ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

ปริญญา

วิศวกรรมชลประทาน	วิศวกรรมชลประทาน
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การปรับปรุงความถูกต้องของ DEM สำหรับแบบจำลอง SWAT ในการประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบแม่น้ำท่าจีน

DEM Improvement for SWAT Model in Runoff Estimation in Tha Chin Plain

นามผู้วิจัย นายอิศเรศ กะการดี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย, Dipl. Docteur)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงความถูกต้องของ DEM สำหรับแบบจำลอง SWAT ในการประเมินน้ำท่า ในพื้นที่ราบแม่น้ำท่าจีน

DEM Improvement for SWAT Model in Runoff Estimation in Tha Chin Plain

โดย

นายอิศเรศ กะการดี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)
พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อิศเรศ กะการดี 2556: การปรับปรุงความถูกต้องของ DEM สำหรับแบบจำลอง SWAT ในการประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบแม่น้ำท่าจีน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน) สาขาวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย, Dipl. Docteur. 184 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่มมีเป้าหมายเพื่อนำเสนอเทคนิคการปรับสภาพข้อมูล DEM เพื่อหาเส้นทางน้ำและพื้นที่ระบายน้ำแล้วประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ราบลุ่มโครงการชลประทาน การดำเนินการขั้นตอนแรกคือ การเตรียมข้อมูล DEM แยกออกเป็น 4 กรณี คือ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำขั้นตอนที่สองคือการนำผลของส่วนขั้นตอนแรกมาดำเนินการต่อโดยการนำเข้าข้อมูลอากาศและข้อมูลที่กำหนดลักษณะทางอุทกวิทยาแล้วจึงประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่ม กล่าวโดยสรุปได้คือ DEM กรณี d ให้ให้ผลลัพธ์เส้นทางน้ำและขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำความสอดคล้องตามความเป็นจริงมากที่สุด ส่งผลให้การประเมินน้ำท่ามีความน่าเชื่อถือสูง ส่วน DEM กรณี a, c ไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องตามความเป็นจริง ส่วนน้ำท่าพบว่าปริมาณน้ำท่าแปรผันตามขนาดพื้นที่ระบายน้ำเมื่อพิจารณาในเชิงปริมาตร โดยน้ำท่ากรณี c มีปริมาตรมากที่สุด ตามมาด้วยกรณี b, d และน้ำท่ากรณี a ปริมาตรน้อยที่สุด เนื่องจาก กรณี c มีพื้นที่ระบายน้ำมากที่สุด รองลงมาคือ กรณี b, d มีพื้นที่ระบายน้ำใกล้เคียงกัน และกรณี a มีพื้นที่ระบายน้ำน้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาน้ำท่าในเชิงความลึกน้ำผลที่ได้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่มโครงการชลประทาน ควรต้องปรับสภาพข้อมูล DEM ด้วยข้อมูลคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำก่อนนำไปวิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางน้ำและขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องตามความเป็นจริง

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Isared Kakarndee 2013: DEM Improvement for SWAT Model in Runoff Estimation in Tha Chin Plain. Master of Engineering (Irrigation Engineering), Major Field**:** Irrigation Engineering, Department of Irrigation Engineering. Thesis Advisor: Assitant Professor Ekasit Kositsakulchai, Dipl. Docteur. 184 pages.

This research is the improvement of accuracy of the SWAT model for evaluating runoff in plain area. It aims to propose a modification technique of DEM data for identifying stream and drainage area. Then, runoff was estimated by SWAT model in plain area of irrigation projects. The first step was the preparation of DEM into 4 cases: case A use only DEM, case B modify elevation of drainage canal, case C modify elevation of irrigation canal, and case D modify elevation of irrigation and drainage canals.The second step uses the modified DEM with weather data and hydrologic characteristics for estimating runoff by SWAT model. Results from of the SWAT model in evaluating runoff in plain area were as following. DEM from case D provided more consistent steam lines and drainage area boundaries, also more reliable runoff estimation. Results from modified DEM in case A and C did not correspond to the data. While runoff varied according to the size of drainage area. When considering runoff in terms of volume, it was found that runoff from case C was highest, followed by case B and case D, and runoff from case A was lowest. Therefore, in order to improve the accuracy of the SWAT model for estimation runoff in plain area, it should recondition DEM data by irrigation canal and drainage canal before determining the extent of stream and drainage areas.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าและวิจัยตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์ ประธานการสอบ และ ผศ.ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน พนมทวน และสองพี่น้อง กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนด้วยดีตลอดมา รวมถึงบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แด่ขอมอบแด่คุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่องและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดมา

อิศเรศ กะการดี

เมษายน 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	11
พื้นที่ศึกษา	11
เครื่องมือและทฤษฎี	16
ข้อมูลที่ใช้	20
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	83
ภาคผนวก	88
ภาคผนวก ก การเผยแพร่ผลงานวิชาการ	89
ภาคผนวก ข ผลจากแบบจำลอง SWAT แยกตาม HRU	107
ภาคผนวก ค การสำรวจภาพสนามและการจัดเตรียมไฟล์ GIS	156
ภาคผนวก ง การเตรียมข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง SWAT	168
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	184

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา	22
2	ตารางพื้นที่ชุดดินสถานีตรวจวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา	22
3	พื้นที่ของการใช้ดิน	23
4	แผนที่ชุดดิน	23
5	คุณสมบัติทางกายภาพดิน	25
6	พื้นที่ระบายน้ำของการกำหนด DEM 4 กรณี	52
7	ปริมานน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนมิติความลึกน้ำ (mm)	58
8	ปริมานน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนเชิงปริมาตร (MCM)	59

ตารางผนวกที่

ง1	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางการใช้ที่ดิน	169
ง2	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางชนิดของดิน	170
ง3	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางเชิงตำแหน่ง (Localtion file)	171
ง4	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางฝน	171
ง5	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด	172
ง6	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางพลังงานแสงอาทิตย์	172
ง7	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางความเร็วลม	173
ง8	ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางความชื้นสัมพัทธ์	173

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความเชื่อมโยงระหว่าง GIS กับแบบจำลองอุทกวิทยา	3
2	หน้าเวปไซต์ของ ESRI สำหรับดาวน์โหลด ArcHydro	5
3	หน้าเวปไซต์ HEC-GeoHMS	5
4	การพัฒนาและตัวอย่างการปรับใช้แบบจำลอง SWAT	6
5	วงจรอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle)	7
6	กรอบพื้นที่ศึกษาที่ราบลุ่มโครงการชลประทาน	13
7	คลองส่งน้ำชลประทานในพื้นที่ราบลุ่ม	14
8	คลองระบายน้ำชลประทานในพื้นที่ราบลุ่ม	14
9	ค่าเฉลี่ยรายเดือนข้อมูลภูมิอากาศพื้นที่ราบโครงการชลประทาน	15
10	หน้าเวปไซต์ Soil and Water Assessment Tool (SWAT)	16
11	การกำหนดทิศทางการไหลจาก DEM	18
12	เทคนิคการ Stream burning ด้วยคลองระบายน้ำ (Drainage Canal)	19
13	หน้าเวปไซต์ที่ดาวน์โหลด DEM	20
14	ตำแหน่งสถานีตรวตจวัดน้ำฝนและสถานีตรวจอากาศ	30
15	แผนที่การใช้ที่ดิน	31
16	แผนที่ชุดดิน	32
17	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	33
18	ขั้นตอนการเตรียม DEM กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว	35
19	ขั้นตอนการเตรียม DEM กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ	35
20	ขั้นตอนการเตรียม DEM กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ	36
21	ขั้นตอนการเตรียม DEM กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ	36
22	ขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ	37
23	ขั้นตอนการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ	39
24	การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา	41
25	ขั้นตอนนำเข้าข้อมูลตาราง	42

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	การแก้ไขฐานข้อมูลดิน SWAT	42
27	การ Run SWAT	43
28	กรอบการขยายพื้นที่เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ	44
29	ระดับความสูง (ม.รทก)	45
30	ความชัน (slope)	46
31	ทิศทางการไหล กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว	48
32	ทิศทางการไหล กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ	49
33	ทิศทางการไหล กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ	50
34	ทิศทางการไหล กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ	51
35	ทิศทางการไหล (flow direction) เปรียบเทียบกัน 4 กรณี (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	52
36	การไหลสะสม กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว	54
37	การไหลสะสม กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ	55
38	การไหลสะสม กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ	56
39	การไหลสะสม กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ	57
40	การไหลสะสม (flow accumulation) เปรียบเทียบกัน 4 กรณี (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	58
41	เส้นทางน้ำ กรณี a ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว	60
42	เส้นทางน้ำ กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ	61
43	เส้นทางน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ	62
44	เส้นทางน้ำ กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ	63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
45	เส้นทางน้ำเปรียบเทียบกัน 4 กรณี (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	64
46	ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ กรณี a ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว	66
47	ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ	67
48	ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ	68
49	ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ	69
50	ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำเปรียบเทียบกัน 4 กรณี (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	70
~~51~~	น้ำท่ากรณี a เทียบกับกรณี d-	73
52	น้ำท่ากรณี b เทียบกับกรณี d	73
53	น้ำท่ากรณี c เทียบกับกรณี d	74
54	อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1952 ถึงปี ค.ศ. 1960 (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	75
55	อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1961 ถึงปี ค.ศ. 1970 (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	76

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
56	อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1971 ถึงปี ค.ศ. 1980 (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	77
57	อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1981 ถึงปี ค.ศ. 1990 (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	78
58	อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1991 ถึงปี ค.ศ. 2000 (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	79
59	อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 2001 ถึงปี ค.ศ. 2011 (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	80

ภาพผนวกที่

ค1	เขื่อนแม่กลอง	157
ค2	การระบายน้ำลงคลอง 1L	158
ค3	คลองส่งน้ำลอดผ่านทางน้ำธรรมชาติ	158
ค4	คลองระบายน้ำสำหรับปรับสภาพ DEM กรณี b (ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ)	160
ค5	คลองส่งน้ำสำหรับปรับสภาพ DEM กรณี c (ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ)	161

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค6	คลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำสำหรับปรับสภาพ DEM กรณี d (ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)	162
ค7	DEM กรณี a (DEM เพียงอย่างเดียว)	164
ค8	DEM กรณี b (ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ)	165
ค9	DEM กรณี c (ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ)	166
ค10	DEM กรณี d (ปรับปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และคลองระบายน้ำ)	167
ง1	การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำของโปรแกรม ArcSWAT	174
ง2	Land use Definition	175
ง3	Soil Definition	176
ง4	Slope Definition	177
ง5	HRU Definition	178
ง6	Weather Data Definition	179
ง7	Rainfall Data Definition	179
ง8	Tempereture Data Definition	180
ง9	Relative Humidity Gages Definition	180
ง10	Solar Gages Definition	181
ง11	Wind Gages Definition	181
ง12	User Soil Edit	182
ง13	Land Cover Edit	182
ง14	Edit General Watershed Parameter	183
ง15	Setup and Run SWAT Model Simulation	183

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การปรับปรุงความถูกต้องของ DEM สำหรับแบบจำลอง SWAT ในการประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบแม่น้ำท่าจีน

DEM Improvement for SWAT Model in Runoff Estimation in Tha Chin Plain

คำนำ

การศึกษาความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าเป็นเป็นเรื่องที่สำคัญและเป็นงานลำดับแรกของงานด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำที่ต้องวิเคราะห์เพื่อจะนำไปใช้ในการวางแผนงานด้านแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นงานศึกษาความเหมาะสมของการพัฒนาแหล่งน้ำ งานศึกษาสมดุลในลุ่มน้ำ ล้วนแล้วแต่มีความจำเป็นที่ต้องหาปริมาณน้ำท่าที่จะต้องหาปริมาณน้ำท่าที่ใกล้เคียงความจริงให้ได้มากที่สุด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพเมื่อนำไปใช้จริง

การประเมินปริมาณน้ำท่าสามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งวิธีซึ่งนิยมกันอย่างแพร่หลายคือการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่สามารถทำงานร่วมกับระบบ GIS เพื่อจำลองพฤติกรรมของระบบของลุ่มน้ำทางกายภาพ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ ซึ่งมีหลายชนิดตามวิธีการคำนวณ แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าได้รับความนิยมสูง คือแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าชนิด Lump-parameter model ซึ่งจะพิจารณาพารามิเตอร์ในลุ่มน้ำแบบเหมารวม โดยเหมาะกับสภาพลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีความซับซ้อนทางกายภาพไม่มากนัก การศึกษาความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า ที่ผ่านมานั้นนิยมประเมินในสภาพพื้นที่ลาดเชิงเขา ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศสูงต่ำต่างกันชัดเจนและมีทางน้ำหลักไหลผ่านโดยใช้วิธีมาตราฐาน D8 (Boxall, 2008) มักจะให้ผลเป็นที่น่าพอใจในการหาขอบเขตลุ่มน้ำและทิศทางการไหล แต่ในพื้นที่ราบ เนื่องจาก ซึ่งสภาพพื้นที่มีระดับความสูงใกล้เคียงกัน

ปัจจุบันการใช้ในแบบจำลองทางอุทกวิทยา ที่สามารถวิเคราะห์ลุ่มน้ำด้วยลักษณะพารามิเตอร์แบบกระจาย (distributed-parameter model) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สนใจ เพราะสามารถประเมินลุ่มน้ำย่อยต่อเนื่องเป็นโครงข่ายลุ่มน้ำขนาดใหญ่ได้ ซึ่งแบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) เป็นแบบจำลองชนิดกึ่งกระจายพื้นที่ สามารถปริมาณสภาพลุ่มน้ำที่มีความซับซ้อนทางอุทกวิทยาได้ ด้วยเหตุนี้จึงนำแบบจำลอง SWAT มาใช้ในการจำลองความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าในพื้นที่ราบแม่น้ำท่าจีนด้วยแบบจำลอง SWAT โดยมีเป้าหมายเพื่อตอบโจทย์ว่า “จะทำการปรับปรุงผลลัพธ์ของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่ใช้ข้อมูลสภาพการระบายน้ำที่วิเคราะห์จาก DEM ในพื้นที่ราบให้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้นได้อย่างไร” โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. นำเสนอเทคนิคการปรับแก้ข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM) สำหรับวิเคราะห์สภาพการระบายน้ำในพื้นที่ราบ

2. ประยุกต์แบบจำลอง SWAT จำลองความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า โดยใช้ข้อมูลสภาพการระบายน้ำที่วิเคราะห์จากข้อมูล DEM

3. วิเคราะห์เปรียบเทียบการจำลองความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

ขอบเขตการศึกษา

การพิจารณาพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำท่าจีนแยกออกเป็น 2 เขต ตามระดับความสูงของพื้นที่ คือ พื้นที่ลาดเชิงเขา และ พื้นที่ราบลุ่ม

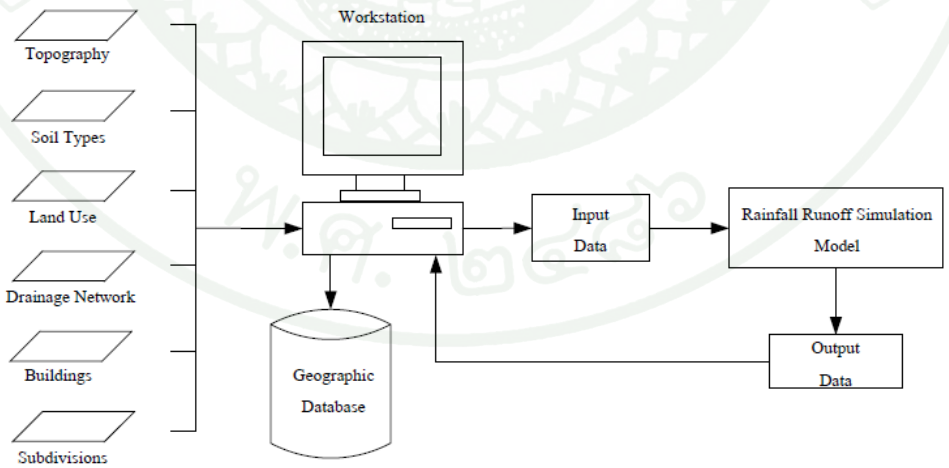
พื้นที่ลาดเชิงเขา เป็นพื้นที่ธรรมชาตินอกเขตชลประทานทางทิศตะวันตกของลุ่มน้ำท่าจีน พื้

การตรวจเอกสาร

ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์กับการจำลองทางอุทกวิทยา

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) คือ กระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ (spatial data) ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยการกำหนดข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) และสารสนเทศ และมีความสามารถในรวบรวม จัดเก็บ จำแนก วิเคราะห์ และการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การใช้งานด้านภูมิศาสตร์ โดยเฉพาะข้อมูลชิงพื้นที่ ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหลาย จะสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วย GIS ให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับช่วงเวลาได้ (Heywood et al., 1998; Worboys and Duckham, 2004)

Goodchild *et al*. (1996) กล่าวว่า GIS เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลและการแสดงให้เห็นภาพ ซึ่งสอดคล้องกับ Vieux (2001) ได้กล่าวว่าข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ในแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาได้จัดเก็บในรูปแบบของ GIS ตัวอย่างเช่น แผนที่ระดับ แผนที่ชุดดิน การใช้ที่ดิน ข้อมูลฝนและข้อมูลอากาศ โดยในภาพที่ 1 แสดงความเชื่อมโยงระหว่าง GIS กับแบบจำลองอุทกวิทยา



ภาพที่ 1 ความเชื่อมโยงระหว่าง GIS กับแบบจำลองอุทกวิทยา

ที่มา: Quiroga *et. al*. (1996)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) ร่วมกับ GIS

การศึกษาทางอุทกวิทยานั้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Geographic Information System (GIS) ถูกใช้เป็นที่แพร่หลายในการศึกษาด้านแหล่งน้ำ เนื่องจากสามารถทำงานร่วมกับข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) เพื่อกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำจากการกำหนดจุดออกลุ่มน้ำของพื้นที่ที่สนใจได้ ซึ่งเป็นขั้นตอนเบื้องต้นในการวิเคราะห์ลุ่มน้ำ (Djokic and Miller, 1997) ในปัจจุบันGIS มีบทบาททางด้านที่เป็นเครื่องช่วยแสดงผลเชิงพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน Software ที่มีความสามารถทางด้านข้อมูล Raster เช่น ArcGIS, IDRISI, GRASS, ERDAS เป็นต้น

ข้อมูลภูมิประเทศแบบดิจิตอล (Digital Terrain Model: DTM) เป็นแหล่งข้อมูลที่นำมาใช้ร่วมกับแบบจำลองเชิงพื้นที่ (Beven and Moore, 1992; ASCE, 1999) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของแบบจำลอง อาทิข้อมูลคุณลักษณะของลุ่มน้ำ การแบ่งลุ่มน้ำย่อย โดยซอฟแวร์ที่ใช้โดยส่วนมากจะเป็นโปรแกรมประยุกต์ทาง GIS คือการใช้ส่วนติดต่อผู้ใช้ graphical user interface (GUI) ในการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิประเทศแบบดิจิตอล อาทิ HEC-GeoHMS (USACE, 2000) Arc Hydro (ESRI, 2011) และ ArcSWAT (Arnold, 2009) เป็นต้น อธิบายโดยสรุปดังนี้

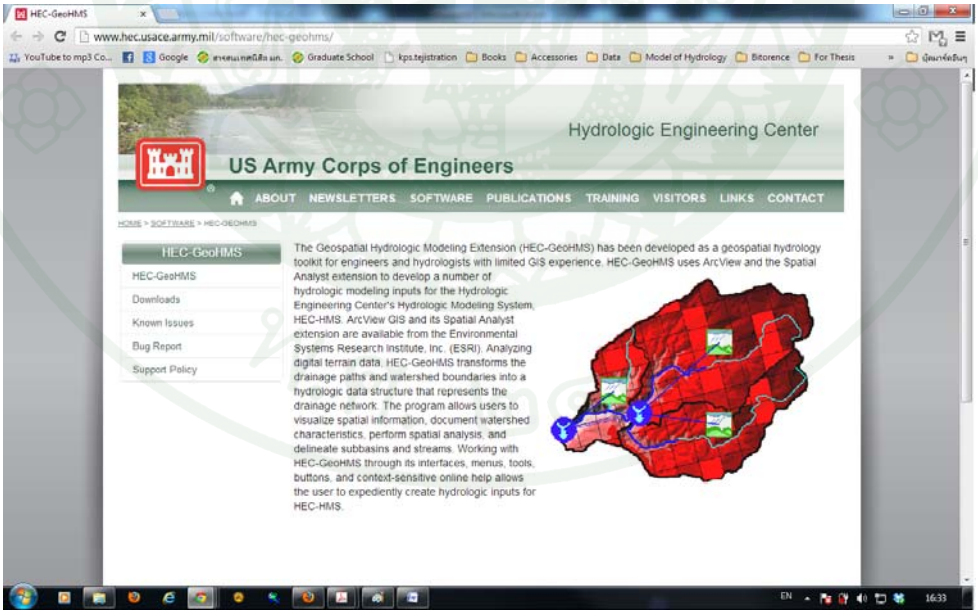
ArcHydro เป็นเครื่องมือเสริม (extension) ของโปรแกรม Arc GIS สร้างขึ้นโดย Environmental Systems Research Institute (ESRI) เพื่อใช้วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ (watershed analysis) โดยการใช้ข้อมูล DEM มีคู่มือเป็นเอกสารประกอบการใช้งานมีลักษณะเป็นลักษณะสาธารณสิทธิ์ดาวน์โหลดได้ฟรีที่เวปไซต์ http://blogs.esri.com/esri/arcgis/ ดังภาพที่ 2

HEC-GeoHMS (Hydrologic Engineering Center Geospatial Hydrologic Modeling Extension) เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยหน่วยงาน US Army Corps of Engineer Hydrologic Engineering Center ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถทำงานร่วมกับระบบ GIS ได้ดี ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์สภาพพื้นที่ทางกายภาพของลุ่มน้ำและเตรียมข้อมูลพื้นฐานในการประเมินปริมาณน้ำของลุ่มน้ำ มีลักษณะสาธารณสิทธิ์มีคู่มือเป็นเอกสารใช้งานง่าย โดยสามารถดาวน์โหลดที่เวปไซต์ www.hec.usace.army.mil ดังภาพที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 2 หน้าเวปไซต์ของ ESRI สำหรับดาวน์โหลด ArcHydro

ที่มา: http://blogs.esri.com/esri/arcgis/



ภาพที่ 3 หน้าเวปไซต์ HEC-GeoHMS

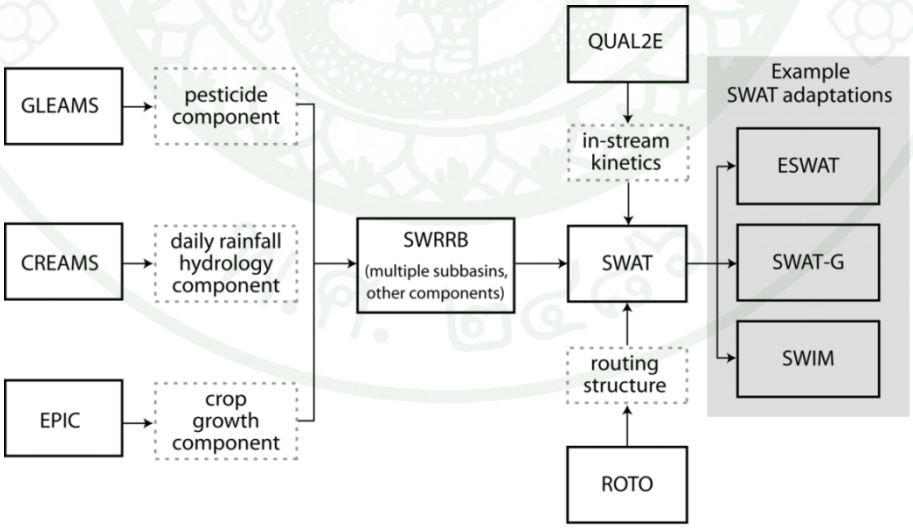
ที่มา: www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ArcSWAT เป็นโปรแกรมเสริม (Extension) ของโปรแกรม ArcGIS เพื่อใช้เป็นระบบติดต่อกับผู้ใช้งานสำหรับโปรแกรม Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ผ่านระบบภูมิสารสนเทศ โปรแกรม SWAT ได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยความร่วมมือกันระหว่าง USDA Agricultural Research Service และ Blackland Research & Extension Center ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเป็นแบบจำลองอุทกวิทยาระดับลุ่มน้ำที่ใช้ในการทำนายผลกระทบของการบริหารจัดการการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำ และคุณภาพน้ำ ใช้ในการศึกษาเพื่อวางแผนการบริหารจัดการระยะยาวโปรแกรม ArcSWAT มีลักษณะเป็น Public Domain Model สามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่ต้องจัดซื้อ หรือเสียค่าลิขสิทธิ์แต่อย่างใด สามารถดาวน์โหลดโปรแกรม และคู่มือการใช้โปรแกรมนอกจากนี้ในเวบไซต์ http://swat.tamu.edu/ ซึ่งมีเวปบอร์ดสำหรับใช้เป็นที่ปรึกษาและนำเสนอการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม ArcSWAT จากทุกมุมโลก

Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

แบบจำลอง SWAT รุ่นแรกสร้างขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1990 เพื่อวิเคราะห์สภาพทางกายภาพลุ่มน้ำที่มีความซับซ้อนทางด้านอุทกวิทยาสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม GIS (Arnold *et al*., 1998) มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมาเป็นเวอร์ชันล่าสุด SWAT2009 ซึ่งความเป็นมาแบบจำลอง SWAT ได้ถูกรวมรวมและอธิบายโดย (Gassman *et al*., 2007) ดังภาพที่ 4

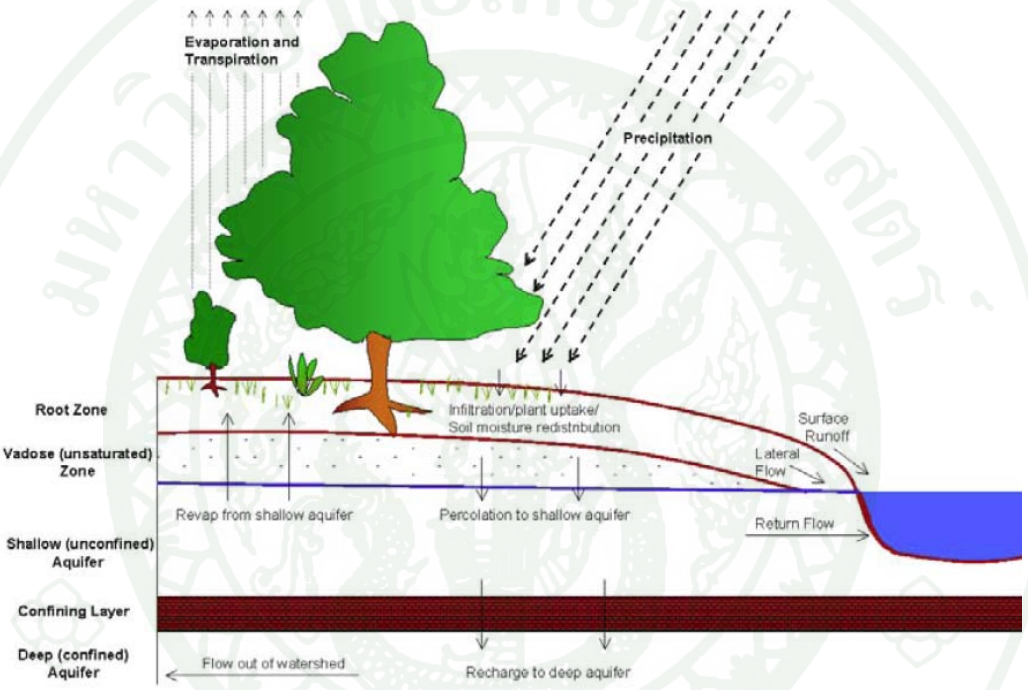


ภาพที่ 4 การพัฒนาและตัวอย่างการปรับใช้แบบจำลอง SWAT

ที่มา: Gassman *et al*., (2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลอง SWAT มีหลักการคำนวณประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือส่วนอุทกวิทยาบนผิวดินและส่วนการเคลื่อนตัวของน้ำ สำหรับในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านอุทกวิทยาเท่านั้น การศึกษาวงจรอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle) ดังภาพที่ 5 ของแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยามีพื้นฐานอยู่บนสมการสมดุลของน้ำ (Arnold *et al*. 1995)



ภาพที่ 5 วงจรอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle)

ที่มา: Neitsch *et al*., (2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อหาความสัมพันธ์น้ำฝนและน้ำท่า โดยพิจารณาบนพื้นฐานของความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ เช่นลักษณะภูมิประเทศ สภาพอุตุนิยมวิทยา และลักษณะการใช้ที่ดินเป็นต้น ซึ่งได้มีการพัฒนาแบบจำลอง น้ำฝน-น้ำท่าต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่นแบบจำลอง ARNO (Todini, 1996), NAM (DHI, 1990), RRL (Podger, 2004), TOPMODEL (Beven, 1995), และ Genie Rural Model (Edijatno and Michel, 1989; Makhlouf and Michel, 1994; Edijatno *et al*., 1999) เป็นต้น

Singh (1989) การพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่ามีขึ้นมากมายการศึกษาและจัดสร้างแบบจำลองซึ่งจำแนกตามช่วงเวลาของสถานการณ์ที่พิจารณาได้เป็น 2 แบบคือ

1. แบบจำลองประเภท Event-Based Streamflow Simulation Model (EBSS) ได้กล่าวถึงแบบจำลองประเภท EBSS ว่าเป็นแบบจำลองซึ่งพยายามจำลองสภาพกราฟน้ำท่าโดยตรง หรือจำลองพฤติกรรมช่วงการไหลสูงสุดใช้สำหรับจำลองน้ำฝนและน้ำท่าของพายุฝนหรือน้ำหลาก เพื่อใช้ประโยชน์ในการออกแบบ โครงสร้างระบายน้ำต่างๆ ซึ่งไม่นิยมนำมาใช้ในการสังเคราะห์น้ำฝนและน้ำท่า

2. แบบจำลองประเภท Continuous Streamflow Simulation Model (CSS) Singh (1989) ได้กล่าวถึงแบบจำลองประเภท CSS ว่าใช้สำหรับการขยายข้อมูลน้ำท่าทำนายข้อมูลน้ำท่าในอนาคตใช้วางแผนการจัดการบริหารลุ่มน้ำ ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ลุ่มน้ำหรือการใช้ที่ดิน แบบจำลองประเภทนี้ใช้จำลองสภาพลุ่มน้ำในช่วงเวลาที่ยาวกว่าประเภท EBSS เนื่องจากการจำลองสภาพในช่วงเวลาที่ยาวขึ้น ดังนั้นจึงจะต้องคำนึงถึงผลกระทบเกี่ยวกับ การคายระเหย การดักการซึม การไหลใต้ผิวดิน ซึ่งในแบบจำลอง EBSS ไม่ให้ความสำคัญกับค่าต่างๆนี้ หลักการของ CSS คือการจำลองสภาพในส่วนของพื้นดิน ซึ่งหมายถึงน้ำบนผิวดินและใต้ผิวดินด้วย ดังนั้นแบบจำลอง CSS จึงเป็นแบบจำลองของระบบอุทกวิทยา แต่แบบจำลอง EBSS เป็นแบบจำลองของระบบน้ำท่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำ

Maidment (1998) การนำเอา GIS มาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองทางอุทกวิทยานั้นได้ถูกนำ มาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ข้อมูลที่อยู่ในรูปของข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Data) โดยสามารถนำ มาใช้ได้ผ่านทางอินเตอร์เน็ต และ CD-ROM ซึ่งฐานข้อมูลนี้ของประเทศสหรัฐอเมริกาจะจัดให้มีขนาดของ Cell เป็น 30 เมตร ซึ่งมีค่าเหมาะสมกับการใช้ลากเส้นพื้นที่ลุ่มน้ำ และโครงข่ายแม่น้ำในพื้นที่เขตเมือง (Urban Areas) หรือ ในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก

Jones (2002) เสนอวิธีการใช้ข้อมูล DEM เพื่อสร้างเส้นทางน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำกำหนดจุดออกตะกอนลำน้ำ โดยใช้ D8 algorithm

ปิ่นเพชร และเมธี (2548) ทำการสร้างโครงข่ายลำน้ำจุดรวมน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำย่อยในระบบภูมิสารสนเทศด้วยข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (DME) โดยได้ใช้ระบบ Pfafstetter ในการจัดทำขอบเขตลุ่มน้ำและกำหนดรหัสของลุ่มน้ำอย่างเป็นลำดับชั้นจากลุ่มน้ำหลักถึงลุ่มน้ำย่อย ทำให้การจัดเก็บข้อมูลเครือข่ายลำน้ำและการกำหนดรหัสลุ่มน้ำย่อยมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สะดวกต่อการเรียกใช้ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศตามชื่อของลำน้ำและเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานจัดการทรัพยากรแบบมีส่วนร่วม

Choi (2012) ได้เสนอ Algorithm ใหม่ ของ Weighted Adaptive Stormwater Infrastructure (WASI) ค่าถ่วงน้ำหนักที่ปรับใช้กับโครงสร้างพื้นฐาน Stromwater เพื่อใช้ประมวลผลการไหลสะสมน้ำท่าผิวดิน โดยพิจารณาโครงสร้างพื้นฐาน Stormwater มนุษย์ที่เกิดจากมนุษย์ที่ปรับเปลี่ยนเส้นทางการไหลของการระบายน้ำตามธรรมชาติของภูมิประเทศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ในประเทศไทย

โอฬาร (2548) ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่ารายเดือนของลุ่มน้ำน่านตอนบน โดยกำหนดกรณีการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันอีก 3 กรณี คือกรณีพื้นที่ป่าเพิ่มขึ้น กรณีพื้นที่การเกษตรเพิ่มขึ้นและกรณีพื้นที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้น

เทวินทร์ และชาญชัย (2552) ใช้แบบจำลอง SWAT มาประยุกต์ใช้เพื่อประเมิณอิทธิพลของการเกษตรต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ทา อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน โดยประมวลผลเป็นช่วงเวลาต่อเนื่องทั้งรายวันรายเดือนและรายปี

สราวุฒิ และคณะ (2552) ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อหากระบวนการเกิดปริมาณน้ำท่าลุ่มน้ำปิงตอนบน จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2533, 2544 และ 2549 ร่วมกับข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยาช่วงก่อนปี พ.ศ. 2533 ภายใต้การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2549

การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ชลประทาน

Xie *et al* (2010) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อพัฒนาและจัดการน้ำชลประทานจากการสูญเสียน้ำในระบบคลองชลประทานภายในลุ่มน้ำ Arroyo เมืองโคโลราโด ทางใต้ของรัฐเทกซัส ประเทศสหรัฐอเมิรกา แต่การใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อจำลองวัฏจักรทางอุทกวิทยาในเขตโครงการชลประทาน อาจให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจจากการจำลองความสัมพันธ์ภายใต้ความซับซ้อนของพื้นที่ที่เป็นนาข้าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

ในส่วนของอุปกรณ์และวิธีการของการปรับปรุงความถูกต้องของ DEM สำหรับแบบจำลอง SWAT ในการประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบแม่น้ำท่าจีนได้แบ่งเป็น 4 หัวข้อ คือ 1) พื้นที่ศึกษา 2) เครื่องมือและทฤษฎี 3) ข้อมูลที่ใช้ 4) วิธีการ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1.พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้เลือกพื้นที่ราบแม่น้ำท่าจีนในเขตโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 13°45’ ถึง 14°45’ เหนือและเส้นแวงที่ 99°00’ ถึง 100°15’ ตะวันออก อยู่ในเขตจังหวัดกาญจนบุรี นครปฐม และสุพรรณบุรี ดังภาพที่ 6 โดยมีขอบเขตการพิจารณาดังนี้คือ

ทิศเหนือ	จรดกับลุ่มน้ำกระเสียว
ทิศใต้	จรดกับคลองท่าสาร-บางปลา
ทิศตะวันออก	จรดกับแม่น้ำท่าจีน
ทิศตะวันตก	จรดเส้นสันปันน้ำลุ่มน้ำท่าจีน-แม่กลอง

สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศในเขตพื้นพี่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (บ.ทีม และคณะ, 2541) ได้แก่ ส่วนบน เป็นพื้นที่ทางทิศเหนือของจังหวัดสุพรรณบุรี ไปถึงเขต จังหวัดชัยนาทและจังหวัดอุทัยธานี และส่วนล่าง เป็นพื้นที่ทางทิศใต้จังหวัดสุพรรณบุรีลงไปจรดแม่น้ำแม่กลองที่จังหวัดสมุทรสาคร

พื้นที่ส่วนบนทางซีกตะวันตกในเขตอำเภอบ้านไร่ จังหวดัอุทัยธานี อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี และ อ.เลาขวัญ จังหวัดกาญจนบุรี สภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ลาดเชิงเขาและป่าไม้ มีทิศทางลาดเทจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออก ซึ่งเป็นพื้นที่ธรรมชาติอยู่ทางทิศตะวันตกของลุ่มน้ำท่าจีน พื้นที่ยังไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำมากนัก มีพื้นที่ระบายน้ำประมาณ 1.69 ล้านไร่ น้ำท่าจากพื้นที่นี้ไหลลงคลองระบายน้ำสามชุก 2 และคลองจรเข้สามพัน ระบายลงสู่ทุ่งสองพี่น้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่ส่วนล่างทางซีกตะวันตกในเขตอำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี และอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม สภาพภูมิประเทศส่วนส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่ม มีโครงการชลประทาน ครอบคลุมโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา 3 โครงการคือ พนมทวน สองพี่น้อง และบางเลน มีหัวงานที่เขื่อนแม่กลองซึ่งทดน้ำจากแม่น้ำแม่กลองแล้วส่งไปตามคลองส่งน้ำ 1 ซ้าย (1L) และ 2 ซ้าย (2L) เข้าพื้นที่ชลประทาน ดังภาพที่ 7 สภาพภูมิประเทศลาดเทจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออก หรือลาดเทจากแม่น้ำแม่กลองสู่แม่น้ำท่าจีน

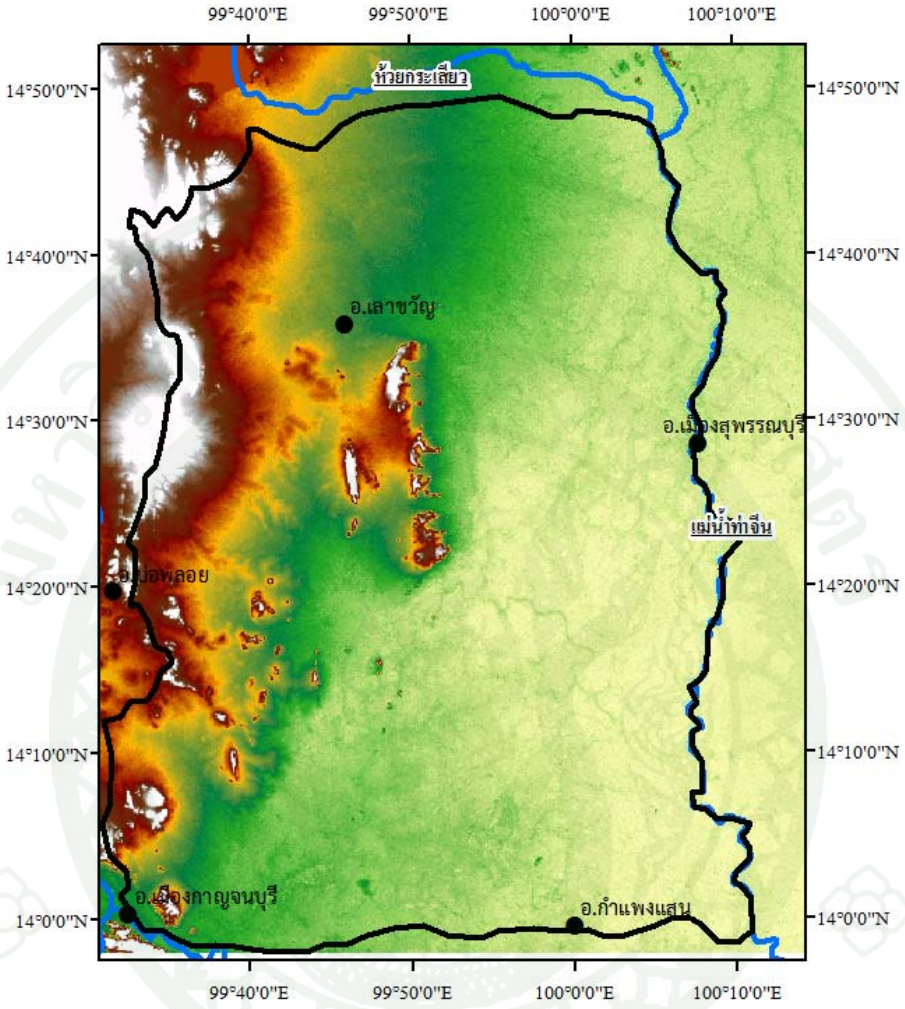
คลองจรเข้สามพันเป็นคลองระบายน้ำ มีจุดเริ่มต้นจากเขื่อนแม่กลอง อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี และสิ้นสุดที่อำเภอสองพี่น้องจังหวัดสุพรรณบุรี มีความยาวประมาณ 71.35 กิโลเมตร ความจุ 90 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยมีตำแหน่งตรวจวัดน้ำท่าเป็นฝายยางที่อำเภออู่ทอง ก่อนไหลรวมกับแม่น้ำสองพี่น้องเพื่อระบายน้ำลงสู่แม่น้ำท่าจีน ดังภาพที่ 8

สภาพภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศโดยทั่วไปจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ทำให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูฝน มีช่วงเวลาประมาณ 6 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคมโดยรับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนตัวผ่านประเทศไทย มีผลทำให้ฝนตกชุกโดยเฉพาะช่วงเดือนกันยายน ฤดูหนาว เริ่มประมาณกลางเดือนพฤศจิกายนและไปสิ้นสุดกลางเดือนกุมภาพันธ์ โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งพัดมวลอากาศแห้งและเย็นจากประเทศจีนมาปกคลุมประเทศไทย เป็นช่วงที่ฝนตกน้อย ท้องฟ้าโปร่ง อุณหภูมิต่ำสุดในรอบปี ฤดูร้อนเริ่มประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงประมาณกลางเดือนพฤษภาคม ในระยะนี้มีฝนตกน้อย อุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วงกลางเดือนเมษายน

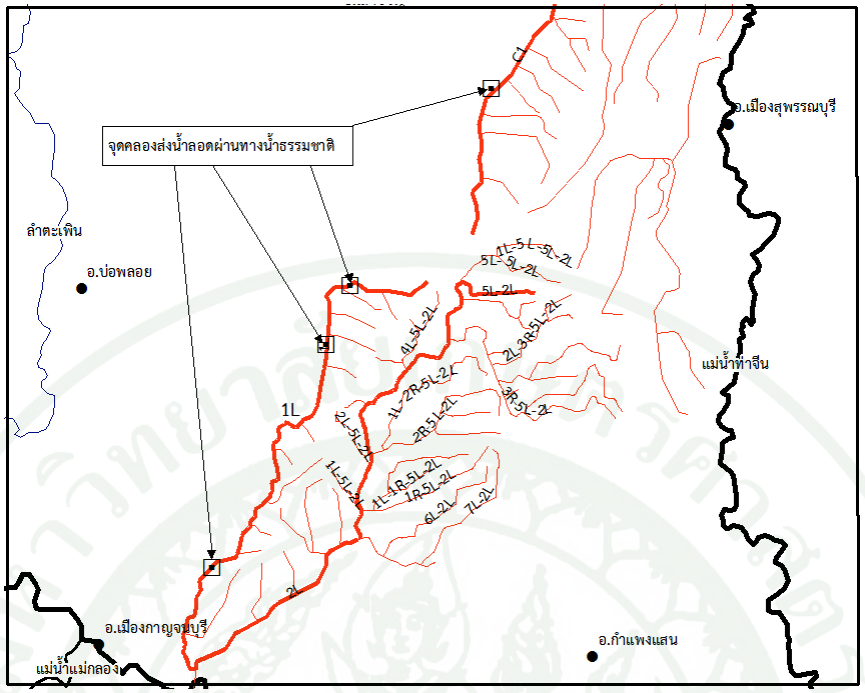
ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีภายในพื้นที่ประมาณ 1,000 มิลลิเมตร โดยในเดือนกันยายนมีปริมาณฝนตกมากที่สุดมีปริมาณมากกว่า 200 มิลลิเมตร ส่วนเดือนที่มีปริมาณฝนต่ำสุดได้แก่ช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์มีปริมาณฝนเฉลี่ยน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร โดยสรุปเป็นกราฟดังภาพที่ 9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

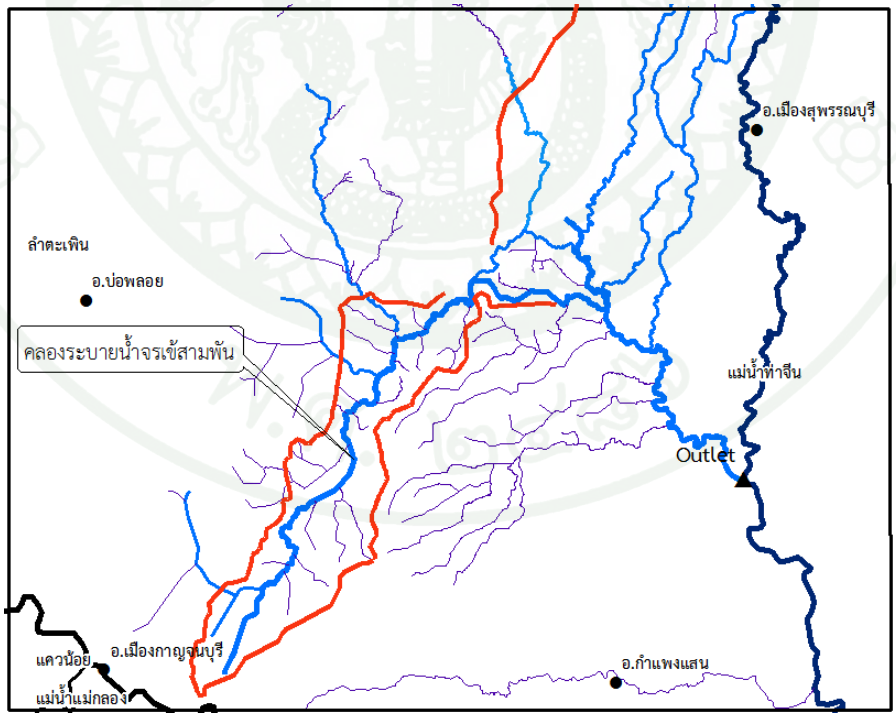


ภาพที่ 6 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาพื้นที่ราบแม่น้ำท่าจีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

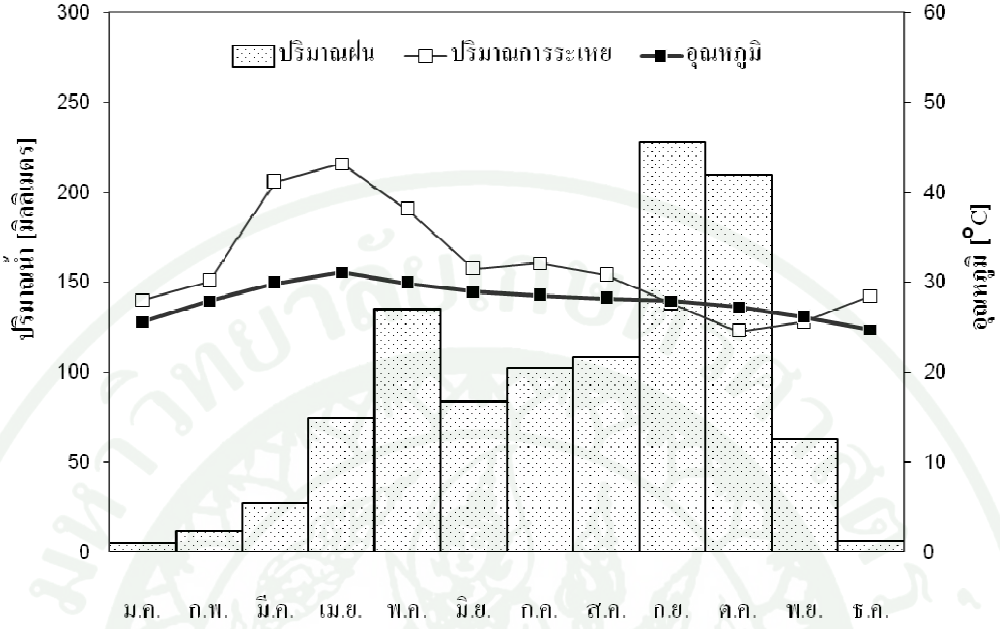


ภาพที่ 7 คลองส่งน้ำชลประทานในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 8 คลองระบายน้ำชลประทานในพื้นที่ศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยรายเดือนข้อมูลภูมิอากาศพื้นที่ศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. เครื่องมือและทฤษฎี

แบบจำลอง SWAT

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็น แบบจำลองทางอุทกวิทยา ซึ่งสามารถใช้ทำงานร่วมกับข้อมูลระบบ GIS ได้โดย SWAT เป็น model ประเภท Continuous-time basin-scale hydrologic model ซึ่งมีความสามารถในการจำลองแบบที่มีความซับซ้อน ทั้งทางด้านอุทกวิทยา ยาฆ่าแมลง (pesticide) วงจรสารอาหาร (nutrient cycling) การกัดเซาะและการเคลื่อนย้ายตะกอน (erosion and sediment transport) หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นประเภท River basin scale model โดยได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบในเชิงปริมาณของการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่พื้นและซับซ้อน ซึ่งทำขึ้นโดย Agricultural Research Service ที่ Grassland Soil and Water Research Laboratory สหรัฐอเมริกา.เป็นแบบจำลองที่เป็นสาธารณสิทธิ์ (Public domain model) สามารถดาวน์โหลดฟรีที่เวปไซต์ http://swatmodel.tamu.edu ดังภาพที่ 10

ภาพที่ 10 หน้าเวปไซต์ Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

ที่มา: www.swatmodel.tamu.edu

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลอง SWAT การทำงานออกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนพื้นดิน (Land phase) และส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (Routing phase) ซึ่งในบทความนี้ได้พิจารณาเฉพาะส่วนพื้นดินเท่านั้น ซึ่งใช้สมการสมดุลน้ำ มาพิจารณากระบวนทางอุทกวิทยา ดังนี้

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

เมื่อ SW_t คือปริมาณน้ำในดินสุดท้าย (mm),
SW_0 คือปริมาณน้ำในดินเริ่มต้น (mm)
t คือเวลา (days)
R_{day} คือปริมาณฝนในวันที่ i (mm)
Q_{surf} คือปริมาณน้ำผิวดินในวันที่ i (mm)
E_a คือปริมาณการคายระเหยในวันที่ i (mm)
W_{seep} คือปริมาณน้ำไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดินในวันที่ i (mm)
Q_{gw} คือปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลกลับสู่ลำน้ำในวันที่ i (mm).

