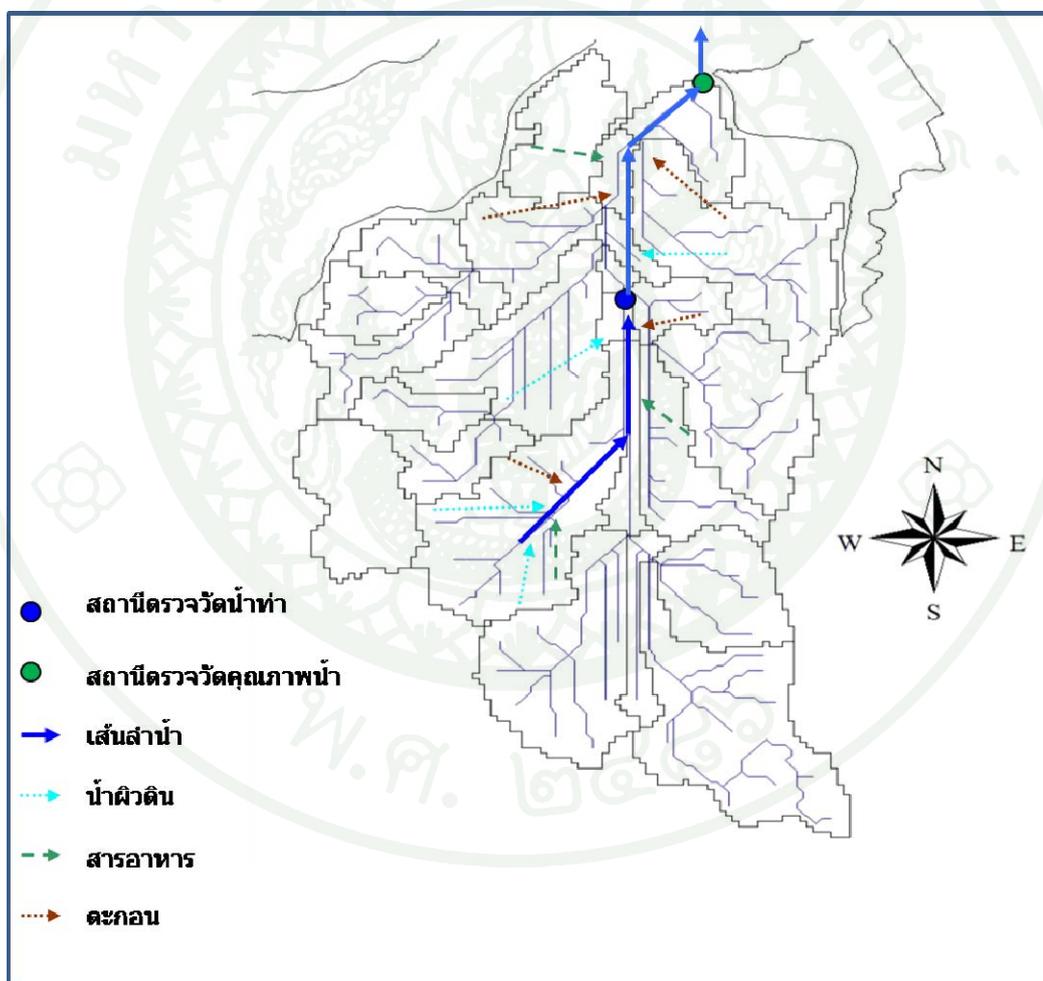
ภาพที่ 33 แสดงผลลัพธ์จากการนำเข้าแผนที่ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลชนิดดินของพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะโกในแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

ตารางที่ 9 แสดงประเภทหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาโดยแบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมกับชนิดของดินได้เป็น 5 ประเภท

Land Utilization	Soil Type		
	B	C	D
ยางพารา	Rubr_B	Rubr_C	Rubr_D
เขตชุมชน	-	URLD_C	URLD_D

3. ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง SWAT2000/GIS เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

เมื่อแบบจำลองประมวลผลจากข้อมูลต่างๆที่นำเข้าเพื่อให้แบบจำลองประมวลผลเบื้องต้นแล้ว จะได้ข้อมูลปริมาณน้ำท่า น้ำ ปริมาณตะกอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยข้อมูลดังกล่าวที่ใช้ในการเปรียบเทียบต้องทราบว่าสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าและสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำในแบบจำลองที่นำเข้านั้น เป็นจุดออกทางน้ำ (Outlet) ของ Subbasin ที่เท่าไร เพื่อข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า x.90 และสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ SK10 เป็นจุดเดียวกัน



ภาพที่ 34 แสดงทิศทางการชะพาของน้ำผิวดิน ตะกอน และธาตุอาหารจากส่วนที่เป็นแผ่นดินลงสู่ส่วนที่เป็นลำน้ำแล้วผ่านจู่อ่างอิงในลำน้ำบนลุ่มน้ำ

3.1 ปริมาณน้ำท่าที่จุดออกทางน้ำของ Subbasin หมายเลข 30 เป็นตัวแทนของสถานี x.90

- FLOW_OUT คือ ปริมาณน้ำท่า (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ที่ออกจากจุดอ้างอิงใน
ที่นี้เลือกใช้ข้อมูลที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 30

3.2 ปริมาณตะกอนที่จุดออกทางน้ำของ Subbasin หมายเลข 1 เป็นตัวแทนของสถานี
SK.10

- SED_OUT คือ ปริมาณตะกอน (ตัน) ที่ออกจากจุดอ้างอิงในที่นี้เลือกใช้ข้อมูลที่
ออกจาก Subbasin หมายเลข 1

- SEDCONC คือ ความเข้มข้นของตะกอน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ออกจาก
จุดอ้างอิงในที่นี้เลือกใช้ข้อมูลที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1

3.3 ปริมาณไนโตรเจนที่จุดออกทางน้ำของ Subbasin หมายเลข 1 เป็นตัวแทนของสถานี
SK.10

- NO3_OUT คือ ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน (กิโลกรัมไนโตรเจน) ที่ออกจาก
จุดอ้างอิงในที่นี้เลือกใช้ข้อมูลที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1

- NH4_OUT คือ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (กิโลกรัมไนโตรเจน) ที่ออก
จากจุดอ้างอิงในที่นี้เลือกใช้ข้อมูลที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1

- NO2_OUT คือ ปริมาณไนไตรท์ไนโตรเจน (กิโลกรัมไนโตรเจน) ที่ออกจาก
จุดอ้างอิงในที่นี้เลือกใช้ข้อมูลที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1

3.4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่จุดออกทางน้ำของ Subbasin หมายเลข 1 เป็นตัวแทนของสถานี
SK.10

- MINP_OUT คือ ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส (กิโลกรัมฟอสฟอรัส) ที่ออก
จากจุดอ้างอิงในที่นี้เลือกใช้ข้อมูลที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1

- ORGP_OUT คือ ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส (กิโลกรัมฟอสฟอรัส) ที่ออกจาก
จุดอ้างอิงในที่นี้เลือกใช้ข้อมูลที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1

4. ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลอง

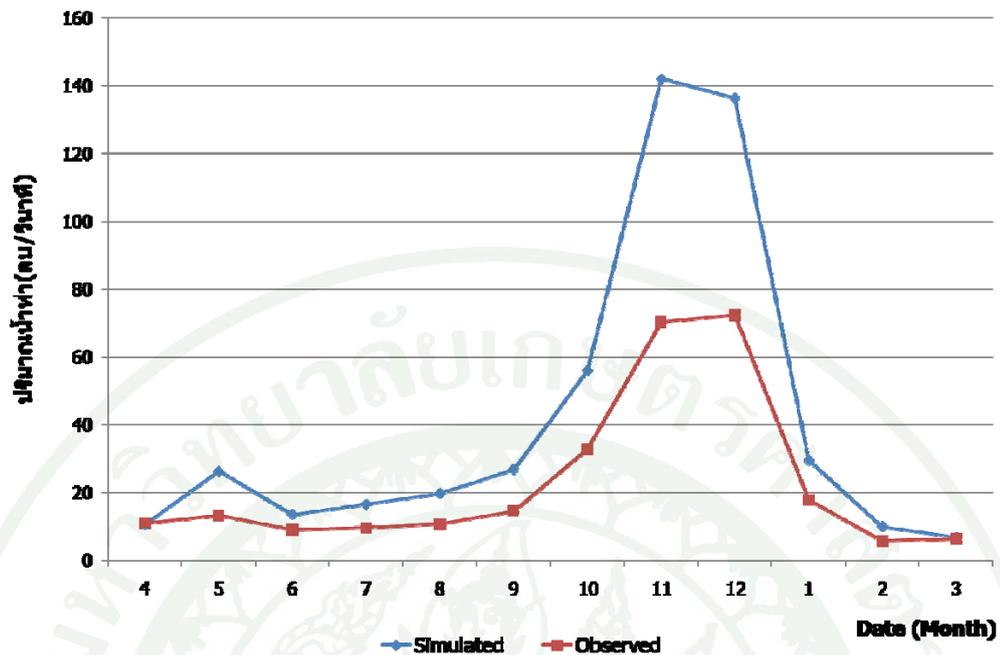
4.1 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกจาก Subbasin หมายเลข 30 ผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า x.90 ในแบบจำลอง ก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปร

ผลลัพธ์ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพปริมาณน้ำท่าระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจากการตรวจวัดจริง ณ สถานี x.90 จากปี พ.ศ.2522-2545 ก่อนการปรับเทียบค่าตัวแปร

Parameter	Station	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย(ลบ.ม./วินาที)		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณน้ำท่า	x.90	22.80	41.17	- 80.60	0.84	-0.98

จากตารางที่ 10 ผลลัพธ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 41.17 ลบ.ม/วินาที เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 22.80 พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ - 80.60 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.84 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -0.98 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณน้ำท่าระหว่างค่าที่ได้จากได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2545 แสดงดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 แสดงปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี x.90 ก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล

ผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองซึ่งยังไม่ได้ทำการปรับแก้ค่าตัวแปรเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงพบว่า น้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีปริมาณมากกว่าน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง แต่ช่วงเวลาของการไหลมีความสัมพันธ์กัน คือเส้นสูงต่ำของกราฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยรวมจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ค่าสูงสุดของข้อมูลจากแบบจำลองสูงกว่าข้อมูลจากการตรวจวัดจริงตลอดช่วงเวลา ดังนั้นตัวแปรที่จำเป็นต้องได้รับการปรับแก้จะอ้างอิงตามคู่มือ SWAT Calibration Techniques โดยพิจารณาในหัวข้อ (1.1) กรณีข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าประกอบด้วยสองส่วนคือ ปริมาณน้ำผิวดิน (Surface runoff) และปริมาณน้ำที่ไหลใต้ผิวดิน (Base flow) ตัวแปรใน ส่วนปริมาณน้ำผิวดินประกอบด้วย ค่า Curve number 2(CN2) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระบนผิวดิน (OV_N) ค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำสาขาบนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (CH_N1) และค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำหลัก (CH_N2) ซึ่งตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวแปรที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำตั้งต้นบนลุ่มน้ำอุทกภาพเป็นเพียงค่าสัมประสิทธิ์ที่แบบจำลองอนุญาตให้ปรับแก้ได้เท่านั้น ค่าตั้งต้นก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 11 และตารางที่ 12

ตารางที่ 11 แสดงค่า CN ก่อนปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

Land Utilization	Soil Type		
	B	C	D
ยางพารา	55	70	77
เขตชุมชน	-	72	79

ตารางที่ 12 แสดงค่าตัวแปรทางกายภาพอื่นๆก่อนปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

PARAMETER	Value
OV_N	0.01
CH_N1	0.014
CH_N2	0.014

ตัวแปรในส่วนปริมาณที่ไหลใต้ผิวดิน ประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การไหลจาก shallow aquifer กลับสู่เขตรากพืช(GW_REVAP) ปริมาณน้ำสะสมต่ำสุดในชั้นดิน shallow aquifer ที่ทำให้เกิดการคายระเหยกลับสู่เขตรากพืช (REVAPMN) ปริมาณน้ำสะสมต่ำสุดในชั้นดิน shallow aquifer ที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำใต้ผิวดิน(GWQMN) ซึ่งค่าของตัวแปรตั้งต้นก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงค่าตัวแปรที่ควบคุมน้ำที่ไหลใต้ผิวดินก่อนปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

Parameter	Value
GW_REVAP	0.2
REVAPMN (mm)	200
GWQMN (mm)	500

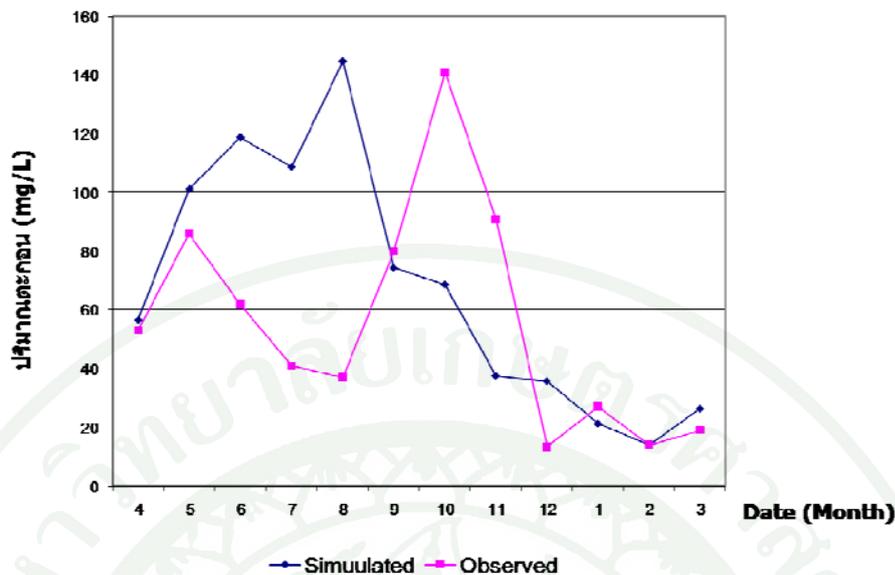
4.2 ปริมาณตะกอนที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1 ผ่านสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ SK10 ในแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปร

ผลลัพธ์ปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ก่อนการปรับเทียบค่าตัวแปร

Parameter	Station	ปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายเดือน (มก./ล)		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณตะกอน	SK10	45.08	67.32	-49.33	0.25	- 2.81

จากตารางที่ 14 ผลลัพธ์ปริมาณตะกอนเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปร มีค่าเท่ากับ 67.32 มก.ล เปรียบเทียบกับปริมาณตะกอนเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 45.08 มก.ล พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ 49.33 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.25 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า - 2.81 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณตะกอนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 แสดงดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 แสดงปริมาณตะกอนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล

ผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองซึ่งยังไม่ได้ทำการปรับแก้ค่าตัวแปรเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงพบว่า ตะกอนที่ได้จากแบบจำลองมีปริมาณน้อยกว่าตะกอนที่ได้จากการตรวจวัดจริงค่อนข้างมาก ช่วงเวลาของปริมาณตะกอนมีความสัมพันธ์กันพอสมควร คือเส้นสูงต่ำของกราฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่ด้วยปริมาณตะกอนแตกต่างกันค่อนข้างมากทำให้โดยรวมค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ค่าสูงสุดของตะกอนจากแบบจำลองน้อยกว่าตะกอนจากการตรวจวัดจริงตลอดช่วงเวลา ดังนั้นตัวแปรที่จำเป็นต้องได้รับการปรับแก้จะอ้างอิงตามคู่มือ SWAT Calibration Techniques โดยพิจารณาในหัวข้อ (2.1) กรณีข้อมูลปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ประกอบด้วยตัวแปรคือ ค่าตัวแปรการชะล้างของลำน้ำ (CH_EROD) และค่าตัวแปรสิ่งปกคลุมในลำน้ำ (CH_COV) ซึ่งค่าของตัวแปรตั้งต้นก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงค่าตัวแปรก่อนปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

PARAMETER	Values
CH_EROD	0
CH_COV	0

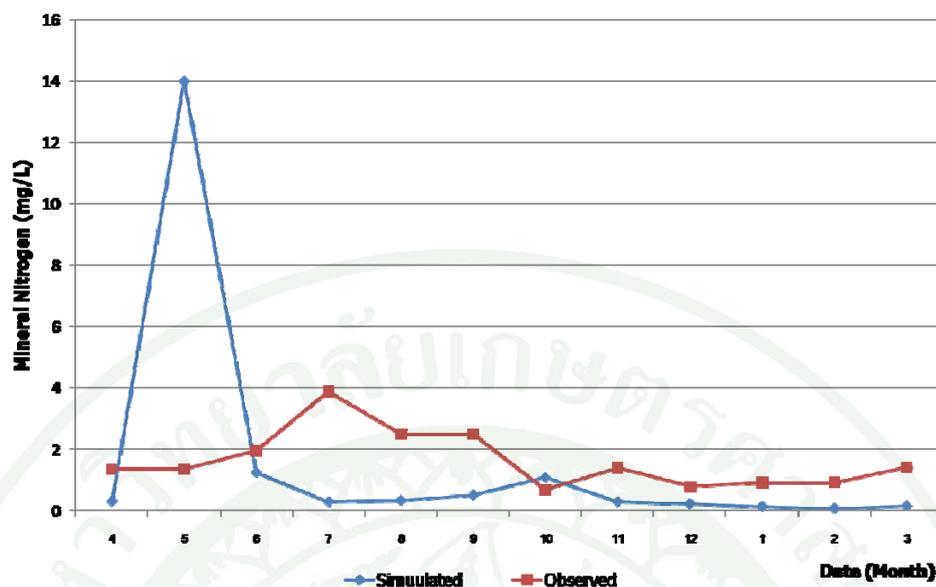
4.3 ปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1 ผ่านสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ SK10 ในแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปร

ผลลัพธ์ปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลแสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ก่อนการปรับเทียบค่าตัวแปร

Parameter	Station	ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยรายเดือน (มก./ล)		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณไนโตรเจน	SK10	1.64	1.55	12.92	0.19	- 1.79

จากตารางที่ 16 ผลลัพธ์ปริมาณ Mineral Nitrogen เฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1.55 มก./ล เปรียบเทียบกับปริมาณ Mineral Nitrogen เฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 1.64 มก./ล พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ 12.92 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.19 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า - 1.79 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณ Mineral Nitrogen ระหว่างค่าที่ได้จากได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 แสดงดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 แสดงปริมาณไนโตรเจนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล

ผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองซึ่งยังไม่ได้ทำการปรับแก้ค่าตัวแปรเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจเล็กน้อยแต่ก็ยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ช่วงเวลาของปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก คือทิศทางแนวโน้มเส้นสูงต่ำของกราฟไม่ไปในเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อปริมาณตะกอน อีกทั้งค่าโดยรวมของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง มีเพียงช่วงเดือนที่ 5 เท่านั้นที่ค่าสูงขึ้นไปมาก ดังนั้นตัวแปรที่จำเป็นต้องได้รับการปรับแก้จะอ้างอิงตามคู่มือ SWAT Calibration Techniques โดยพิจารณาในหัวข้อ (3.1) กรณีข้อมูลปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง โดยตัวแปรประกอบด้วย ค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_NO3) ค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของปุ๋ยบนพื้นที่ (FRT_LY1) ค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดิน (BIOMIX) และค่าการไหลซึมของไนโตรเจน (NPERCO) ซึ่งค่าของตัวแปรตั้งต้นก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 แสดงค่าตัวแปรก่อนปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

PARAMETER	Values
SOL_NO3	0
FRT_LY1	0
BIOMIX	0.2
NPERCO	0.2

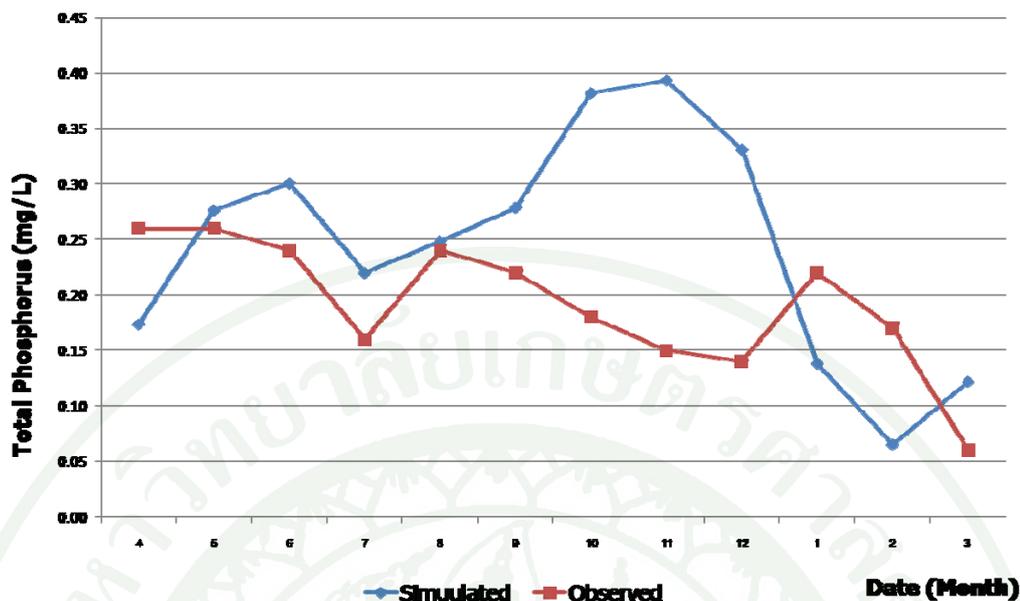
4.4 ปริมาณ Total Phosphorus ที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1 ผ่านสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ SK10 ในแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปร

ผลลัพธ์ปริมาณ Total Phosphorus ที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลแสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณ Total Phosphorus ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ก่อนการปรับเทียบค่าตัวแปร

Parameter	Station	ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยรายเดือน (มก./ล)		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณฟอสฟอรัส	SK10	0.25	0.19	-27.33	0.1	- 3.53

จากตารางที่ 18 ผลลัพธ์ปริมาณ Total Phosphorus เฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 0.19 มก./ล เปรียบเทียบกับปริมาณ Total Phosphorus เฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 0.25 มก./ล พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -27.33 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.1 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า - 3.53 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณ Total Phosphorus ระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 แสดงดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ก่อนการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล

ผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองซึ่งยังไม่ได้ทำการปรับแก้ค่าตัวแปรเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจเล็กน้อยแต่ก็ยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ช่วงเวลาของปริมาณฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก คือทิศทางแนวโน้มเส้นสูงต่ำของกราฟไม่ไปในเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ทั้งนี้ค่าโดยรวมของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง มีเพียงช่วงเดือน 10 ถึงเดือน 12 เท่านั้นที่ค่าสูงขึ้นไปมาก ดังนั้นตัวแปรที่จำเป็นต้องได้รับการปรับแก้จะอ้างอิงตามคู่มือ SWAT Calibration Techniques โดยพิจารณาในหัวข้อ (4.2) กรณีข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง โดยตัวแปรประกอบด้วย ค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_MINP) ค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_ORGP) ค่าการไหลซึมของฟอสฟอรัส (PPERCO) ค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสต่อตะกอน (PHOSKD) ซึ่งค่าของตัวแปรตั้งต้นก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงค่าตัวแปรก่อนปรับแก้ค่าในการปรับเทียบแบบจำลอง

PARAMETER	Values
SOL_MINP	0
SOL_ORGP	0
PHOSKD	175
PPERCO	10

5. ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองหลังการปรับแก้ค่าตัวแปรปรับเทียบแบบจำลอง

5.1 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกจาก Subbasin หมายเลข 30 ผ่านสถานีตรวจวัดน้ำท่า x.90 ในแบบจำลอง หลังการปรับแก้ค่าตัวแปร

จากการปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อปรับเทียบปริมาณน้ำท่าตามแนวทางในการปรับเทียบค่าในคู่มือ SWAT Calibration Techniques ซึ่งประกอบด้วย ค่า Curve number 2(CN2) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระบนผิวดิน (OV_N) ค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำสาขาบนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (CH_N1) และค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำหลัก (CH_N2) ค่าของตัวแปรหลังการปรับแก้แสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 แสดงค่า CN หลังปรับแก้ค่าในการปรับเทียบแบบจำลอง

Land Utilization	Soil Type		
	B	C	D
ยางพารา	35	45	50
เขตชุมชน	-	55	60

ตารางที่ 21 แสดงค่าตัวแปรอื่นๆหลังปรับแก้ค่าในการปรับเทียบแบบจำลอง

PARAMETER	Value
OV_N	30

ตารางที่ 21 (ต่อ)

PARAMETER	Value
CH_N1	0.014
CH_N2	0.014

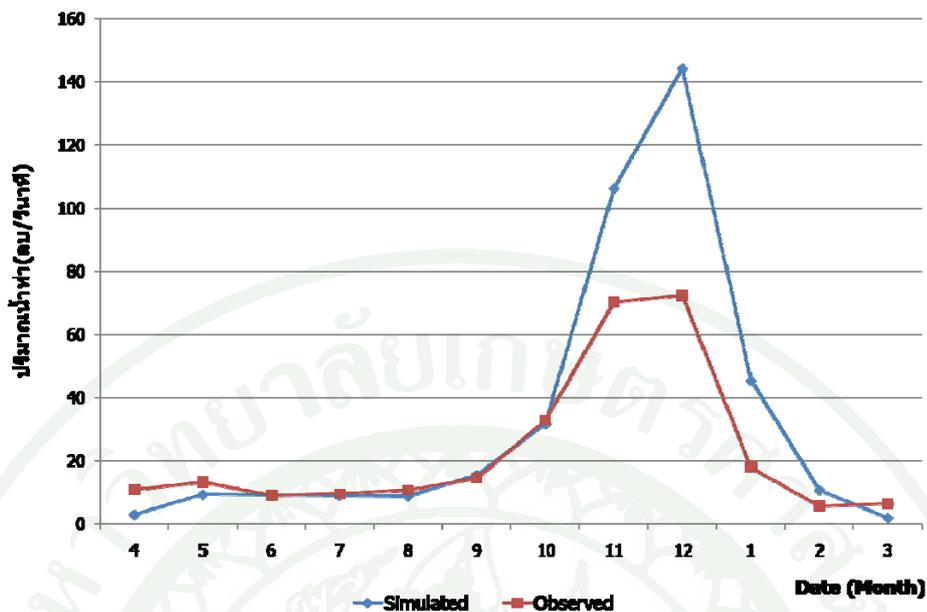
ตารางที่ 22 แสดงค่าตัวแปรที่ควบคุมน้ำใต้ดินหลังปรับแก้ค่าในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

Parameter	Value
GW_REVAP	0.2
REVAPMN (mm)	1
GWQMN (mm)	5000

ตารางที่ 23 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพปริมาณน้ำท่าระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการตรวจวัดจริง ณ สถานี x.90 จากปี พ.ศ.2522-2545 หลังการปรับเทียบ

Parameter	Station	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย(ลบ.ม./วินาที)		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณน้ำท่า	x.90	21.62	33.07	-45.07	0.86	-0.28

จากตารางที่ 23 ผลลัพธ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 33.07 ลบ.ม/วินาที เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 21.62 พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -45.07 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.86 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -0.28 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณน้ำท่าระหว่างค่าที่ได้จากได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2545 แสดงดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แสดงปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี x.90 หลังการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล

ผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองหลังจากการปรับแก้ค่าตัวแปรเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงพบว่า น้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีปริมาณใกล้เคียงกับน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ยกเว้นในช่วงเดือน 10 ถึงเดือน 2 น้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงค่อนข้างมาก จึงทำให้ค่าความแตกต่างสัมพัทธ์แตกต่างกันค่อนข้างสูง เป็นไปได้ว่าอาจมีตัวแปรอื่นที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าอีก เช่น ค่าตั้งต้นของปริมาณน้ำใต้ดินเริ่มต้น เป็นต้น เนื่องจากไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับน้ำใต้ดิน จึงปรับแก้เฉพาะคุณสมบัติของดินเท่านั้น และแผนที่ DEM ใช้ความละเอียดที่ 500 m จึงอาจทำให้ลักษณะทางกายภาพผิดเพี้ยนไป รวมทั้งข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นข้อมูลทศนิยม ในสภาพพื้นที่จริงอาจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้แผนที่ที่นำมาใช้ล่าช้ากว่าพื้นที่จริง ด้านความสัมพันธ์มีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เส้นสูงต่ำของกราฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แสดงว่าช่วงเวลาของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของน้ำท่ามีความสัมพันธ์กันพอ แต่โดยรวมจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

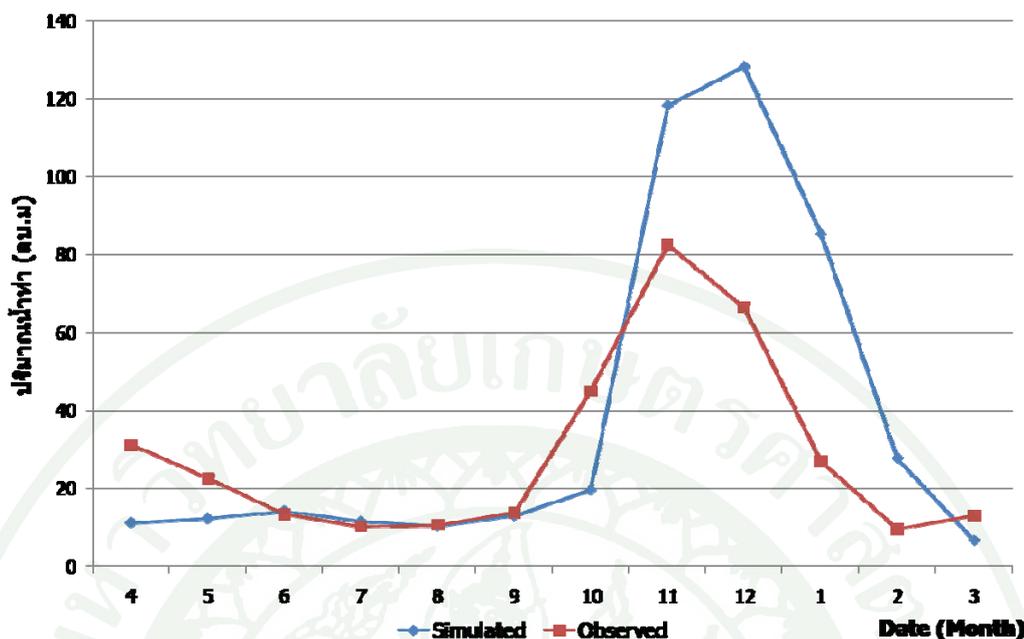
5.2 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS ในการประเมินปริมาณน้ำท่าบนลุ่มน้ำอุ้มตะเกาในอนาคตหลังจากการปรับเทียบปริมาณน้ำท่า

ประเมินประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบปริมาณตะกอนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองในช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2546 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2551 กับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งผลจากการปรับเทียบข้อมูลที่ค่าประสิทธิผลไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประเมินปริมาณน้ำท่าในอนาคตไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เช่นเดียวกัน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพปริมาณน้ำท่าระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจากการตรวจวัดจริง ณ สถานี x.90 จากปี พ.ศ.2546-2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการปรับเทียบ

Parameter	Station	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย(ลบ.ม./วินาที)		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณน้ำท่า	x.90	22.69	32.58	-35.74	0.57	-1.76

จากตารางที่ 23 ผลลัพธ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 32.58 ลบ.ม/วินาที เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 22.69 พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -35.74 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.57 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -1.76 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณน้ำท่าระหว่างค่าที่ได้จากได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2551 แสดงดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แสดงปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี x.90 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการปรับเทียบ

5.3 ข้อจำกัดในการปรับเทียบปริมาณน้ำท่าในแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

5.3.1 เนื่องจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาการประเมินคุณภาพด้วยแบบจำลอง SWAT 2000/GIS เป็นระบบ Window Vista ทำให้การประมวลผลค่อนข้างช้า เพราะระบบดังกล่าวใช้พื้นที่หน่วยความจำมาก บางครั้งทำให้การประมวลผลผิดพลาด ต้องเริ่มตั้งค่าและประมวลผลใหม่ จึงเลือกใช้แผนที่ DEM ที่ 500 m ที่มีความละเอียดน้อยลง เป็นผลให้ผลลัพธ์ความสูงต่ำของพื้นที่ที่ได้จากแบบจำลองค่อนข้างหยาบ ส่งผลต่อทิศทาง ช่วงเวลา และปริมาณของคุณภาพน้ำในลำน้ำที่ได้จากแบบจำลอง ทำให้ค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.3.2 ค่าตัวแปรที่ปรับแก้จะอยู่ในช่วงที่คู่มือ SWAT Calibration Techniques แนะนำ ดังนั้นค่าตัวแปรที่เหมาะสมจึงมีขอบเขตที่จำกัด ส่งผลต่อความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

5.3.3 เนื่องจากข้อมูลปริมาณน้ำที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบมีเฉพาะน้ำผิวดิน ไม่มีข้อมูลน้ำใต้ดิน การปรับจึงจะเน้นการปรับตัวแปรของน้ำผิวดินเป็นหลัก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

5.4 ปริมาณตะกอนที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1 ผ่านสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ SK10 ในแบบจำลองหลังการปรับแก้ค่าตัวแปร

จากการปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกอนตามแนวทางในการปรับเทียบค่าในคู่มือ SWAT Calibration Techniques ประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การจัดการพืช (USLE_P) ค่าตัวแปรการชะพังของลำน้ำ (CH_EROD) และค่าตัวแปรสิ่งปกคลุมในลำน้ำ (CH_COV) ค่าของตัวแปรหลังการปรับแก้แสดงดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 แสดงค่าตัวแปรหลังปรับแก้ค่าในการปรับเทียบแบบจำลอง

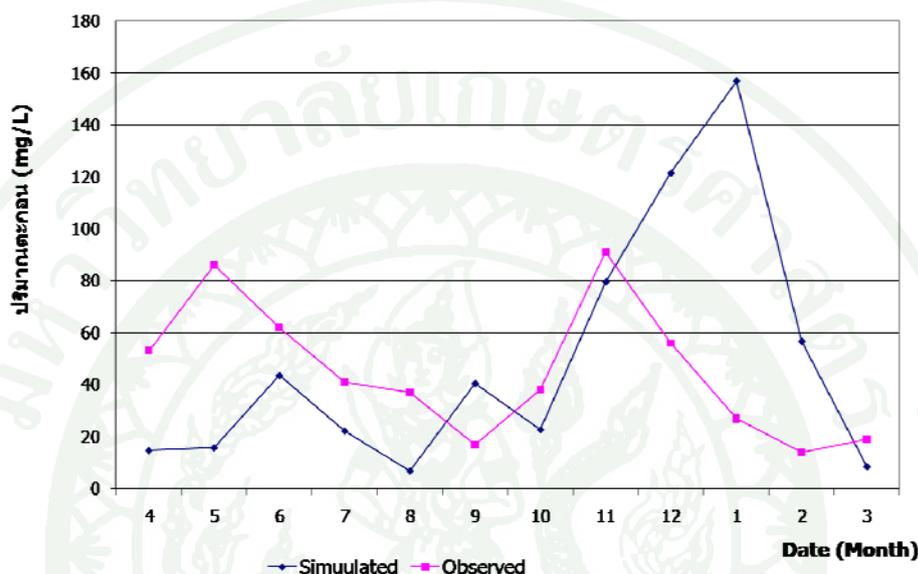
PARAMETER	Values
CH_EROD	0.4
CH_COV	0.11

ตารางที่ 26 แสดงผลการประเมินการปรับเทียบปริมาณตะกอนระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 หลังการปรับเทียบ

Parameter	Station	ปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายเดือน มก./ล		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณตะกอน	SK10	45.08	49.08	-8.88	0.016	-3.48

จากตารางที่ 26 ผลลัพธ์ปริมาณตะกอนเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปร มีค่าเท่ากับ 49.08 มก./ล เปรียบเทียบกับปริมาณตะกอนเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 45.08 มก./ล พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -8.88 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ

0.016 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -3.48 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณตะกอนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 แสดงดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 แสดงปริมาณตะกอนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 หลังการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล

ผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองหลังจากการปรับแก้ค่าตัวแปรเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงพบว่า ตะกอนที่ได้จากแบบจำลองมีปริมาณใกล้เคียงกับตะกอนที่ได้จากการตรวจวัดจริง แต่ด้านความสัมพันธ์ของข้อมูลแตกต่างกันค่อนข้างมาก เนื่องด้วยการปรับแก้ข้อมูลตะกอนมีเพียงกรณีปริมาณตะกอนจากแบบจำลองที่มากกว่าหรือน้อยกว่าปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัดจริงเท่านั้น ไม่มีกรณีในช่วงเวลาตะกอนในลำน้ำไม่สัมพันธ์กัน เมื่อวิเคราะห์เส้นกราฟพบว่าหากเลื่อนช่วงเวลาออกหลังประมาณ 2 เดือน จะทำให้เส้นกราฟของข้อมูลสองชุดมีความสัมพันธ์กันมากขึ้น ดังนั้นเมื่อปรับปริมาณตะกอนจากแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับปริมาณตะกอนจากการตรวจวัดจริงได้แล้ว แต่ไม่สามารถปรับช่วงเวลาที่ไม่สัมพันธ์กันได้ อีกทั้งข้อมูลตะกอนที่นำมาใช้เปรียบเทียบมีช่วงเวลาเก็บข้อมูลน้อยเกินไปจึงอาจทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีโอกาสผิดพลาดมากกว่ากรณีมีข้อมูลมีช่วงเวลาจำนวนมากและต่อเนื่อง และข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ไม่ได้ลงพื้นที่เก็บตัวอย่างเอง ซึ่งข้อมูลทุติยภูมิที่ได้อาจผิดพลาดได้จากตำแหน่งที่

เก็บตัวอย่าง จำนวนจุดเก็บข้อมูล หากเก็บในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมและจำนวนจุดเก็บที่ไม่มากพอ ค่าเฉลี่ยข้อมูลตะกอนในลำน้ำอาจไม่ใช่ตัวแทนของข้อมูลตะกอนในลำน้ำนั้น เวลาที่เก็บข้อมูล เก็บเดือนละหนึ่งครั้งซึ่งไม่เป็นตัวแทนข้อมูลตะกอนในลำน้ำที่ดี เนื่องจากอาจเป็นเฉพาะช่วงเวลาเก็บ อาจเป็นช่วงมีค่ามากหรือน้อยกว่าปกติก็ได้ สมการตะกอนในลำน้ำในแบบจำลองจะแปรผันตาม ปริมาณน้ำฝนในแบบจำลอง ในความเป็นจริงอาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อปริมาณตะกอนในลำน้ำ นอกเหนือจากปริมาณน้ำฝนก็ได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลไม่อยู่ใน เกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.5 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS ในการประเมินปริมาณ ตะกอนในลำน้ำบนลุ่มน้ำอุ้มตะเกาในอนาคหลังจากการปรับเทียบปริมาณตะกอน