การประเมินน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) และค่าอัตราการไหลของน้ำท่าสูงสุดในแบบจำลอง SWAT โดย ใช้วิธี SCS Curve Number เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \qquad (2)$$

เมื่อ Q_{surf} คือปริมานน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (m^3/s)
R_{day} คือปริมาณน้ำฝนรายวัน (mm)
S คือ Retention parameter (mm)

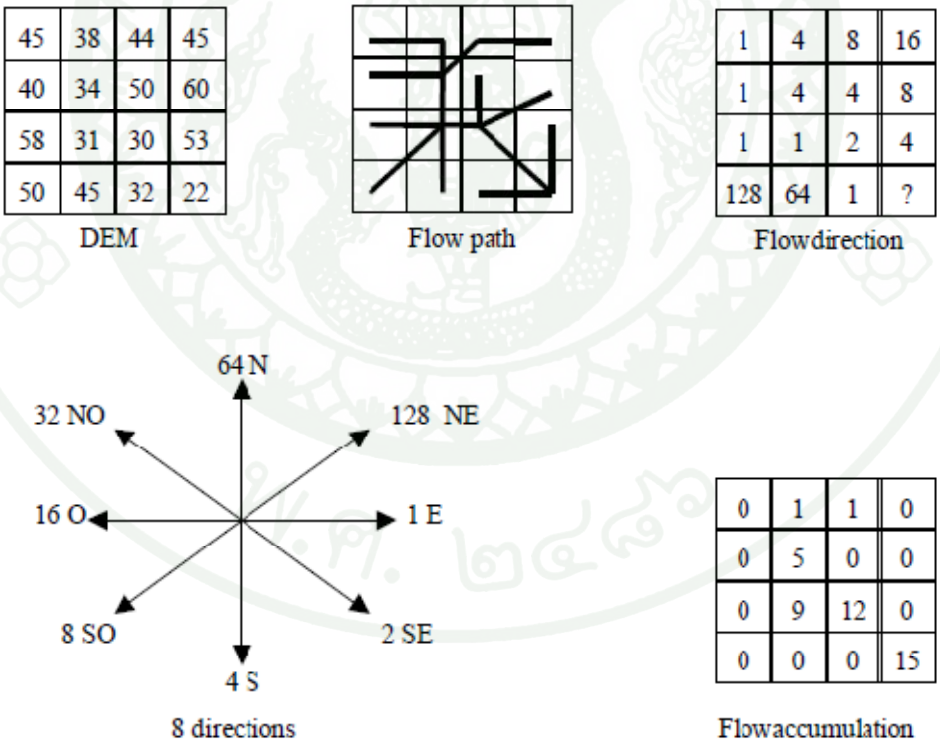
โดยตัวแปร S จะมีความสัมพันธ์กับค่า Curve number (CN) ดังสมการนี้

$$S = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \qquad (3)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประมวลผล DEM (DEM Processing)

การกำหนดทิศทางการไหลประมวลผลด้วยระบบภูมิสารสนเทศ ข้อมูล DEM เป็นข้อมูล SRTM (shuttle radar topography mission) ซึ่งได้จากการสำรวจด้วยเรดาห์โดยกระสวยอวกาศ (USGS, 2006) การกำหนดทิศทางการไหลจะใช้ Algorithm D8 คือ การกำหนดให้ทิศทางการไหล (flow direction) แต่ละกริดมีทิศทางเป็นไปได้ 8 ทิศทาง โดยทิศทางการไหลจะชี้ไปยังกริดรอบข้างที่ต่ำที่สุดซึ่งเชื่อมต่อกับอีกกริดที่เป็นตำแหน่งใกล้เคียงที่ลาดที่สุดที่โดยกำหนดค่าของทิศทางการไหลในแนวแกนตั้งฉากเป็น 1, 4, 16 และ 64 สำหรับทิศตะวันออก, ทิศใต้, ทิศตะวันตก และ ทิศเหนือ ส่วนค่าของทิศทางการไหลในแนวแกนเอียง 45 องศาเป็น 2, 8, 32 และ 128 สำหรับทิศตะวันออกเฉียงใต้, ทิศตะวันตกเฉียงใต้, ทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือตามลำดับ โดย cell ส่วนของ flow direction ที่มีการไหลมาสะสม (flow accumulation) สูงก็จะถูกกำหนดให้เป็นช่องทางไหลของน้ำ ดังภาพที่ 11



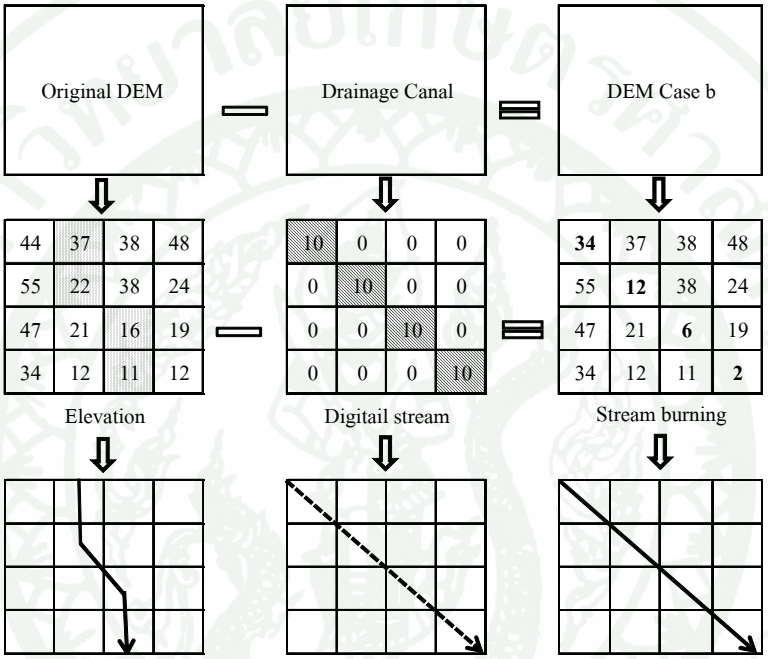
ภาพที่ 11 การกำหนดทิศทางการไหลจาก DEM

ที่มา: Center for Research in Water Resources University of Texas at Austin

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Stream burning

Stream burning เป็นเทคนิคที่ใช้เสริมการวิเคราะห์ข้อมูล DEM ร่วมกับอัลกอริทึ่ม D8 มาประกอบการปรับสภาพค่าระดับกริดของ DEM ด้วยข้อมูล vector ประเภท line ของเส้นทางน้ำมาซ้อนทับข้อมูล DEM แล้วทำการเปลี่ยนค่าระดับข้อมูล DEM ใหม่ตามแนวเส้นทางน้ำ ดังรูปที่ 12

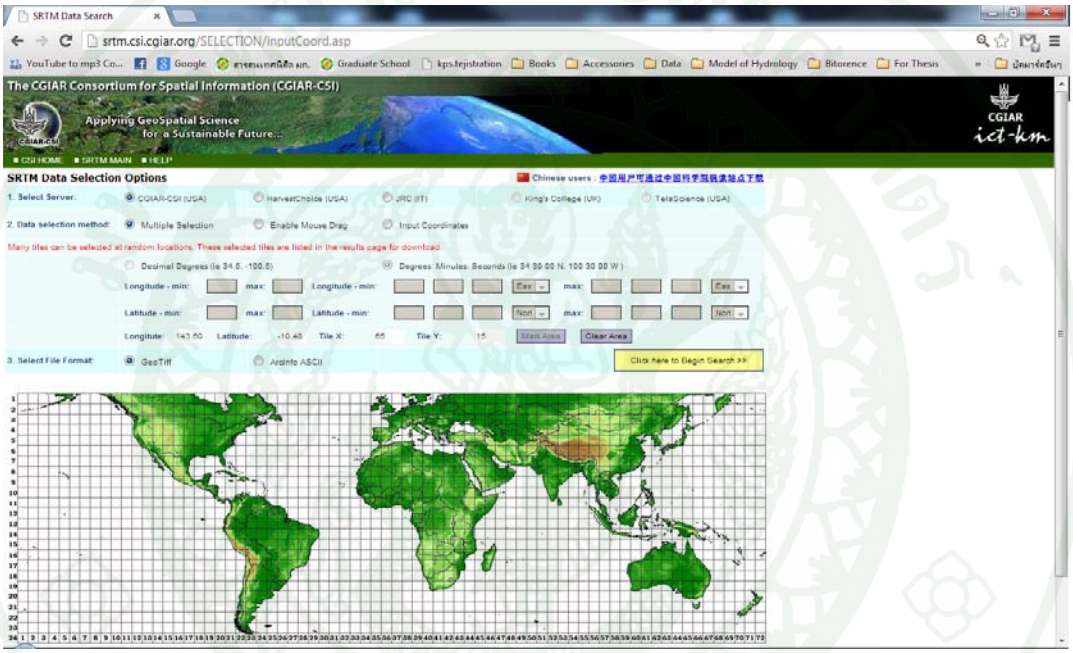


ภาพที่ 12 เทคนิคการ Stream burning ด้วยคลองระบายน้ำ (Drainage Canal)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ข้อมูลที่ใช้

DEM (Digital Elevation Model) คือแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขชนิดแรสเตอร์ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้สร้างแบบจำลองอุทกวิทยา โดยขนาดของพื้นที่ถูกกำหนดด้วย pixel ซึ่งมีขนาด 90x90 เมตร ระบบอ้างอิงทางภูมิศาสตร์คือ WGS 1984 UTM Zone 47N สามารถดาวน์โหลดฟรีจากเวปไซต์ http://www.srtm.csi.cgiar.org ดังรูปที่ 13



ภาพที่ 13 หน้าเวปไซต์ที่ดาวน์โหลด DEM SRTM

ที่มา: www.srtm.csi.cgiar.org

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Climate Data) เป็นข้อมูลที่เก็บบันทึกเป็นตัวเลขชนิดรายวันเริ่มต้นปี พ.ศ. 2541 ถึงปี พ.ศ. 2554 (ค.ศ. 1998-2011) ใช้ร่วมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝน โดยรวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลม รังสีดวงอาทิตย์ จากสถานีตรวจอากาศ 3 สถานี คือ สถานีอำเภอเมืองกาญจนบุรี สถานีกำแพงแสน และสถานีอู่ทอง

ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Rainfall) เป็นข้อมูลหลักในการนำเข้าแบบจำลองทางอุทกวิทยา โดยเก็บบันทึกเป็นตัวเลขชนิดรายวัน เริ่มต้นปี พ.ศ. 2495 ถึงปี พ.ศ. 2554 (ค.ศ. 1952-2011) จากกรมอุตุนิยมวิทยา 5 สถานี คือ กาญจนบุรี พนมทวน บ่อพลอย เลาขวัญ และอู่ทอง

ข้อมูลตำแน่งสถานีตรวจอากาศและสถานีตรวจวัดน้ำฝนโดยสถานีตรวจอากาศมี 3 สถานี คือ สถานีอำเภอเมืองกาญจนบุรี สถานีกำแพงแสน และสถานีอู่ทอง ส่วนสถานีตรวจวัดน้ำฝนมี 5 สถานี ที่กระจายอยู่ในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ข้างเคียง คือ กาญจนบุรี พนมทวน บ่อพลอย เลาขวัญ และอู่ทอง ดังแสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และภาพที่ 14 ตามลำดับ

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน เป็นข้อมูลที่ต้องใช้ร่วมกับของมูลแผนที่ดินเพื่อให้แบบจำลองกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) ซึ่งกำหนดลักษณะการใช้ที่ดินตามรหัสของแบบจำลอง SWAT คือ นาข้าว (RICE) พื้นที่เกษตรกรรม เช่น ไม้ผล ไม้ดอก ไม้ประดับ สวนผัก (AGRL) พืชไร่หมุนเวียน (AGRR) พื้นที่ชุมชน (URBN) ทุ่งหญ้า (PAST) อ้อย (SUGC) แหล่งน้ำ (WATR) และป่าไม้ (FRSE) ดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 15 ตามลำดับ

ข้อมูลแผนที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดินเป็นข้อมูลหลักในการคำนวณสมบัติทางอุทกวิทยาของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดคุณสมบัติทางกายภาพของดินได้แก่ ร้อยละของเนื้อดิน (soil texture) ความลึกดินแต่ละชั้น (soil dept) ค่าศักย์ของการนำน้ำในดิน (saturated hydraulic conductivity: Kset) ค่าความหนาแน่นของดิน (soil bulk density: BD) ค่า AWC (Available Water Capacity) และชื่อชุดดิน 22 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินอยุธยา (Ay) ดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่มีการระบายน้ำเลว (AC-p) ชุดดินบางเลน (Bl) ชุดดินบางเขน (Bn) ชุดดินจตุรัส (Ct) ชุดดินเดิมบาง (Db) ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินโคราช (Kt) ชุดดินลพบุรี (Lb) ชุดดินลาดหญ้า (Ly) ชุดดินแม่แตง (Mt) ชุดดินน้ำพอง (Ng) ชุดดินนครปฐม (Np) ชุดดิ นพิมาย (Pm) ชุดดินโพนงาม (Png) ชุดดินปากท่อ (Pth) ชุดดินเรณู (Rn)ชุดดินสระบุรี (Sb) พื้นที่ลาดเชิงซ้อน (Sc) ชุดดินเสนา (Se) ชุดดินตาคลี (Tk) และชุดดินยางตลาด (Yl) ดังแสดงในตารางที่ 4 ตารางที่ 5 และภาพที่ 16 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แผนที่สภาพภูมิประเทศ จากกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50000, ระวาง 5037IV, 5037III, 5036IV, 4937IV, 4937III, 4937II, 4937I, 4936IV, 4936I

ข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ ข้อมูลคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ จากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน สองพี่น้องและบางเลน เพื่อใช้ศึกษาโครงข่ายการระบายน้ำภายในพื้นที่ ข้อมูลเส้นแม่น้ำสายหลักและทางน้ำธรรมชาติ ข้อมูลขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำประทาน 25 ลุ่มน้ำ จากรายงาน “มาตราฐานลุ่มน้ำและลุ่มน้ำสาขา” ของคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ และข้อมูลขอบเขตลุ่มน้ำย่อย จากระบบสารสนเทศของกรมชลประทาน ข้อมูลขอบเขตการปกครองและข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ จาก “แผนที่แสดงเขตอำเภอ ตำบล เทศบาล และข้อมูลพื้นฐานจังหวัด พ.ศ. 2543” ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี และข้อมูลขอบเขตการปกครองระดับตำบล อำเภอ และจังหวัด จากกระทรวงมหาดไทย

ตารางที่ 1 สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา

ลำดับที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	พิกัด	
			ละติจูด	ลองติจูด
1	450201	สถานีจังหวัดกาญจนบุรี	14° 01’ 00”	99° 32’ 00”
2	451301	สถานีจังหวัดนครปฐม	14° 01’ 00”	99° 58’ 40”
3	425201	สถานีจังหวัดสุพรรณบุรี	14° 28 ‘00”	100° 08’ 00”

ตารางที่ 2 สถานีตรวจวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา

ลำดับที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	พิกัด	
			ละติจูด	ลองติจูด
1	13013	สถานีอำเภอเมืองกาญจนบุรี	14° 00’ 08”	99° 33’ 12”
2	13032	สถานีพนมทวน	14° 07’ 38”	99° 42’ 06”
3	13102	สถานีบ่อพลอย	14° 19 ‘26”	99° 31’ 05”
4	13382	สถานีเลาขวัญ	14° 36 ‘00”	99° 46’ 00”
5	60022	สถานีอู่ทอง	14° 22 ‘24”	99° 48’ 00”

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 พื้นที่ของการใช้ดิน

ลำดับที่	การใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	ร้อยละ
1	นาข้าว (RICE)	5,802.39	57.11
2	พื้นที่เกษตรกรรม (AGRL)	198.07	1.95
3	พืชไร่หมุนเวียน (AGRR)	311.41	3.06
4	พื้นที่ชุมชน (URBN)	129.28	1.27
5	ทุ่งหญ้า (PAST)	4.25	0.04
6	อ้อย (SUGC)	1,711.03	16.84
7	แหล่งน้ำ (WATR)	31.12	0.31
8	ป่าไม้ (FRSE)	1,973	19.42
	รวม	**10,160.55**	**100**

ตารางที่ 4 พื้นที่ชุดดิน

ลำดับ	ชื่อชุดดิน	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	ร้อยละ
1	อยุธยา (Ay)	794.78	7.82
2	ตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่มีการระบายน้ำเลว (AC-p)	21.55	0.21
3	บางเลน (Bl)	163.44	1.61
4	บางเขน (Bn)	112.24	1.10
5	จตุรัส (Ct)	112.24	1.10
6	เดิมบาง (Db)	381.94	3.76
7	กำแพงแสน (Ks)	1,522.50	14.98
8	โคราช (Kt)	827.98	8.15
9	ลพบุรี (Lb)	243.22	2.39
10	ลาดหญ้า (Ly)	467.55	4.60
11	แม่แตง (Mt)	159.12	1.57
12	น้ำพอง (Ng)	627.35	6.17
13	นครปฐม (Np)	586.06	5.77
14	พิมาย (Pm)	226.72	2.23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อชุดดิน	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	ร้อยละ
15	โพนงาม (Png)	118.84	1.17
16	ปากท่อ (Pth)	208.96	2.06
17	เรณู (Rn)	142.54	1.40
18	สระบุรี (Sb)	893.79	8.80
19	พื้นที่ลาดเชิงซ้อน (Sc)	582.42	5.73
20	เสนา (Se)	879.70	8.66
21	ตาคลี (Tk)	272.70	2.68
22	ยางตลาด (Yl)	393.23	3.87
	รวม	**10,160.55**	**100**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางกายภาพดิน

NO.	Soil name	layer	Depth (mm)	Texture (%)			Soil physical properties		
				Sand	Silt	Clay	AWC (mm/mm)	BD (g/cm3)	Kset (mm/h)
1	Yl	1	150	77.5	18.7	3.8	0.04	1.1	60.30
		2	280	78.4	17.1	4.5	0.04	1.15	40.80
		3	520	71.2	18	10.08	0.06	1.52	34.47
		4	920	72	16.2	11.8	0.06	1.15	34.32
		5	1200	72	16.2	11.8	0.06	1.15	31.01
2	Png	1	50	80	16.5	3.5	0.04	1.42	60.30
		2	180	81.5	15.5	3	0.04	1.45	40.80
		3	720	64.5	14.5	21	0.06	1.52	34.47
		4	1000	62	18	20	0.06	1.55	34.32
		5	1200	67	19	14	0.06	1.15	31.01
3	Np	1	200	3.2	50.7	46.1	0.04	1.4	16.50
		2	590	0.8	46.4	52.8	0.04	1.5	14.80
		3	1150	1.8	45.1	53.1	0.1	1.32	11.20
		4	1900	2.1	57.2	40.7	0.1	1.65	20.96
		5	1150	71.8	20.1	8.1	0.04	1.25	22.30
		6	2000	77.8	15.7	6.5	0.04	1.25	12.50
4	Ly	1	200	42.6	35.4	22	0.1	1.32	25.15
		2	420	41.6	33.3	25.1	0.1	1.4	15.30
		3	660	34.1	35.6	30.3	0.1	1.32	11.93
		4	960	28.7	34.8	36.5	0.1	1.32	8.75
		5	1270	28.6	26	45.4	0.11	1.15	9.30
5	Kt	1	190	64.6	18.4	17	0.06	1.25	63.01
		2	610	57	15.1	27.9	0.12	1.32	15.73
		3	870	53.6	18	28.4	0.12	1.27	14.75
		4	1200	54	16	29.4	0.1	1.32	17.82
		5	1500	53.2	16.9	29.9	0.1	1.32	17.19

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 (ต่อ)

NO.	Soil name	layer	Depth (mm)	Texture (%)			Soil physical properties		
				Sand	Silt	Clay	AWC (mm/mm)	BD (g/cm3)	Kset (mm/h)
6	Bl	1	130	5	37.3	57.7	0.14	1.25	11.24
		2	380	57.8	37.6	31.6	0.11	1.5	16.18
		3	640	18.9	32.9	48.2	0.08	1.68	4.63
		4	1160	18.6	49.9	31.5	0.07	1.65	16.11
		5	1500	27.8	38.5	33.7	0.07	1.67	14.31
		6	1800	48.6	22.5	28.9	0.09	1.66	3.98
7	Rn	1	110	43.5	52.2	2.5	0.14	1.25	15.4
		2	240	41.9	49.4	8.7	0.11	1.25	29.11
		3	360	36.9	47.2	15.9	0.06	1.27	24.05
		4	790	40.4	40.2	19.4	0.06	1.25	22.48
		5	1100	33.5	32.6	33.9	0.03	1.4	12.56
		6	1400	34.9	40.8	24.3	0.06	1.25	18.53
8	Db	1	170	70.8	23.9	5.3	0.06	1.25	49.08
		2	260	66	24.2	9.8	0.06	1.25	33.49
		3	420	53.1	26.1	20.8	0.12	1.32	18.98
		4	720	44.5	29	26.5	0.14	1.27	18.18
		5	930	29.4	22.6	48	0.11	1.15	8.12
		6	1170	33.3	28.9	37.8	0.1	1.32	8.42
9	Se	1	100	11.9	39.7	48.4	0.04	1.51	16.3
		2	300	11.3	38.7	50	0.04	1.55	40.8
		3	450	5.9	33	61.1	0.06	1.52	34.47
		4	700	1.8	29.9	69.2	0.06	1.55	34.32
		5	1050	4.4	32.4	63.2	0.06	1.55	31.01
		6	1500	0.2	34.1	65.7	0.04	1.62	3.21

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 (ต่อ)

NO.	Soil name	layer	Depth (mm)	Texture (%)			Soil physical properties		
				Sand	Silt	Clay	AWC (mm/mm)	BD (g/cm3)	Kset (mm/h)
10	TSb-D	1	110	27	56	17	0.19	1.32	20.93
		2	260	21.5	57	21.5	0.15	1.38	2.48
		3	430	20	49	31	0.13	1.15	2.62
		4	640	16	44	39.5	0.11	1.15	2.56
		5	1000	14.2	43.8	42	0.11	1.15	2.01
		6	1200	19	41	40	0.07	1.15	4.45
11	TPth-A	1	150	44	41	15	0.06	1.45	26.63
		2	260	46	36.5	17.5	0.11	1.45	23.21
		f3	900	58	27.5	14.5	0.13	1.45	21.85
		4	1300	60	28	12	0.06	1.25	30.84
12	TCt-C	1	70	18.7	59.4	21.9	0.14	1.25	11.24
		2	160	16.5	51.9	31.6	0.11	1.15	16.18
		3	430	11.1	33.4	55.5	0.12	1.18	4.63
		4	540	16.1	52.3	31.6	0.07	1.15	16.11
		5	1200	11.7	54.8	33.5	0.11	1.15	14.31
13	TPm-A	1	200	8	32	60	0.04	1.51	6.30
		2	490	11	23.5	65.5	0.04	1.65	4.80
		3	1200	14	4	82	0.06	1.62	4.47
		4	920	72	16.2	11.8	0.06	1.15	34.32
		5	1200	67	19	14	0.06	1.15	31.01
14	TBn-D	1	200	0.8	33.8	65.4	0.06	1.55	63.01
		2	360	0.5	32.2	67.3	0.12	1.32	15.73
		3	600	0.7	34.9	64.4	0.12	1.47	14.75
		4	820	1.3	40.6	58.1	0.1	1.6	17.82
		5	1150	5.6	49.2	45.2	0.1	1.32	17.19

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 (ต่อ)

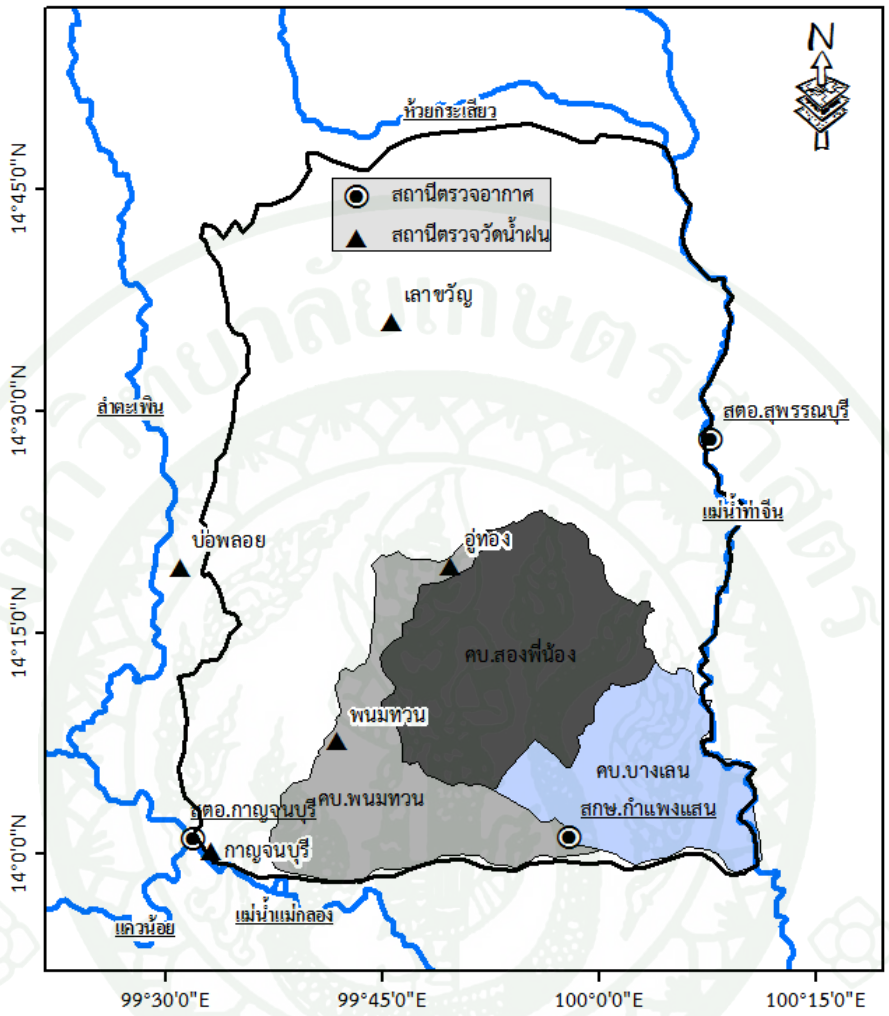
NO.	Soil name	layer	Depth (mm)	Texture (%)			Soil physical properties		
				Sand	Silt	Clay	AWC (mm/mm)	BD (g/cm3)	Kset (mm/h)
15	TMt-A	1	210	17.5	51.8	30.7	0.03	1.15	18.91
		2	400	20.1	50.3	29.6	0.03	1.15	18.02
		3	870	24.4	45.9	29.7	0.12	1.32	11.43
		4	1190	44.4	36.8	18.8	0.06	1.25	24.47
		5	2200	42.1	39.1	18.8	0.14	1.25	23.14
16	TAy-D	1	210	67	30	3.8	0.04	1.6	60.3
		2	450	4.5	26	69.5	0.04	1.6	40.8
		3	900	4	33.5	62.5	0.06	1.52	34.47
		4	1450	17.5	17	65.5	0.06	1.62	34.32
		5	2000	4	31	65	0.06	1.67	31.01
17	TLb-C	1	230	5	33	62	0.5	1.6	65
		2	490	4.5	27.5	68	0.5	1.5	4.83
		3	850	4.5	29	66.5	0.06	1.56	12.3
		4	1350	5	31	64	0.11	1.67	5.6
		5	1870	17.5	46	36.5	0.1	1.7	4.7
18	TKs-B	1	300	42.5	40	17.5	0.06	1.25	26.63
		2	650	35.25	48	16.75	0.15	1.25	23.21
		3	900	28	56	16	0.13	1.25	21.85
		4	1300	60	28	12	0.06	1.25	30.84
19	TTk-A	1	210	17.5	51.8	30.7	0.03	1.15	18.91
		2	400	20.1	50.3	29.6	0.03	1.15	18.02
		3	870	24.4	45.9	29.7	0.12	1.32	11.43
		4	1190	44.4	36.8	18.8	0.06	1.25	24.47
20	TSC-D	1	40	6.8	17.9	75.3	0.06	1.25	9.81
		2	600	16.5	20.4	63.1	0.06	1.25	0.59
		3	1651	95.49	1.51	3	0.07	1.35	550

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 (ต่อ)

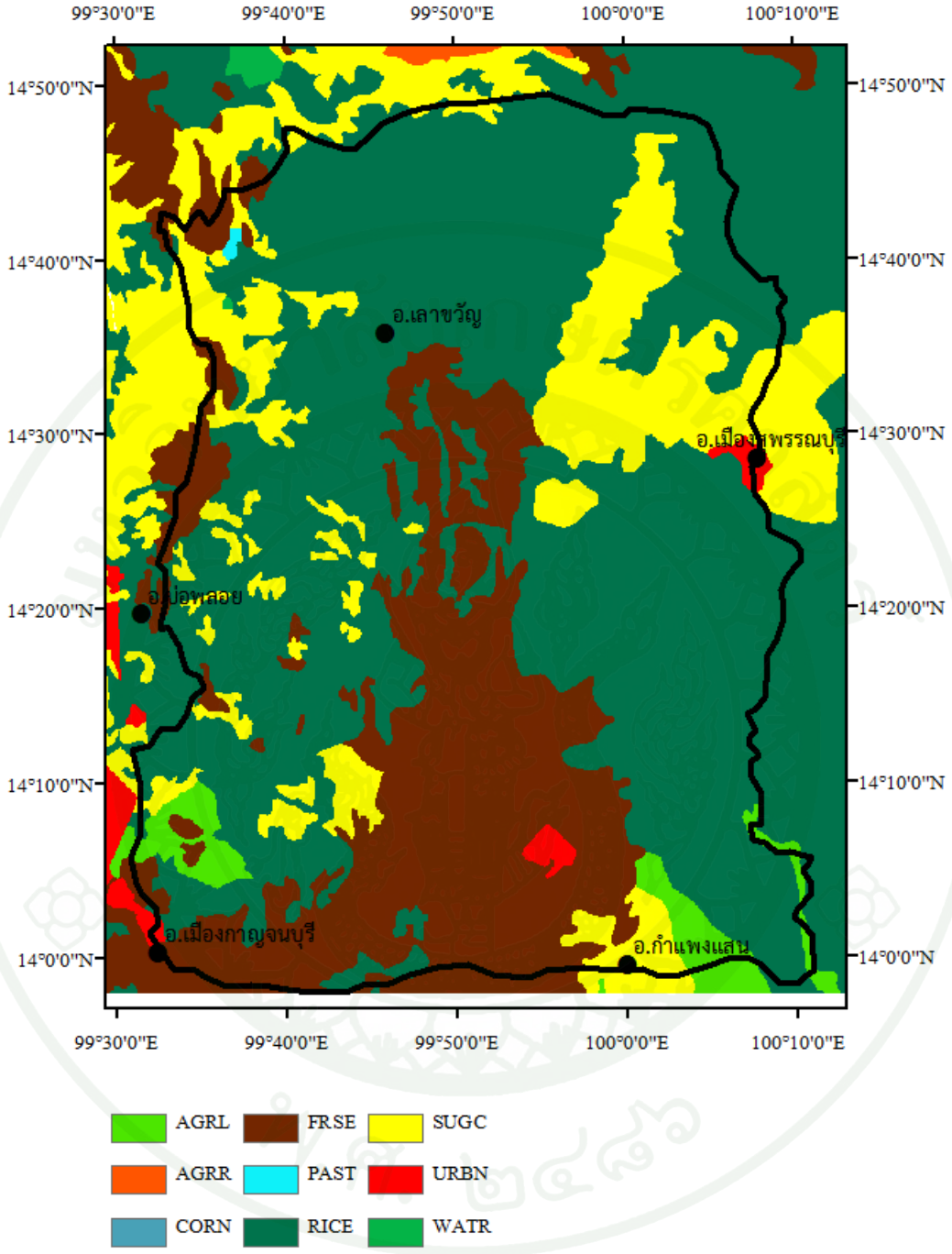
NO.	Soil name	layer	Depth (mm)	Texture (%)			Soil physical properties		
				Sand	Silt	Clay	AWC (mm/mm)	BD (g/cm3)	Kset (mm/h)
21	AC	1	1600	11.5	19.4	69.1	0.06	1.23	31.46
22	Ng	1	150	89.5	9.5	1	0.03	1.15	6.40
		2	420	89	10	1	0.03	1.15	9.93
		3	1000	87.5	11.5	1	0.03	1.27	9.47
		4	1200	74.5	11.5	14	0.06	1.35	10.15
23	TCr-C	1	110	27	56	17	0.19	1.32	11.08
		2	260	21.5	57	21.5	0.15	1.38	14.51
		3	430	20	49	31	0.13	1.15	17.13
		4	640	16	44	39.5	0.11	1.15	11.67
		5	1000	14.2	43.8	42	0.11	1.15	10.17
		6	1200	19	41	40	0.07	1.15	11.61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



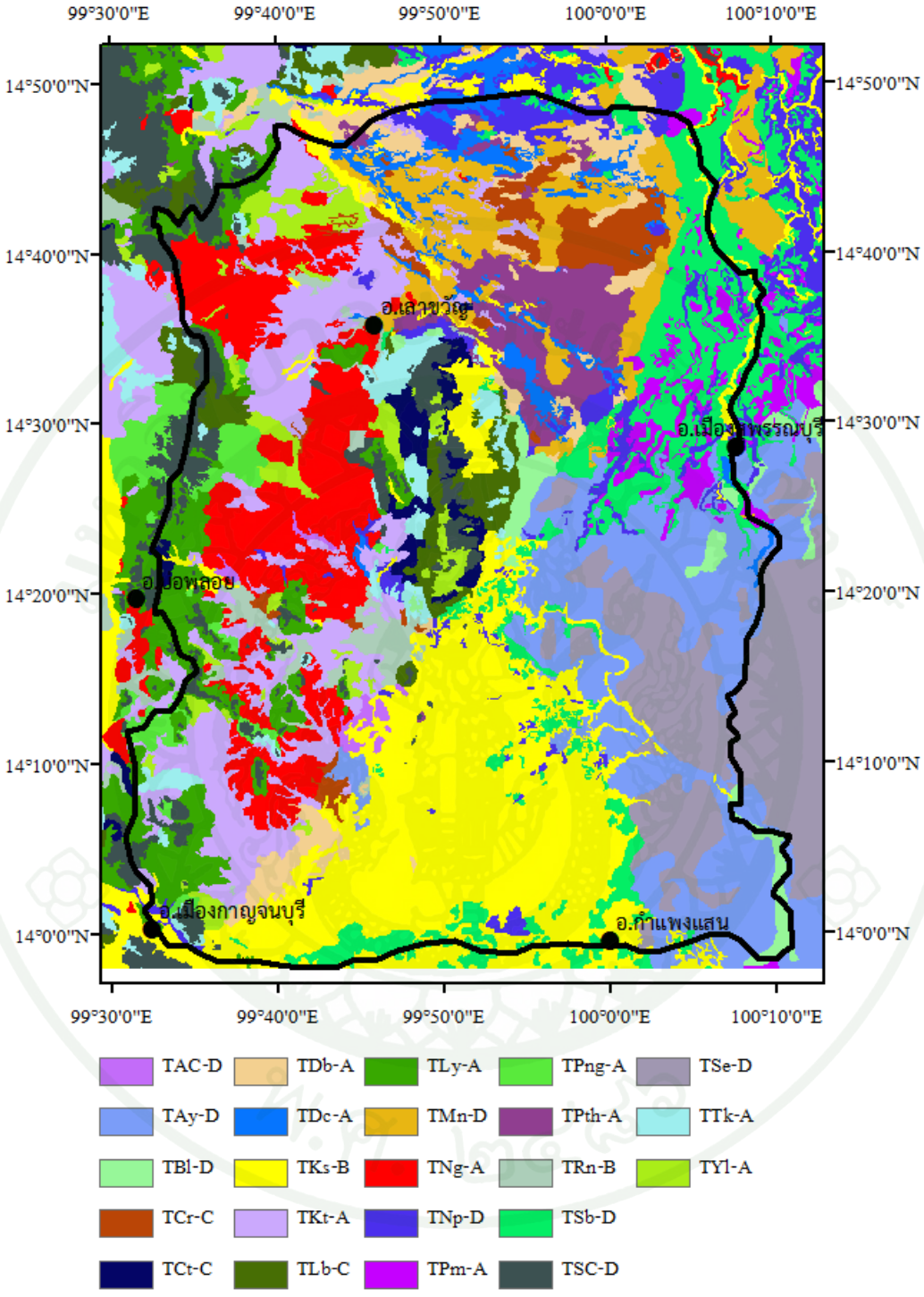
ภาพที่ 14 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำฝนและสถานีตรวจอากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 15 แผนที่การใช้ที่ดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

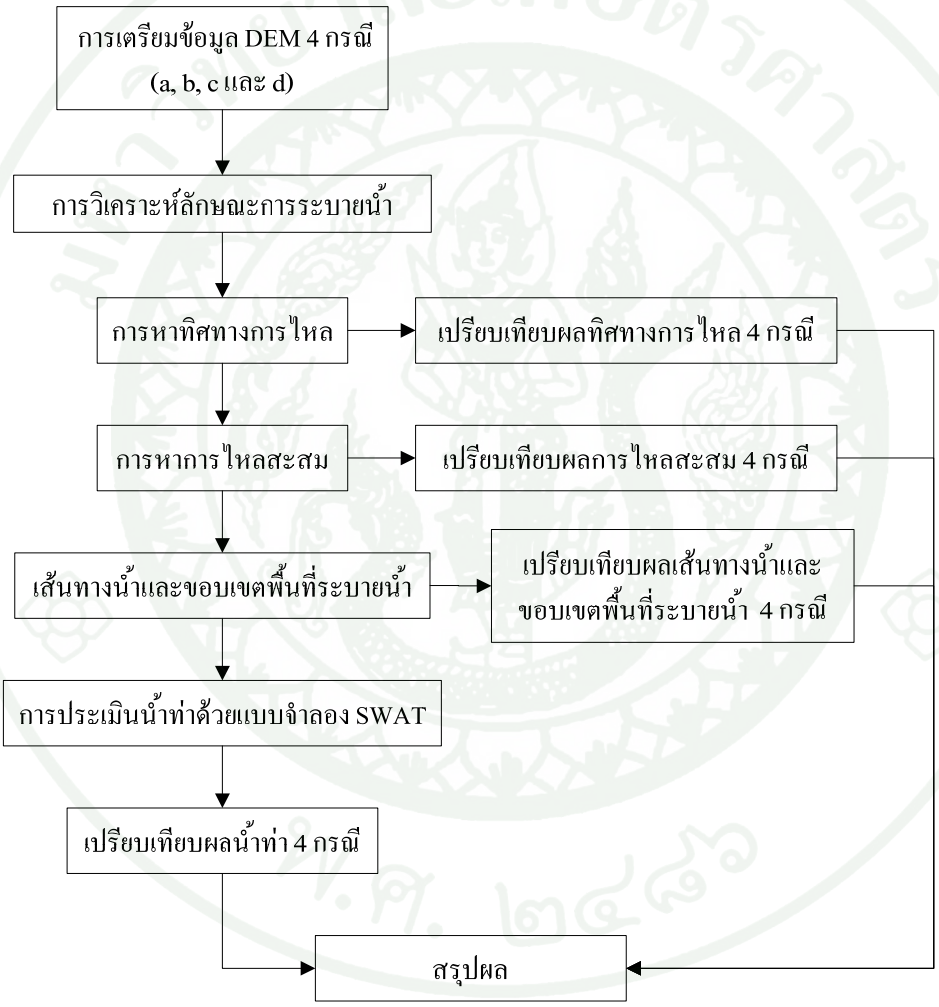


ภาพที่ 16 แผนที่ชุดดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. วิธีการ

การปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่มมีขั้นตอนการดำเนินงานแยกออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) การเตรียมข้อมูล DEM 2) การวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ3) การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT โดยสรุปเป็นขั้นตอนดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. การเตรียมข้อมูล DEM

การเตรียมข้อมูล DEM เป็นการปรับสภาพข้อมูล DEM เพื่อนำไปศึกษาลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ ได้แบ่งเป็น 4 กรณี คือ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

การปรับสภาพข้อมูล DEM เนื่องจากความละเอียดของข้อมูล DEM จำกัดเพียง 90 เมตร จึงได้ทำการกำหนดค่าจากการ trial & error เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการปรับเพิ่มและปรับลด DEM ที่เหมาะสมโดยอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

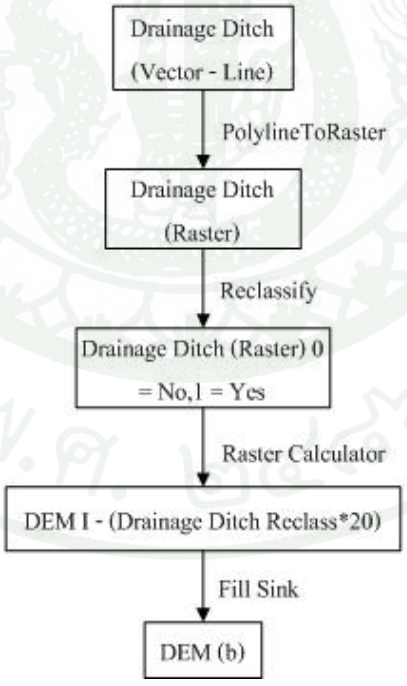
การปรับลดระดับตามคลองระบายน้ำ ได้ทำการ trial & error โดยเริ่มกำหนดค่าที่ใช้ปรับสภาพคือ 5, 10, 20, 30 และ 50 เมตร ซึ่งค่าระดับที่ใช้ปรับลด 20 มีความลงตัวที่สุด เนื่องจากไม่ทำให้ DEM เกิดความ error จากสภาพเดิมมากเกินไป เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ออกมาได้ใกล้เคียงสภาพจริง

การปรับเพิ่มระดับตามคลองส่งน้ำ ได้ทำการ trial & error โดยใช้ค่าลดลง 10, 20, 30 และ 50 เมตร ซึ่งค่าระดับที่ใช้ปรับลด 30 มีความลงตัวที่สุด เนื่องจากไม่ทำให้ DEM เกิดความ error จากสภาพเดิมมากเกินไป และดูกลมกลืนกับสภาพ DEM เดิม

การปรับสภาพข้อมูล DEM ใช้เครื่องมือ Spatial Analyst ของ ArcGIS ดังนี้ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการปรับสภาพข้อมูล ดังภาพที่ 18 กรณี b เป็นการใช้เทคนิค Sream burning โดยการนำเอาข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียวมาปรับสภาพ โดยลบด้วยข้อมูลคลองระบายน้ำและทางน้ำธรรมชาติที่แปลงไฟล์ GIS จากชนิด Vector เป็น ชนิด Raster แล้วจัดกลุ่มข้อมูลใหม่โดย ให้ค่า 0 แทนค่ากริดที่ไม่มีข้อมูลและค่า 1 แทนกริดที่มีข้อมูล แล้วคูณด้วย 20 ดังภาพที่ 19 กรณี c เป็นการนำเอาข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียวมาปรับสภาพ โดยบวกด้วยข้อมูลคลองส่งน้ำที่แปลงไฟล์ GIS จากชนิด Vector เป็น ชนิด Raster แล้วจัดกลุ่มข้อมูลใหม่โดย ให้ค่า 0 แทนค่ากริดที่ไม่มีข้อมูลและค่า 1 แทนกริดที่มีข้อมูลแล้วคูณด้วย 30 ดังภาพที่ 20 กรณี d เป็นการนำเอาข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียวมาปรับสภาพ โดยลบด้วยข้อมูลคลองระบายน้ำและทางน้ำธรรมชาติแล้วบวกด้วยข้อมูลคลองส่งที่ได้จากกรณี b และกรณี c ดังภาพที่ 21

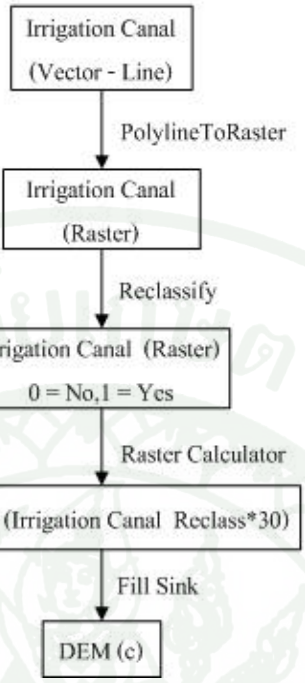
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 18 ขั้นตอนการเตรียม DEM กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว

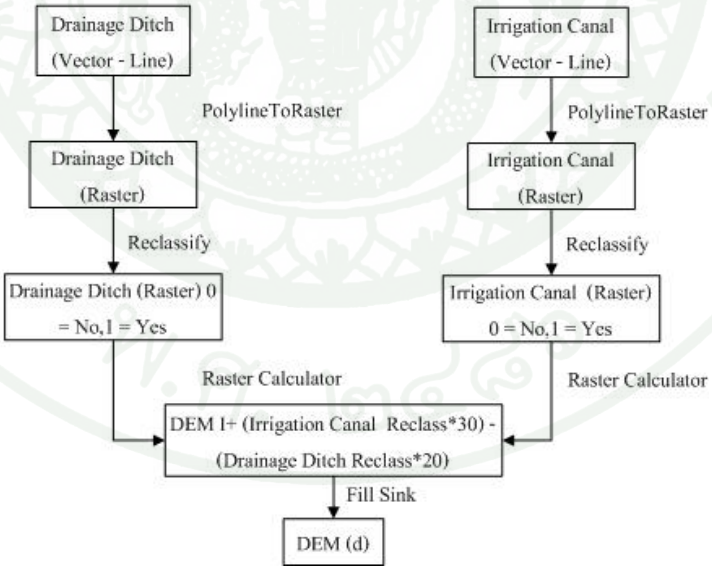


ภาพที่ 19 ขั้นตอนการเตรียม DEM กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 20 ขั้นตอนการเตรียม DEM กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ

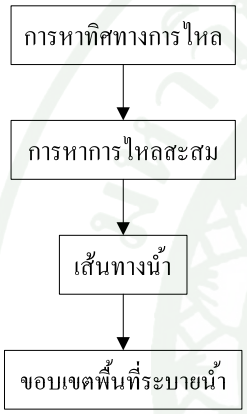


ภาพที่ 21 ขั้นตอนการเตรียม DEM กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ

เมื่อได้ DEM จากขั้นตอนการเตรียม DEM 4 กรณีแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ โดยใช้เครื่องมือทาง GIS การวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์ทิศทางการไหล (Flow Direction) และการไหลสะสม (Flow Accumulation) ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์เส้นทางน้ำ (Stream) และขอบเขตการระบายน้ำ (Drainage Area) ซึ่งทำต่อเนื่องกันตามลำดับแยกตามกรณีของการปรับสภาพข้อมูล DEM ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

การประเมินน้ำท่าของแบบจำลอง SWAT มีการน้ำเข้าข้อมูล 2 รูปแบบ คือ การนำเข้าข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ และการนำเข้าข้อมูลที่เป็นตาราง ซึ่งข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลองจะต้องได้รวบรวมและวิเคราะห์ จัดทำเป็นไฟล์ไว้ก่อนแล้ว จึงค่อยนำเข้าแบบจำลอง โดยมีขั้นตอนหลักๆ ในการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

- การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Watershed Delineator)
- การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU Analysis)
- นำเข้าข้อมูลตาราง (Write Input Table)
- การแก้ไขฐานข้อมูลนำเข้า SWAT (Edit SWAT Input)
- การรันแบบจำลอง SWAT (SWAT Simulation)

ขั้นตอนนี้จะดำเนินการประเมินแยกตามการปรับสภาพข้อมูล DEM 4 กรณี คือ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ โดยข้อมูลนำเข้าอย่างอื่นเป็นชุดด้วยกัน

3.1 การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Watershed Delineator)

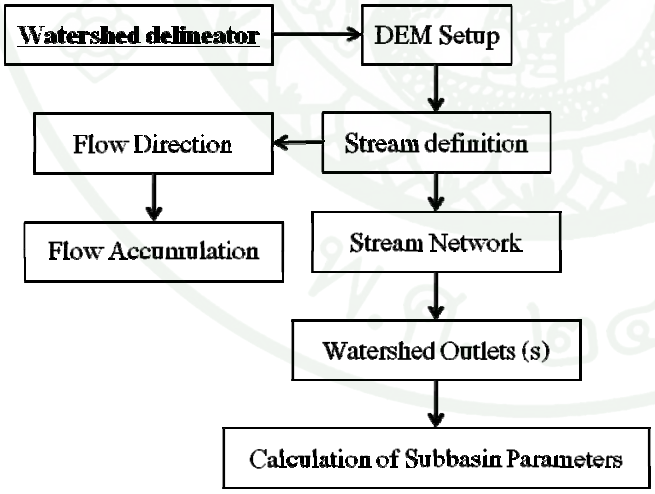
ส่วนนี้เป็นขั้นตอนแรกของการสร้างแบบจำลอง เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพดกทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำจากแบบจำลอง ซึ่งต้องนำเข้าข้อมูล DEM มาวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังภาพที่ 23 โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) DEM Setup เป็นการนำเข้าข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM) เพื่อให้แบบจำลองคำนวณสภาพทางกายาภาพทั่วไปของพื้นที่ เช่น ความลาดชันของพื้นที่ ขอบเขตสันปันน้ำเพื่อกำหนดพื้นที่รับน้ำ เป็นต้น ซึ่งต้องมีการกำหนด properties ของ DEM ก่อนการนำเข้า โดยประกอบด้วยหน่วยวัดระยะทางตามแกน X-Y-Z และระบบที่ใช้ทางภูมิศาสตร์ (พื้นที่ประเทศไทยใช้ WGS 1984 UTM Zone 47N) จะได้ DEM ที่มีพิกัดตรงกันกับข้อมูลอื่น ๆ ที่ต้องการนำเข้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อกำหนดข้อมูลสำหรับ DEM Setup ครบแล้ว ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการกำหนดเส้นทางน้ำ (Steam definition) โปรแกรมจะประมวลผลข้อมูล DEM ประกอบด้วยการคำนวณทิศทางการไหล (Flow Direction) และการไหลสะสม (Flow Accumulation) ของน้ำสำหรับแต่ละกริด อีกทั้งปรับแก้พื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแอ่งต่ำ (Sink) จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการกำหนดรายละเอียดโครงข่ายเส้นทางน้ำ (Stream Network) :ซึ่งกำหนดโดยการตั้งค่า Threshold Area จากขั้นตอน Steam definition ซึ่งถ้ากำหนด Threshold Area ต่ำ ๆ จะทำให้โครงข่ายเส้นทางน้ำที่ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม ArcSWAT มีความละเอียดมาก

หลังจากสร้างโครงข่ายเส้นทางน้ำเบื้องต้นแล้ว ในขั้นตอนสุดท้ายของการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นการกำหนดจุดออก (Outlet) ของเส้นทางน้ำย่อยต่าง ๆ และการกำหนดจุดปลายสุดของลำน้ำของพื้นที่ศึกษา วิธีการกำหนดจุดออกสามารถทำได้ 2 วิธี คือ 1) การเลือกเฉพาะจุดเชื่อมลำน้ำที่ทำให้เกิดลุ่มน้ำย่อยด้วยมือ (manual) โดยการกำหนดตำแหน่งของจุดออกด้วยมือผ่านทางหน้าต่างโปรแกรมโดยตรง 2) การกำหนดจุดออกบริเวณที่เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ต้องการวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาขอบเขตลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำย่อย ที่โปรแกรมสร้างขึ้น แล้วพบว่าสอดคล้องตามความต้องการ ก็สั่งให้โปรแกรมคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของพื้นที่ลุ่มน้ำและเส้นลำน้ำ (Calculation of Subbasin Parameters) ได้แก่ ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความลาดชัน ความยาวเส้นลำน้ำ เป็นต้น



ภาพที่ 23 ขั้นตอนการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU Analysis)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำเข้าข้อมูลของสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสภาพชนิดดิน ของพื้นที่ที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยต้องกำหนดรหัสการใช้ที่ดินแต่ละประเภทให้สอดคล้องกับฐานข้อมูลประเภทการใช้ที่ดินของโปรแกรม ArcSWAT ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ

1) Manual Define เป็นการกำหนดรหัสฐานข้อมูล ArcSWAT จากหน้าต่าง SWAT Land Use เพื่อให้ผู้ใช้กำหนดว่าประเภทการใช้ที่ดินนั้นอยู่กลุ่ม Land Cover/Plant หรือกลุ่ม Urban จากนั้นจึงเลือกหน้าต่างรายการรหัสประเภทการใช้ที่ดินของฐานข้อมูล SWAT ซึ่งวิธีนี้จะต้องกำหนดรหัสที่ดินได้ทีละประเภท จึงทำให้เสียเวลามากหากชนิดการใช้ที่ดินมีหลายประเภท

2) Lookup Table เป็นการเตรียมไฟล์ตารางข้อมูล (.dbf) สำหรับเชื่อมโยงรหัสประเภทการใช้ที่ดินของแผนที่นำเข้ากับรหัสฐานข้อมูล SWAT โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างสอบถามว่าตารางที่นำเข้าจะใช้รหัสของ USGS LULC หรือไม่ กรณีพื้นที่ในประเทศไทยให้ตอบ “No” แล้วเลือกไฟล์ตารางข้อมูล (dbf) ที่จัดเตรียมไว้สำหรับเชื่อมโยงรหัสประเภทการใช้ที่ดินของแผนที่ที่นำเข้ากับรหัสในฐานข้อมูล SWAT ซึ่งก็จะปรากฏรหัสโดยแบ่งตามประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน วิธีนี้จะมีความรวดเร็วกว่าหากชนิดการใช้ที่ดินมีหลายประเภท

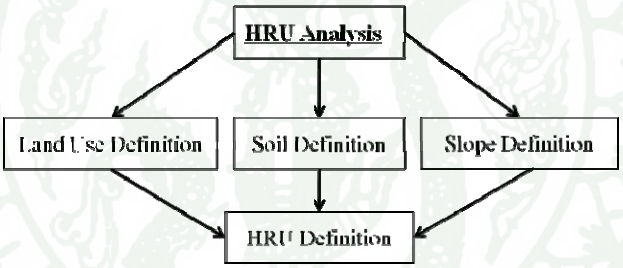
ในส่วนของการนำเข้าแผนที่ชนิดของดิน มีวิธีการและขั้นตอนเช่นเดียวกัน กับส่วนของการนำเข้าแผนที่การใช้ที่ดินดังกล่าวข้างต้น แต่สำหรับการกำหนดรหัสชนิดดินให้สอดคล้องกับฐานข้อมูลชนิดดินของโปรแกรม ArcSWAT นั้นต้องเลือก Option ของรหัสฐานข้อมูลชนิดดินที่ผู้ใช้ต้องการ กรณีพื้นที่ในประเทศไทยไม่สามารถใช้รหัส Stmuid หรือ S5id ซึ่งเป็นรหัสเฉพาะของชนิดในประเทศสหรัฐอเมริกา จึงต้องเลือก option “name” โดยทางเลือกนี้จะสั่งให้โปรแกรมใช้ฐานข้อมูลชนิดดินที่ผู้ใช้สร้างขึ้นเอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU Definition)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดเงื่อนไขการสร้างหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units: HRUs) ของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยสอดคล้องตามการแพร่กระจายของลักษณะการใช้ที่ดินและชนิดของดิน ดังภาพที่ 24

ในการศึกษานี้เลือกการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทิกวิทยาแบบ Multiple Hydrologic Response Units เป็นการกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยมี HRUs สอดคล้องตามเปอร์เซนต์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินและชนิดดินในลักษณะของสัดส่วนพื้นที่ต่ำสุดในการนำไปกำหนดหน่วยแต่ละ HRU ซึ่งแสดงถึงความละเอียดของแบบจำลอง โดยหากกำหนดให้หน่วยพื้นที่การใช้ที่ดินหรือพื้นที่ชุดดินยิ่งมีค่าน้อย แบบจำลองที่ได้จะยิ่งละเอียดส่งผลให้การคำนวณซับซ้อนและยากขึ้น ดังนั้นการกำหนด HRUs จึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้วย

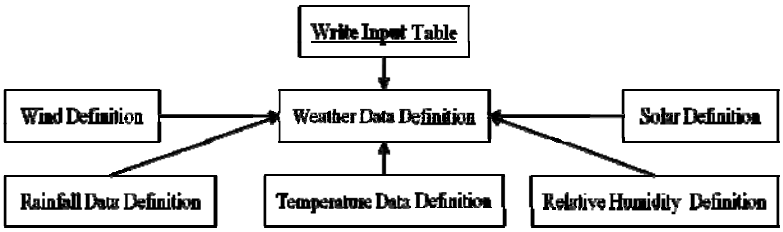


ภาพที่ 24 การวิเคราะห์หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา

3.3 นำเข้าข้อมูลตาราง (Write Input Table)

เมื่อได้ทำขั้นตอนการจำลองการแบ่งขอบเขตลุ่มน้ำย่อย การพิจารณาการใช้ที่ดินและชนิดของดิน รวมทั้งการกำหนดค่าตอบสนองทางอุทกวิทยาแล้ว ขั้นตอนต่อไปต้องนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศ โดยข้อมูลนำเข้า หลักๆ คือข้อมูลฝนและข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย ฝน อุณหภูมิ ภูมิอากาศ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ ดังภาพที่ 25

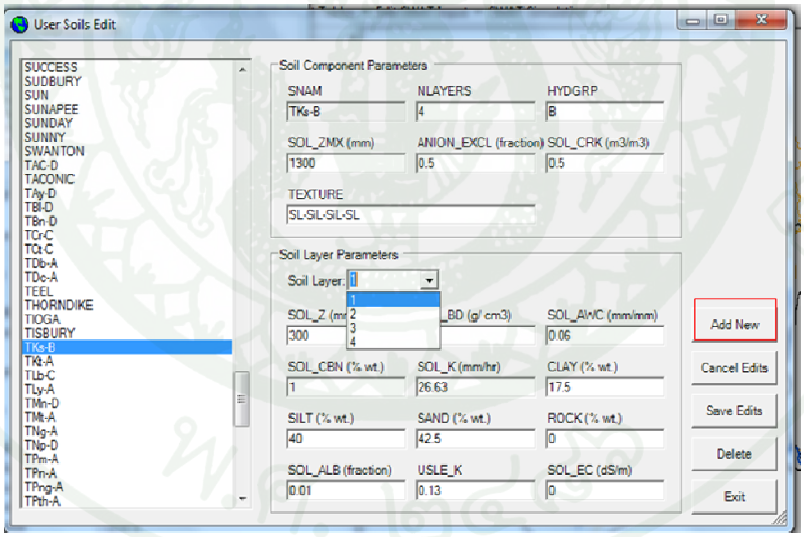
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 25 ขั้นตอนนำเข้าข้อมูลตาราง

3.4 การแก้ไขฐานข้อมูลนำเข้า SWAT (Edit SWAT Input)

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา ฐานข้อมูลของแบบจำลองจึงเป็นของประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนั้นเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย พารามิเตอร์บางอย่างจึงไม่มี จึงต้องทำการเพิ่มเข้าไปในฐานข้อมูล ซึ่งในการศึกษานี้ได้เพิ่มรายละเอียดคุณสมบัติของชนิดดินในพื้นที่ศึกษาลงไปในฐานข้อมูล SWA ดังภาพที่ 26

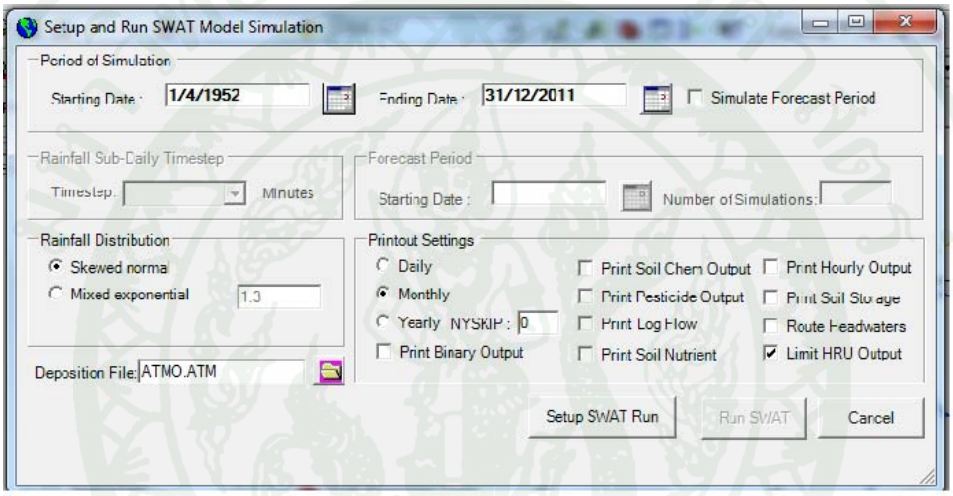


ภาพที่ 26 การแก้ไขฐานข้อมูลดิน SWAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.5 การรันแบบจำลอง SWAT (SWAT Simulation)

เมื่อการนำเข้าข้อมูล และการสั่งให้โปรแกรมเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลแล้ว ต่อไปจึงเป็นขั้นตอนการสั่งให้มีการคำนวณค่าต่าง ๆ จากข้อมูลที่นำเข้าไป ดังภาพที่ 27 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า เท่านั้น โดยประมวลผลเป็นรายวันเริ่มต้น วันที่ 1 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 1952 (พ.ศ. 2495) ถึง วันที่ 31 เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2011 (พ.ศ. 2554) รวมระยะเวลา 60 ปี แล้วให้ผลออกมาเพื่อนำมาสรุปเป็นรายเดือน



ภาพที่ 27 การ Run SWAT

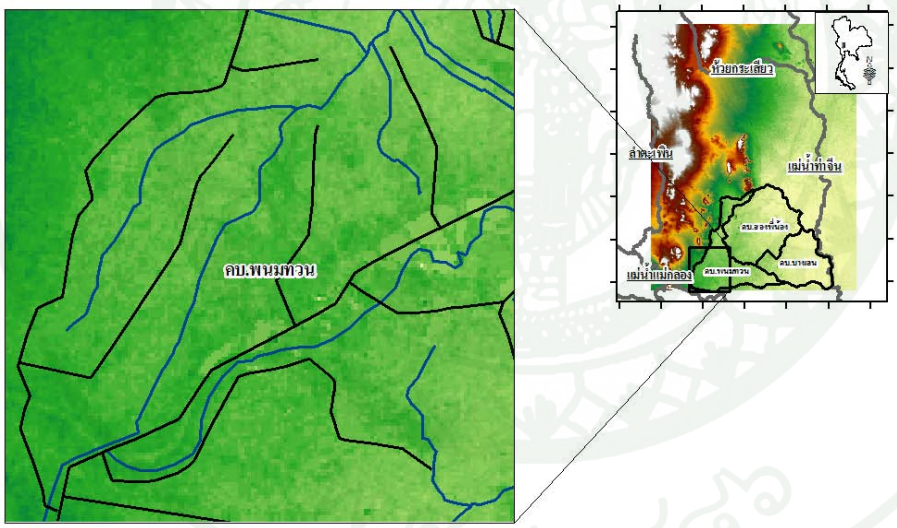
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การจำลองความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่าในพื้นที่ราบแม่น้ำท่าจีนด้วยแบบจำลอง SWAT ได้นำเสนอผลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ 2) การประเมินเส้นทางน้ำและขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ 3) การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT โดยอธิบายได้ดังนี้

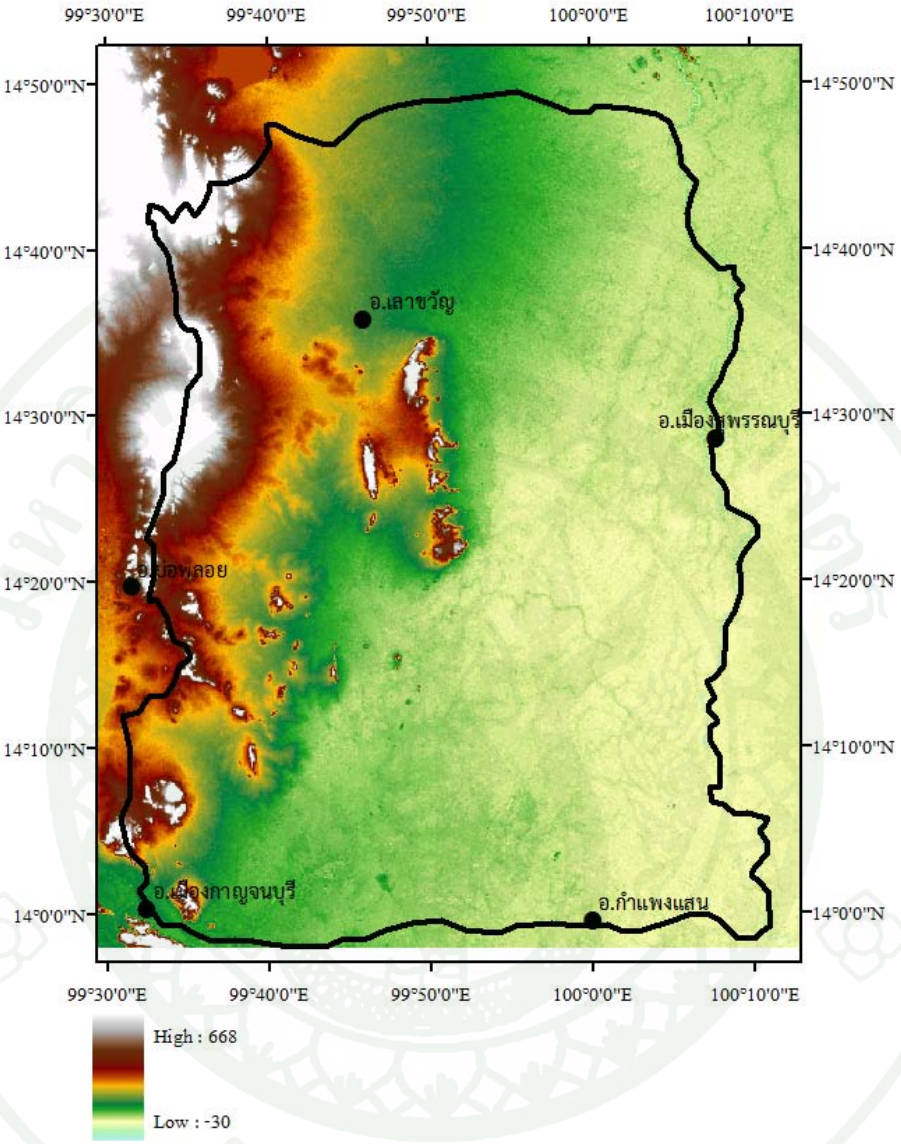
1. การวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ

การวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ ได้เลือกพื้นที่ราบบางส่วนของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี มาขยายเพื่อใช้อธิบายรายละเอียดของกริดเซลล์ โดยอยู่ในกรอบพื้นที่ศึกษาหลัก ดังภาพที่ 28 ซึ่งสภาพพื้นที่มีระดับความสูง (elevation) ใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 29 และมีความชันน้อย (slope) ดังภาพที่ 30



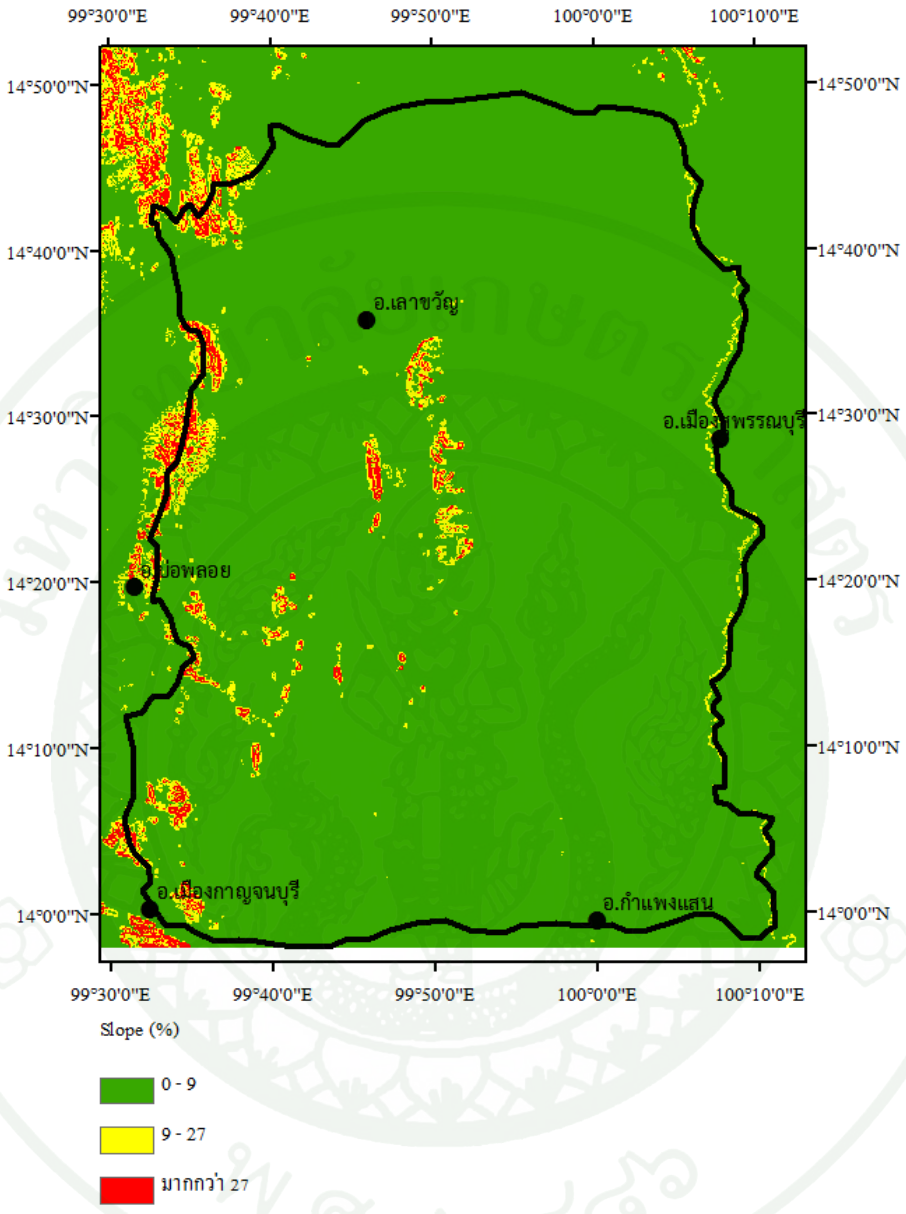
ภาพที่ 28 กรอบการขยายพื้นที่เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 29 ระดับความสูง (ม.รทก)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 30 ความชัน (slope)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Flow direction

การหาทิศทางการไหล (flow direction) เมื่อพิจารณาตามทิศทางตามสีของ Direction Cording พบว่า กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว มีทิศทางการไหลไม่สอดคล้องกับเส้นคลองระบายน้ำโดยมีทิศทางอิสระไปตามระดับปกติของข้อมูล DEM ดังภาพที่ 31 เพราะว่า DEM ไม่ได้ถูกปรับสภาพให้สอดคล้องกับพื้นที่ราบ

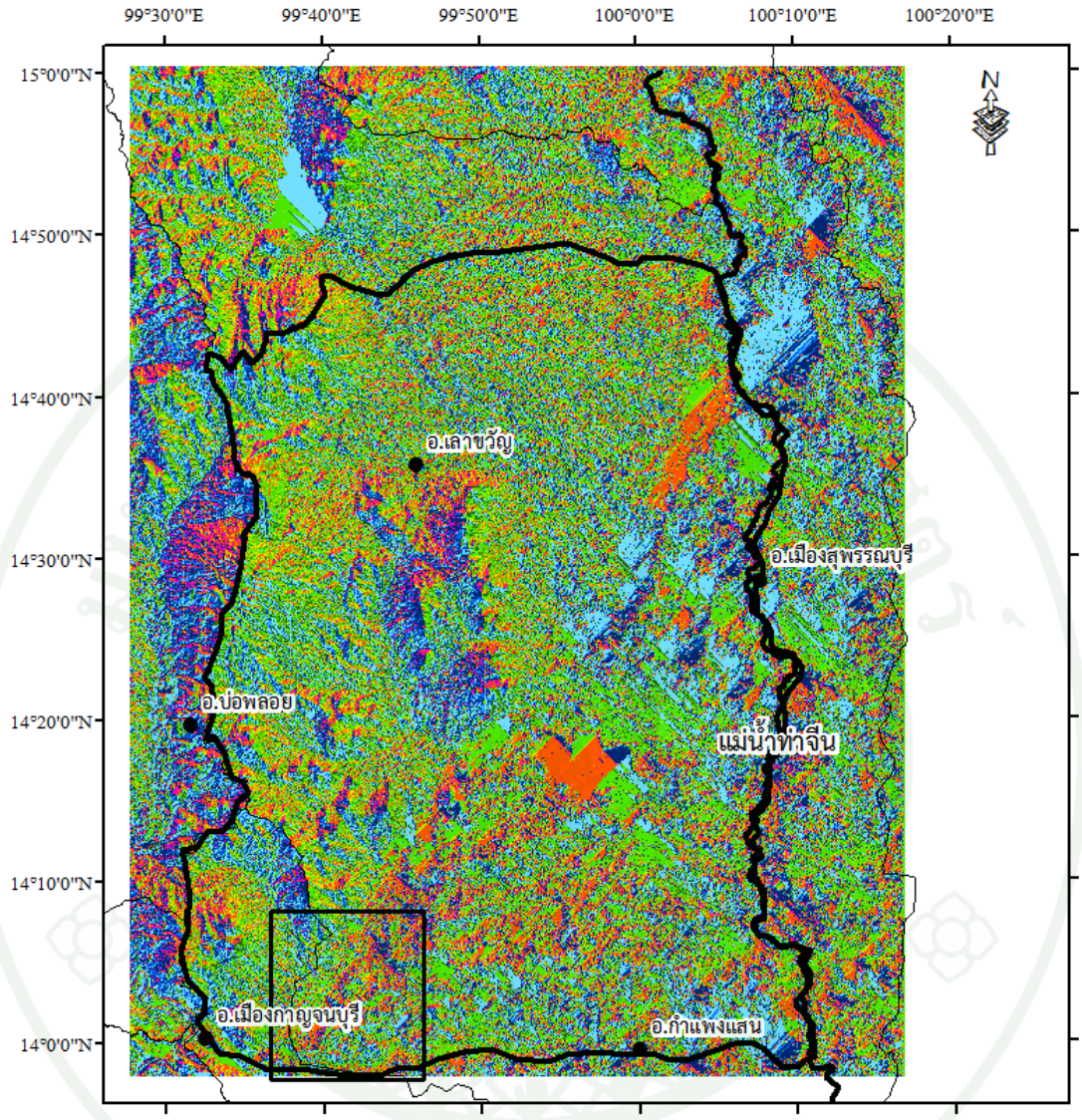
กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ ทิศทางการไหลส่วนมากมีแนวโน้มไปตามแนวคลองระบายน้ำและมีทิศทางไม่แน่นอนเมื่อเทียบจากแนวคลองส่งน้ำ เพราะว่า DEM ถูกปรับแก้ให้มีทิสทางไหลเข้าหาคลองระบายน้ำ ดังภาพที่ 32

กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำทิศทางการไหลมีทิศทางลาดออกจากแนวคลองส่งน้ำลงไปตามแนวคลองระบายน้ำเล็กน้อย เนื่องจากการปรับสภาพ DEM ใหม่ให้มีระดับสูงขึ้นตามคลองส่งน้ำ ดังภาพที่ 33

กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ ทิศทางการไหลมีทิศทางไหลออกจากเส้นคลองส่งน้ำลงไปยังแนวคลองระบายน้ำชัดเจนเพราะว่า DEM ถูกปรับสภาพทั้งยกระดับตามคลองส่งเพื่อมีความลาดชันเพิ่มขึ้นทำให้ทิศทางไหลลาดลงไปสู่จุดที่ถูกลดระดับลงด้วยคลองระบายน้ำ เนื่องจากดังภาพที่ 34

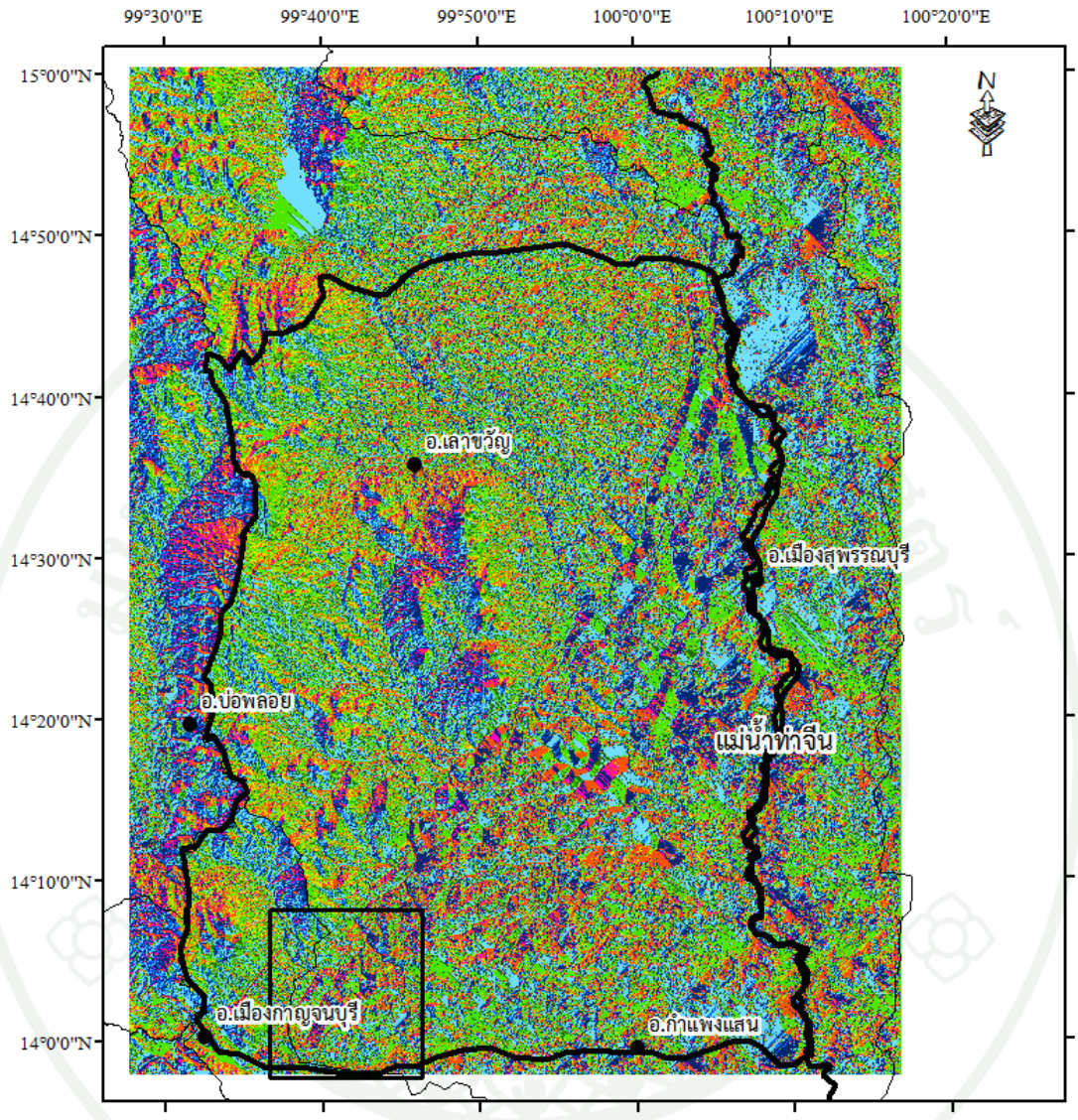
เมื่อนำทิศทางการไหลทั้ง 4 กรณี มาเปรียบเทียบกัน พบว่า กรณี a มีความแตกต่างจากกรณีอื่น ๆ มากที่สุดเมื่อพิจาราณาตามลักษณะของทิศทางการไหลไม่มีความสอดคล้องกับคลองส่งน้ำหรือคลองระบายน้ำเลย เพราะว่า DEM ไม่ได้ถูกปรับสภาพ ส่วนกรณี c มีความต่างตรงที่ทิศทางการไหลจะมีทิศทางออกจากคลองส่งน้ำอย่างเดียว ส่วนกรณี b และ d ทิศทางการไหลมีความคล้ายคลึงกันแต่กรณี d จะมีความชัดเจนมากกว่า ดังภาพที่ 35

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



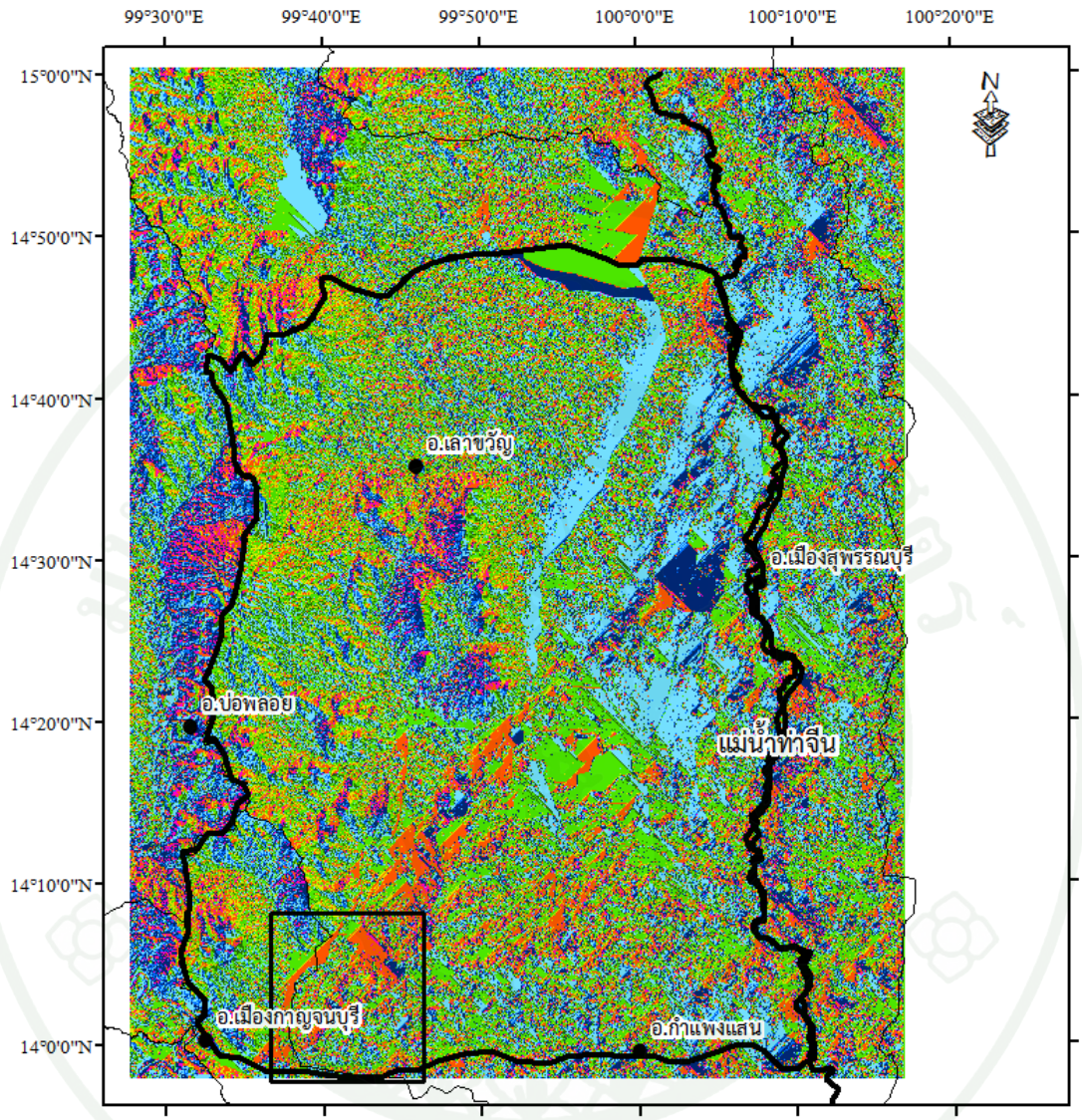
ภาพที่ 31 ทิศทางการไหล กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



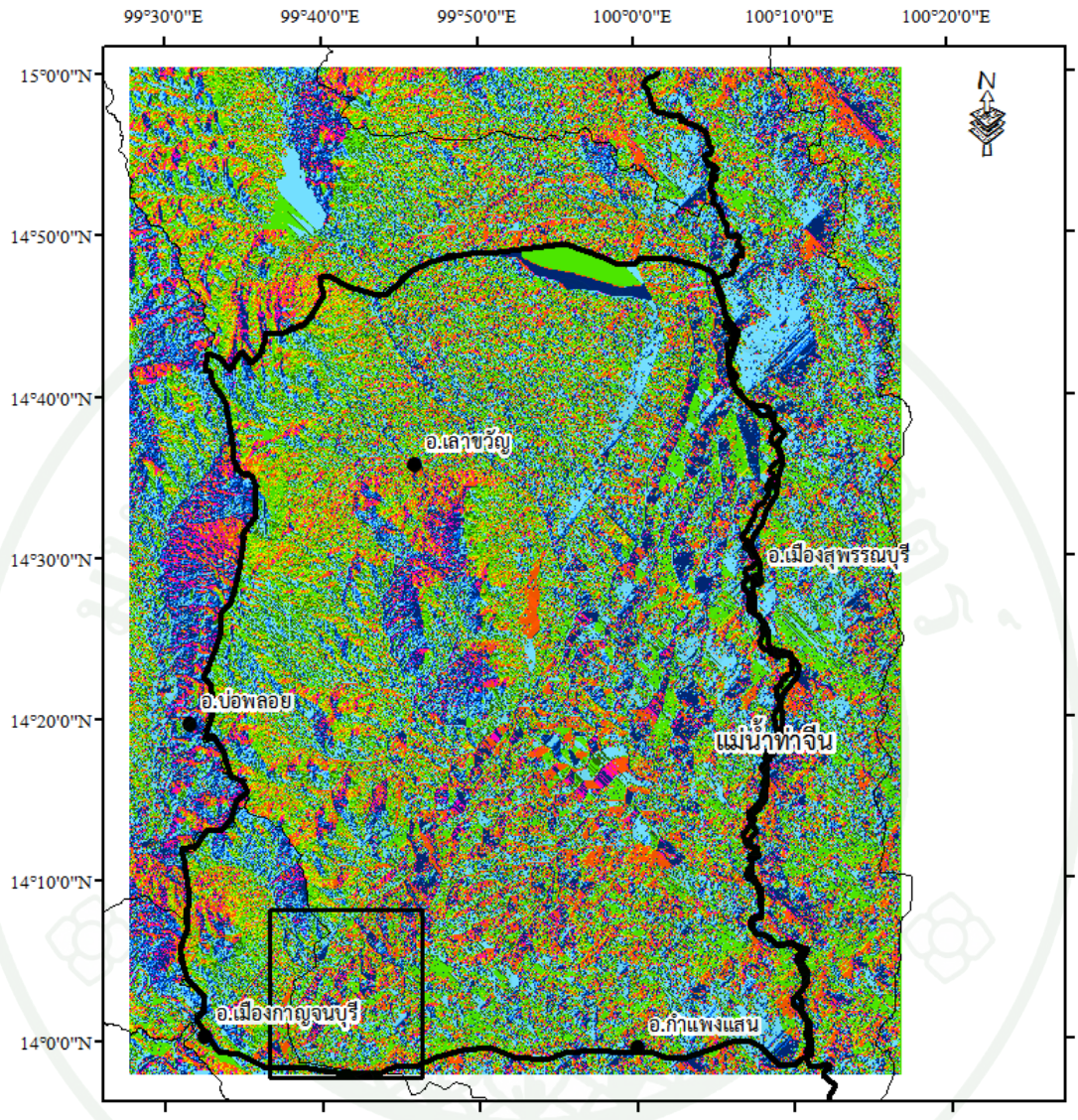
ภาพที่ 32 ทิศทางการไหล กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



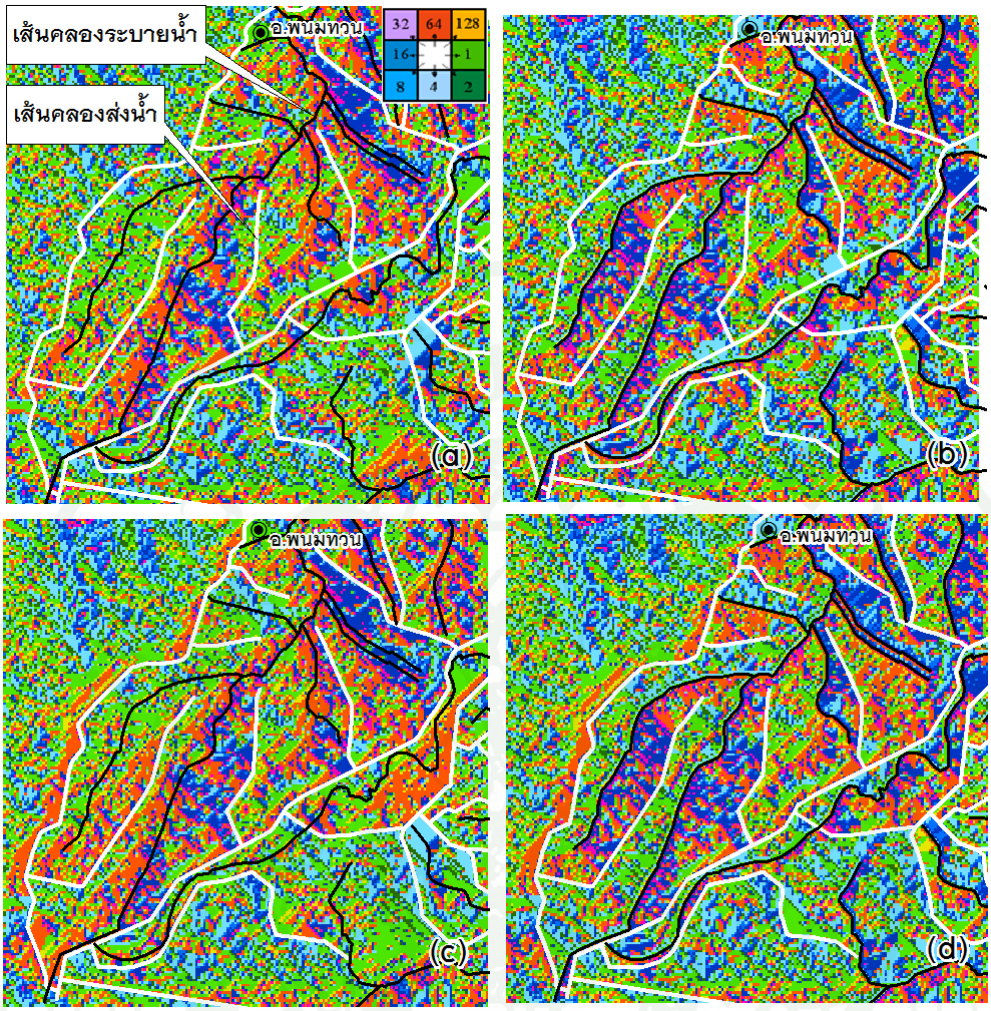
ภาพที่ 33 ทิศทางการไหล กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 34 ทิศทางการไหล กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 35 ทิศทางการไหล (flow direction) เปรียบเทียบกัน 4 กรณี (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Flow accumulation

การไหลสะสม (flow accumulation) เมื่อพิจารณาการไหลสะสมรวมของ flow direction จนเกิดเป็นเส้นทางน้ำ พบว่ากรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว เส้นทางไหลของน้ำมีความคลาดเคลื่อนจากคลองระบายน้ำมากและมีบางเส้นไหลข้ามแนวคลองส่งน้ำ ดังภาพที่ 36

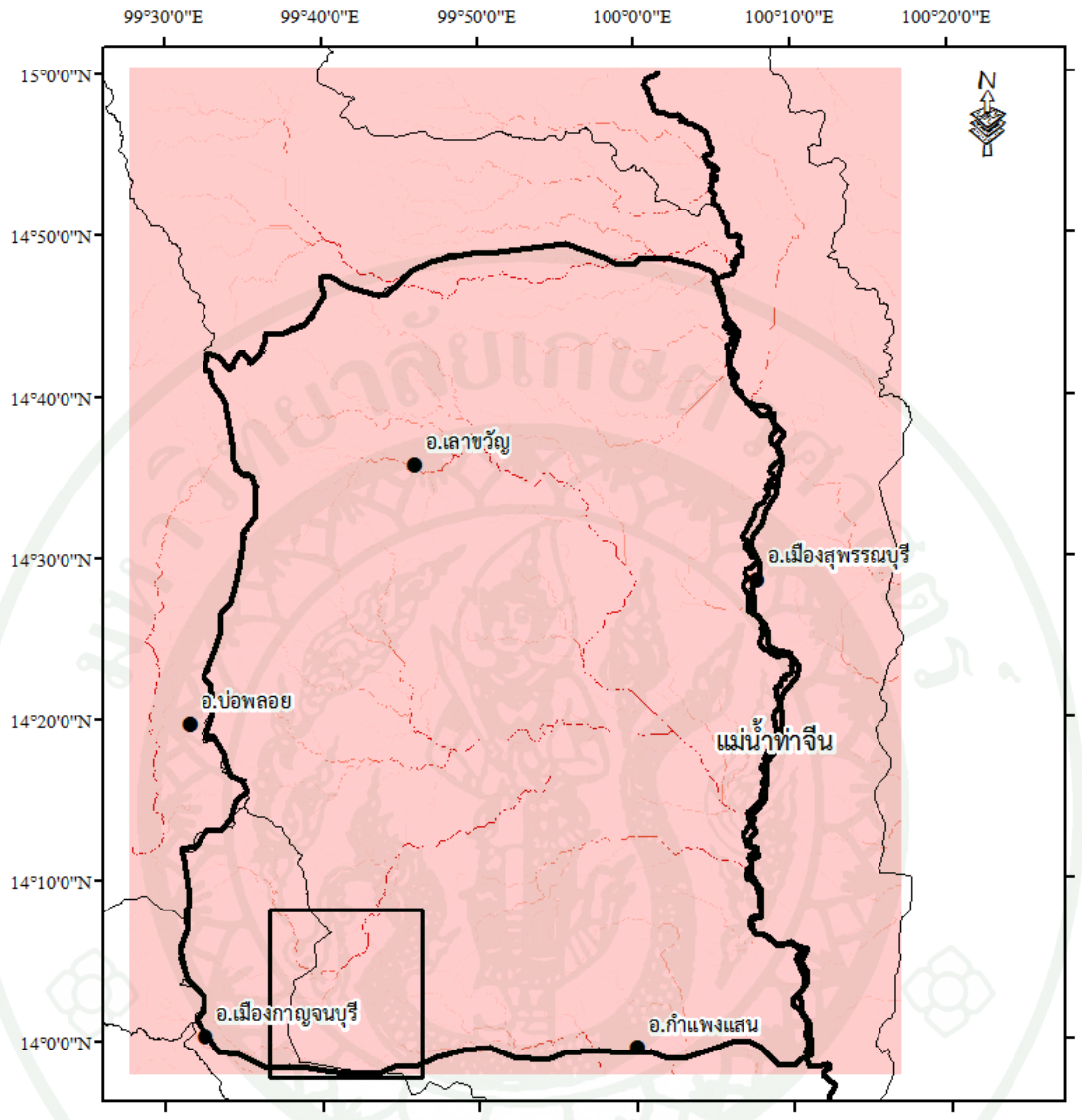
กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ เส้นทางการไหลของน้ำมีทิศทางสอดคล้องกับแนวคลองระบายน้ำมากขึ้นแต่มีเส้นทางการไหลบางส่วนที่ไหลข้ามแนวคลองส่งน้ำ เนื่องจากระดับกริดเดิมของ DEM ถูกปรับสภาพลดลงตามคลองระบายน้ำ ดังภาพที่ 37

กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ เส้นทางการไหลของน้ำไม่สอดคล้องตามแนวคลองระบายน้ำแต่ไม่มีเส้นทางการไหลของน้ำข้ามแนวคลองส่งน้ำ เนื่องจากระดับกริดเดิมของ DEM ถูกปรับสภาพเพิ่มขึ้นตามคลองระบายน้ำ ดังภาพที่ 38

กรณี d ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ เส้นทางการไหลของน้ำสอดคล้องตามแนวคลองระบายน้ำชัดเจนโดยไม่มีเส้นทางการไหลข้ามแนวคลองส่งน้ำ เนื่องจากระดับกริดเดิมของ DEM ถูกปรับสภาพเพิ่มขึ้นตามคลองระบายน้ำดังภาพที่ และปรับลดระดับกริดตามคลองระบายน้ำ ดังภาพที่ 39

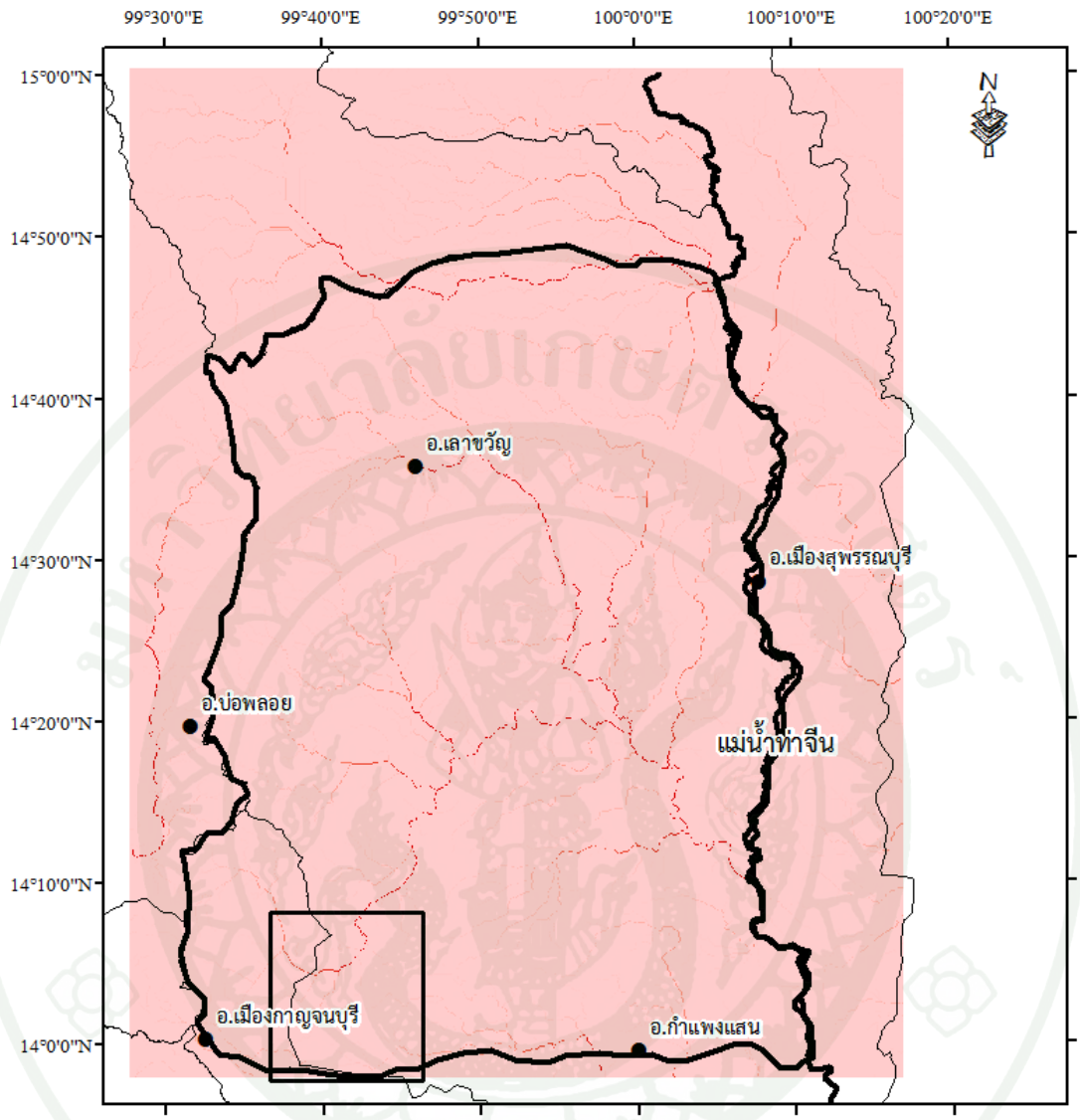
เมื่อนำการไหลสะสม ทั้ง 4 กรณี มาเปรียบเทียบกัน พบว่า กรณี a มีความแตกต่างจากกรณีอื่น ๆ มากที่สุดเมื่อพิจาราณาตามลักษณะการไหลสะสม ไม่มีความสอดคล้องกับกรณีอื่น ๆ เลย เพราะว่า DEM ไม่ได้ถูกปรับสภาพทำให้ flow direction ไม่สามารถไหลรวมได้คล้อยตามคลองระบายน้ำเหมือนกรณีอื่น ส่วนกรณี c มีความต่างตรงที่การไหลสะสมจะมีทิศทางออกจากคลองส่งน้ำอย่างเดียว ส่วนกรณี b และ d การไหลสะสมมีความคล้ายคลึงกันแต่กรณี d จะมีความชัดเจนเพราะไม่ไหลข้ามคลองส่งน้ำ ดังภาพที่ 40

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



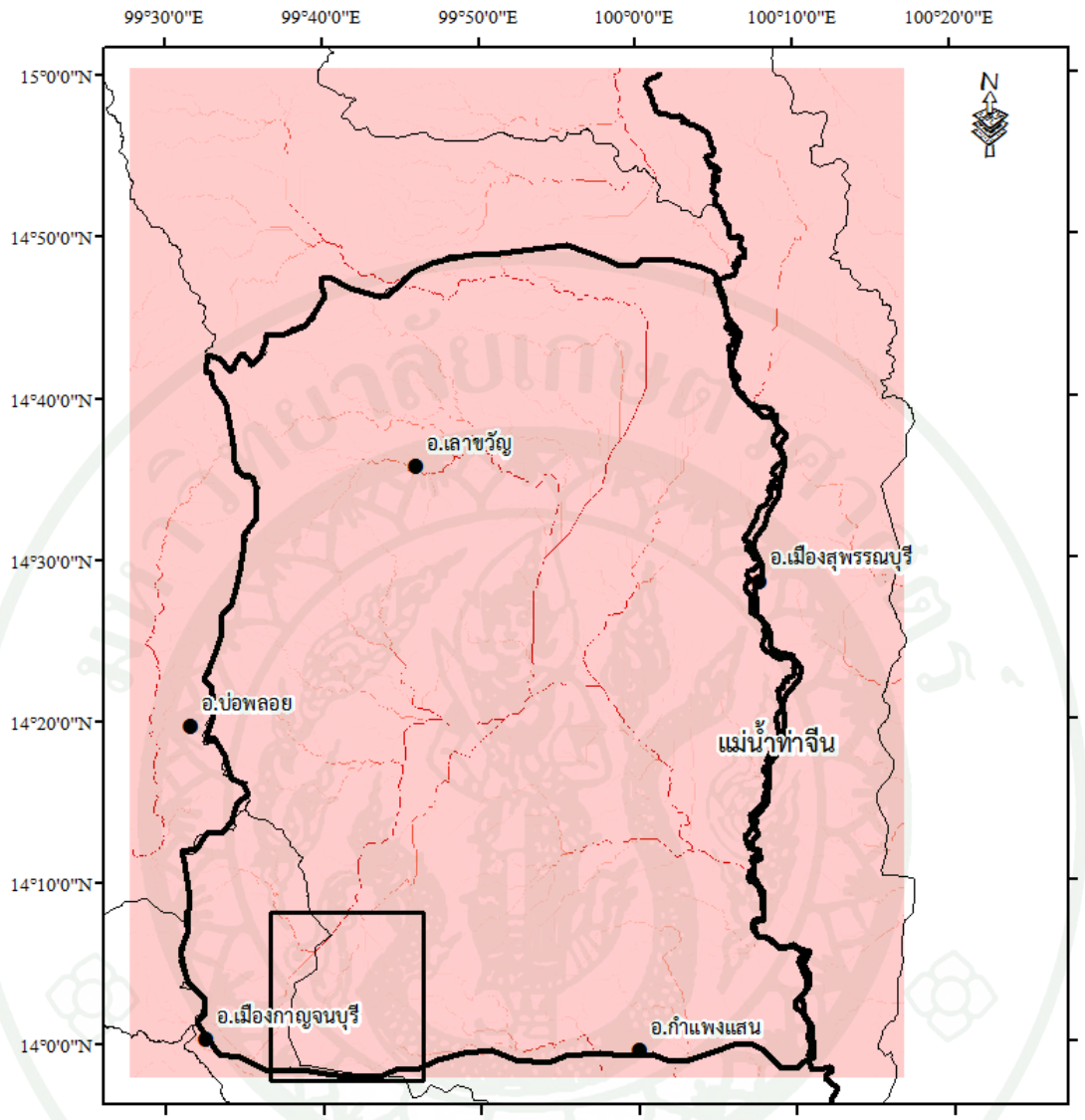
ภาพที่ 36 การไหลสะสม กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



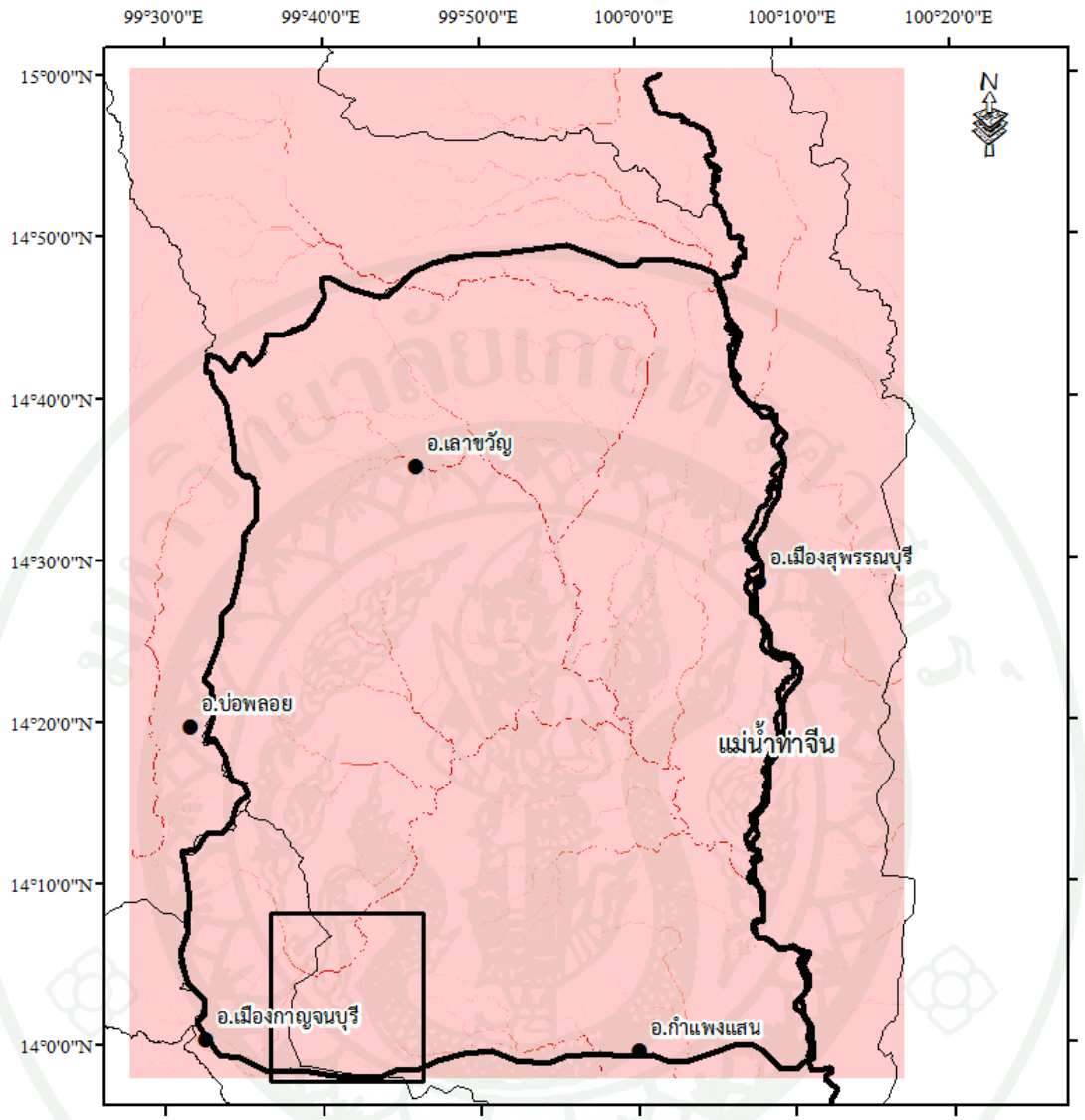
ภาพที่ 37 การไหลสะสม กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



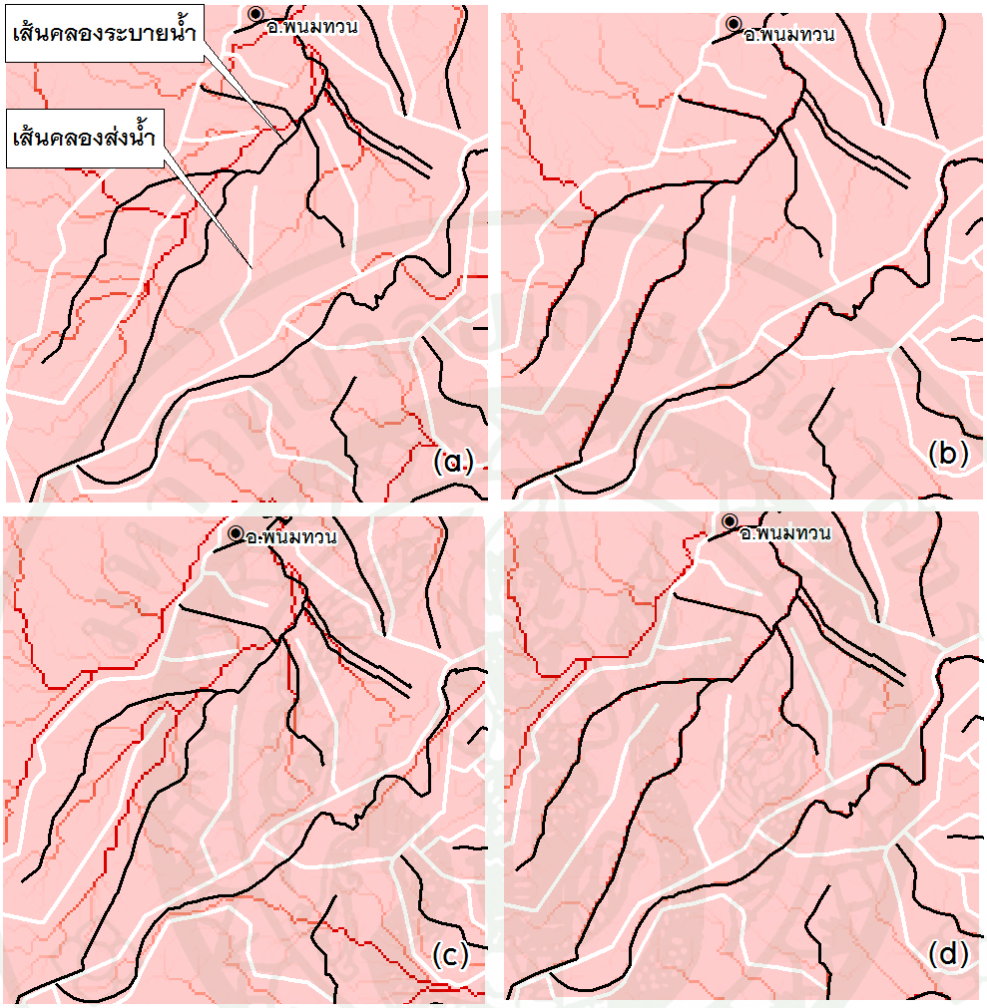
ภาพที่ 38 การไหลสะสม กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 39 การไหลสะสม กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 40 การไหลสะสม (flow accumulation) เปรียบเทียบกัน 4 กรณี (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การประเมินเส้นทางน้ำและขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ

2.1) เส้นทางน้ำ

การศึกษาเส้นทางน้ำได้พิจารณาตามกรอบของพื้นที่ศึกษาหลัก โดยพิจารณาตามเงื่อนไขของสภาพพื้นที่จริงที่มีความซับซ้อน เช่น จุดที่คลองส่งน้ำตัดลอดผ่านทางน้ำธรรมชาติ จุดออกของเส้นทางน้ำที่ระบายส่งแม่น้ำท่าจีน เป็นต้น โดยพบว่า เส้นทางน้ำกรณี a ซึ่งใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว ไม่มีความสอดคลองตามคลองระบายน้ำและทางน้ำธรรมชาติ-อีกทั้งไม่สามารถกำหนดจุดออกของเส้นทางน้ำให้มีตำแหน่งตรงตามความเป็นจริงได้ เพราะว่าเส้นทางน้ำไม่ไหลรวมมาลงที่จุดออกแม่น้ำท่าจีนได้ แต่ลักษณะการระบายน้ำมีทิศทางไหลลงแม่น้ำท่าจีน ดังภาพที่ 41

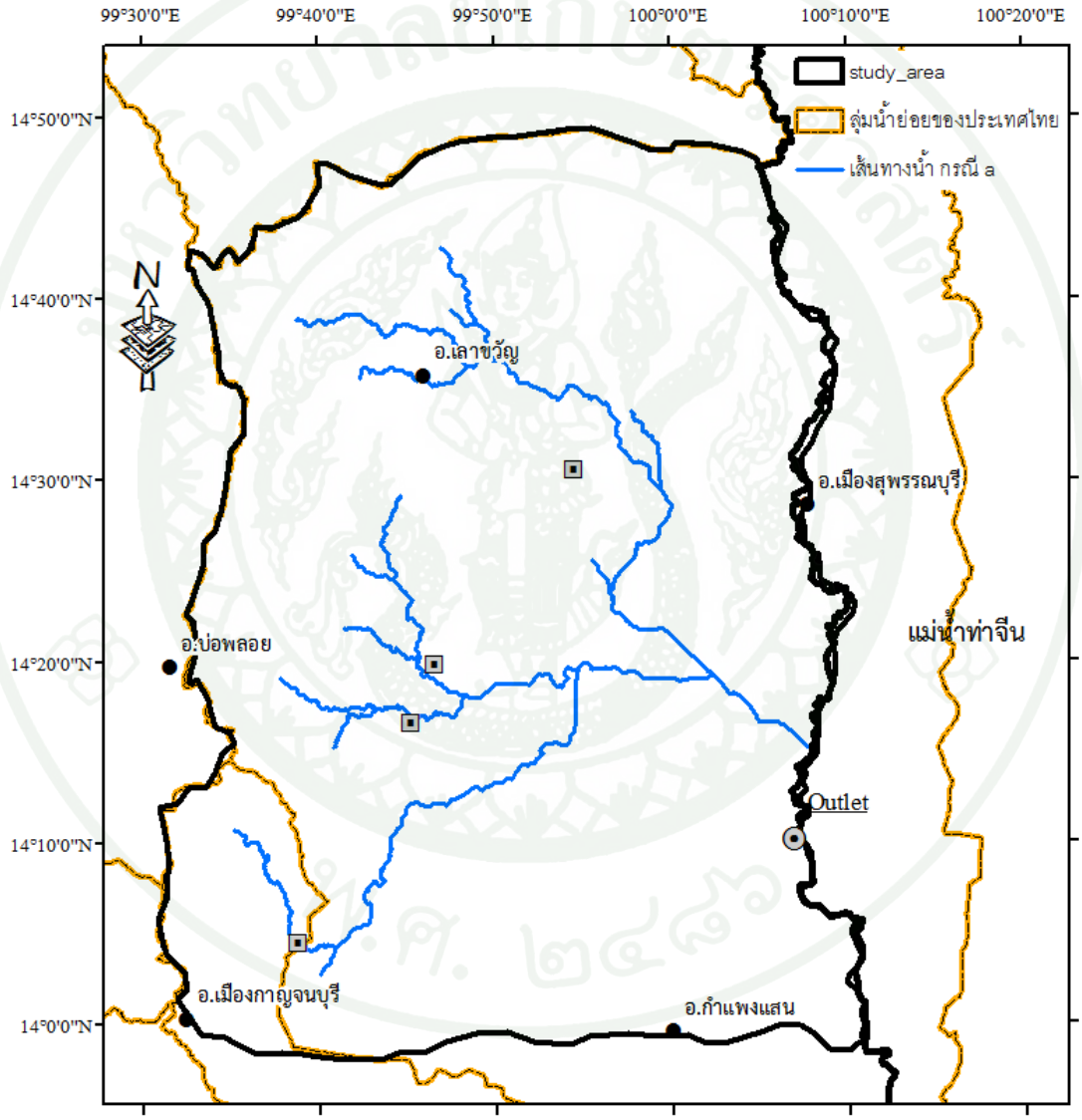
กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ สามารถกำหนดจุดออกลำน้ำในแบบจำลอง SWAT ได้ตรงตำแหน่งตามความเป็นจริงและลักษณะการระบายน้ำมีทิศทางไหลลงลุ่มน้ำท่าจีนชัดเจน เส้นทางน้ำส่วนมากมีแนวโน้มไปตามแนวคลองระบายน้ำ แต่ยังมีความคลาดเคลื่อน ณ จุดที่คลองส่งน้ำลอดผ่านทางน้ำธรรมชาติ ดังภาพที่ 42

กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ การกำหนดตำแหน่งจุดออกลำน้ำสามารถทำได้ค่อนข้างใกล้เคียงความเป็นจริง ส่วนลักษณะการระบายน้ำมีทิศทางไหลลงลุ่มน้ำท่าจีน โดยเส้นทางน้ำในเขตพื้นที่ลาดเชิงเขาสอดคล้องตามความเป็นจริงตามร่องน้ำธรรมชาติ ส่วนในเขตพื้นที่ราบลุ่มเส้นทางน้ำที่รับน้ำจากเขตที่ลาดเชิงเขาบางสายไม่สามารถระบายลงสู่คลองระบายจรเข้สามพันได้ตามสภาพจริง เนื่องจากไม่สามารถไหลผ่านคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้าย (1L) ได้ ทำให้เส้นทางน้ำไม่ไหลผ่านฝายยางที่เป็นจุดตรวจวัดน้ำท่าคลองระบายน้ำจระเข้สามพันและจุดที่คลองส่งน้ำตัดลอดทางน้ำธรรมชาติ ดังภาพที่ 43

กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำการกำหนดจุดออกลำน้ำและลักษณะทิศทางการระบายน้ำรวมทั้งเส้นทางน้ำในเขตพื้นที่ลาดเชิงเขามีผลลัพธ์สอดคล้องตามความเป็นจริงคล้ายกับ กรณี b แต่แม่นยำเชิงตำแหน่งมากกว่า ส่วนในเขตพื้นที่ราบลุ่มเส้นทางน้ำส่วนมากมีแนวโน้มไปตามแนวคลองระบายน้ำซึ่งสามารถไหลผ่านจุดที่คลองส่งน้ำตัดลอดทางน้ำธรรมชาติคลองระบายน้ำต่อเนื่องไปถึงจุดตรวจวัดน้ำท่า ดังภาพที่ 44

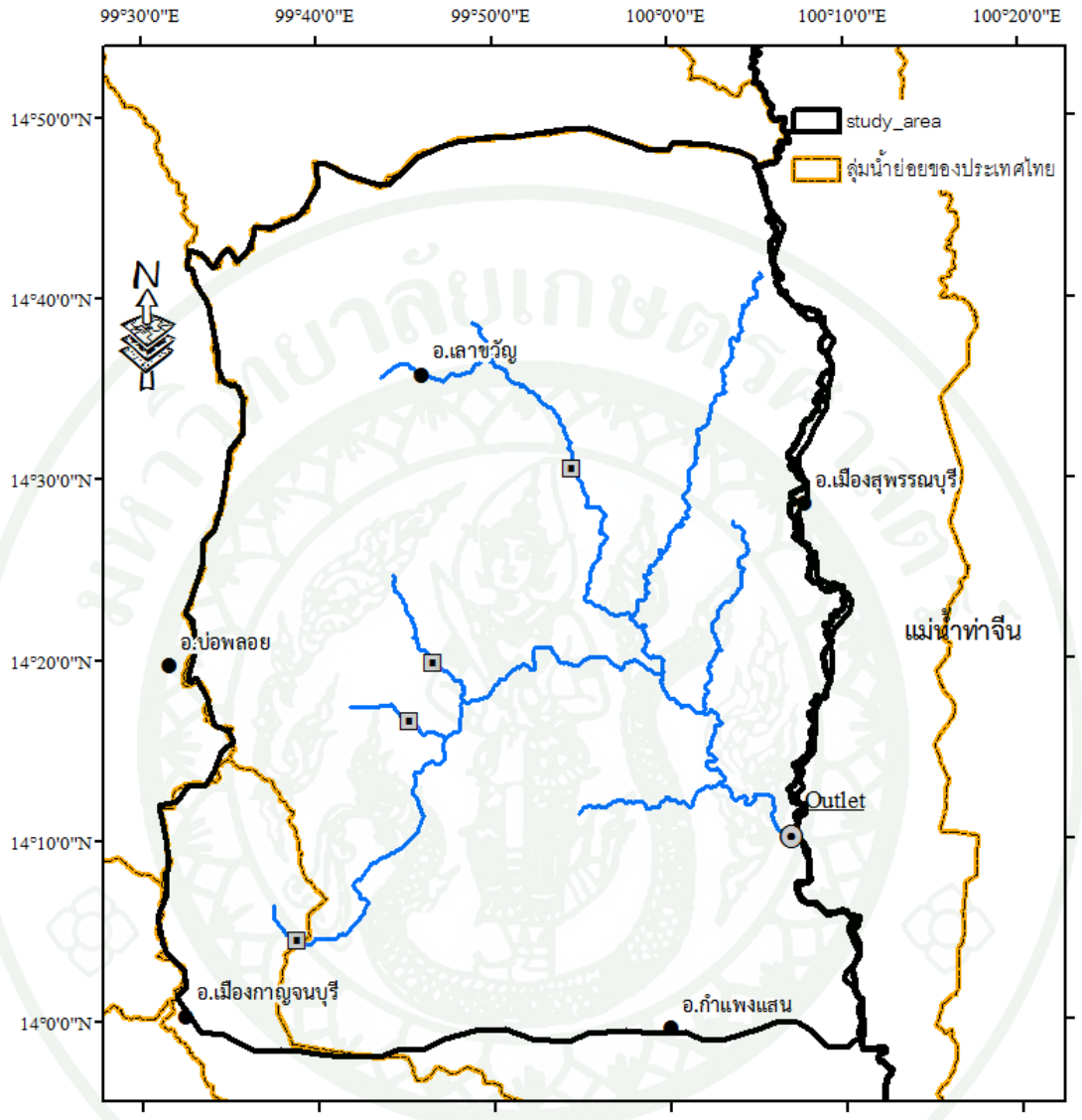
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อเปรียบเทียบเส้นทางน้ำ 4 กรณี ดังภาพที่ 45 พบว่า เส้นทางน้ำทุกกรณีมีทิศทางลักษณะระบายลงแม่น้ำท่าจีน แต่ในกรณี a และกรณี c มีความแตกต่างจากกรณี b และกรณี d เนื่องจากมีจุดออกที่จุดลงแม่น้ำไม่ตรงตามสภาพความเป็นจริง ถ้าพิจารณาจุดคลองส่งน้ำลอดผ่านทางน้ำธรรมชาติเมื่อเทียบทุกกรณีกับกรณี d พบว่า กรณี b มีความใกล้เคียงที่สุดเนื่องจากกรณี b และกรณี d ข้อมูล DEM ถูกปรับสภาพด้วยคลองระบายน้ำเหมือนกัน



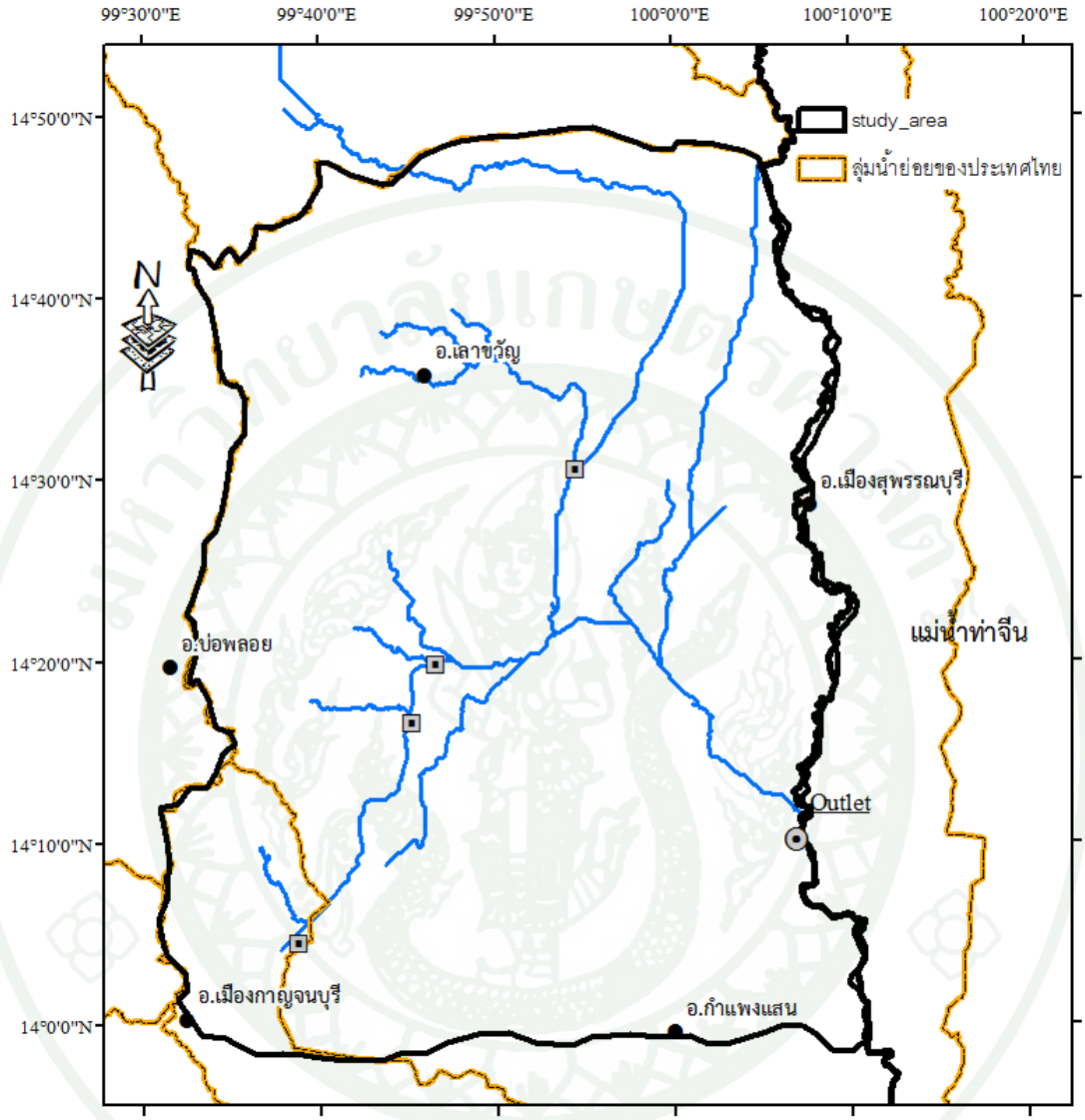
ภาพที่ 41 เส้นทางน้ำกรณี a ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



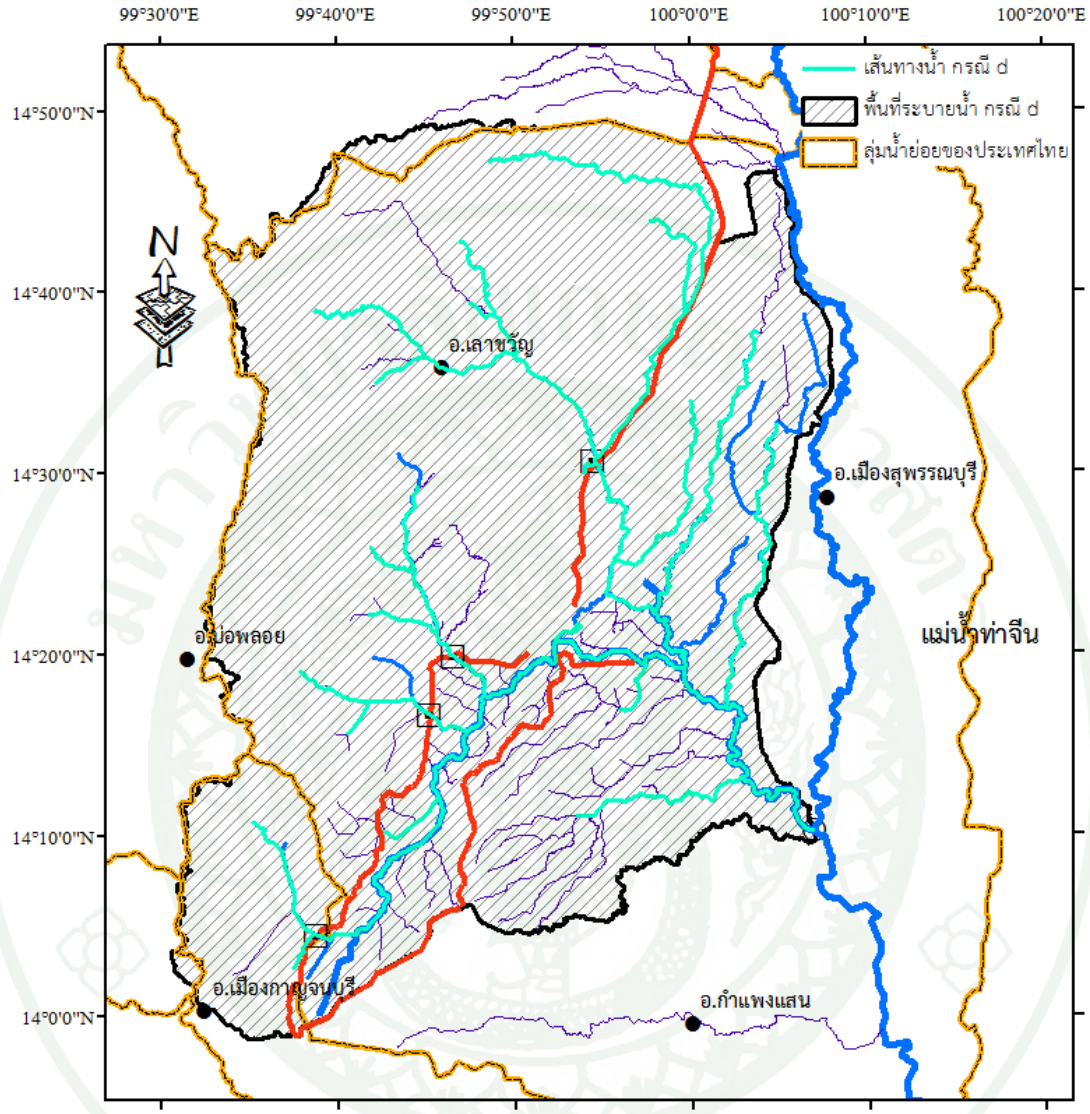
ภาพที่ 42 เส้นทางน้ำกรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



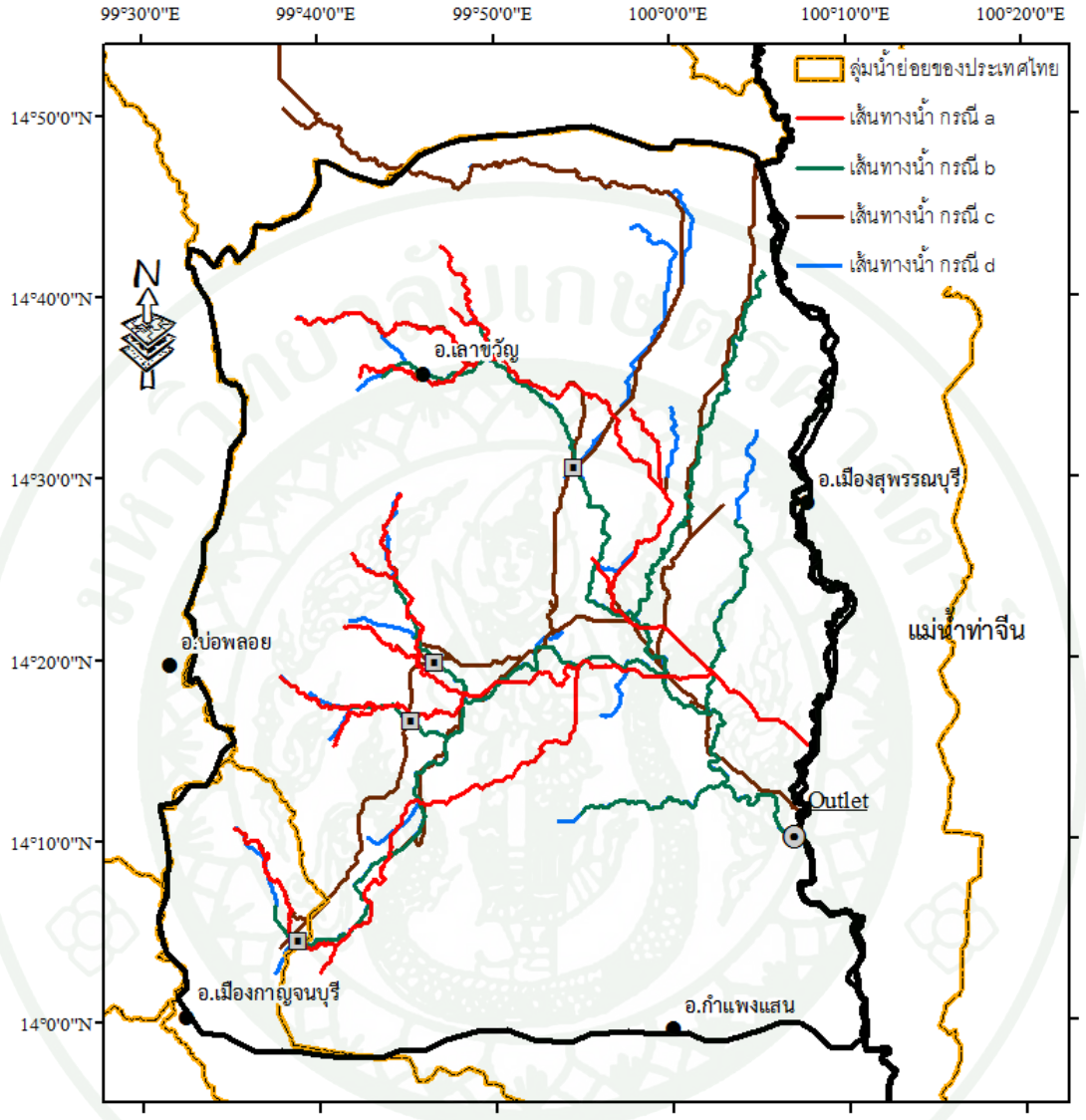
ภาพที่ 43 เส้นทางน้ำกรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 44 เส้นทางน้ำกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 45 เส้นทางน้ำเปรียบเทียบกัน 4 กรณี (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2) ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ (Drainage Area)

ขอบเขตพื้นระบายน้ำเมื่อพิจารณาตามเส้นขอบเขตลุ่มน้ำย่อยของประเทศไทย พบว่า กรณี a มีความแตกต่างจากสภาพความเป็นจริง เพราะในเขตพื้นที่ราบขอบเขตการระบายน้ำไม่มีความสอดคล้องตามเส้นขอบเขตลุ่มน้ำย่อยของประเทศไทยและมีขนาดที่เล็กกว่า ดังภาพที่ 46 กรณี b มีความใกล้เคียงบางส่วน เพราะในเขตพื้นที่ราบขอบเขตการระบายน้ำมีแนวคล้อยตามเส้นขอบเขตลุ่มน้ำย่อยของประเทศไทย ดังภาพที่ 47 กรณี c มีความแตกต่างจากสภาพความเป็นจริงมาก เพราะในเขตพื้นที่ราบขอบเขตการระบายน้ำไม่มีสอดคล้องตามเส้นขอบเขตลุ่มน้ำย่อยของประเทศไทยและมีขนาดใหญ่กว่า ดังภาพที่ 48 และกรณี d มีความสอดคล้องตามสภาพความเป็นจริงที่สุด เพราะขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำมีความสอดคล้องกันกับขอบเขตลุ่มน้ำย่อยของประเทศไทยกันมากที่สุด ดังภาพที่ 49

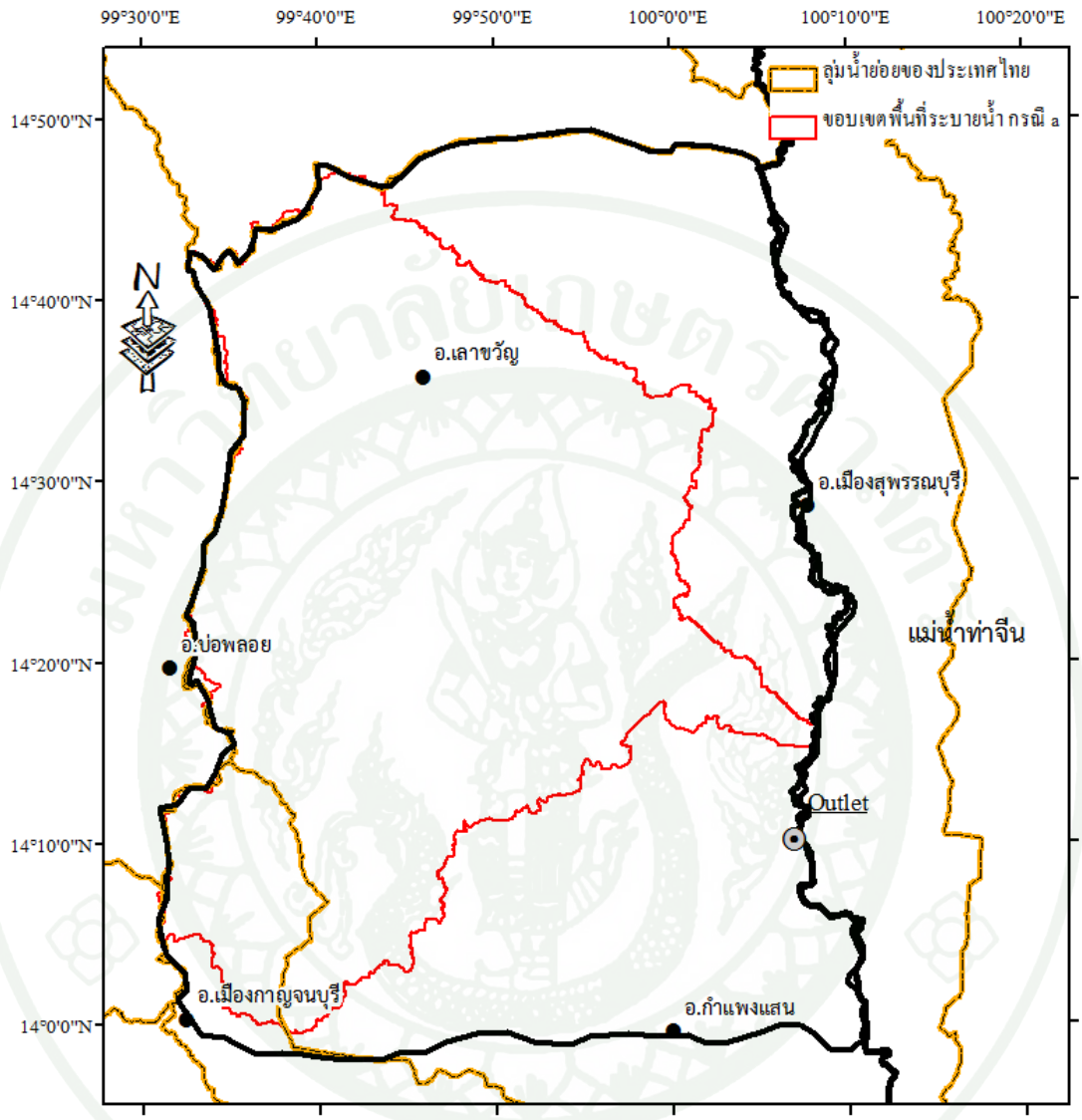
เมื่อเปรียบเทียบขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำทั้ง 4 กรณี พบว่า ฝั่งเทือกเขาทางทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำทั้ง 4 กรณี มีทิศทางสอดคลองตามความเป็นจริงคือมีแนวโน้มตามเส้นแบ่งลุ่มน้ำย่อยของประเทศไทย แต่เมื่อพิจารณาฝั่งพื้นที่ราบโครงการชลประทาน กรณี d แตกต่างจากกรณีอื่น ๆ เพราะสามารถกำหนดขอบเขตได้สอดคล้องตามความเป็นจริง คือมีแนวโน้มสอดคล้องตามเส้นแบ่งลุ่มน้ำย่อยประเทศไทย ดังภาพที่ 50

ขอบเขตการระบายน้ำเมื่อพิจารณาเป็นขนาดพื้นที่ พบว่ากรณี c มีพื้นที่ระบายน้ำมากที่สุด คือประมาณ 4,944 ตารางกิโลเมตร ตามมาด้วยกรณี b และกรณี d ซึ่งมีขนาดพื้นที่ระบายน้ำใกล้เคียงกันคือประมาณ 4,319 และ 4,528 ตารางกิโลเมตร ส่วนกรณี a มีพื้นที่ระบายน้ำน้อยที่สุด คือประมาณ 3,154 ตารางกิโลเมตร โดยมีขนาดพื้นที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 พื้นที่ระบายน้ำของการกำหนด DEM 4 กรณี

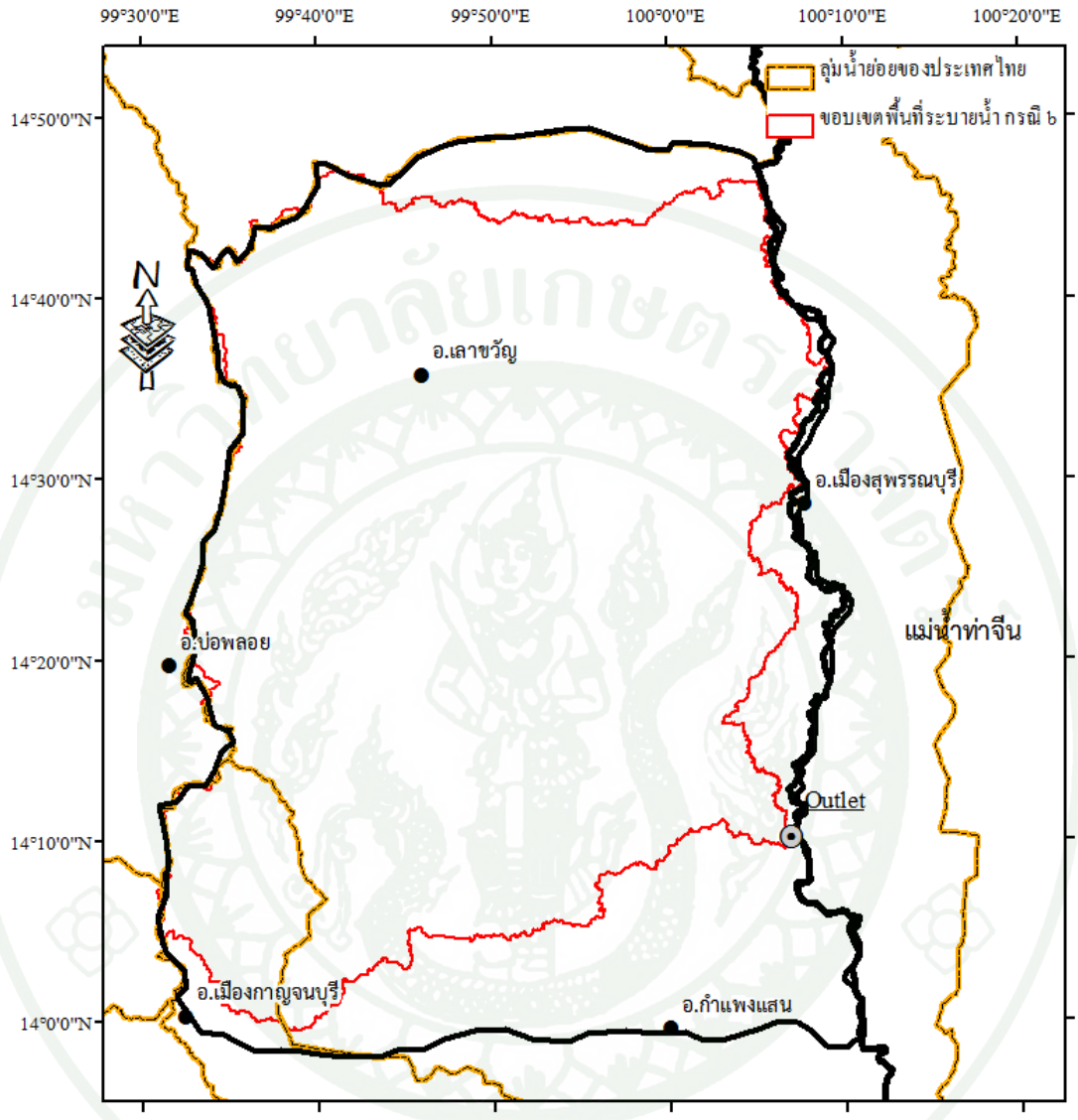
ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ	ขนาดพื้นที่ระบายน้ำ (ตารางกิโลเมตร)
กรณี a	3,154
กรณี b	4,319
กรณี c	4,944
กรณี d	4,528

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



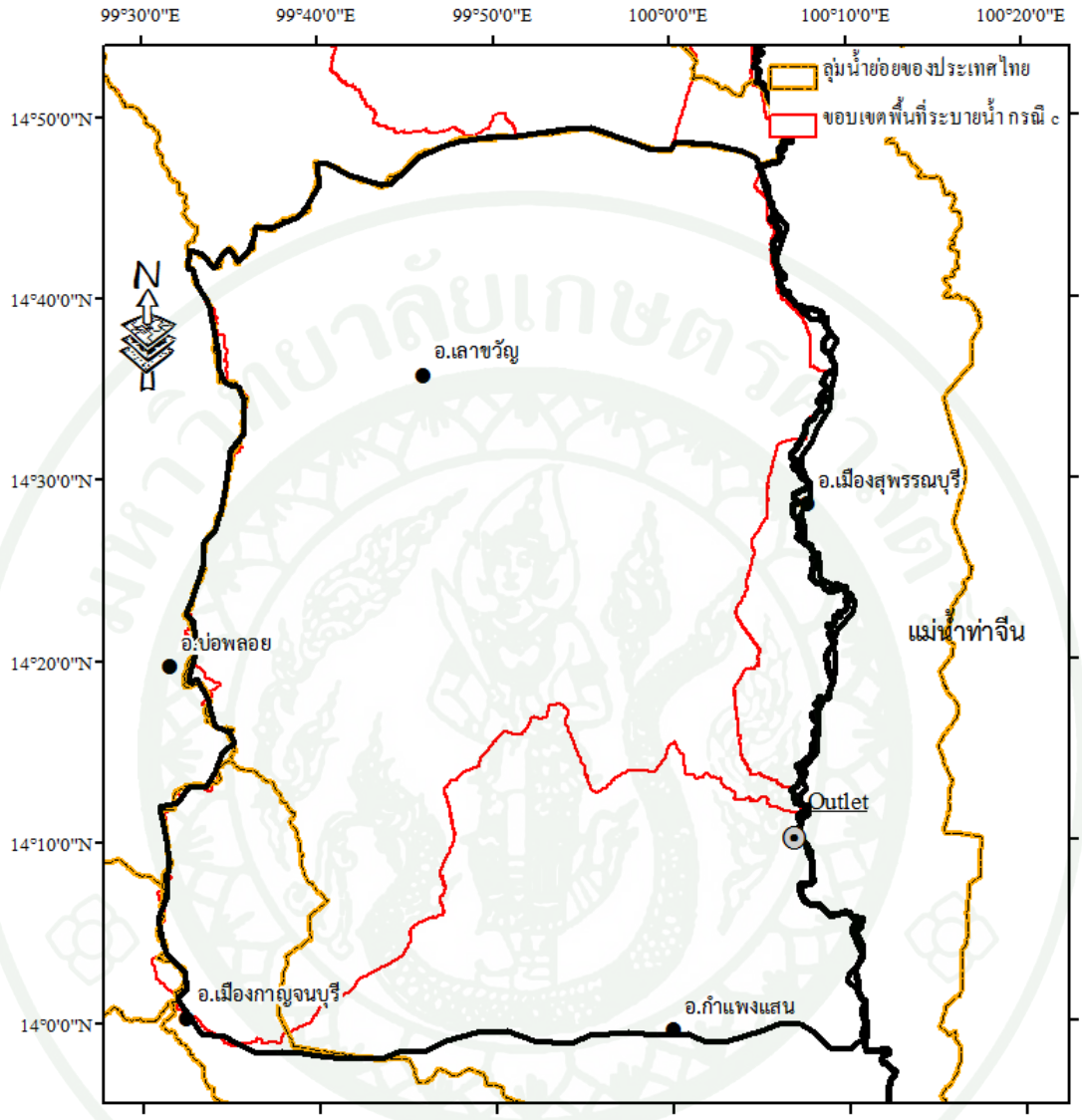
ภาพที่ 46 ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ กรณี a ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



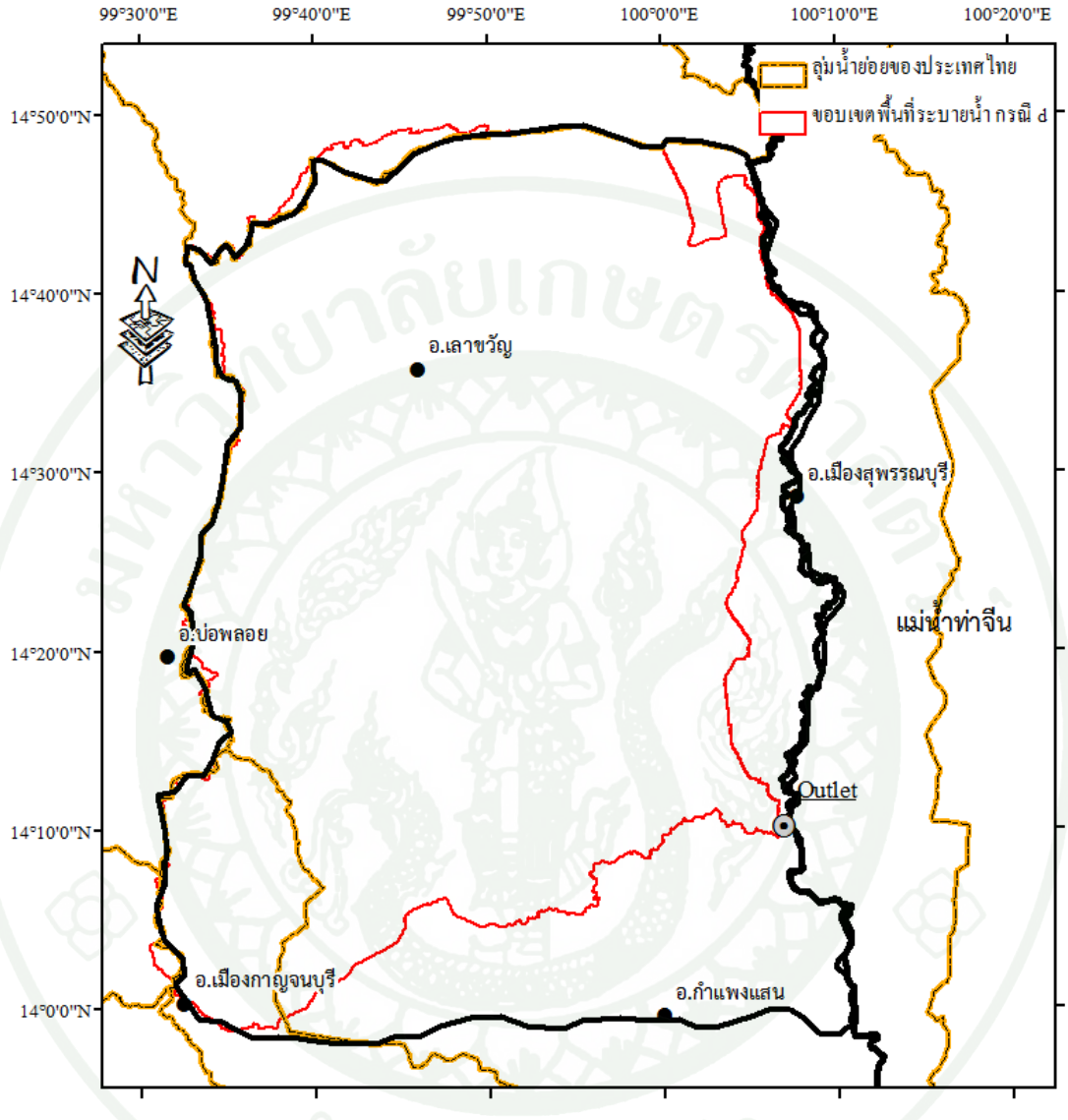
ภาพที่ 47 ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



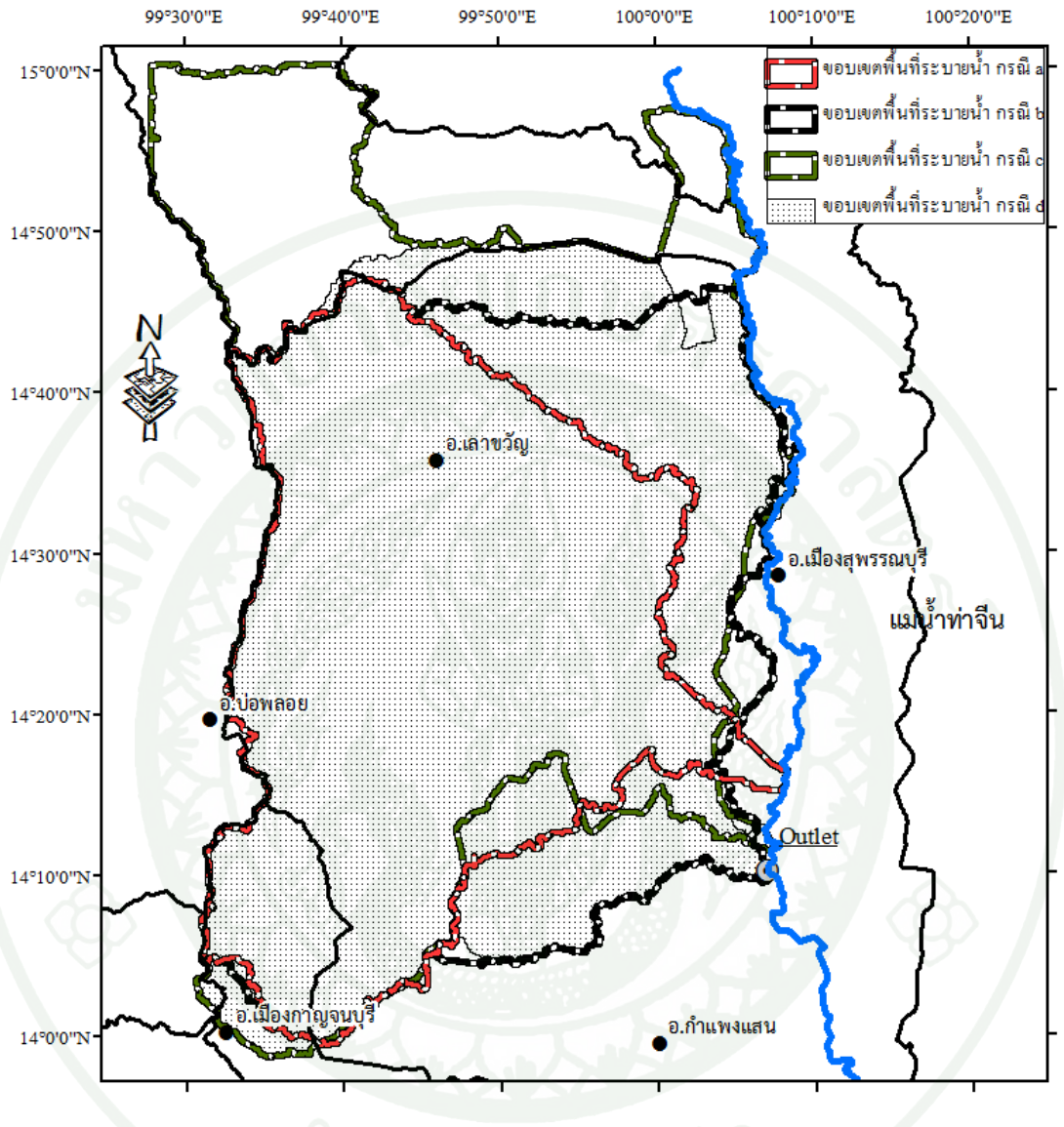
ภาพที่ 48 ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 49 ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 50 ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำเปรียบเทียบกัน 4 กรณี (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3) การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT 4 กรณี คือ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ พบว่า เมื่อพิจารณาในเชิงความลึกปริมาณน้ำท่าที่ได้จะไม่มีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 7 แต่เมื่อพิจารณาในเชิงปริมาตรค่าน้ำท่าที่ได้มีความแตกต่างกัน คือ กรณี c มีปริมาตรมากที่สุด เนื่องจากพื้นที่ระบายน้ำมีขนาดใหญ่ที่สุด กรณี b, d น้ำท่ามีปริมาตรใกล้เคียงกัน เนื่องจากพื้นที่ระบายน้ำมีขนาดใกล้เคียงกัน และกรณี a มีปริมาตรน้อยที่สุด เนื่องจากพื้นที่ระบายน้ำมีขนาดเล็กที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนเชิงความลึกน้ำ (มิลลิเมตร)

เดือน	ปริมาณน้ำท่า			
	กรณี a	**กรณี b**	**กรณี c**	**กรณี d**
มกราคม	0.39	0.40	0.32	0.34
กุมภาพันธ์	1.59	1.66	1.66	1.67
มีนาคม	3.17	3.19	3.24	3.24
เมษายน	4.71	4.81	4.49	4.48
พฤษภาคม	13.46	13.43	13.45	13.36
มิถุนายน	9.71	9.75	9.45	9.51
กรกฎาคม	14.92	15.15	14.49	14.64
สิงหาคม	15.18	15.29	15.39	15.40
กันยายน	49.05	49.69	49.33	49.92
ตุลาคม	48.23	48.56	49.36	49.39
พฤศจิกายน	9.75	9.78	9.63	9.66
ธันวาคม	1.22	1.24	0.99	1.05
รวม	**14.28**	**14.41**	**14.32**	**14.39**

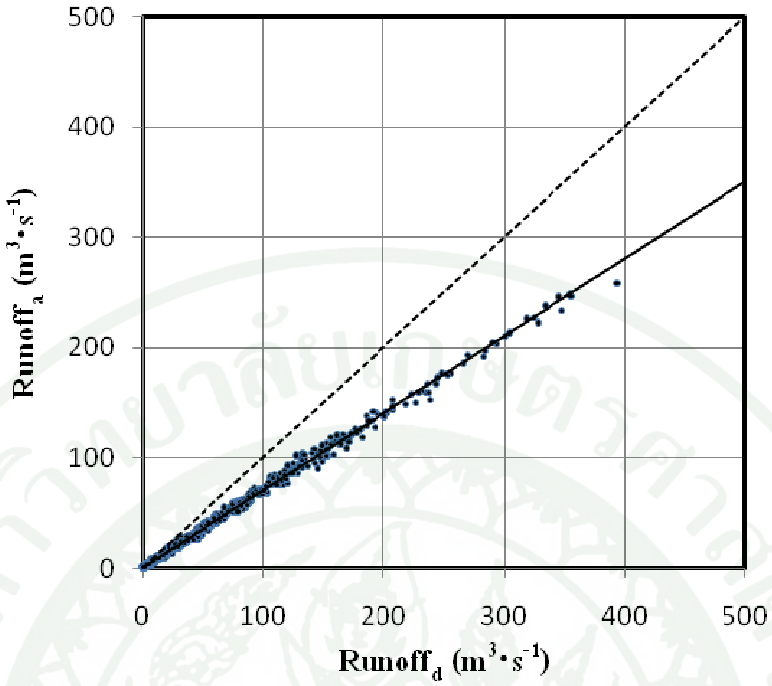
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนเชิงปริมาตร (ล้านลูกบาศก์เมตร)

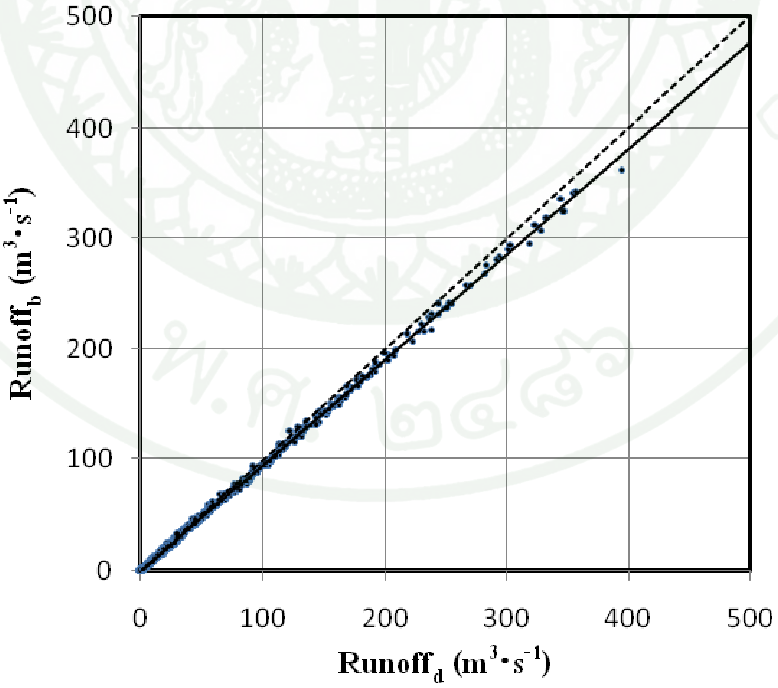
เดือน	ปริมาณน้ำท่า			
	กรณี a	**กรณี b**	**กรณี c**	**กรณี d**
มกราคม	1.30	1.60	1.63	1.72
กุมภาพันธ์	5.32	6.66	8.47	8.47
มีนาคม	10.61	12.79	16.53	16.44
เมษายน	15.76	19.29	22.91	22.73
พฤษภาคม	45.03	53.85	68.64	67.78
มิถุนายน	32.49	39.10	48.23	48.24
กรกฎาคม	49.92	60.75	73.95	74.27
สิงหาคม	50.79	61.31	78.54	78.13
กันยายน	164.11	199.26	251.75	253.25
ตุลาคม	161.37	194.73	251.90	250.56
พฤศจิกายน	32.62	39.22	49.15	49.01
ธันวาคม	4.08	4.97	5.05	5.33
รายปี	**47.78**	**57.79**	**73.06**	**72.99**

เมื่อนำน้ำท่ามาสร้างเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนกรณี a b และ c เทียบกับกรณี d พบว่ากรณี a มีอัตราการไหลต่ำกว่าอัตราการไหลกรณี d ค่อนข้างมาก เพราะว่ากรณี a มีขนาดพื้นที่น้ำระบายน้ำที่สามารถรับน้ำที่ระบายจากภายในพื้นที่ได้น้อยกว่า กรณี d ส่วนกรณี b มีอัตราการไหลที่ต่ำกว่าอัตราการไหลกรณี d เพียงเล็กน้อย เพราะว่ากรณี b มีขนาดพื้นที่น้ำระบายน้ำที่สามารถรับน้ำที่ระบายจากภายในพื้นที่ได้ใกล้เคียงกับกรณี d และสุดท้ายกรณี c มีอัตราการไหลมากกว่าอัตราการไหล กรณี d เพราะว่ากรณี c มีขนาดพื้นที่น้ำระบายน้ำที่สามารถรับน้ำที่ระบายจากภายในพื้นที่ได้มากกว่า กรณี d ค่อนข้างมาก ดังภาพที่ 51 ภาพที่ 52 และภาพที่ 53 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

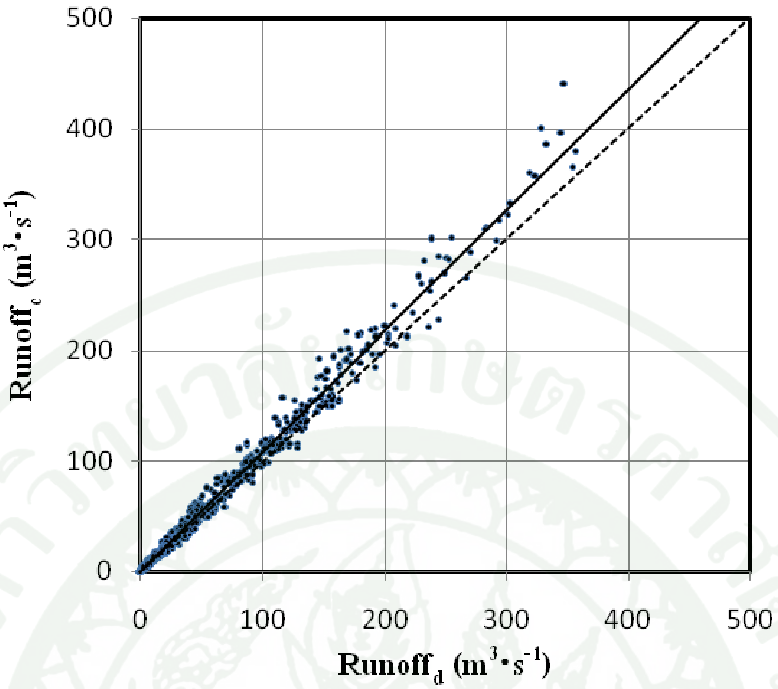


ภาพที่ 51 น้ำท่ากรณี a เทียบกับกรณี d



ภาพที่ 52 น้ำท่ากรณี b เทียบกับกรณี d

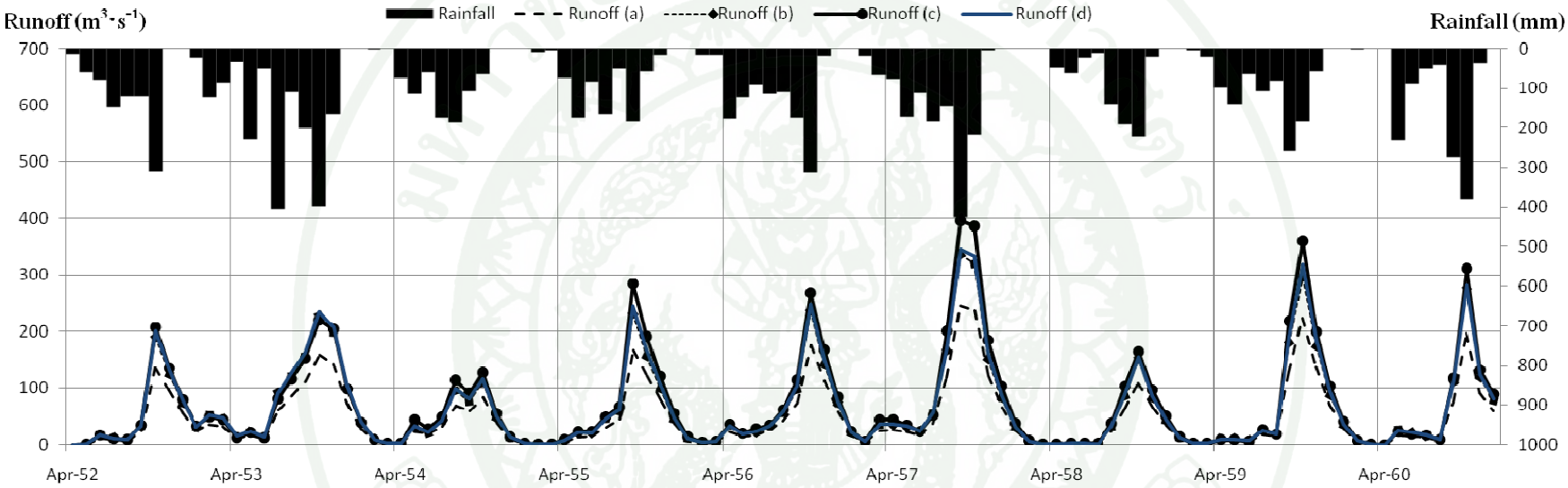
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 53 น้ำท่ากรณี c เทียบกับกรณี d

เมื่อนำอัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน เริ่มต้นปี พ.ศ. 2495 ถึงปี พ.ศ. 2554 (ค.ศ. 1952-2011) รวมระยะเวลา 60 ปี พบว่าในทุกปีแต่ละกรณีจะมีแนวโน้มคล้ายกันคืออัตราการไหลจะมีค่าสูงในช่วงเดือนสิงหาคมในทุกปีของทุกกรณี และจะมีค่าน้อยในเดือนเมษายนในทุกปีของทุกกรณี ดังแสดงในภาพที่ 54 ภาพที่ 55 ภาพที่ 56 ภาพที่ 57 ภาพที่ 58 และภาพที่ 59

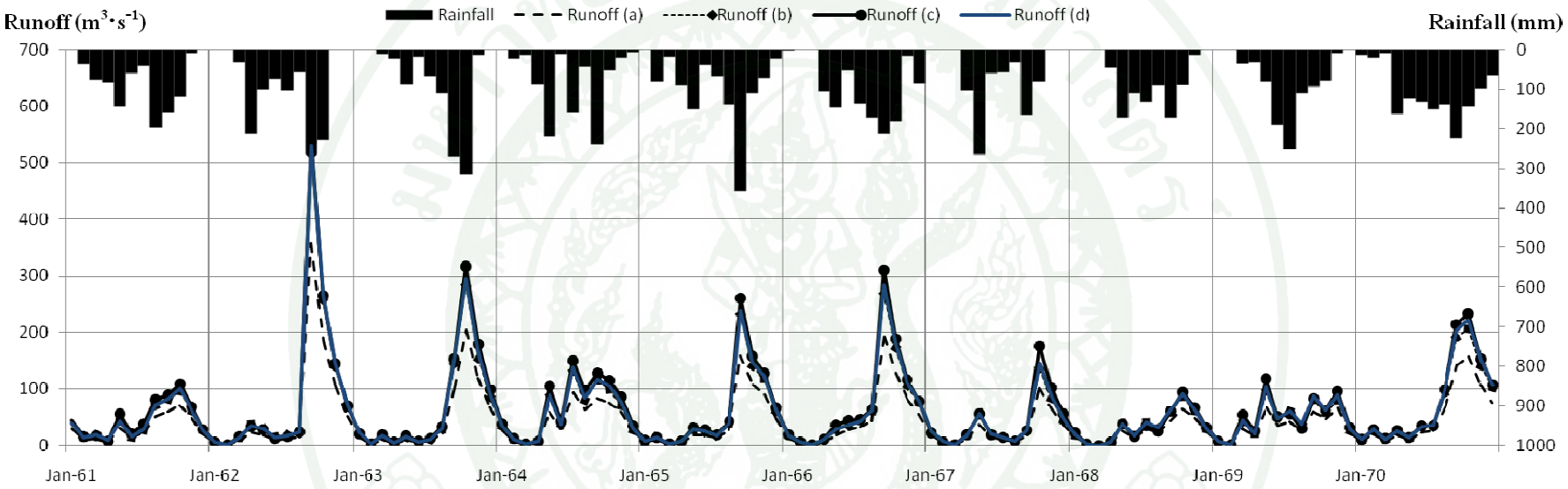
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 54 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1952 ถึงปี ค.ศ. 1960

หมายเหตุ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนว คลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

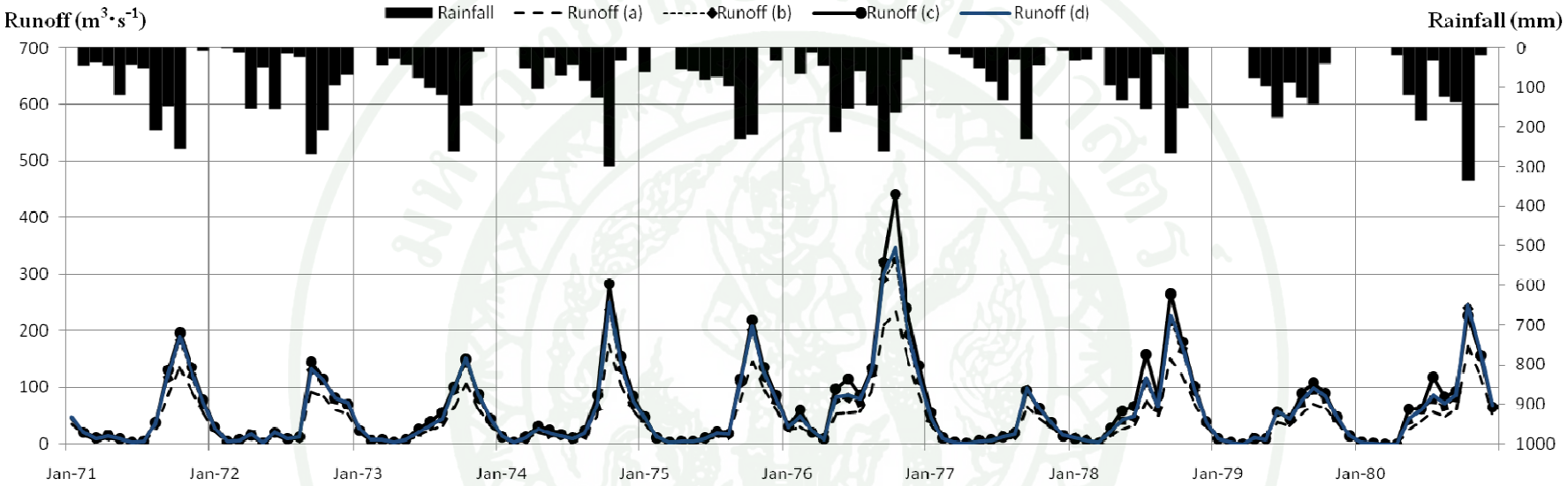
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 55 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1961 ถึงปี ค.ศ. 1970

หมายเหตุ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนว คลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

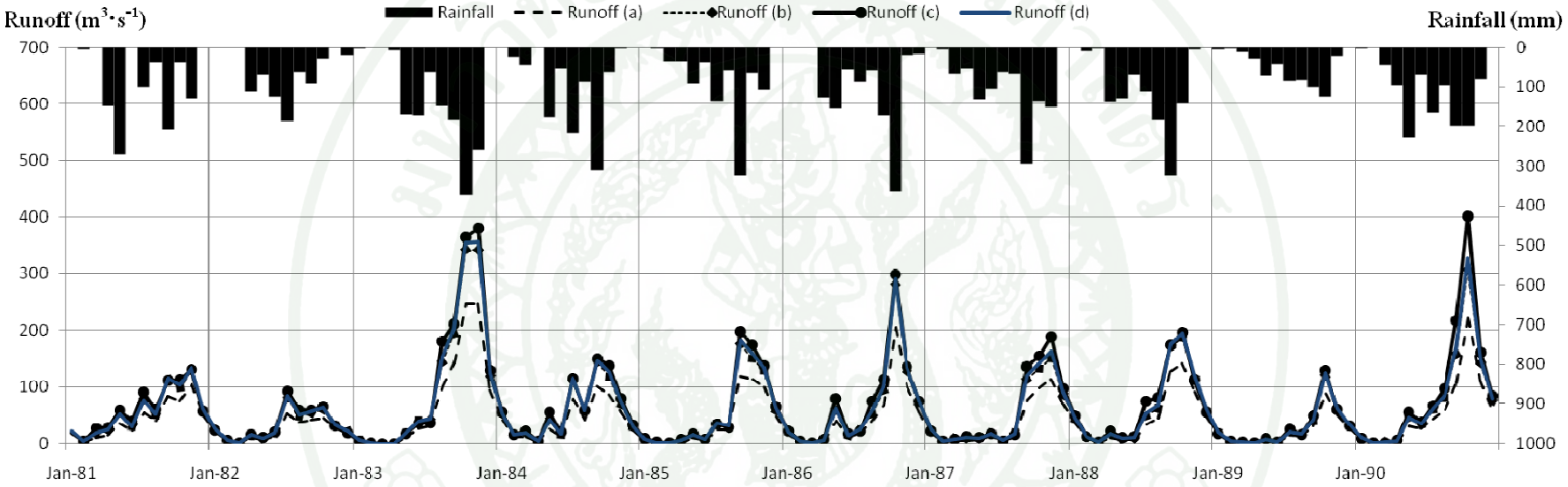
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 56 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1971 ถึงปี ค.ศ. 1980

หมายเหตุ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนว คลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

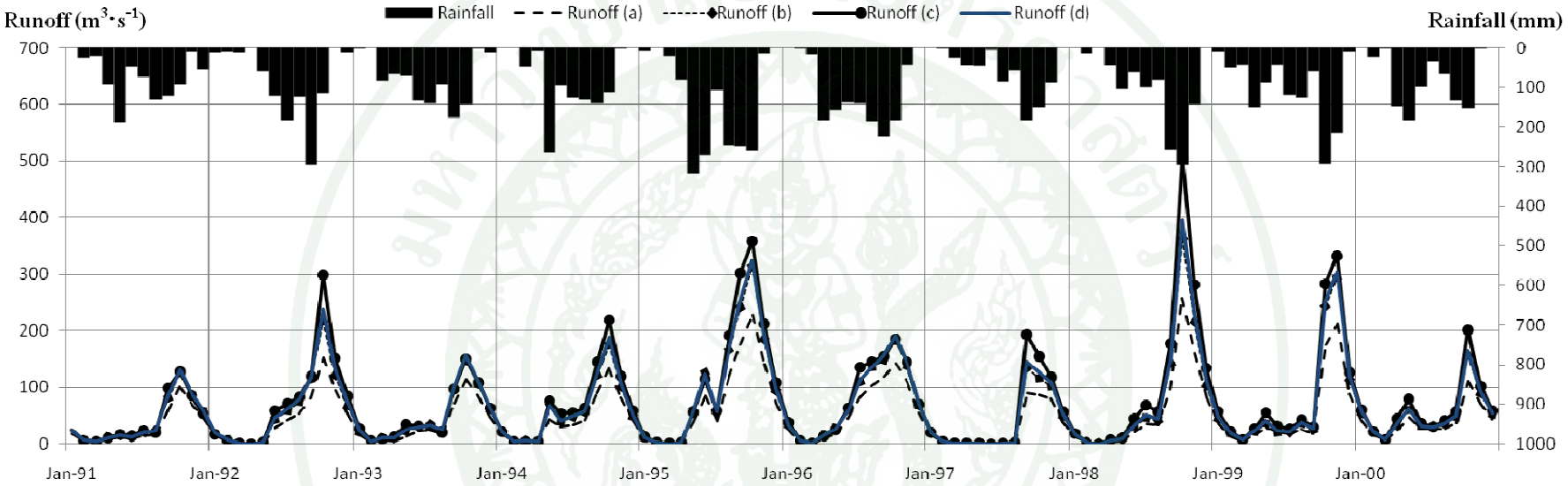
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 57 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1981 ถึงปี ค.ศ. 1990

หมายเหตุ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนว คลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

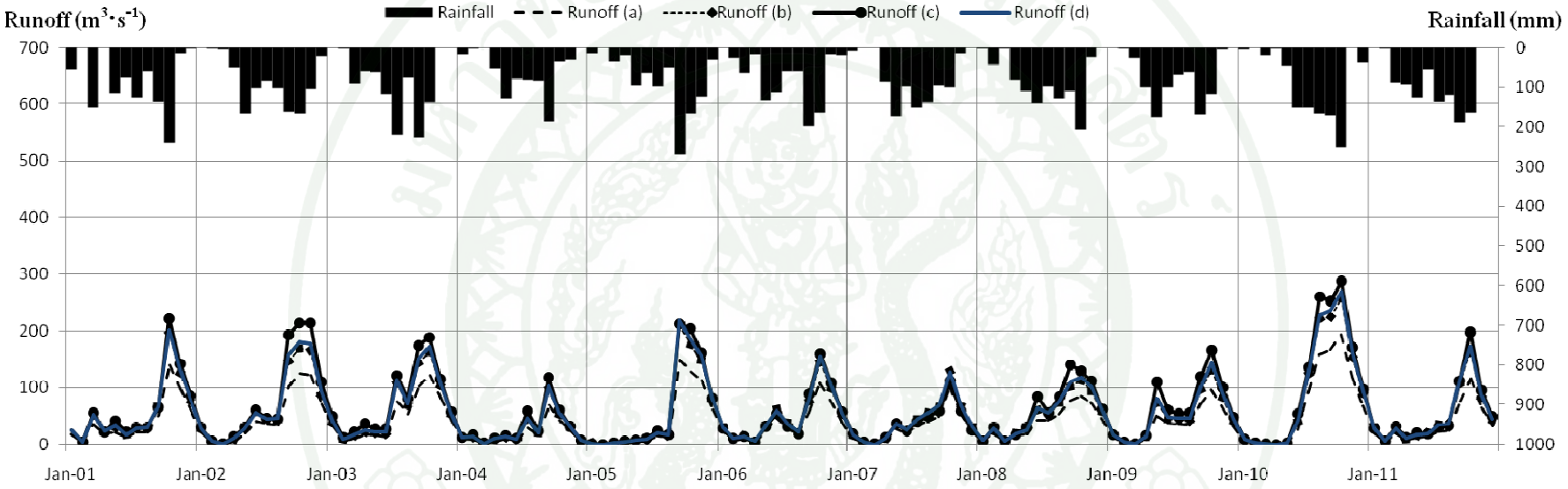
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 58 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1991 ถึงปี ค.ศ. 2000

หมายเหตุ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนว คลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 59 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 2001 ถึงปี ค.ศ. 2011

หมายเหตุ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนว คลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

การปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่มมีเป้าหมายเพื่อ นำเสนอเทคนิคการปรับสภาพข้อมูล DEM เพื่อหาเส้นทางน้ำและพื้นที่ระบายน้ำแล้วประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ราบลุ่มโครงการชลประทาน การดำเนินการขั้นตอนแรกคือ การเตรียมข้อมูล DEM แยกออกเป็น 4 กรณี คือ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ ขั้นตอนที่สองคือการนำผลของส่วนขั้นตอนแรกมาดำเนินการต่อโดยการนำเข้าข้อมูลอากาศและข้อมูลที่กำหนดลักษณะทางอุทกวิทยาแล้วจึงประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

ผลลัพธ์ที่ได้ประกอบด้วย 1) เส้นทางน้ำ 2) ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ และ 3) น้ำท่า ซึ่งกล่าวโดยสรุปได้คือ DEM กรณี d ให้ให้ผลลัพธ์เส้นทางน้ำและขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำความสอดคล้องตามความเป็นจริงมากที่สุด ส่งผลให้การประเมินน้ำท่ามีความน่าเชื่อถือสูง ส่วน DEM กรณี a, c ไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องตามความเป็นจริง ส่วนน้ำท่าพบว่าปริมาณน้ำท่าแปรผันตามขนาดพื้นที่ระบายน้ำเมื่อพิจารณาในหน่วยปริมาตร แต่จะไม่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาในมิติของความลึกน้ำ โดยน้ำท่ากรณี c มีปริมาณมากที่สุด ตามมาด้วยกรณี b, d และน้ำท่ากรณี a ปริมาณน้อยที่สุด เนื่องจาก กรณี c มีพื้นที่ระบายน้ำมากที่สุด ส่วนกรณี a มีพื้นที่ระบายน้ำน้อยที่สุด และกรณี b, d มีพื้นที่ระบายน้ำใกล้เคียงกัน

การปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่มโครงการชลประทาน ควรต้องปรับสภาพข้อมูล DEM ด้วยข้อมูลคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำก่อนนำไปวิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางน้ำและขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องตามความเป็นจริง ส่วนที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการเตรียมข้อมูลดินและการใช้ที่ดินที่ถูกต้อง จะช่วยส่งผลให้แบบจำลองกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) ได้สอดคล้องความเป็นจริง เพราะจะช่วยส่งผลให้การคำนวณปริมาณน้ำท่าด้วยสมการของ SCS โดยการกำหนดค่า CN ในแบบจำลอง SWAT มีความแม่นยำมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

การใช้แบบจำลอง SWAT อย่างหนึ่งที่เป็นปัญหาสำคัญคือการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำเข้าแบบจำลอง ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการออกแบบ ตรวจสอบให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่ และข้อจำกัดของข้อมูลที่มี โดยจากการศึกษาในรายละเอียดของแบบจำลองพบว่า แบบจำลอง SWAT ต้องใช้พารามิเตอร์และข้อมูลการนำเข้าที่ค่อนข้างมากเนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองเชิงกายภาพแบบกระจายพารามิเตอร์ (Distributed Model) ดังนั้นความถูกต้องของการคำนวณจะใกล้เคียงกับสภาพจริงมากแค่ไหนนั้น จึงขึ้นกับความละเอียดของข้อมูลที่มีบันทึกไว้และสามารถเป็นตัวแทนให้กับพื้นที่ศึกษาได้จริง

ข้อมูลคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำมีความสำคัญมากในการศึกษานี้ การสำรวจภาคสนามควรมีความละเอียดในการเก็บข้อมูลเชิงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ เพื่อใช้ในการปรับแก้ไฟล์ GIS

ในการศึกษานี้การตรวจวัดข้อมูลปริมาณน้ำในคลองระบายน้ำจระเข้สามพันซึ่งเป็นคลองระบายน้ำสายหลักซึ่งจุดตรวจระดับน้ำยังไม่มีความสมบูรณ์และขาดต่อเนื่องเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการปรับแก้ผลแบบจำลองและการสอบเทียบผลแบบจำลอง จึงควรเก็บข้อมูลในส่วนของน้ำในคลองระบายน้ำเพิ่มโดยการวัดโดยตรงมาประกอบการปรับเทียบผลน้ำท่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ทีม คอนซัลติ้ง เอนจีเนียร์, บจก., อแสดีคอน คอร์ปอเรชั่น, บจก. และจีเอ็มที คอร์ปอเรชั่น, บจก. 2541. **โครงการประตูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน (ตอนล่าง)** จังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดนครปฐม จังหวัดสมุทรสาคร. รายงานด้านความเหมาะสม. กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

เทวินทร์ แก้วเมืองมูล และ ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์. 2552. อิทธิพลของการเกษตรต่อปริมาณน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ทาโดยใช้แบบจำลอง SWAT. น.356-364 *ใน* **รายงานการสัมมนาระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 5 :พลังงานทดแทนและความมั่นคงทางอาหารเพื่อมนุษยชาติ.** ณ โรงแรมอุบลอินเตอร์เนชั่นแนล อุบลราชธานี.