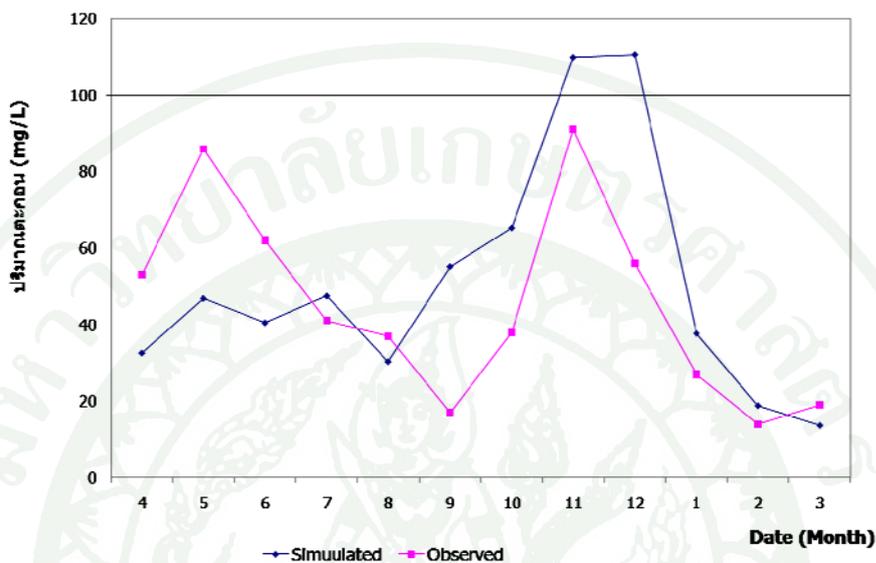
ประเมินประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบปริมาณตะกอนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองใน ช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2547 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2551 กับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด จริงในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งผลจากการปรับเทียบข้อมูลค่าประสิทธิผลไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประเมินปริมาณตะกอนในอนาคตไม่อยู่ในเกณฑ์ ที่ยอมรับได้เช่นเดียวกัน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 แสดงผลการประเมินการปรับเทียบปริมาณตะกอนระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับ ค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการ การปรับเทียบ

Parameter	Station	ปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายเดือน มก./ล		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณตะกอน	SK10	45.08	50.74	-12.55	0.58	-0.15

จากตารางที่ 26 ผลลัพธ์ปริมาณตะกอนเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปร มีค่าเท่ากับ 50.74 มก./ล เปรียบเทียบกับปริมาณตะกอนเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 45.08 มก./ล พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ 12.55 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.58 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -0.15 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิง

เส้นของปริมาณตะกอนระหว่างค่าที่ได้จากได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 แสดงดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 แสดงปริมาณตะกอนที่ได้จากการจำลองกับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ

5.6 ข้อจำกัดในการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนในแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

5.6.1 ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่นำเข้ามาแบบจำลองนำเข้าเฉพาะครั้งแรกที่เริ่มใช้แบบจำลองเท่านั้น ซึ่งใช้ตลอดช่วงเวลาในการประมวลผล จึงทำให้ผลลัพธ์ปริมาณตะกอน ที่ได้จากแบบจำลองค่อนข้างคงที่แปรผันไปตามปริมาณน้ำท่า แต่ในสภาพพื้นที่จริง การใช้ประโยชน์ที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอตามปัจจัยหลายๆอย่างเช่น ความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินของเจ้าที่ดิน ณ เวลานั้นๆ เป็นต้น ข้อมูลปริมาณตะกอนในพื้นที่จริงจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้อยู่เสมอ มีความไม่แน่นอน เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนยังไม่มีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.6.2. ข้อมูลปริมาณตะกอนบริเวณปากคลองอุตะเกษามีไม่มีคุณภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง เนื่องจากข้อมูลไม่มีความต่อเนื่องและช่วงเวลาของข้อมูลไม่

มากพอเช่น การเก็บข้อมูลปริมาณตะกอน เดือนมกราคม 2546 เก็บวันที่ 12 เดือนกุมภาพันธ์ 2546 เก็บวันที่ 24 เดือนมีนาคม 2546 เก็บวันที่ 31 เดือนมกราคม 2547 เก็บวันที่ 23 เป็นต้น ซึ่งข้อมูลไม่มีความต่อเนื่องและข้อมูลมีเพียง 10 ปีย้อนหลัง จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพในการประเมินตะกอนไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

5.6.3 ค่าตัวแปรที่ปรับแก้จะอยู่ในช่วงที่คู่มือ SWAT Calibration Techniques แนะนำ ดังนั้นค่าตัวแปรที่เหมาะสมจึงมีขอบเขตที่จำกัด ส่งผลต่อความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

5.7 ปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1 ผ่านสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ SK10 ในแบบจำลองหลังการปรับแก้ค่าตัวแปร

จากการปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อปรับเทียบปริมาณไนโตรเจนตามแนวทางในการปรับเทียบค่าในคู่มือ SWAT Calibration Techniques ประกอบด้วย ค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_NO3) ค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของปุ๋ยบนพื้นที่ (FRT_LY1) ค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดิน (BIOMIX) และค่าการไหลซึมของไนโตรเจน (NPERCO) ค่าของตัวแปรหลังการปรับแก้แสดงดังตารางที่ 28

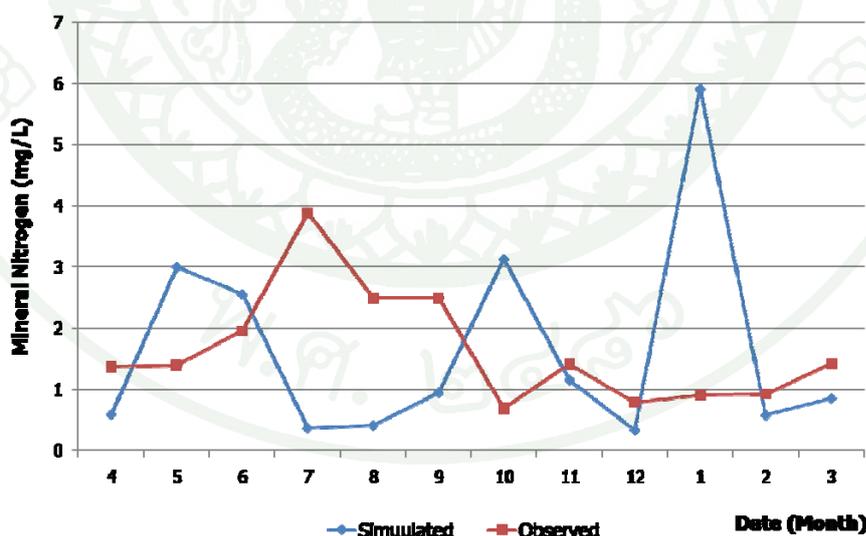
ตารางที่ 28 แสดงค่าตัวแปรหลังปรับแก้ค่าในการปรับเทียบแบบจำลอง

PARAMETER	Values
SOL_NO3	0
FRT_LY1	0.8
BIOMIX	0.16
NPERCO	0.4

ตารางที่ 29 แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 หลังการปรับเทียบ

Parameter	Station	ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยรายเดือน มก./ล		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณไนโตรเจน	SK10	1.64	1.65	-0.47	-0.38	-4.72

จากตารางที่ 29 ผลลัพธ์ปริมาณ Mineral Nitrogen เฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1.65 มก./ล เปรียบเทียบกับปริมาณ Mineral Nitrogen เฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 1.64 มก./ล พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -0.47 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ -0.38 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -4.72 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณ Mineral Nitrogen ระหว่างค่าที่ได้จากได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 แสดงดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 แสดงปริมาณไนโตรเจนรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 หลังการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล

ผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองหลังจากการปรับแก้ค่าตัวแปรเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงพบว่า ในโตรเจนที่ได้จากแบบจำลองมีปริมาณใกล้เคียงกับในโตรเจนที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้านความสัมพันธ์ของข้อมูลแตกต่างกันค่อนข้างมาก เป็นผลสืบเนื่องจากผลลัพธ์ข้อมูลตะกอนที่ประสิทธิภาพยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เพราะในสมการในโตรเจนในลำน้ำในแบบจำลองส่วนหนึ่งจะแปรผันตามสมการตะกอนที่ถูกชะพาลงสู่ลำน้ำ ดังนั้นหากข้อมูลตะกอนผิดพลาดไป จึงทำให้ข้อมูลในโตรเจนผิดพลาดตามไปด้วย อีกทั้งข้อมูลในโตรเจนที่นำมาใช้เปรียบเทียบมีช่วงเวลาเก็บข้อมูลน้อยเกินไปจึงอาจทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีโอกาสผิดพลาดมากกว่ากรณีมีข้อมูลมีช่วงเวลาจำนวนมากและต่อเนื่อง และข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบเป็นข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งข้อมูลทุติยภูมิที่ได้อาจผิดพลาดได้จากตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง จำนวนจุดเก็บข้อมูล หากเก็บในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมและจำนวนจุดเก็บที่ไม่มากพอ ค่าเฉลี่ยข้อมูลในโตรเจนในลำน้ำอาจไม่ใช่ตัวแทนของข้อมูลในโตรเจนในลำน้ำนั้น เวลาที่เก็บข้อมูล เก็บเดือนละหนึ่งครั้งซึ่งไม่เป็นตัวแทนข้อมูลในโตรเจนในลำน้ำที่ดี เนื่องจากอาจเป็นเฉพาะช่วงเวลาเก็บอาจเป็นช่วงมีค่ามากหรือน้อยกว่าปกติก็ได้ และสมการในโตรเจนในแบบจำลองกล่าวถึงเฉพาะสมการการใช้ในโตรเจนจากแพลงก์ตอน ไม่ได้กล่าวถึงอิทธิพลของจุลินทรีย์ที่มีต่อปริมาณในโตรเจน ซึ่งอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณในโตรเจนในลำน้ำในแบบจำลองด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าวเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

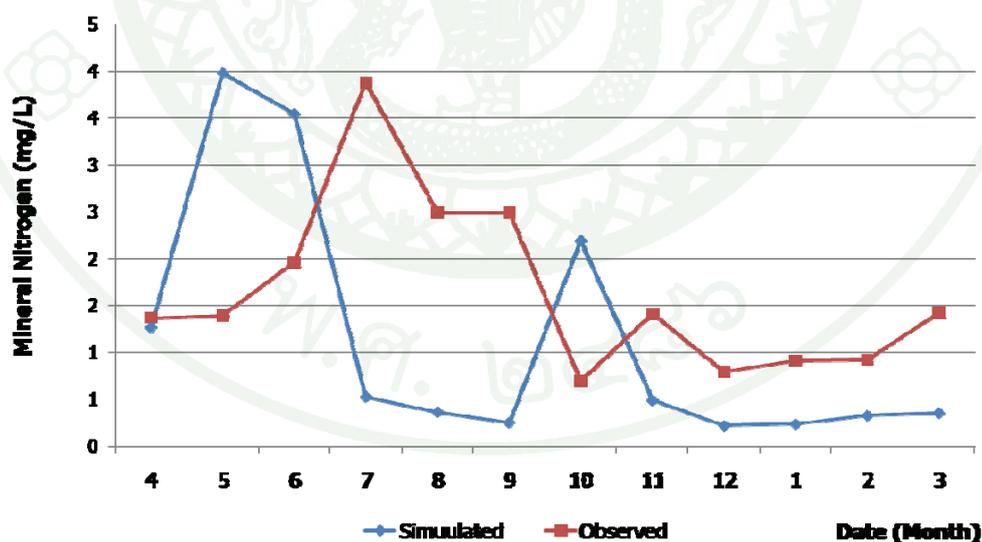
5.8 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS ในการประเมินปริมาณ Mineral Nitrogen ในลำน้ำบนลุ่มน้ำอุ้มตะโกในอนาคหลังจากการเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen

ประเมินประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen รายเดือนที่ได้จากแบบจำลองในช่วงเวลาไว้ 1 มกราคม พ.ศ. 2547 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2551 กับปริมาณตะกอนที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ค่าประสิทธิภาพไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประเมินปริมาณในโตรเจนในอนาคตไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เช่นเดียวกัน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 แสดงผลการประเมินการเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ

Parameter	Station	ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยรายเดือน มก./ล		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณไนโตรเจน	SK10	1.64	1.14	30.40	-0.1	-2.74

จากตารางที่ 30 ผลลัพธ์ปริมาณ Mineral Nitrogen เฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1.14 มก./ล เปรียบเทียบกับปริมาณ Mineral Nitrogen เฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 1.64 มก./ล พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ 30.40 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ -0.1 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -2.74 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณ Mineral Nitrogen ระหว่างค่าที่ได้จากได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 แสดงดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 แสดงปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการจำลองกับปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ

5.9 ข้อจำกัดในการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

5.9.1 ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่นำเข้าแบบจำลองนำเข้าเฉพาะครั้งแรกที่เริ่มใช้แบบจำลองเท่านั้น ซึ่งใช้ตลอดช่วงเวลาในการประมวลผล จึงทำให้ผลลัพธ์ปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากแบบจำลองค่อนข้างคงที่แปรผันตามปริมาณน้ำท่าและตะกอน แต่ในสภาพพื้นที่จริง การใช้ประโยชน์ที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอตามปัจจัยหลายๆอย่างเช่น ความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินของเจ้าที่ดิน ณ เวลานั้นๆ เป็นต้น ข้อมูลปริมาณไนโตรเจนในพื้นที่จริงจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้อยู่เสมอ มีความไม่แน่นอน เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนยังไม่มีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.9.2 ข้อมูลปริมาณไนโตรเจนบริเวณปากคลองอุตะเกษามีไม่มีคุณภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง เนื่องจากข้อมูลไม่มีความต่อเนื่องและช่วงเวลาของข้อมูลไม่มากพอเช่น การเก็บข้อมูลปริมาณไนโตรเจน เดือนมกราคม 2546 เก็บวันที่ 12 เดือนกุมภาพันธ์ 2546 เก็บวันที่ 24 เดือนมีนาคม 2546 เก็บวันที่ 31 เดือนมกราคม 2547 เก็บวันที่ 23 เป็นต้น ซึ่งข้อมูลไม่มีความต่อเนื่องและข้อมูลมีเพียง 10 ปีย้อนหลัง อีกทั้งจำนวนจุดเก็บและตำแหน่งมีผลต่อค่าเฉลี่ยไนโตรเจนซึ่งเป็นตัวแทนข้อมูลของไนโตรเจนในลำน้ำ แต่เนื่องด้วยข้อมูลที่ได้นั้น เป็นการเก็บเพียงเดือนละหนึ่งครั้งเท่านั้น ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนมาก จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพในการประเมินไนโตรเจนไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

5.9.3 ค่าตัวแปรที่ปรับแก้จะอยู่ในช่วงที่คู่มือ SWAT Calibration Techniques แนะนำ ดังนั้นค่าตัวแปรที่เหมาะสมจึงมีขอบเขตที่จำกัด ส่งผลต่อความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

5.9.4 แบบจำลอง SWAT2000/GIS กล่าวถึงเฉพาะสมการการใช้ไนโตรเจนจากแพลงค์ตอน ไม่ได้กล่าวถึงอิทธิพลของจุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีต่อปริมาณไนโตรเจน ซึ่งอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนในลำน้ำในแบบจำลองด้วย

5.10 ปริมาณ Total Phosphorus ที่ออกจาก Subbasin หมายเลข 1 ผ่านสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ SK10 ในแบบจำลองหลังการปรับแก้ค่าตัวแปร

จากการปรับแก้ค่าตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนตามแนวทางในการปรับเทียบค่าในคู่มือ SWAT Calibration Techniques ประกอบด้วย ค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_MINP) ค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_ORGP) ค่าการไหลซึมของฟอสฟอรัส (PPERCO) ค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสต่อตะกอน (PHOSKD) ค่าของตัวแปรหลังการปรับแก้แสดงดังตารางที่ 31

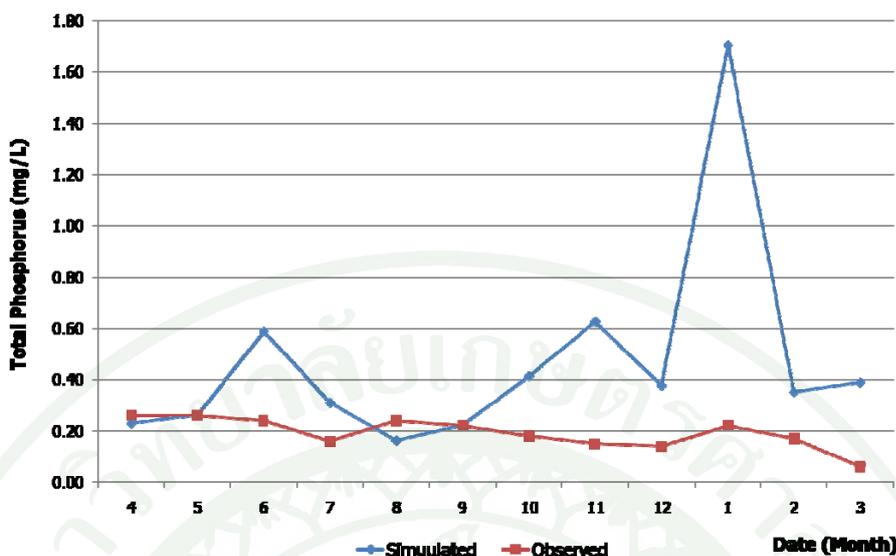
ตารางที่ 31 แสดงค่าตัวแปรหลังปรับแก้ค่าในการปรับเทียบแบบจำลอง

PARAMETER	Values
SOL_MINP	0
SOL_ORGP	0
PHOSKD	100
PPERCO	9

ตารางที่ 32 แสดงผลการประเมินการปรับเทียบปริมาณ Total Phosphorus ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546

Parameter	Station	ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยรายเดือน มก./ล		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณฟอสฟอรัส	SK10	0.19	0.47	-145.4	0.021	-71.8

จากตารางที่ 32 ผลลัพธ์ปริมาณ Total Phosphorus เฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 0.47 มก./ล เปรียบเทียบกับปริมาณ Total Phosphorus เฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 0.19 มก./ล พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -145.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.021 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -71.8 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณ Total Phosphorus ระหว่างค่าที่ได้จากได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 แสดงดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 หลังการปรับแก้ตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล

ผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองหลังจากการปรับแก้ค่าตัวแปรเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงพบว่า ฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบจำลองมีปริมาณใกล้เคียงกับฟอสฟอรัสที่ได้จากการตรวจวัดจริง ด้านความสัมพันธ์ของข้อมูลแตกต่างกันค่อนข้างมาก เป็นผลสืบเนื่องจากผลลัพธ์ข้อมูลตะกอนที่ประสิทธิภาพยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เพราะในสมการฟอสฟอรัสในลำน้ำในแบบจำลองปัจจัยหลักจะแปรผันตามสมการตะกอนที่ถูกชะพาลงสู่ลำน้ำ เพราะฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะไม่เปลี่ยนแปลงมากเท่าในโตรเจน ดังนั้นหากข้อมูลตะกอนผิดพลาดไป จึงทำให้ข้อมูลฟอสฟอรัสผิดพลาดตามไปด้วย อีกทั้งข้อมูลฟอสฟอรัสที่นำมาใช้เปรียบเทียบมีช่วงเวลาเก็บข้อมูลน้อยเกินไปจึงอาจทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีโอกาสผิดพลาดมากกว่ากรณีมีข้อมูลมีช่วงเวลาจำนวนมากและต่อเนื่อง และข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบเป็นข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งข้อมูลทุติยภูมิที่ได้อาจผิดพลาดได้จากตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง จำนวนจุดเก็บข้อมูล หากเก็บในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมและจำนวนจุดเก็บที่ไม่มากพอ ข้อมูลฟอสฟอรัสในลำน้ำอาจไม่ใช่ตัวแทนของข้อมูลฟอสฟอรัสในลำน้ำนั้นเวลาที่เก็บข้อมูล เก็บเดือนละหนึ่งครั้งซึ่งไม่เป็นตัวแทนข้อมูลฟอสฟอรัสในลำน้ำที่ดี เนื่องจากอาจเป็นเฉพาะช่วงเวลาเก็บอาจเป็นช่วงมีค่ามากหรือน้อยกว่าปกติก็ได้ และสมการฟอสฟอรัสในแบบจำลองกล่าวถึงเฉพาะสมการการใช้ฟอสฟอรัสจากแหล่งค์ตอน ไม่ได้กล่าวถึงอิทธิพลของจุลินทรีย์ที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัส ซึ่งอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสในลำน้ำใน

แบบจำลองด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าวเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.11 ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS ในการประเมินปริมาณ Total Phosphorus ในลำน้ำบนลุ่มน้ำอุทกภาคในอนาคหลังจากการปรับเทียบปริมาณ Total Phosphorus

ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS หลังจากการปรับเทียบปริมาณ ฟอสฟอรัส (Total Phosphorus) ในลำน้ำ ในลำน้ำ ในการประเมินปริมาณฟอสฟอรัสในอนาคต โดยใช้ข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัส 5 ปีย้อนหลัง (พ.ศ.2547-2551) ณ สถานี SK10 บริเวณปากคลองอยู่ ตะเภา ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 แสดงผลการประเมินการปรับเทียบปริมาณ Total Phosphorus ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการปรับเทียบ

Parameter	Station	ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยรายเดือน มก./ล		R (%)	R ²	NS
		Observed	Simulated			
ปริมาณฟอสฟอรัส	SK10	0.19	0.44	-129.4	0.04	-23.07

จากตารางที่ 33 ผลลัพธ์ปริมาณ Total Phosphorus เฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 0.44 มก./ล เปรียบเทียบกับปริมาณ Total Phosphorus เฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งเท่ากับ 0.19 มก./ล พบว่ามีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -129.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.04 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -23.07 เมื่อนำผลการเปรียบเทียบข้อมูลมาสร้างกราฟเชิงเส้นของปริมาณ Total Phosphorus ระหว่างค่าที่ได้จากได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 แสดงดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จากการจำลองกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานี SK10 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ที่ไม่ได้ใช้ในการเปรียบเทียบ

5.12 ข้อจำกัดในการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

5.12.1 ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่นำเข้าแบบจำลองนำเข้าเฉพาะครั้งแรกที่เริ่มใช้แบบจำลองเท่านั้น ซึ่งใช้ตลอดช่วงเวลาในการประมวลผล จึงทำให้ผลลัพธ์ปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จากแบบจำลองค่อนข้างคงที่แปรผันตามปริมาณน้ำท่าและตะกอน แต่ในสภาพพื้นที่จริง การใช้ประโยชน์ที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอตามปัจจัยหลายๆอย่างเช่น ความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินของเจ้าที่ดิน วนเวลานั้นๆ เป็นต้น ข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสในพื้นที่จริงจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้อยู่เสมอ มีความไม่แน่นอน เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสยังไม่มีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.12.2. ข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสบริเวณปากคลองอุตะเกษามีไม่มีคุณภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง เนื่องจากข้อมูลไม่มีความต่อเนื่องและช่วงเวลาของข้อมูลไม่มากพอเช่น การเก็บข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัส เดือนมกราคม 2546 เก็บวันที่ 12 เดือนกุมภาพันธ์ 2546 เก็บวันที่ 24 เดือนมีนาคม 2546 เก็บวันที่ 31 เดือนมกราคม 2547 เก็บวันที่ 23 เป็นต้น ซึ่งข้อมูลไม่มีความต่อเนื่องและข้อมูลมีเพียง 10 ปีย้อนหลัง อีกทั้งจำนวนจุดเก็บและตำแหน่งมีผลต่อ

ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสซึ่งเป็นตัวแทนข้อมูลของฟอสฟอรัสในลำน้ำ แต่เนื่องด้วยข้อมูลที่ได้มานั้น เป็นการเก็บเพียงเดือนละหนึ่งครั้งเท่านั้น ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนมาก จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพในการประเมินฟอสฟอรัสไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

5.12.3 ค่าตัวแปรที่ปรับแก้จะอยู่ในช่วงที่คู่มือ SWAT Calibration Techniques แนะนำ ดังนั้นค่าตัวแปรที่เหมาะสมจึงมีขอบเขตที่จำกัด ส่งผลต่อความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

5.12.4 แบบจำลองกล่าวถึงเฉพาะสมการการใช้ฟอสฟอรัสจากแหล่งต้น ไม่ได้กล่าวถึงอิทธิพลของจุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัส ซึ่งอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสในลำน้ำในแบบจำลองด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการประเมินธาตุอาหารของแบบจำลอง SWAT 2000/GIS บนลุ่มน้ำอุทตะเกษของประเทศไทย ยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพคือข้อมูลคุณภาพน้ำทุติยภูมิบนลุ่มน้ำอุทตะเกษที่ได้จากหน่วยงานราชการยังไม่มีคุณภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองเพื่อประเมินคุณภาพน้ำ แต่เป็นแนวทางสำหรับการประเมินในพื้นที่อื่นที่มีข้อมูลคุณภาพเพียงพอในประเทศไทยได้ ซึ่งผลที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลแสดงดัชนีภาพรวม ก ดังนั้นหากต้องการใช้แบบจำลอง SWAT 2000/GIS ในการประเมินด้านคุณภาพน้ำครอบคลุมทั่วประเทศใน ประเทศไทย หน่วยงานต่างๆของประเทศไทยที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดหรือเก็บข้อมูลด้านคุณภาพน้ำควรเริ่มเก็บข้อมูลให้มีความถี่มากขึ้นและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

1. ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปร

1.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2546 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 41.17 ลบ.ม/วินาที ความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ - 80.60 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.84 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -0.98

1.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ปริมาณตะกอนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 67.32 มก.ล มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ 49.33 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.25 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า - 2.81

1.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ปริมาณ Mineral Nitrogen เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.55 มก./ล มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ 12.92 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.19 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า - 1.79

1.4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ Total Phosphorus ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ปริมาณ Total Phosphorus เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.19 มก./ล มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -27.33 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.1 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า - 3.53

2. ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองหลังการปรับแก้ค่าตัวแปร

2.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2546 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 33.07 ลบ.ม/วินาที มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -45.07 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.86 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -0.28

2.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ปริมาณตะกอนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 49.08 มก./ล มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -8.88 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.016 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -3.48

2.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ปริมาณ Mineral Nitrogen เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.65 มก./ล มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -0.47 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ -0.38 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -4.72

2.4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ Total Phosphorus ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง พ.ศ. 2546 ปริมาณ Total Phosphorus เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.47 มก./ล มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -145.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.021 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -71.8

3. ผลการประเมินประสิทธิภาพที่ได้จากแบบจำลองหลังการปรับแก้ค่าตัวแปร

3.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยค่าเท่ากับ 32.58 ลบ.ม/วินาที มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -35.74 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.57 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -1.76

3.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ปริมาณตะกอนเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 50.74 มก./ล มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ 12.55 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.58 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -0.15

3.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ Mineral Nitrogen ระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ผลลัพธ์ปริมาณ Mineral Nitrogen เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.14 มก./ล มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ 30.40 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ -0.1 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -2.74

3.4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ Total Phosphorus ระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2551 ผลลัพธ์ปริมาณ Total Phosphorus เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.44 มก./ล มีความแตกต่างสัมพัทธ์ร้อยละ -129.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.04 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล มีค่า -23.07

ข้อเสนอแนะ

เนื่องข้อมูลบางอย่างอาจมีค่าใช้จ่าย เช่น ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ (Topography Map) โปรแกรม ArcView หรือ ArcGIS ที่มีลิขสิทธิ์ ค่าเดินทาง ค่าส่งวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ เป็นต้น และเนื่องด้วยไม่มีงบประมาณในการทำงานวิจัย ทำให้ข้อมูลส่วนใหญ่เป็นข้อมูลทุติยภูมิในการนำเข้าแบบจำลอง ดังนั้นผลลัพธ์จากแบบจำลองจึงมีความคลาดเคลื่อน แม้ว่าแบบจำลองมีส่วนที่ทำให้มีการปรับแก้ค่าหลังจากการประมวลผลเบื้องต้นได้จึงเป็นการชดเชยส่วนที่คลาดเคลื่อน แต่หากข้อมูลที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบไม่ดีผลลัพธ์ที่ได้ก็จะไม่มีประสิทธิภาพ ปัญหาที่พบคือ ข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้

เป็นข้อมูลที่เก็บเดือนละหนึ่งครั้งและไม่ต่อเนื่อง เช่น ปี พ.ศ. 2547 เดือนมกราคม เก็บข้อมูลวันที่ 12 เดือนกุมภาพันธ์ เก็บวันที่ 25 เดือน มีนาคมเก็บวันที่ 1 ปี พ.ศ. 2548 เดือนมกราคมเก็บข้อมูลวันที่ 31 เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จึงเป็นข้อมูลที่กระจายไม่ต่อเนื่องข้อมูลที่มีการรวบรวมทั้งด้านปริมาณและคุณภาพน้ำนั้นควรเพิ่มหรือปรับปรุงข้อมูลให้มีความต่อเนื่องและทันสมัยอยู่เสมอหน่วยราชการควรมีความร่วมมือระหว่างหน่วยงานเพื่อรวบรวมข้อมูลคุณภาพน้ำไว้ที่หน่วยงานหรือแหล่งข้อมูลเดียวเพื่อง่ายต่อการขอข้อมูล และเผยแพร่ในแหล่งข้อมูลสาธารณะเพื่อง่ายต่อการเข้าถึงข้อมูล เพื่อให้สามารถนำมาใช้ประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



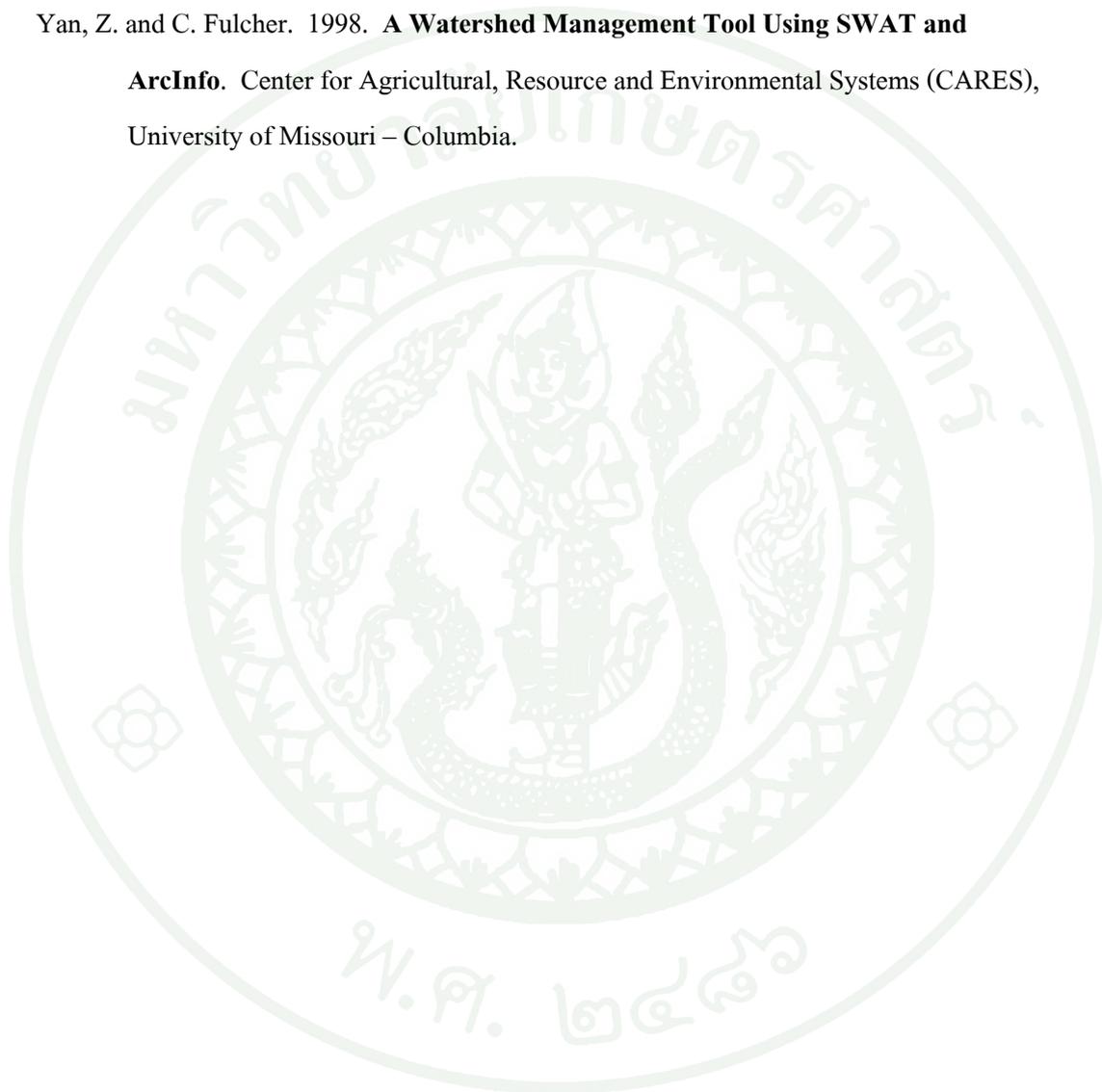
เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กิตติพงษ์ ธานีริยะกุล. 2546. การประเมินสัมพันธภาพลำน้ำย่อยของประเทศไทยด้วยข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ และแบบจำลองสาธารณสิทธิ์ SWAT/GIS : กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนบน อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทรงวุฒิ กิจวรวุฒิ. 2545. การศึกษาการใช้น้ำลุ่มน้ำอุ้มตะเก. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ลิมป์ชัย ประชาญาศิทธิกุล. 2549. การศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อจำลองเหตุการณ์ในการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วีระพล เต็มสมบัติ. 2531. อุทกวิทยาประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์ หจก. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- หรรษา วัฒนานุกิจ. 2543. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์/ระบบภูมิสารสนเทศ. สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.
- อุทัย สุขสิงห์ 2549. การจัดการระบบฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยโปรแกรม ArcView 3.2a - 3.3. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.
- Arnold, J. G., R. S. Muttiah, R. Srinivasan and P. M. Allen 2000. Regional estimation of baseflow and groundwater recharge in the Mississippi basin. **J. Hydrology** 22(2000) : 21-40.
- Arnold, J.G., R. Srinivansan, K.W.King and R.H.Griggs. 1995. **SWAT – Soil and Water Assessment Tool: Draft Users Manual**. Available Source: <ftp://ftp.brc.tamus.edu/pub/swat/doc/swat2000theory.pdf>, March 27, 2001.

- Ling, B. 1996. **ARCSWAT Users Manual**. Available Source:
<http://www.geog.buffalo.edu/~lbian/swat/manual.html>, March 27, 2001.
- Maidment, D.R. 1998. **GIS and Hydrologic Modeling**. Available Source:
http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/maidment_david/maidment.html, March 27, 2001.
- Mauro, D.L., R. Srinivasan and J.G. Arnold. 1998. **An ArcView GIS Extension as Tool for the Watershed Control of Point and Non-Point Sources**. Available Source:
<http://www.giscafe.com/TechPapers/Papers/paper038.html>, March 27, 2001.
- Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry and J. R. Willams. 2001. **Soil and Water Assessment Tool – Manual**, USDA-ARS Publications. : 341-354,
<http://www.brc.tamus.edu/swat/manual>.
- Rosenthal, W.D., R.Srinivasan and J.G. Arnold. 1995. Alternative river management using a linked GIS-hydrology model. **Trans ASAE**. 38(3): 783–790.
- Santhi, C., J. G. Arnold, J. R. Willams, W. A. Dugas, R. Srinivasan and L. M. Hauck.2001. Validation of the SWAT Model on a Large River Basin with Point and Nonpoint Source. **J. American Water Resources Association** 37(5) : 1169-1188.
- Srinivasan, R., T. S. Ramanarayaman, J. G. Arnold and S. T. Bednarz 1997. **Large area hydrologic modeling and assessment: Part II – Model and application**. J. American Water Resources Association 34(1) : 91-102.
- Srinivasan, R., B.W.Byars and J.G.Arnold. 1995. **Swat – Grass Users Manual**. Available Source: http://www.baylor.edu/~Bruce_Byars/swatgrassman.html, March 27, 2000.

Waer yield/Brush. 1998. Douglas .A.Muttiah and W .S.R ,Dybala .T.,BT ,Steven .**Feasibility studies Available** : Source <http://www.brc.tamus.edu/blackland/dugas/chapter1.pdf>, March 27, 2001.