ปิ่นเพชร สกุลส่องบุญศิริ และเมธี เอกะสิงห์. 2005. การพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเครือข่ายลุ่มน้ำในภาคเหนือตอนบน. น. 416-425. *ใน* **การสัมมนาระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 3**,. ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส ถนนช้างคลาน จังหวัดเชียงใหม่.

สรารวุฒิ โสภณพัฒนากุล., นิตยา หวังวงศ์วิโรจน์ และ อุดมศักดิ์ อิศรางกูร ณ อยุธยา. 2552. ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน. น.246-252. *ใน* **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14.** ณ สุรสัมมนาคาร มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี.

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2546. การสร้างแบบจำลองสำหรับการจัดการน้ำทั้งลุ่มน้ำตอนที่ 1 แนวคิดและวิธีการ. **วิศวกรรมสาร มก.** 48 (ธ.ค.–มี.ค.): 87-98.

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2547. **อุทกวิทยา 1**. เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย และคณะ. 2550. **การวินิจฉัยการจัดการลุ่มน้ำในลุ่มน้ำท่าจีน**. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อิศเรศ กะการดี และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2555. การหาทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำในพื้นที่ราบลุ่มด้วยข้อมูล DEM. น.WRE0101- WRE0109. *ใน* **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17**, ณ โรงแรมเซ็นทารา แอนด์คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์จังหวัดอุดรธานี

โอฬาร เวศอุไร. 2548. **ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบนโดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ASCE Task Committee on GIS Modules and Distrbuted Models of the Watershed. 1999. **GIS Modules and Distrbuted Models of the Watershed**. American Society of Civil Engineering (ASCE), Reston, VA.

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

Arnold, J.G., M. Winchell, R. Srinivasan, and M. Di Luzio. 2009 ArcSWAT Interface for Swat2009, **User's Guide.** Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Blackland Research Center,Texas AgriLife Research.

Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah, and J.R. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model evelopment. **Journal of the American Water Resources Association**. Vol 34 No.1

Beven, K.J. 1995. **Rainfall-Runoff Modelling The Primer**. John Wiley & Sons Ltd, England.

Beven, K.J. and I.D. Moore. 1992. **Terrain Analysis and Distributed Modelling in Hydrology**. John Wiley & Sons, Chichester.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Boxall, P. 2008. Digital Elevation Model: Version 3 and Flow Direction Grid. **Geoscience Australia**.

Choi, Y. 2012. A new algorithm to calculate weighted flow accumulation from a DEM by considering surface and underground stormwater infrastructure. **Environmental Modelling & Software** 30: 81–91.

Clarke, R.T. 1973. Mathematical models in hydrology. Food and Agriculture Organization of the United Nations, **Irrigation and Drainage paper NO.19**, Rome : 1-18.

Djokic, D., Z. Ye, and A. Miller. 1997. **Efficient Watershed Delineation Using ArcView and Spatial Analyst**, Proc. 17th Annual Esri User Conference, San Diego, CA.

Edijatno, N. Nascimento, Z. Makhlouf, and C. Michel. 1999. GR3J: a daily watershed model with three free parameters. **Hydrological Sciences Journal**. 44: 263-277.

ESRI. 1997. Watershed Delineator Application, **User's Manual**, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA

ESRI. 2011. **Arc-hydro-tools-version 2.0**. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA. http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2011/10/12/

Goodchild, M.F., Steyaert, L.T., Park, B.O., Johnston, C., Maidment, D., Crane, M., and Glendinning, S. 1996. **GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues**.GIS World, Inc., Fort Collins, USA

Heywood, I. et al. 1998. **An Introduction to Geographical Information System**. Longman, New York, NY.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hydrologic Engineering Center U.S. Army Corps of Engineers. 2010. HEC-GeoHMS **User's Manuals**. Hydrologic Engineering Center U.S. Army Corps of Engineers, California.

Jones, R. 2002. Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples. **Computers & Geosciences** 28(9): 1051–1060.

Ling, B. 1996. ArcSWAT, **Users Manual**. Available Source: http://www.geog.buffalo.edu/~lbian/swat/manual.html, March 27, 2001.

Luo, Y., B. Su, J. Yuan, H. Li, and Q. Zhang. 2011. GIS Techniques for Watershed Delineation of SWAT Model in Plain Polders. **Procedia Environmental Sciences** 10(1): 2050-2057

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.

Mitasova, H. 1998. **Process modeling and simulation**. Available Source: http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u130/u130.html

Nash, J.E. and J.V.Sutcliffe. 1970. River Flow Forecasting Through Conceptual Models, Part 1: A Discussion of Principles, **Journal of Hydrology** 10(3): 282-290.

Podger, G. 2004. RRL-Rainfall Runoff Library. **User Guide**. CRC for Catchment Hydrology, Australia. URL: http://www.toolkit.net.au/rrl

Quiroga, C.A., Singh, V.P. and Lam, N. 1996. Land-Use Hydrology, pp.389-414. In Singh,V. P. and Florentino, M. **Geographical Information Systems**. Kluwer Academic Publishers, London.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Rallison, R.E. and N. Miller. 1981. Past, present and future SCS runoff procedure. p. 353-364. In V.P. Singh (ed.). Rainfall runoff relationship. WaterResources Publication, Littleton, CO Soil Conservation Service. 1972. Section 4: Hydrology In National Engineering Handbook. SCS.

Soil Conservation Service Engineering Division. 1986. **Urban hydrology for small watersheds**. U.S. Department of Agriculture, Technical Release 55.

Todini, E. 1996. Rainfall-runoff modeling - past, present and future. **Journal of Hydrology**. 100: 341-352.

US Army Corps of Engineers Institute for water resource Hydrologic Engineering center. 2010. **User guide: HEC-GeoHMS Version 5**. Available Source: http://www.Hec.usace.army.mil.

USGS. 2006. **The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. Available Source: http://www.srtm.csi.cgiar.org, June 14, 2007

Vieux, B.E. 2001. **Distributed Hydrologic Modeling Using GIS**. Kluwer, New York, NY.

Wilson, J. P. and J. C. Gallant. 2000. Terrain Analysis: Principles and Applications, **John Wiley and Sons**, New York, 479 p

Worboys, M.F. and M. Duckham. 2004. **GIS: A Computing Perspective. 2nd ed**. CRC Press, Boca Raton, FL. 426 pp.

Xie, X. and Y. Cui. 2011. Development and test of SWAT for modeling hydrological processes in irrigation districts with paddy rice. **Journal of Hydrology**. 396 (1-2): 61-71.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

การเผยแพร่ผลงานวิชาการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17
9-11 พฤษภาคม 2555 ณ โรงแรม เซ็นทารา แอนคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ อุดรธานี

การหาทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำในพื้นที่ราบลุ่มด้วยข้อมูล DEM

DERIVATION FLOW DIRECTION AND WATERSHED IN LOWLAND FROM DEM

อิศเรศ กะการดี[1], เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย[2]

[1]นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (isared2529@gmail.com)
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fengesk@ku.ac.th)

บทคัดย่อ : การวิเคราะห์ลักษณะลุ่มน้ำจากข้อมูล DEM ด้วยวิธีมาตรฐานมีข้อจำกัดในพื้นที่ราบลุ่ม บทความนี้นำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์เพื่อกำหนดทิศทางการไหลของน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำในพื้นที่ราบตอนล่างของลุ่มน้ำแม่กลองในเขตโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ การวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำเลือกใช้วิธี D8 ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในซอฟแวร์ GIS เป็นวิธีอ้างอิง ร่วมกับเทคนิค stream burning เพื่อปรับค่าระดับข้อมูล DEM ตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ ซึ่งแบ่งเป็น 4 กรณี คือ (a) ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว (b) ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ (c) ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ (d) ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ด้วยวิธี D8 เพียงอย่างเดียวทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำไม่สอดคล้องตามความเป็นจริง ส่วนการใช้ข้อมูลคลองส่งน้ำร่วมกับข้อมูลคลองระบายน้ำให้ผลลัพธ์สอดคล้องความเป็นจริงมากกว่าการใช้ข้อมูลคลองส่งน้ำหรือข้อมูลคลองระบายเพียงอย่างเดียว การเตรียมข้อมูลลักษณะการระบายน้ำที่สอดคล้องกับความเป็นจริงช่วยให้การจำลองสภาพทางอุทกวิทยาในพื้นที่ราบลุ่มมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ขอบเขตลุ่มน้ำ, ทิศทางการไหล, ที่ราบลุ่ม, แบบจำลองระดับเชิงเลข (DEM)

Abstract : Automatic analysis of watershed characteristics from digital elevation model (DEM) was limited in lowland area. This paper presents an analysis technique for delineation of watershed boundary and derivation flow direction from DEM in lowland area of lower Mae Klong Basin, which located in the Mae Klong Irrigation project. Drainage characteristics analysis used the D8 algorithm, the standard method in GIS software, as reference technique. Further, derivation of drainage characteristics included stream burning technique for modifying elevation along irrigation canal and/or drainage canal, as following: (a) use only DEM data (b) modify elevation of drainage canal (c) modify elevation of irrigation canal (d) modify elevation of irrigation and drainage canals. The results showed that automatic drainage characteristic analysis using only the D8 method cannot correctly delineate watershed boundary or derive flow direction for lowland area. Instead, the combination of D8

[1]ผู้ติดต่อหลัก (Corresponding author)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

method with irrigation and drainage canal data gives more reasonable results. Therefore, preparation of consistent flow characteristics of water could allow more reliable hydrologic simulation of low land areas.

Keywords : Watershed delineation, Flow direction, Lowland, DEM

1.บทนำ

DEM เป็นข้อมูลหลักการที่ใช้ศึกษาสภาพอุทกวิทยาโดยการวิเคราะห์ลักษณะทางภูมิประเทศ [1]เพื่อหาขอบเขตลุ่มน้ำและทิศทางการไหลโดยใช้วิธี D8 [2]นั้นมักจะให้ผลเป็นที่น่าพอใจในพื้นที่ลาดเชิงเขาซึ่งเป็นสภาพลุ่มน้ำตามธรรมชาติ แต่เกิดข้อจำกัดในพื้นที่ราบ [3] การประยุกต์ใช้เทคนิค Streamburning ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาปรับข้อมูล DEM [4] สามารถนำไปใช้ในการศึกษาสภาพภูมิประเทศและกระบวนการทางอุทกวิทยาได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์เพื่อกำหนดทิศทางการไหลของน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำในพื้นที่ราบโดยใช้เส้นแนวคลองระบายน้ำและเส้นแนวคลองส่งน้ำมาเป็นข้อมูลเสริมในการวิเคราะห์ผลในพื้นที่ราบตอนล่างของลุ่มน้ำแม่กลองในเขตโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้เลือกพื้นที่ที่ราบตอนล่างของลุ่มน้ำแม่กลองในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน จังหวัดกาญจบุรี โครงการนี้มีพื้นที่โครงการ 335,400 ไร่ พื้นที่ชลประทาน332, 300ไร่ และคลองส่งน้ำยาวรวม303.72กิโลเมตรโครงการมีห้วงานที่เชื่อนแม่กลองซึ่งทดน้ำจากแม่น้ำแม่กลองแล้วส่งไปตามคลองส่งน้ำ 1 ซ้าย (1L) และ 2 ซ้าย (2L) เข้าพื้นที่ชลประทาน[5]

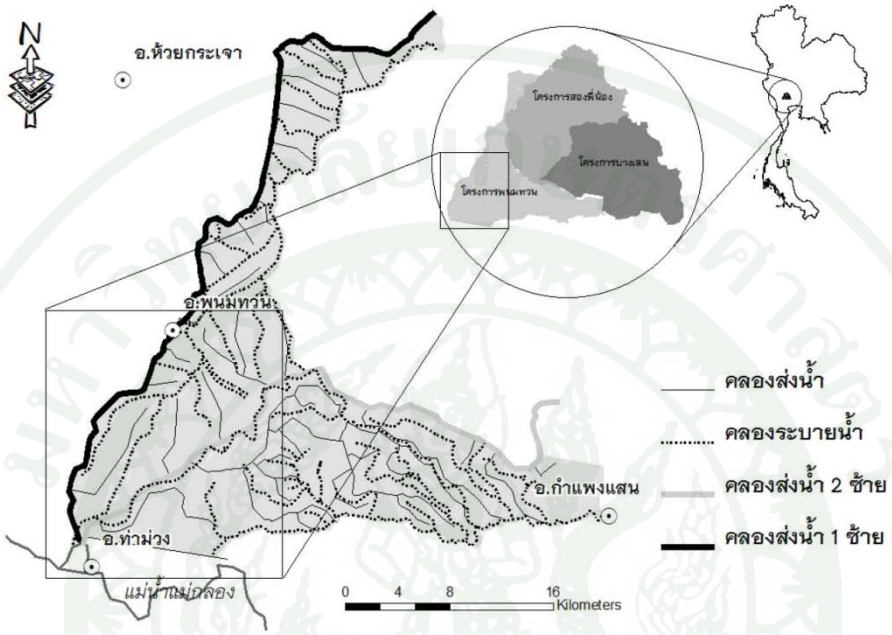
2.2 ข้อมูลที่ใช้

ก. DEM (Digital Elevation Model) คือแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขชนิดแรสเตอร์ซึ่งสามารถแสดงความสูงและเปอร์เซนต์ความชันของพื้นที่ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับโดยการไล่ระดับของสี โดยขนาดของพื้นที่ถูกกำหนดด้วย pixel ซึ่งแต่ละ pixel มีค่าระดับความสูงหน่วยเป็นเมตรสามารถดาวน์โหลดฟรีจากเวปไซต์ http://www.srtm.csi.cgiar.org[6]ในการศึกษานี้ใช้ pixel size ขนาด90 เมตรระบบอ้างอิงทางภูมิศาสตร์คือWGS_1984_UTM_Zone47N และ Datum D_GCS_1984 เป็นตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นผิวโลกและมีการปรับแก้ความถูกต้องของข้อมูลแล้ว

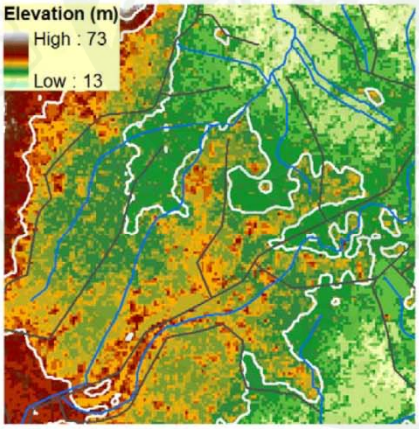
ข. แผนที่สภาพภูมิประเทศอัตราส่วน1:50000, ระวาง5037IV, 5037III, 5036IV, 4937IV, 4937III, 4937II, 4937I, 4936IV, 4936I

ค.ข้อมูลของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวนประกอบด้วยแผนที่ขอบเขตโครงการ เส้นคลองระบายน้ำและเส้นคลองส่งน้ำ จากกรมชลประทาน

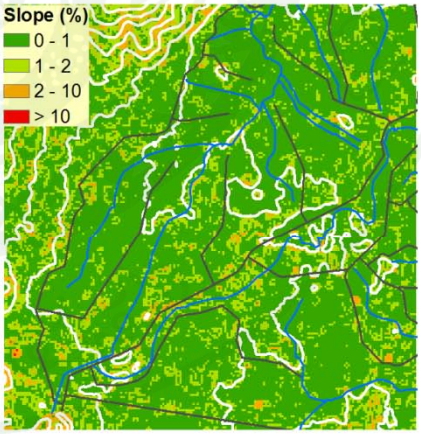
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา



รูปที่ 2 ระดับความสูง (ม.รทก)



รูปที่ 3 ความชัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

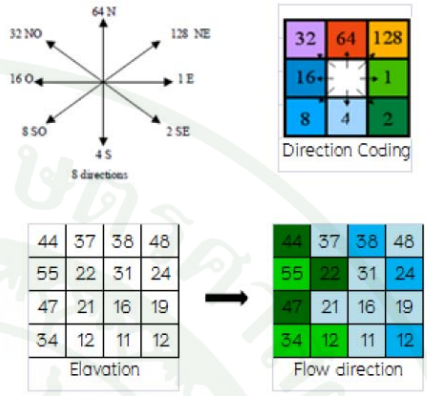
2.3 เครื่องมือและวิธีการ

การหาทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำในพื้นที่ราบลุ่มเขตโครงการชลประทาน ซึ่งมีคลองส่งน้ำเข้าพื้นที่เพาะปลูกทำหน้าที่เสมือนเป็นเส้นสันปันน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำ และคลองระบายน้ำที่รับน้ำส่วนเกินจากพื้นที่เพาะปลูกทำหน้าที่คล้ายเป็นช่องทางการไหลของน้ำในโครงการ โดยการศึกษานี้ได้ใช้เครื่องมือของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชั่น raster calculation ร่วมกับชุดคำสั่งใน spatial analyst ซึ่งเป็น extensions ของ GIS มีการดำเนินงานเป็น 3 ส่วนดังนี้

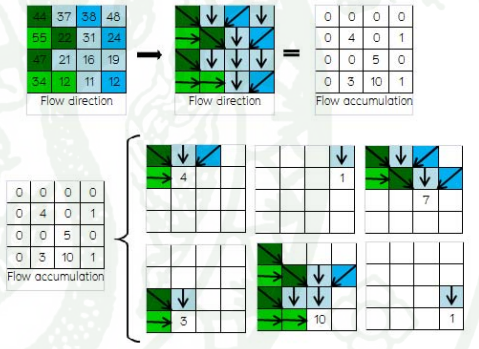
1)ทิศทางการไหล (flow direction)เป็นการหาทิศทางการไหลของน้ำจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งโดยรอบ 8 ทิศทาง (D8 algorithm)ตาม directioncoding ดังรูปที่ 4 โดยแต่ละ pixel จะทำการเชื่อมต่อกับอีก pixel ซึ่งเป็นตำแหน่งใกล้เคียงที่ต่ำสุดที่โดยกำหนดค่าของทิศทางการไหลในแนวแกนตั้งฉากเป็น 1, 4, 16 และ 64 สำหรับทิศตะวันออก, ทิศใต้, ทิศตะวันตกและทิศเหนือ ส่วนค่าของทิศทางการไหลในแนวแกนเอียง 45 องศาเป็น 2, 8, 32 และ 128 สำหรับทิศตะวันออกเฉียงใต้, ทิศตะวันตกเฉียงใต้, ทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือตามลำดับ

2) การไหลสะสม (flow accumulation)ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ต่อเนื่องมาจากขั้นตอน flow directionโดย cell ที่มีการไหลมาสะสมสูงก็จะถูกกำหนดให้เป็นช่องทางไหลของน้ำ ดังรูปที่ 5

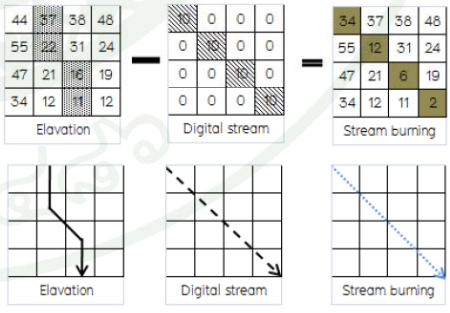
3) การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ (watershed delineation)เป็นกระบวนที่ต่อเนื่องมาจากการหาทิศทางการไหลโดยเริ่มจากการเชื่อมกริดของข้อมูล DEM เพื่อคำนวณกริดของทิศทางการไหล (flow direction) แล้วประมวลผลรวมหน่วยการไหลสะสมของจำนวนหน่วยข้อมูลที่ไหลจากพื้นที่ที่อยู่สูงกว่าการลากเส้นแนวลำน้ำโดยกำหนดจากผลรวมหน่วยการไหลสะสมที่มากที่สุดแต่ไม่น้อยกว่าค่าขอบเขตการไหลสะสมและเส้นพื้นที่ลุ่มน้ำกำหนดจากหน่วยข้อมูลที่ทำการระบายน้ำผ่านหน่วยข้อมูลดังกล่าว



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ Flow direction



รูปที่ 5 การวิเคราะห์Flow accumulation



รูปที่ 6 เทคนิคการวิเคราะห์Stream burning

Steam burning เป็นเทคนิคที่ใช้เข้ามาช่วยเสริมการวิเคราะห์ด้วยวิธี D8 ในการหาทิศทางการไหลของน้ำและการแบ่งขอบเขตลุ่มน้ำ โดยการปรับแก้ค่าระดับของ DEM ด้วยข้อมูล vector ประเภท line ของทางน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มาซ้อนทับข้อมูล DEM แล้วทำการเปลี่ยนค่าระดับข้อมูล DEM ใหม่ตามแนวเส้นทางน้ำตาม รูปที่ 6 ซึ่งจะต้องทำการปรับแก้ความถูกต้องข้อมูล DEM โดยการเติมแอ่ง (fill sink) ทุกครั้งหลังจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค stream burning

การศึกษานี้ได้แบ่งการวิเคราะห์เป็น 4 กรณีเพื่อเปรียบเทียบกัน ดังนี้(1) การหาทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำด้วย D8 โดยใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว (2) การหาทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำด้วยวิธี D8 ร่วมกับเทคนิค stream burning โดยปรับลดค่าระดับข้อมูลDEM ใหม่ตามแนวคลองระบายน้ำเพื่อต้องการให้เป็นช่องทางการไหลของน้ำในลุ่มน้ำ (3) การหาทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำด้วยวิธี D8 ร่วมกับเทคนิค Stream burning โดยปรับเพิ่มค่าระดับข้อมูล DEM ตามแนวเส้นคลองส่งน้ำเพื่อต้องการให้เกิดเป็นสันปันน้ำภายในลุ่มน้ำ (4) การหาทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำด้วยวิธีอัลกอริทึม D8 ร่วมกับเทคนิคstream burningโดยใช้แนวคลองระบายน้ำและแนวคลองส่งน้ำ โดยปรับเพิ่มค่าระดับข้อมูล DEM ตามเส้นแนวคลองส่งน้ำและปรับลดระดับข้อมูล DEM ตามแนวคลองระบายน้ำ

3. ผลและวิจารณ์

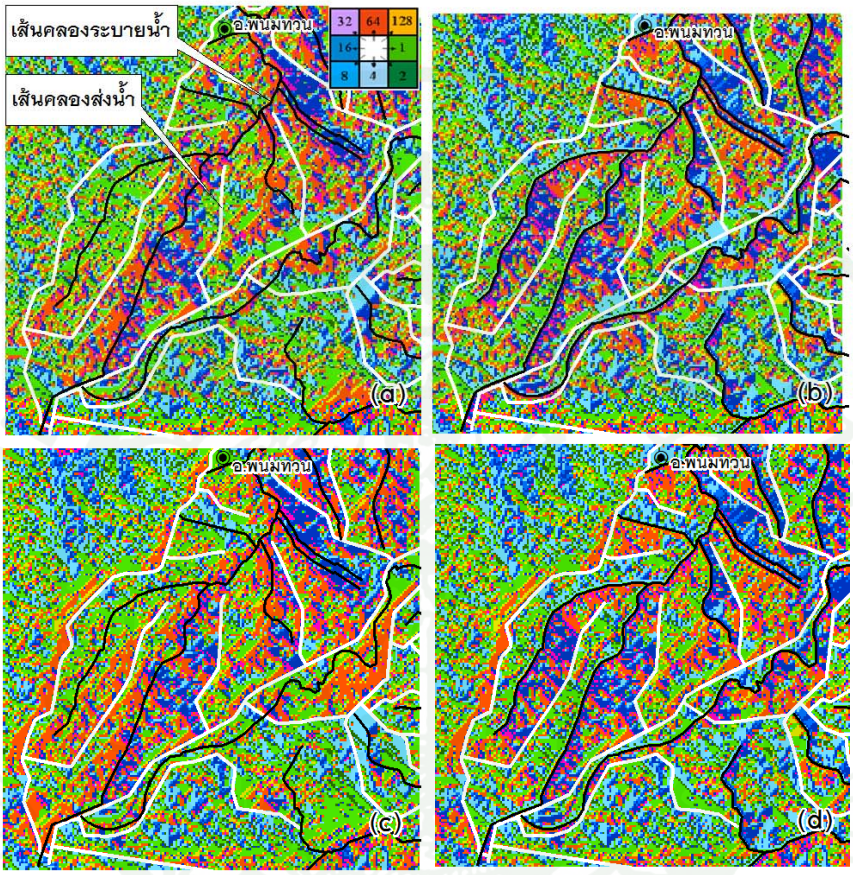
ผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหล (flow direction) การไหลสะสม (flow accumulation)และการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ (watershed delineation) แสดงในรูปที่ 7 รูปที่ 8 และ รูปที่ 9 ตามลำดับ

1) ทิศทางการไหล (flow direction) เมื่อพิจารณาตาม Direction cording พบว่ากรณีที่ 1 ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว (รูปที่ 7(a)) มีทิศทางการไหลไม่สอดคล้องกับเส้นคลองระบายน้ำโดยมีทิศทางอิสระไปตามระดับปกติของข้อมูล DEM กรณีที่ 2 ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ (รูปที่ 7(b))ทิศทางการไหลส่วนมากมีแนวโน้มไปตามแนวคลองระบายน้ำและมีทิศทางไม่แน่นอนเมื่อเทียบจากแนวคลองส่งน้ำ กรณีที่ 3 ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ (รูปที่ 7(c)) ทิศทางการไหลมีทิศทางลาดออกจากแนวคลองส่งน้ำลงไปตามแนวคลองระบายน้ำเล็กน้อย กรณีที่ 4ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ (รูปที่ 7(d))ทิศทางการไหลมีทิศทางไหลออกจากเส้นคลองส่งน้ำลงไปยังแนวคลองระบายน้ำชัดเจน

2) การไหลสะสม (flow accumulation) เมื่อพิจารณาจาก Direction cording ของ Flow direction ที่ไหลมาสะสมกันเป็นเส้นทางน้ำพบว่ารูปที่ 8(a) เส้นทางไหลของน้ำมีความคลาดเคลื่อนจากคลองระบายน้ำมากและมีบางเส้นไหลข้ามแนวคลองส่งน้ำ รูปที่ 8(b) เส้นทางการไหลของน้ำมีทิศทางสอดคล้องกับแนวคลองระบายน้ำมากขึ้น แต่มีเส้นทางการไหลบางส่วนที่ไหลข้ามแนวคลองส่งน้ำ รูปที่ 8(c) เส้นทางการไหลของน้ำไม่สอดคล้องตามแนวคลองระบายน้ำแต่ไม่มีเส้นทางการไหลของน้ำข้ามแนวคลองส่งน้ำ รูปที่ 8(d) เส้นทางการไหลของน้ำสอดคล้องตามแนวคลองระบายน้ำชัดเจน โดยไม่มีเส้นทางการไหลข้ามแนวคลองส่งน้ำ

3) การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ (Watershed delineation) จากการพิจารณาขอบเขตตามแนวคลองส่งน้ำและเส้นทางไหลของน้ำตามแนวคลองระบายน้ำ พบว่า รูปที่ 9(a) ขอบเขตลุ่มน้ำไม่ตรงตามแนวคลองส่งน้ำและช่องทางการไหลของน้ำไม่สอดคล้องตามแนวคลองระบายน้ำ รูปที่ 9(b) ขอบเขตลุ่มน้ำไม่ตรงตามตามแนวคลองส่งน้ำอยู่มาก แต่เส้นทางการไหลของน้ำส่วนมากมีความใกล้เคียงกับแนวคลองระบายน้ำ รูปที่ 9(c) ขอบเขตลุ่มน้ำมีความใกล้เคียงตามแนวคลองส่งน้ำ แต่เส้นทางการไหลของน้ำมีทิศทางไม่ตรงตามแนวคลองระบายน้ำ รูปที่ 9(d) ขอบเขตลุ่มน้ำมีความใกล้เคียงตามแนวคลองส่งน้ำและสอดคล้องกับเส้นทางไหลของน้ำที่มีทิศทางไปตามแนวคลองระบายน้ำมากขึ้น

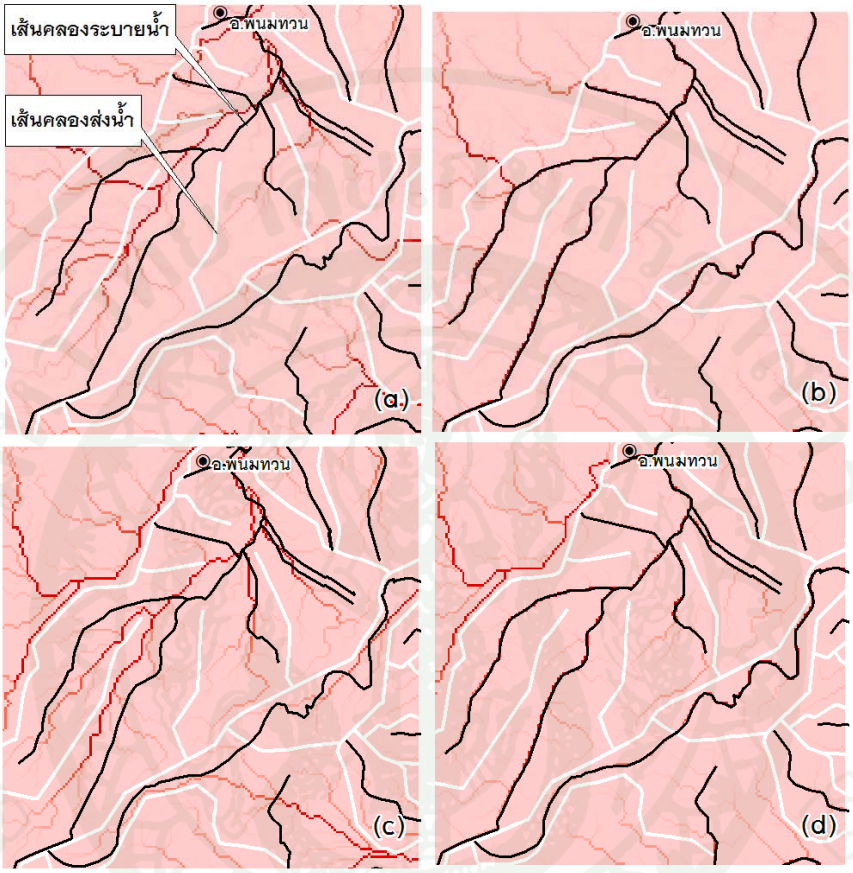
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



รูปที่ 7 ทิศทางการไหล (flow direction) (a) ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว (b) ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ(c) ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ (d) ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

การวิเคราะห์ผลด้วยวิธี D8 เพียงอย่างเดียวไม่สามารถหาทิศทางการไหลและขอบเขตของลุ่มน้ำให้สอดคล้องตามความเป็นได้ เพราะว่าพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ราบลุ่มค่าระดับข้อมูล DEM มีความใกล้เคียงกันมากจึงเกิดข้อจำกัดในประมวลผล ส่วนการใช้ข้อมูลแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำมาประกอบการวิเคราะห์ด้วยวิธี D8 ร่วมกับเทคนิค stream burning ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องตามความจริงมากขึ้น เนื่องจากการปรับค่าระดับข้อมูล DEM ให้สูงขึ้นตามแนวคลองส่งน้ำและการลดระดับข้อมูล DEM ตามแนวคลองระบายน้ำช่วยในการลดข้อผิดพลาดจากการวิเคราะห์ข้อมูล DEM ในพื้นที่ราบซึ่งมีค่าระดับใกล้เคียงกันให้สามารถหาทิศทางการไหลของน้ำและกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำได้สมเหตุสมผลตามความเป็นจริง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

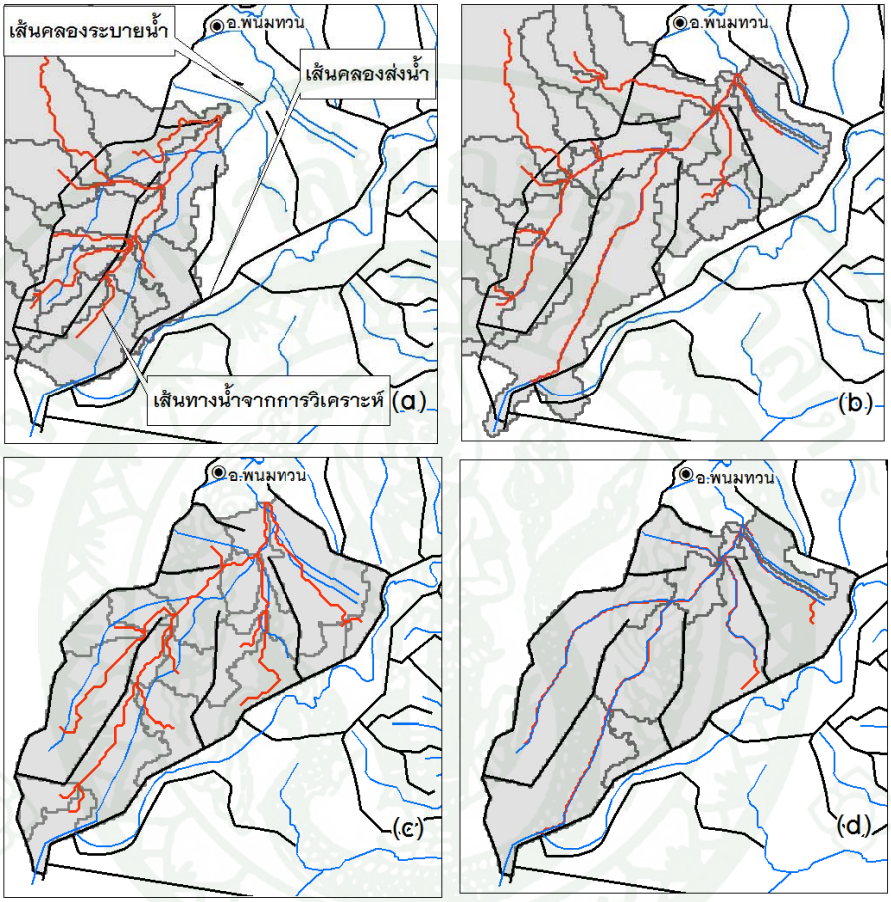


รูปที่ 8 การไหลสะสม (flow accumulation)(a) ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว (b) ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ (c) ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ (d) ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ลักษณะการระบายน้ำเพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำในพื้นที่ราบลุ่มด้วยวิธี D8 ร่วมกับเทคนิค Stream burning เพื่อปรับค่าระดับข้อมูล DEM ตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ ซึ่งแบ่งเป็น 4 กรณี คือ (a) ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว (b) ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ (c) ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ(d) ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ ผลลัพธ์คือการวิเคราะห์ด้วยวิธี D8 เพียงอย่างเดียวทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำไม่สอดคล้องตามความเป็นจริง ส่วนการใช้ข้อมูลคลองส่งน้ำร่วมกับข้อมูลคลองระบายน้ำให้ผลลัพธ์สอดคล้องความเป็นจริงมากกว่าการใช้ข้อมูลคลองส่งน้ำหรือข้อมูลคลองระบายน้ำเพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



รูปที่ 9 ขอบเขตลุ่มน้ำ (a) ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว (b) ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ (c) ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ (d) ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

การศึกษาเพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำ เส้นทางน้ำและ DEM เป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยเฉพาะสภาพพื้นที่ราบลุ่มการใช้ข้อมูล DEM ที่มีความละเอียดของpixel สูงรวมทั้งการออกสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลทาง GIS เพิ่มเติมมาประกอบการวิเคราะห์ก็จะช่วยให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Wilson, J. P. and J. C. Gallant. 2000. Terrain Analysis: Principles and Applications, John Wiley andSons, New York, 479 p

[2] Boxall, P. 2008. Digital Elevation Model: Version 3 and Flow Direction Grid. Geoscience Australia.

[3] Luo, Y., B. Su, J. Yuan, H. Li, and Q. Zhang. 2011. GIS Techniques for Watershed Delineation

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

of SWAT Model in Plain Polders. Procedia Environmental Sciences 10(1): 2050-2057

[4] US Army Corps of Engineers Institute for water resource Hydrologic Engineering center. 2010. User guide: HEC-GeoHMS Version 5.Available Source: http://www.Hec.usace.army.mil.

[5] ปกรณ์ ยิ้งชัยพงษ์. 2550. การติดตามพลวัตของความต้องการน้ำชลประทานในพื้นที่โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่โดยใช้ข้อมูล MODIS ร่วมกับแบบจำลอง WEAP. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[6] USGS. 2006. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Available Source: http://www.srtm.csi.cgiar.org, June 14, 2007

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18
วันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

การปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่ม
Accuracy Improvement of SWAT Model for Runoff Estimation in Lowland

อิศเรศ กะการดี[1] และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย[2]
[1, 2] ห้องปฏิบัติการวิจัยการติดตามและการจัดการทางอุทกวิทยาเกษตรด้วยระบบอัจฉริยะ (INAM)
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม
E-mail: [1] isared2529@gmail.com, [2] fengesk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีเป้าหมายเพื่อ นำเสนอเทคนิคการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของเส้นทางน้ำและพื้นที่ระบายน้ำที่หาจากข้อมูล DEM เพื่อใช้ประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ราบตอนล่างของลุ่มน้ำแม่กลอง แต่ในสภาพพื้นที่ราบมีข้อจำกัดในการหาเส้นทางน้ำและพื้นที่ระบายน้ำให้สอดคล้องตามลักษณะพื้นที่จริง ดังนั้นจึงใช้วิธี D8 ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในซอฟแวร์ GIS เป็นวิธีอ้างอิง ร่วมกับเทคนิค stream burning เพื่อปรับค่าระดับข้อมูล DEM ตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ ซึ่งแบ่งเป็นกรณีศึกษาเป็น 4 กรณี คือ (a) ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว (b) ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ (c) ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ (d) ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ จากนั้นนำผลจากส่วนแรก 4 กรณี มาประเมินปริมาณน้ำท่าผิวดินด้วยแบบจำลอง SWAT ซึ่งประเมินเป็นรายวันและสรุปเป็นผลรายเดือน

ผลการศึกษาการปรับปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ราบลุ่ม พบว่ากรณี d โดยการปรับสภาพข้อมูล DEM ตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจมากที่สุด เนื่องจากสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำและเส้นทางน้ำผ่านจุดคลองส่งน้ำลอดผ่านทางน้ำธรรมชาติทำให้มีความสอดคล้องกับความเป็นจริง ซึ่งทำให้เกิดความแม่นยำในการประเมินน้ำท่ามากขึ้น

คำสำคัญ: ที่ราบลุ่ม, ทิศทางการไหล, น้ำท่า, แบบจำลอง SWAT

Abstract

This article destination to presents techniques to accuracy improvement of stream and drainage areas from DEM for estimate runoff by SWAT model in lowland of Mae Klong basin. But in lowland area have limit to delineate stream and drainage area to according area description. So used the D8 algorithm, the standard method in GIS software, as reference technique with steam burning techniques for adjust DEM elevation along irrigation canal and drainage canal. Divide 4 case as following: (a) use only DEM data (b) modify elevation of drainage canal (c) modify elevation of irrigation canal (d) modify elevation of irrigation and drainage canals. Second parts are the results of the first part 4 cases to estimate surface runoff by SWAT model then evaluated daily and a monthly summary.

The results for accuracy improvement of SWAT model for runoff estimation in Lowland. Showed that on case d by recondition DEM irrigation and drainage canals. So was mostly correctly. Because can define drainage area and steam parted cutting-point between canal and natural steam. Then estimate runoff according actuality

Keywords: Lowland, Flow direction, Runoff, SWAT model

1. คำนำ

ปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า เป็นเรื่องที่สำคัญและเป็นงานลำดับแรก ๆ ของงานด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ ที่ต้องวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาหาปริมาณน้ำเพื่อจะนำไปใช้ในการวางแผนงานด้านแหล่งน้ำไม่ว่าจะเป็นงานศึกษาความเหมาะสมของการพัฒนาแหล่งน้ำ งานศึกษาสมดุลในลุ่มน้ำ งานด้านศึกษาการป้องกันน้ำท่วม เป็นต้น ล้วนแล้วแต่มีความจำเป็นที่ต้องหาปริมาณน้ำท่าที่จะต้องหาปริมาณน้ำท่าที่ใกล้เคียงความจริงให้ได้มากที่สุดเพื่อความถูกต้องเมื่อต้องนำไปใช้จริง ซึ่งการประเมินปริมาณน้ำท่าสามารถทำได้หลายวิธี [1] หนึ่งวิธีซึ่งนิยมกันอย่างแพร่หลายคือการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่สามารถทำงานร่วมกับระบบ GIS ที่สนับสนุนการทำงานด้านข้อมูล Raster [2] เพื่อจำลองพฤติกรรมของระบบ โดยแสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ [3] ซึ่งมีหลายชนิดตามวิธีการคำนวณ ซึ่งได้รับความนิยมสูง คือ แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าชนิด Lump-parameter model ซึ่งจะพิจารณาพารามิเตอร์ในลุ่มน้ำแบบเหมารวม โดยเหมาะกับสภาพลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีความซับซ้อนทางกายภาพไม่มากนัก

การหาขอบเขตลุ่มน้ำและทิศทางการไหลโดยใช้วิธี D8 [4] มักจะให้ผลเป็นที่น่าพอใจในพื้นที่ลาดเชิงเขาซึ่งเป็นสภาพลุ่มน้ำตามธรรมชาติ แต่เกิดข้อจำกัดในพื้นที่ราบ [5] การประยุกต์ใช้เทคนิค Stream burning ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาปรับข้อมูล DEM [6] สามารถนำไปใช้ในการศึกษาสภาพภูมิประเทศและกระบวนการทางอุทกวิทยาเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น [7] แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่สามารถพิจารณาสภาพลุ่มน้ำขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนเชิงอุทกวิทยา [8] โดยการกำหนดพารามิเตอร์ที่สำคัญในการเกิดน้ำท่าได้กระจายทั่วทั้งลุ่มน้ำ (Distributed-parameter model) และละเอียดลงไปในระดับลุ่มน้ำย่อย แล้วคำนวณผลเป็นรายวันต่อเนื่อง ตามระยะเวลาที่ยาวนานได้

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

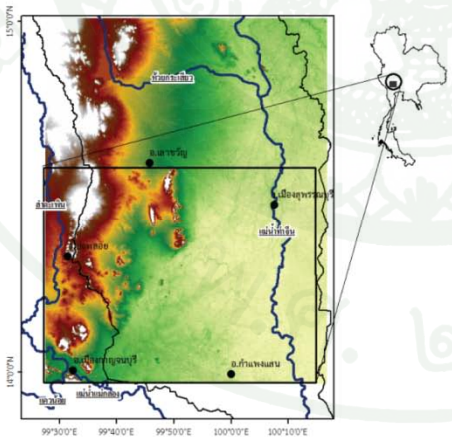
2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้เลือกพื้นที่ราบระหว่างแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำท่าจีนในเขตโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ [9] อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 13°45' ถึง 14°45' เหนือและเส้นแวงที่ 99°00' ถึง 100°15' ตะวันออก อยู่ในเขตจังหวัดกาญจนบุรี นครปฐม และสุพรรณบุรี โดยมีขอบเขตการพิจารณาคือด้านทิศเหนือจรดกับลุ่มน้ำกระเสียว ด้านทิศตะวันนออกจรดกับแม่น้ำท่าจีน ด้านทิศใต้จรดกับคลองท่าสาร-บางปลา และทิศตะวันตกจรดกับพื้นที่ลาดเชิงเขาทางฝั่งตะวันตกลุ่มน้ำท่าจีน ซึ่งการพิจารณาพื้นพื้นแยกออกเป็น 2 เขต ตามระดับความสูงของพื้นที่ คือพื้นที่ลาดเชิงเขาและพื้นที่ราบลุ่ม

พื้นที่ลาดเชิงเขา เป็นพื้นที่ธรรมชาตินอกเขตชลประทานทางทิศตะวันตกของลุ่มน้ำท่าจีน พื้นที่ยังไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำมากนัก มีพื้นที่ระบายน้ำประมาณ 1.69 ล้านไร่ น้ำท่าจากพื้นที่นี้ไหลลงคลองระบายน้ำสามชุก 2 และคลองจรเข้สามพัน ระบายลงสู่ทุ่งสองพี่น้อง

พื้นที่ราบลุ่ม เป็นพื้นที่ในเขตชลประทาน ครอบคลุมโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา 3 โครงการคือ พนมทวน สองพี่น้อง และบางเลน มีหัวงานที่เขื่อนแม่กลองซึ่งทดน้ำจากแม่น้ำแม่กลองแล้วส่งไปตามคลองส่งน้ำ 1 ซ้าย (1L) และ 2 ซ้าย (2L) เข้าพื้นที่ชลประทาน โดยมีคลองจรเข้สามพันเป็นคลองระบายน้ำ มีจุดเริ่มต้นจากเขื่อนแม่กลอง อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี และสิ้นสุดที่อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี มีความยาวประมาณ 71.35 กิโลเมตร ความจุ 90 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยมีตำแหน่งตรวจวัดน้ำท่าเป็นฝายยางที่อำเภอดู่ทอง ก่อนไหลรวมกับแม่น้ำสองพี่น้องเพื่อระบายน้ำลงสู่แม่น้ำท่าจีน [10] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

2.2 ข้อมูลที่ใช้

DEM (Digital Elevation Model) คือแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลขชนิดแรสเตอร์ ซึ่งสามารถแสดงความสูงและเปอร์เซนต์ความชันของพื้นที่ โดยการไล่ระดับของสี โดยขนาดของพื้นที่ถูกกำหนดด้วย pixel ซึ่งแต่ละ pixel มีค่าระดับความสูงหน่วยเป็นเมตร สามารถดาวน์โหลดฟรีจากเวปไซต์ http://www.srtm.csi.cgiar.org [11] มี pixel size ขนาด 90 เมตร ระบบอ้างอิงทางภูมิศาสตร์คือ WGS 1984 UTM Zone 47N

แผนที่สภาพภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50000, ระวาง 5037IV, 5037III, 5036IV, 4937IV, 4937III, 4937II, 4937I, 4936IV, 4936I จากกรมแผนที่ทหาร

ข้อมูลคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ จากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน สองพี่น้องและบางเลน ซึ่งเป็นไฟล์ GIS ชนิดเวกเตอร์ ที่มีรายละเอียดชื่อคลอง เพื่อใช้ศึกษาโครงข่ายการระบายน้ำภายในพื้นที่ ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3

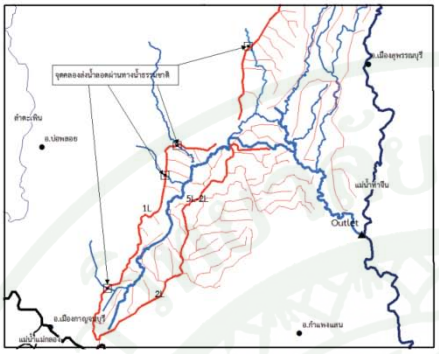
ข้อมูลดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน เป็นไฟล์ GIS และมีรายละเอียดคุณสมบัติทางกายภาพของดินได้แก่ ร้อยละของเนื้อดิน ความลึกดินแต่ละชั้น ค่าศักย์ของการนำน้ำในดิน ค่าความหนาแน่นของดิน ค่า AWC (Available Water Capacity) และชื่อชุดดิน ได้แก่ ชุดดินอยุธยา (Ay) ดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่มีการระบายน้ำเลว (AC-p) ชุดดินบางเลน (Bl) ชุดดินบางเขน (Bn) ชุดดินจตุรัส (Ct) ชุดดินเดิมบาง (Db) ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินโคราช (Kt) ชุดดินลพบุรี (Lb) ชุดดินลาดหญ้า (Ly) ชุดดินแม่แตง (Mt) ชุดดินชุดดินน้ำพอง (Ng) ชุดดินนครปฐม (Np) ชุดดินพิมาย (Pm) ชุดดินโพนงาม (Png) ชุดดินปากท่อ (Pth) ชุดดินเรณู (Rn) ชุดดินสระบุรี (Sb) พื้นที่ลาดเชิงซ้อน (Sc) ชุดดินเสนา (Se) ชุดดินตาคลี (Tk) และชุดดินยางตลาด (Yl) ดังรูปที่ 4

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน เป็นไฟล์ GIS ซึ่งกำหนดลักษณะการใช้ที่ดินตามรหัสของแบบจำลอง SWAT คือ นาข้าว (RICE) เกษตรกรรม (AGRL) พืชไร่หมุนเวียน (AGRR) พื้นที่ชุมชน (URBN) ทุ่งหญ้า (PAST) อ้อย (SUGC) แหล่งน้ำ (WATR) และข้าวโพดและป่าไม้ (FRSE) ดังรูปที่ 5

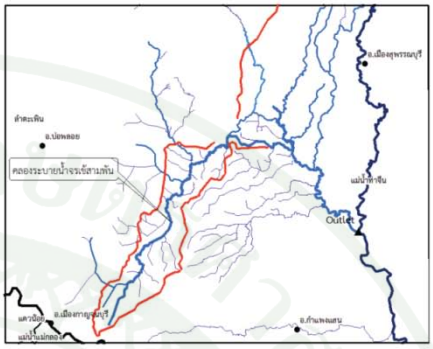
ข้อมูลปริมาณน้ำฝนชนิดรายวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495 ถึงปี พ.ศ. 2554 จากกรมอุตุนิยมวิทยา 5 สถานี คือ เมืองกาญจนบุรี พนมทวน บ่อพลอย เลาขวัญ และอู่ทอง ซึ่งตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้วสรุปเป็นรายเดือนเฉลี่ย *ข้อมูลสภาพอากาศ* เริ่มต้นปี พ.ศ. 2541 ถึงปี พ.ศ. 2554 จากกรมอุตุนิยมวิทยา 3 สถานี คือ กาญจนบุรี นครปฐม และสุพรรณบุรี ซึ่งตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้วสรุปเป็นรายเดือนเฉลี่ย ดังรูปที่ 6

ข้อมูลตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนและสถานีตรวจอากาศ ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาจากกรมอุตุนิยมวิทยา ดังรูปที่ 7

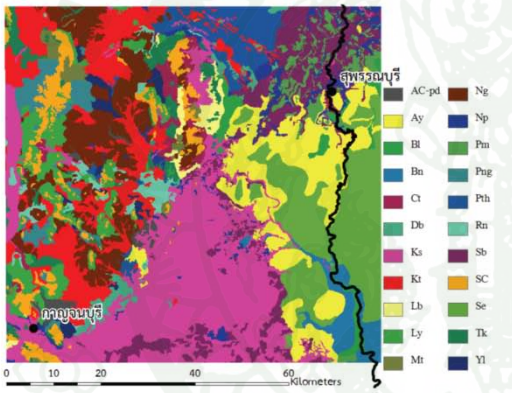
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



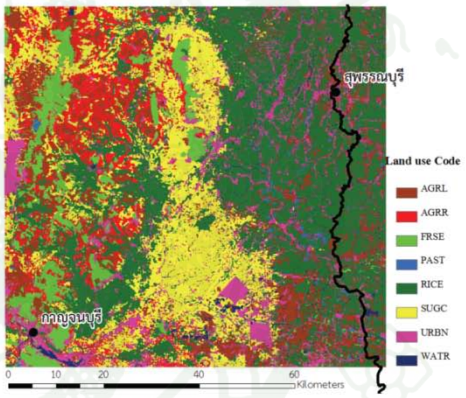
รูปที่ 2 คลองส่งน้ำ



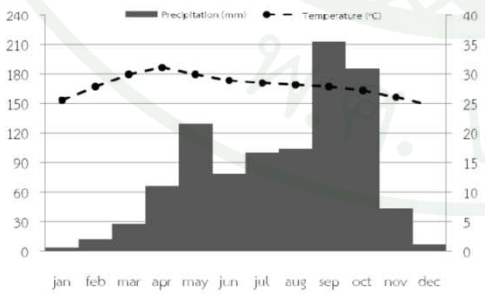
รูปที่ 3 คลองระบายน้ำและทางน้ำธรรมชาติ



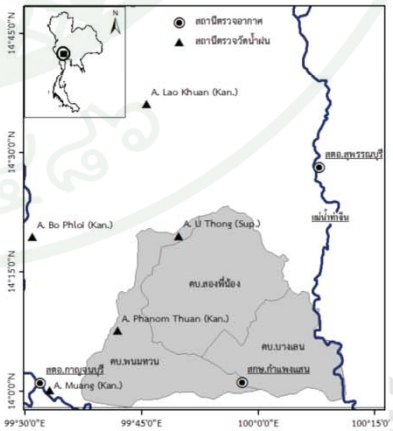
รูปที่ 4 ชุดดิน



รูปที่ 5 ชุดดิน



รูปที่ 6 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน



รูปที่ 7 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนและสถานีตรวจอากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3. แบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) เป็นแบบจำลองชนิด Distributed-parameter model พัฒนาขึ้นโดย Dr. Jeff Arnold for the United States Department of Agriculture Agricultural Research Service (USDA-ARS) เพื่อใช้ในการทำนายผลของการใช้ที่ดินต่อทรัพยากรน้ำ โดยสามารถจำลองกระบวนการทางกายภาพต่างๆ ได้แก่ น้ำท่า ตะกอน และสารเคมีจากการเกษตรของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่ และซับ ที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำย่อยได้ดี.

แบบจำลองการทำงานออกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนพื้นดิน (Land phase) และส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (Routing phase) ซึ่งในบทความนี้ได้พิจารณาเฉพาะส่วนพื้นดินเท่านั้น ซึ่งใช้สมการสมดุลน้ำมาพิจารณากระบวนทางอุทกวิทยา ดังนี้

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

เมื่อ SW_t คือปริมาณน้ำในดินสุดท้าย (mm),
SW_0 คือปริมาณน้ำในดินเริ่มต้น (mm)
t คือเวลา (days)
R_{day} คือปริมาณฝนในวันที่ i (mm)
Q_{surf} คือปริมาณน้ำผิวดินในวันที่ i (mm)
E_a คือปริมาณการคายระเหยในวันที่ i (mm)
W_{seep} คือปริมาณน้ำไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดินในวันที่ i (mm)
Q_{gw} คือปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลกลับสู่ลำน้ำในวันที่ i (mm).

การประเมินน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) และค่าอัตราการไหลของน้ำท่าสูงสุดในแบบจำลอง SWAT สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ วิธี SCS Curve Number [12] และ วิธี Green & Ampt infiltration ซึ่งบทความนี้เลือกใช้วิธี SCS Curve Number เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \qquad (2)$$

เมื่อ Q_{surf} คือปริมานน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (m3/s)
R_{day} คือปริมาณน้ำฝนรายวัน (mm)
S คือ Retention parameter

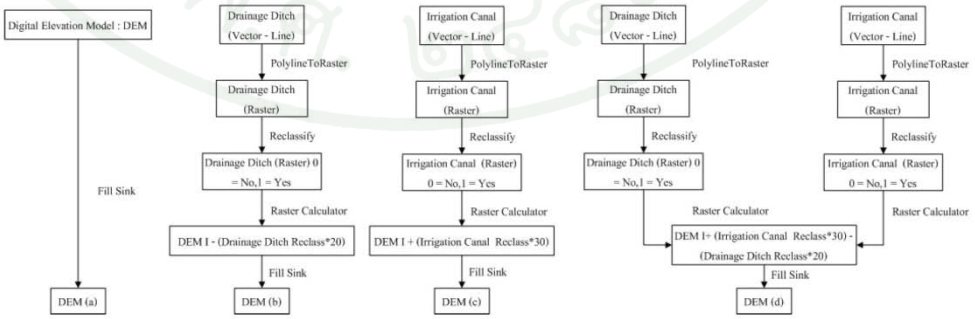
โดยตัวแปร S จะมีความสัมพันธ์กับค่า Curve number (CN) ดังสมการนี้

$$S = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \qquad (3)$$

2.4 วิธีการดำเนินงาน

การศึกษานี้มีขั้นตอนการดำเนินงานแยกออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การเตรียมข้อมูล DEM และการประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ซึ่งในการเตรียมข้อมูล DEM ได้แบ่งเป็น 4 กรณี ตามรูปที่ 8 คือกรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการปรับสภาพข้อมูล กรณี b เป็นการนำเอาข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียวมาปรับสภาพ โดยลบด้วยข้อมูลคลองระบายน้ำและทางน้ำธรรมชาติที่แปลงไฟล์ GIS จากชนิด Vector เป็น ชนิด Raster แล้วจัดกลุ่มข้อมูลใหม่โดย ให้ค่า 0 แทนค่ากริดที่ไม่มีข้อมูลและค่า 1 แทนกริดที่มีข้อมูล แล้วคูณด้วย 20 กรณี c เป็นการนำเอาข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียวมาปรับสภาพ โดยบวกด้วยข้อมูลคลองส่งน้ำที่แปลงไฟล์ GIS จากชนิด Vector เป็น ชนิด Raster แล้วจัดกลุ่มข้อมูลใหม่โดย ให้ค่า 0 แทนค่ากริดที่ไม่มีข้อมูลและค่า 1 แทนกริดที่มีข้อมูลแล้วคูณด้วย 30 กรณี d เป็นการนำเอาข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียวมาปรับสภาพ โดยลบด้วยข้อมูลคลองระบายน้ำและทางน้ำธรรมชาติแล้วบวกด้วยข้อมูลคลองส่งที่ได้จากกรณี b และกรณี c

ส่วนที่สองการประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ซึ่งใช้ DEM 4 กรณี ที่ได้จากการเตรียมจากส่วนแรกมาเป็นข้อมูลนำเข้าหลักเพื่อหาเส้นทางน้ำและกำหนดขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ แล้วจึงกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลดิน การใช้ที่ดิน และความชันของพื้นที่ จากนั้นจึงนำเข้าข้อมูลอากาศ แล้วจึงประเมินน้ำท่า ออกมาเป็น 4 กรณี



รูปที่ 8 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล DEM

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

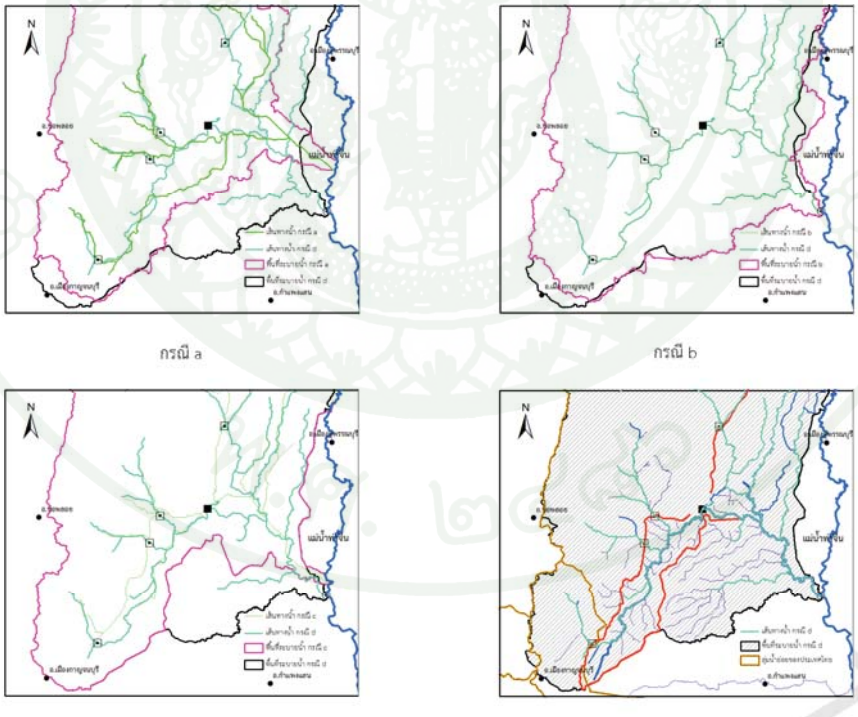
3. ผลและวิจารณ์

3.1 เส้นทางน้ำ

จากรูปที่ 9 แสดงเส้นทางน้ำและพื้นที่ระบายน้ำ 4 กรณี คือกรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

พบว่ากรณี a ไม่สามารถกำหนดจุดออกลำน้ำให้มีตำแหน่งตรงตามความเป็นจริงได้ แต่ลักษณะการระบายน้ำมีทิศทางไหลลงแม่น้ำท่าจีน ส่วนเส้นทางน้ำในเขตพื้นที่ลาดเชิงเขาค่อนข้างสอดคล้องตามความเป็นจริงตามร่องน้ำธรรมชาติ แต่ในเขตพื้นที่ราบลุ่มเส้นทางน้ำไม่มีความสอดคล้องความเป็นจริงตามสภาพพื้นที่ เนื่องจากเส้นทางน้ำไม่ไหลผ่านจุดตรวจวัดน้ำท่า (ฝายยาง) และตำแน่งที่คลองส่งน้ำตัดลอดทางน้ำธรรมชาติคลองระบายน้ำ กรณี b สามารถกำหนดจุดออกลำน้ำในแบบจำลอง SWAT ได้ตรงตำแหน่งตามความเป็นจริงและลักษณะการระบายน้ำมีทิศทางไหลลงลุ่มน้ำท่าจีนชัดเจน โดยเส้นทางน้ำในเขตพื้นที่ลาดเชิงเขาสอดคล้องตามความเป็นจริงตามร่องน้ำธรรมชาติ ส่วนในเขตพื้นที่ราบลุ่มเส้นทางน้ำส่วนมากมีแนวโน้มไปตามแนวคลองระบายน้ำและผ่านจุดตรวจวัดน้ำท่า แต่ยังมีความคลาดเคลื่อน ณ จุดที่คลองส่งน้ำตัดลอดทางน้ำธรรมชาติ กรณี c การกำหนดตำแหน่งจุดออกลำน้ำสามารถทำได้ค่อนข้างใกล้เคียงความเป็นจริง ส่วนลักษณะการระบายน้ำมีทิศทางไหลลงลุ่มน้ำท่าจีน โดยเส้นทางน้ำในเขตพื้นที่ลาดเชิงเขาสอดคล้องตามความเป็นจริงตามร่องน้ำธรรมชาติ ส่วนในเขตพื้นที่ราบลุ่มเส้นทางน้ำที่รับน้ำจากเขตที่ลาดเชิงเขาบางสายไม่สามารถระบายลงสู่คลองระบายจรเข้สามพันได้ตามสภาพจริง เนื่องจากไม่สามารถไหลผ่านผ่านคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้าย (1L) ได้ ทำให้เส้นทางน้ำไม่ไหลผ่านจุดตรวจวัดน้ำท่าและจุดที่คลองส่งน้ำตัดลอดทางน้ำธรรมชาติ กรณี d การกำหนดจุดออกลำน้ำและลักษณะทิศทางการระบายน้ำรวมทั้งเส้นทางน้ำในเขตพื้นที่ลาดเชิงเขามีผลลัพธ์สอดคล้องตามความเป็นจริงคล้ายกับ กรณี b แต่แม่นยำเชิงตำแหน่งมากกว่า ส่วนในเขตพื้นที่ราบลุ่มเส้นทางน้ำส่วนมากมีแนวโน้มไปตามแนวคลองระบายน้ำซึ่งสามารถไหลผ่านจุดที่คลองส่งน้ำตัดลอดทางน้ำธรรมชาติคลองระบายน้ำต่อเนื่องไปถึงจุดตรวจวัดน้ำท่า

เส้นทางน้ำและขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำในเขตพื้นที่ราบ พบว่า กรณี d ที่ทำการปรับสภาพข้อมูล DEM ตามแนวคลองส่งและคลองระบายน้ำให้ผลสอดคล้องตามความเป็นจริงมากที่สุด รองลงมาคือ กรณี b ส่วนกรณี a และกรณี c ผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องตามความเป็นจริง ส่วนในเขตพื้นที่ลาดเชิงเขาแบบจำลองสามารถประเมินเส้นทางน้ำ และขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำได้คล้ายตามกันทั้ง 4 กรณี



รูปที่ 9 เส้นทางน้ำและพื้นที่ระบายน้ำ 4 กรณี (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 พื้นที่ระบายน้ำ

แบบจำลอง SWAT ประเมินขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำต่อเนื่องจากส่วนของผลเส้นทางน้ำจาก 4 กรณี คือ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ โดยมีขนาดพื้นที่แตกต่างกันดังที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พื้นที่ระบายน้ำของการกำหนด DEM 4 กรณี

DEM	Drainage area (km^2)
กรณี a	3,154
กรณี b	4,319
กรณี c	4,944
กรณี d	4,528

จากตารางที่ 1 พบว่ากรณี c มีพื้นที่ระบายน้ำมากที่สุดคือประมาณ 4,944 ตารางกิโลเมตร ตามมาด้วยกรณี b และกรณี d ซึ่งมีขนาดพื้นที่ระบายน้ำใกล้เคียงกันคือประมาณ 4,319 และ 4,528 ตารางกิโลเมตร ส่วนกรณี a มีพื้นที่ระบายน้ำน้อยที่สุดคือประมาณ 3,154 ตารางกิโลเมตร

3.3 น้ำท่า (Runoff)

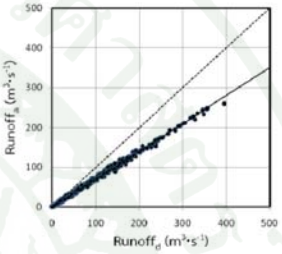
แบบจำลอง SWAT ประเมินปริมาณน้ำท่าต่อเนื่องจากส่วนของผลเส้นทางการไหลและขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ 4 กรณี คือ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ เริ่มต้นปี พ.ศ. 2549 ถึงปี พ.ศ. 2554 โดยมีปริมาณน้ำท่าแตกต่างกันดังที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี (หน่วย: ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

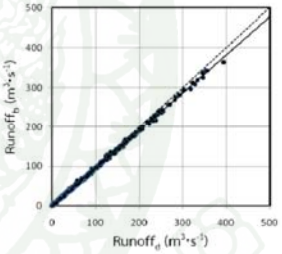
ปี	กรณี a	กรณี b	กรณี c	กรณี d
2549	37.09	48.96	50.66	50.69
2550	31.01	40.48	46.52	40.81
2551	40.39	52.80	63.13	55.94
2552	37.31	48.87	62.63	52.91
2553	69.65	93.84	106.20	97.92
2554	34.62	47.16	52.64	49.76

จากตารางที่ 2 พบว่า กรณี a มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุดในปี พ.ศ. 2553 คือประมาณ 69.65 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีปริมาณน้ำน่าน้อยที่สุดในปีพ.ศ.2550 คือประมาณ 31.01 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที กรณี b มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุดในปี พ.ศ.2553 คือประมาณ 93.84 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีปริมาณน้ำน่าน้อยที่สุดในปี พ.ศ.2550 คือประมาณ 40.48 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที กรณี c มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุดในปี พ.ศ.2553 คือประมาณ 106.20 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีปริมาณน้ำน่าน้อยที่สุดในปี พ.ศ.2550 คือประมาณ 46.52 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที กรณี d มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุดในปี พ.ศ.2553 คือประมาณ 97.92 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีปริมาณน้ำท่าน้อยที่สุดในปี พ.ศ.2550 คือประมาณ 40.81 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

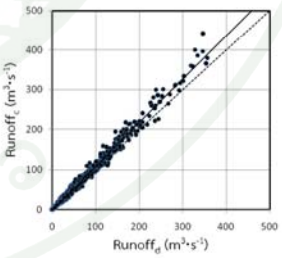
ในปี พ.ศ. 2553 ทุกกรณีมีปริมาณน้ำท่ามากที่สุด ส่วนปีพุทธศักราช 2550 ทุกกรณีมีปริมาณน้ำท่าน้อยที่สุด โดยในปี พ.ศ. 2553 ของกรณี c มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุดคือ 106.20 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีและในปี พ.ศ. 2550 ของกรณี a มีปริมาณน้ำท่าน้อยที่สุดคือ 31.01 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนในกรณี b และกรณี d น้ำท่ามีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกปี



รูปที่ 10 น้ำท่ากรณี a เทียบกับกรณี d



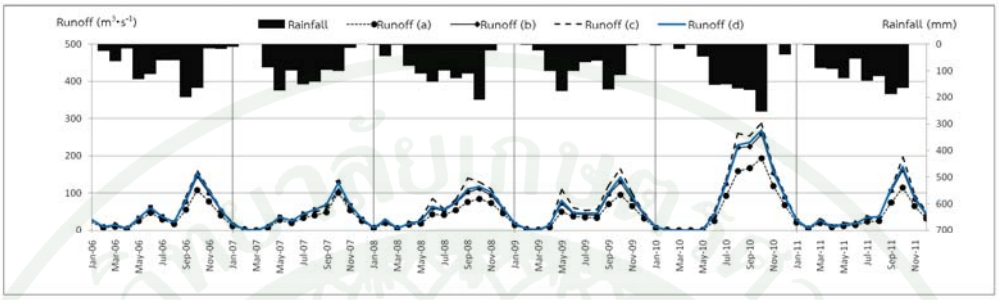
รูปที่ 11 น้ำท่ากรณี b เทียบกับกรณี d



รูปที่ 12 น้ำท่ากรณี c เทียบกับกรณี d

รูปที่ 10 แสดงน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนกรณี a เทียบกับกรณี d พบว่ากรณี a มีปริมาณน้ำท่าที่น้อยกว่าน้ำท่าในกรณี d ค่อนข้างมาก รูปที่ 11 แสดงน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนกรณี b เทียบกับกรณี d พบว่าน้ำท่ากรณี b มีปริมาณน้ำท่าที่น้อยกว่าน้ำท่าในกรณี d เพียงเล็กน้อย รูปที่ 12 แสดงน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนกรณี c เทียบกับกรณี d พบว่ากรณี c ปริมาณน้ำท่าที่มากกว่าน้ำท่าในกรณี d

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



รูปที่ 13 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี เริ่มต้นปี พ.ศ. 2549 ถึงปี พ.ศ. 2554 (กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)

รูปที่13 แสดงกราฟอัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือน 4 กรณี คือ กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ และกรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ เริ่มต้นปีพุทธศักราช 2549 ถึงปีพุทธศักราช 2554 โดยแยกเป็นช่วงเวลาทุก 6 เดือนของทุกปี คือเดือนมกราคม เดือนมีนาคม เดือนพฤษภาคม เดือนกรกฎาคม เดือนกันยายน และเดือนพฤศจิกายน

พบว่าทุกกรณีภายในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายนของทุกปีมีปริมาณน้ำท่ามากที่สุด ซึ่งมากที่สุดในปีพุทธศักราช 2553 และช่วงเดือนมกราคมของทุกปีมีปริมาณน้ำท่าน้อยที่สุดในทุกกรณี

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การการปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่ม โดยแบ่งเป็น 4 กรณีศึกษา คือ (a) ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว (b) ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ (c) ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ (d) ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

การประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่มกรณี d มีผลลัพธ์ความสอดคล้องตามความเป็นจริงมากที่สุด รองลงมาคือกรณี b ส่วนกรณี a และกรณี c ไม่สอดคล้องตามความเป็นจริง โดยกรณี c มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่ระบายน้ำมากที่สุด น้ำท่ากรณี b และกรณี d มีปริมาณน้ำท่าใกล้เคียงกันเนื่องจากมีขนาดพื้นที่ระบายน้ำใกล้เคียงกัน และกรณี a มีปริมาณน้ำท่าน้อยที่สุดเพราะมีขนาดพื้นที่ระบายน้ำน้อยที่สุด

การปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่ม ควรต้องปรับสภาพข้อมูล DEM ด้วยข้อมูลคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำก่อนนำไปวิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางน้ำและการกำหนดขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ เพื่อให้ผลลัพธ์มีความแม่นยำสอดคล้องความตามเป็นจริง

การเตรียมข้อมูลดินและการใช้ที่ดินที่ถูกต้อง จะช่วยส่งผลการกำหนดค่า CN ในแบบจำลอง SWAT ถูกต้อง ซึ่งจะส่องผลให้การคำนวณปริมาณน้ำท่าด้วยสมการของ SCS ใกล้เคียงความจริง อีกทั้งการออกสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจะช่วยให้การวิเคราะห์เกิดความสมจริงมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Saghafian, B. 1992. Implementaltion of a distributed hydrologic model within GRASS, pp. 205 – 208. **(In Michael F.Goodchild. GIS and environmental modeling).** Fort Collins : GIS World Books, USA.

[2] Mitasova, H. 1998. Process modeling and simulation. Available Source: http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u130/u130.html]

[3] Clarke, R.T. 1973. Mathematical models in hydrology. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Irrigation and Drainage paper NO.19, Rome : 1-18.

[4] Boxall, P. 2008. Digital Elevation Model: Version 3 and Flow Direction Grid. Geoscience Australia.

[5] อิศเรศ กะการดี และ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2555. การหาทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำในพื้นที่ราบลุ่มด้วยข้อมูล DEM. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17, WRE10

[6] Luo, Y., B. Su, J. Yuan, H. Li, and Q. Zhang. 2011. GIS Techniques for Watershed Delineation of SWAT Model in Plain Polders. (**Procedia Environmental Sciences**) 10(1): 2050-2057

[7] 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

[8] Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah, and J.R. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model evelopment. **(Journal of the American Water Resources Association)**. Vol 34 No.1

[9] ปกรณ์ อึ้งชัยพงษ์. 2550. การติดตามพลวัตของความต้องการน้ำชลประทานในพื้นที่โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่โดยใช้ข้อมูล MODIS ร่วมกับแบบจำลอง WEAP. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[10] เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย และคณะ. 2550. การวินิจฉัยการจัดการลุ่มน้ำในลุ่มน้ำท่าจีน. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[11] USGS. 2006. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Available Source: http://www.srtm.csi.cgiar.org, June 14, 2007

[12] USDA-SCS. 1985. National Engineering Handbook, Section 4 - Hydrology. Washington, D.C.: USDA-SCS

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

ผลจากแบบจำลอง SWAT แยกตาม HRU

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลน้ำท่า 4 กรณี เริ่มต้นปี ค.ศ. 1952 ถึงปี ค.ศ. 2011 (พ.ศ. 2495 ถึง พ.ศ. 2554)

ตารางผนวกที่ ข1 ปริมาณน้ำท่า 4 กรณี ในหน่วยมิลลิเมตรและลูกบาศก์เมตร

	rainfall	Runoff (mm)				Runoff ($m^3 \cdot s^{-1}$)			
Year	(mm)	Case a	Case b	Case c	Case d	Case a	Case b	Case c	Case d
1952	94.68	30.35	32.32	32.42	32.28	40.97	49.94	58.95	59.89
1953	151.58	61.58	65.16	65.30	65.10	70.70	92.27	95.95	100.75
1954	64.98	14.24	14.39	14.49	14.36	33.28	37.55	49.24	48.27
1955	68.22	17.05	17.31	17.40	17.27	45.21	51.61	70.95	69.15
1956	96.07	29.52	30.05	30.16	30.00	49.84	57.16	72.59	71.78
1957	118.48	50.94	53.29	53.40	53.25	83.37	95.02	126.25	123.72
1958	59.91	22.64	23.24	23.30	23.22	29.59	33.75	43.16	42.65
1959	84.43	32.84	34.09	34.17	34.06	55.69	64.00	83.74	82.23
1960	92.23	39.48	41.62	41.70	41.58	46.76	56.31	66.17	66.81
1961	77.32	25.59	26.06	26.15	26.03	33.81	38.52	48.69	48.22
1962	131.00	69.31	71.54	71.64	71.51	72.70	92.61	102.76	105.80
1963	76.40	34.37	35.29	35.35	35.27	50.73	60.17	74.98	74.84
1964	73.45	26.06	26.26	26.34	26.24	46.51	53.44	70.34	69.03
1965	95.59	34.92	35.66	35.75	35.62	45.65	54.61	66.60	66.81
1966	92.23	32.26	33.75	33.85	33.70	53.85	64.75	80.08	80.15
1967	63.40	20.76	20.77	20.83	20.75	29.59	34.17	43.38	42.93
1968	68.61	23.76	24.42	24.49	24.40	26.74	32.46	35.52	36.37
1969	73.25	19.37	20.07	20.16	20.03	37.27	44.51	54.29	54.61
1970	106.64	31.38	33.07	33.25	33.00	59.10	71.23	86.19	86.77
1971	79.78	23.28	24.40	24.50	24.35	42.30	50.55	60.76	61.06
1972	87.63	32.05	33.10	33.19	33.07	33.50	39.92	44.96	45.72
1973	69.10	25.03	26.14	26.20	26.11	34.38	41.01	48.54	49.03
1974	69.78	22.02	23.00	23.08	22.97	42.24	46.10	63.43	61.41
1975	75.97	29.69	30.57	30.63	30.55	41.17	48.61	59.30	59.30
1976	95.66	41.09	42.61	42.70	42.58	88.98	102.22	143.74	139.74
1977	52.05	18.60	19.03	19.08	19.02	20.38	24.48	28.55	28.85
1978	79.60	32.15	32.87	32.93	32.84	52.04	60.49	84.17	82.18

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Year	rainfall (mm)	Runoff (mm)				Runoff ($m^3 \cdot s^{-1}$)			
		Case a	Case b	Case c	Case d	Case a	Case b	Case c	Case d
1979	61.73	21.90	22.36	22.41	22.34	29.30	34.68	41.96	42.05
1980	80.65	41.51	42.95	43.00	42.93	52.21	63.27	76.14	76.75
1981	78.39	32.72	33.17	33.22	33.15	45.58	53.06	63.97	63.93
1982	57.63	22.11	22.28	22.33	22.26	25.48	29.95	35.22	35.49
1983	114.88	67.83	69.84	69.90	69.82	81.49	99.51	119.44	120.40
1984	81.61	35.17	36.37	36.45	36.35	45.07	53.52	64.82	64.94
1985	74.36	34.35	35.17	35.23	35.15	41.21	49.23	59.49	59.74
1986	87.60	28.32	29.56	29.65	29.53	49.83	59.57	73.99	73.98
1987	89.29	28.92	29.98	30.08	29.94	39.08	45.68	57.54	57.06
1988	92.90	21.54	22.33	22.47	22.27	49.76	58.89	70.90	71.24
1989	47.82	7.84	8.05	8.12	8.03	21.91	25.23	30.67	30.63
1990	98.33	28.07	29.49	29.61	29.44	59.74	68.28	95.51	92.83
1991	71.40	17.57	17.69	17.81	17.64	32.37	38.15	43.70	44.30
1992	78.08	27.40	28.73	28.80	28.70	47.49	55.81	76.22	74.72
1993	76.37	23.83	24.50	24.60	24.46	38.47	46.43	52.96	53.90
1994	77.08	26.10	27.12	27.20	27.08	46.18	52.12	70.14	68.51
1995	130.96	51.85	54.11	54.25	54.05	81.82	97.70	121.15	121.11
1996	105.97	35.87	37.24	37.39	37.19	63.47	73.59	85.70	86.28
1997	56.86	14.52	15.42	15.49	15.39	28.41	31.75	46.15	44.45
1998	91.38	34.40	36.15	36.25	36.11	63.21	70.41	107.85	102.96
1999	99.96	39.40	40.30	40.39	40.26	58.41	67.28	88.46	87.08
2000	69.89	15.76	15.53	15.65	15.49	39.72	44.37	60.53	58.96
2001	80.85	24.61	26.01	26.13	25.96	38.42	45.86	54.46	55.04
2002	81.00	27.38	28.96	29.07	28.92	47.19	55.37	71.28	70.54
2003	82.72	22.38	23.63	23.77	23.57	50.51	58.71	77.40	76.30
2004	57.78	16.35	16.80	16.89	16.76	19.27	22.51	27.94	27.72
2005	81.04	21.64	22.89	23.02	22.84	40.45	47.61	59.93	59.73
2006	72.32	22.14	23.41	23.51	23.37	40.81	48.24	59.88	59.83
2007	72.88	20.78	21.36	21.48	21.31	31.63	37.95	44.07	44.65
2008	78.88	20.87	21.69	21.84	21.62	38.37	44.24	58.77	57.79

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

Year	rainfall (mm)	Runoff (mm)				Runoff ($m^3 \cdot s^{-1}$)			
		Case a	Case b	Case c	Case d	Case a	Case b	Case c	Case d
2009	69.08	16.38	17.16	17.27	17.11	31.83	36.36	49.25	48.19
2010	83.77	28.44	30.43	30.55	30.38	60.93	71.76	92.68	91.89
2011	81.13	24.59	25.65	25.77	25.61	40.82	48.46	60.29	60.27

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การกำหนด HRUs เพื่อกำหนดค่า CN ของแบบจำลอง

ตารางผนวกที่ ข2 ค่าเฉลี่ยรายปีแยกตาม HRUs กรณี a

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
1	1	RICETCr-C	7.29	81	942.46	225.70	77.46	628.61
2	1	RICETKs-B	18.30	73	942.46	169.45	220.97	525.94
3	1	RICETKt-A	32.80	62	942.46	82.06	299.87	527.46
4	1	RICETLy-A	5.17	62	942.46	78.30	263.12	570.36
5	1	RICETMn-D	8.65	84	942.46	334.23	95.15	499.70
6	1	RICETYl-A	14.40	62	942.46	89.68	389.51	420.37
7	2	RICETCr-C	6.34	81	942.46	225.68	77.02	628.64
8	2	RICETKt-A	38.60	62	942.46	82.09	299.32	527.55
9	2	RICETNg-A	27.70	62	942.46	106.06	406.27	384.59
10	2	RICETYl-A	37.90	62	942.46	89.68	389.44	420.36
11	2	FRSETLy-A	4.46	35	942.46	5.66	319.87	583.26
12	2	FRSETSC-D	7.15	77	942.46	270.03	247.72	398.99
13	3	RICETCr-C	0.41	81	942.46	225.67	76.65	628.67
14	3	RICETDc-A	0.25	62	942.46	88.56	385.60	425.37
15	3	RICETKs-B	0.36	73	942.46	169.44	219.84	526.00
16	3	RICETKt-A	0.57	62	942.46	82.10	298.75	527.64
17	3	RICETMn-D	3.18	84	942.46	334.23	94.58	499.73
18	4	RICETKt-A	33.10	62	942.46	82.09	299.49	527.53
19	4	RICETMn-D	5.20	84	942.46	334.25	94.86	499.65
20	4	RICETNg-A	37.70	62	942.46	106.05	406.65	384.56
21	4	RICETRn-B	6.38	73	942.46	165.36	193.10	559.08
22	4	RICETYl-A	5.74	62	942.46	89.67	389.25	420.35
23	4	FRSETLy-A	5.51	35	942.46	5.67	319.77	583.29
24	4	FRSETNg-A	2.02	35	942.46	13.61	496.59	381.11
25	4	FRSETSC-D	11.60	77	942.46	255.64	280.19	385.06
26	4	SUGCTKt-A	6.05	67	942.46	105.99	254.23	553.16
27	4	SUGCTLy-A	3.44	67	942.46	100.50	222.26	593.67
28	4	SUGCTNg-A	35.60	67	942.46	135.93	366.35	398.85
29	5	RICETKs-B	1.32	73	942.46	169.44	219.79	525.99

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
30	5	RICETKt-A	1.16	62	942.46	82.10	298.72	527.61
31	5	RICETMn-D	5.51	84	942.46	334.24	94.29	499.73
32	5	RICETNg-A	0.83	62	942.46	106.06	405.73	384.62
33	5	RICETPth-A	2.07	62	942.46	75.89	305.99	526.05
34	6	RICETKt-A	77.30	62	942.46	82.09	299.23	527.53
35	6	RICETLy-A	15.30	62	942.46	78.32	262.91	570.39
36	6	RICETNg-A	41.70	62	942.46	106.04	406.12	384.57
37	6	RICETTk-A	9.68	62	942.46	99.27	337.43	467.43
38	6	FRSETCt-C	5.06	70	942.46	128.46	200.36	588.24
39	6	FRSETLy-A	2.51	35	942.46	5.35	330.98	577.49
40	6	FRSETSC-D	18.10	77	942.46	270.25	247.22	399.17
41	6	FRSETTk-A	16.90	35	942.46	6.96	335.20	564.40
42	6	SUGCTKt-A	20.00	67	942.46	105.96	254.11	553.14
43	6	SUGCTLb-C	8.90	83	942.46	187.69	22.30	729.79
44	6	SUGCTLy-A	4.28	67	942.46	100.27	223.02	593.27
45	6	SUGCTNg-A	36.50	67	942.46	135.94	365.73	398.91
46	7	RICETCt-C	8.57	81	942.46	234.21	98.30	595.67
47	7	RICETDc-A	11.40	62	942.46	88.56	385.91	425.35
48	7	RICETKs-B	18.50	73	942.46	169.44	220.39	525.98
49	7	RICETMn-D	11.90	84	942.46	334.23	94.74	499.75
50	7	RICETNp-D	8.10	84	942.46	323.63	163.26	432.84
51	7	RICETPth-A	36.90	62	942.46	75.89	306.47	526.06
52	7	FRSETCt-C	5.58	70	942.46	128.38	200.50	588.22
53	7	FRSETKs-B	4.38	55	942.46	48.12	329.52	528.55
54	7	FRSETSC-D	13.00	77	942.46	276.95	232.63	405.33
55	7	FRSETTk-A	6.97	35	942.46	6.95	335.34	564.33
56	7	SUGCTDb-A	2.94	67	942.46	104.63	243.38	566.10
57	7	SUGCTDc-A	4.85	67	942.46	110.87	319.93	476.03
58	7	SUGCTMn-D	6.77	87	942.46	325.28	48.16	561.37
59	7	SUGCTNp-D	4.41	87	942.46	320.44	98.67	508.59
60	7	SUGCTPth-A	9.59	67	942.46	106.66	283.26	520.42

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
61	8	RICETDc-A	9.56	62	942.46	88.56	386.63	425.36
62	8	RICETKs-B	3.57	73	942.46	169.44	220.8	526.01
63	8	RICETMn-D	17.00	84	942.46	334.23	97.21	499.73
64	8	RICETPth-A	26.40	62	942.46	75.89	307.72	526.08
65	8	SUGCTDc-A	4.42	67	942.46	110.85	320.43	476.00
66	8	SUGCTMn-D	3.66	87	942.46	325.27	48.99	561.38
67	8	SUGCTPth-A	23.6	67	942.46	106.66	284.97	520.44
68	9	RICETLb-C	4.80	81	942.46	207.38	31.91	699.42
69	9	RICETNg-A	24.1	62	942.46	106.04	406.26	384.56
70	9	RICETPng-A	22.5	62	942.46	83.82	410.47	404.08
71	9	RICETYl-A	16.00	62	942.46	89.68	389.23	420.36
72	9	FRSETPng-A	0.83	35	942.46	5.77	511.52	374.91
73	9	FRSETSC-D	5.31	77	942.46	272.45	242.46	401.15
74	9	FRSETTk-A	0.57	35	942.46	6.18	349.2	559.22
75	9	SUGCTKt-A	0.89	67	942.46	105.96	254.09	553.12
76	9	SUGCTLb-C	1.07	83	942.46	190.56	17.92	731.35
77	9	SUGCTNg-A	2.65	67	942.46	136.03	365.51	399.06
78	9	SUGCTYl-A	6.66	67	942.46	118.43	345.36	439.61
79	10	RICETKt-A	9.48	62	942.46	82.08	298.98	527.54
80	10	RICETNg-A	86.00	62	942.46	106.05	406.89	384.59
81	10	RICETSC-D	8.25	84	942.46	354.18	136.71	429.43
82	10	FRSETCt-C	6.51	70	942.46	128.46	200.38	588.27
83	10	FRSETSC-D	3.24	77	942.46	250.57	291.56	379.93
84	10	FRSETYl-A	6.07	35	942.46	6.12	472.25	415.36
85	10	SUGCTKt-A	5.94	67	942.46	105.97	254	553.19
86	10	SUGCTNg-A	2.18	67	942.46	136.02	365.36	399.08
87	11	RICETBl-D	12.90	84	991.92	338.31	69.31	572.65
88	11	RICETCt-C	7.37	81	991.92	283.89	88.84	605.17
89	11	RICETKs-B	5.83	73	991.92	215.16	213.36	536.05
90	11	RICETLb-C	25.20	81	991.92	242.07	23.28	723.24
91	11	RICETSC-D	4.52	84	991.92	398.83	153.55	419.58

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
92	11	RICETYl-A	4.43	62	991.92	119.38	405.98	419.85
93	11	FRSETCt-C	12.70	70	991.92	167.91	202.33	594.92
94	11	FRSETKs-B	22.00	55	991.92	68.60	349.16	534.90
95	11	FRSETLb-C	33.70	70	991.92	177.09	33.55	775.32
96	11	FRSETSC-D	16.40	77	991.92	321.89	233.00	407.99
97	11	FRSETTk-A	25.40	35	991.92	10.68	376.23	565.45
98	11	SUGCTAy-D	3.23	87	991.92	394.83	83.48	499.91
99	11	SUGCTBl-D	8.38	87	991.92	338.42	35.04	612.00
100	11	SUGCTDc-A	2.31	67	991.92	145.23	327.28	481.72
101	11	SUGCTPth-A	6.89	67	991.92	138.78	288.71	530.28
102	11	SUGCTSe-D	1.81	87	991.92	402.64	111.52	460.08
103	12	RICETAy-D	14.20	84	991.92	409.83	143.02	418.19
104	12	RICETBl-D	2.30	84	991.92	338.3	69.42	572.71
105	12	RICETMn-D	3.10	84	991.92	396.92	81.14	501.00
106	12	RICETNp-D	5.21	84	991.92	386.62	150.73	432.61
107	12	RICETSb-D	11.90	84	991.92	317.32	37.09	632.16
108	12	SUGCTAy-D	4.46	87	991.92	394.77	83.94	499.91
109	12	SUGCTDb-A	5.66	67	991.92	136.77	246.78	579.13
110	12	SUGCTDc-A	7.46	67	991.92	145.22	327.7	481.72
111	12	SUGCTMn-D	7.83	87	991.92	382.02	38.69	564.72
112	12	SUGCTNp-D	14.90	87	991.92	378.98	89.60	509.99
113	12	SUGCTPm-A	3.52	67	991.92	114.59	372.33	462.06
114	12	SUGCTPth-A	5.95	67	991.92	138.77	288.97	530.31
115	12	SUGCTSb-D	10.80	87	991.92	346.19	19.70	623.73
116	12	SUGCTSe-D	7.44	87	991.92	402.58	112.20	460.07
117	13	RICETKt-A	12.60	62	1004.42	104.93	333.19	531.15
118	13	RICETLy-A	4.50	62	1004.42	101.43	298.89	571.93
119	13	RICETNg-A	64.00	62	1004.42	132.94	441.85	382.81
120	13	RICETPng-A	4.97	62	1004.42	105.03	447.48	405.66
121	13	FRSETLy-A	5.27	35	1004.42	9.20	380.13	582.22
122	13	FRSETPng-A	3.09	35	1004.42	9.95	564.93	378.23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
123	13	FRSETSC-D	14.30	77	1004.42	317.41	262.12	398.30
124	13	SUGCTKt-A	2.96	67	1004.42	133.32	284.63	556.14
125	13	SUGCTLy-A	2.99	67	1004.42	127.74	253.28	595.86
126	13	SUGCTNg-A	16.7	67	1004.42	166.14	398.03	397.01
127	14	RICETKt-A	14.8	62	991.92	111.11	309.02	536.27
128	14	RICETNg-A	45.10	62	991.92	134.49	428.74	380.23
129	14	SUGCTDc-A	1.22	67	991.92	145.23	327.41	481.70
130	14	SUGCTKt-A	2.33	67	991.92	139.67	259.59	562.25
131	14	SUGCTNg-A	8.21	67	991.92	169.91	379.48	397.64
132	15	RICETAy-D	35.10	84	991.92	409.83	143.42	418.19
133	15	RICETBl-D	6.06	84	991.92	338.29	69.70	572.69
134	15	RICETKs-B	6.50	73	991.92	215.25	213.40	536.43
135	15	RICETSb-D	5.50	84	991.92	317.31	36.60	632.18
136	15	RICETSe-D	26.20	84	991.92	363.73	161.28	443.88
137	15	FRSETCt-C	1.42	70	991.92	167.64	202.98	594.70
138	15	FRSETKs-B	0.86	55	991.92	68.59	349.16	534.90
139	15	FRSETLb-C	0.67	70	991.92	178.19	31.90	775.81
140	15	FRSETSC-D	3.41	77	991.92	326.19	223.77	411.74
141	15	FRSETYl-A	0.44	35	991.92	9.55	515.51	413.89
142	16	RICETAy-D	40.60	84	991.92	409.83	142.89	418.21
143	16	RICETKs-B	11.60	73	991.92	215.25	213.32	536.43
144	16	RICETSb-D	5.73	84	991.92	317.34	36.46	632.17
145	16	RICETSe-D	13.60	84	991.92	363.80	160.87	443.97
146	16	FRSETAy-D	1.33	77	991.92	251.17	223.74	487.19
147	16	FRSETKs-B	13.20	55	991.92	68.60	349.16	534.97
148	16	FRSETSb-D	1.40	77	991.92	228.54	92.40	656.92
149	16	FRSETSC-D	1.820	77	991.92	331.65	212.05	416.32
150	17	RICETCt-C	7.42	81	991.92	284.14	88.43	605.53
151	17	RICETKt-A	16.10	62	991.92	111.11	308.88	536.25
152	17	RICETLy-A	10.30	62	991.92	104.60	269.70	585.03
153	17	RICETNg-A	18.00	62	991.92	134.49	428.08	380.22

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
154	17	RICETRn-B	10.50	73	991.92	209.25	185.94	571.19
155	17	FRSETCt-C	7.47	70	991.92	167.98	202.28	594.99
156	17	FRSETKt-A	6.62	35	991.92	9.40	406.24	533.53
157	17	FRSETLb-C	6.61	70	991.92	177.42	32.99	775.44
158	17	FRSETNp-D	4.01	77	991.92	241.77	231.87	488.05
159	17	FRSETRn-B	3.18	55	991.92	64.04	314.31	576.46
160	17	FRSETSC-D	4.95	77	991.92	315.68	246.55	402.48
161	17	FRSETTk-A	12.50	35	991.92	10.68	376.22	565.45
162	17	SUGCTCt-C	1.45	83	991.92	309.65	74.59	595.49
163	17	SUGCTKt-A	0.77	67	991.92	139.70	259.48	562.29
164	17	SUGCTNg-A	5.28	67	991.92	169.91	379.31	397.64
165	18	RICETCt-C	3.78	81	991.92	284.04	88.7	605.40
166	18	RICETKs-B	3.73	73	991.92	215.25	213.33	536.43
167	18	RICETLb-C	2.67	81	991.92	240.36	25.94	722.25
168	18	RICETSb-D	2.22	84	991.92	317.35	36.53	632.17
169	18	RICETSC-D	1.98	84	991.92	398.88	153.51	419.67
170	18	RICETYl-A	4.26	62	991.92	119.33	406.58	419.64
171	18	FRSETKs-B	40.60	55	991.92	68.61	349.61	534.96
172	18	FRSETLb-C	10.40	70	991.92	178.05	32.27	775.73
173	18	FRSETNp-D	4.43	77	991.92	241.87	232.17	488.09
174	18	FRSETSb-D	7.91	77	991.92	228.55	92.68	656.89
175	18	FRSETTk-A	4.86	35	991.92	10.68	376.19	565.50
176	18	FRSETYl-A	9.30	35	991.92	9.53	516.25	413.57
177	19	RICETKt-A	18.30	62	1004.42	104.94	333.17	531.16
178	19	RICETLy-A	47.60	62	1004.42	101.46	298.96	572.05
179	19	RICETNg-A	26.80	62	1004.42	132.92	441.53	382.75
180	19	RICETRn-B	20.00	73	1004.42	199.67	218.90	559.92
181	19	FRSETCt-C	1.55	70	1004.42	154.24	242.77	584.29
182	19	FRSETLy-A	6.16	35	1004.42	9.44	374.71	585.01
183	19	FRSETSC-D	8.28	77	1004.42	303.62	291.82	386.01
184	19	SUGCTKs-B	3.83	77	1004.42	236.09	200.83	543.95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
185	19	SUGCTLy-A	8.00	67	1004.42	127.64	253.64	595.68
186	19	SUGCTNg-A	4.11	67	1004.42	166.15	397.84	397.01
187	19	SUGCTSC-D	1.74	87	1004.42	432.38	183.06	376.27
188	20	RICETKt-A	25.70	62	916.52	102.12	280.84	502.85
189	20	RICETNg-A	6.63	62	916.52	128.02	388.5	356.15
190	20	RICETRn-B	28.00	73	916.52	189.88	179.92	524.45
191	20	FRSETAC-D	2.42	77	916.52	220.07	166.05	508.93
192	20	FRSETKs-B	13.00	55	916.52	63.56	320.02	498.98
193	20	FRSETLb-C	2.43	70	916.52	162.87	39.20	708.47
194	20	FRSETRn-B	7.03	55	916.52	60.02	293.23	530.71
195	21	RICETKt-A	30.80	62	1004.42	104.94	333.32	531.15
196	21	RICETLy-A	23.90	62	1004.42	101.43	299.06	571.90
197	21	RICETNg-A	14.20	62	1004.42	132.92	441.47	382.73
198	21	RICETRn-B	8.01	73	1004.42	199.66	218.78	559.85
199	21	FRSETLy-A	4.52	35	1004.42	9.46	374.48	585.13
200	21	FRSETNg-A	1.08	35	1004.42	22.70	546.19	382.77
201	21	FRSETRn-B	1.06	55	1004.42	62.42	339.18	567.38
202	21	FRSETSC-D	3.15	77	1004.42	318.61	259.48	399.30
203	21	SUGCTKt-A	0.52	67	1004.42	133.33	284.56	556.14
204	21	SUGCTLy-A	2.70	67	1004.42	127.26	254.99	595.02
205	21	SUGCTNg-A	1.74	67	1004.42	166.13	397.86	396.96
206	21	SUGCTRn-B	0.65	77	1004.42	233.81	180.24	567.97
207	21	SUGCTSC-D	0.88	87	1004.42	445.70	149.84	392.71
208	22	RICETAy-D	15.30	84	991.92	409.80	144.41	418.14
209	22	RICETSe-D	36.90	84	991.92	363.69	165.40	443.83
210	23	RICETAy-D	79.40	84	991.92	409.82	150.60	418.19
211	23	RICETSb-D	16.90	84	991.92	317.25	38.09	632.32
212	23	RICETSe-D	18.50	84	991.92	363.71	162.40	443.85
213	24	RICETSe-D	9.13	84	991.92	363.69	163.61	443.83
214	25	RICETAy-D	59.90	84	991.92	409.82	152.78	418.18
215	25	RICETBl-D	11.10	84	991.92	338.31	71.69	572.74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
216	26	RICETAy-D	26.50	84	991.92	410.61	152.05	410.16
217	26	RICETKs-B	4.04	73	991.92	215.86	222.20	527.54
218	26	RICETSe-D	41.5	84	991.92	364.34	170.47	437.00
219	26	FRSETAy-D	2.15	77	991.92	252.03	232.10	478.87
220	26	FRSETKs-B	4.05	55	991.92	69.23	359.58	525.04
221	26	FRSETNp-D	0.49	77	991.92	242.93	239.30	480.28
222	26	FRSETSb-D	0.41	77	991.92	232.29	102.88	642.06
223	27	RICETAy-D	10.70	84	916.58	369.83	142.89	388.11
224	27	RICETDb-A	24.30	62	916.58	98.67	268.07	521.12
225	27	RICETKs-B	12.70	73	916.58	193.97	201.38	498.31
226	27	RICETKt-A	30.70	62	916.58	102.12	281.79	502.85
227	27	RICETLy-A	12.20	62	916.58	97.50	252.69	538.75
228	27	RICETNg-A	47.40	62	916.58	128.09	389.95	356.33
229	27	FRSETKs-B	204.00	55	916.58	63.56	323.81	498.98
230	27	SUGCTAy-D	14.20	87	916.58	354.69	84.07	466.78
231	27	SUGCTCr-C	8.81	83	916.58	261.07	57.63	590.26
232	27	SUGCTKs-B	4.46	77	916.58	221.59	161.65	514.15
233	27	SUGCTKt-A	11.00	67	916.58	127.93	236.40	526.50
234	27	SUGCTNg-A	21.30	67	916.58	158.62	347.32	371.71
235	28	RICETKt-A	72.50	62	916.58	102.90	284.31	498.86
236	28	RICETLy-A	16.20	62	916.58	98.62	254.74	534.53
237	28	RICETNg-A	17.20	62	916.58	128.16	391.58	353.30
238	28	RICETPng-A	16.30	62	916.58	104.82	396.02	373.39
239	28	FRSETDb-A	1.75	35	916.58	8.87	354.13	517.56
240	28	FRSETKt-A	0.65	35	916.58	9.57	374.34	497.53
241	28	FRSETLy-A	2.62	35	916.58	8.37	333.03	544.91
242	28	FRSETPng-A	0.92	35	916.58	9.16	514.12	344.66
243	28	FRSETSC-D	5.87	77	916.58	273.90	271.23	352.10
244	28	SUGCTKt-A	5.87	67	916.58	129.24	238.86	522.01
245	28	SUGCTLy-A	2.89	67	916.58	122.65	210.33	559.68
246	28	SUGCTNg-A	1.75	67	916.58	159.56	351.08	365.87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
247	28	SUGCTSC-D	2.44	87	916.58	414.05	121.99	365.99
248	28	SUGCTTk-A	5.03	67	916.58	126.65	200.02	566.84
249	28	SUGCTYl-A	1.90	67	916.58	142.10	330.12	407.34
250	28	AGRLTKt-A	21.70	67	916.58	131.48	247.06	510.81
251	28	AGRLTLy-A	16.20	67	916.58	124.52	213.50	554.10
252	28	AGRLTSC-D	3.17	87	916.58	415.43	129.91	357.49
253	28	AGRLTTk-A	6.49	67	916.58	130.52	213.96	547.83
254	29	RICETDb-A	8.82	62	1039.84	107.15	332.02	566.05
255	29	RICETKs-B	3.57	73	1039.84	212.51	258.47	539.93
256	29	RICETKt-A	14.80	62	1039.84	110.66	349.80	543.37
257	29	RICETLy-A	17.30	62	1039.84	106.24	313.37	586.99
258	29	FRSETDb-A	13.80	35	1039.84	8.98	425.85	563.73
259	29	FRSETKs-B	22.40	55	1039.84	67.7	393.88	538.88
260	29	FRSETKt-A	5.00	35	1039.84	9.82	444.86	542.84
261	29	FRSETSC-D	6.15	77	1039.84	323.60	277.14	410.92
262	29	FRSETYl-A	9.75	35	1039.84	9.92	548.89	430.01
263	29	AGRLTKt-A	3.00	67	1039.84	142.74	311.54	552.80
264	29	AGRLTLy-A	8.54	67	1039.84	136.47	273.06	600.64
265	29	AGRLTSC-D	1.77	87	1039.84	447.06	191.76	387.47
266	29	AGRLTTk-A	0.76	67	1039.84	146.03	290.45	573.17

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าเฉลี่ยรายปีแยกตาม HRUs กรณี b

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
1	1	RICETCr-C	13.40	81	942.46	225.66	76.97	628.57
2	1	RICETKs-B	18.90	73	942.46	169.44	220.21	525.89
3	1	RICETKt-A	71.10	62	942.46	82.07	299.39	527.46
4	1	RICETMn-D	19.90	84	942.46	334.24	94.55	499.63
5	1	RICETNg-A	31.50	62	942.46	106.06	406.12	384.59
6	1	RICETYl-A	50.80	62	942.46	89.67	389.33	420.35
7	1	FRSETLy-A	6.12	35	942.46	5.66	319.88	583.25
8	1	FRSETSC-D	8.99	77	942.46	271.58	244.27	400.41
9	2	RICETKt-A	14.20	62	942.46	82.07	299.22	527.45
10	2	RICETNg-A	35.30	62	942.46	106.05	406.42	384.55
11	2	RICETRn-B	5.57	73	942.46	165.34	192.94	559.03
12	2	RICETYl-A	5.71	62	942.46	89.67	389.16	420.35
13	2	FRSETLy-A	5.55	35	942.46	5.67	319.79	583.27
14	2	FRSETNg-A	2.04	35	942.46	13.61	496.59	381.10
15	2	FRSETSC-D	11.70	77	942.46	255.65	280.11	385.05
16	2	SUGCTKt-A	7.70	67	942.46	105.89	254.41	552.97
17	2	SUGCTLy-A	3.47	67	942.46	100.50	222.23	593.65
18	2	SUGCTNg-A	35.90	67	942.46	135.93	366.16	398.84
19	3	RICETDc-A	0.24	62	942.46	88.33	387.05	424.70
20	3	RICETKt-A	0.47	62	942.46	82.07	298.78	527.51
21	3	RICETRn-B	0.73	73	942.46	165.34	192.44	559.15
22	3	SUGCTKt-A	0.08	67	942.46	105.99	253.65	553.27
23	3	SUGCTRn-B	0.02	77	942.46	196.49	157.29	567.06
24	4	RICETKt-A	22.30	62	942.46	82.07	299.11	527.46
25	4	RICETNg-A	9.33	62	942.46	106.05	405.93	384.57
26	4	SUGCTKt-A	10.00	67	942.46	105.96	254.04	553.14
27	4	SUGCTNg-A	37.00	67	942.46	135.94	365.80	398.90
28	5	RICETCt-C	5.42	81	942.46	234.32	97.96	595.74
29	5	RICETKt-A	23.10	62	942.46	82.09	298.96	527.57
30	5	RICETLy-A	7.34	62	942.46	78.36	262.59	570.61
31	5	RICETMn-D	11.00	84	942.46	334.24	94.25	499.66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
32	5	RICETNg-A	23.40	62	942.46	106.05	406.01	384.58
33	5	RICETPth-A	6.90	62	942.46	75.84	306.30	525.82
34	5	RICETRn-B	6.51	73	942.46	165.35	192.68	559.17
35	5	RICETTk-A	7.50	62	942.46	99.28	337.35	467.46
36	5	FRSETCt-C	4.69	70	942.46	128.45	200.28	588.28
37	5	FRSETSC-D	4.72	77	942.46	282.04	221.46	409.78
38	5	FRSETTk-A	15.40	35	942.46	6.97	335.12	564.47
39	5	FRSETYl-A	1.84	35	942.46	6.11	472.36	415.32
40	6	RICETKs-B	3.19	73	942.46	169.45	220.11	525.89
41	6	RICETKt-A	37.50	62	942.46	82.07	299.31	527.47
42	6	RICETLb-C	3.54	81	942.46	207.23	32.10	699.32
43	6	RICETLy-A	5.79	62	942.46	78.28	263.16	570.22
44	6	RICETNg-A	6.02	62	942.46	105.98	406.20	384.42
45	6	FRSETLb-C	1.62	70	942.46	75.74	169.92	694.44
46	6	FRSETLy-A	1.78	35	942.46	5.38	330.20	577.89
47	6	FRSETSC-D	9.34	77	942.46	257.21	276.45	386.62
48	6	SUGCTKt-A	8.98	67	942.46	105.95	254.15	553.11
49	6	SUGCTLb-C	8.82	83	942.46	187.73	22.36	729.75
50	6	SUGCTLy-A	1.88	67	942.46	100.49	222.18	593.65
51	6	SUGCTNg-A	1.71	67	942.46	135.95	365.56	398.90
52	6	SUGCTPng-A	1.48	67	942.46	117.42	380.63	402.31
53	7	RICETDc-A	9.69	62	942.46	88.56	386.60	425.36
54	7	RICETKs-B	3.56	73	942.46	169.44	220.75	526.01
55	7	RICETMn-D	17.00	84	942.46	334.23	97.09	499.73
56	7	RICETPth-A	28.80	62	942.46	75.88	307.77	526.06
57	7	SUGCTDb-A	1.30	67	942.46	104.53	243.81	565.89
58	7	SUGCTDc-A	3.65	67	942.46	110.84	320.34	475.98
59	7	SUGCTMn-D	2.00	87	942.46	325.27	48.69	561.38
60	7	SUGCTPth-A	12.80	67	942.46	106.65	284.19	520.42
61	8	RICETCr-C	6.51	81	942.46	225.67	77.57	628.67
62	8	RICETDb-A	5.18	62	942.46	79.24	280.91	550.28

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
63	8	RICETKt-A	6.55	62	942.46	82.10	299.23	527.61
64	8	RICETMn-D	42.70	84	942.46	334.23	97.87	499.74
65	8	RICETPth-A	34.30	62	942.46	75.88	307.27	526.04
66	8	SUGCTDb-A	1.76	67	942.46	104.64	243.53	566.12
67	8	SUGCTPth-A	31.80	67	942.46	106.64	284.48	520.40
68	9	RICETKt-A	9.48	62	942.46	82.08	298.94	527.54
69	9	RICETNg-A	86.00	62	942.46	106.04	406.72	384.55
70	9	RICETSC-D	8.25	84	942.46	353.83	137.45	429.00
71	9	FRSETCt-C	6.51	70	942.46	128.46	200.34	588.27
72	9	FRSETSC-D	3.20	77	942.46	250.37	291.99	379.72
73	9	FRSETYl-A	6.07	35	942.46	6.12	472.25	415.36
74	9	SUGCTKt-A	5.94	67	942.46	105.97	253.97	553.19
75	9	SUGCTNg-A	2.34	67	942.46	135.93	365.53	398.90
76	10	RICETLb-C	4.80	81	942.46	207.38	31.92	699.42
77	10	RICETNg-A	24.00	62	942.46	106.04	406.27	384.56
78	10	RICETPng-A	22.50	62	942.46	83.82	410.47	404.08
79	10	RICETYl-A	16.00	62	942.46	89.68	389.24	420.36
80	10	FRSETPng-A	0.83	35	942.46	5.77	511.52	374.91
81	10	FRSETSC-D	5.31	77	942.46	272.45	242.47	401.15
82	10	FRSETTk-A	0.58	35	942.46	6.18	349.20	559.22
83	10	SUGCTKt-A	0.90	67	942.46	105.96	254.10	553.12
84	10	SUGCTLb-C	1.07	83	942.46	190.56	17.92	731.35
85	10	SUGCTNg-A	2.33	67	942.46	136.03	365.52	399.06
86	10	SUGCTYl-A	6.67	67	942.46	118.43	345.37	439.61
87	11	RICETBl-D	25.70	84	991.90	338.29	69.79	572.62
88	11	RICETCt-C	20.20	81	991.90	283.98	88.98	605.29
89	11	RICETKs-B	31.50	73	991.90	215.22	213.62	536.31
90	11	RICETLb-C	28.80	81	991.90	242.22	23.38	723.29
91	11	RICETMn-D	11.80	84	991.90	396.91	81.06	500.90
92	11	RICETNp-D	10.80	84	991.90	386.55	150.67	432.52
93	11	RICETPth-A	24.20	62	991.90	101.71	317.74	535.91