Yan, Z. and C. Fulcher. 1998. **A Watershed Management Tool Using SWAT and ArcInfo**. Center for Agricultural, Resource and Environmental Systems (CARES), University of Missouri – Columbia.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนบนลุ่มน้ำอุตะเกาที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง พ.ศ.2542 ถึง พ.ศ.2551 (หน่วย: ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

Year	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
1999	74.42	80.73	28.05	9.27	3.1	17.59	68.75	596.16	474.08	144.87	38.54	22.04	1557.59
2000	17.99	12.56	2.32	4.11	1.91	4.47	54.93	158.86	270.25	157.49	86.94	43.82	815.66
2001	0.94	13.58	16.88	1.07	0.28	2.29	6.48	116.51	125.11	88.52	14.22	0.16	386.06
2002	4.39	5.13	13.22	57.59	69.42	73.98	51.93	85.8	106.87	42.75	9.32	0	520.4
2003	7	17.95	46.14	53.92	68.06	50.16	82.04	177.01	52.28	122	27.24	7.37	711.15
2004	11.57	121.09	41.83	15.75	12.25	51.94	95.03	989.37	933.96	10.38	0.2	0	2283.39
2005	2.89	24.13	17.88	7.45	0.29	11.49	17.56	27.19	92.94	10.18	0.65	5.05	217.69
2006	49.48	105.34	151.48	140.05	27.16	27.71	6.28	55.34	184.27	101.4	23.8	3.87	876.18
2007	22.54	2.79	7.66	28.61	24.84	17	194.29	187.84	195.82	28.31	4.06	41.62	755.39
2008	0	5.04	6.19	32.33	20.72	110.68	130.28	109.72	221.69	28.95	3.24	0	668.84
Max	74.42	121.09	151.48	140.05	69.42	110.68	194.29	989.37	933.96	306.94	140.66	70.44	2283.39
Mean	11.78	24.25	21.86	25.77	22.48	34.61	61.6	178.5	235.6	79.83	22.49	7.83	724.8
Min	0	0.9	0.09	0.24	0.17	1.77	3.65	23.33	23.75	10.18	0.2	0	217.69

ตารางผนวกที่ ก2 ปริมาณตะกอนรายเดือนบนลุ่มน้ำอุ้มตะโกที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง พ.ศ.2543 ถึง พ.ศ.2551 (หน่วย: มิลลิกรัมต่อลิตร)

Year	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
2000	7.03	9.43	1.75	3.49	2.26	2.78	33.53	87.21	96.24	53.26	18.55	22.94	338.47
2001	0.37	10.19	12.74	0.91	0.33	1.42	3.96	63.96	44.55	29.94	3.03	0.08	171.48
2002	1.71	3.85	9.98	48.94	82.14	45.96	31.7	47.1	38.06	14.46	1.99	0	325.89
2003	2.73	13.47	34.83	45.82	80.54	31.16	50.08	97.18	18.62	41.26	5.81	3.86	425.36
2004	4.52	90.88	31.57	13.38	14.5	32.27	58.01	543.16	332.58	3.51	0.04	0	1124.42
2005	1.13	18.11	13.5	6.33	0.34	7.14	10.72	14.93	33.1	3.44	0.14	2.64	111.52
2006	19.32	79.06	114.34	119.01	32.14	17.21	3.83	30.38	65.62	34.29	5.08	2.03	522.31
2007	8.8	2.09	5.78	24.31	29.39	10.56	118.59	103.12	69.73	9.57	0.87	21.79	404.6
2008	0	3.78	4.67	27.47	24.52	68.75	79.52	60.24	78.94	9.79	0.69	0	358.37
Max	29.06	90.88	114.34	119.01	82.14	68.75	118.59	543.16	332.58	53.26	18.55	22.94	1593.26
Mean	7.47	29.15	25.03	29.75	26.98	22.82	43.19	137.46	94.63	24.85	4.44	6.49	452.26
Min	0	2.09	1.75	0.91	0.33	1.42	3.83	14.93	18.62	3.44	0.04	0	47.36

ตารางผนวกที่ ก3 ปริมาณ Mineral Nitrogen รายเดือนบนลุ่มน้ำอุ้มตะโกที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองพ.ศ.2543 ถึง พ.ศ.2551 (หน่วย: มิลลิกรัมต่อลิตร)

Year	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
2000	94.6	100.5	9.9	23.4	13.0	22.5	82.9	451.2	378.4	189.0	85.2	151.2	1601.7
2001	4.9	108.6	71.7	6.1	1.9	11.5	9.8	330.9	175.2	106.2	13.9	0.6	841.4
2002	23.1	41.0	56.2	328.3	472.1	372.1	78.4	243.7	149.6	51.3	9.1	0.0	1824.9
2003	36.8	143.6	196.1	307.3	462.8	252.3	123.9	502.7	73.2	146.4	26.7	25.4	2297.3
2004	60.9	968.7	177.8	89.8	83.3	261.3	143.5	2809.8	1307.5	12.5	0.2	0.0	5915.2
2005	15.2	193.0	76.0	42.5	2.0	57.8	26.5	77.2	130.1	12.2	0.6	17.4	650.6
2006	260.3	842.7	643.8	798.3	184.7	139.4	9.5	157.2	258.0	121.7	23.3	13.4	3452.1
2007	118.6	22.3	32.6	163.1	168.9	85.5	293.4	533.5	274.1	34.0	4.0	143.6	1873.5
2008	0.0	40.3	26.3	184.3	140.9	556.7	196.7	311.6	310.4	34.7	3.2	0.0	1805.1
Max	391.4	968.7	643.8	798.3	472.1	556.7	293.4	2809.8	1307.5	189.0	85.2	151.2	8667.1
Mean	100.6	310.7	141.0	199.6	155.1	184.8	106.8	711.1	372.0	88.2	20.4	42.8	2432.9
Min	0.0	22.3	9.9	6.1	1.9	11.5	9.5	77.2	73.2	12.2	0.2	0.0	224.0

ตารางผนวกที่ ก4 ปริมาณ Total phosphorus รายเดือนบนลุ่มน้ำอุ้มตะโกที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง พ.ศ.2543 ถึง พ.ศ.2551 (หน่วย: มิลลิกรัมต่อลิตร)

Year	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
2000	4.5	6.0	0.8	1.9	1.5	1.6	38.5	114.4	118.9	31.5	6.1	9.6	335.3
2001	0.2	6.5	5.6	0.5	0.2	0.8	4.5	83.9	55.0	17.7	1.0	0.0	176.1
2002	1.1	2.5	4.4	27.1	53.5	26.6	36.4	61.8	47.0	8.6	0.7	0.0	269.4
2003	1.8	8.6	15.2	25.3	52.4	18.1	57.4	127.4	23.0	24.4	1.9	1.6	357.2
2004	2.9	58.1	13.8	7.4	9.4	18.7	66.5	712.3	410.9	2.1	0.0	0.0	1302.3
2005	0.7	11.6	5.9	3.5	0.2	4.1	12.3	19.6	40.9	2.0	0.0	1.1	102.0
2006	12.4	50.6	50.0	65.8	20.9	10.0	4.4	39.8	81.1	20.3	1.7	0.9	357.8
2007	5.6	1.3	2.5	13.4	19.1	6.1	136.0	135.2	86.2	5.7	0.3	9.2	420.7
2008	0.0	2.4	2.0	15.2	16.0	39.8	91.2	79.0	97.5	5.8	0.2	0.0	349.2
Max	18.6	58.1	50.0	65.8	53.5	39.8	136.0	712.3	410.9	31.5	6.1	9.6	1592.4
Mean	4.8	18.6	10.9	16.5	17.6	13.2	49.5	180.3	116.9	14.7	1.5	2.7	447.2
Min	0.0	1.3	0.8	0.5	0.2	0.8	4.4	19.6	23.0	2.0	0.0	0.0	52.7



ภาคผนวก ข

ข้อมูลทางอุตุนิยมิวิทยาและอุทกวิทยาบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้ตะเกา

ตารางผนวกที่ ข1 แสดงข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาบนพื้นที่ทะเลสาบสงขลา (1973-2003)

สงขลา	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Rainfall (mm)	54.6	37	43.9	77.6	119.5	93.1	88	111.4	130	252.2	567.3	420	1994
Temperature (°C)	27.2	27.7	28.4	29.1	29.1	28.8	28.6	28.5	28.1	27.6	26.9	26.7	28.1
Maximum Mean Temperature (°C)	29.6	30.4	31.4	32.4	32.9	32.8	32.7	32.7	32.1	31	29.5	29	31.4
Minimum Mean Temperature (°C)	24.3	24.4	24.6	24.9	25	24.7	24.3	24.3	24.2	24.1	24.1	24.1	24.4
Relative Humidity (%)	75	75	75	75	76	75	75	74	76	81	83	80	77
Wind Velocity (knot)	7.9	7.4	6.5	5	4	4.1	4.4	4.7	4.3	3.7	4.9	7.2	5.3
Cloudness (0-1- unit)	6.3	5.9	6	6.5	7.6	7.8	7.9	8	8	8.2	8.3	7.7	7.4
Pan evaporation (mm)	156.7	163	189	177	158.6	140.7	145.2	151.1	140	127.6	102.8	120	1,771.2
หาดใหญ่													
Rainfall (mm)	48.2	19.1	55.4	114	161.7	106.8	109.4	112.1	159.4	211.4	318.1	270	1,684.6
Temperature (°C)	25.8	26.6	27.5	27.9	27.7	27.5	27.2	27.2	26.7	26.4	25.8	25.4	26.8
Maximum Mean Temperature (°C)	30.9	32.5	34.1	34.6	33.6	33.2	32.9	32.8	32.2	31.6	30.1	29.5	32.3
Minimum Mean Temperature (°C)	21.7	22	22.7	23.5	23.9	23.7	23.3	23.4	23.2	23.2	23	22.4	23
Relative Humidity (%)	80	77	76	78	81	80	80	80	82	85	88	86	81
Wind Velocity (knot)	4.1	4.1	3.5	2.7	2.7	3.1	3.3	3.7	3.1	2.4	2.5	3.5	3.2
Cloudness (0-1- unit)	6.2	5.9	6.3	7	7.9	8	8.1	8.2	8.4	8.5	8.5	7.6	7.6

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คอหงส์	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Rainfall (mm)	78.1	22.7	50.3	99.6	166.7	103.1	124.6	132.2	154.3	231.8	429.4	353	1,945.9
Temperature (°C)	26.6	27.2	28.3	29	28.8	28.4	28.2	28	27.7	27.4	26.4	26.3	27.7
Maximum Mean Temperature (°C)	30.1	31.4	32.9	34	33.7	33.2	32.8	32.9	32.3	31.5	30	29.3	32
Minimum Mean Temperature (°C)	23.1	23.2	23.6	24.2	24.2	23.9	23.5	23.3	23.2	23.3	23.4	23.3	23.5
Relative Humidity (%)	76	74	70	70	73	73	74	74	76	77	80	80	75
Wind Velocity (knot)	5.2	4.7	4.1	2.7	2.1	1.9	2.1	2.5	2.1	1.9	2.7	4.7	3.1
Cloudness (0-1- unit)	150	162	186	168	145.7	129	139.5	148.8	126	127.1	111	121	1,714.4
พัทลุง													
Rainfall (mm)	84.6	68.8	110.3	114.2	115.1	85	95.6	96.9	118.6	216.9	515.4	433.7	2,055.1
Temperature (°C)	27.2	27.4	28.3	29.1	29.2	28.9	28.6	28.5	28.3	27.8	26.9	26.5	28.1
Maximum Mean Temperature (°C)	30.5	31.3	32.4	33.5	33.3	33.3	33	33.1	32.6	31.5	29.9	29.5	32
Minimum Mean Temperature (°C)	23.6	23.4	23.9	24.7	24.9	24.6	24.1	24.1	24	23.9	24	23.6	24.1
Relative Humidity (%)	80	79	77	76	77	75	76	75	76	80	84	83	78
Wind Velocity (knot)	3.7	2.9	2.9	2.1	2.1	2.5	2.9	3.5	2.7	1.7	2.1	3.1	2.7
Cloudness (0-1- unit)	111	123.2	158.1	150	139.5	138	139.5	145.7	132	111.6	93	93	1,534.6

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

เฉลี่ย	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Rainfall (mm)	66.4	36.9	65	101.3	140.8	97	104.4	113.2	140.6	228.1	457.6	369.1	1,920.1
Temperature (°C)	26.7	27.2	28.1	28.8	28.7	28.4	28.2	28.1	27.7	27.3	26.5	26.2	27.7
Maximum Mean Temperature (°C)	30.3	31.4	32.7	33.6	33.4	33.1	32.9	32.9	32.3	31.4	29.9	29.3	31.9
Minimum Mean Temperature (°C)	23.2	23.3	23.7	24.3	24.5	24.2	23.8	23.8	23.7	23.6	23.6	23.4	23.8
Relative Humidity (%)	77.8	76.3	74.5	74.8	76.8	75.8	76.3	75.8	77.5	80.8	83.8	82.3	77.8
Wind Velocity (knot)	5.2	4.8	4.2	3.1	2.7	2.9	3.2	3.6	3.1	2.4	3.1	4.6	3.6
Cloudness (0-1- unit)	6.3	5.9	6.2	6.8	7.8	7.9	8	8.1	8.2	8.4	8.4	7.7	7.5
Pan evaporation (mm)	139.2	149.5	177.6	165	147.9	135.9	141.4	148.5	132.7	122.1	102.3	111.3	1,673.4

ที่มา: กระทรวงวิทยาศาสตร์ (2000)

ตารางผนวกที่ ข2 แสดงตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกา

ID	Code	STATION NAME	LOCATION	LAT	LONG
1	35012	อ.เมือง	พัทลุง	7.6222	100.0756
2	35022	อ.ปากพูน	พัทลุง	7.3494	100.3250
3	35032	อ.ควนขนุน	พัทลุง	7.7328	100.0133
4	35042	สถานีทดลองควนกุฎิ (ศูนย์วิจัยข้าว)	พัทลุง	7.6000	100.1333
5	35052	อ.เขาชัยสน	พัทลุง	7.4583	100.1361
6	35061	ศูนย์อุทกวิทยา ฯ ที่ 8 พัทลุง	พัทลุง	7.6122	100.0708
7	35071	คลองฮ้ายโต (x.21 B) เขาชัยสน	พัทลุง	7.3858	100.1075
8	35091	คลองพญาไ้รง (x.23) อ.กงหรา	พัทลุง	7.4606	99.9614
9	58013	อ.เมือง	สงขลา	7.2058	100.5994
10	58022	อ.หาดใหญ่	สงขลา	7.0008	100.4611
11	58032	อ.รัตภูมิ	สงขลา	7.1333	100.2583
12	58042	อ.ระโนด	สงขลา	7.7742	100.3200
13	58092	อ.สทิงพระ	สงขลา	7.4717	100.4417
14	58102	อ.สะเดา	สงขลา	6.6361	100.4250
15	58112	อากาศเกษตร คอหงษ์ อ.หาดใหญ่	สงขลา	7.0139	100.5092
16	65062	สถานีการยาง เขาช่อง	พัทลุง	7.5833	99.8500

ตารางผนวกที่ ข3 แสดงตำแหน่งของสถานีวัดน้ำทำในบริเวณลุ่มน้ำอุตะเกา

ID	Code	Station Name	Location	LAT	LONG
1	x.44	บ้านควนลัง 3 หาดใหญ่	สงขลา	7.0006	100.4589
2	x.71	บ้านคลองวา หาดใหญ่	สงขลา	6.9986	100.4328
3	x.90	บ้านบางศาลา หาดใหญ่	สงขลา	6.9275	100.4436
4	x.112	คลองรำ สะเดา	สงขลา	6.7031	100.4336
5	x.113	คลองสะเดา สะเดา	สงขลา	6.6331	100.3961
6	x.173	คลองแงะ หาดใหญ่	สงขลา	6.7956	100.4461
7	x.174	โตนงาช้าง หาดใหญ่	สงขลา	6.9950	100.4847
8	x.181	หาดใหญ่ หาดใหญ่	สงขลา	7.0575	100.4544



ภาคผนวก ค

ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของดินในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะเกา

ตารางผนวกที่ ค1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินแยกตามเนื้อดิน

Texture		Bulk Density (cm/gm)		Total Porosity	Field Capacity Bar 3/1	Wilting Point Bar 15	Available Water Capacity	Hydrolic Conductivity (hr/cm)	
		Svetlosanov and Knisel (1982)	Jury (1986)					,Li et al (1976)	,McCuen et al (1981)
Coarse sand	cs	1.6		0.4	0.11	0.03	0.08		
Sand	s	1.6	1.59 -1.65	0.4	0.16	0.03	0.13	63.36	24.6
Fine sand	fs	1.5		0.43	0.18	0.03	0.15		
fine sand .V	vfs	1.5		0.43	0.27	0.03	0.25		
coarse sand .L	lcos	1.6		0.4	0.16	0.05	0.11		
Loamy sand	ls	1.6		0.4	19.0	0.05	0.14	56.28	78.84
sand .Loamy f	lcos	1.6		0.4	0.22	0.05	0.18		
sand .f.v.L	lvfs	1.6		0.4	0.37	0.05	0.32		
loam.Coarse s	lfs	1.6		0.4	0.19	0.08	0.11		
Sandy loam	sl	1.6	1.47 - 1.20	0.4	0.22	0.08	0.14	12.48	17.93
sandy loam .F	fsl	1.7		0.36	0.27	0.08	0.19		
sandy loam.f.V	vfsl	1.6		0.4	0.37	0.08	0.29		
Loam	l	1.6		0.4	0.26	0.11	0.15	2.5	5.98
Silt loam	sil	1.5	1.47	0.43	0.32	0.12	0.2	2.59	1.62
Silt	si	1.4		0.47	0.27	0.03	0.24		
Sandy clay loam	scl	1.6		0.4	0.3	0.18	0.12	2.27	4.72
Clay loam	lc	1.6	1.36 - 1.20	0.4	0.35	0.22	0.13	0.88	3.64
Silty clay loam	sicl	1.4		0.47	0.36	0.2	0.16	0.61	1.07
Sandy clay	sc	1.6		0.4	0.28	0.2	0.13	0.78	1.25
Silty clay	sicl	1.5	1.26	0.48	0.4	0.3	0.14	0.37	1.8
Clay	c	1.4		0.47	0.39	0.28	0.11	0.46	1.07

ตารางผนวกที่ ค2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินแยกตามชั้นดินของพื้นที่ลุ่มน้ำอุ้มตะโก จ.สงขลา

Soil Name	Soil hydrologic Group	Layer	Depth (cm)	Soil Texture	Particle Size Analysis			Bulk Density (cm/gm)	Hydraulic Conductivity (hr/cm)	Water Capacity
					USDA Grading %					
					Sand	Silt	Clay			
Bh	B	1	0-18	s	96.9	2.1	1	1.45	218	0.13
		2	18-51	s	96.8	2.7	0.5	1.48	12.6	0.11
		3	51-80	s	96.8	2.2	1	1.48	1.14	0.15
		4	80-106	s	95.3	3.7	1	1.48	0.96	0.15
		5	106-136	s	96.9	1.1	2	0	0	0
KI	C	1	0-10	LS-L	52	38	10	1.45	218	0.13
		2	10-26	LS-L	26	32	42	1.48	12.6	0.11
		3	26-42	LS-L	22	27	51	1.48	1.14	0.15
		4	42-65	LS-L	16	16	68	1.48	0.96	0.15
Ba	C	1	0-15	L	33	42	25	1.10	0	0
		2	15-24	L	40	27.5	32.5	1.1	0	0
		3	24-55	L	33	29	38	1.1	0	0
		4	55-85	L	34.5	25.5	40	1.1	0	0
		5	85-100	L	44	24	32	0	0	0
Ro	B	1	0-9	Lsi	23.5	72.5	4	1.45	218	0.13
		2	9-21	Lsi	17	68	15	1.48	12.6	0.11

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

Soil Name	Soil hydrologic Group	Layer	Depth (cm)	Soil Texture	Particle Size Analysis			Bulk Density (cm/gm)	Hydraulic Conductivity (hr/cm)	Water Capacity
					USDA Grading %					
					Sand	Silt	Clay			
Ro	B	3	21-38	Lsi	13.5	61	25.5	1.48	1.14	0.15
		4	38-80	Lsi	9.5	59.5	31	1.48	0.96	0.15
		5	80-150	Lsi	7.5	56	36.5	0	0	0
Ko	C	1	0-10	L	51	34	14	1.45	218	0.13
		2	10-21	L	67.4	15.6	17	1.48	12.6	0.11
		3	21-57	L	66.1	8.4	25.5	1.48	1.14	0.15
		4	57-100	L	65.6	7.4	27	1.48	0.96	0.15
Sw	B	1	0-18	Ls	71	27	1.5	1.45	218	0.13
		2	18-39	Ls	71	18.5	10.5	1.48	12.6	0.11
		3	39-56	Ls	70.5	13	16.5	1.48	1.14	0.15
		4	56-75	Ls	46	16.5	37.5	1.48	0.96	0.15
		5	75-115	Ls	46.5	12	41.5	0	0	0

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

Soil Name	Soil hydrologic Group	Layer	Depth (cm)	Soil Texture	Particle Size Analysis			Bulk Density (cm/gm)	Hydraulic Conductivity (hr/cm)	Water Capacity
					USDA Grading %					
					Sand	Silt	Clay			
Kh	B	1	0-11	Ls	73.5	20	6.5	1.45	218	0.13
		2	11-26	Ls	70.5	22	7.5	1.48	12.6	0.11
		3	26-58	Ls	73	21	6	1.48	1.14	0.15
		4	58-100	Ls	67.5	19.5	13	1.48	0.96	0.15
Ra	D	1	0-11	C	26	27.5	46.5	1.45	218	0.13
		2	11-29	C	25.5	26	48.5	1.48	12.6	0.11
		3	29-62	C	1.2	11.3	87.5	1.48	1.14	0.15
		4	62-64	C	29.6	9.4	61	1.48	0.96	0.15
Cp	B	1	0-9	Ls	55	33	12	1.45	218	0.13
		2	9-20	Ls	60	28	12	1.48	12.6	0.11
		3	20-38	Ls	59	26	15	1.48	1.14	0.15
		4	38-75	Ls	40	14	46	1.48	0.96	0.15
		5	75-100	Ls	34	16	50	0	0	0
Ry	B	1	0-8	CS	65	31.5	3.5	1.45	218	0.13
		2	8-20	CS	57	32.5	10.5	1.48	12.6	0.11
		3	20-45	CS	47	26.5	26.5	1.48	1.14	0.15

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

Soil Name	Soil hydrologic Group	Layer	Depth (cm)	Soil Texture	Particle Size Analysis			Bulk Density (cm/gm)	Hydraulic Conductivity (hr/cm)	Water Capacity
					USDA Grading %					
					Sand	Silt	Clay			
Km	B	1	0-12	Ls	72	19.5	8.5	1.45	218	0.13
		2	12-28	Ls	70	14.5	15.5	1.48	12.6	0.11
		3	28-48	Ls	61	14.5	24.5	1.48	1.14	0.15
		4	48-100	Ls	58	15	27	1.48	0.96	0.15
		5	100-150	Ls	54	15	31	0	0	0
Sm	D	1	0-25	C	2.58	36.1	61.4	1.45	218	0.13
		2	25-46	C	0.66	45.3	54.0	1.48	12.6	0.11
		3	46-75	C	0.21	52.2	47.6	1.48	1.14	0.15
		4	75-105	C	2.18	42.1	55.7	1.48	0.96	0.15
		5	105-140	C	91.02	4.11	4.87	0	0	0
		6	140-165	C	71.06	23.1	5.89	0	0	0
		7	165-200	C	20.63	58.5	20.9	1.1	0	1.1

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

Soil Name	Soil hydrologic Group	Layer	Depth (cm)	Soil Texture	Particle Size Analysis			Bulk Density (cm/gm)	Hydraulic Conductivity (hr/cm)	Water Capacity
					USDA Grading %					
					Sand	Silt	Clay			
Tg	B	1	0-18	Lsi-L	31	50	19	1.45	218	0.13
		2	18-28	Lsi-L	30	39.5	30.5	1.48	12.6	0.11
		3	28-54	Lsi-L	30.5	30	39.5	1.48	1.14	0.15
		4	54-100	Lsi-L	59.5	18.5	22	1.48	0.96	0.15
SC	C	1	0-11	C	20.5	32.5	47	1.1	0	0
		2	11-18	C	14.5	15.5	70	1.1	0	0
		3	18-67	C	10.5	9.5	80	1.1	0	0
		4	67-100	C	10.5	9	80.5	1.1	0	0
Vi	B	1	0-12	Ls	50	47.5	2.5	1.45	218	0.13
		2	12-32	Ls	50.5	45.5	4	1.48	12.6	0.11
		3	32-54	Ls	38	40	22	1.48	1.14	0.15
		4	54-100	Ls	30	39.5	30.5	1.48	0.96	0.15
Pto	B	1	0-14	Ls	66.8	24.6	8.6	1.45	218	0.13
		2	14-41	Ls	64.7	22.3	13	1.48	12.6	0.11
		3	41-63	Ls	62.9	22.5	14.6	1.48	1.14	0.15
		4	63-93	Ls	62.1	10	27.9	1.48	0.96	0.15

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

Soil Name	Soil hydrologic Group	Layer	Depth (cm)	Soil Texture	Particle Size Analysis			Bulk Density (cm/gm)	Hydraulic Conductivity (hr/cm)	Water Capacity
					USDA Grading %					
					Sand	Silt	Clay			
Ni	C	1	0-0.9	Ls	59	39	2	1.45	218	0.13
		2	0.9-26	Ls	52.3	38.7	9	1.48	12.6	0.11
		3	26-50	Ls	52.4	36.1	11.5	1.48	1.14	0.15
		4	50-74	Ls	52.8	32.7	14.5	1.48	0.96	0.15
		5	74-110	Ls	39.4	31.6	29	0	0	0
Lan	A	1	0-10	SL	81.2	12.8	6	1.45	218	0.13
		2	10-23	SL	80.2	16.8	3	1.48	12.6	0.11
		3	23-50	SL	80.4	16.1	3.5	1.48	1.14	0.15
		4	50-84	SL	79.6	15.9	4.5	1.48	0.96	0.15
		5	84-100	SL	80.8	15.2	4	0	0	0
		6	100-135	SL	78.3	17.2	4.5	0	0	0
		7	135-160	SL	79.7	15.8	4.5	1.1	0	0

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

Soil Name	Soil hydrologic Group	Layer	Depth (cm)	Soil Texture	Particle Size Analysis			Bulk Density (cm/gm)	Hydraulic Conductivity (hr/cm)	Water Capacity
					USDA Grading %					
					Sand	Silt	Clay			
Knk	B	1	0-9	LS	64.2	21.2	14.6	1.45	218	0.13
		2	9-23	LS	62	25.9	12.1	1.48	12.6	0.11
		3	23-39	LS	65.5	20.9	13.6	1.48	1.14	0.15
		4	39-58	LS	58.7	20.2	21.1	1.48	0.96	0.15
		5	58-100	LS	50.1	18.3	31.6	0	0	0
AC-pd	C	1	0-11	C	20.5	32.5	47	1.1	0	0
		2	11-18	C	14.5	15.5	70	1.1	0	0
		3	18-67	C	10.5	9.5	80	1.1	0	0
		4	67-100	C	10.5	9	80.5	1.1	0	0
Hy	B	1	0-1.5	LC	44.8	19.3	35.9	1.45	218	0.13
		2	1.5-28	LC	30	11.8	58.2	1.48	12.6	0.11
		3	28-40	LC	28	12.9	59.1	1.48	1.14	0.15
		4	40-100	LC	21.3	15.2	63.5	1.48	0.96	0.15
Ya	B	1	0-12	LS	67.5	18.5	14	1.45	218	0.13
		2	12-25	LS	66	15.5	18.5	1.48	12.6	0.11
		3	25-42	LS	59.5	18.5	22	1.48	1.14	0.15

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

Soil Name	Soil hydrologic Group	Layer	Depth (cm)	Soil Texture	Particle Size Analysis			Bulk Density (cm/gm)	Hydraulic Conductivity (hr/cm)	Water Capacity
					USDA Grading %					
					Sand	Silt	Clay			
Ya		4	42-100	LS	39	17	44	1.48	0.96	0.15
TOWN	D	1	0-11	C	20.5	32.5	47	1.1	0	0
		2	11-18	C	14.5	15.5	70	1.1	0	0
		3	18-67	C	10.5	9.5	80	1.1	0	0
		4	67-100	C	10.5	9	80.5	1.1	0	0
Lh	B	1	0-16	LS	76.8	8.5	14.7	1.45	218	0.13
		2	16-32	LS	22	7.8	70.2	1.48	12.6	0.11
		3	32-60	LS	73.1	7.4	19.5	1.48	1.14	0.15
		4	60-100	LS	72.5	7.3	20.2	1.48	0.96	0.15
Pk	B	1	0-19	LCS	69.2	9.2	21.6	1.45	218	0.13
		2	19-34	LCS	65.1	9.7	25.2	1.48	12.6	0.11
		3	34-53	LCS	41.4	10	48.6	1.48	1.14	0.15
		4	53-80	LCS	40.1	11.4	48.5	1.48	0.96	0.15
		5	80-100	LCS	29.7	11.1	59.2	0	0	0

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

eSoil Nam	Soil hydrologic Group	Layer	Depth (cm)	Soil Texture	Particle Size Analysis			Bulk Density (cm/gm)	Hydraulic Conductivity (hr/cm)	Water Capacity
					USDA Grading %					
					Sand	Silt	Clay			
T.M.L	D	1	0-11	C	20.5	32.5	47	1.1	0	0
		2	11-18	C	14.5	15.5	70	1.1	0	0
		3	18-67	C	10.5	9.5	80	1.1	0	0
		4	67-100	C	10.5	9	80.5	1.1	0	0
Pad	B	1	0-12	SL	80	17	3	1.45	218	0.13
		2	12-25	SL	77	17.5	5.5	1.48	12.6	0.11
		3	25-37	SL	75.5	18.5	6	1.48	1.14	0.15
		4	37-90	SL	72	20	8	1.48	0.96	0.15
		5	90-100	SL	49	12	39	0	0	0
Stn	C	1	0-7	LS	61.5	37	1.5	1.45	218	0.13
		2	7-11	LS	64.5	33.5	2	1.48	12.6	0.11
		3	11-22	LS	60	37.5	2.5	1.48	1.14	0.15
		4	22-30	LS	60	32.5	7.5	1.48	0.96	0.15
		5	30-46	LS	58.5	33.5	8	0	0	0
		6	46-100	LS	33	34	33	0	0	0

ตารางผนวกที่ ค3 ค่า CN condition II แบ่งตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน และชนิดดิน ประเภทต่าง ๆ
พัฒนาโดย U.S. Department of Agriculture (1972)

Crop/Land Use	Cover	Condition	Hydrologic Group			
			A	B	C	D
Fallow	Straight Row	-	77	86	91	94
Row crops	”	Poor	72	81	88	91
”	”	Good	67	78	85	89
”	Contoured	Poor	70	79	84	88
”	”	Good	65	75	82	86
”	and Terraced .Cont	Poor	66	74	80	82
”	”	Good	62	71	78	81
Small grain	Straight Row	Poor	65	76	84	88
”	”	Good	63	75	83	87
”	Contoured	Poor	63	74	82	85
”	”	odGo	61	73	81	84
”	and Terraced .Cont	Poor	61	72	79	82
”	”	Good	59	70	78	81
Rotation meadow	.Row.Str	Poor	66	77	85	89
”	”	Good	58	72	81	85
”	Contoured	Poor	64	75	83	85
”	”	Good	55	69	78	83
”	and Terrace .Cont	Poor	63	73	80	83
”	”	Good	51	67	76	80
sture or rangePa		Poor	68	79	86	89
”		Fair	49	69	79	84
”		Good	39	61	74	80
”	Contoured	Poor	47	67	81	88
”	”	Fair	25	59	75	83
”	”	Good	6	35	70	79
Meadow		Good	30	58	71	78

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

Crop/Land Use	Cover	Condition	Hydrologic Group			
			A	B	C	D
Woods		Poor	45	66	77	83
”		Fair	36	60	73	79
”		Good	25	55	70	77
Farmsteads		----	59	74	82	86
** (dirt) Roads		----	72	82	87	89
** (hard surface) Roads		----	74	84	90	92



ตารางผนวกที่ ๑ Effective hydraulic conductivity of various channel bed material.

Bed material group	Bed material characteristics	Effective Hydraulic Conductivity (mm/hr)
1 Very high loss rate	Very clean gravel and large sand $d_{50} > 2\text{mm}$	> 127
2 High loss rate	Clean sand and gravel under field conditions. $d_{50} > 2\text{mm}$	51-127
3 Mod high loss rate	Sand & gravel mixture with less than a few percent silt-clay	25-76
4 Moderate loss rate	Mixture of sand & gravel with significant amts of silt-clay	6.4-25
5 Very low loss rate	Consolidated bed material with high silt-clay content	0.025-2.5

ที่มา: Arnold *et al.* (1995)

ตารางผนวกที่ ๓2 The channel Mannings's "n" values. for various conditions.

Channel flow	Value chosen	Range
A. Excavated or dredged		
1. Earth, straight and uniform	[0.0250]	0.016-0.033
2. Earth, winding and sluggish	[0.0350]	0.023-0.05
3. Not maintained, weeds and brush	[0.0750]	0.04-0.14
B. Natural streams		
1. Few trees, stones, or brush	[0.0500]	0.025-0.065
2. Heavy timber and brush	[0.1000]	0.05-0.15

ที่มา: Arnold et al. (1995)

ตารางผนวกที่ ๓ The surface roughness factor is Manning's "n" values. for various condition.

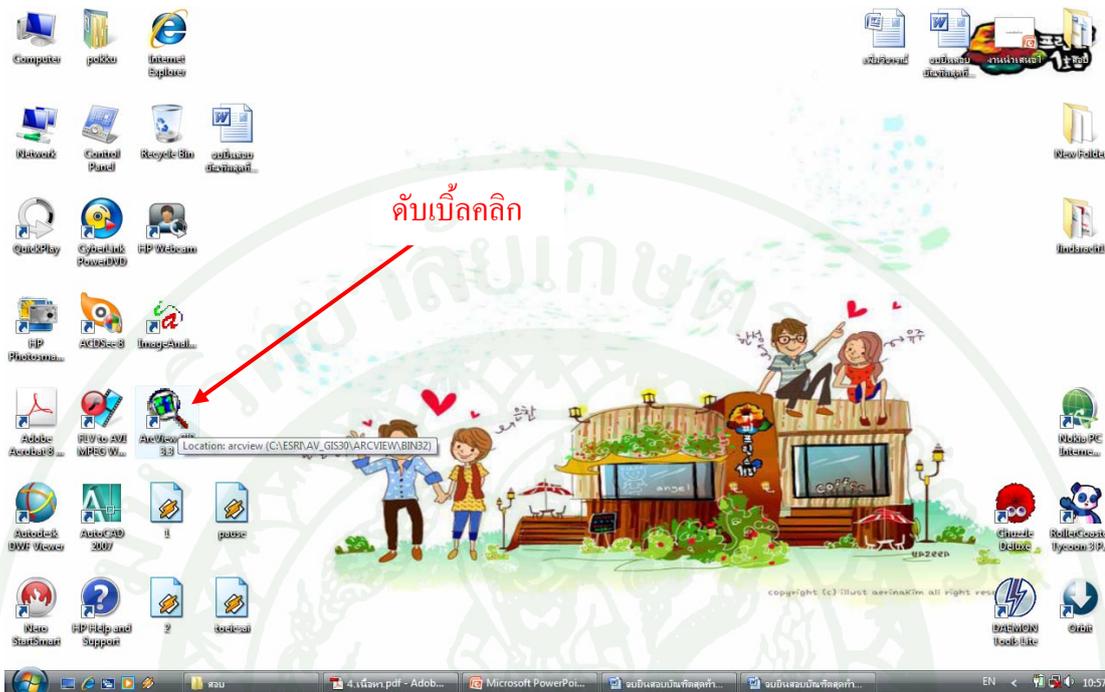
Overland flow	Value chosen	Range
Fallow, no residue	[0.0100]	0.008-0.012
Conventional tillage, no residue	[0.0900]	0.06-0.12
Conventional tillage, residue	[0.1900]	0.16-0.22
Chisel plow, no residue	[0.0900]	0.06-0.12
Chisel plow, residue	[0.1300]	0.10-0.16
Fall disking, residue	[0.4000]	0.30-0.50
No till, no residue	[0.0700]	0.04-0.10
No till (0.5-1.0 t/ha)	[0.1200]	0.07-0.17
No till (2.0-9.0 t/ha)	[0.3000]	0.17-0.47
Rangeland (20% cover)	[0.6000]	
Short grass prairie	[0.1500]	0.10-0.20
Dense grass	[0.2400]	0.17-0.30
Bermudagrass	[0.4100]	0.30-0.48

ที่มา: Arnold *et al.* (1995)

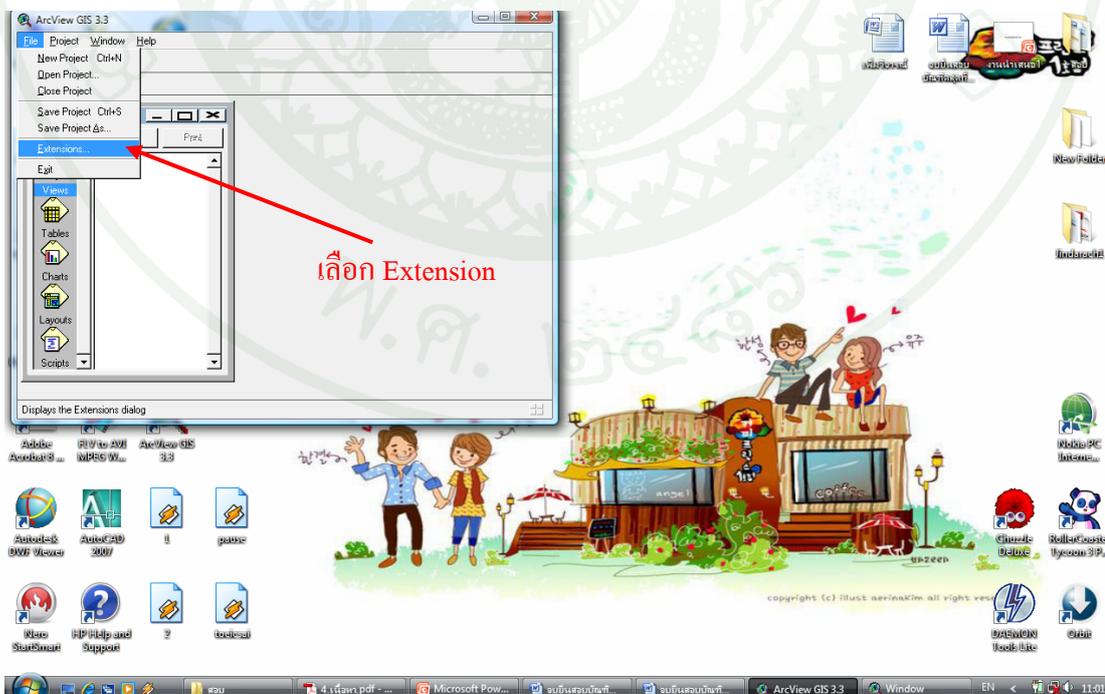


ภาคผนวก จ
ขั้นตอนการใช้งานแบบจำลอง SWAT 2000/GIS

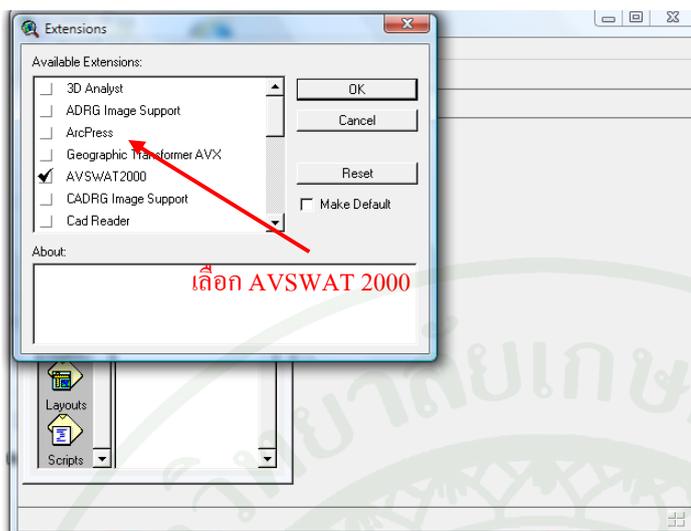
เปิดใช้แบบจำลอง SWAT 2000/GIS



ภาพผนวกที่ ๑1 แสดงไอคอน โปรแกรม ArcView GIS 3.3



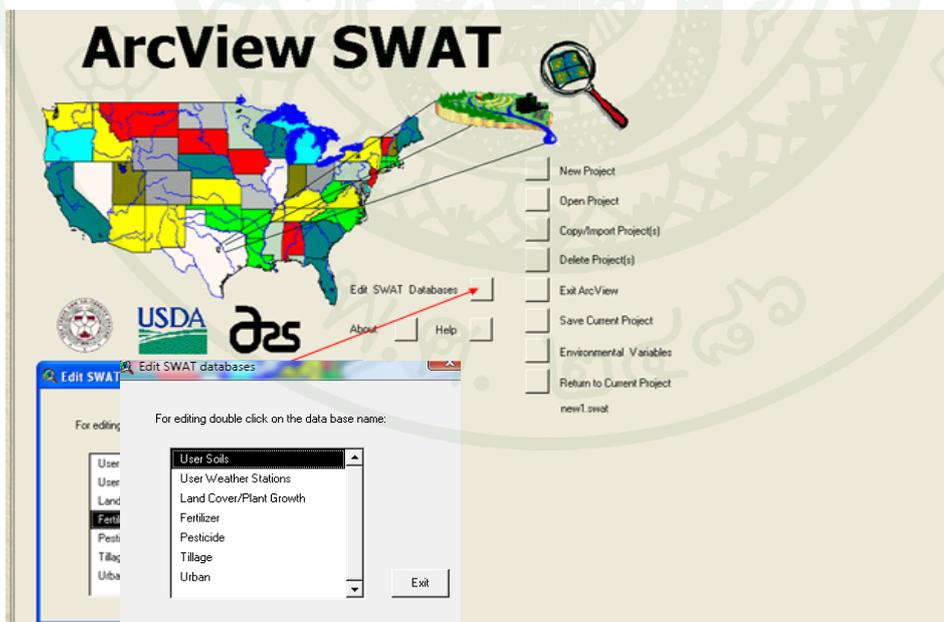
ภาพผนวกที่ ๑2 แสดงเมนู Extension ของโปรแกรม ArcView GIS 3.3