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
94	11	FRSETCt-C	19.70	70	991.90	167.89	202.57	594.91
95	11	FRSETKs-B	27.70	55	991.90	68.60	349.32	534.89
96	11	FRSETLb-C	34.30	70	991.90	177.09	33.70	775.32
97	11	FRSETSC-D	33.20	77	991.90	322.27	232.57	408.31
98	11	FRSETTk-A	32.40	35	991.90	10.68	376.32	565.42
99	11	SUGCTAy-D	5.59	87	991.90	394.15	84.66	499.54
100	11	SUGCTBl-D	9.58	87	991.90	338.36	35.27	611.96
101	11	SUGCTDc-A	6.51	67	991.90	145.19	327.54	481.61
102	11	SUGCTPth-A	7.71	67	991.90	138.78	288.84	530.27
103	11	SUGCTSe-D	3.62	87	991.90	402.59	111.76	460.05
104	12	RICETAy-D	14.40	84	991.90	409.75	143.29	417.97
105	12	RICETDc-A	6.11	62	991.90	118.52	400.60	427.27
106	12	RICETMn-D	4.98	84	991.90	396.92	81.79	501.00
107	12	RICETPth-A	15.60	62	991.90	101.73	318.01	536.04
108	12	RICETSb-D	13.40	84	991.90	317.25	37.25	632.10
109	12	SUGCTDb-A	8.24	67	991.90	136.72	247.06	579.02
110	12	SUGCTDc-A	9.61	67	991.90	145.20	327.92	481.65
111	12	SUGCTMn-D	12.80	87	991.90	382.02	39.23	564.72
112	12	SUGCTNp-D	16.80	87	991.90	378.83	89.83	509.93
113	12	SUGCTPth-A	27.20	67	991.90	138.75	289.80	530.25
114	12	SUGCTSb-D	10.10	87	991.90	346.06	19.76	623.58
115	12	SUGCTSe-D	5.81	87	991.90	402.63	112.60	460.11
116	13	RICETAy-D	6.02	84	991.90	409.75	142.18	417.98
117	13	RICETKs-B	0.59	73	991.90	214.96	214.14	535.48
118	13	RICETSb-D	0.51	84	991.90	317.12	36.17	631.92
119	14	RICETAy-D	8.10	84	991.90	409.76	147.23	418.04
120	14	RICETMn-D	7.97	84	991.90	396.92	87.01	501.03
121	14	RICETNp-D	8.50	84	991.90	386.15	156.51	432.23
122	14	RICETSb-D	27.10	84	991.90	317.19	47.44	632.25
123	14	SUGCTMn-D	4.67	87	991.90	381.96	41.19	564.66
124	14	SUGCTNp-D	5.32	87	991.90	378.36	92.54	509.74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
125	14	SUGCTPm-A	4.36	67	991.90	114.58	373.91	462.04
126	14	SUGCTSb-D	9.01	87	991.90	345.91	23.84	623.43
127	15	RICETKt-A	18.30	62	1004.42	104.91	333.20	531.10
128	15	RICETNg-A	76.00	62	1004.42	132.93	441.72	382.78
129	15	RICETPng-A	6.96	62	1004.42	105.04	447.39	405.68
130	15	FRSETLy-A	5.45	35	1004.42	9.20	380.12	582.21
131	15	FRSETPng-A	3.20	35	1004.42	9.95	564.93	378.23
132	15	FRSETSC-D	14.80	77	1004.42	317.41	262.05	398.30
133	15	SUGCTKt-A	4.35	67	1004.42	133.28	284.67	556.09
134	15	SUGCTLy-A	3.03	67	1004.42	127.74	253.23	595.85
135	15	SUGCTNg-A	19.20	67	1004.42	166.14	397.93	397.01
136	16	RICETKt-A	3.30	62	991.90	110.99	309.22	535.97
137	16	RICETNg-A	15.80	62	991.90	134.48	428.00	380.19
138	16	RICETNp-D	2.70	84	991.90	386.60	150.13	432.57
139	16	SUGCTDc-A	1.16	67	991.90	145.12	327.58	481.46
140	16	SUGCTKt-A	0.35	67	991.90	138.89	262.02	561.07
141	16	SUGCTNg-A	3.94	67	991.90	169.88	379.23	397.59
142	17	RICETAy-D	5.66	84	991.90	409.73	142.32	417.93
143	18	RICETAy-D	59.10	84	991.90	409.77	143.84	418.05
144	18	RICETSb-D	25.90	84	991.90	317.28	36.92	632.21
145	18	RICETSe-D	25.40	84	991.90	363.59	161.14	443.66
146	19	RICETAy-D	5.79	84	991.90	409.63	143.48	417.71
147	19	RICETSe-D	3.99	84	991.90	363.69	160.52	443.82
148	20	RICETCt-C	7.33	81	991.90	284.02	88.56	605.34
149	20	RICETKt-A	16.00	62	991.90	111.09	308.90	536.20
150	20	RICETLb-C	4.37	81	991.90	241.44	24.09	722.89
151	20	RICETLy-A	7.02	62	991.90	104.41	270.73	584.44
152	20	RICETNg-A	22.00	62	991.90	134.50	428.02	380.24
153	20	RICETRn-B	6.20	73	991.90	209.24	185.82	571.14
154	20	FRSETCt-C	7.70	70	991.90	167.98	202.22	594.99
155	20	FRSETKt-A	6.54	35	991.90	9.37	406.83	533.27

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
156	20	FRSETLb-C	8.87	70	991.90	177.58	32.75	775.51
157	20	FRSETNp-D	3.95	77	991.90	241.73	231.87	488.04
158	20	FRSETRn-B	5.69	55	991.90	64.01	314.41	576.38
159	20	FRSETSC-D	5.50	77	991.90	317.39	242.75	404.02
160	20	FRSETTk-A	16.30	35	991.90	10.67	376.54	565.23
161	20	FRSETYl-A	4.46	35	991.90	9.52	516.87	413.29
162	20	SUGCTCt-C	1.43	83	991.90	309.65	74.53	595.49
163	20	SUGCTKt-A	0.85	67	991.90	139.69	259.44	562.28
164	20	SUGCTNg-A	4.89	67	991.90	169.91	379.25	397.65
165	21	RICETAy-D	15.80	84	991.90	409.76	142.51	417.97
166	21	RICETCt-C	4.22	81	991.90	283.99	88.73	605.33
167	21	RICETKs-B	6.83	73	991.90	215.22	213.30	536.33
168	21	RICETSb-D	3.28	84	991.90	317.24	36.42	632.03
169	21	RICETSC-D	2.73	84	991.90	397.51	157.00	417.96
170	21	RICETYl-A	4.29	62	991.90	119.33	406.53	419.64
171	21	FRSETKs-B	43.60	55	991.90	68.58	349.57	534.84
172	21	FRSETLb-C	8.02	70	991.90	177.71	32.62	775.61
173	21	FRSETNp-D	5.09	77	991.90	241.26	232.92	487.93
174	21	FRSETSb-D	7.29	77	991.90	228.32	92.69	656.70
175	21	FRSETYl-A	6.72	35	991.90	9.54	516.19	413.60
176	22	RICETAy-D	7.95	84	991.90	410.54	150.49	410.01
177	22	RICETKs-B	1.63	73	991.90	215.83	222.20	527.44
178	22	RICETSb-D	2.61	84	991.90	322.41	43.50	619.49
179	22	RICETSe-D	8.44	84	991.90	364.31	167.89	436.92
180	22	FRSETKs-B	55.30	55	991.90	69.23	361.01	525.00
181	23	RICETKt-A	15.50	62	1004.42	104.92	333.15	531.11
182	23	RICETLy-A	45.90	62	1004.42	101.46	298.85	572.05
183	23	RICETNg-A	27.10	62	1004.42	132.92	441.44	382.75
184	23	RICETRn-B	20.40	73	1004.42	199.66	218.79	559.88
185	23	FRSETCt-C	1.56	70	1004.42	154.24	242.75	584.29
186	23	FRSETLy-A	6.05	35	1004.42	9.45	374.61	585.07

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
187	23	FRSETSC-D	8.33	77	1004.42	303.51	292.02	385.90
188	23	SUGCTKs-B	3.83	77	1004.42	236.09	200.74	543.95
189	23	SUGCTLy-A	8.00	67	1004.42	127.63	253.64	595.66
190	23	SUGCTNg-A	4.11	67	1004.42	166.15	397.77	397.01
191	23	SUGCTSC-D	1.74	87	1004.42	432.38	183.02	376.28
192	24	RICETAy-D	8.60	84	991.90	409.76	141.84	418.01
193	24	RICETSe-D	3.43	84	991.90	363.55	160.21	443.59
194	25	RICETAy-D	98.00	84	991.90	409.81	151.24	418.15
195	25	RICETPm-A	29.80	62	991.90	79.42	401.06	467.41
196	25	RICETSb-D	52.80	84	991.90	317.26	40.95	632.09
197	25	RICETSe-D	34.10	84	991.90	363.65	163.83	443.76
198	25	SUGCTPm-A	27.60	67	991.90	114.51	374.00	461.85
199	25	SUGCTSb-D	59.00	87	991.90	346.13	24.20	623.67
200	26	RICETAy-D	16.70	84	991.90	410.52	151.18	409.94
201	26	RICETKs-B	8.82	73	991.90	215.85	222.59	527.49
202	26	RICETSb-D	8.58	84	991.90	322.39	43.88	619.44
203	26	RICETSe-D	4.82	84	991.90	364.23	167.80	436.79
204	26	FRSETKs-B	49.80	55	991.90	69.22	360.82	524.97
205	27	RICETKt-A	27.20	62	916.58	102.87	283.88	498.71
206	27	RICETLy-A	6.11	62	916.58	98.62	254.55	534.52
207	27	RICETNg-A	18.60	62	916.58	128.10	391.66	353.13
208	27	RICETRn-B	10.20	73	916.58	191.50	180.80	521.25
209	27	FRSETKt-A	0.33	35	916.58	9.77	370.23	499.37
210	27	FRSETLy-A	1.25	35	916.58	8.34	333.67	544.59
211	27	FRSETRn-B	1.63	55	916.58	60.30	295.17	528.18
212	27	FRSETSC-D	0.83	77	916.58	274.82	268.96	353.04
213	27	FRSETYl-A	0.29	35	916.58	9.81	475.50	383.55
214	28	RICETKt-A	1.42	62	991.90	111.48	316.89	528.51
215	28	RICETRn-B	15.20	73	991.90	210.63	197.01	558.90
216	28	FRSETKs-B	3.24	55	991.90	69.22	359.49	524.95
217	28	FRSETLb-C	0.80	70	991.90	188.19	45.21	751.81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
218	28	FRSETRn-B	3.16	55	991.90	65.07	327.30	562.88
219	29	RICETKt-A	28.70	62	1004.42	104.92	333.18	531.11
220	29	RICETLy-A	24.00	62	1004.42	101.43	298.95	571.90
221	29	RICETNg-A	14.20	62	1004.42	132.92	441.34	382.73
222	29	RICETRn-B	7.72	73	1004.42	199.62	218.73	559.73
223	29	FRSETLy-A	4.44	35	1004.42	9.46	374.47	585.13
224	29	FRSETNg-A	1.06	35	1004.42	22.70	546.18	382.77
225	29	FRSETRn-B	1.04	55	1004.42	62.42	339.15	567.38
226	29	FRSETSC-D	3.10	77	1004.42	318.61	259.41	399.30
227	29	SUGCTKt-A	0.52	67	1004.42	133.33	284.47	556.14
228	29	SUGCTLy-A	2.70	67	1004.42	127.26	254.94	595.02
229	29	SUGCTNg-A	1.74	67	1004.42	166.13	397.76	396.97
230	29	SUGCTRn-B	0.65	77	1004.42	233.81	180.14	567.97
231	29	SUGCTSC-D	0.89	87	1004.42	445.70	149.77	392.71
232	30	RICETAy-D	22.50	84	991.90	410.54	151.57	410.00
233	30	RICETKs-B	3.45	73	991.90	215.85	222.33	527.50
234	30	RICETSe-D	26.50	84	991.90	364.13	169.57	436.64
235	30	FRSETKs-B	38.90	55	991.90	69.22	360.59	524.98
236	30	FRSETSb-D	2.77	77	991.90	232.26	103.23	642.04
237	31	RICETAC-D	3.41	84	916.58	306.98	94.29	502.04
238	31	RICETKs-B	2.37	73	916.58	193.90	200.68	498.05
239	31	RICETKt-A	6.46	62	916.58	102.06	281.06	502.65
240	31	RICETLb-C	1.89	81	916.58	223.42	28.46	660.98
241	31	RICETNg-A	2.45	62	916.58	128.08	388.23	356.30
242	31	RICETRn-B	3.81	73	916.58	189.84	179.82	524.31
243	31	RICETYl-A	3.48	62	916.58	111.58	371.25	392.59
244	31	FRSETAC-D	6.86	77	916.58	219.99	166.29	508.61
245	31	FRSETKs-B	15.50	55	916.58	63.55	320.12	498.93
246	31	FRSETKt-A	3.65	35	916.58	9.72	368.31	501.77
247	31	FRSETYl-A	2.80	35	916.58	9.83	472.46	386.79
248	32	RICETAy-D	32.50	84	916.58	369.79	140.14	387.94

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
249	32	RICETKs-B	16.00	73	916.58	193.95	201.00	498.22
250	32	RICETSb-D	3.74	84	916.58	288.52	42.34	579.28
251	32	RICETSe-D	8.68	84	916.58	327.50	154.05	414.08
252	32	FRSETKs-B	217.00	55	916.58	63.54	321.84	498.91
253	32	FRSETSb-D	15.30	77	916.58	206.20	93.13	604.86
254	33	RICETKt-A	15.80	62	916.58	102.80	284.09	498.53
255	33	RICETLy-A	10.80	62	916.58	98.49	255.30	534.14
256	33	RICETNg-A	29.20	62	916.58	128.13	391.53	353.19
257	33	FRSETAC-D	1.08	77	916.58	222.13	167.64	504.70
258	33	FRSETKs-B	3.23	55	916.58	63.84	322.97	495.46
259	33	FRSETLy-A	0.66	35	916.58	8.18	338.74	542.10
260	33	FRSETNg-A	0.49	35	916.58	19.22	496.51	350.91
261	33	FRSETPng-A	0.34	35	916.58	9.15	514.80	344.36
262	33	FRSETSC-D	0.69	77	916.58	290.91	232.40	368.68
263	33	SUGCTAC-D	2.97	87	916.58	366.34	67.75	472.20
264	33	SUGCTAy-D	2.97	87	916.58	358.14	83.53	462.52
265	33	SUGCTCr-C	1.63	83	916.58	262.87	55.35	589.88
266	33	SUGCTKt-A	7.41	67	916.58	129.10	239.16	521.74
267	33	SUGCTNg-A	10.60	67	916.58	159.52	351.09	365.77
268	34	RICETSe-D	34.40	84	991.90	364.17	169.32	436.72
269	35	RICETDb-A	33.90	62	916.58	99.51	270.96	516.04
270	35	RICETKt-A	101.00	62	916.58	102.89	284.24	498.79
271	35	RICETLy-A	42.60	62	916.58	98.65	254.64	534.63
272	35	RICETNg-A	30.10	62	916.58	128.17	391.59	353.29
273	35	RICETPng-A	17.50	62	916.58	104.82	396.02	373.34
274	35	FRSETDb-A	20.40	35	916.58	8.86	354.30	517.48
275	35	FRSETKs-B	100.00	55	916.58	63.87	323.24	495.61
276	35	FRSETSC-D	13.70	77	916.58	278.41	260.83	356.69
277	35	FRSETYl-A	10.70	35	916.58	9.79	475.94	383.39
278	35	SUGCTAy-D	11.50	87	916.58	357.37	85.14	462.13
279	35	SUGCTCr-C	7.34	83	916.58	262.88	55.54	589.90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
280	35	SUGCTKs-B	3.68	77	916.58	223.97	162.89	509.72
281	35	SUGCTKt-A	9.91	67	916.58	129.24	238.88	521.99
282	35	SUGCTLy-A	3.48	67	916.58	122.66	210.31	559.68
283	35	SUGCTNg-A	12.60	67	916.58	159.56	351.17	365.85
284	35	SUGCTTk-A	5.57	67	916.58	126.65	200.01	566.83
285	35	AGRLTKt-A	24.70	67	916.58	131.47	247.13	510.68
286	35	AGRLTLy-A	24.80	67	916.58	124.51	213.55	554.04
287	35	AGRLTSC-D	4.95	87	916.58	414.53	132.28	356.29
288	35	AGRLTTk-A	7.23	67	916.58	130.51	214.09	547.66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 ค่าเฉลี่ยรายปีแยกตาม HRUs กรณี c

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
1	1	RICETCt-C	7.94	81	942.46	233.85	98.92	595.16
2	1	RICETKt-A	3.18	62	942.46	82.03	299.24	527.28
3	1	RICETLb-C	8.22	81	942.46	205.75	34.56	698.33
4	1	RICETLy-A	1.77	62	942.46	78.29	263.18	570.14
5	1	RICETSC-D	4.47	84	942.46	344.84	160.10	417.75
6	1	RICETYl-A	7.27	62	942.46	89.64	389.22	420.22
7	1	FRSETSC-D	72.80	77	942.46	270.77	246.36	399.55
8	1	FRSETYl-A	16.70	35	942.46	6.04	475.99	413.75
9	1	SUGCTCt-C	11.40	83	942.46	258.60	85.05	585.71
10	1	SUGCTKt-A	39.10	67	942.46	105.97	254.16	553.07
11	1	SUGCTLy-A	7.48	67	942.46	100.71	221.42	593.97
12	1	SUGCTTk-A	7.60	67	942.46	104.60	220.88	590.64
13	1	SUGCTYl-A	43.10	67	942.46	118.44	345.36	439.59
14	1	WATRTKt-A	27.10	92	942.46	0.00	0.00	1806.29
15	1	AGRRTLb-C	15.50	85	942.46	188.99	36.91	714.86
16	1	AGRRTLy-A	4.30	67	942.46	103.55	227.65	583.97
17	1	AGRRTSC-D	15.00	89	942.46	438.51	118.64	372.66
18	1	AGRRTYl-A	7.70	67	942.46	121.32	363.45	417.50
19	1	CORNTTk-A	4.09	67	942.46	105.90	229.03	580.32
20	1	CORNTYl-A	29.60	67	942.46	120.75	357.16	424.08
21	2	RICETKt-A	12.50	62	942.46	82.07	299.05	527.40
22	2	RICETLy-A	43.50	62	942.46	78.28	263.40	570.05
23	2	RICETSC-D	14.00	84	942.46	340.80	170.37	412.68
24	2	RICETTk-A	5.46	62	942.46	99.25	337.75	467.12
25	2	RICETYl-A	4.83	62	942.46	89.65	389.11	420.26
26	2	FRSETLy-A	9.09	35	942.46	5.70	319.06	583.59
27	2	FRSETSC-D	55.10	77	942.46	270.29	247.42	399.06
28	3	RICETRn-B	0.31	73	942.46	165.36	192.44	559.21
29	3	SUGCTKs-B	0.50	77	942.46	198.00	178.69	542.67
30	3	SUGCTRn-B	0.97	77	942.46	196.50	157.28	567.02
31	4	RICETDb-A	1.88	62	942.46	79.24	280.77	550.06

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
32	4	RICETLb-C	1.35	81	942.46	192.93	55.38	690.78
33	4	RICETLy-A	3.29	62	942.46	78.31	263.05	570.24
34	4	RICETNg-A	1.80	62	942.46	105.93	406.40	384.26
35	4	RICETRn-B	1.66	73	942.46	165.38	192.78	559.09
36	4	RICETSC-D	1.00	84	942.46	344.83	160.10	417.76
37	4	RICETTk-A	3.82	62	942.46	99.17	338.53	466.58
38	4	FRSETLb-C	2.36	70	942.46	83.32	153.63	702.70
39	4	FRSETLy-A	4.59	35	942.46	5.51	325.07	580.49
40	4	FRSETSC-D	30.80	77	942.46	257.86	275.18	387.20
41	4	SUGCTDb-A	4.99	67	942.46	104.61	243.58	565.80
42	4	SUGCTKt-A	12.70	67	942.46	105.78	254.75	552.74
43	4	SUGCTLb-C	8.26	83	942.46	179.49	35.85	724.66
44	4	SUGCTLy-A	19.20	67	942.46	100.57	222.04	593.71
45	4	SUGCTSC-D	3.35	87	942.46	394.01	134.08	398.09
46	4	SUGCTYl-A	6.67	67	942.46	118.40	345.49	439.43
47	5	RICETCr-C	7.29	81	942.46	225.70	77.46	628.61
48	5	RICETKs-B	18.30	73	942.46	169.45	220.97	525.94
49	5	RICETKt-A	32.80	62	942.46	82.06	299.87	527.46
50	5	RICETLy-A	5.17	62	942.46	78.30	263.12	570.36
51	5	RICETMn-D	8.65	84	942.46	334.23	95.15	499.70
52	5	RICETYl-A	14.40	62	942.46	89.68	389.51	420.37
53	6	RICETCr-C	6.34	81	942.46	225.68	77.02	628.64
54	6	RICETKt-A	38.60	62	942.46	82.09	299.32	527.55
55	6	RICETNg-A	27.70	62	942.46	106.06	406.27	384.59
56	6	RICETYl-A	37.90	62	942.46	89.68	389.44	420.36
57	6	FRSETLy-A	4.46	35	942.46	5.66	319.87	583.26
58	6	FRSETSC-D	7.15	77	942.46	270.03	247.72	398.99
59	7	RICETCr-C	30.10	81	942.46	225.66	80.84	628.68
60	7	RICETDc-A	15.30	62	942.46	88.56	387.19	425.34
61	7	RICETKt-A	5.40	62	942.46	82.10	299.54	527.61
62	7	RICETMn-D	49.70	84	942.46	334.22	101.92	499.77

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
63	8	RICETDb-A	73.10	62	942.46	79.24	281.75	550.25
64	8	RICETDc-A	66.00	62	942.46	88.55	386.93	425.32
65	8	RICETMn-D	38.60	84	942.46	334.23	96.03	499.68
66	8	RICETNp-D	70.80	84	942.46	323.61	165.55	432.82
67	8	RICETPth- A	1.98E	62	942.46	75.89	306.55	526.03
68	8	SUGCTCr-C	13.90	83	942.46	240.43	63.79	629.41
69	8	SUGCTDb-A	14.10	67	942.46	104.61	243.81	566.03
70	8	SUGCTDc-A	11.00	67	942.46	110.77	320.42	475.81
71	8	SUGCTKs-B	13.90	77	942.46	197.99	179.76	542.71
72	8	SUGCTKt-A	6.41	67	942.46	105.95	254.31	553.19
73	8	SUGCTLb-C	4.85	83	942.46	190.59	18.02	731.52
74	8	SUGCTMn-D	5.79	87	942.46	325.30	49.02	561.37
75	8	SUGCTNp-D	6.26	87	942.46	320.28	99.17	508.51
76	8	SUGCTPth- A	5.54	67	942.46	106.63	283.44	520.34
77	8	SUGCTRn-B	5.81	77	942.46	196.49	158.06	567.06
78	8	SUGCTTk-A	4.86	67	942.46	104.49	221.15	590.70
79	9	RICETCr-C	0.41	81	942.46	225.67	76.65	628.67
80	9	RICETDc-A	0.25	62	942.46	88.56	385.60	425.37
81	9	RICETKs-B	0.36	73	942.46	169.44	219.84	526.00
82	9	RICETKt-A	0.57	62	942.46	82.10	298.75	527.64
83	9	RICETMn-D	3.18	84	942.46	334.23	94.58	499.73
84	10	RICETKt-A	33.10	62	942.46	82.09	299.49	527.53
85	10	RICETMn-D	5.20	84	942.46	334.25	94.86	499.65
86	10	RICETNg-A	37.70	62	942.46	106.05	406.65	384.56
87	10	RICETRn-B	6.38	73	942.46	165.36	193.10	559.08
88	10	RICETYl-A	5.74	62	942.46	89.67	389.25	420.35
89	10	FRSETLy-A	5.51	35	942.46	5.67	319.77	583.29
90	10	FRSETNg-A	2.02	35	942.46	13.61	496.59	381.11
91	10	FRSETSC-D	11.60	77	942.46	255.64	280.19	385.06
92	10	SUGCTKt-A	6.05	67	942.46	105.99	254.23	553.16
93	10	SUGCTLy-A	3.44	67	942.46	100.50	222.26	593.67

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
94	10	SUGCTNg-A	35.60	67	942.46	135.93	366.35	398.85
95	11	RICETKs-B	1.32	73	942.46	169.44	219.79	525.99
96	11	RICETKt-A	1.16	62	942.46	82.10	298.72	527.61
97	11	RICETMn-D	5.51	84	942.46	334.24	94.29	499.73
98	11	RICETNg-A	0.83	62	942.46	106.06	405.73	384.62
99	11	RICETPth- A	2.07	62	942.46	75.89	305.99	526.05
100	12	RICETKt-A	77.30	62	942.46	82.09	299.23	527.53
101	12	RICETLy-A	15.30	62	942.46	78.32	262.91	570.39
102	12	RICETNg-A	41.70	62	942.46	106.04	406.12	384.57
103	12	RICETTk-A	9.68	62	942.46	99.27	337.43	467.43
104	12	FRSETCt-C	5.06	70	942.46	128.46	200.36	588.24
105	12	FRSETLy-A	2.51	35	942.46	5.35	330.98	577.49
106	12	FRSETSC-D	18.10	77	942.46	270.25	247.22	399.17
107	12	FRSETTk-A	16.90	35	942.46	6.96	335.20	564.40
108	12	SUGCTKt-A	20.00	67	942.46	105.96	254.11	553.14
109	12	SUGCTLb-C	8.90	83	942.46	187.69	22.30	729.79
110	12	SUGCTLy-A	4.28	67	942.46	100.27	223.02	593.27
111	12	SUGCTNg-A	36.50	67	942.46	135.94	365.73	398.91
112	13	RICETCr-C	12.30	81	942.46	225.67	78.06	628.67
113	13	RICETDb-A	5.05	62	942.46	79.24	280.94	550.28
114	13	RICETDc-A	4.35	62	942.46	88.56	386.08	425.35
115	13	RICETKt-A	7.62	62	942.46	82.10	299.32	527.61
116	13	RICETMn-D	39.30	84	942.46	334.23	98.25	499.77
117	13	RICETPth- A	16.02	62	942.46	75.89	306.84	526.07
118	14	RICETCr-C	7.88	81	942.46	225.65	78.63	628.70
119	14	RICETKt-A	2.28	62	942.46	82.10	299.28	527.63
120	14	RICETMn-D	5.65	84	942.46	334.23	96.17	499.74
121	14	SUGCTCr-C	1.56	83	942.46	240.45	63.99	629.47
122	14	SUGCTPth- A	10.90	67	942.46	106.65	284.57	520.41
123	15	RICETCt-C	3.97	81	942.46	234.20	98.39	595.65
124	15	RICETKs-B	5.78	73	942.46	169.44	220.39	525.99

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
125	15	RICETKt-A	5.30	62	942.46	82.10	299.07	527.61
126	15	RICETMn-D	12.00	84	942.46	334.23	95.19	499.74
127	15	RICETNp-D	7.74	84	942.46	323.63	163.58	432.84
128	15	RICETPth- A	2.36	62	942.46	75.89	306.62	526.06
129	15	FRSETSC-D	3.96	77	942.46	276.28	234.06	404.73
130	15	FRSETTk-A	6.32	35	942.46	6.95	335.37	564.31
131	16	RICETDc-A	12.80	62	942.46	88.56	386.39	425.37
132	16	RICETMn-D	20.20	84	942.46	334.23	96.28	499.73
133	16	RICETPth-	4.52	62	942.46	75.89	307.66	526.07
134	16	SUGCTDc-A	4.16	67	942.46	110.84	320.16	475.98
135	16	SUGCTMn-D	5.53	87	942.46	325.24	48.44	561.34
136	16	SUGCTPth- A	13.92	67	942.46	106.66	283.84	520.44
137	17	RICETMn-D	39.10	84	942.46	334.23	96.54	499.80
138	17	RICETPth-	13.52	62	942.46	75.87	306.41	526.00
139	17	RICETSb-D	49.00	84	942.46	267.66	49.11	620.38
140	17	SUGCTCr-C	25.80	83	942.46	240.22	64.16	629.31
141	17	SUGCTDb-A	14.90	67	942.46	104.49	244.12	565.81
142	17	SUGCTDc-A	8.87	67	942.46	110.66	320.70	475.66
143	17	SUGCTMn-D	11.10	87	942.46	325.20	48.25	561.32
144	17	SUGCTNp-D	17.50	87	942.46	320.16	99.51	508.49
145	17	SUGCTPth-	4.88	67	942.46	106.57	284.68	520.21
146	17	SUGCTSb-D	16.60	87	942.46	296.79	28.08	614.24
147	18	RICETAy-D	2.62	84	991.90	409.85	141.93	418.23
148	18	RICETNp-D	6.69	84	991.90	386.51	150.55	432.51
149	18	RICETPm-A	17.40	62	991.90	79.47	399.72	467.54
150	18	RICETSb-D	24.50	84	991.90	317.27	36.73	632.05
151	18	SUGCTNp-D	4.29	87	991.90	378.77	88.65	509.90
152	18	SUGCTPm-A	26.80	67	991.90	114.58	372.53	462.02
153	18	SUGCTSb-D	48.30	87	991.90	345.93	20.06	623.44
154	19	RICETLb-C	4.80	81	942.46	207.38	31.91	699.42
155	19	RICETNg-A	24.10	62	942.46	106.04	406.26	384.56

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
156	19	RICETPng- A	2.25	62	942.46	83.82	410.47	404.08
157	19	RICETYl-A	16.00	62	942.46	89.68	389.23	420.36
158	19	FRSETPng-	8.34	35	942.46	5.77	511.52	374.91
159	19	FRSETSC-D	5.31	77	942.46	272.45	242.46	401.15
160	19	FRSETTk-A	0.58	35	942.46	6.18	349.20	559.22
161	19	SUGCTKt-A	0.90	67	942.46	105.96	254.09	553.12
162	19	SUGCTLb-C	1.07	83	942.46	190.56	17.92	731.35
163	19	SUGCTNg-A	2.65	67	942.46	136.03	365.51	399.06
164	19	SUGCTYl-A	6.66	67	942.46	118.43	345.36	439.61
165	20	RICETKt-A	9.48	62	942.46	82.08	298.98	527.54
166	20	RICETNg-A	86.00	62	942.46	106.05	406.89	384.59
167	20	RICETSC-D	8.25	84	942.46	354.18	136.71	429.43
168	20	FRSETCt-C	6.51	70	942.46	128.46	200.38	588.27
169	20	FRSETSC-D	3.24	77	942.46	250.57	291.56	379.93
170	20	FRSETYl-A	6.07	35	942.46	6.12	472.25	415.36
171	20	SUGCTKt-A	5.94	67	942.46	105.97	254.00	553.19
172	20	SUGCTNg-A	2.18	67	942.46	136.02	365.36	399.08
173	21	RICETCt-C	8.34	81	991.90	283.94	88.76	605.23
174	21	RICETKs-B	6.46	73	991.90	215.18	213.27	536.14
175	21	RICETLb-C	12.20	81	991.90	241.71	23.79	723.01
176	21	RICETLy-A	2.03	62	991.90	104.46	270.38	584.61
177	21	RICETSC-D	4.19	84	991.90	399.45	152.00	420.32
178	21	RICETYl-A	3.74	62	991.90	119.38	405.99	419.85
179	21	FRSETCt-C	12.40	70	991.90	167.90	202.42	594.88
180	21	FRSETKs-B	16.80	55	991.90	68.60	349.20	534.86
181	21	FRSETLb-C	20.40	70	991.90	176.63	34.20	775.10
182	21	FRSETSC-D	18.20	77	991.90	322.28	232.28	408.28
183	21	FRSETTk-A	9.35	35	991.90	10.68	376.27	565.41
184	21	FRSETYl-A	5.11	35	991.90	9.54	516.22	413.56
185	22	RICETCt-C	4.35	81	942.46	234.22	98.31	595.72
186	22	RICETDb-A	2.10	62	942.46	79.25	280.75	550.31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
187	22	RICETDc-A	5.00	62	942.46	88.56	385.94	425.37
188	22	RICETKs-B	12.10	73	942.46	169.44	220.53	525.97
189	22	RICETPth- A	7.72	62	942.46	75.89	306.31	526.06
190	22	RICETTk-A	1.82	62	942.46	99.28	337.41	467.52
191	22	FRSETCt-C	5.68	70	942.46	128.38	200.59	588.23
192	22	FRSETDb-A	2.88	35	942.46	5.71	347.04	552.49
193	22	FRSETKs-B	8.52	55	942.46	48.12	329.64	528.54
194	22	FRSETLb-C	9.57	70	942.46	152.71	33.09	750.70
195	22	FRSETSC-D	8.76	77	942.46	277.20	232.20	405.54
196	22	FRSETTk-A	13.70	35	942.46	6.96	335.15	564.48
197	23	RICETAy-D	32.80	84	991.90	409.81	143.72	418.15
198	23	RICETBl-D	21.50	84	991.90	338.21	70.44	572.59
199	23	RICETLb-C	10.90	81	991.90	239.36	27.80	721.66
200	23	RICETNp-D	8.12	84	991.90	386.60	150.76	432.59
201	23	RICETSb-D	18.30	84	991.90	317.25	37.14	632.09
202	23	SUGCTAy-D	8.67	87	991.90	394.34	84.63	499.67
203	23	SUGCTBl-D	10.50	87	991.90	338.25	35.62	611.95
204	23	SUGCTDb-A	3.23	67	991.90	136.59	247.08	578.76
205	23	SUGCTDc-A	8.82	67	991.90	145.01	328.31	481.32
206	23	SUGCTMn-D	4.25	87	991.90	381.96	38.19	564.65
207	23	SUGCTPth-A	1.01	67	991.90	138.68	289.25	530.08
208	23	SUGCTSe-D	10.50	87	991.90	402.12	112.86	459.67
209	24	RICETCt-C	0.24	81	991.90	280.03	96.47	602.28
210	24	RICETKs-B	1.40	73	991.90	215.23	213.02	536.30
211	24	RICETSC-D	0.89	84	991.90	393.41	167.52	412.70
212	24	FRSETCt-C	0.44	70	991.90	167.23	204.10	594.20
213	24	FRSETKs-B	1.36	55	991.90	68.60	349.15	534.80
214	24	FRSETSC-D	1.56	77	991.90	331.68	212.01	416.24
215	24	FRSETYl-A	0.67	35	991.90	9.51	517.69	412.94
216	25	RICETAy-D	1.53	84	991.90	409.39	144.31	417.07
217	25	RICETBl-D	0.97	84	991.90	338.26	69.47	572.63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
218	25	RICETKs-B	1.53	73	991.90	215.09	213.82	535.90
219	25	RICETSb-D	0.76	84	991.90	317.32	36.40	632.15
220	25	RICETTk-A	0.57	62	991.90	132.97	346.08	472.34
221	25	FRSETBl-D	0.53	77	991.90	213.93	137.02	621.45
222	25	FRSETKs-B	2.81	55	991.90	68.58	349.32	534.86
223	25	FRSETNp-D	0.50	77	991.90	241.54	232.30	488.02
224	25	FRSETTk-A	0.21	35	991.90	10.68	376.27	565.42
225	26	RICETCt-C	7.49	81	991.90	284.14	88.42	605.52
226	26	RICETKt-A	23.40	62	991.90	111.10	308.96	536.24
227	26	RICETLy-A	6.46	62	991.90	104.59	269.75	584.98
228	26	RICETNg-A	41.70	62	991.90	134.49	428.30	380.22
229	26	RICETNp-D	5.52	84	991.90	386.62	150.33	432.59
230	26	FRSETCt-C	7.02	70	991.90	167.98	202.26	594.98
231	26	FRSETKt-A	1.74	35	991.90	9.40	406.23	533.53
232	26	FRSETLb-C	5.46	70	991.90	177.27	33.21	775.36
233	26	FRSETNp-D	3.00	77	991.90	241.85	231.80	488.07
234	26	FRSETSC-D	5.07	77	991.90	303.40	273.76	391.14
235	26	FRSETTk-A	8.18	35	991.90	10.68	376.21	565.46
236	26	SUGCTCt-C	1.47	83	991.90	309.65	74.55	595.48
237	26	SUGCTDc-A	1.15	67	991.90	145.23	327.32	481.69
238	26	SUGCTKt-A	2.57	67	991.90	139.67	259.50	562.25
239	26	SUGCTNg-A	7.76	67	991.90	169.91	379.32	397.63
240	27	RICETCt-C	2.50	81	991.90	284.02	88.64	605.39
241	27	RICETSC-D	1.34	84	991.90	394.48	164.81	414.12
242	27	RICETYl-A	0.43	62	991.90	119.05	409.00	418.56
243	27	FRSETKs-B	24.60	55	991.90	68.56	349.94	534.70
244	27	FRSETSb-D	1.99	77	991.90	228.48	92.41	656.83
245	28	RICETKt-A	13.40	62	1004.40	104.93	333.21	531.15
246	28	RICETNg-A	70.00	62	1004.40	132.94	441.93	382.81
247	28	RICETPng- A	5.27	62	1004.40	105.03	447.49	405.66
248	28	FRSETLy-A	5.37	35	1004.40	9.20	380.13	582.22

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
249	28	FRSETPng-	3.15	35	1004.40	9.95	564.93	378.23
250	28	FRSETSC-D	14.60	77	1004.40	317.41	262.13	398.30
251	28	SUGCTKt-A	2.94	67	1004.40	133.32	284.65	556.14
252	28	SUGCTLy-A	2.97	67	1004.40	127.74	253.29	595.86
253	28	SUGCTNg-A	19.60	67	1004.40	166.15	398.07	397.02
254	29	FRSETNp-D	0.23	77	991.90	241.67	232.09	488.04
255	29	FRSETTk-A	0.49	35	991.90	10.68	376.36	565.38
256	30	RICETCt-C	0.86	81	991.90	283.51	89.59	604.84
257	30	RICETLb-C	2.35	81	991.90	240.09	26.39	721.98
258	30	RICETSC-D	0.63	84	991.90	407.09	132.61	429.64
259	30	RICETYl-A	3.79	62	991.90	119.34	406.39	419.71
260	30	FRSETCt-C	2.43	70	991.90	167.91	202.36	594.91
261	30	FRSETLb-C	6.04	70	991.90	177.43	33.07	775.43
262	30	FRSETSC-D	2.03	77	991.90	331.61	212.22	416.22
263	30	FRSETTk-A	3.88	35	991.90	10.68	376.33	565.37
264	30	FRSETYl-A	7.50	35	991.90	9.53	516.27	413.55
265	31	RICETAy-D	72.30	84	991.90	409.75	142.84	417.97
266	31	RICETKs-B	17.40	73	991.90	215.12	213.57	535.99
267	31	RICETSb-D	13.80	84	991.90	317.08	36.52	631.84
268	31	RICETSe-D	18.80	84	991.90	363.61	160.36	443.68
269	31	FRSETAy-D	1.33	77	991.90	249.73	227.26	486.29
270	31	FRSETKs-B	13.70	55	991.90	68.52	349.68	534.53
271	31	FRSETNp-D	1.11	77	991.90	240.97	233.50	487.83
272	31	FRSETSb-D	4.18	77	991.90	228.29	92.51	656.70
273	32	RICETAy-D	38.60	84	991.90	409.78	145.08	418.10
274	32	RICETNp-D	5.19	84	991.90	386.59	150.75	432.58
275	32	RICETSb-D	22.50	84	991.90	317.21	37.94	632.00
276	32	RICETSe-D	24.50	84	991.90	363.54	162.40	443.61
277	33	RICETKt-A	18.30	62	1004.40	104.94	333.17	531.16
278	33	RICETLy-A	47.60	62	1004.40	101.46	298.96	572.05
279	33	RICETNg-A	26.80	62	1004.40	132.92	441.53	382.75

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
280	33	RICETRn-B	20.00	73	1004.40	199.67	218.90	559.92
281	33	FRSETCt-C	1.55	70	1004.40	154.24	242.77	584.29
282	33	FRSETLy-A	6.16	35	1004.40	9.44	374.71	585.01
283	33	FRSETSC-D	8.28	77	1004.40	303.62	291.82	386.01
284	33	SUGCTKs-B	3.83	77	1004.40	236.09	200.83	543.95
285	33	SUGCTLy-A	8.00	67	1004.40	127.64	253.64	595.68
286	33	SUGCTNg-A	4.11	67	1004.40	166.15	397.84	397.01
287	33	SUGCTSC-D	1.74	87	1004.40	432.38	183.06	376.27
288	34	RICETKt-A	4.84	62	991.90	112.33	320.57	523.74
289	34	RICETLy-A	4.17	62	991.90	106.56	283.80	569.07
290	34	RICETNg-A	14.30	62	991.90	135.88	438.68	369.86
291	34	RICETRn-B	5.90	73	991.90	212.40	197.95	555.69
292	34	SUGCTCr-C	0.29	83	991.90	295.07	59.53	628.04
293	34	SUGCTKt-A	0.42	67	991.90	141.80	272.27	547.39
294	34	SUGCTNg-A	2.26	67	991.90	172.53	390.57	385.07
295	35	RICETKt-A	2.37	62	916.58	102.92	283.51	498.85
296	35	RICETRn-B	2.29	73	916.58	191.54	180.65	521.41
297	36	RICETKt-A	30.80	62	1004.40	104.94	333.32	531.15
298	36	RICETLy-A	23.90	62	1004.40	101.43	299.06	571.90
299	36	RICETNg-A	14.20	62	1004.40	132.92	441.47	382.73
300	36	RICETRn-B	8.01	73	1004.40	199.66	218.78	559.85
301	36	FRSETLy-A	4.52	35	1004.40	9.46	374.48	585.13
302	36	FRSETNg-A	1.08	35	1004.40	22.70	546.19	382.77
303	36	FRSETRn-B	1.06	55	1004.40	62.42	339.18	567.38
304	36	FRSETSC-D	3.15	77	1004.40	318.61	259.48	399.30
305	36	SUGCTKt-A	0.52	67	1004.40	133.33	284.56	556.14
306	36	SUGCTLy-A	2.70	67	1004.40	127.26	254.99	595.02
307	36	SUGCTNg-A	1.74	67	1004.40	166.13	397.86	396.96
308	36	SUGCTRn-B	0.65	77	1004.40	233.81	180.24	567.97
309	36	SUGCTSC-D	0.89	87	1004.40	445.70	149.84	392.71
310	37	RICETAy-D	7.04	84	916.58	369.80	140.98	388.03

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
311	37	RICETKs-B	4.54	73	916.58	193.96	201.50	498.30
312	37	RICETSb-D	2.62	84	916.58	288.55	42.94	579.39
313	37	FRSETKs-B	43.70	55	916.58	63.55	322.93	498.94
314	37	FRSETNp-D	2.83	77	916.58	217.97	212.79	460.58
315	37	BERMTKs-B	11.30	73	916.58	313.97	88.86	505.53
316	38	RICETAy-D	60.00	84	991.90	409.72	144.33	417.92
317	38	RICETSe-D	72.50	84	991.90	363.59	162.76	443.67
318	38	FRSETAy-D	1.49	77	991.90	249.65	227.61	486.24
319	38	FRSETKs-B	15.60	55	991.90	68.54	349.69	534.64
320	38	FRSETSb-D	1.48	77	991.90	228.22	92.74	656.65
321	39	FRSETKs-B	108.00	55	991.90	69.19	361.26	524.81
322	40	RICETAy-D	5.51	84	991.90	410.40	151.22	409.66
323	40	RICETKs-B	1.80	73	991.90	215.76	222.50	527.21
324	40	FRSETKs-B	10.50	55	991.90	69.21	360.12	524.95
325	40	FRSETSb-D	5.96	77	991.90	232.21	103.71	642.00
326	41	RICETAy-D	21.10	84	991.90	410.55	150.11	410.03
327	41	RICETKs-B	9.29	73	991.90	215.83	222.07	527.47
328	41	RICETSe-D	2.22	84	991.90	363.47	169.69	435.72
329	41	FRSETKs-B	17.30	55	991.90	69.22	359.64	525.00
330	41	FRSETNp-D	1.40	77	991.90	242.93	239.24	480.28
331	41	FRSETSb-D	3.58	77	991.90	232.08	103.19	641.89
332	42	FRSETKs-B	136.00	55	916.58	63.50	321.17	498.73
333	43	RICETSe-D	27.90	84	991.90	364.33	167.82	436.95
334	44	RICETDb-A	36.00	62	916.58	99.57	272.11	516.23
335	44	RICETKs-B	13.70	73	916.58	195.43	204.12	493.62
336	44	RICETKt-A	24.90	62	916.58	102.77	285.34	498.42
337	44	RICETRn-B	26.90	73	916.58	191.50	182.55	521.27
338	44	FRSETAC-D	11.50	77	916.58	222.14	168.68	504.75
339	44	FRSETDb-A	22.90	35	916.58	8.86	354.54	517.43
340	44	FRSETKs-B	138.00	55	916.58	63.83	326.83	495.37
341	44	FRSETRn-B	11.50	55	916.58	60.30	295.56	528.20

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
342	44	SUGCTAC-D	2.90	87	916.58	366.52	68.20	472.78
343	44	SUGCTAy-D	13.50	87	916.58	357.72	85.70	462.29
344	44	SUGCTCr-C	8.34	83	916.58	262.98	56.17	589.97
345	44	SUGCTKs-B	4.23	77	916.58	223.92	163.34	509.58
346	44	SUGCTKt-A	8.36	67	916.58	129.09	239.73	521.71
347	44	SUGCTNg-A	2.31	67	916.58	159.46	351.59	365.64
348	45	RICETKt-A	65.60	62	916.58	102.89	284.05	498.85
349	45	RICETLy-A	16.90	62	916.58	98.62	254.67	534.53
350	45	RICETNg-A	17.90	62	916.58	128.16	391.48	353.30
351	45	RICETPng- A	1.69	62	916.58	104.82	395.94	373.40
352	45	SUGCTKt-A	6.16	67	916.58	129.24	238.79	522.01
353	45	SUGCTLy-A	3.04	67	916.58	122.65	210.29	559.68
354	45	SUGCTNg-A	1.83	67	916.58	159.56	351.01	365.87
355	45	SUGCTSC-D	2.57	87	916.58	414.05	121.94	365.99
356	45	SUGCTTk-A	5.29	67	916.58	126.65	199.95	566.84
357	45	SUGCTYl-A	2.00	67	916.58	142.10	330.05	407.34
358	45	AGRLTKt-A	15.40	67	916.58	131.41	247.32	510.52
359	45	AGRLTLy-A	15.60	67	916.58	124.52	213.42	554.09
360	45	AGRLTSC-D	3.34	87	916.58	415.43	129.86	357.49
361	45	AGRLTTk-A	6.85	67	916.58	130.52	213.88	547.84
362	46	RICETKt-A	36.50	62	916.58	102.89	284.38	498.79
363	46	RICETLy-A	12.30	62	916.58	98.48	255.56	534.14
364	46	RICETNg-A	48.60	62	916.58	128.15	392.50	353.26
365	46	FRSETKt-A	1.10	35	916.58	9.72	371.09	498.98
366	46	FRSETLy-A	1.31	35	916.58	8.05	342.67	540.07
367	46	FRSETRn-B	1.69	55	916.58	60.32	295.12	528.24
368	46	FRSETSC-D	1.54	77	916.58	275.38	267.76	353.62
369	46	FRSETYl-A	2.39	35	916.58	9.79	475.96	383.38
370	46	SUGCTKt-A	2.06	67	916.58	129.13	239.16	521.79
371	46	SUGCTNg-A	18.10	67	916.58	159.55	351.56	365.83
372	47	RICETKt-A	19.60	62	1039.80	110.64	350.05	543.33

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
373	47	RICETLy-A	33.50	62	1039.8	106.23	313.68	586.97
374	47	FRSETKs-B	12.20	55	1039.8	67.65	394.13	538.69
375	47	FRSETKt-A	6.55	35	1039.8	9.79	445.53	542.55
376	47	FRSETLy-A	5.95	35	1039.8	8.86	396.5	596.17
377	47	FRSETNp-D	3.28	77	1039.8	238.09	269.54	501.92
378	47	FRSETSC-D	18.20	77	1039.8	322.81	278.95	410.33
379	47	FRSETTk-A	3.32	35	1039.8	11.17	413.61	576.45
380	47	FRSETYl-A	10.40	35	1039.8	9.91	549.04	429.97
381	47	BERMTKs-B	3.48	73	1039.8	347.50	119.89	558.08
382	47	BERMTKt-A	0.50	58	1039.8	271.51	177.32	571.43
383	47	BERMTLy-A	1.45	58	1039.8	268.25	152.98	601.73
384	47	BERMTNp-D	2.12	86	1039.8	437.14	56.50	537.78
385	47	BERMTSC-D	1.420	86	1039.8	514.74	100.75	410.94
386	47	AGRLTKt-A	10.30	67	1039.8	142.77	311.72	552.80
387	47	AGRLTLy-A	10.20	67	1039.8	136.46	273.14	600.68
388	47	AGRLTSC-D	1.84	87	1039.8	447.05	191.84	387.49

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 ค่าเฉลี่ยรายปีแยกตาม HRUs กรณี d

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
1	1	RICETCt-C	7.94	81	886.52	219.03	83.81	568.73
2	1	RICETKt-A	3.18	62	886.52	72.62	271.47	505.35
3	1	RICETLb-C	8.22	81	886.52	174.22	30.23	674.74
4	1	RICETLy-A	1.77	62	886.52	67.39	238.12	549.54
5	1	RICETSC-D	4.47	84	886.52	325.15	144.73	398.32
6	1	RICETYl-A	7.27	62	886.52	80.85	364.31	396.03
7	1	FRSETSC-D	72.80	77	886.52	250.62	229.04	381.82
8	1	FRSETYl-A	16.70	35	886.52	3.18	446.91	386.89
9	1	SUGCTCt-C	11.40	83	886.52	244.70	70.72	557.53
10	1	SUGCTKt-A	39.10	67	886.52	95.74	231.22	527.82
11	1	SUGCTLy-A	7.48	67	886.52	90.08	200.09	569.56
12	1	SUGCTTk-A	7.60	67	886.52	92.32	195.31	568.32
13	1	SUGCTYl-A	43.10	67	886.52	110.85	321.16	413.70
14	1	WATRTKt-A	27.10	92	886.52	0.00	0.00	1869.18
15	1	AGRRTLb-C	15.50	85	886.52	161.46	32.41	689.56
16	1	AGRRTLy-A	4.30	67	886.52	92.90	205.28	560.49
17	1	AGRRTSC-D	15.00	89	886.52	418.46	104.47	352.92
18	1	AGRRTYl-A	7.70	67	886.52	114.29	341.84	387.67
19	1	CORNTTk-A	4.09	67	886.52	94.10	205.63	555.08
20	1	CORNTYl-A	29.60	67	886.52	113.27	335.32	395.05
21	2	RICETKt-A	12.50	62	886.52	72.67	271.27	505.47
22	2	RICETLy-A	43.50	62	886.52	67.39	238.32	549.46
23	2	RICETSC-D	14.00	84	886.52	321.38	154.90	393.20
24	2	RICETTk-A	5.46	62	886.52	90.39	307.16	445.18
25	2	RICETYl-A	4.83	62	886.52	80.85	364.20	396.07
26	2	FRSETLy-A	9.09	35	886.52	1.87	288.74	560.97
27	2	FRSETSC-D	55.10	77	886.52	250.16	230.11	381.34
28	3	RICETRn-B	0.31	73	886.52	154.06	170.90	537.07
29	3	SUGCTKs-B	0.50	77	886.52	188.15	156.16	518.55
30	3	SUGCTRn-B	0.97	77	886.52	186.25	136.24	543.76
31	4	RICETDb-A	1.88	62	886.52	68.99	254.95	529.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
32	4	RICETLb-C	1.35	81	886.52	161.28	51.12	667.55
33	4	RICETLy-A	3.29	62	886.52	67.41	237.97	549.65
34	4	RICETNg-A	1.80	62	886.52	92.75	386.48	359.44
35	4	RICETRn-B	1.66	73	886.52	154.09	171.24	536.94
36	4	RICETSC-D	1.00	84	886.52	325.15	144.72	398.32
37	4	RICETTk-A	3.82	62	886.52	90.32	308.02	444.61
38	4	FRSETLb-C	2.36	70	886.52	53.13	148.24	681.41
39	4	FRSETLy-A	4.59	35	886.52	1.84	295.26	557.41
40	4	FRSETSC-D	30.80	77	886.52	238.00	257.47	369.97
41	4	SUGCTDb-A	4.99	67	886.52	95.24	220.61	541.58
42	4	SUGCTKt-A	12.70	67	886.52	95.53	231.92	527.45
43	4	SUGCTLb-C	8.26	83	886.52	151.43	31.60	698.80
44	4	SUGCTLy-A	19.20	67	886.52	89.93	200.80	569.23
45	4	SUGCTSC-D	3.35	87	886.52	374.06	118.73	379.47
46	4	SUGCTYl-A	6.67	67	886.52	110.82	321.30	413.54
47	5	RICETCr-C	30.10	81	886.52	210.26	64.20	603.55
48	5	RICETDc-A	16.60	62	886.52	80.29	360.04	400.46
49	5	RICETMn-D	52.30	84	886.52	319.50	81.65	475.49
50	5	SUGCTCr-C	3.45	83	886.52	224.81	48.97	604.12
51	5	SUGCTDb-A	1.90	67	886.52	95.28	220.72	541.92
52	5	SUGCTMn-D	1.39	87	886.52	307.04	36.94	532.87
53	6	RICETDb-A	72.60	62	886.52	68.98	255.92	529.21
54	6	RICETDc-A	64.90	62	886.52	80.28	359.94	400.44
55	6	RICETMn-D	36.20	84	886.52	319.48	77.22	475.54
56	6	RICETNp-D	70.70	84	886.52	311.48	142.93	408.69
57	6	RICETPth-A	19.90	62	886.52	65.63	281.26	504.11
58	6	SUGCTCr-C	8.82	83	886.52	224.74	48.51	604.03
59	6	SUGCTDb-A	12.40	67	886.52	95.23	220.82	541.78
60	6	SUGCTDc-A	9.28	67	886.52	102.87	296.88	447.24
61	6	SUGCTKs-B	13.30	77	886.52	188.14	157.12	518.58
62	6	SUGCTKt-A	6.60	67	886.52	95.71	231.39	527.93

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
63	6	SUGCTLb-C	4.99	83	886.52	161.99	14.32	705.23
64	6	SUGCTMn-D	4.66	87	886.52	307.05	36.84	532.85
65	6	SUGCTNp-D	5.22	87	886.52	304.46	84.28	480.90
66	6	SUGCTRn-B	5.98	77	886.52	186.25	136.96	543.79
67	6	SUGCTTk-A	5.00	67	886.52	92.21	195.71	568.23
68	7	RICETCr-C	13.40	81	886.52	210.27	61.41	603.42
69	7	RICETKs-B	18.90	73	886.52	159.78	195.06	503.76
70	7	RICETKt-A	71.10	62	886.52	72.66	271.58	505.54
71	7	RICETMn-D	19.90	84	886.52	319.49	75.96	475.51
72	7	RICETNg-A	31.50	62	886.52	92.87	386.15	359.74
73	7	RICETYl-A	50.80	62	886.52	80.86	364.40	396.17
74	7	FRSETLy-A	6.12	35	886.52	1.87	289.63	560.56
75	7	FRSETSC-D	8.99	77	886.52	251.40	226.96	382.69
76	8	RICETKt-A	14.20	62	886.52	72.67	271.43	505.52
77	8	RICETNg-A	35.30	62	886.52	92.86	386.44	359.70
78	8	RICETRn-B	5.57	73	886.52	154.05	171.43	536.84
79	8	RICETYl-A	5.71	62	886.52	80.86	364.25	396.17
80	8	FRSETLy-A	5.55	35	886.52	1.87	289.53	560.58
81	8	FRSETNg-A	2.04	35	886.52	5.31	471.04	356.77
82	8	FRSETSC-D	11.70	77	886.52	235.83	262.34	367.93
83	8	SUGCTKt-A	7.70	67	886.52	95.64	231.52	527.70
84	8	SUGCTLy-A	3.47	67	886.52	89.85	201.03	569.12
85	8	SUGCTNg-A	35.90	67	886.52	123.37	344.10	375.90
86	9	RICETDc-A	0.24	62	886.52	80.09	360.10	399.84
87	9	RICETKt-A	0.47	62	886.52	72.66	271.00	505.58
88	9	RICETRn-B	0.73	73	886.52	154.04	170.91	537.03
89	9	SUGCTKt-A	0.08	67	886.52	95.76	230.72	528.02
90	9	SUGCTRn-B	0.02	77	886.52	186.25	136.24	543.80
91	10	RICETKt-A	22.30	62	886.52	72.66	271.32	505.53
92	10	RICETNg-A	9.33	62	886.52	92.86	385.98	359.72
93	10	SUGCTKt-A	10.00	67	886.52	95.72	231.11	527.88

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
94	10	SUGCTNg-A	37.00	67	886.52	123.38	343.77	375.94
95	11	RICETCt-C	5.42	81	886.52	219.56	82.72	569.39
96	11	RICETKt-A	23.10	62	886.52	72.69	271.16	505.65
97	11	RICETLy-A	7.34	62	886.52	67.44	237.46	550.06
98	11	RICETMn-D	11.00	84	886.52	319.49	75.70	475.54
99	11	RICETNg-A	23.40	62	886.52	92.86	386.05	359.73
100	11	RICETPth-A	6.90	62	886.52	65.58	281.06	503.91
101	11	RICETRn-B	6.51	73	886.52	154.05	171.12	537.05
102	11	RICETTk-A	7.50	62	886.52	90.43	306.77	445.49
103	11	FRSETCt-C	4.69	70	886.52	118.21	179.83	562.44
104	11	FRSETSC-D	4.72	77	886.52	261.70	204.09	391.79
105	11	FRSETTk-A	15.40	35	886.52	2.88	301.70	541.11
106	11	FRSETYl-A	1.84	35	886.52	3.19	443.34	388.45
107	12	RICETKs-B	3.19	73	886.52	159.78	194.92	503.81
108	12	RICETKt-A	37.50	62	886.52	72.67	271.50	505.54
109	12	RICETLb-C	3.54	81	886.52	175.62	27.78	675.77
110	12	RICETLy-A	5.79	62	886.52	67.38	238.08	549.64
111	12	RICETNg-A	6.02	62	886.52	92.80	386.27	359.58
112	12	FRSETLb-C	1.62	70	886.52	45.52	164.22	674.07
113	12	FRSETLy-A	1.78	35	886.52	1.82	300.68	554.46
114	12	FRSETSC-D	9.34	77	886.52	237.35	258.77	369.44
115	12	SUGCTKt-A	8.98	67	886.52	95.72	231.22	527.85
116	12	SUGCTLb-C	8.82	83	886.52	159.25	18.46	703.66
117	12	SUGCTLy-A	1.88	67	886.52	89.84	201.00	569.12
118	12	SUGCTNg-A	1.71	67	886.52	123.39	343.56	375.96
119	12	SUGCTPng-A	1.48	67	886.52	109.13	354.56	379.25
120	13	RICETCt-C	9.70	81	886.52	219.45	82.96	569.27
121	13	RICETKs-B	20.70	73	886.52	159.77	195.06	503.79
122	13	RICETMn-D	9.92	84	886.52	319.50	75.81	475.54
123	13	RICETNp-D	9.11	84	886.52	311.51	140.61	408.71
124	13	RICETPth-A	22.40	62	886.52	65.61	281.01	504.05