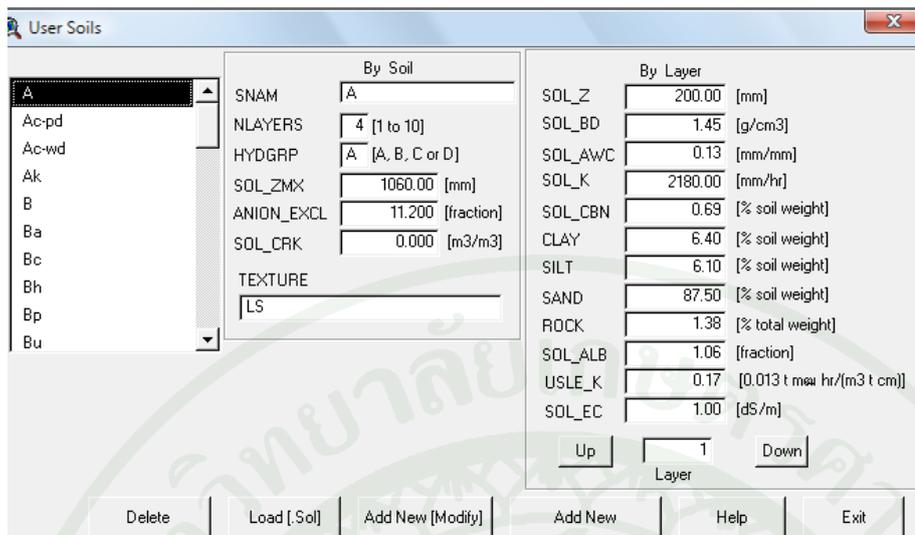
ภาพผนวกที่ ๓ แสดงเมนู AVSWAT 2000 ใน Extension ของโปรแกรม ArcView GIS 3.3

นำเข้าข้อมูลหตุยภูมิพื้นฐานในแบบจำลอง SWAT 2000

นำเข้าฐานข้อมูลดิน (User Soils)

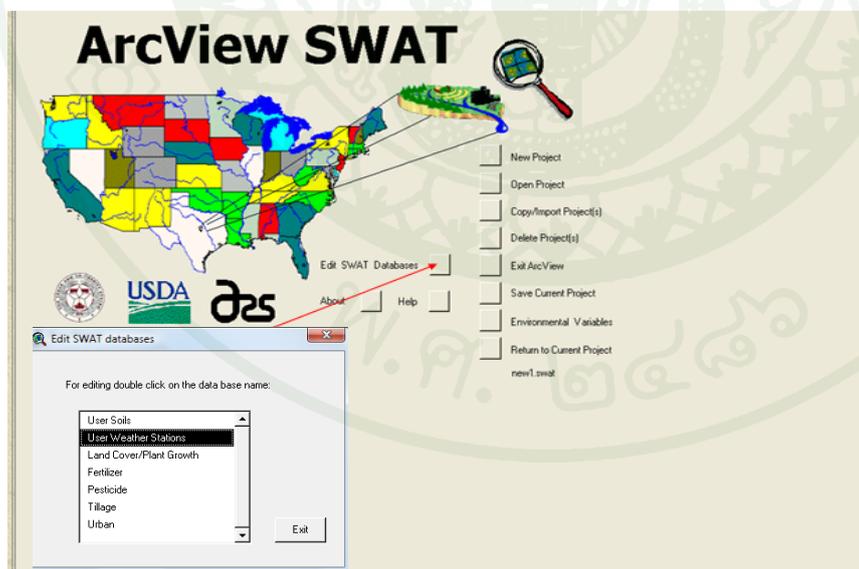


ภาพผนวกที่ ๔ แสดงตำแหน่งที่นำเข้าข้อมูลพื้นฐานดินที่ได้รวบรวมเพื่อใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองในหน้าแรกของแบบจำลอง



ภาพผนวกที่ ๖5 แสดงรายละเอียดข้อมูลพื้นฐานดินในแบบจำลอง SWAT 2000 ซึ่งในทุกตัวแปรในแบบจำลองเมื่อนำเมาส์ที่ไปวางบริเวณช่องสำหรับใส่ข้อมูล จะมีคำอธิบายความหมายของตัวแปรแสดงขึ้นมา

นำเข้าฐานข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา (User Weather Stations)



ภาพผนวกที่ ๖6 แสดงตำแหน่งที่นำเข้าข้อมูลพื้นฐานด้านอุตุนิยมวิทยาที่ได้รวบรวมเพื่อใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองในหน้าแรกของแบบจำลอง

User Weather Stations

User Defined Weather Station

haiyai

nakon

Sample

satun

Weather Station Name haiyai

RAIN_YRS 30.00 [Years] WELEV 34.00 [m]

WLATITUDE 6.92 [Degrees] XPR 656510

WLONGITUDE 100.43 [Degrees] YPR 766613

Monthly parameters

TMPMX PR_W1

TMPMN PR_W2

TMPSTDMX PCPD

TMPSTDMN RAINHHMX

PCPMM SOLARAV

PCPSTD DEWPPT

PCPSKW WNDVAV

Jan. 31.00 Jul. 33.00

Feb. 32.60 Aug. 33.00

Mar. 34.20 Sep. 32.40

Apr. 34.70 Oct. 31.60

May 33.70 Nov. 30.30

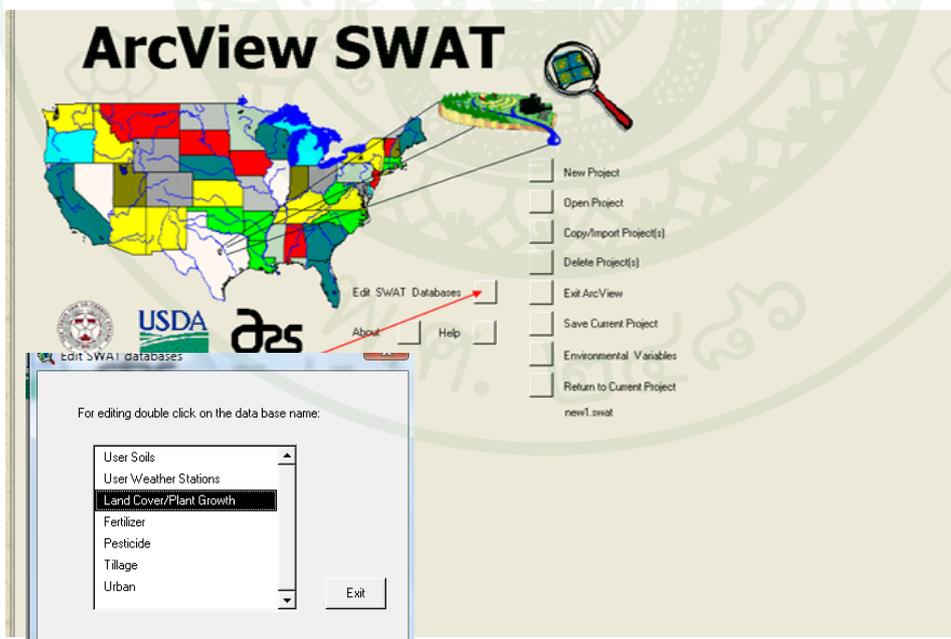
Jun. 33.30 Dec. 29.70

[C]

Delete Load [.wgn] Add New [Modify] Add New Help Exit

ภาพผนวกที่ ๗ แสดงรายละเอียดข้อมูลพื้นฐานด้านอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองในแบบจำลอง SWAT 2000

นำเข้าฐานข้อมูลพืชที่มีอยู่บนกลุ่มน้ำ (Land Cover/Plant Growth)



ภาพผนวกที่ ๘ แสดงตำแหน่งที่นำเข้าข้อมูลพื้นฐานสิ่งปกคลุม (พืช) ที่ได้รวบรวมเพื่อใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองในหน้าแรกของแบบจำลอง

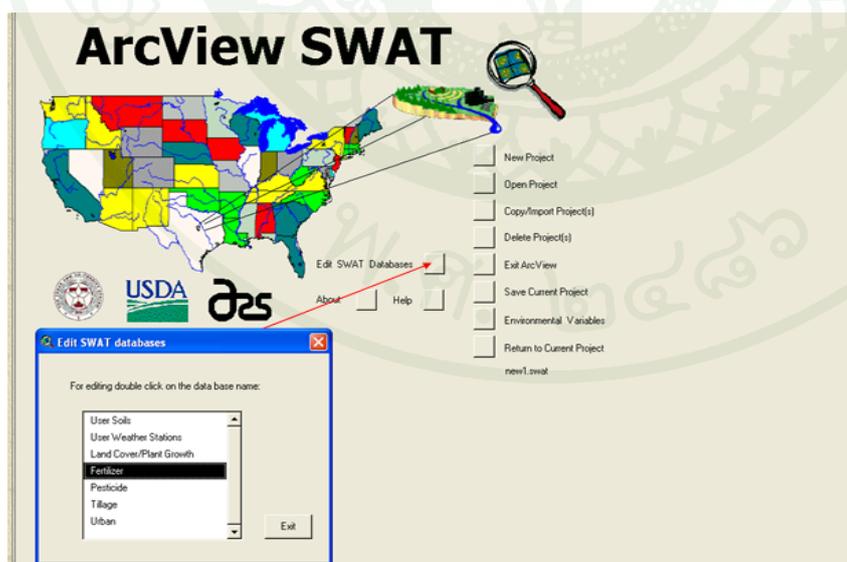
Land Cover/Plant Growth database

Crop Name: Crop is Fertilized

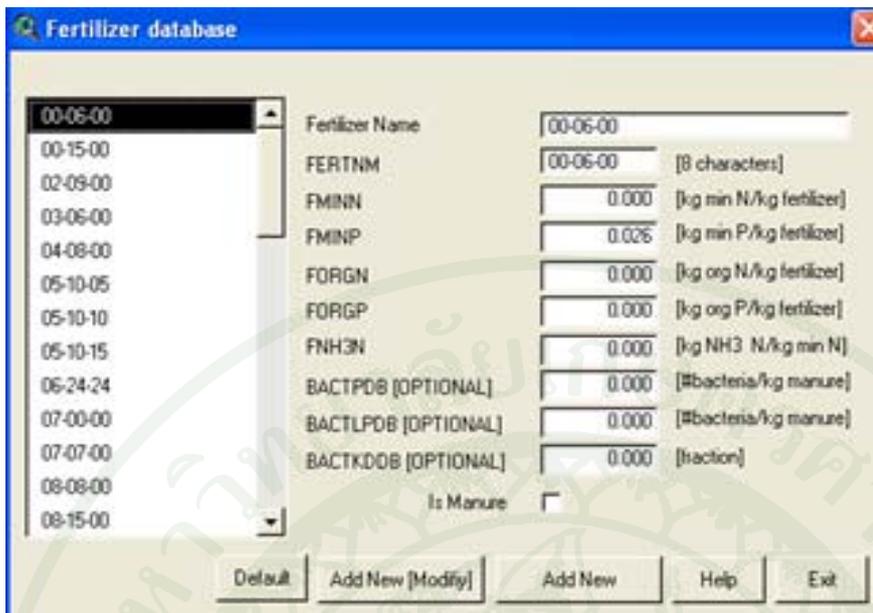
Tomato	CPNM	<input type="text" value="rubr"/> [4 character]	BN1	<input type="text" value="0.0060"/> [kg N/kg biomass]
Upland Cotton-harv w/ picker	IDC	<input type="text" value="Trees"/>	BN2	<input type="text" value="0.0020"/> [kg N/kg biomass]
Upland Cotton-harv w/ stripper	BIO_E	<input type="text" value="15.00"/> [(kg/ha)/(MJ/mow)]	BN3	<input type="text" value="0.0015"/> [kg N/kg biomass]
Water	HVSTI	<input type="text" value="0.10"/> [(kg/ha)/(kg/ha)]	BP1	<input type="text" value="0.0007"/> [kg P/kg biomass]
Watermelon	BLAI	<input type="text" value="4.00"/> [mow/mow]	BP2	<input type="text" value="0.0004"/> [kg P/kg biomass]
Western Wheatgrass	FRGRW1	<input type="text" value="0.10"/> [fraction]	BP3	<input type="text" value="0.0003"/> [kg P/kg biomass]
Wetlands-Forested	LAIMX1	<input type="text" value="0.15"/> [fraction]	WSYF	<input type="text" value="0.050"/> [(kg/ha)/(kg/ha)]
Wetlands-Mixed	FRGRW2	<input type="text" value="0.50"/> [fraction]	USLE_C	<input type="text" value="0.001"/>
Wetlands-Non-Forested	LAIMX2	<input type="text" value="0.75"/> [fraction]	GSI	<input type="text" value="0.007"/> [m/s]
Winter Pasture	DLAI	<input type="text" value="0.99"/> [heat units/heat units]	VPDFR	<input type="text" value="4.000"/> [kPa]
Winter Wheat	CHTMX	<input type="text" value="3.50"/> [m]	FRGMAX	<input type="text" value="0.750"/> [fraction]
coconut	RDMX	<input type="text" value="2.00"/> [m]	WAVP	<input type="text" value="3.000"/> [rate]
kraton	T_OPT	<input type="text" value="20.00"/> [°C]	CO2HI	<input type="text" value="660.000"/> [µl/l]
longkong	T_BASE	<input type="text" value="7.00"/> [°C]	BIOEHI	<input type="text" value="20.000"/> [ratio]
oilpalm	CNYLD	<input type="text" value="0.0019"/> [kg N/kg seed]	RSDCO_PL	<input type="text" value="0.050"/> [fraction]
rubber	CPYLD	<input type="text" value="0.0004"/> [kg P/kg seed]	CN-DVN	<input type="text" value=""/>

ภาพผนวกที่ ๑๑ แสดงรายละเอียดข้อมูลพื้นฐานสิ่งปกคลุม (พืช) ที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองในแบบจำลอง SWAT 2000

นำเข้าข้อมูลปุ๋ย (Fertilizer)

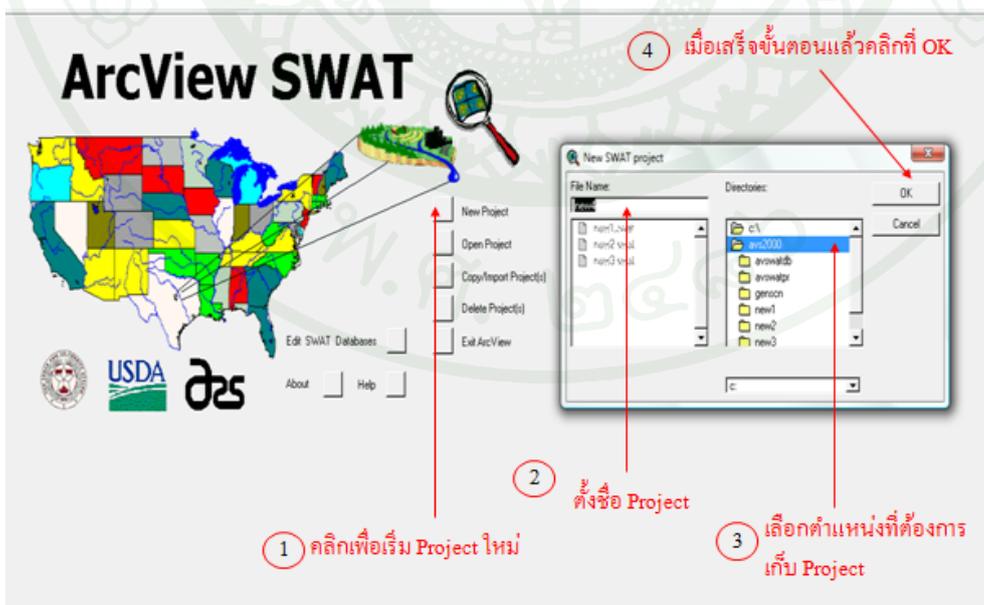


ภาพผนวกที่ ๑๑๐ แสดงตำแหน่งที่นำเข้าข้อมูลพื้นฐานปุ๋ยที่ได้รวบรวมเพื่อใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองในหน้าแรกของแบบจำลอง

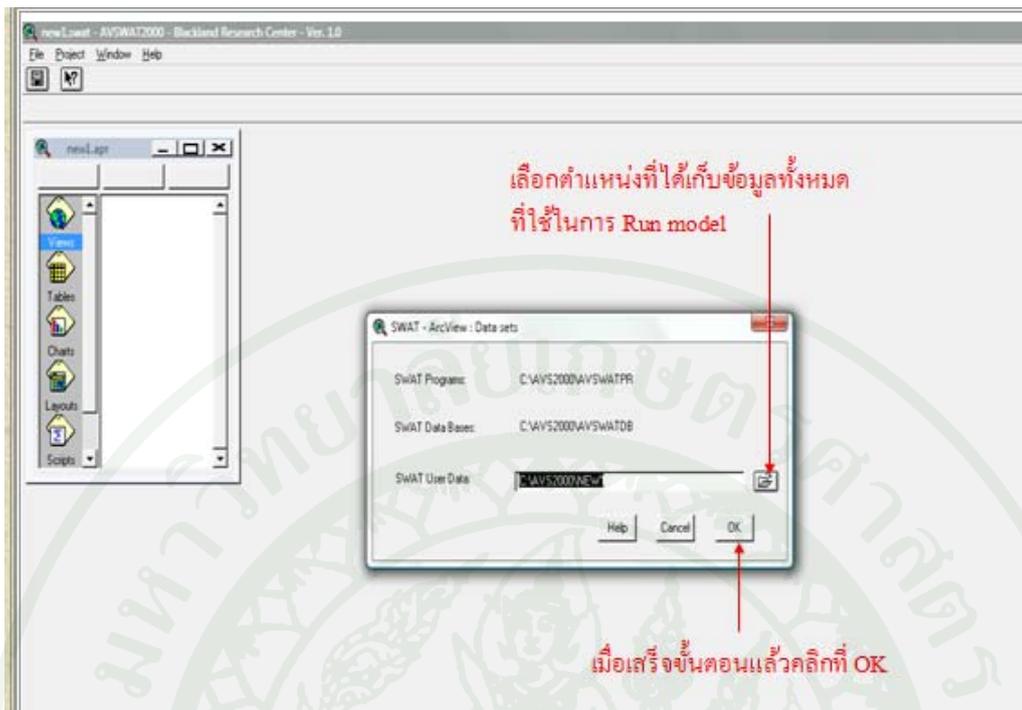


ภาพผนวกที่ ๑1 แสดงรายละเอียดข้อมูลพื้นฐานปุ๋ยที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองในแบบจำลอง SWAT 2000

เมื่อนำเข้าข้อมูลครบแล้วให้เลือก New Project เพื่อสร้างแบบจำลองในพื้นที่ที่ศึกษาก็คือลุ่มน้ำอุ้มตะกา

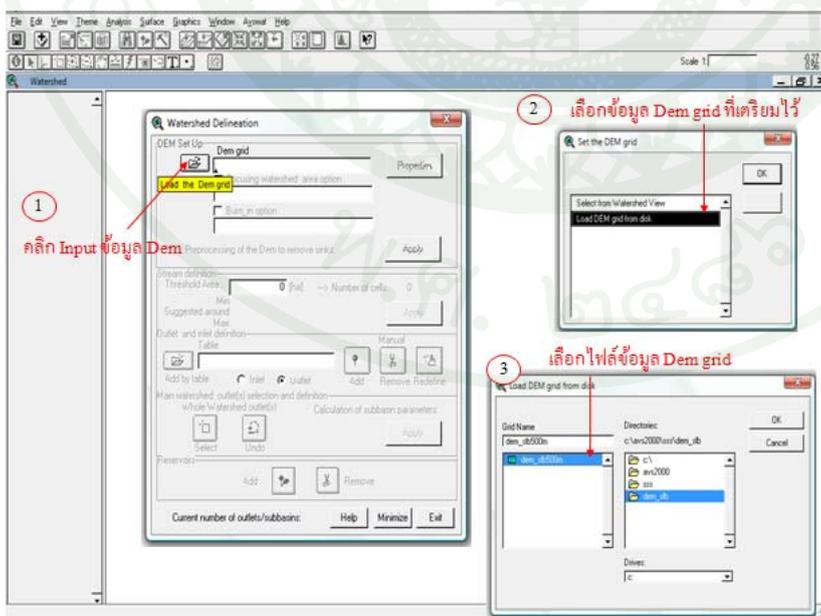


ภาพผนวกที่ ๑2 แสดงหน้าแรกของแบบจำลอง SWAT 2000 และการเริ่มใช้งานแบบจำลอง

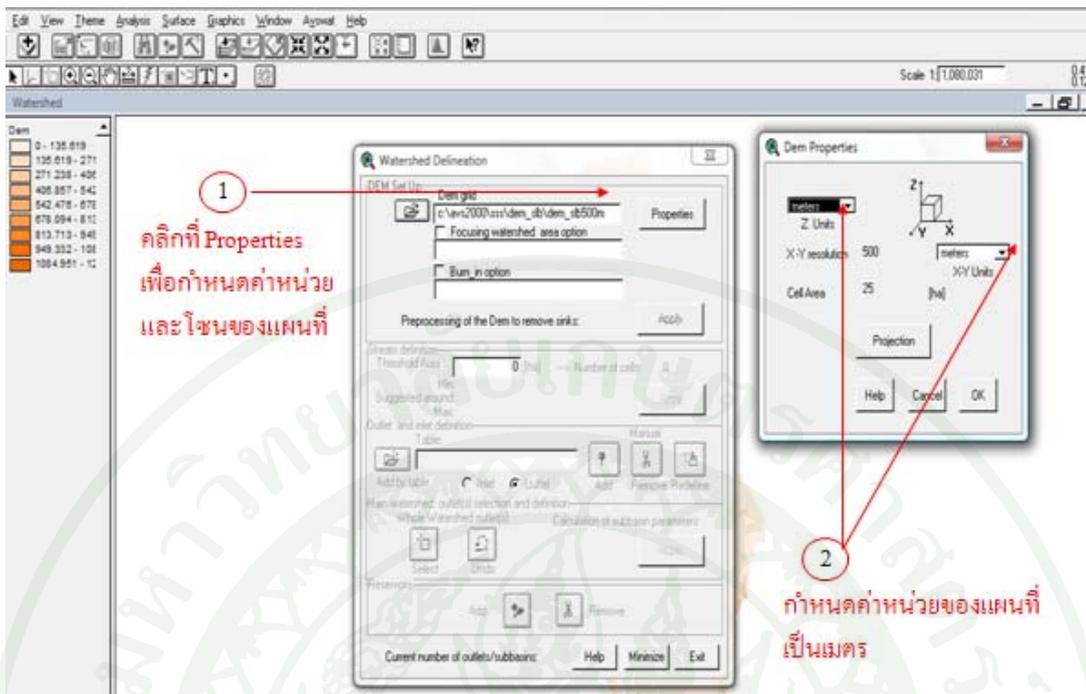


ภาพผนวกที่ จ13 แสดงการเลือกตำแหน่งที่ได้เก็บข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการ Run model

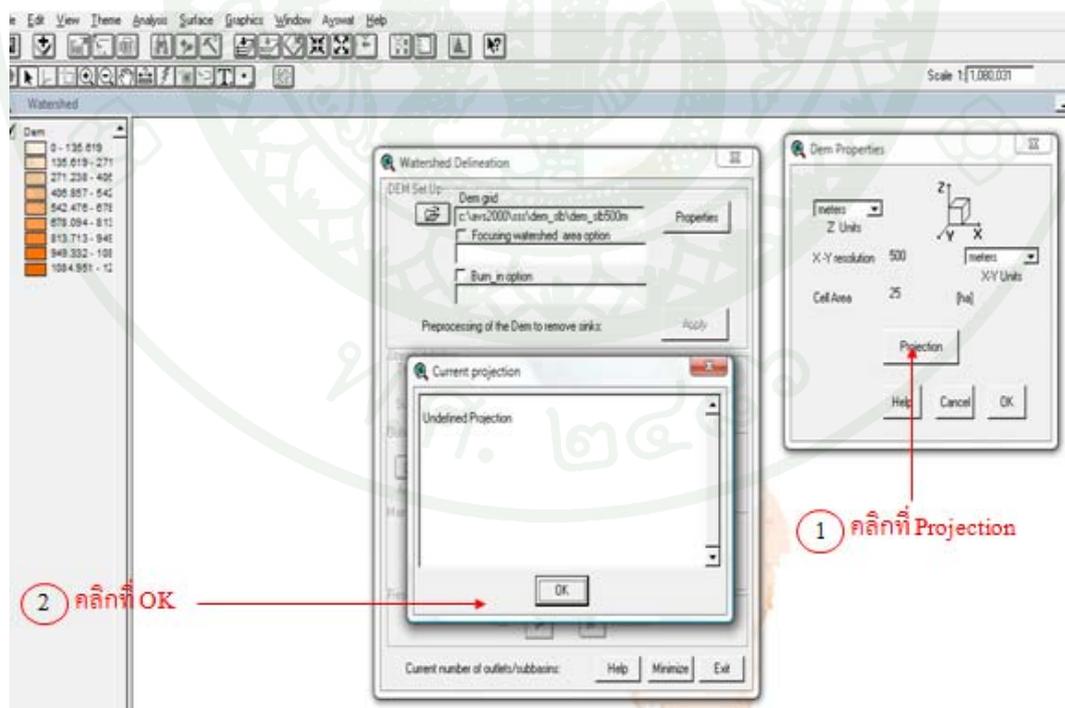
นำข้อมูลเพื่อประมวลผลเส้นลำน้ำบนลุ่มน้ำในหน้า Watershed Delineation



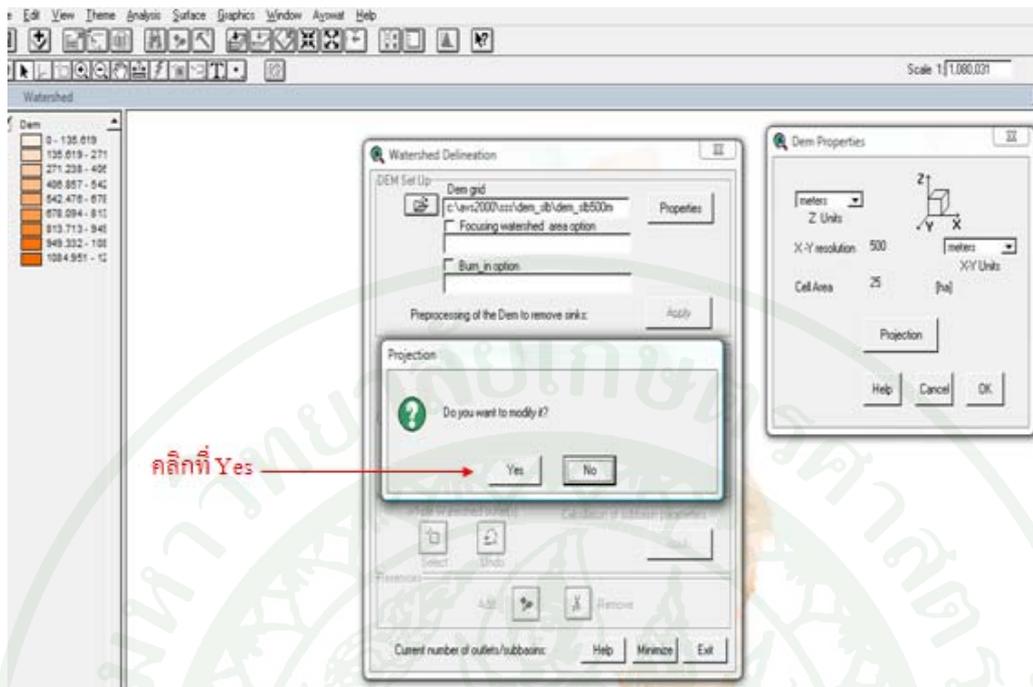
ภาพผนวกที่ จ14 แสดงการนำเข้าข้อมูลแผนที่ความสูงต่ำของพื้นที่อิเล็กทรอนิกส์ (DEM)



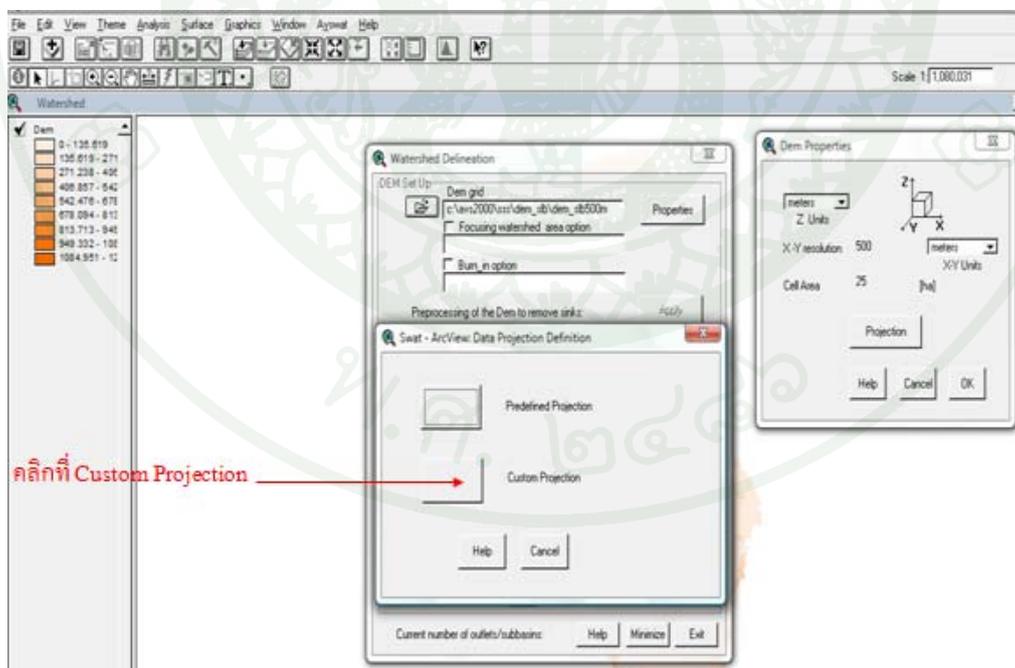
ภาพผนวกที่ 15 แสดงการกำหนดคุณสมบัติของแผนที่ความสูงต่ำ (DEM) (1)



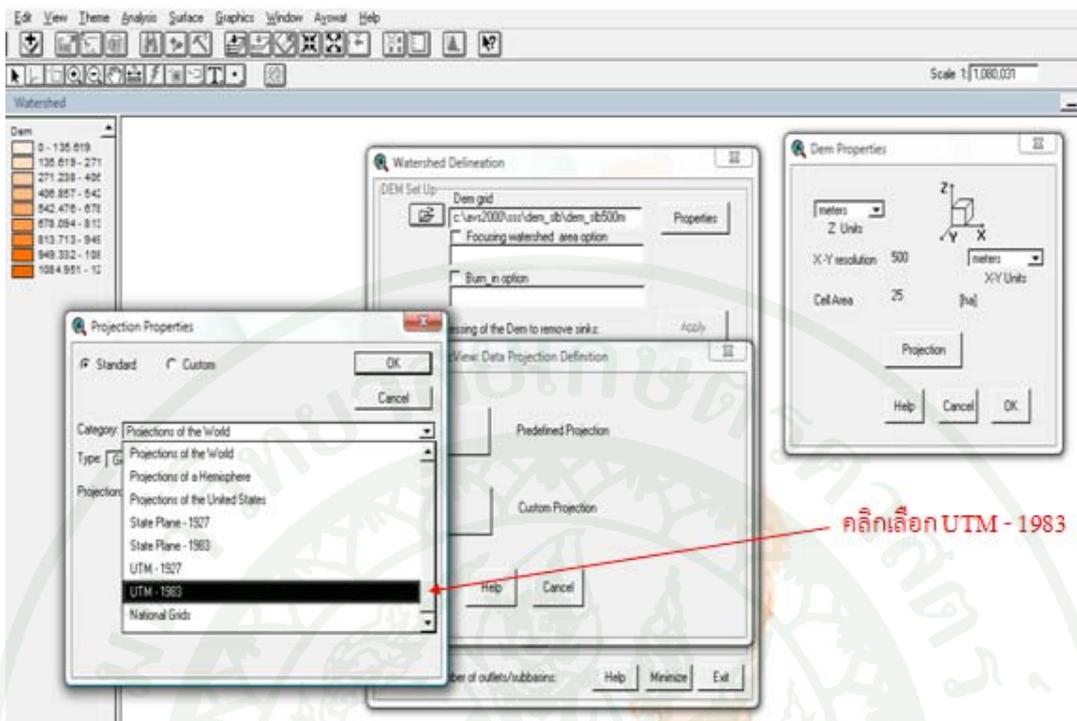
ภาพผนวกที่ 16 แสดงการกำหนดคุณสมบัติของแผนที่ความสูงต่ำ (DEM) (2)



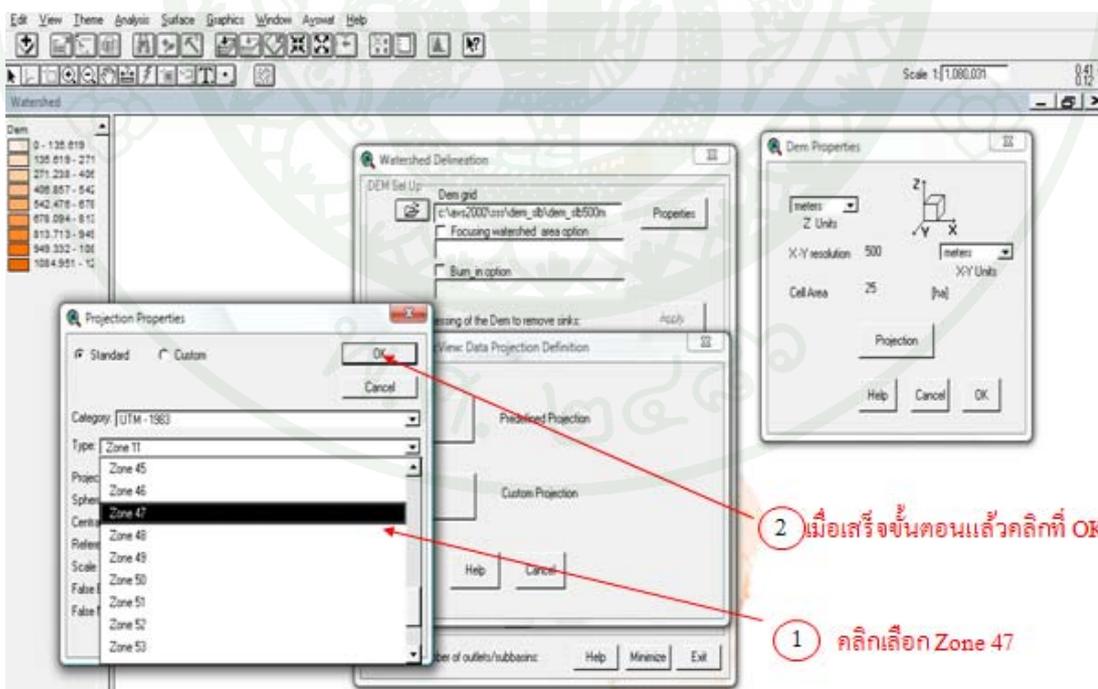
ภาพผนวกที่ ๑๗ แสดงการกำหนดคุณสมบัติของแผนที่ความสูงต่ำ (DEM) (3)



ภาพผนวกที่ ๑๘ แสดงการกำหนดคุณสมบัติของแผนที่ความสูงต่ำ (DEM) (4)

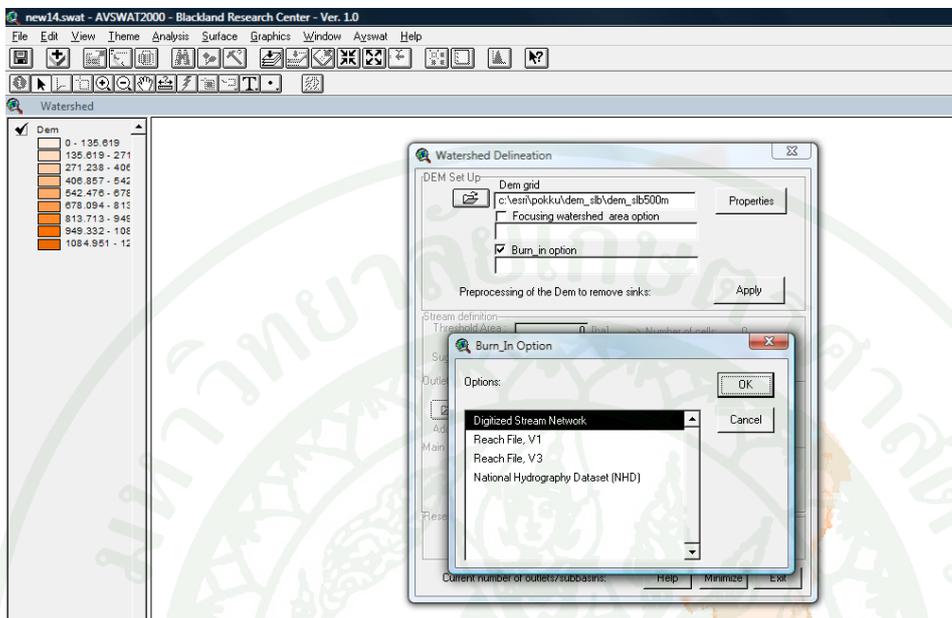


ภาพผนวกที่ 19 แสดงการกำหนดคุณสมบัติของแผนที่ความสูงต่ำ (DEM) (5)

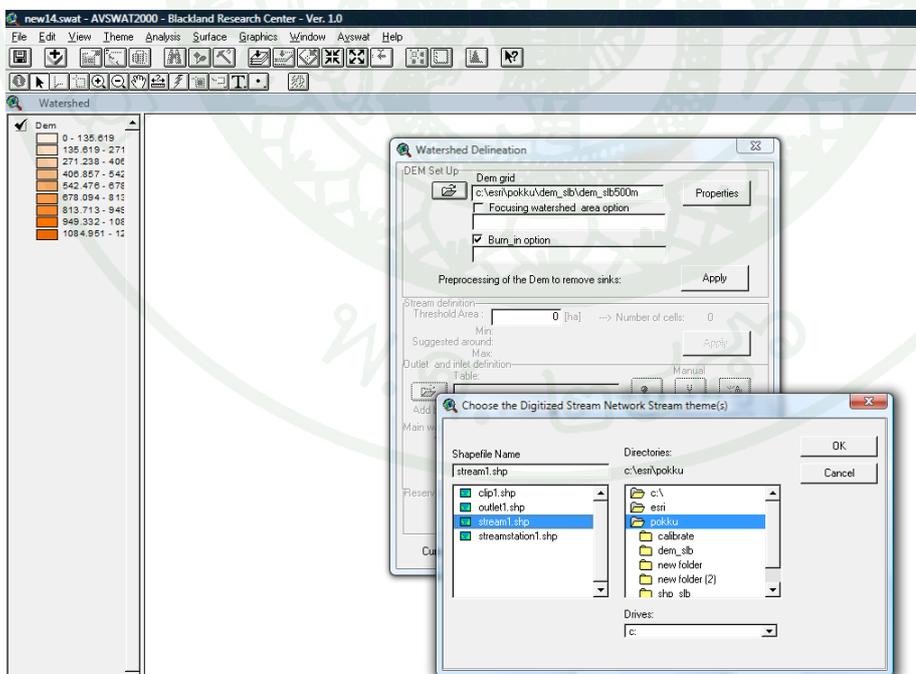


ภาพผนวกที่ 20 แสดงการกำหนดคุณสมบัติของแผนที่ความสูงต่ำ (DEM) (6)

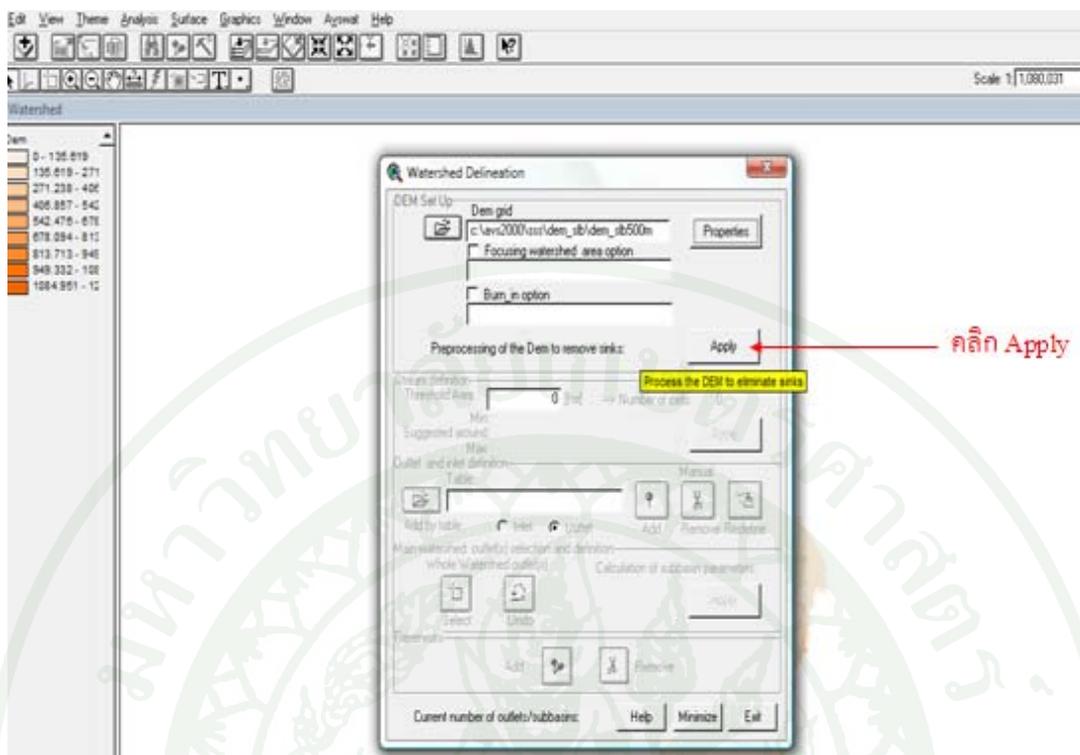
นำเข้าข้อมูลเส้นลำน้ำ (Line Shape file)



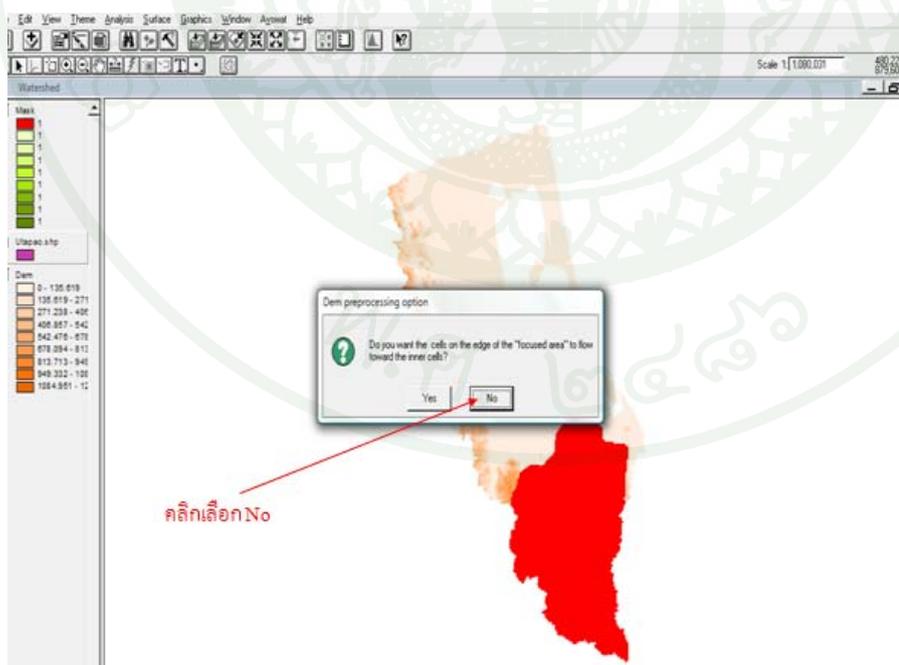
ภาพผนวกที่ จ21 แสดงการนำเข้าข้อมูลเส้นลำน้ำ (Line Shape file) (1)



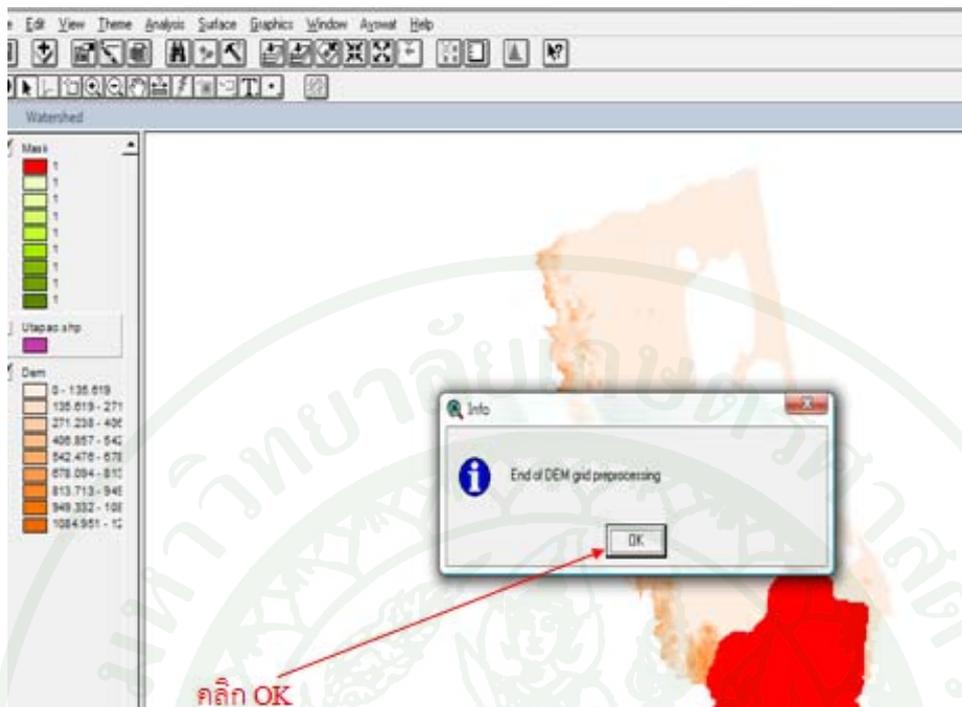
ภาพผนวกที่ จ22 แสดงการนำเข้าข้อมูลเส้นลำน้ำ (Line Shape file) (2)



ภาพผนวกที่ จ23 แสดงการประมวลผลข้อมูลเส้นลำน้ำ (1)

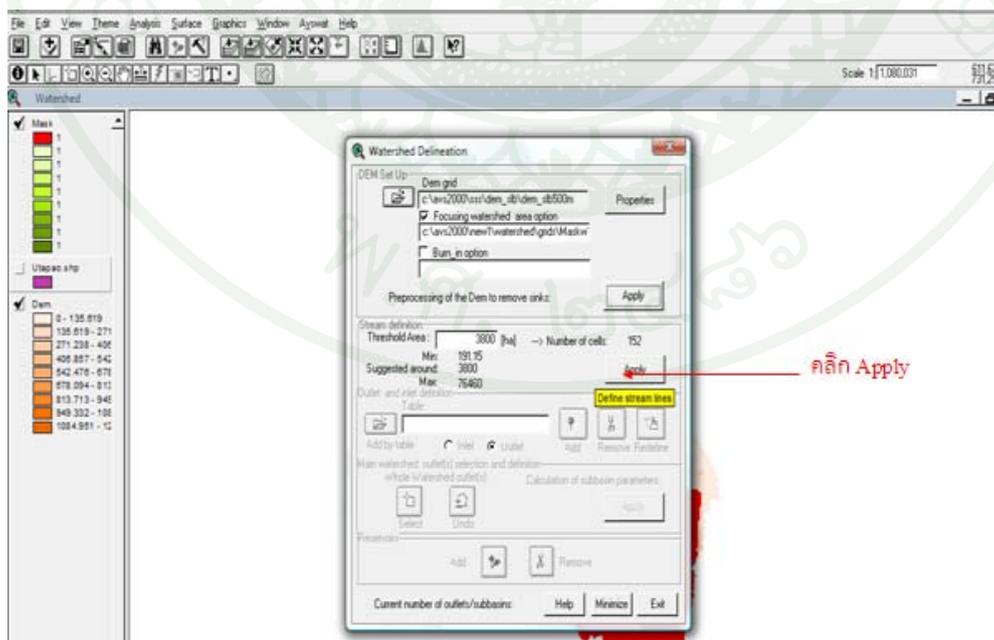


ภาพผนวกที่ จ24 แสดงการประมวลผลข้อมูลเส้นลำน้ำ (2)



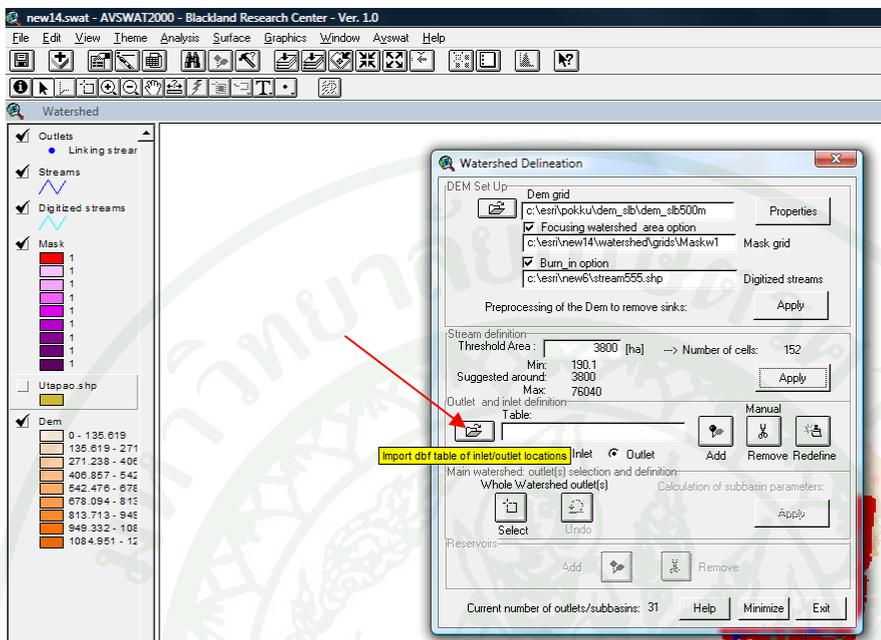
ภาพผนวกที่ จ25 แสดงการประมวลผลข้อมูลเส้นลำน้ำ (3)

กำหนดความละเอียดของเส้นลำน้ำบนลุ่มน้ำเลือก 3800 ha



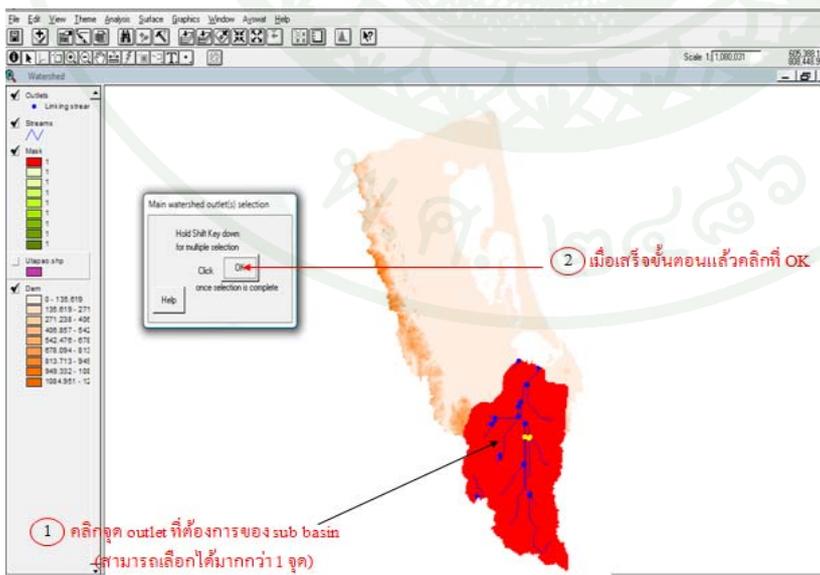
ภาพผนวกที่ จ26 แสดงกำหนดความละเอียดของเส้นลำน้ำ 3800 ha บนลุ่มน้ำ

นำเข้าข้อมูลสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า คุณภาพน้ำ

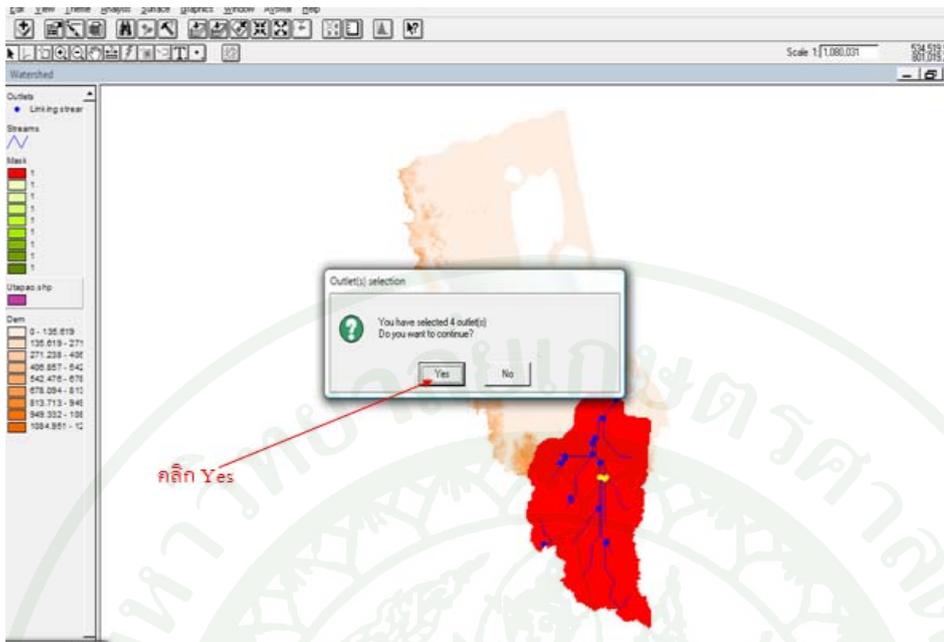


ภาพผนวกที่ จ27 แสดงนำเข้าข้อมูลสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำ

กำหนดจุดออกสุดท้ายของเส้นลำน้ำบนลุ่มน้ำ

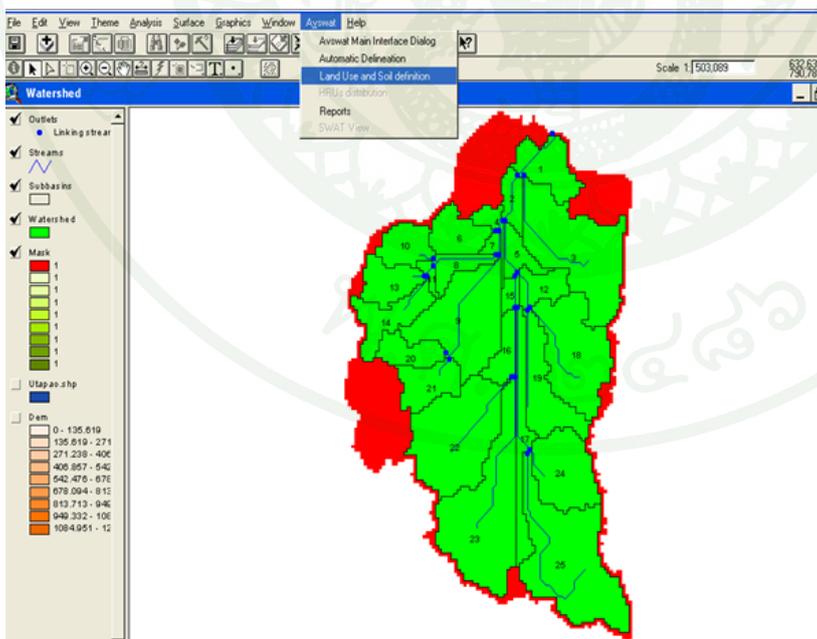


ภาพผนวกที่ จ28 แสดงการกำหนดจุดออกสุดท้ายของเส้นลำน้ำบนลุ่มน้ำ (1)



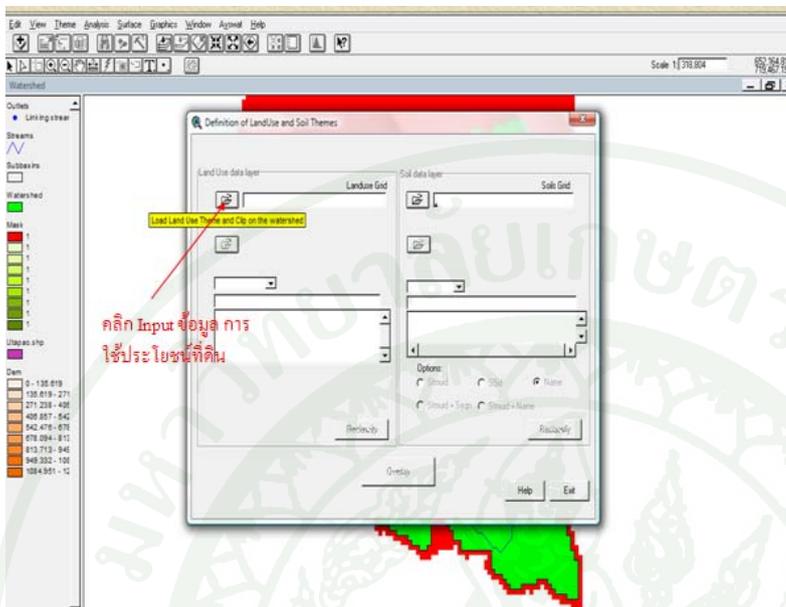
ภาพผนวกที่ จ29 แสดงการกำหนดจุดออกสุดท้ายของเส้นลำน้ำบนลุ่มน้ำ (2)

นำเข้าข้อมูลดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

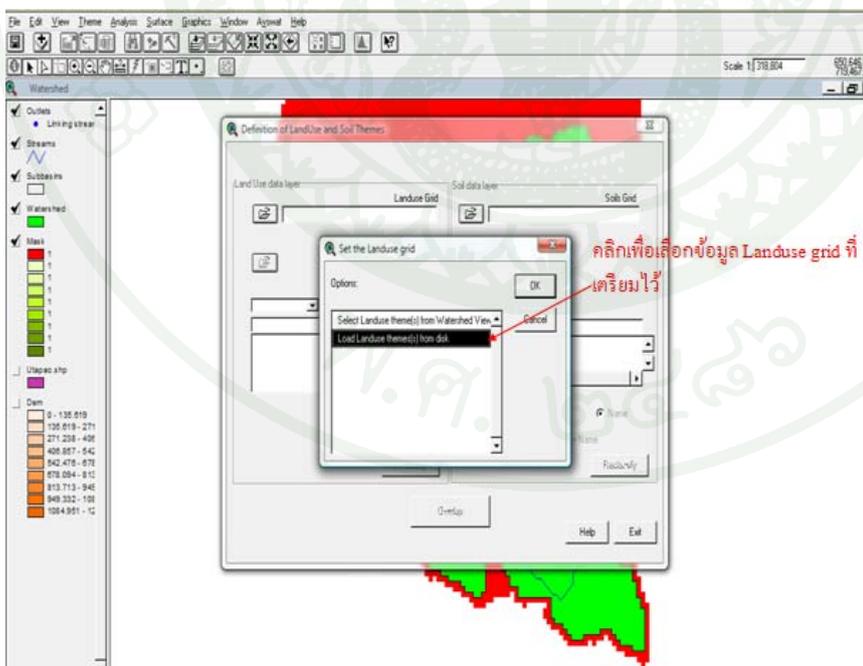


ภาพผนวกที่ จ30 แสดงเมนูนำเข้าข้อมูลดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

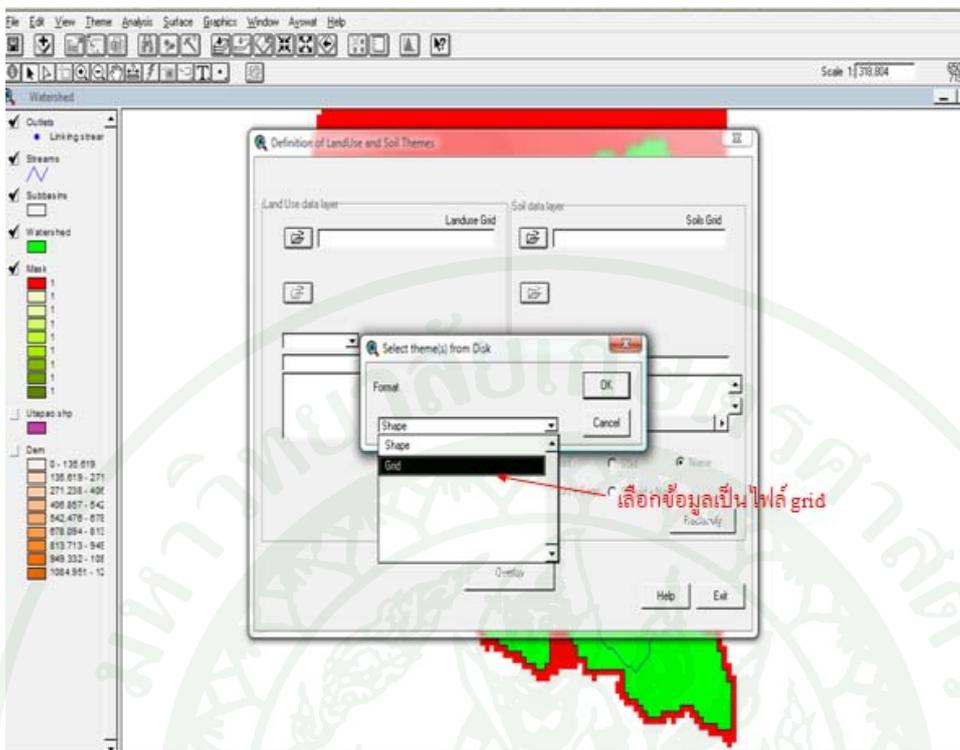
นำเข้าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน



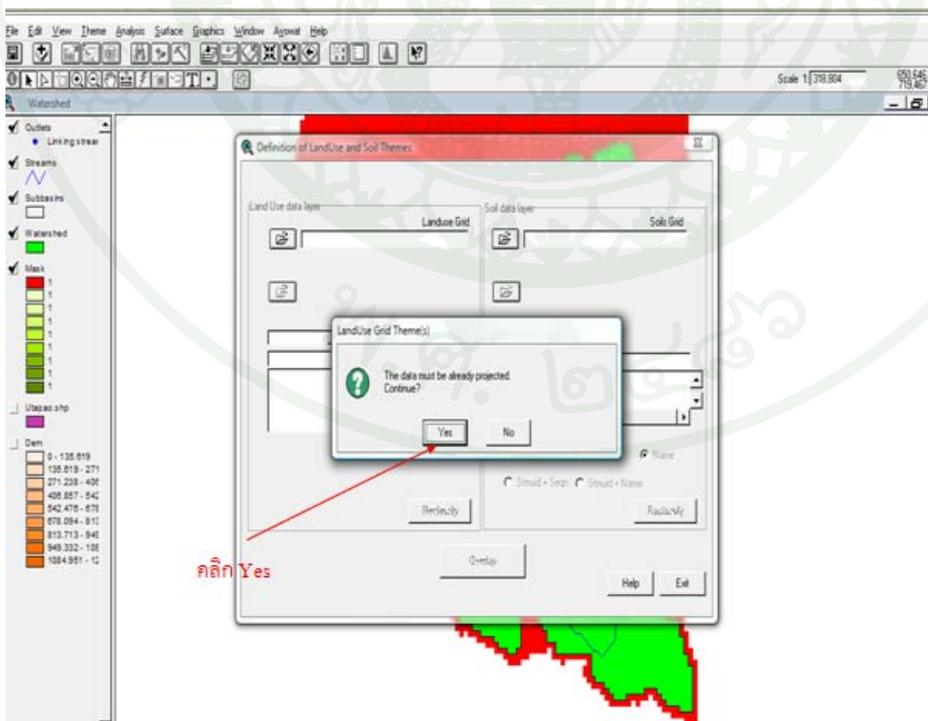
ภาพผนวกที่ จ31 แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (1)



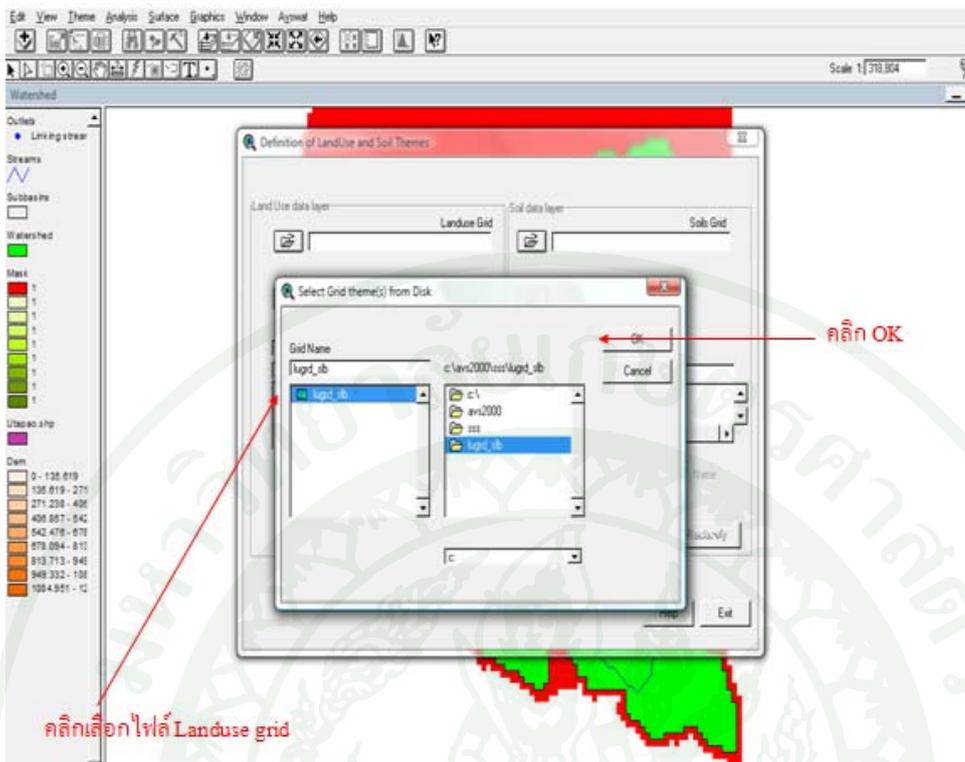
ภาพผนวกที่ จ32 แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (2)



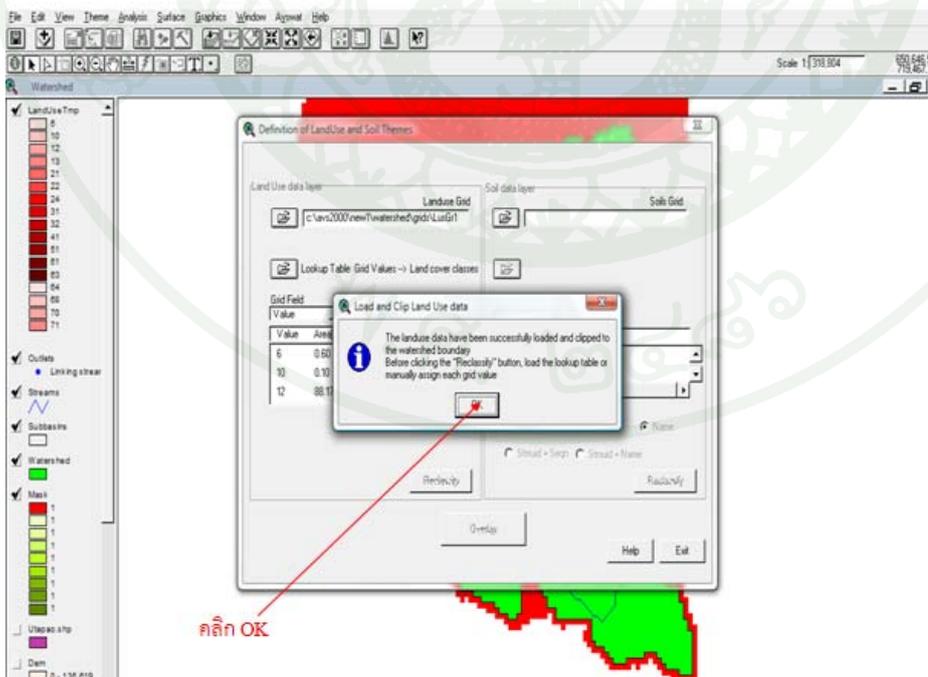
ภาพผนวกที่ จ33 แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (3)



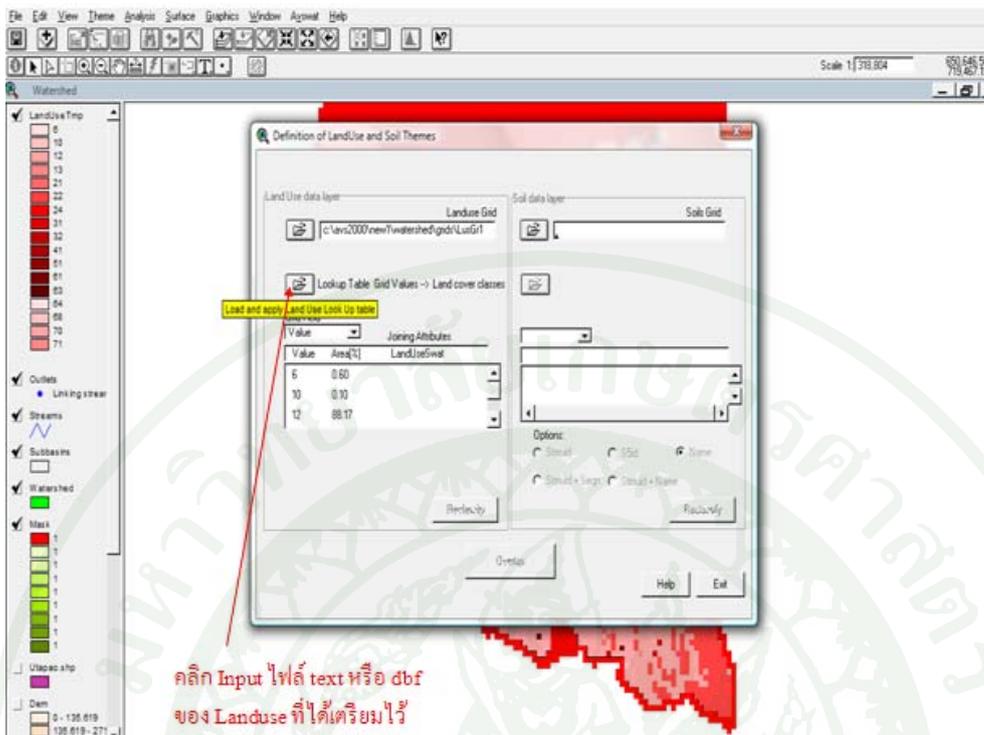
ภาพผนวกที่ จ34 แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (4)



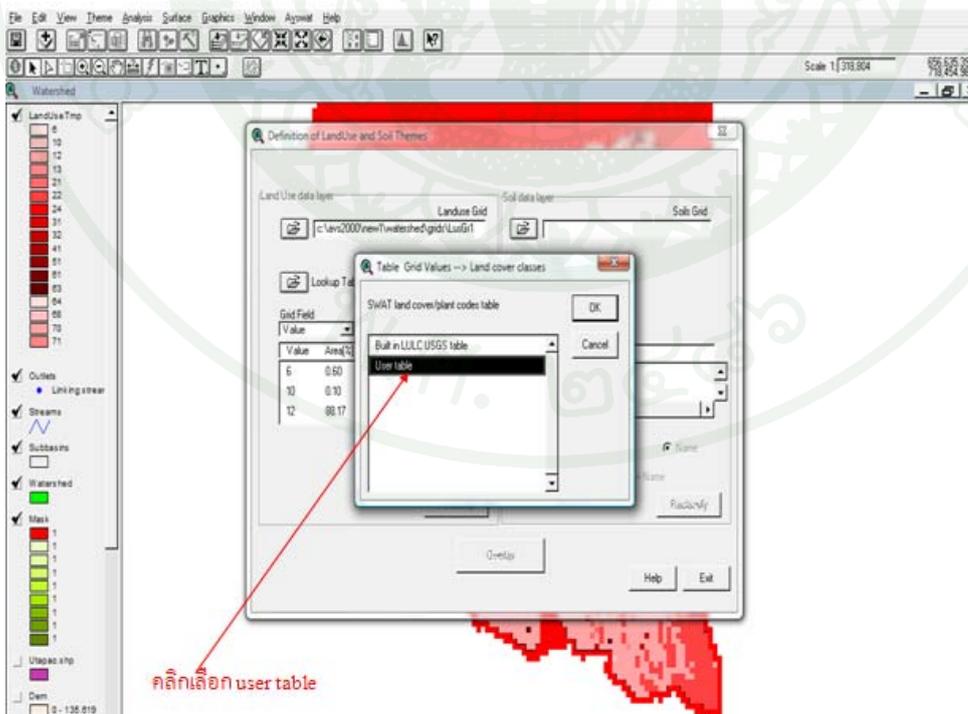
ภาพผนวกที่ 35 แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (5)



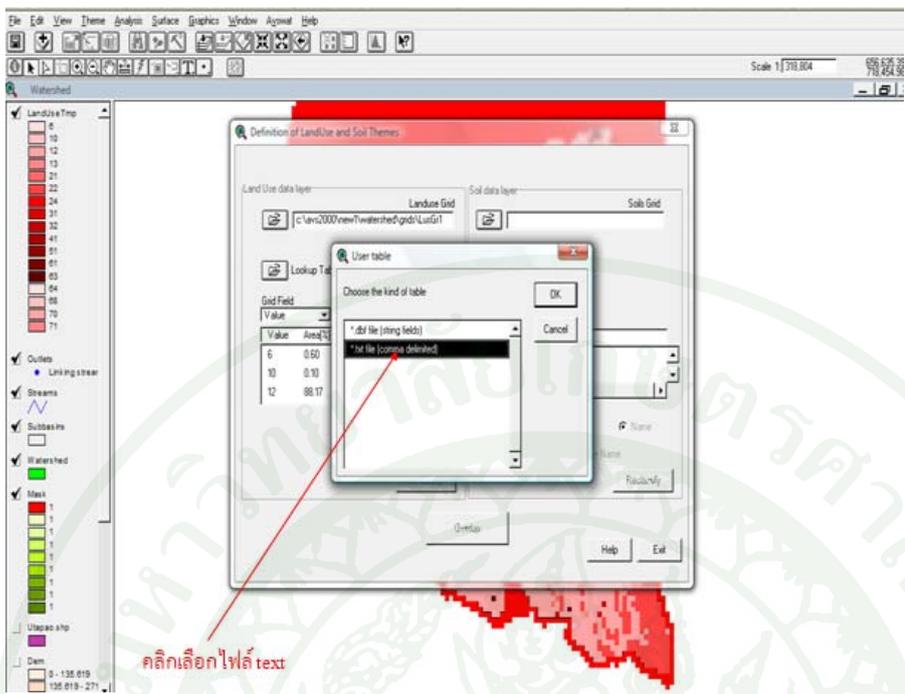
ภาพผนวกที่ 36 แสดงการนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (6)



ภาพผนวกที่ จ37 แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (1)

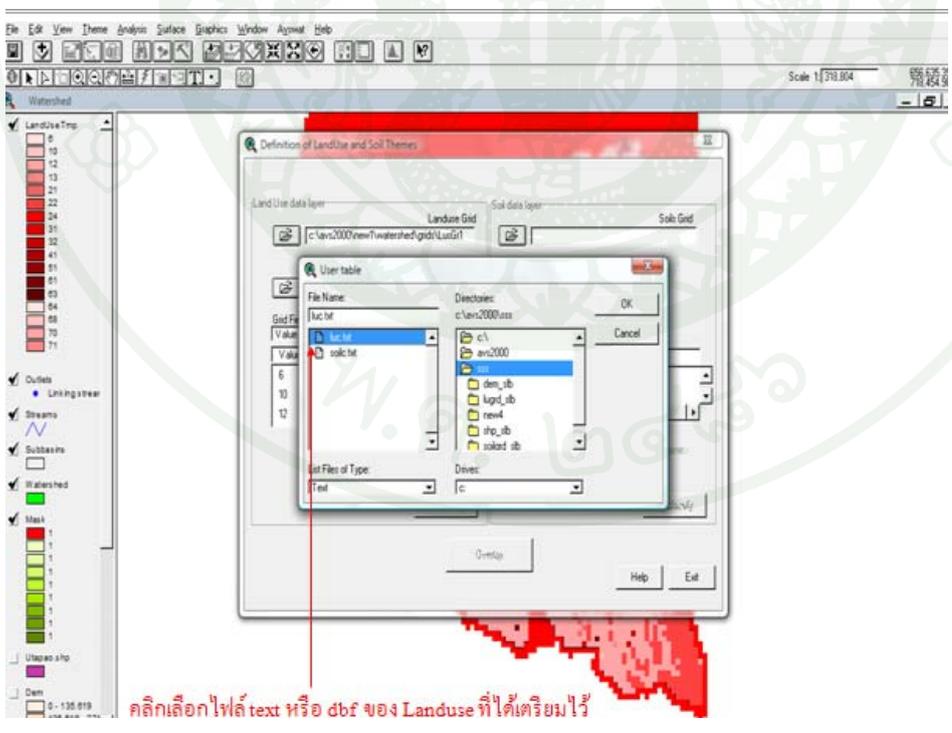


ภาพผนวกที่ จ38 แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (2)



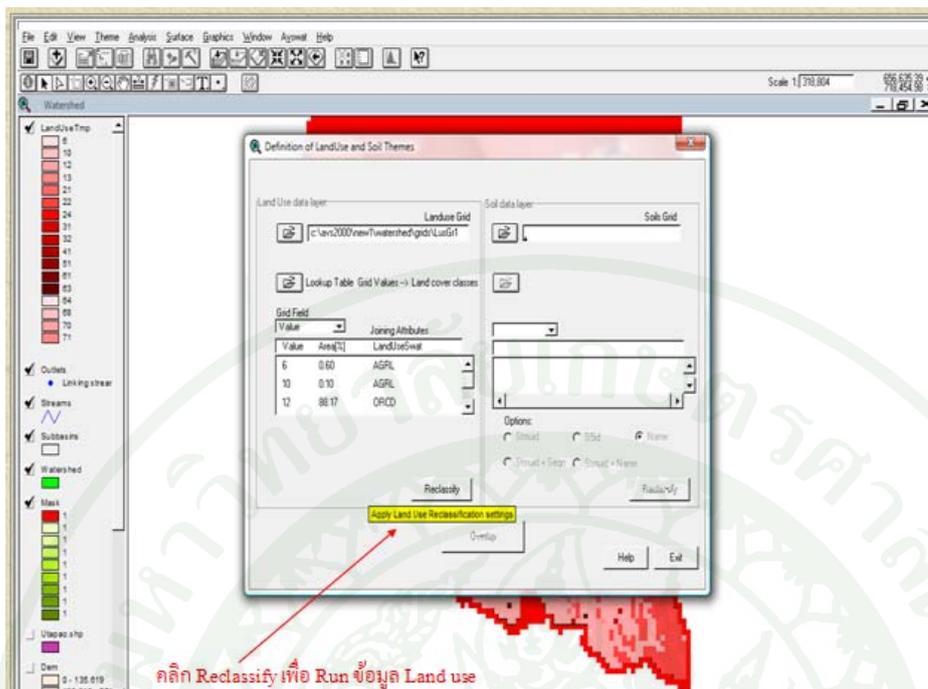
คลิกเลือกไฟล์ text

ภาพผนวกที่ จ39 แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (3)



คลิกเลือกไฟล์ text หรือ dbf ของ Landuse ที่ได้เตรียมไว้

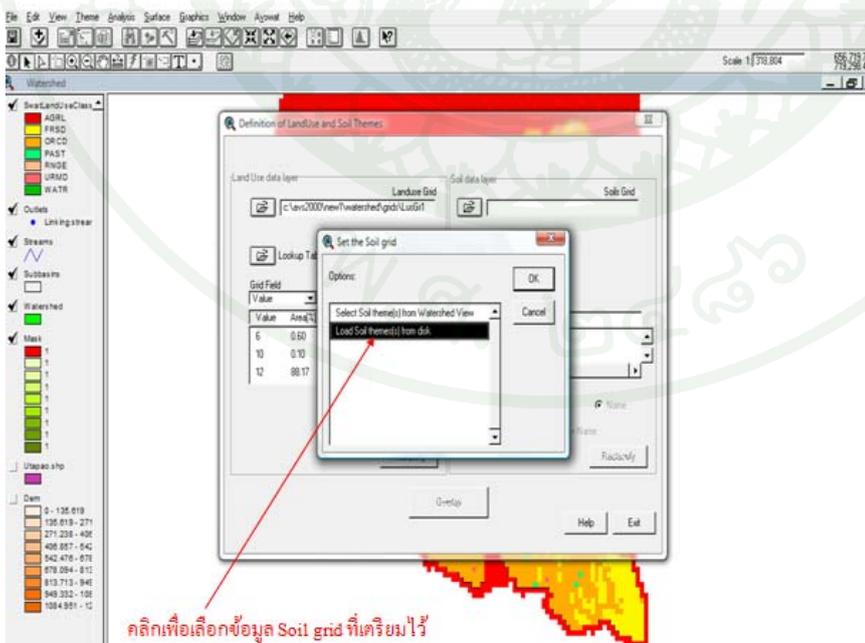
ภาพผนวกที่ จ40 แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (4)



คลิก Reclassify เพื่อ Run ข้อมูล Land use

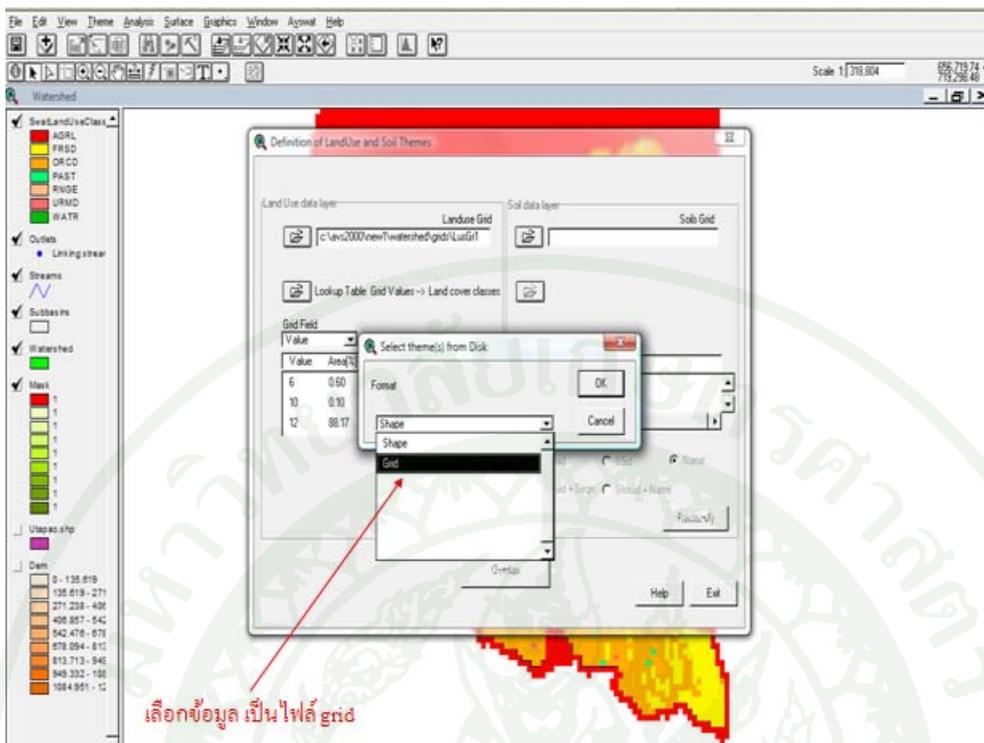
ภาพผนวกที่ จ41 แสดงการตั้งค่าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

นำเข้าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

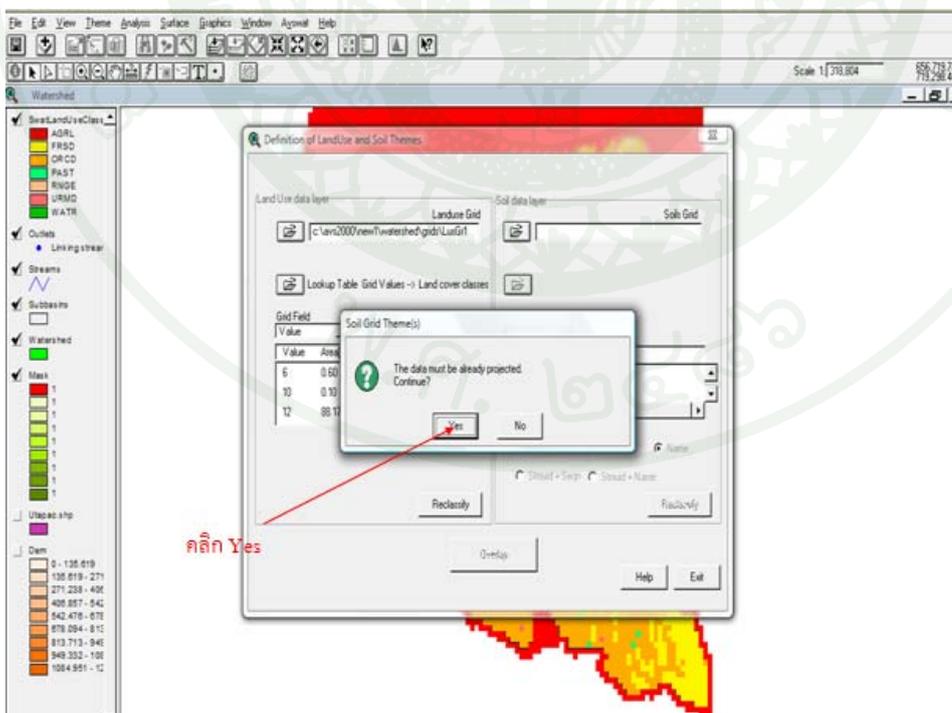


คลิกเพื่อเลือกข้อมูล Soil grid ที่เตรียมไว้

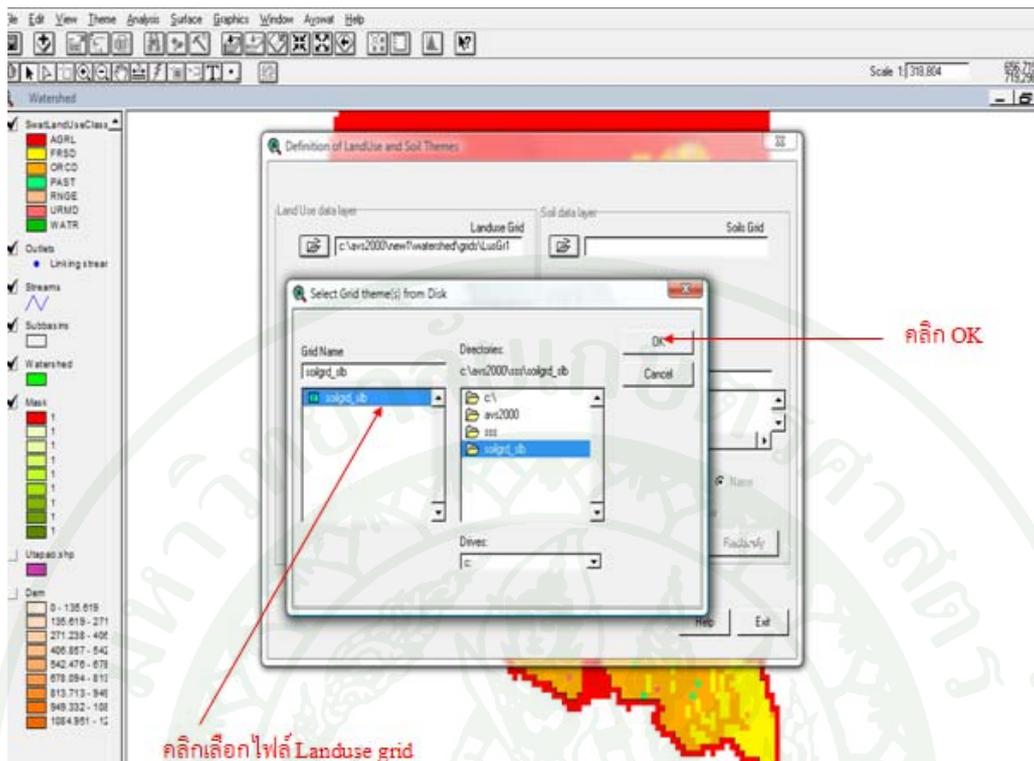
ภาพผนวกที่ จ42 แสดงการนำเข้าแผนที่ดิน (1)



ภาพผนวกที่ จ43 แสดงการนำเข้าแผนที่ดิน (2)



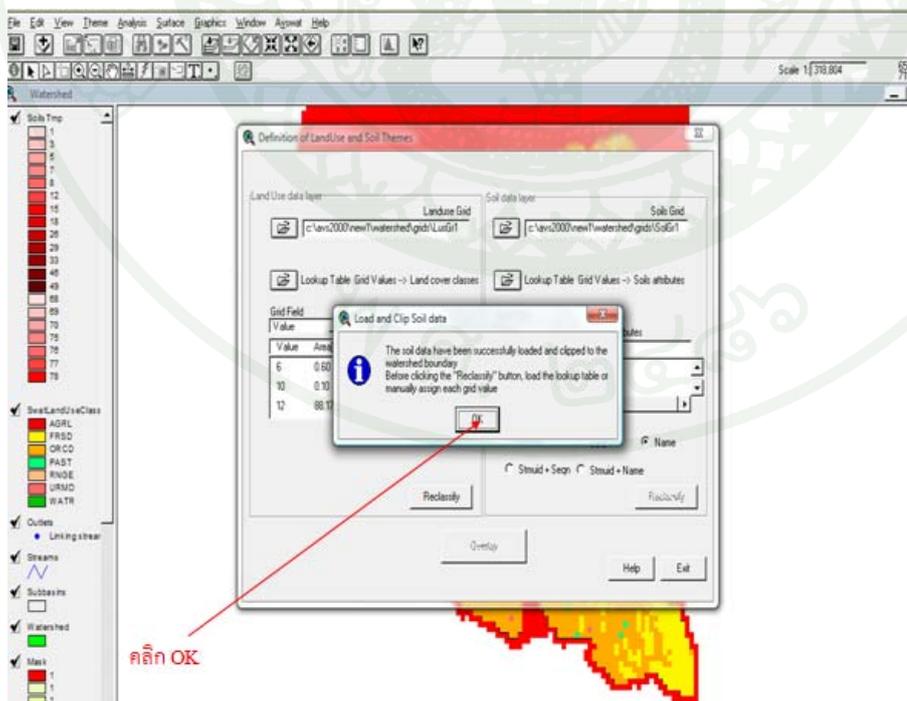
ภาพผนวกที่ จ44 แสดงการนำเข้าแผนที่ดิน (3)



คลิกเลือก ไฟล์ Landuse grid

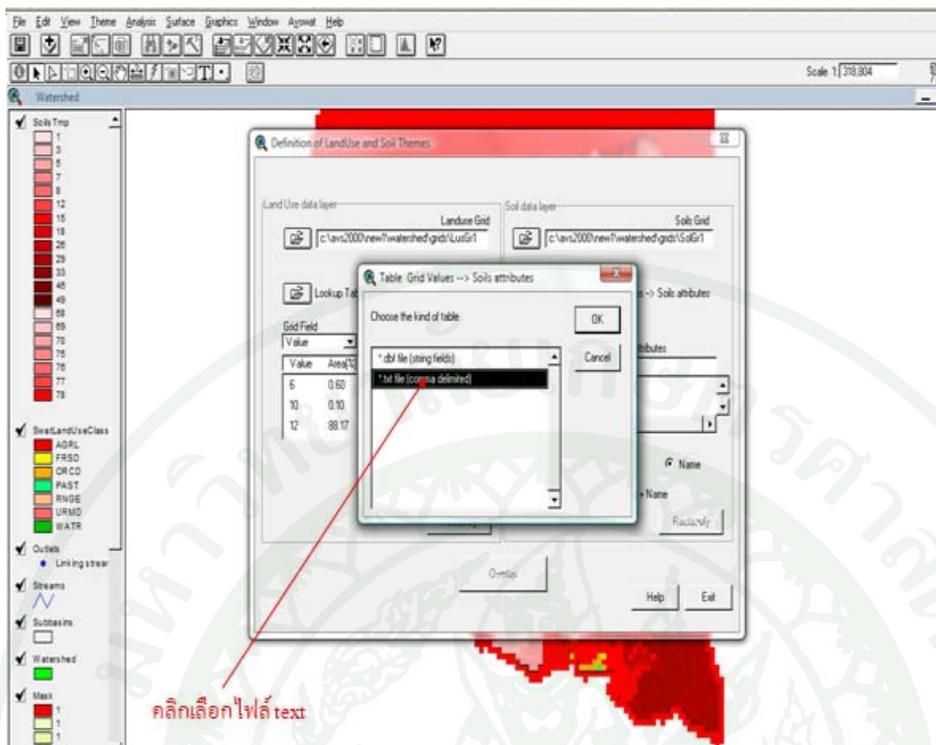
คลิก OK

ภาพผนวกที่ จ45 แสดงการนำเข้าแผนที่ดิน (4)

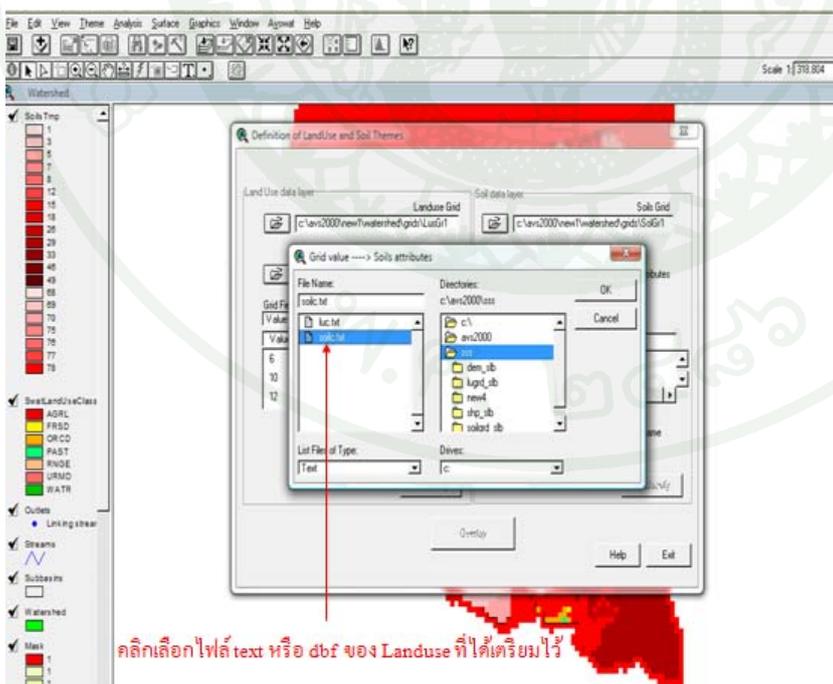


คลิก OK

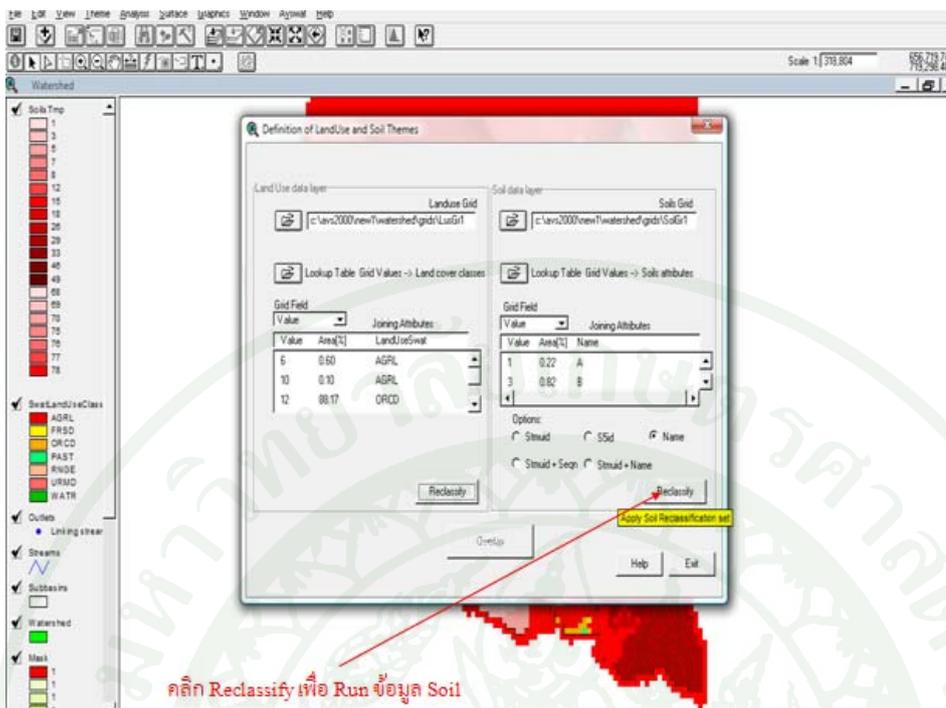
ภาพผนวกที่ จ46 แสดงการนำเข้าแผนที่ดิน (5)



ภาพผนวกที่ จ47 แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลดิน (1)

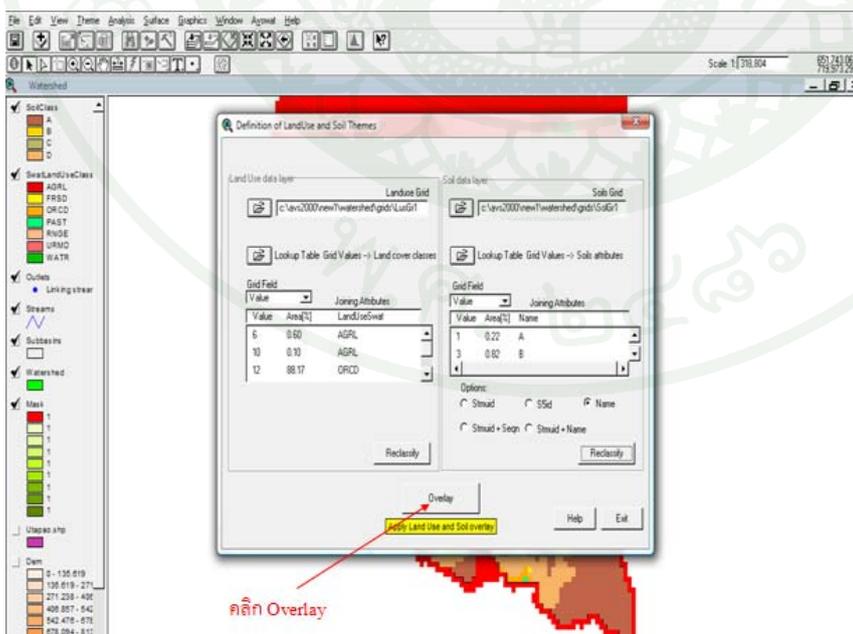


ภาพผนวกที่ จ48 แสดงการนำเข้าตารางเชื่อมต่อข้อมูลดิน (2)



ภาพผนวกที่ จ49 แสดงการตั้งค่าข้อมูลการดิน

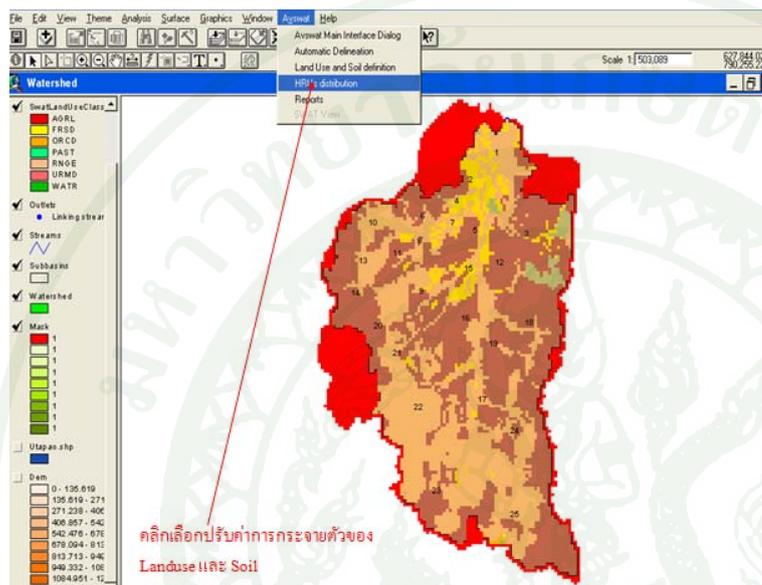
ซ้อนทับระหว่างข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินกับข้อมูลแผนที่ดิน



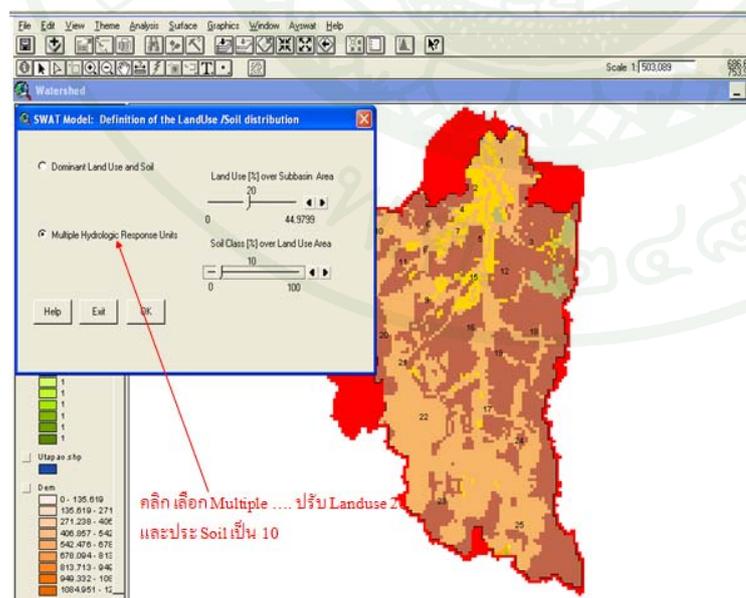
ภาพผนวกที่ จ50 แสดงการซ้อนทับระหว่างข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินกับข้อมูลแผนที่ดิน

การปรับค่าการตอบสนองทางอุทกวิทยา

โดยกำหนดให้พื้นที่การใช้ประโยชน์ของที่ดินเป็น 20% และ พื้นที่ชนิดของดินเป็น 10% ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

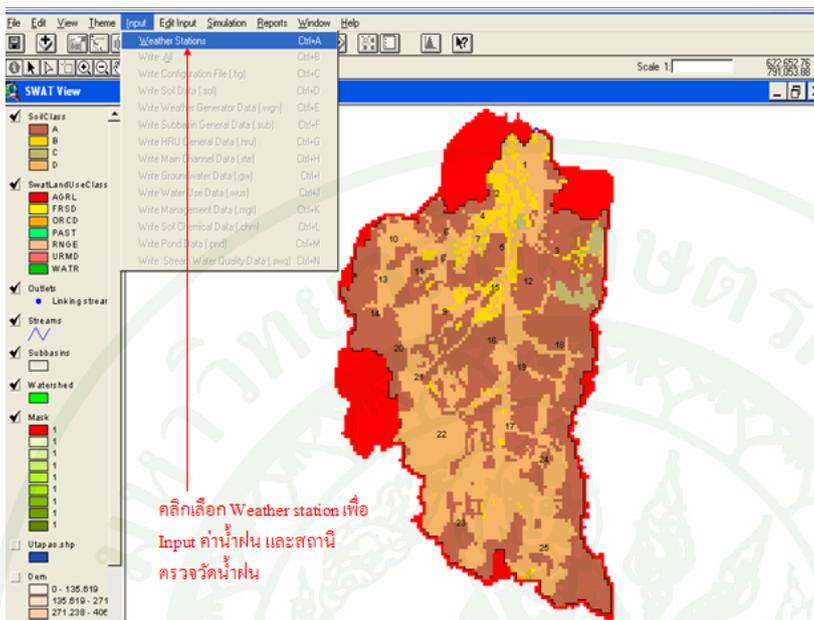


ภาพผนวกที่ จ51 แสดงเมนูการปรับค่าการตอบสนองทางอุทกวิทยา HRUs



ภาพผนวกที่ จ52 แสดงการปรับค่าการตอบสนองทางอุทกวิทยา

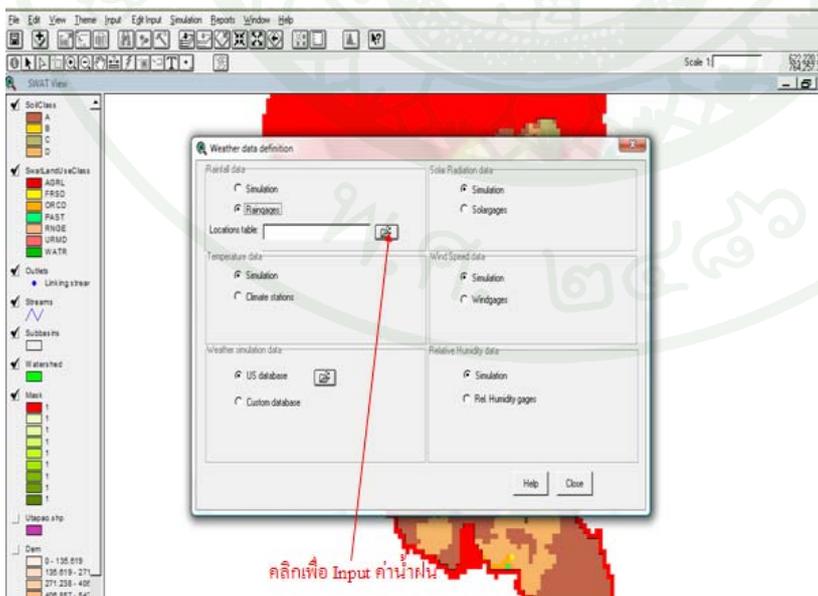
นำเข้าข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา



คลิกเลือก Weather station เพื่อ
Input คำน้่าฝน และสถานี
ตรวจวัดน้ำฝน

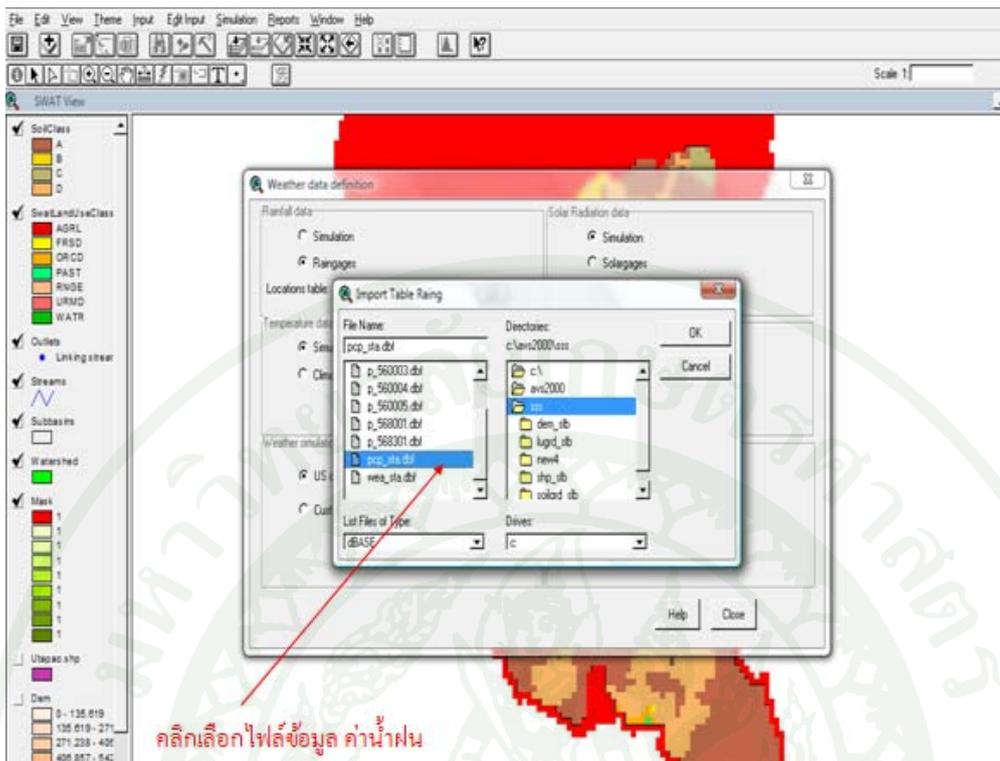
ภาพผนวกที่ จ53 แสดงเมนูการนำเข้าข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา (1)

นำเข้าข้อมูลน้ำฝน



คลิกเพื่อ Input คำน้่าฝน

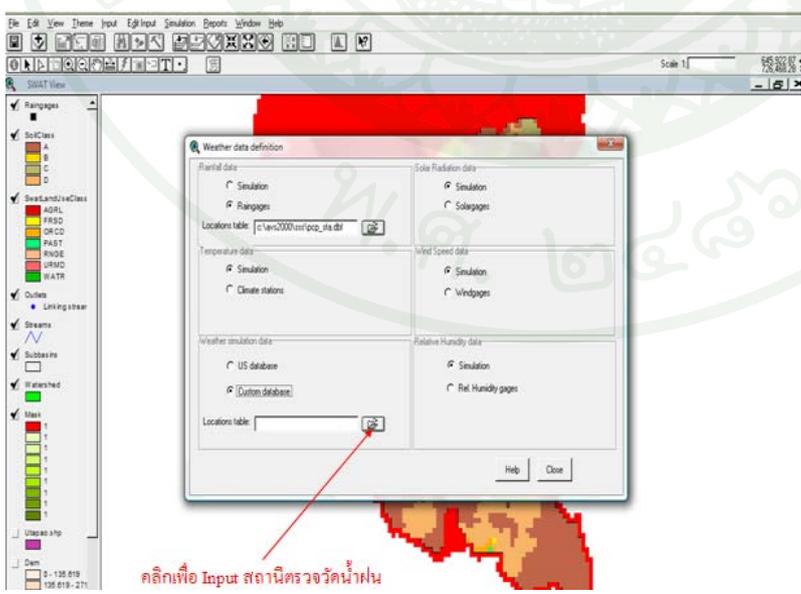
ภาพผนวกที่ จ54 แสดงการนำเข้าข้อมูลน้ำฝน (1)



คลิกเลือกไฟล์ข้อมูล คำน้ฝน

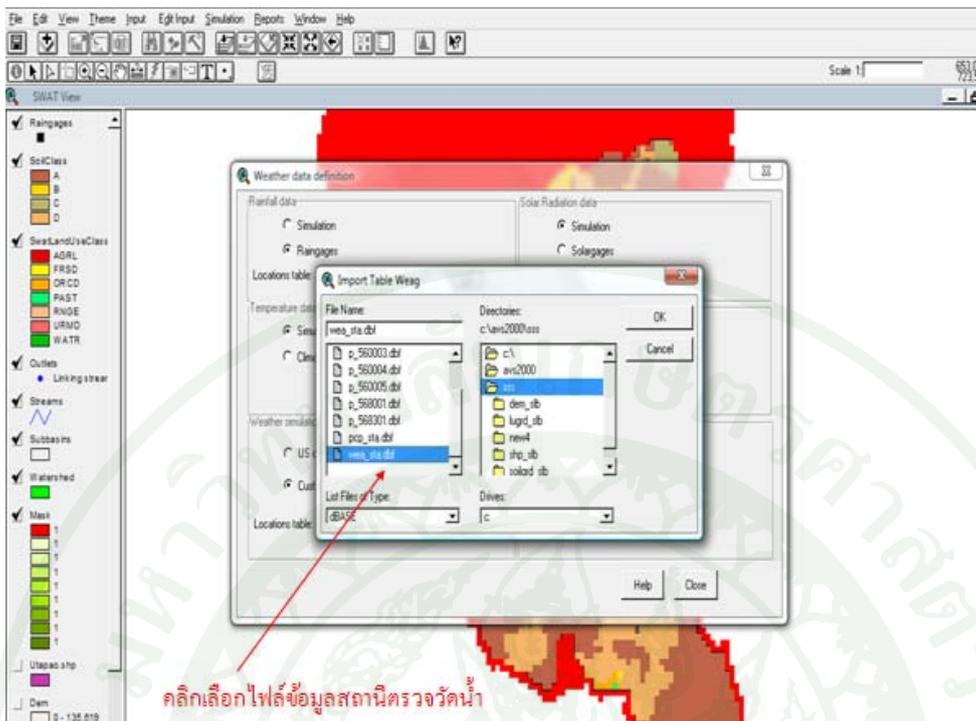
ภาพผนวกที่ จ55 แสดงการนำเข้าข้อมูลน้ำฝน (2)

นำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ



คลิกเพื่อ Import สถานีตรวจวัดน้ำฝน

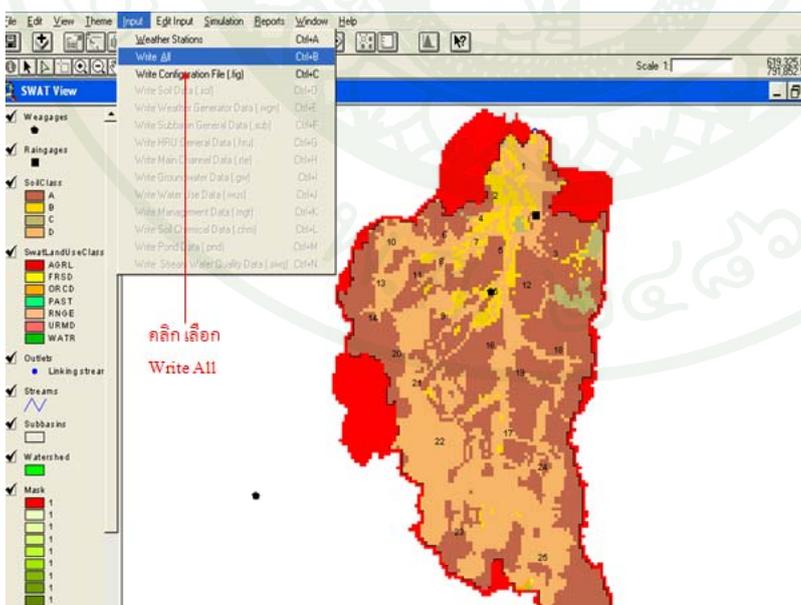
ภาพผนวกที่ จ56 แสดงการนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ (1)



คลิกเลือกไฟล์ข้อมูลสถานีตรวจวัดน้ำ

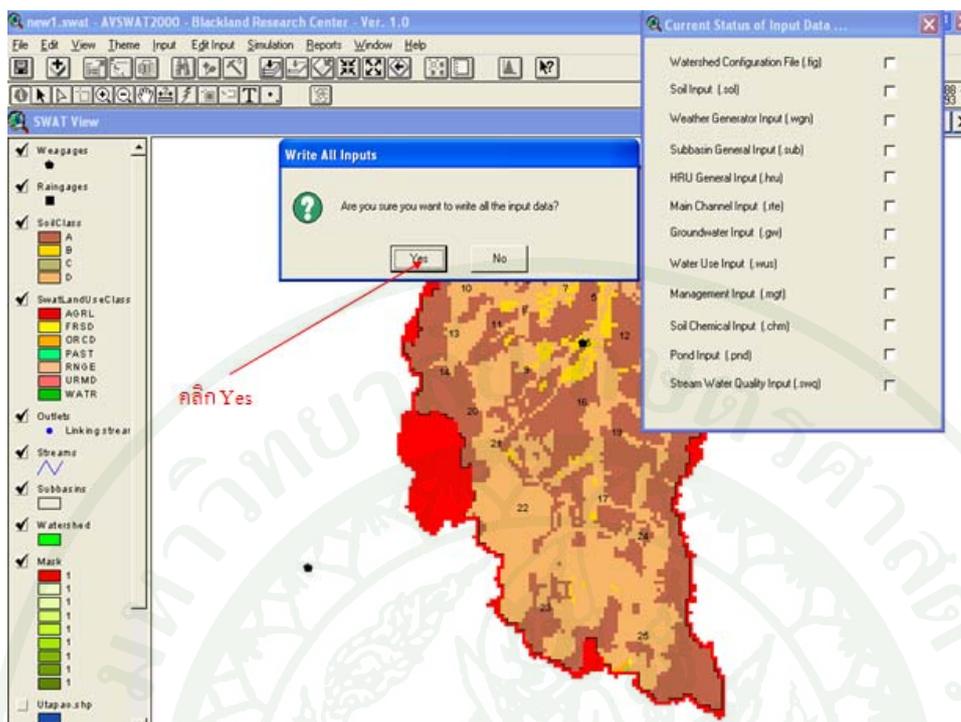
ภาพผนวกที่ จ57 แสดงการนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ (2)

ประมวลผลข้อมูลที่นำเข้า

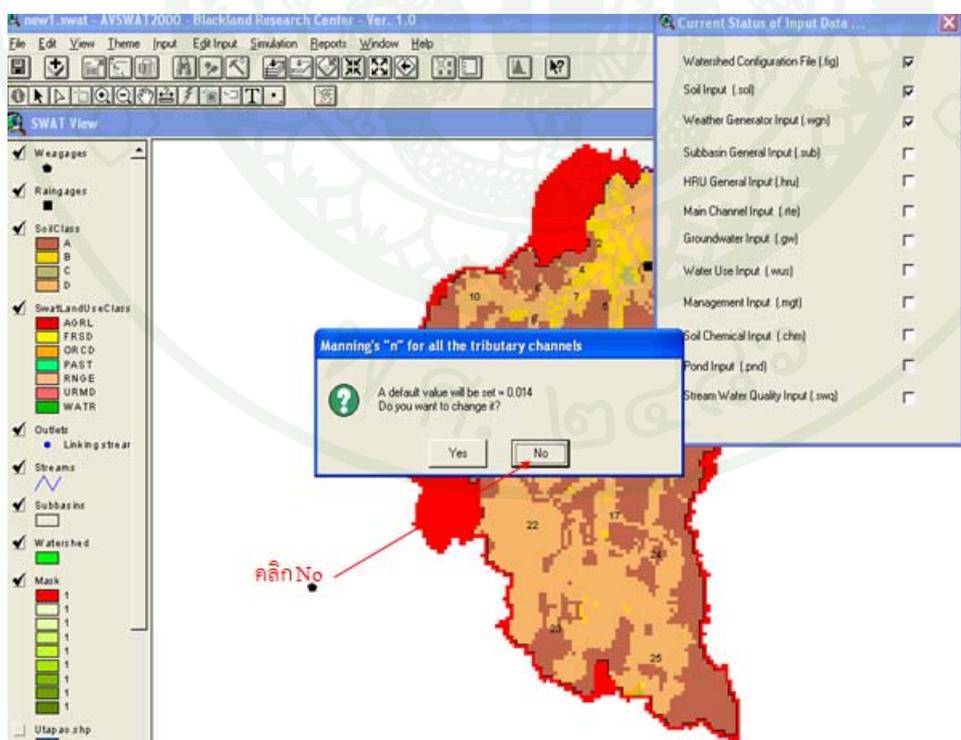


คลิกเลือก
Write All

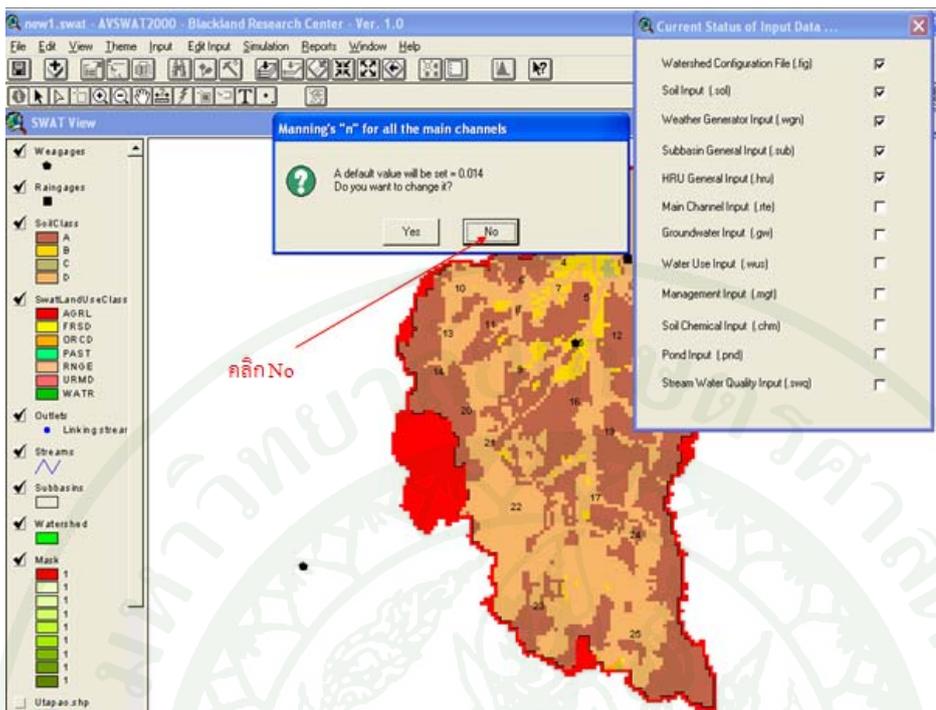
ภาพผนวกที่ จ58 แสดงการประมวลผลข้อมูลที่นำเข้า (1)



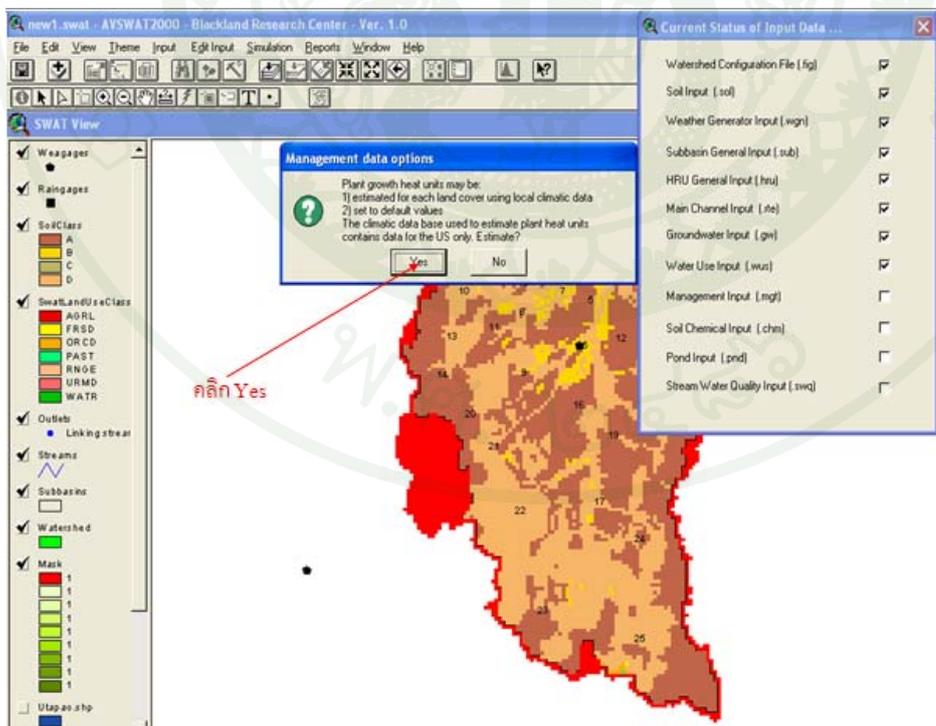
ภาพผนวกที่ จ59 แสดงการประมวลผลข้อมูลที่นำเข้า (2)



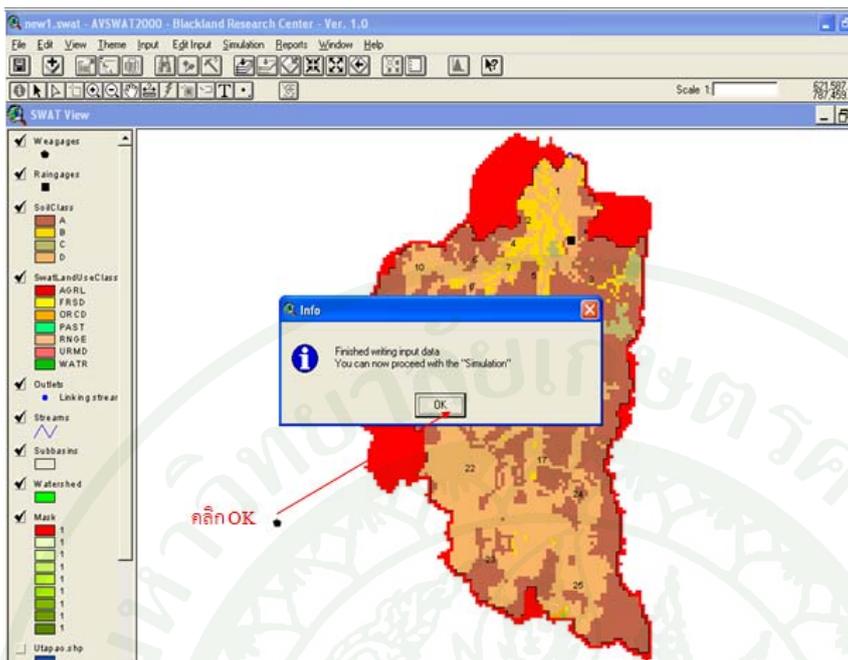
ภาพผนวกที่ จ60 แสดงการประมวลผลข้อมูลที่นำเข้า (3)



ภาพผนวกที่ จ61 แสดงการประมวลผลข้อมูลที่นำเข้า (4)

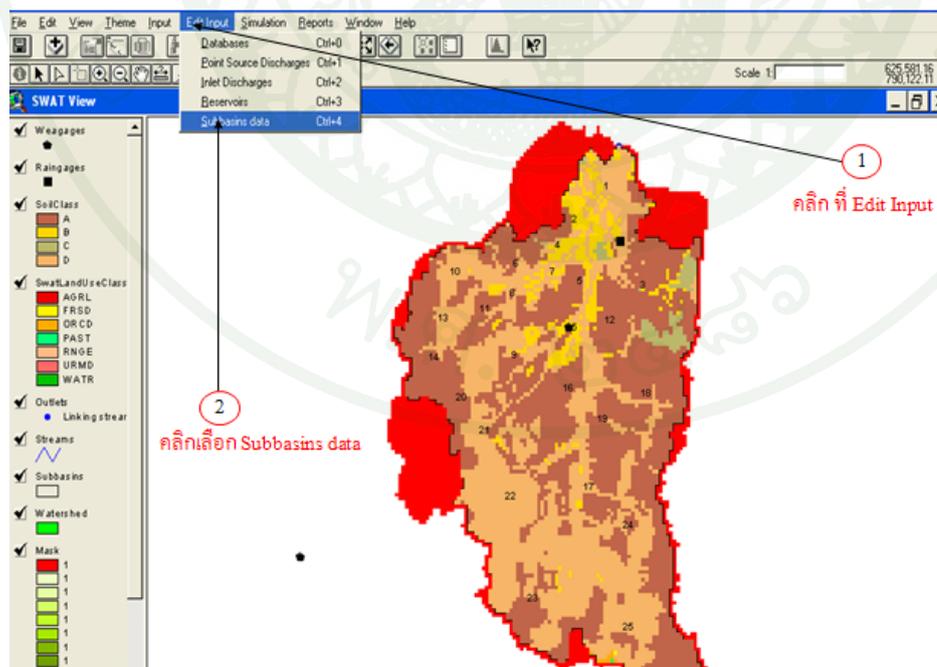


ภาพผนวกที่ จ62 แสดงการประมวลผลข้อมูลที่นำเข้า (5)



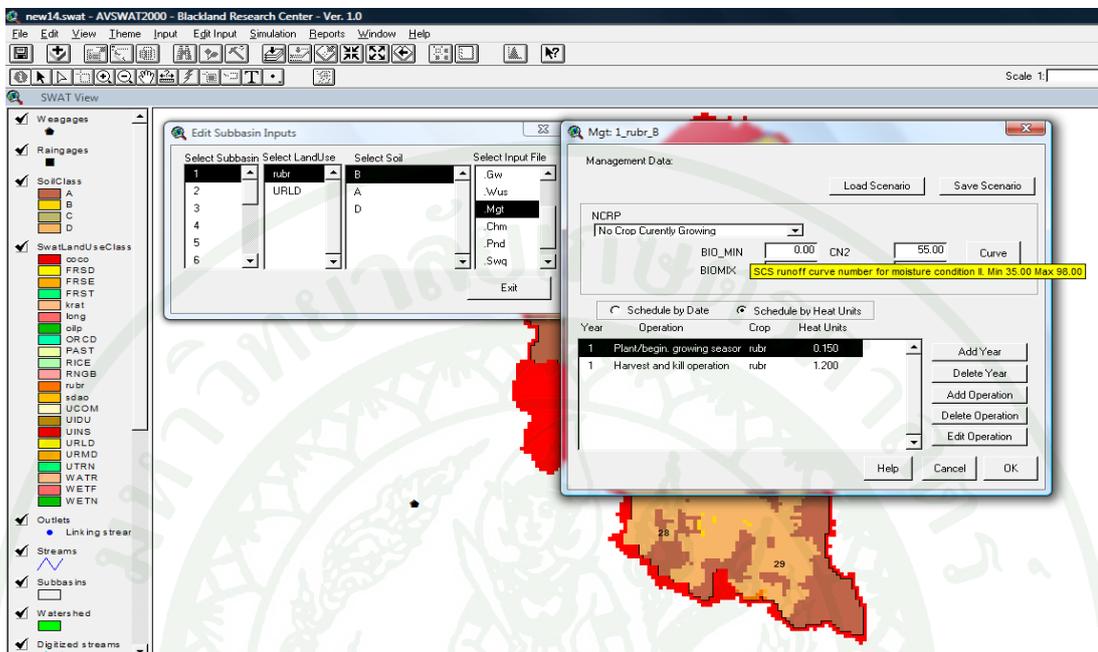
ภาพผนวกที่ จ63 แสดงการประมวลผลข้อมูลที่นำเข้า (6)

นำเข้าหรือปรับแก้ค่าตัวแปรบนลุ่มน้ำย่อยบนลุ่มน้ำอุ้ตะภา

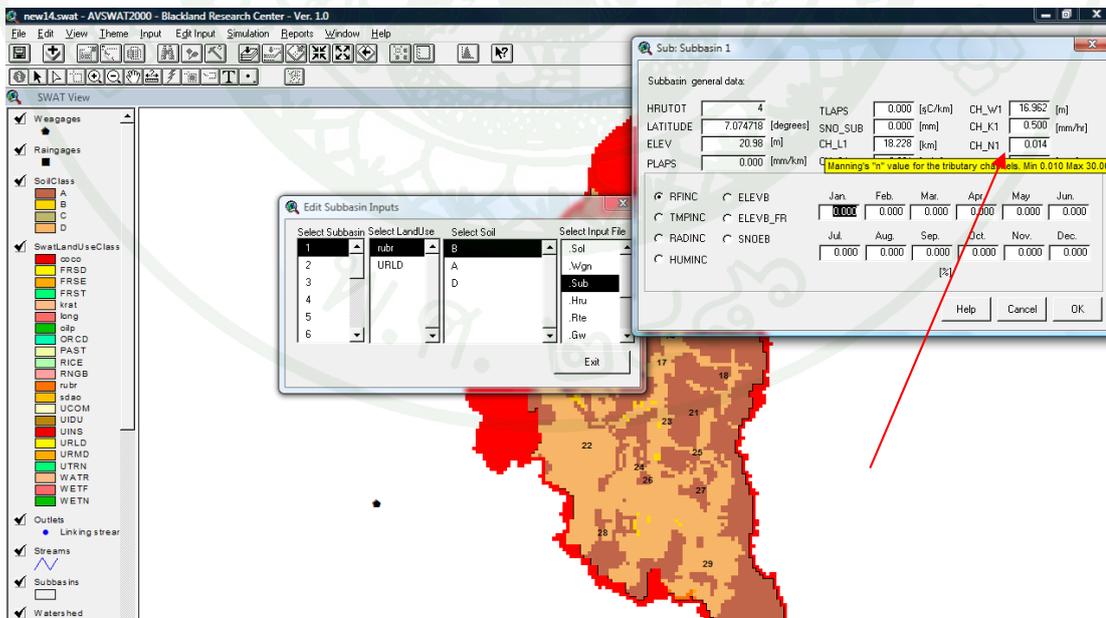


ภาพผนวกที่ จ64 แสดงเมนูการนำเข้าหรือปรับแก้ค่าข้อมูลบนลุ่มน้ำย่อยบนลุ่มน้ำอุ้ตะภา

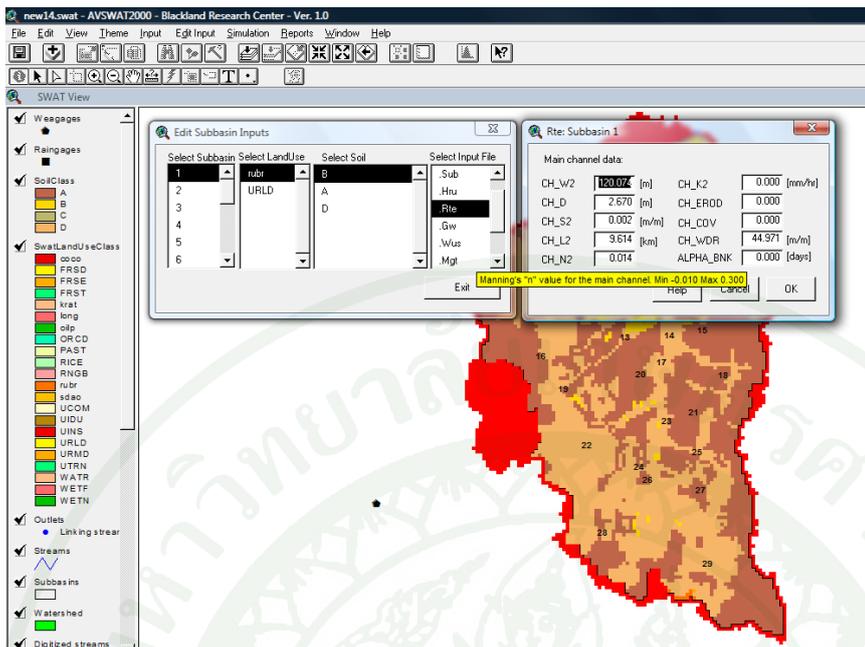
ปรับแก้ค่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า



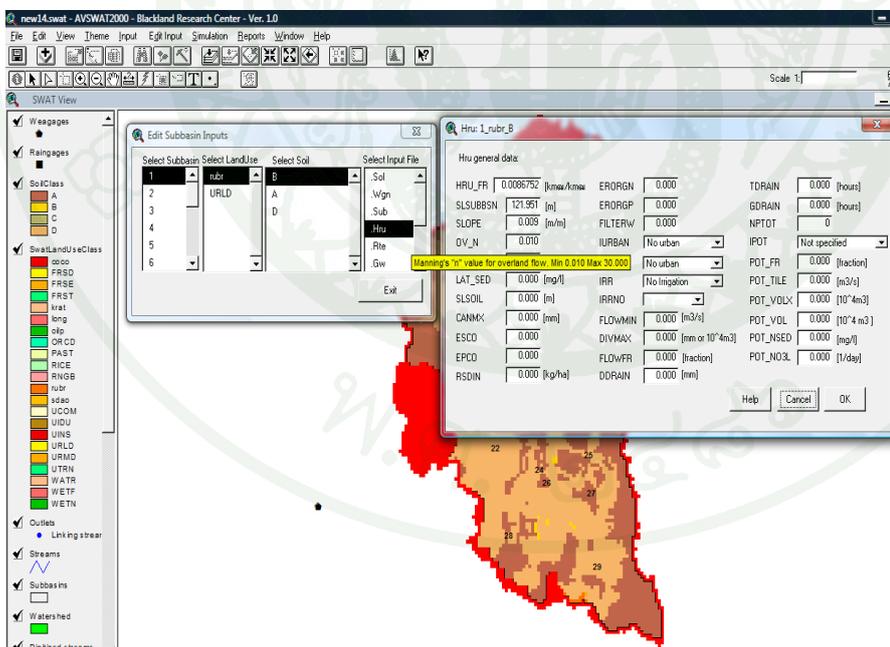
ภาพผนวกที่ จ65 แสดงช่องตัวแปรค่า Curve number 2(CN2)



ภาพผนวกที่ จ66 แสดงช่องตัวแปรค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำสาขาบนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย(CH_N1)

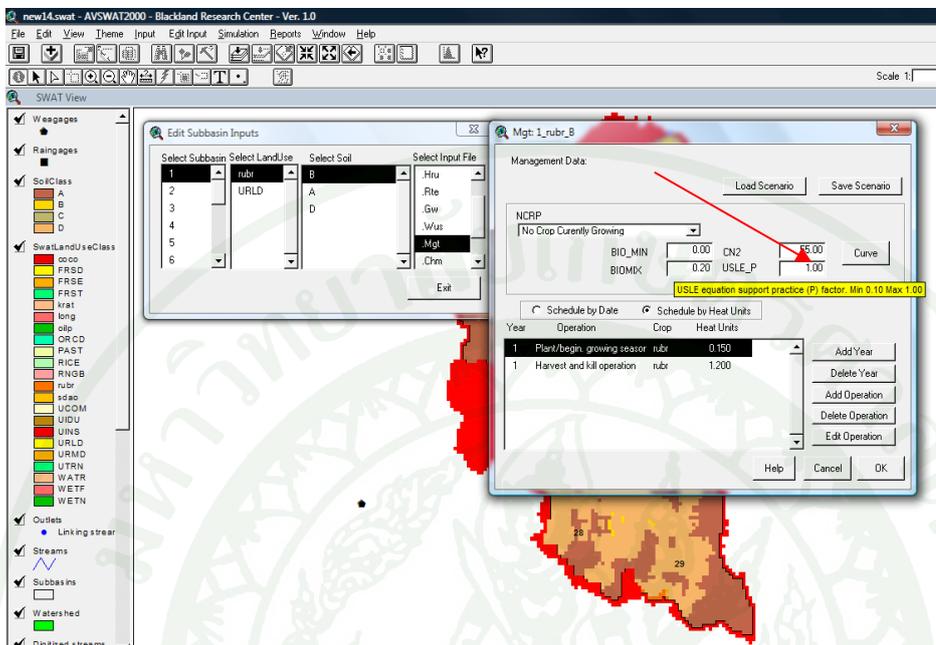


ภาพผนวกที่ จ67 แสดงช่องตัวแปรค่า Manning “n” สำหรับลำน้ำหลักบนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย(CH_N2)

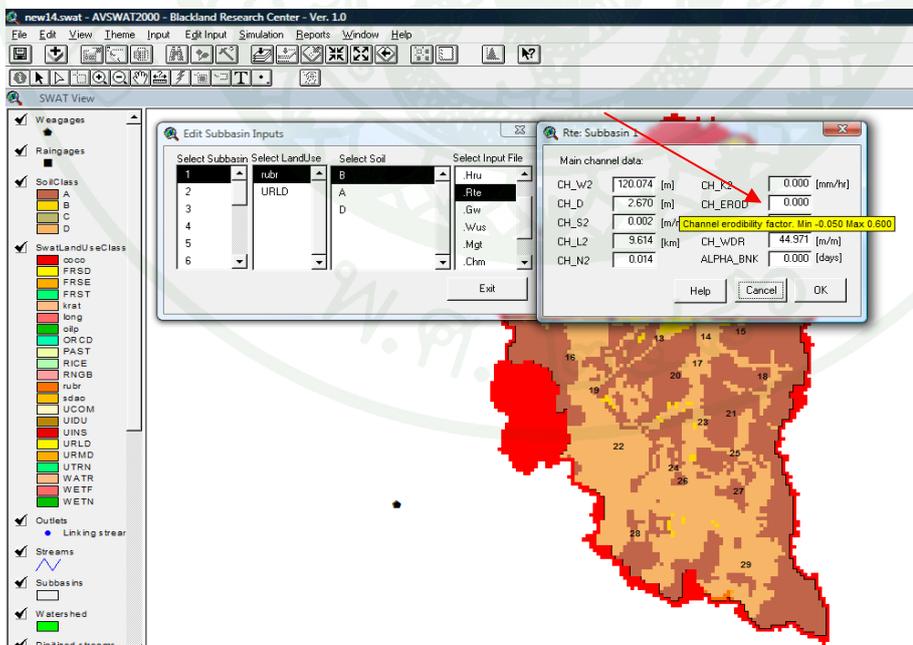


ภาพผนวกที่ จ68 แสดงช่องตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระบนผิวดิน (OV_N)

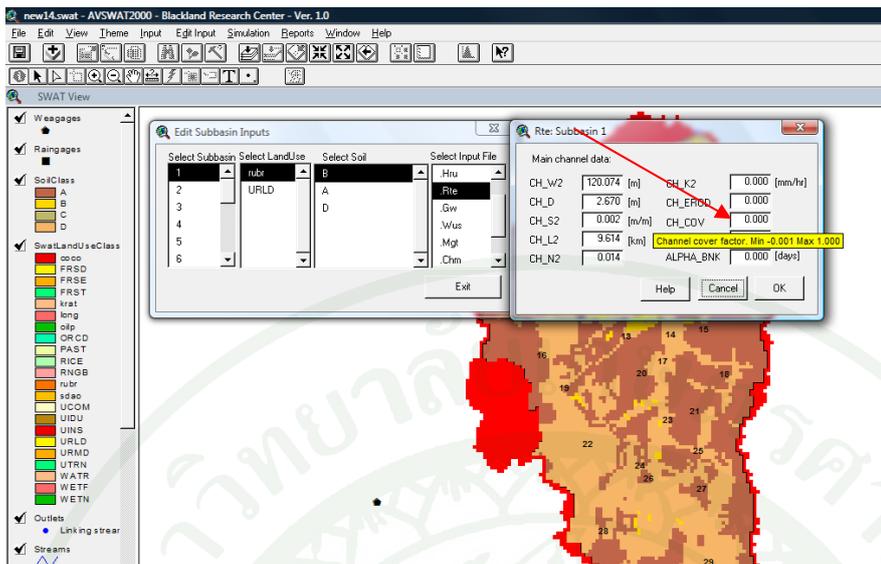
ปรับแก้ค่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณตะกอน



ภาพผนวกที่ จ69 แสดงช่องตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การจัดการพืช (USLE_P)



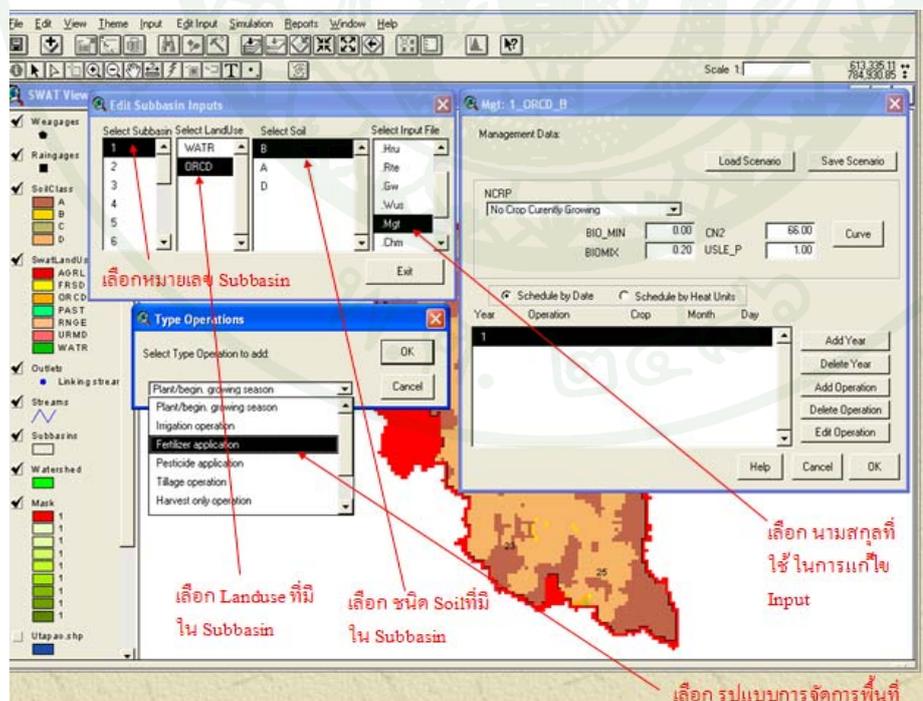
ภาพผนวกที่ จ70 แสดงช่องตัวแปรค่าตัวแปรการชะพังของลำน้ำ (CH_EROD)



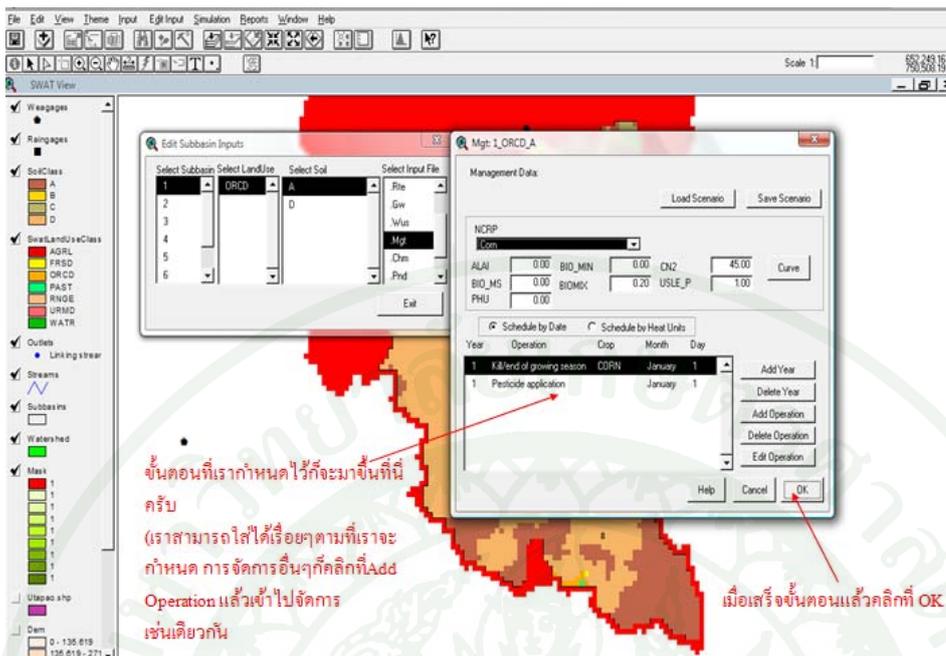
ภาพผนวกที่ จ71 แสดงช่องตัวแปรค่าตัวแปรสิ่งปกคลุมในลำน้ำ (CH_COV)

ปรับแก้ค่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณ ไนโตรเจน

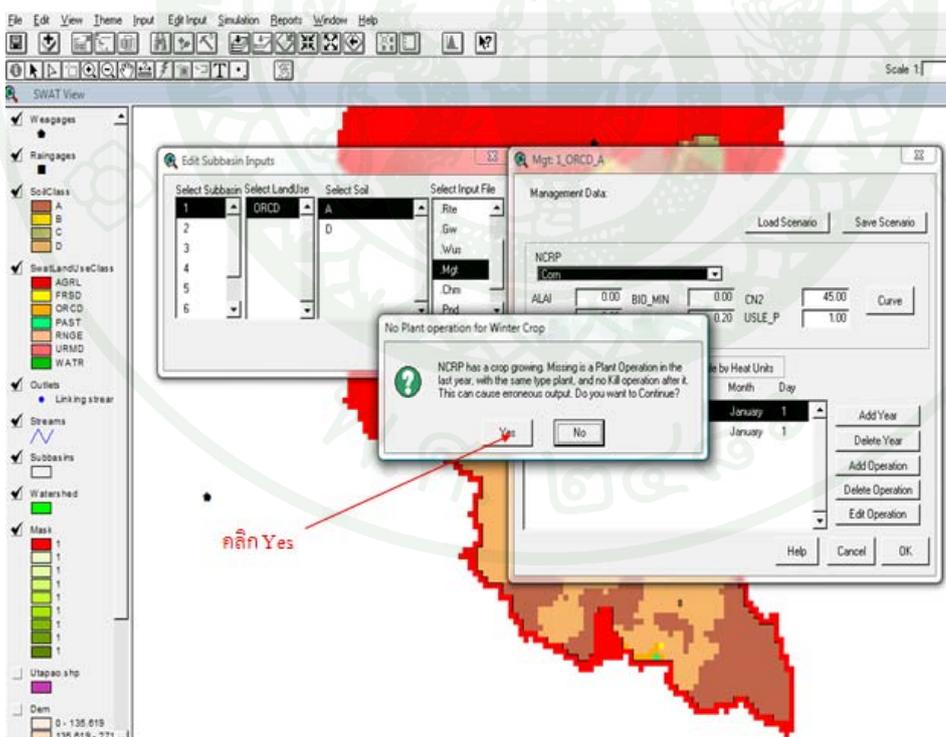
ขั้นตอนการใส่ปุ๋ยบนพื้นที่



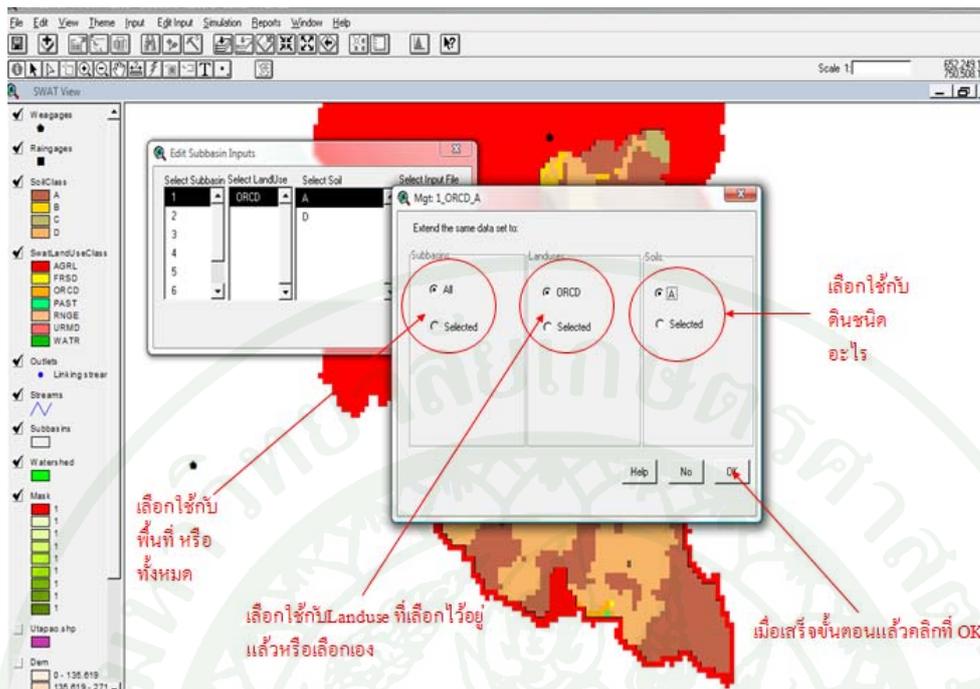
ภาพผนวกที่ จ72 แสดงขั้นตอนการใส่ปุ๋ยบนพื้นที่ (1)



ภาพผนวกที่ จ73 แสดงขั้นตอนการใส่ปุ๋ยบนพื้นที่ (2)



ภาพผนวกที่ จ74 แสดงขั้นตอนการใส่ปุ๋ยบนพื้นที่ (3)



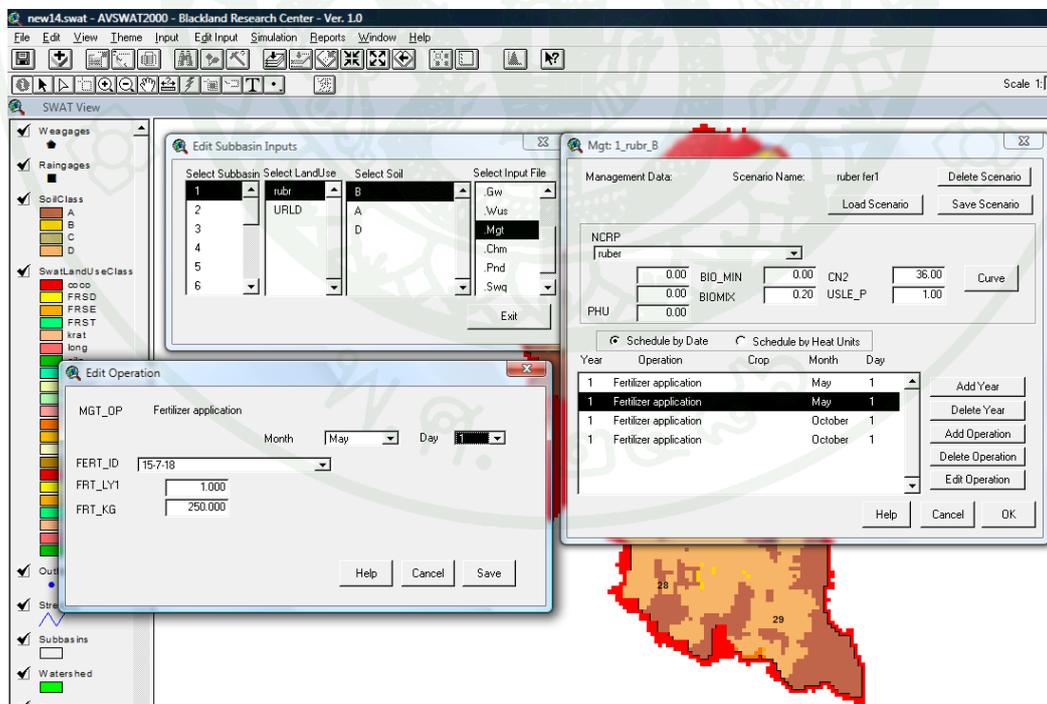
เลือกใช้กับดินชนิดอะไร

เลือกใช้กับพื้นที่ หรือทั้งหมด

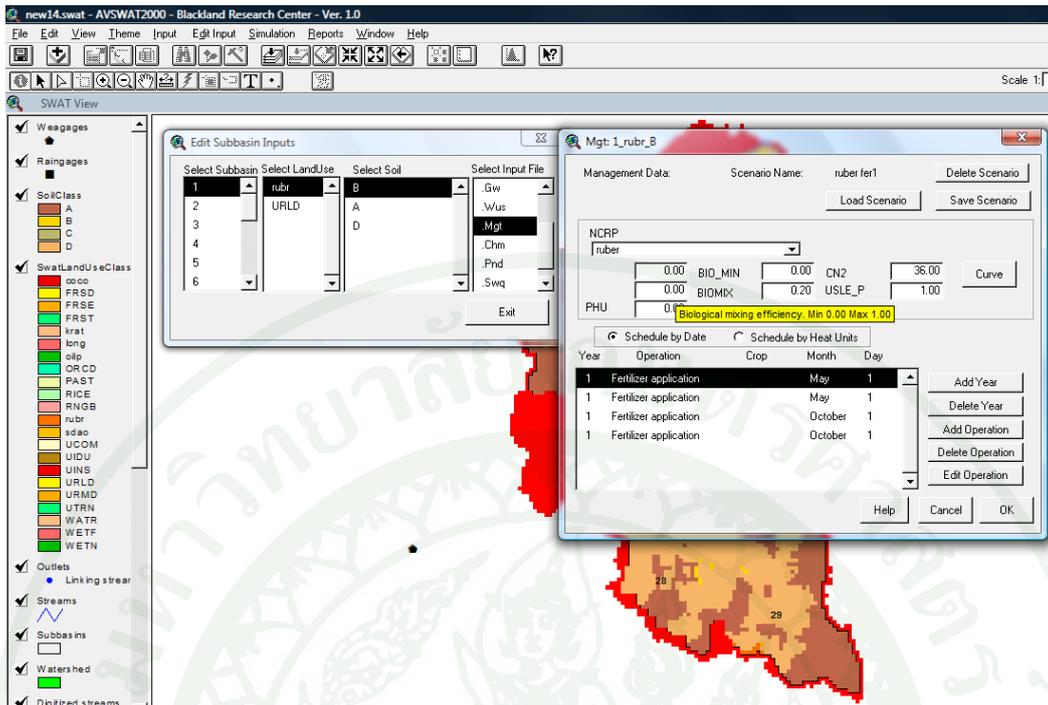
เลือกใช้กับLanduse ที่เลือกไว้แล้วหรือเลือกเอง

เมื่อเสร็จขั้นตอนแล้วคลิกที่ OK

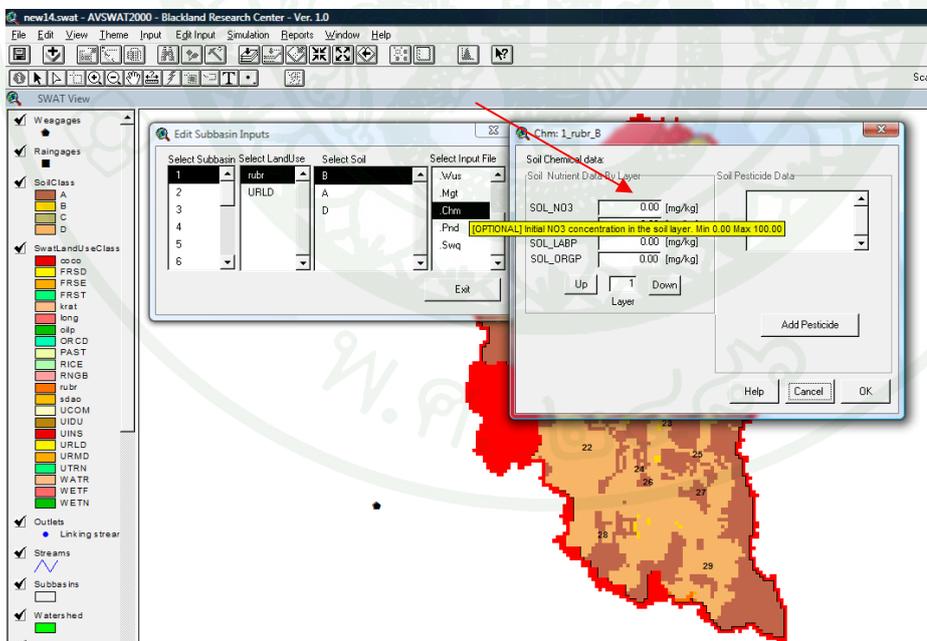
ภาพผนวกที่ จ75 แสดงขั้นตอนการใส่ปุ๋ยบนพื้นที่ (4)



ภาพผนวกที่ จ76 แสดงช่องตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การตกค้างของปุ๋ยบนพื้นที่ (FRT_LY1)

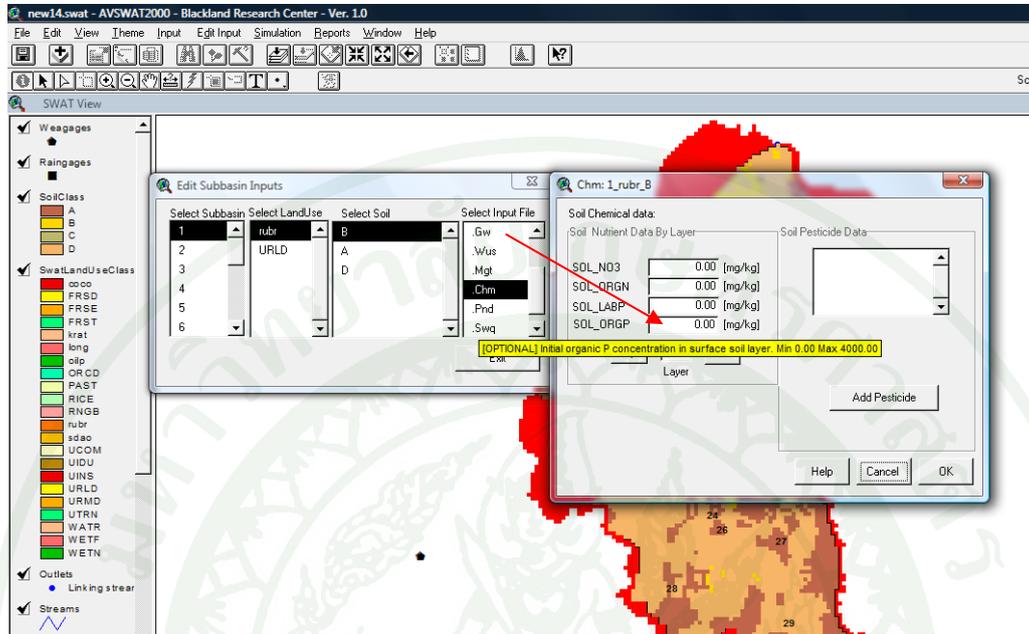


ภาพผนวกที่ ๖๗ แสดงช่องตัวแปรค่าการผสมกันระหว่างพืชที่ตกค้างบนพื้นที่กับดิน (BIOMIX)

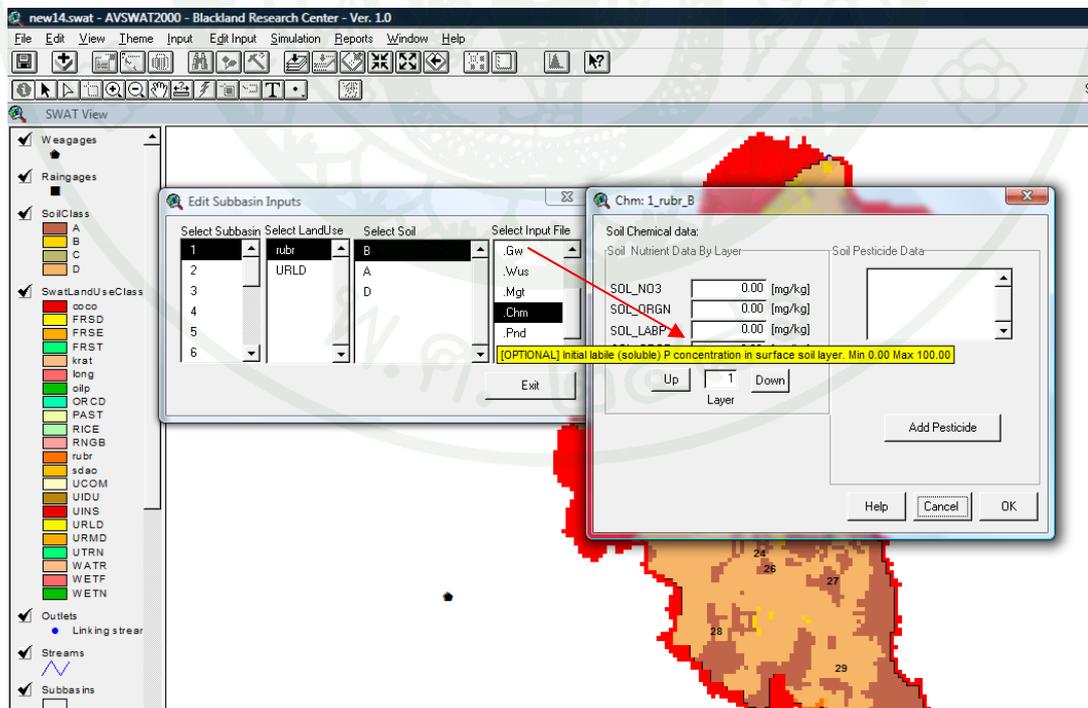


ภาพผนวกที่ ๖๘ แสดงช่องตัวแปรค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_NO3)

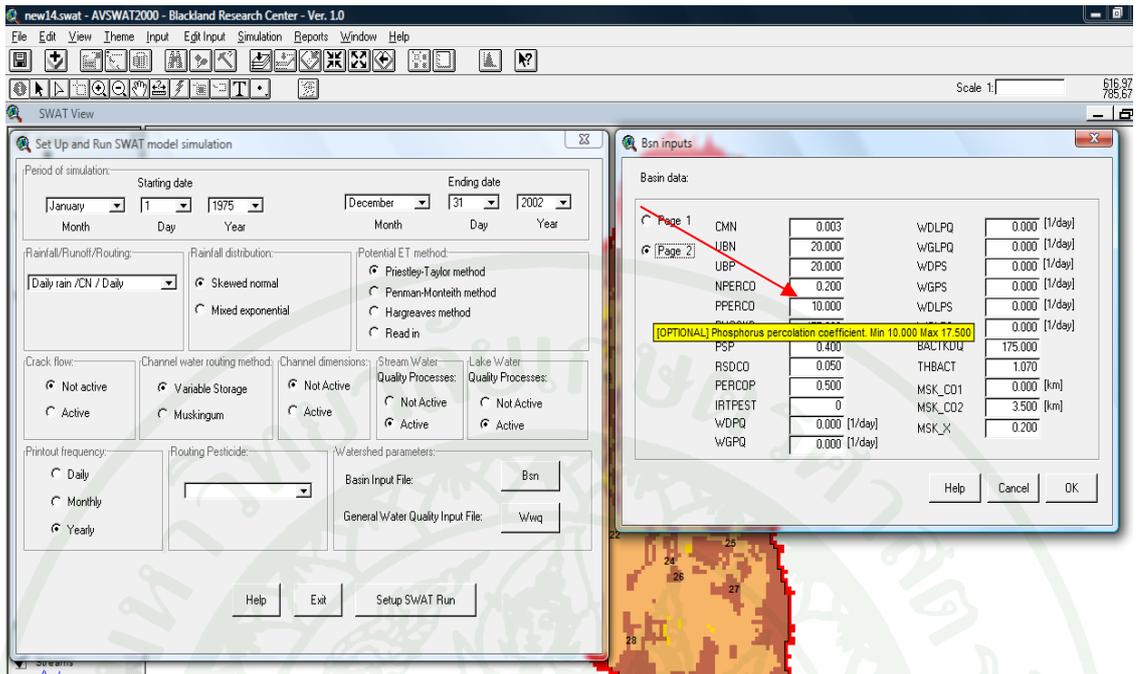
ปรับแก้ค่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจน



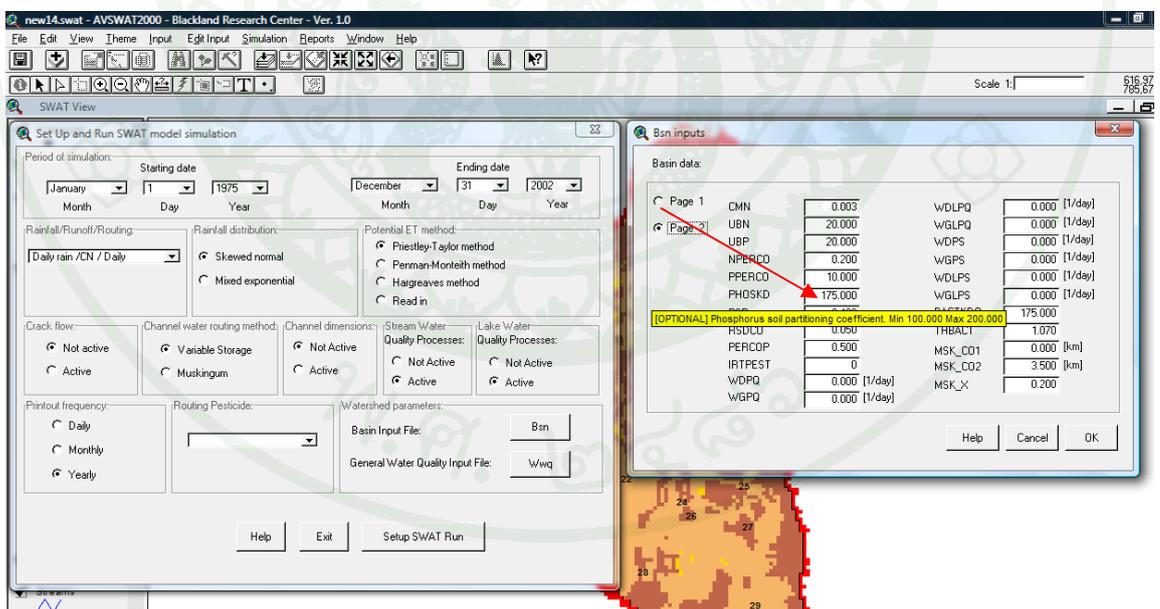
ภาพผนวกที่ จ79 แสดงช่องตัวแปรค่าค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_MINP)



ภาพผนวกที่ จ80 แสดงช่องตัวแปรค่าตั้งต้นของธาตุอาหารบนพื้นที่ (SOL_ORGP)

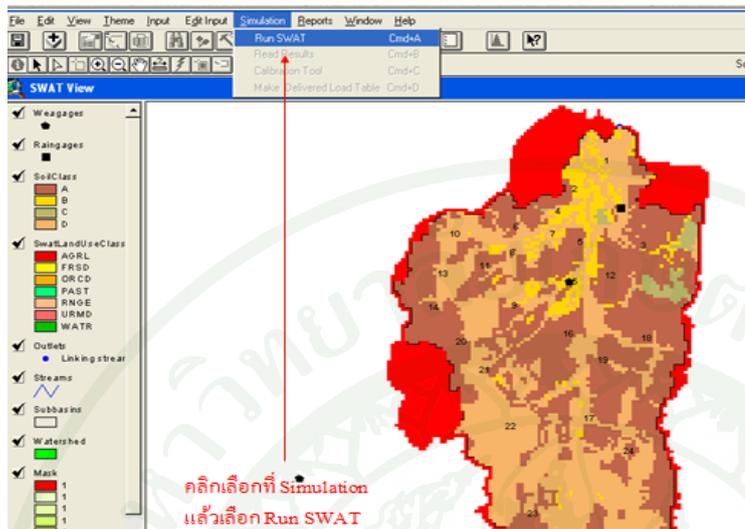


ภาพผนวกที่ จ81 แสดงช่องตัวแปรค่าการไหลซึมของฟอสฟอรัส (PPERCO)



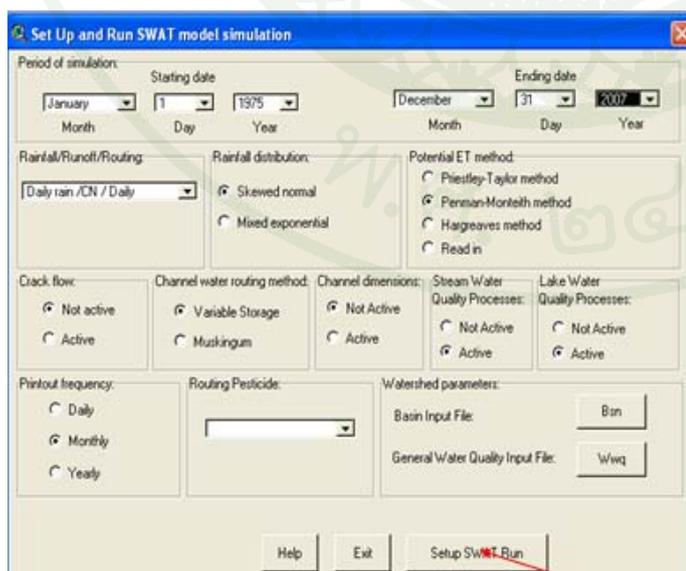
ภาพผนวกที่ จ82 แสดงช่องตัวแปรค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสต่อตะกอน (PHOSKD)

การประมวลผลจากข้อมูลที่นำเข้าและปรับแก้

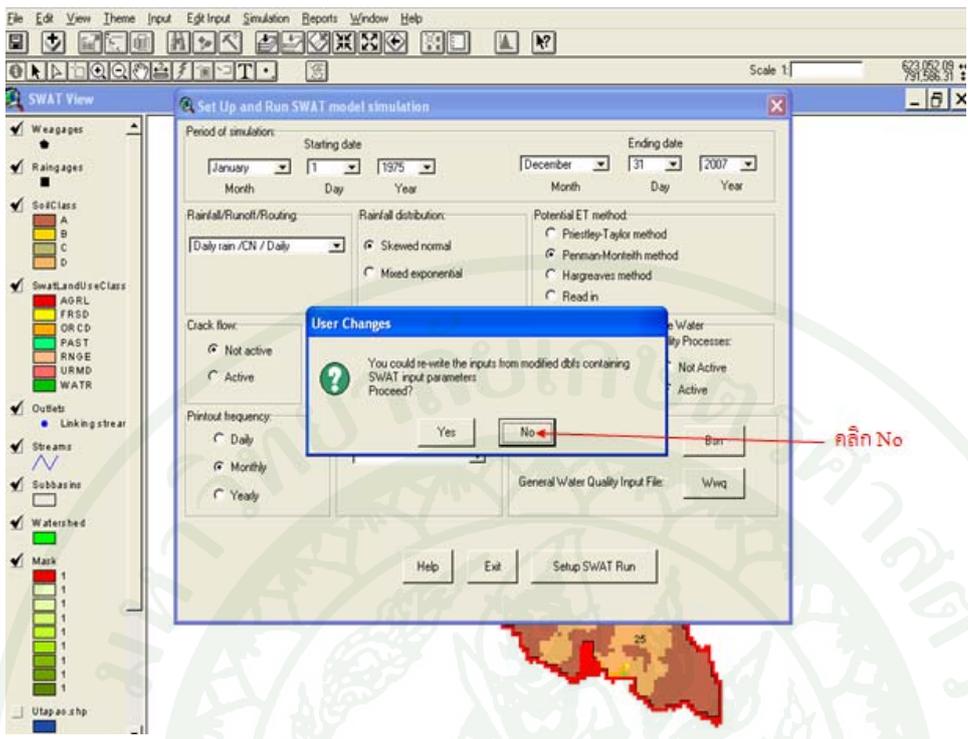


ภาพผนวกที่ จ83 แสดงเมนูการประมวลผลจากข้อมูลที่นำเข้าและปรับแก้

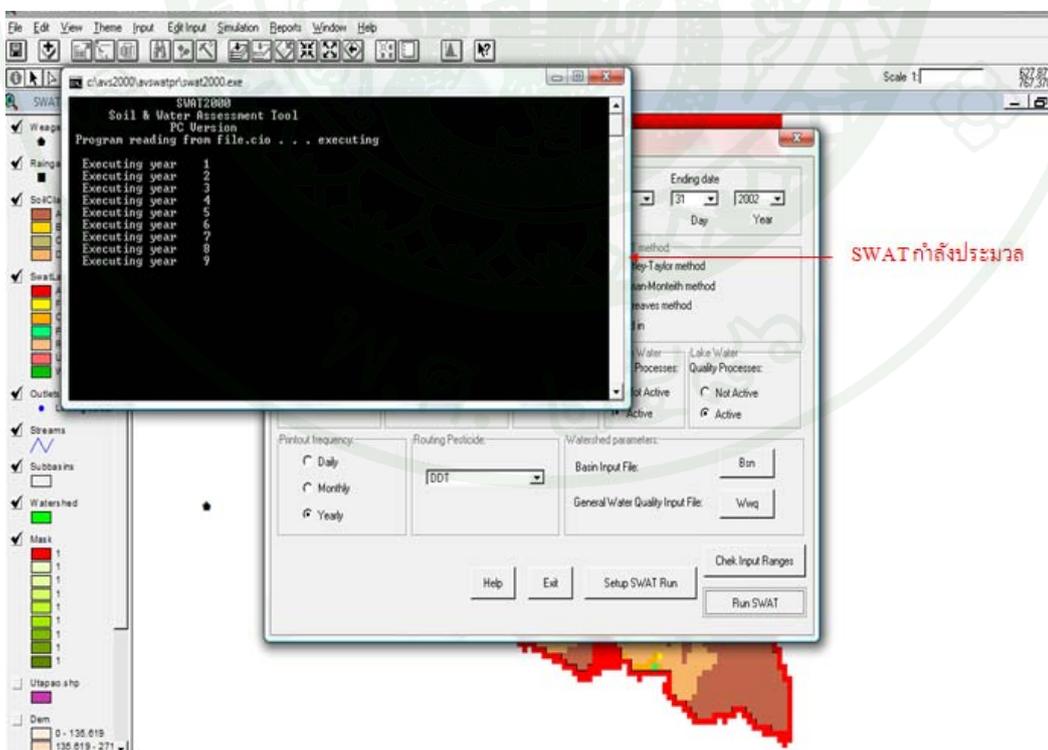
- กำหนดช่วงเวลาในการประมวลผลในแบบจำลอง โดยเลือกเวลาเริ่มต้นคือ January / 1 / 1979 และเวลาสุดท้ายคือ December / 31 / 2003
- เลือกใช้สมการ Penman-Monteith Method ในการจำลองด้านสภาพอากาศ
- เลือกความถี่ (Printout frequency) คือ Monthly



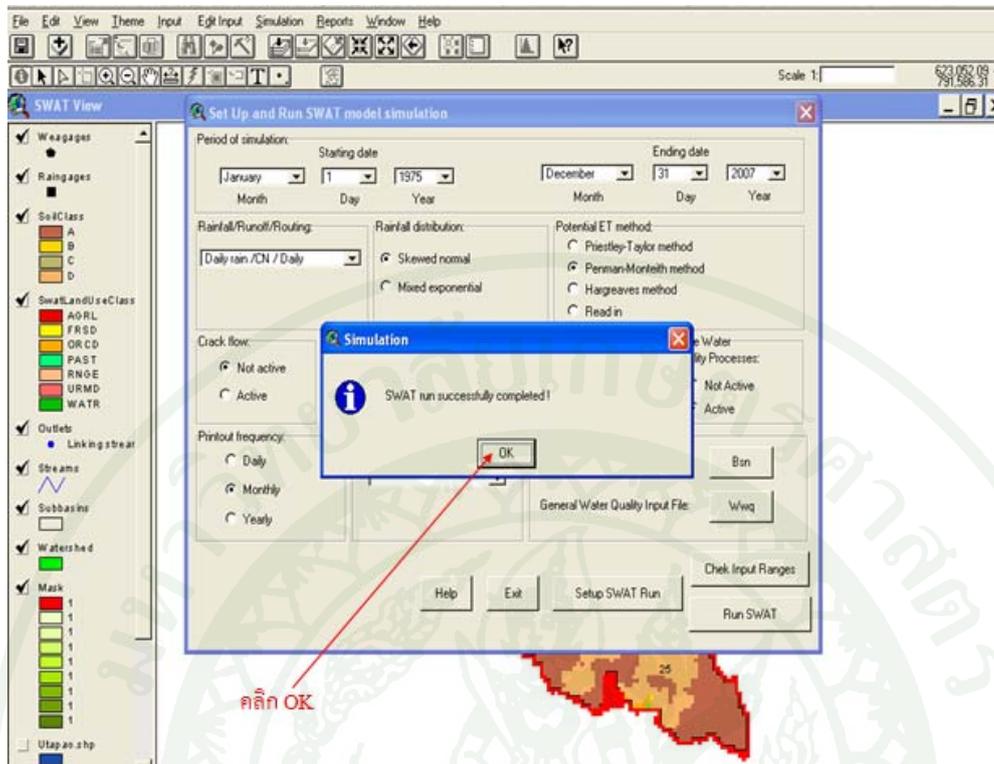
ภาพผนวกที่ จ84 แสดงการประมวลผลข้อมูล (1)



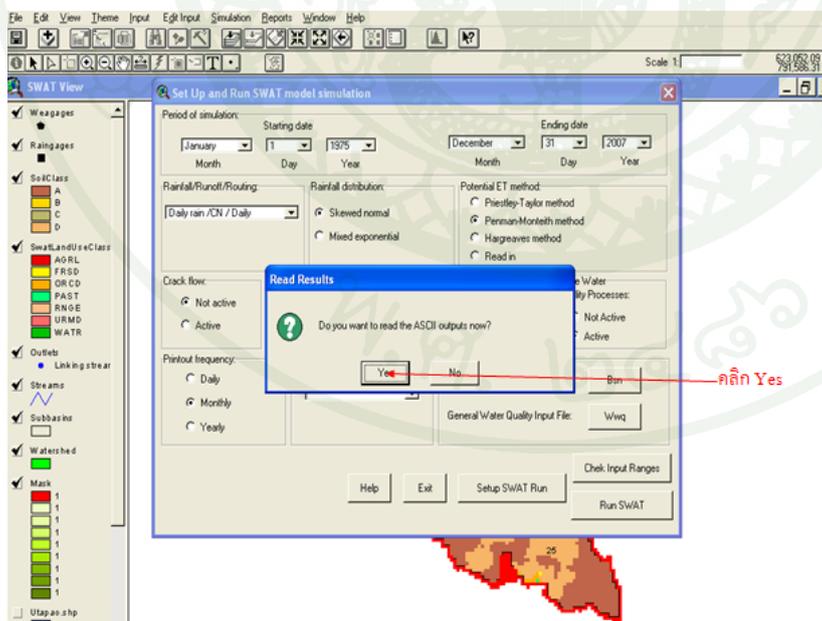
ภาพผนวกที่ จ85 แสดงการประมวลผลข้อมูล (2)



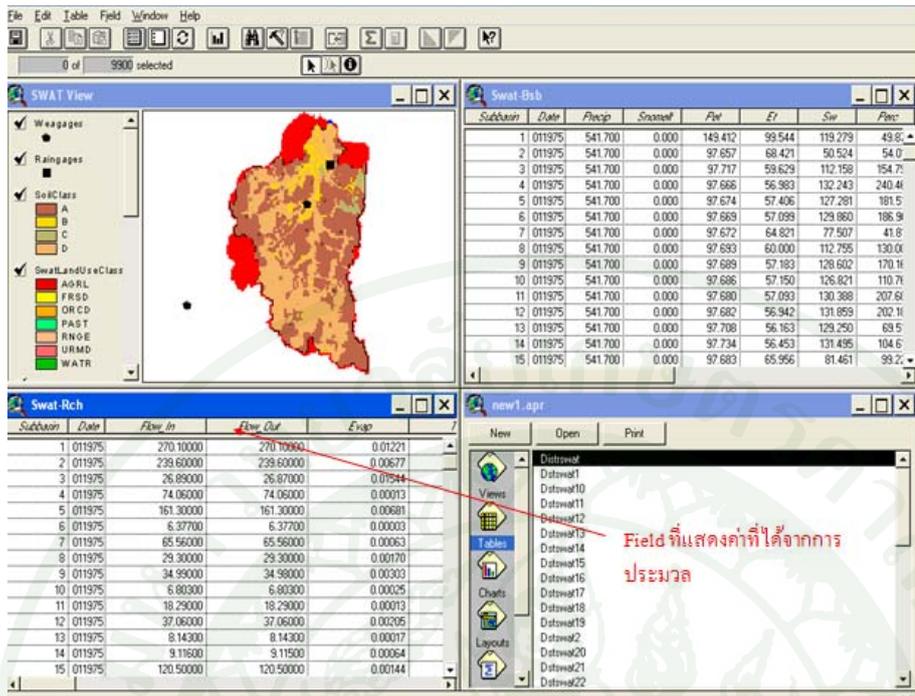
ภาพผนวกที่ จ86 แสดงการประมวลผลข้อมูล (3)



ภาพผนวกที่ จ87 แสดงการประมวลผลข้อมูล (4)

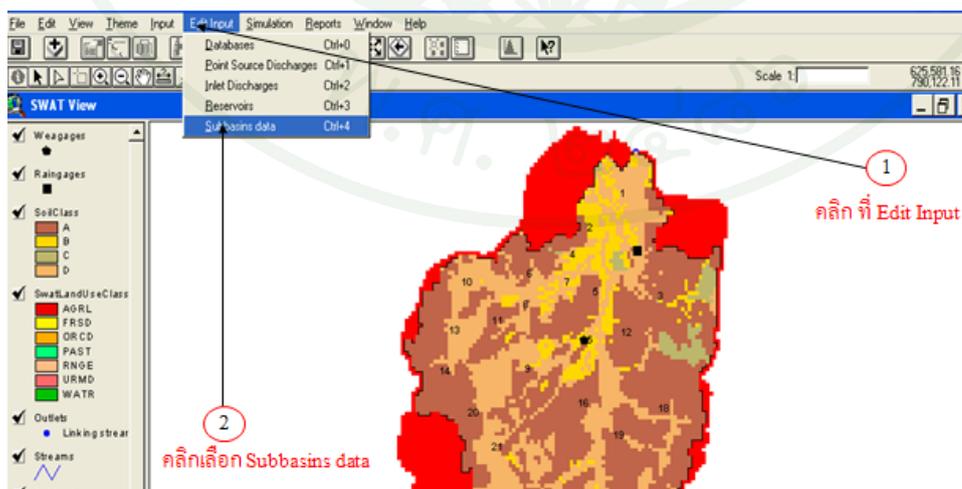


ภาพผนวกที่ จ88 แสดงการประมวลผลข้อมูล (5)



ภาพผนวกที่ จ89 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ใช้สมการที่ (59) (60) และ (61) ในการประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพันธ์ และ ประสิทธิภาพหลังจากการปรับแก้ตัวแปร หากผลลัพธ์ที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กันเพียงพอให้กลับไปปรับแก้ตัวแปร ในเมนู Edit Input > Subbasin data แล้วประเมินความสัมพันธ์ ความแตกต่างสัมพันธ์ และประสิทธิภาพซ้ำจนกว่าจะมีประสิทธิภาพเพียงพอ



ภาพผนวกที่ จ90 แสดงเมนูการนำเข้าหรือปรับแก้ค่าข้อมูลบนลุ่มน้ำย่อยบนลุ่มน้ำอยู่ตะเภา



ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเกษตร

ตารางผนวกที่ ฉ1 แสดงพื้นที่การเกษตรบนพื้นที่ชลประทานและนอกพื้นที่ชลประทานของพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกา

โครงการบนพื้นที่การเกษตร	พื้นที่ (ไร่)
โครงการพัฒนากลุ่มน้ำคลองจำไหลและคลองหอยโข่ง	10,800
อ่างเก็บน้ำคลองหลา	18,000
ฝายคลองวาด	4,000
โครงการชลประทานขนาดเล็ก	18,400
นอกพื้นที่ชลประทาน	1,063,701
รวม	1,114,901

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2551) และกรมชลประทาน (2551)

ตารางผนวกที่ ฉ2 แสดงพื้นที่การเกษตรตามชนิดของพืชบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกา

โครงการบนพื้นที่การเกษตร	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่การเกษตร (ไร่)				
		ข้าวใน ฤดูกาล	ข้าวนอก ฤดูกาล	พืช ไร่	ยางพารา	ไม่ผล/ ไม้เนื้อแข็ง
โครงการพัฒนากลุ่มน้ำคลองจำไหลและคลองหอยโข่ง	10,800	8,000	3,500	300	0	467
อ่างเก็บน้ำคลองหลา	18,000	1,800	2,200	100	0	400
ฝายคลองวาด	4,000	4,000	300	200	0	400
โครงการชลประทานขนาดเล็ก	18,400	18,000	0	0	0	400
นอกพื้นที่ชลประทาน	1,063,701	37,426	0	0	1,057,510	25,545
รวม	1,114,901	85,426	6,000	600	1,057,510	27,212

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2551) และกรมชลประทาน (2551)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาการใช้น้ำในการเกษตรบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุตะเกามีค่าเท่ากับ 142.47 ล้านลบ.ม. ต่อปี

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์

ตารางผนวกที่ ๓ แสดงจำนวนสัตว์บนพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตั้งแต่ปี พ.ศ.2545-2551

ปี พ.ศ.	ชนิดของสัตว์					
	วัว	กระบือ	เป็ด	ไก่	ห่าน	หมู
2545	175,351	6,559	481,812	2,875,549	765	250,873
2546	140,927	4,076	533,099	2,445,544	1,030	289,061
2547	141,709	5,798	449,760	2,709,537	529	261,919
2548	116,593	7,933	429,094	3,014,542	1,305	205,422
2549	117,778	4,452	522,305	2,818,108	1,328	242,472
2550	116,928	3,997	412,679	2,277,726	1,430	160,093
2551	119,355	3,792	491,214	2,206,136	1,574	152,491
เฉลี่ย	132,663	5,230	474,280	2,621,020	1,137	223,190

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2551)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาการใช้น้ำในการเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ลุ่มน้ำอุทกภาคมีค่าเท่ากับ 2.36 ล้านลบ.ม.ต่อปี

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการอุปโภค บริโภค

ตารางผนวกที่ ๔ แสดงการคาดการณ์จำนวนประชากรและอัตราการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค

อำเภอ	ประชากร	การคาดการณ์ประชากร	การคาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำ
	พ.ศ.2540	พ.ศ.2551	(ล้านลบ.ม./ปี)
อ สะเตา	80,622	115,311	8.30
อ หาดใหญ่	134,764	192,748	13.88
อ นาหม่อม	19,434	27,796	2.0
อ บางกล่ำ	24,654	35,262	2.54
อ คลองหอยโข่ง	21,862	31,268	2.25
รวม	281,336	402,385	28.97

ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาการใช้น้ำในการอุปโภค บริโภคบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุทตะเกษามีค่าเท่ากับ 28.97 ล้านลบ.ม. ต่อปี

ปริมาณน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ตารางผนวกที่ ๕ แสดงการใช้น้ำตามขนาดของอุตสาหกรรม

ชนิดของอุตสาหกรรม	อัตราการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน)	อัตราการใช้น้ำเฉลี่ย (ลบ.ม./วัน)
อุตสาหกรรมขนาดใหญ่	1,000-8,000	4,500
- ผลิตอาหารทะเล		
- แปรรูปน้ำยางพารา		
อุตสาหกรรมขนาดกลาง	50-450	250
- ผลิตยางแผ่นและยางรมควัน		
อุตสาหกรรมขนาดเล็ก	<2	1
- บริการทั่วไป		

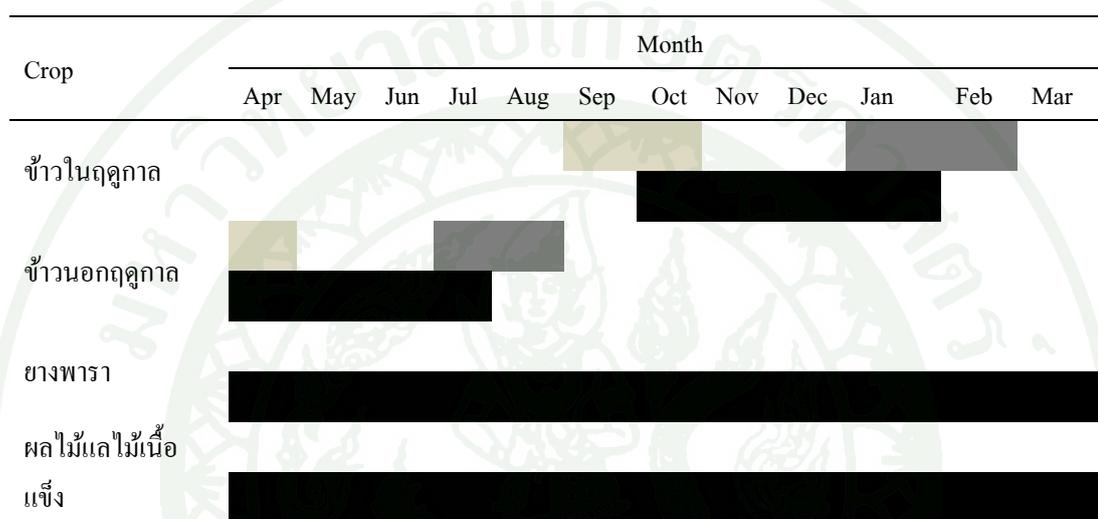
ที่มา: สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา (2550)

จากเก็บรวบรวมข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมของอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลาและประเมินการใช้น้ำของภาคอุตสาหกรรม ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาการใช้น้ำในอุตสาหกรรมบนพื้นที่ลุ่มน้ำอุทตะเกษามีค่าเท่ากับ 29.99 ล้านลบ.ม.ต่อปี



เนื่องจากในพื้นที่เกษตรกรรมมีการดูแลรักษาพืชหนึ่งโนนั้นคือการใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยในเกษตรกรรม สูตรและปริมาณของปุ๋ยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูกและลักษณะดินบนพื้นที่เพาะปลูกและฤดูกาลการเพาะปลูกเพื่อให้เหมาะสมตรงกับความต้องการธาตุอาหารของพืชนั้นๆ

ตารางผนวกที่ ข1 แสดงปฏิทินการปลูกพืชบนลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา



หมายเหตุ : ช่วงเจริญเติบโต : ช่วงเก็บเกี่ยว : ช่วงเตรียมพื้นที่

ที่มา: กรมชลประทาน (2545)

การใส่ปุ๋ยมะพร้าว

แม้ว่ามะพร้าวเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในสภาพดินแทบทุกชนิด แต่ปริมาณผลผลิตนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารในดิน และสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน สภาพความเป็นกรดเห็นต่างของดินที่เหมาะสมแก่การปลูกมะพร้าวควรอยู่ในช่วงระหว่าง pH 6-7 พบว่าในปีหนึ่งๆ มะพร้าวจะดูดธาตุอาหารไปใช้ คือ ไนโตรเจน 9.44-14.56 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 4.32-6.40 กิโลกรัมต่อไร่ โพแทสเซียม 13.60-20.96 กิโลกรัมต่อไร่

ฤดูที่เหมาะสมที่จะใส่ปุ๋ยให้มะพร้าว คือ ในช่วงต้นและปลายฤดูฝน ในช่วงนี้มีความชื้นเพียงพอที่จะช่วยละลายปุ๋ย และรากของมะพร้าวกำลังเจริญเติบโตเต็มที่ที่สามารถดูดปุ๋ยไปใช้ได้ดี กรมส่งเสริมการเกษตร (2550)

การใส่ปุ๋ยข้าว

ครั้งที่ 1 ให้ปุ๋ยสูตร 19-20-0 หรือ 18-22-0 หรือ 20-20-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะปักดำหรือก่อนปักดำ 1 วัน (รองพื้น) แล้วคราดกลบหรือหรือให้หลังปักดำ 15-20 วัน

ครั้งที่ 2 ให้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 21-0-0 อัตรา 20-30 กิโลกรัมต่อไร่ที่ระยะกำเนิดช่อดอก หรือ 30 วันก่อนข้าวออกดอก

ครั้งที่ 3 ให้ปุ๋ยสูตรและอัตราเช่นเดียวกับครั้งที่ 2 ที่ระยะ 10-15 วันหลังระยะกำเนิดช่อดอก

การใส่ปุ๋ยยางพารา

สูตรปุ๋ยยางพาราที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำให้ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 6 สูตร แต่ละสูตรจะเหมาะสมกับเนื้อดินดังแสดงไว้ในตารางที่ 9

ตารางผนวกที่ ๒ แสดงสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับเนื้อดิน

ปุ๋ยสูตรที่	สูตรปุ๋ย		ชนิดของดิน
	ปุ๋ยเม็ด	ปุ๋ยผสม	
1	18-10-6	8-14-3	ดินร่วน
2	18-4-5	13-9-4	ดินร่วน
3	16-8-14	8-13-7	ดินทราย
4	14-4-19	11-10-7	ดินทราย
5	-	15-0-18	ดินทุกชนิด
6	15-7-18	12-5-14	ดินทุกชนิด

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2550)

ตารางผนวกที่ ข3 แสดงปริมาณธาตุอาหารและส่วนผสมของแม่ปุ๋ยในปุ๋ยผสมสูตรต่างๆ อัตรา 100 กิโลกรัม

ปุ๋ยผสมสูตรที่	ปริมาณธาตุอาหาร (%)			น้ำหนักของแม่ปุ๋ยที่ใช้ผสม (กิโลกรัม)		
	ไนโตรเจน (N)	ฟอสเฟต (P ₂ O ₅)	โปแตสเซียม (K ₂ O)	แอมโมเนียมซัลเฟต (21%N)	ร็อกฟอสเฟต (25%P ₂ 5)	โปแตสเซียมคลอไรด์ (60%K ₂ 0)
1	8	14	3	38	57	5
2	13	9	4	60	34	6
3	8	13	7	36	53	11
4	11	10	7	50	38	12
5	15	-	18	71	-	29
6	12	5	14	57	20	23

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2550)

ตารางผนวกที่ ข4 แสดงระยะเวลาการใส่ปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยสำหรับยางที่เปิดกรีดแล้ว

เวลาที่ใส่ปุ๋ยสำหรับยางที่เปิดกรีดแล้ว	ชนิดของปุ๋ย	จำนวนปุ๋ยที่ใส่ (กรัมต่อดัน)	
		ปุ๋ยเม็ด	ปุ๋ยผสม
ครั้งที่ 1			
ใส่ต้นฤดูฝนประมาณ เดือนพฤษภาคม	ปุ๋ยผสมสูตร 5	-	500
		500	600
	ปุ๋ยเม็ดหรือปุ๋ยผสมสูตร 6	500	-
	ปุ๋ยเม็ดอื่นๆ	-	-
ครั้งที่ 2			
ใส่ปลายฤดูฝนประมาณ เดือนกันยายน ถึงเดือนตุลาคม	ปุ๋ยผสมสูตร 5	-	500
	ปุ๋ยเม็ดหรือปุ๋ยผสมสูตร 6	500	600
	ปุ๋ยเม็ดอื่นๆ	500	-

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2550)

การใส่ปุ๋ยปาล์มน้ำมัน

ตารางผนวกที่ ๖ แสดงปริมาณปุ๋ยที่ใส่ปาล์มน้ำมัน

หลังให้ผลผลิตแล้ว	อัตรา (กิโลกรัม/ต้น/ปี)	หมายเหตุ
1. แอมโมเนียซัลเฟต	2.0-2.5	ใส่ 2-3 ครั้ง/ปี
2. หินฟอสเฟต	1.0-1.5	ใส่ 1 ครั้ง/ปี
3. โปแตสเซียมคลอไรด์	2.0-2.5	ใส่ 2-3 ครั้ง/ปี
4. กาลีเซอรัไรต์	1.0-1.5	ใส่ 1 ครั้ง/ปี
5. โบแรก	0.05-0.10	ใส่ 1 ครั้ง /ปี

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2550)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายจตุพร ปัญญาวัฒน์โน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	16 พฤศจิกายน 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) คณะ สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักตรวจวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท วี. ซี. เทคโนโลยี จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-