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
125	13	FRSETCt-C	6.11	70	886.52	118.13	180.01	562.36
126	13	FRSETDb-A	2.31	35	886.52	2.13	316.32	529.01
127	13	FRSETKs-B	7.89	55	886.52	41.21	300.97	505.58
128	13	FRSETSC-D	13.20	77	886.52	256.68	215.24	387.45
129	13	FRSETTk-A	11.20	35	886.52	2.88	301.76	541.06
130	14	RICETCr-C	21.60	81	886.52	210.26	61.87	603.58
131	14	RICETDc-A	21.00	62	886.52	80.29	359.17	400.47
132	14	RICETKt-A	13.00	62	886.52	72.69	271.29	505.69
133	14	RICETMn-D	65.60	84	886.52	319.48	77.78	475.60
134	14	RICETPth-A	69.70	62	886.52	65.63	281.74	504.15
135	14	SUGCTCr-C	6.26	83	886.52	224.79	48.25	604.13
136	14	SUGCTDc-A	4.30	67	886.52	102.92	296.48	447.34
137	14	SUGCTMn-D	5.43	87	886.52	306.98	36.34	532.82
138	14	SUGCTPth-A	29.70	67	886.52	97.62	259.62	496.04
139	15	FRSETDb-A	0.05	35	933.53	3.30	344.99	545.14
140	15	FRSETDc-A	0.02	35	933.53	3.61	446.22	434.12
141	15	SUGCTDb-A	0.04	67	933.53	96.81	246.50	559.42
142	15	SUGCTDc-A	0.11	67	933.53	103.96	325.80	463.63
143	15	SUGCTPth-A	0.32	67	933.53	99.26	287.31	512.06
144	16	RICETCt-C	3.74	81	933.53	225.19	93.66	597.94
145	16	RICETKs-B	5.18	73	933.53	163.12	219.25	520.22
146	16	RICETLb-C	3.16	81	933.53	181.53	29.21	713.99
147	16	RICETSC-D	3.65	84	933.53	340.27	163.39	408.74
148	16	FRSETKs-B	17.60	55	933.53	41.19	332.10	520.43
149	16	FRSETLb-C	21.80	70	933.53	124.98	32.89	764.14
150	16	FRSETSC-D	7.36	77	933.53	256.95	247.69	400.71
151	16	FRSETTk-A	10.60	35	933.53	4.17	320.28	567.36
152	16	FRSETYl-A	3.48	35	933.53	3.73	472.29	406.28
153	17	RICETKt-A	9.48	62	886.52	72.68	271.15	505.62
154	17	RICETNg-A	86.00	62	886.52	92.85	386.70	359.71
155	17	RICETSC-D	8.25	84	886.52	333.63	122.21	409.61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
156	17	FRSETCt-C	6.51	70	886.52	118.22	179.88	562.44
157	17	FRSETSC-D	3.20	77	886.52	230.64	274.04	362.81
158	17	FRSETYl-A	6.07	35	886.52	3.19	443.23	388.50
159	17	SUGCTKt-A	5.94	67	886.52	95.73	231.03	527.94
160	17	SUGCTNg-A	2.34	67	886.52	123.38	343.53	375.95
161	18	RICETLb-C	4.80	81	886.52	175.76	27.59	675.87
162	18	RICETNg-A	24.00	62	886.52	92.86	386.29	359.71
163	18	RICETPng-A	22.50	62	886.52	75.30	383.06	382.63
164	18	RICETYl-A	16.00	62	886.52	80.87	364.31	396.19
165	18	FRSETPng-A	0.83	35	886.52	2.87	480.68	350.48
166	18	FRSETSC-D	5.31	77	886.52	252.25	225.12	383.40
167	18	FRSETTk-A	0.58	35	886.52	2.61	318.16	533.25
168	18	SUGCTKt-A	0.90	67	886.52	95.72	231.17	527.87
169	18	SUGCTLb-C	1.07	83	886.52	161.96	14.22	705.07
170	18	SUGCTNg-A	2.33	67	886.52	123.46	343.51	376.09
171	18	SUGCTYl-A	6.67	67	886.52	110.84	321.15	413.74
172	19	RICETAy-D	4.43	84	933.53	339.76	157.49	410.88
173	19	RICETBl-D	21.80	84	933.53	279.82	76.80	562.47
174	19	RICETKs-B	2.45	73	933.53	163.12	219.33	520.24
175	19	RICETLb-C	11.10	81	933.53	182.36	28.16	714.43
176	19	FRSETBl-D	1.96	77	933.53	163.99	139.45	607.46
177	19	FRSETKs-B	0.48	55	933.53	41.12	332.61	520.00
178	19	FRSETLb-C	1.99	70	933.53	117.74	43.98	760.49
179	19	FRSETTk-A	1.37	35	933.53	4.15	321.80	566.36
180	19	SUGCTAy-D	5.43	87	933.53	335.12	96.89	484.56
181	19	SUGCTBl-D	9.31	87	933.53	285.34	41.06	597.18
182	19	SUGCTDc-A	1.45	67	933.53	103.95	325.98	463.61
183	19	SUGCTPth-A	6.62	67	933.53	99.54	286.21	512.77
184	19	SUGCTSe-D	4.27	87	933.53	342.82	122.12	448.42
185	20	RICETAy-D	14.30	84	933.53	340.02	157.25	411.35
186	20	RICETMn-D	13.90	84	933.53	328.47	92.36	495.48

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
187	20	RICETPth-A	12.20	62	933.53	69.09	307.70	519.86
188	20	RICETSb-D	14.00	84	933.53	260.01	40.55	625.19
189	20	SUGCTDb-A	12.10	67	933.53	97.40	244.53	560.58
190	20	SUGCTDc-A	14.30	67	933.53	104.30	324.87	464.04
191	20	SUGCTMn-D	9.86	87	933.53	321.13	45.72	555.10
192	20	SUGCTNp-D	17.40	87	933.53	317.31	98.51	499.20
193	20	SUGCTPth-A	51.90	67	933.53	99.51	287.78	512.69
194	20	SUGCTSb-D	10.50	87	933.53	292.04	21.60	614.87
195	21	RICETAy-D	6.19	84	933.53	339.93	156.86	411.21
196	21	RICETKs-B	0.58	73	933.53	162.95	220.04	519.68
197	21	RICETSb-D	0.51	84	933.53	259.93	39.52	625.13
198	22	RICETAy-D	7.73	84	933.53	340.05	158.78	411.41
199	22	RICETMn-D	7.61	84	933.53	328.48	95.25	495.56
200	22	RICETNp-D	10.10	84	933.53	318.91	165.13	424.40
201	22	RICETPm-A	3.50	62	933.53	54.21	385.40	450.01
202	22	RICETSb-D	34.40	84	933.53	259.92	46.31	625.11
203	22	SUGCTMn-D	4.66	87	933.53	321.21	46.86	555.19
204	22	SUGCTNp-D	5.62	87	933.53	317.07	99.62	499.10
205	22	SUGCTPm-A	4.29	67	933.53	82.56	362.22	446.82
206	22	SUGCTSb-D	9.27	87	933.53	291.63	23.72	614.54
207	23	RICETKt-A	18.30	62	1037.50	94.66	367.85	532.66
208	23	RICETNg-A	76.00	62	1037.50	124.48	478.96	385.56
209	23	RICETPng-A	6.96	62	1037.50	95.82	482.53	410.25
210	23	FRSETLy-A	5.45	35	1037.50	7.49	407.58	584.99
211	23	FRSETPng-A	3.20	35	1037.50	8.84	586.09	390.83
212	23	FRSETSC-D	14.80	77	1037.50	316.49	285.62	408.09
213	23	SUGCTKt-A	4.35	67	1037.50	122.65	321.78	555.04
214	23	SUGCTLy-A	3.03	67	1037.50	119.98	291.06	592.93
215	23	SUGCTNg-A	19.20	67	1037.50	159.66	436.53	395.78
216	24	RICETKt-A	3.30	62	933.53	74.27	297.02	523.53
217	24	RICETNg-A	15.80	62	933.53	94.14	424.80	366.24

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
218	24	RICETNp-D	2.70	84	933.53	319.30	161.19	424.74
219	24	SUGCTDc-A	1.16	67	933.53	104.40	323.95	464.16
220	24	SUGCTKt-A	0.35	67	933.53	98.93	256.38	545.26
221	24	SUGCTNg-A	3.94	67	933.53	124.04	381.65	382.90
222	25	RICETCt-C	6.57	81	933.53	225.57	93.55	598.28
223	25	RICETKs-B	3.46	73	933.53	163.18	219.61	520.39
224	25	RICETLb-C	10.10	81	933.53	184.68	24.72	716.15
225	25	RICETLy-A	1.99	62	933.53	70.89	262.89	566.12
226	25	RICETSC-D	2.56	84	933.53	339.77	164.90	408.20
227	25	RICETTk-A	1.75	62	933.53	91.05	337.42	459.67
228	25	RICETYl-A	2.97	62	933.53	82.67	399.87	404.16
229	25	FRSETCt-C	11.40	70	933.53	121.19	200.04	584.39
230	25	FRSETKs-B	5.96	55	933.53	41.15	332.56	520.16
231	25	FRSETLb-C	7.63	70	933.53	124.69	33.62	763.97
232	25	FRSETSC-D	12.90	77	933.53	264.09	233.68	406.17
233	25	FRSETTk-A	8.14	35	933.53	4.17	320.34	567.34
234	25	FRSETYl-A	2.49	35	933.53	3.73	472.96	406.06
235	26	RICETAy-D	14.50	84	933.53	339.84	157.31	411.04
236	26	RICETKs-B	8.17	73	933.53	163.07	219.61	520.12
237	26	RICETSb-D	3.74	84	933.53	259.91	39.75	625.09
238	26	FRSETKs-B	2.57	55	933.53	41.07	333.33	519.55
239	26	FRSETSb-D	1.71	77	933.53	176.31	97.03	644.00
240	27	RICETAy-D	6.37	84	933.53	339.81	157.63	410.99
241	28	RICETAy-D	54.20	84	933.53	339.90	158.72	411.16
242	28	RICETSb-D	21.40	84	933.53	259.92	40.46	625.11
243	28	RICETSe-D	24.80	84	933.53	303.58	172.82	432.18
244	29	RICETCt-C	7.35	81	933.53	225.59	93.00	598.30
245	29	RICETKt-A	15.50	62	933.53	74.31	296.95	523.64
246	29	RICETLb-C	5.59	81	933.53	184.42	24.47	716.01
247	29	RICETLy-A	7.05	62	933.53	70.84	263.07	565.98
248	29	RICETNg-A	19.90	62	933.53	94.15	424.85	366.27

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
249	29	RICETRn-B	4.92	73	933.53	160.66	191.01	555.11
250	29	FRSETCt-C	7.63	70	933.53	121.26	199.43	584.49
251	29	FRSETKt-A	6.48	35	933.53	3.72	365.16	521.39
252	29	FRSETLb-C	10.30	70	933.53	125.43	32.20	764.37
253	29	FRSETNp-D	3.91	77	933.53	186.88	234.45	477.98
254	29	FRSETRn-B	4.22	55	933.53	38.48	294.81	564.59
255	29	FRSETSC-D	6.05	77	933.53	256.81	248.02	400.61
256	29	FRSETTk-A	15.80	35	933.53	4.17	320.70	567.08
257	29	FRSETYl-A	5.04	35	933.53	3.73	472.97	406.06
258	29	SUGCTCt-C	1.41	83	933.53	254.96	82.23	581.27
259	29	SUGCTKt-A	0.83	67	933.53	99.53	254.32	546.19
260	29	SUGCTNg-A	4.60	67	933.53	124.06	381.75	382.94
261	30	RICETCt-C	2.14	81	933.53	225.24	93.53	598.01
262	30	RICETLb-C	0.40	81	933.53	184.51	24.11	716.12
263	30	RICETSC-D	0.54	84	933.53	343.21	156.14	411.85
264	30	RICETYl-A	3.56	62	933.53	82.62	400.09	403.92
265	30	FRSETKs-B	33.90	55	933.53	41.14	332.70	520.09
266	30	FRSETLb-C	6.43	70	933.53	124.50	33.53	763.94
267	30	FRSETNp-D	4.29	77	933.53	186.54	235.13	477.90
268	30	FRSETSb-D	5.46	77	933.53	176.38	96.95	644.04
269	30	FRSETYl-A	5.28	35	933.53	3.74	472.13	406.34
270	31	RICETKt-A	15.50	62	1037.50	94.66	367.80	532.67
271	31	RICETLy-A	45.90	62	1037.50	92.82	334.58	572.68
272	31	RICETNg-A	27.10	62	1037.50	124.47	478.64	385.53
273	31	RICETRn-B	20.40	73	1037.50	191.42	251.48	564.86
274	31	FRSETCt-C	1.56	70	1037.50	145.91	271.88	591.42
275	31	FRSETLy-A	6.05	35	1037.50	7.61	402.79	587.34
276	31	FRSETSC-D	8.33	77	1037.50	300.93	316.30	396.26
277	31	SUGCTKs-B	3.83	77	1037.50	230.06	235.06	542.28
278	31	SUGCTLy-A	8.00	67	1037.50	119.86	291.42	592.78
279	31	SUGCTNg-A	4.11	67	1037.50	159.67	436.36	395.79

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
280	31	SUGCTSC-D	1.74	87	1037.50	442.69	198.54	381.85
281	32	RICETAy-D	22.50	84	933.53	339.78	165.63	405.70
282	32	RICETKs-B	3.32	73	933.53	162.81	227.52	513.56
283	32	RICETSb-D	3.29	84	933.53	263.70	48.50	612.47
284	32	RICETSe-D	16.10	84	933.53	303.35	178.69	428.24
285	32	FRSETKs-B	45.90	55	933.53	41.74	345.36	508.15
286	33	RICETAy-D	40.90	84	933.53	339.92	159.99	411.19
287	33	RICETNp-D	9.16	84	933.53	319.05	162.97	424.55
288	33	RICETPm-A	30.70	62	933.53	54.17	385.88	449.90
289	33	RICETSb-D	51.20	84	933.53	259.82	43.44	625.02
290	33	RICETSe-D	22.80	84	933.53	303.75	173.59	432.41
291	33	SUGCTPm-A	26.10	67	933.53	82.49	362.67	446.64
292	33	SUGCTSb-D	51.60	87	933.53	291.82	24.75	614.70
293	34	RICETAy-D	15.70	84	933.53	339.78	164.85	405.70
294	34	RICETKs-B	5.70	73	933.53	162.82	227.63	513.59
295	34	RICETSb-D	7.56	84	933.53	263.71	48.76	612.57
296	34	RICETSe-D	4.11	84	933.53	302.70	179.35	427.46
297	34	FRSETKs-B	49.50	55	933.53	41.73	345.47	508.11
298	35	RICETKt-A	28.60	62	869.33	78.29	256.16	500.94
299	35	RICETLy-A	6.73	62	869.33	73.12	219.83	547.31
300	35	RICETNg-A	20.40	62	869.33	97.14	366.13	361.92
301	35	RICETRn-B	13.20	73	869.33	155.35	154.35	537.88
302	35	RICETYl-A	4.02	62	869.33	87.68	343.47	396.19
303	35	FRSETKt-A	1.18	35	869.33	4.16	318.31	509.19
304	35	FRSETLy-A	1.52	35	869.33	2.80	285.88	554.04
305	35	FRSETRn-B	1.63	55	869.33	42.35	252.21	543.89
306	35	FRSETSC-D	1.13	77	869.33	224.41	262.30	365.18
307	35	FRSETYl-A	2.33	35	869.33	4.74	423.34	394.27
308	36	RICETKt-A	1.30	62	933.53	74.03	304.11	517.50
309	36	RICETRn-B	13.00	73	933.53	161.72	201.71	543.97
310	36	FRSETKs-B	3.09	55	933.53	41.75	343.71	508.21

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
311	36	FRSETLb-C	0.57	70	933.53	125.16	57.19	738.98
312	36	FRSETRn-B	4.48	55	933.53	39.19	309.18	549.73
313	37	RICETKt-A	28.70	62	1037.50	94.67	367.85	532.66
314	37	RICETLy-A	24.00	62	1037.50	92.78	334.64	572.53
315	37	RICETNg-A	14.20	62	1037.50	124.47	478.52	385.51
316	37	RICETRn-B	7.72	73	1037.50	191.38	251.36	564.72
317	37	FRSETLy-A	4.44	35	1037.50	7.62	402.67	587.39
318	37	FRSETNg-A	1.06	35	1037.50	17.26	572.67	394.43
319	37	FRSETRn-B	1.04	55	1037.50	57.01	369.79	572.60
320	37	FRSETSC-D	3.10	77	1037.50	317.82	282.91	409.05
321	37	SUGCTKt-A	0.52	67	1037.50	122.70	321.59	555.07
322	37	SUGCTLy-A	2.70	67	1037.50	119.46	292.54	592.29
323	37	SUGCTNg-A	1.74	67	1037.50	159.65	436.34	395.74
324	37	SUGCTRn-B	0.65	77	1037.50	230.09	210.72	569.88
325	37	SUGCTSC-D	0.89	87	1037.50	456.92	167.32	395.19
326	38	RICETAy-D	22.00	84	933.53	339.68	165.30	405.52
327	38	RICETKs-B	3.04	73	933.53	162.83	227.27	513.65
328	38	RICETSe-D	32.80	84	933.53	303.09	179.83	427.99
329	38	FRSETKs-B	49.20	55	933.53	41.73	345.06	508.11
330	38	FRSETSb-D	3.80	77	933.53	180.78	109.56	626.61
331	39	RICETAC-D	2.96	84	869.33	266.35	77.50	514.83
332	39	RICETKs-B	2.25	73	869.33	160.75	181.41	501.15
333	39	RICETKt-A	4.51	62	869.33	78.54	258.08	498.40
334	39	RICETLb-C	1.75	81	869.33	170.06	24.71	669.34
335	39	RICETRn-B	3.49	73	869.33	155.22	155.77	536.52
336	39	RICETSC-D	1.01	84	869.33	312.66	153.68	387.75
337	39	RICETYl-A	1.01	62	869.33	87.70	343.10	395.95
338	39	FRSETAC-D	6.83	77	869.33	182.23	143.61	524.94
339	39	FRSETKs-B	18.60	55	869.33	45.06	280.41	509.03
340	39	FRSETKt-A	2.57	35	869.33	4.06	315.53	511.93
341	39	FRSETLb-C	1.75	70	869.33	101.73	46.21	714.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
342	40	RICETAy-D	32.40	84	869.33	321.29	127.11	400.08
343	40	RICETKs-B	15.40	73	869.33	160.82	181.40	501.47
344	40	RICETSb-D	3.62	84	869.33	241.22	31.36	591.79
345	40	RICETSe-D	8.93	84	869.33	286.19	143.48	417.61
346	40	FRSETKs-B	209.00	55	869.33	45.07	281.49	509.11
347	40	FRSETSb-D	14.60	77	869.33	162.61	76.84	617.44
348	41	RICETSe-D	36.30	84	933.53	303.33	179.84	428.23
349	42	RICETKt-A	16.30	62	869.33	78.23	256.33	500.82
350	42	RICETLy-A	11.20	62	869.33	73.02	220.42	547.03
351	42	RICETNg-A	35.90	62	869.33	97.14	366.15	361.92
352	42	FRSETAC-D	0.88	77	869.33	183.80	145.18	521.89
353	42	FRSETKs-B	3.19	55	869.33	45.29	282.16	506.94
354	42	FRSETLy-A	0.66	35	869.33	2.81	285.60	554.21
355	42	FRSETNg-A	0.48	35	869.33	7.98	452.44	360.65
356	42	FRSETPng-A	0.34	35	869.33	4.30	463.47	353.89
357	42	FRSETSC-D	0.69	77	869.33	241.22	222.18	382.41
358	42	SUGCTAC-D	2.96	87	869.33	319.85	53.93	487.86
359	42	SUGCTAy-D	3.63	87	869.33	314.89	76.77	464.24
360	42	SUGCTCr-C	1.96	83	869.33	219.75	41.88	600.62
361	42	SUGCTKt-A	8.60	67	869.33	101.62	216.45	522.40
362	42	SUGCTNg-A	13.50	67	869.33	127.66	327.44	373.75
363	43	RICETKt-A	67.30	62	869.33	78.33	256.08	501.11
364	43	RICETLy-A	34.60	62	869.33	73.16	219.68	547.49
365	43	RICETNg-A	17.20	62	869.33	97.18	365.92	362.08
366	43	RICETPng-A	16.90	62	869.33	83.70	363.11	379.70
367	43	FRSETLy-A	4.30	35	869.33	3.28	274.78	560.11
368	43	FRSETPng-A	1.32	35	869.33	4.30	462.67	354.21
369	43	FRSETSC-D	10.30	77	869.33	229.08	250.77	370.38
370	43	SUGCTKt-A	5.87	67	869.33	101.86	215.57	522.84
371	43	SUGCTLy-A	2.89	67	869.33	94.58	184.37	565.79
372	43	SUGCTNg-A	1.75	67	869.33	127.71	327.25	373.88

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

HRU	SUB	CPMN SOIL	AREAkm^2	CN	PRECmm	SURQmm	GWQmm	ETmm
373	43	SUGCTSC-D	2.44	87	869.33	362.28	114.97	378.86
374	43	SUGCTTk-A	5.03	67	869.33	98.68	183.93	558.40
375	43	SUGCTYl-A	1.90	67	869.33	117.04	303.06	411.54
376	43	AGRLTKt-A	24.20	67	869.33	103.34	219.63	516.69
377	43	AGRLTLy-A	24.30	67	869.33	95.66	184.49	564.42
378	43	AGRLTSC-D	4.96	87	869.33	361.66	125.84	369.73
379	43	AGRLTTk-A	7.24	67	869.33	101.33	193.10	545.51
380	44	RICETDb-A	31.90	62	869.33	75.09	237.97	525.60
381	44	RICETKs-B	9.74	73	869.33	160.42	180.78	502.28
382	44	RICETKt-A	19.70	62	869.33	78.23	256.55	500.79
383	44	RICETNg-A	7.52	62	869.33	97.15	366.15	361.93
384	44	FRSETDb-A	18.60	35	869.33	3.49	300.95	529.55
385	44	FRSETKs-B	83.80	55	869.33	45.29	282.71	506.96
386	44	SUGCTAy-D	10.10	87	869.33	314.39	77.98	464.02
387	44	SUGCTCr-C	6.55	83	869.33	219.77	42.09	600.63
388	44	SUGCTKs-B	3.36	77	869.33	188.61	145.59	513.23
389	44	SUGCTKt-A	2.00	67	869.33	101.66	216.37	522.46
390	44	SUGCTNg-A	7.12	67	869.33	127.67	327.54	373.76
391	45	RICETKt-A	11.00	62	1074.58	116.66	349.48	564.93
392	45	RICETLy-A	13.50	62	1074.58	107.69	302.16	627.36
393	45	RICETNp-D	1.61	84	1074.58	396.62	177.45	471.16
394	45	FRSETKs-B	12.40	55	1074.58	68.71	388.60	573.25
395	45	FRSETKt-A	6.37	35	1074.58	9.73	444.78	571.05
396	45	FRSETLy-A	4.03	35	1074.58	7.90	387.72	636.32
397	45	FRSETNp-D	3.32	77	1074.58	244.77	267.78	525.23
398	45	FRSETSC-D	13.30	77	1074.58	320.52	280.48	445.66
399	45	FRSETTk-A	3.36	35	1074.58	10.64	430.66	583.76
400	45	FRSETYl-A	10.50	35	1074.58	9.66	548.32	461.55
401	45	BERMTKs-B	3.52	73	1074.58	358.54	101.32	598.97
402	45	BERMTKt-A	0.51	58	1074.58	281.06	164.04	605.71
403	45	BERMTLy-A	1.47	58	1074.58	275.12	133.78	646.87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

การสำรวจภาพสนามและการจัดเตรียมไฟล์ GIS

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสำรวจภาพสนามและการรวบรวมข้อมูล

การดำเนินงานโดยเริ่มต้นด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำข้อมูลคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำของโครงการชลประทาน เนื่องจากต้องนำไปทำการปรับสภาพข้อมูล DEM เพื่อใช้ประมวลผลหาปริมานน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ดังนั้นในการรวมข้อมูลต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปใช้ การรวมรวมข้อมูลได้ดำเนินการโดยร่วมกันไปสองส่วนพร้อมกันคือ การสำรวจภาคสนาม และการจัดเตรียมไฟล์ GIS

1. การสำรวจภาคสนาม

การสำรวจภาคสนาม เป็นการออกสำรวจสภาพพื้นที่จริงเพื่อเก็บข้อมูลเชิงตำแหน่งและศึกษาลักษณะของพื้นที่เพิ่มเติม โดยสำรวจเลียบคลองส่งน้ำ 1L ซึ่งมีจุดเริ่มต้นที่เขื่อนแม่กลอง อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ไปสิ้นสุดที่ อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

ภาพผนวกที่ ค1 เขื่อนแม่กลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ ค2 ลักษณะการระบายน้ำลงคลองส่งน้ำ 1L

ภาพผนวกที่ ค3 คลองส่งน้ำลอดผ่านทางน้ำธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การจัดเตรียมไฟล์ GIS

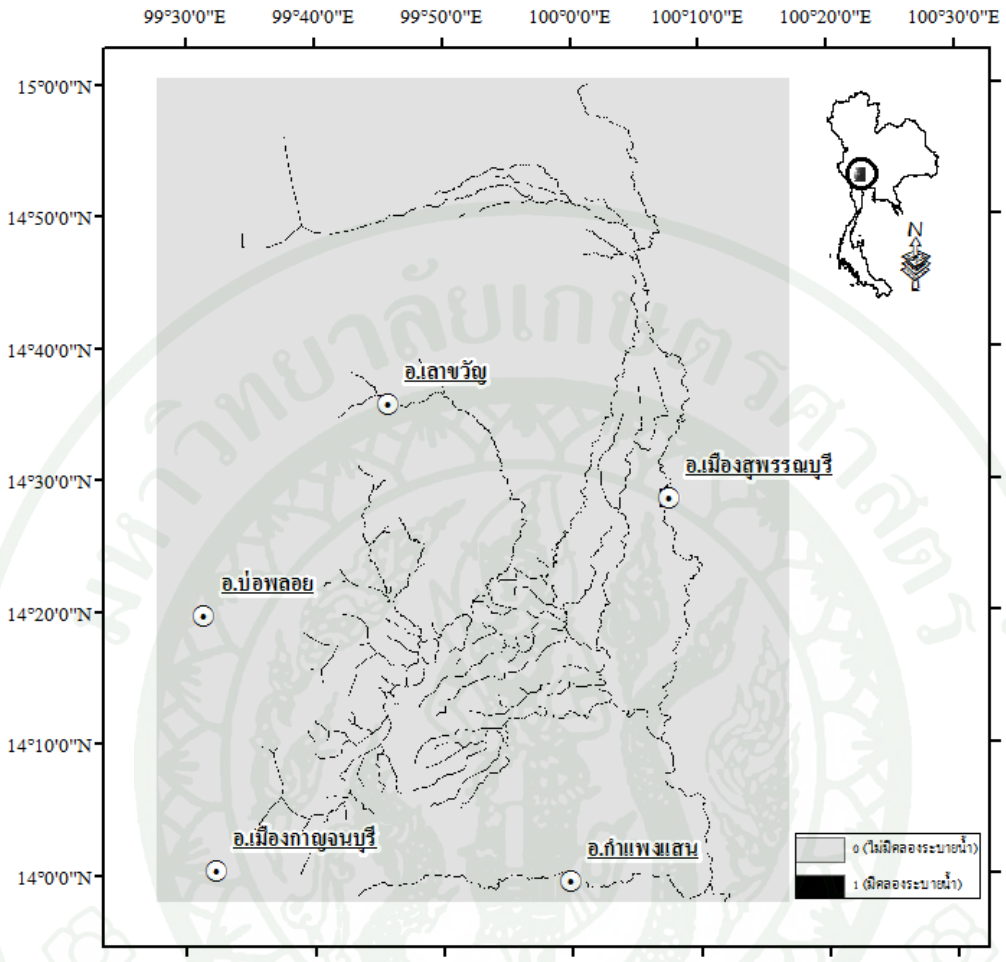
การจัดเตรียมไฟล์ GIS ของคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ แยกออกเป็น 3 ไฟล์ตามชนิดของข้อมูล DEM ที่ต้องการปรับสภาพ ดังนี้ 1) ไฟล์คลองระบายน้ำสำหรับข้อมูล DEM กรณี b (ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ) 2) ไฟล์คลองส่งน้ำสำหรับข้อมูล DEM กรณี c (ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ) และ 3) ไฟล์คลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำสำหรับข้อมูล DEM กรณี d (ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)

1) การเตรียมไฟล์คลองระบายน้ำสำหรับข้อมูล DEM กรณี b ทำโดยการแปลงไฟล์จากชนิด vector เป็นไฟล์ชนิด raster ด้วยคำสั่ง polyline to raster แล้วจัดกลุ่มใหม่โดยจุดที่มีคลองส่งน้ำไหลผ่านก็จะกำหนดค่ากริดใหม่ให้เป็นค่า 1 ส่วนจุดใดที่ไม่มีคลองระบายน้ำไหลผ่านก็กำหนดให้เป็นค่า 0 โดยใช้คำสั่ง reclassify ในส่วนของเครื่องมือ spatial analyst ของโปรแกรมทาง GIS โดยมีผลลัพธ์ดังภาพผนวกที่ ค4

2) การเตรียมไฟล์คลองส่งน้ำสำหรับข้อมูล DEM กรณี c ทำโดยการแปลงไฟล์จากชนิด vector เป็นไฟล์ชนิด raster ด้วยคำสั่ง polyline to raster แล้วจัดกลุ่มใหม่โดยจุดที่มีคลองส่งน้ำไหลผ่านก็จะกำหนดค่ากริดใหม่ให้เป็นค่า 1 ส่วนจุดใดที่ไม่มีคลองส่งน้ำไหลผ่านก็กำหนดให้เป็นค่า 0 โดยใช้คำสั่ง reclassify ในส่วนของเครื่องมือ spatial analyst ของโปรแกรมทาง GIS โดยมีผลลัพธ์ดังภาพผนวกที่ ค5

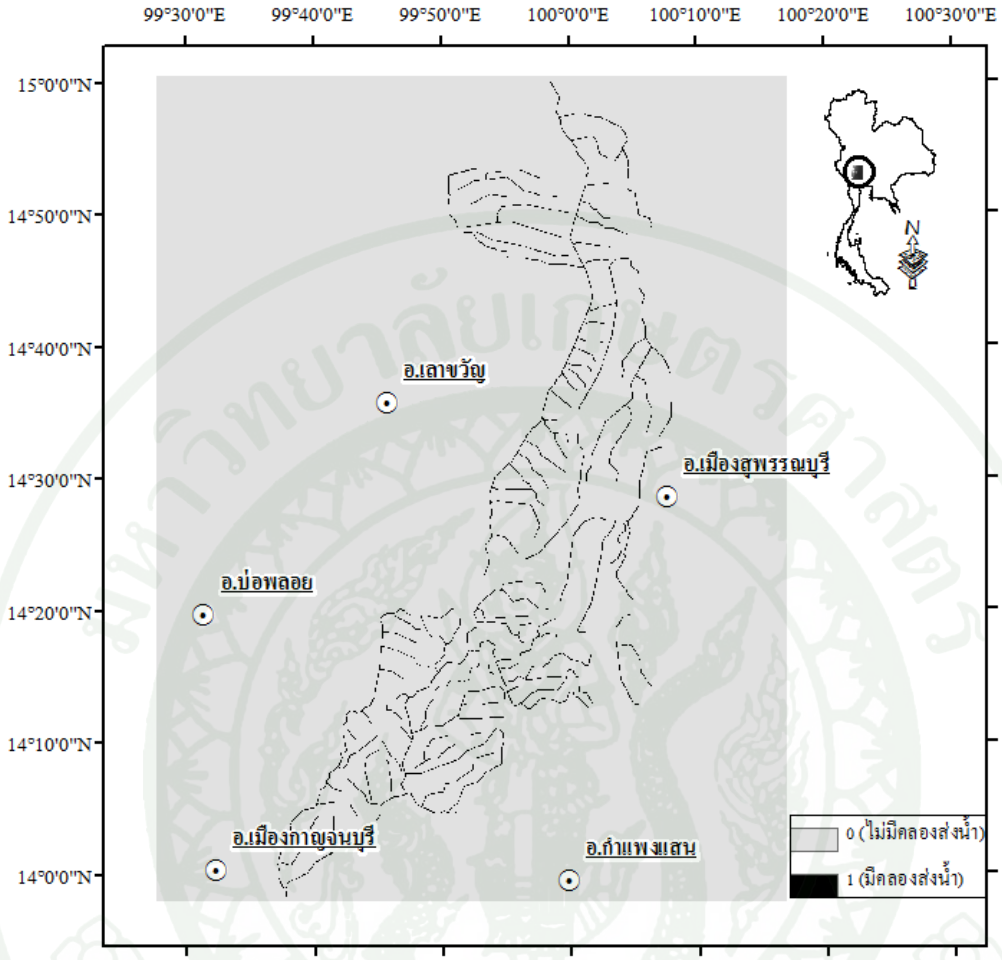
3) การเตรียมไฟล์คลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำสำหรับข้อมูล DEM กรณี d ทำโดยการนำไฟล์คลองส่งน้ำมาจัดกลุ่มใหม่โดยจุดที่มีคลองส่งน้ำไหลผ่านก็จะกำหนดค่ากริดใหม่ให้เป็นค่า 2 ส่วนจุดที่ไม่มีคลองส่งน้ำไหลผ่านก็กำหนดให้เป็นค่า 0 โดยใช้คำสั่ง reclassify ในส่วนของเครื่องมือ spatial analystซ่อนทับโดยการบวกกันกับไฟล์คลองระบายน้ำที่ได้จากการเตรียมไว้สำหรับข้อมูล DEM กรณี b ด้วยคำสั่ง raster calculator ในส่วนของเครื่องมือ spatial analyst ค่ากริดที่ได้จากการบวกจะมี 4 ค่า คือค่า 0 หมายถึงกริดที่ไม่มีคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำไหลผ่าน ค่า 1 หมายถึงกริดที่มีคลองระบายน้ำไหลผ่าน ค่า 2 หมายถึงกริดที่มีคลองส่งน้ำไหลผ่าน และค่า 3 หมายถึงจุดที่คลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำตัดกัน จากนั้นจึงนำมาจัดกลุ่มใหม่อีกทีโดยให้ค่ากริด 0, 1 และ3 ให้มีค่ากริดใหม่เป็น 0 และให้ค่ากริด 2 มีค่ากริดใหม่เป็น 1 ซึ่งมีคลองระบายน้ำไหลผ่านโดยมีผลลัพธ์ดังภาพผนวกที่ ค6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



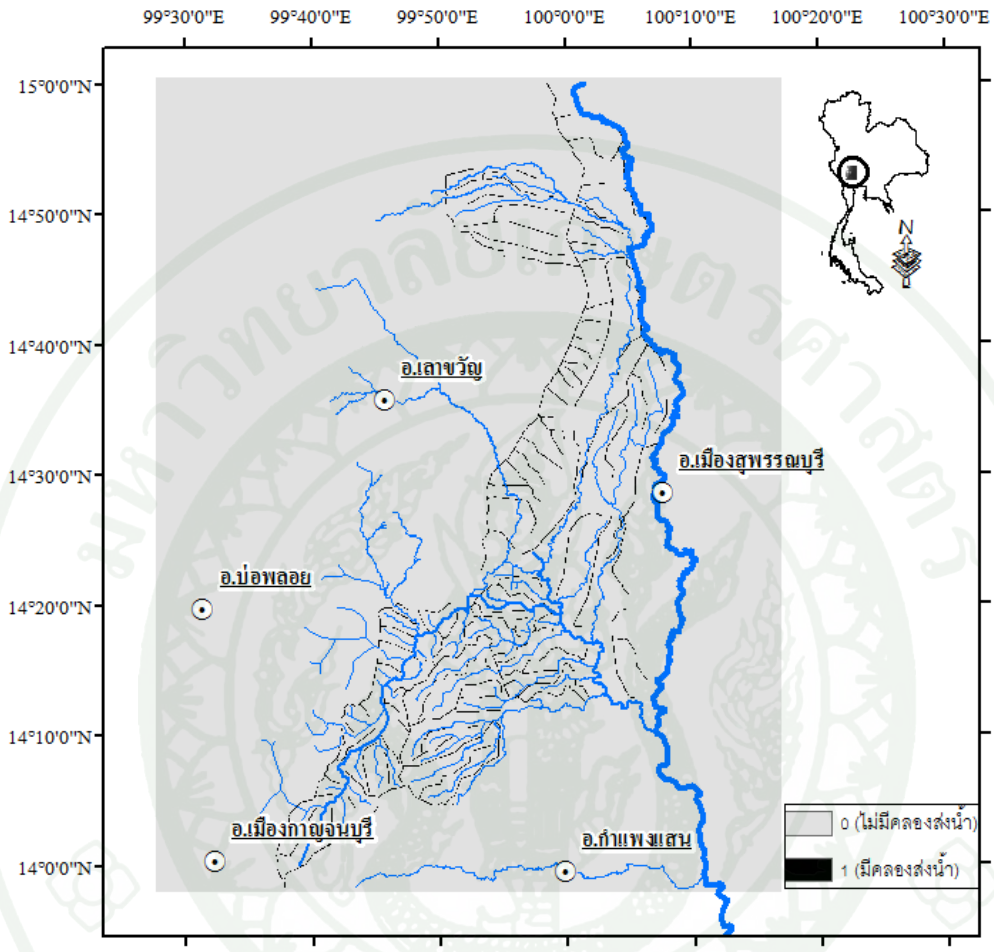
ภาพผนวกที่ ค4 คลองระบายน้ำสำหรับปรับสภาพ DEM กรณี b (ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค5 คลองส่งน้ำสำหรับปรับสภาพ DEM กรณี c (ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค6 คลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำสำหรับปรับสภาพ DEM กรณี d (ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การปรับสภาพข้อมูล DEM

การปรับสภาพข้อมูล DEM คือการปรับค่าระดับกริดใหม่โดยอิงทิศทางตามข้อมูลคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ โดยประยุกต์ใช้เทคนิค Steam burning ร่วมกับเครื่องมือทาง GIS คือฟังชั่น Raster Calculater มาใช้ในการคำนวนแยกตามกรณี 4 กรณี ตามขั้นตอนดังนี้

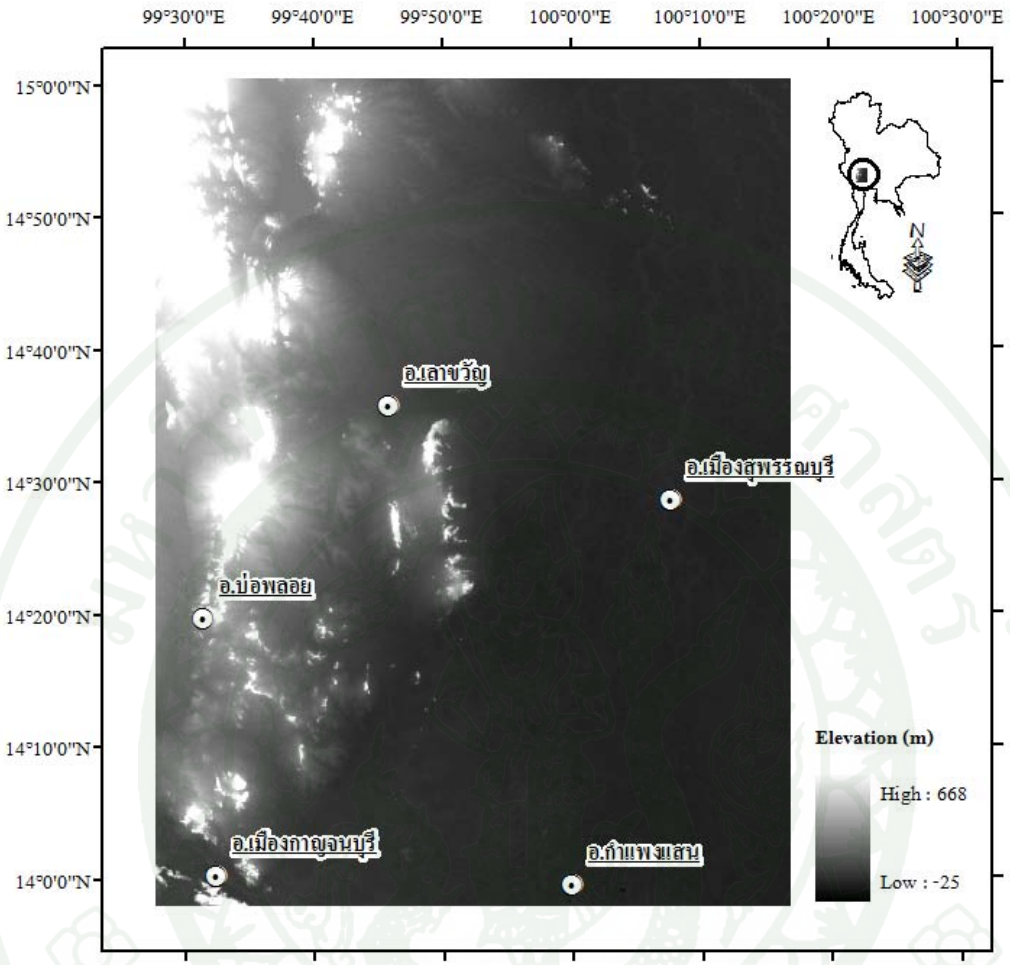
1) กรณี a ใช้ข้อมูล DEM เพียงอย่างเดียว ดำเนินการโดยนำข้อมูล DEM แบบปกติมาเติมแอ่ง (fill sink) เท่านั้น ดังภาพผนวกที่ ก7

2) กรณี b ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ ดำเนินการโดยนำข้อมูล DEM แบบปกติมาเติมแอ่ง (fill sink) แล้วลบด้วยข้อมูลคลองระบายน้ำ ดังภาพผนวกที่ ก8

3) กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ ดำเนินการโดยนำข้อมูล DEM แบบปกติมาเติมแอ่ง (fill sink) แล้วบวกด้วยข้อมูลคลองส่งน้ำ ดังภาพผนวกที่ ก9

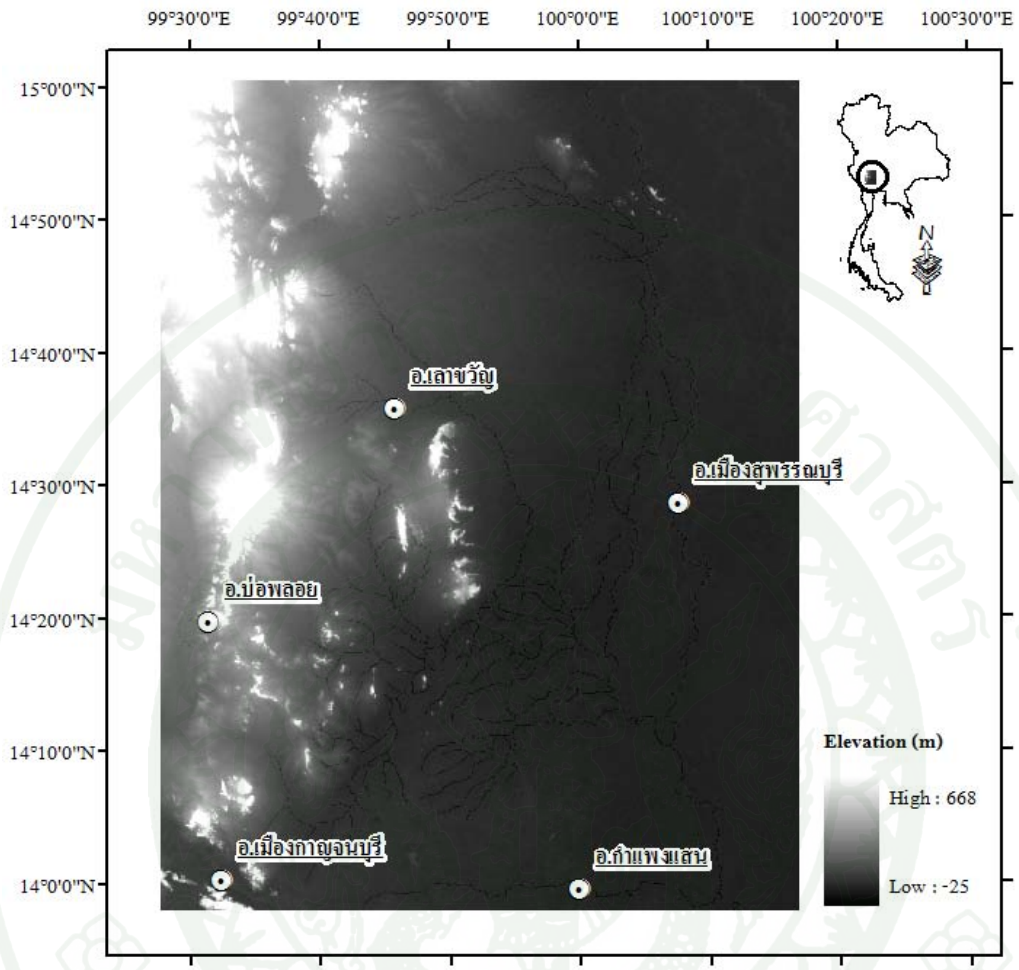
4) กรณี d ปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำดำเนินการโดยนำข้อมูล DEM แบบปกติมาเติมแอ่ง (fill sink) แล้วบวกด้วยข้อมูลคลองส่งน้ำและลบด้วยข้อมูลคลองระบายน้ำ ดังภาพผนวกที่ ก10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



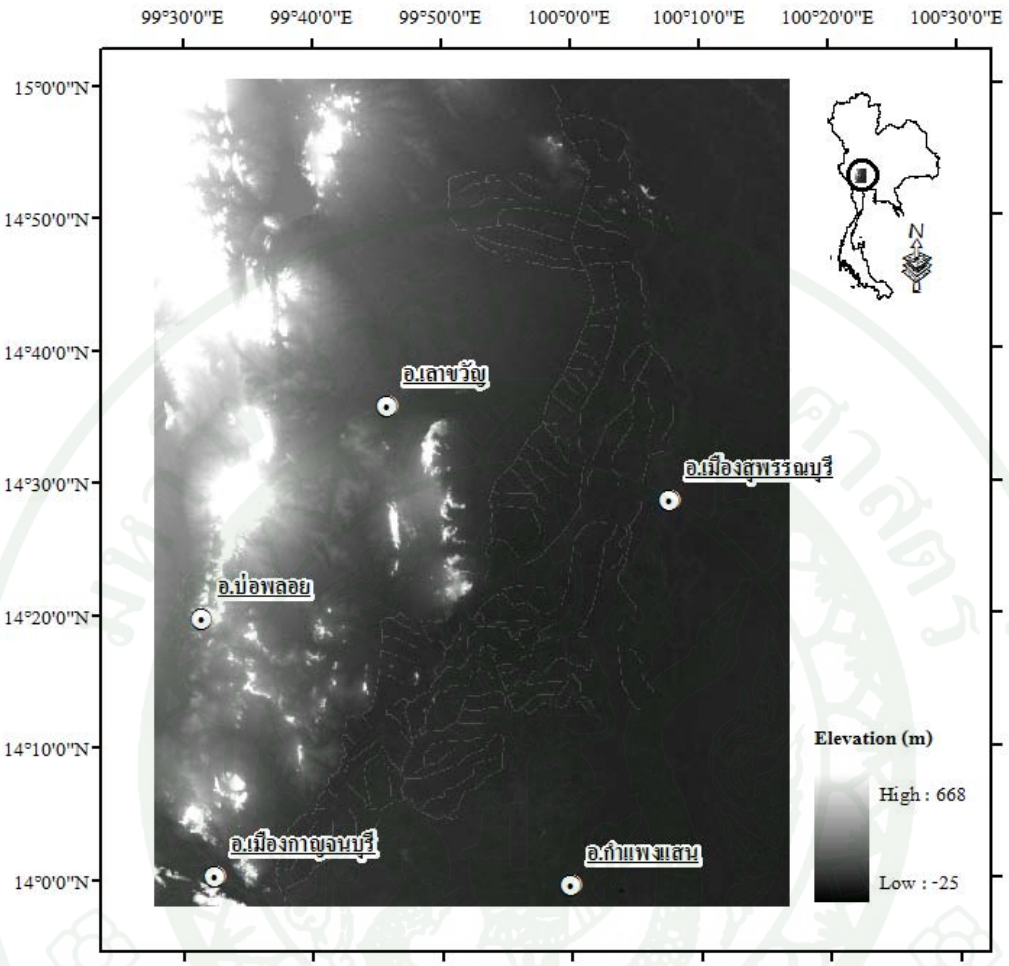
ภาพผนวกที่ ค7 DEM กรณี a (DEM เพียงอย่างเดียว)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



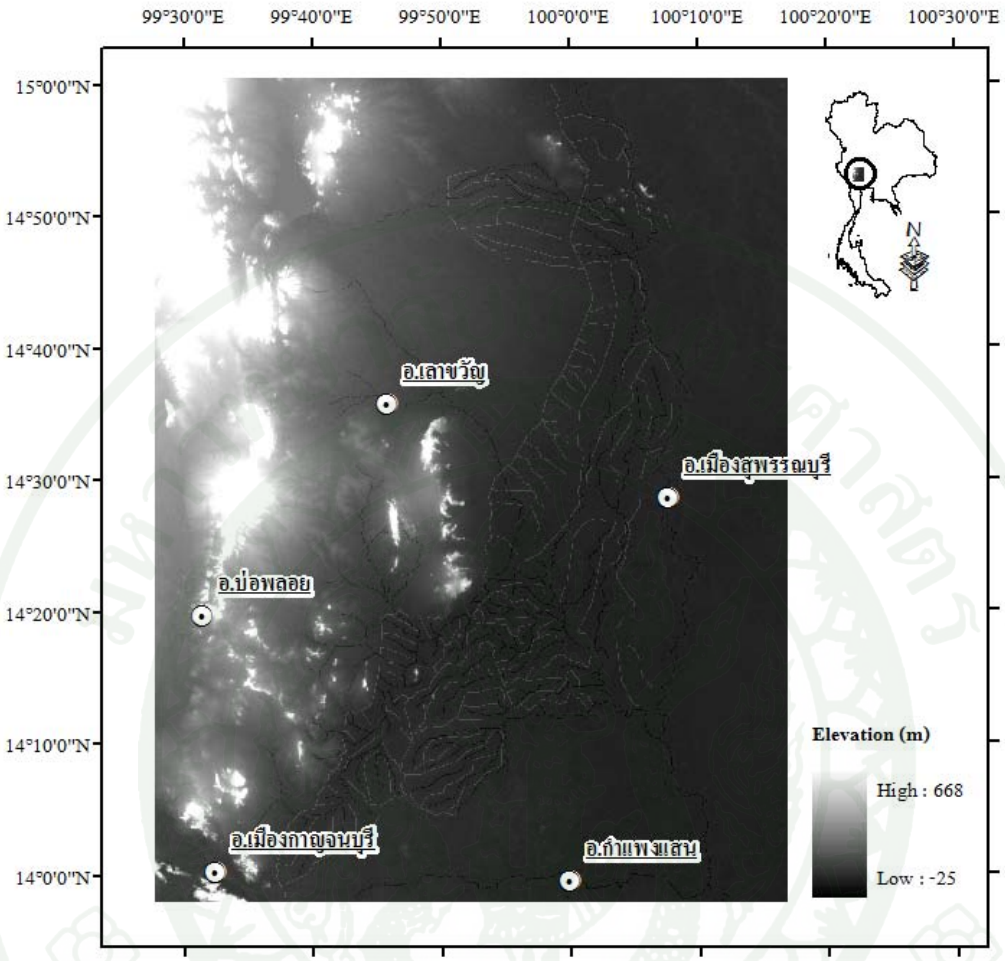
ภาพผนวกที่ ค8 DEM กรณี b (ปรับลดค่าระดับตามแนวคลองระบายน้ำ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค9 DEM กรณี c ปรับเพิ่มค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ค10 DEM กรณี d ปรับปรับค่าระดับตามแนวคลองส่งน้ำและคลองระบายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ง

การเตรียมข้อมูลและขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง SWAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียมข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง SWAT

ในส่วนของการประเมินน้ำท่าแบบจำลอง SWAT มีเตรียมข้อมูลเพื่อนำเข้า 2 รูปแบบ คือ การเตรียมข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ และการเตรียมข้อมูลที่เป็นตาราง ซึ่งข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลองจะต้องได้รวบรวมและวิเคราะห์ จัดทำเป็นไฟล์ไว้ก่อนแล้ว จึงค่อยนำเข้าแบบจำลอง โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ในการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

1. การเตรียมข้อมูล DEM (Digital Elevation Model)

การศึกษาควรใช้ข้อมูล DEM ที่มีความละเอียดของ pixcel size สูงและปรับแก้ความถูกต้องโดยการเติมแอ่ง (fill simk) เพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์หาทิศทางการไหลระบบของโครงข่ายลำน้ำของลุ่มน้ำ

2. การเตรียมข้อมูลการใช้ที่ดิน (Land Use)

การจัดเตรียมข้อมูล Land use ก็จัดเตรียมเหมือนกับข้อมูล DEM และจะต้องเตรียมเพิ่มเติม คือ Look up table ที่เป็น Dbase file ที่เก็บค่า Value กับอักษร 4 ตัวที่อยู่ในรูปแบบของแบบจำลอง SWAT ต้องการ ดังตารางผนวกที่ ง1 และการเตรียมสามารถทำได้ในโปรแกรม OpenOffice โดยกำหนดความกว้าง (Column width) ของ VALUE = 4 และ LANDUSE = 4

ตารางผนวกที่ ง1 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางการใช้ที่ดิน

VALUE	LANDUSE
1	RICE
2	FRSE
3	SUGC
4	PAST
5	WATR

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การเตรียมข้อมูลชนิดของดิน (Soil Class)

การจัดเตรียมข้อมูล Soil Class ก็จัดเตรียมเหมือนกับข้อมูล Land use และจะต้องเตรียมเพิ่มเติมคือ Look up table ที่เป็น Dbase file ที่เก็บค่า Value กับตัวอักษรที่แทนค่าตัวเลขให้มีความหมายตามชนิดของดิน ที่มีอยู่ในตาราง Database และจัดให้อยู่ในรูปแบบของแบบจำลอง SWAT ต้องการ ดังตารางผนวกที่ ง2 และการเตรียมสามารถทำได้ในโปรแกรม OpenOffice โดยกำหนดความกว้าง (Column width) ของ VALUE = 4 และ Name = 5

ตารางผนวกที่ ง2 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางชนิดของดิน

VALUE	NAME
1	Tly-A
2	Tks-B
3	TSb-C
4	TPng-A

4. การเตรียมข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Weather Data)

ข้อมูลอุทกวิทยาและข้อมูลภูมิอากาศ ที่แบบจำลอง SWAT ต้องการ มีอยู่ 5 ชนิด คือ 1) ปริมาณฝนตก ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น มิลลิเมตร 2) อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น องศาเซลเซียส 3) พลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เมกะจูนต่อวัน- ความเร็วลม ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที ยกกำลังสอง 4) - ความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เปอร์เซนต์

การเตรียมข้อมูลทั้ง 5 ชนิดข้อมูลนั้น จะต้องเตรียมตารางข้อมูลให้กับข้อมูลแต่ละชนิดนั้น 2 รูปแบบด้วยกัน คือ Location file (*.dbf) และ Data file (*.dbf) ซึ่งรูปแบบ ของ Location file เป็นตารางข้อมูลที่เก็บ ชื่อของไฟล์ข้อมูล ตำแหน่งพิกัด X,Yและค่าระดับ (Elevation, MSL.) ที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ง3 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางเชิงตำแหน่ง (Localtion file)

ID	NAME	XPR	YPR	ELEVATION
1	p13013	559755	1548042	16
2	p13032	575733	1561910	21
3	p13102	555867	1583610	120

รูปแบบ ของ Data file เป็นตารางข้อมูลที่เก็บ ข้อมูล ของสถานีวัดข้อมูลนั้น ๆ จัดเรียงเป็นช่อง ช่องที่ 1 คือ วันที่ และช่องที่ 2 คือค่าตัวเลข เรียงไปจนครบตลอดช่วงที่มีข้อมูล 1 วัน มีค่า 1 ค่า

ตัวอย่างตารางข้อมูล

1) ตารางข้อมูลฝน ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น มิลลิเมตร ช่องที่ 1 : DATE กว้างเท่ากับ 8 และช่องที่ 2 : PCP กว้างเท่ากับ 19 ตั้งทศนิยม 5 ตำแหน่ง และการตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล จะต้องตรงกันกับที่แสดงไว้ใน Location file

ตารางผนวกที่ ง4 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางฝน

DATE	PCP
1/1/2011	0.00000
2/1/2011	0.00000
3/1/2011	0.00000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) ตารางข้ออุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น องศาเซลเซียส ช่องที่ 1 : DATE กว้างเท่ากับ 8 ,ช่องที่ 2 : MAX กว้างเท่ากับ 20 และช่องที่ 3 : MIN กว้างเท่ากับ 20 ตั้งทศนิยม 5 ตำแหน่ง และการตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล จะต้องตรงกันกับที่แสดงไว้ใน Location file

ตารางผนวกที่ ง5 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด

DATE	MAX	MIN
1/1/2011	28.00000	17.57222
2/1/2011	29.00000	18.70500
3/1/2011	30.00000	19.12000

3) ตารางข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เมกะจูนต่อวัน ช่องที่ 1 : DATE กว้างเท่ากับ 8 และช่องที่ 2 : SLR กว้างเท่ากับ 19 ตั้งทศนิยม 5 ตำแหน่ง และการตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล จะต้องตรงกันกับที่แสดงไว้ใน Location file

ตารางผนวกที่ ง6 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางพลังงานแสงอาทิตย์

DATE	SLR
1/1/2011	24.57000
2/1/2011	23.70500
3/1/2011	24.22000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4) ตารางข้อมูลความเร็วลม ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที ยกกำลังสองช่องที่ 1 DATE กว้างเท่ากับ 8 และช่องที่ 2 : WND กว้างเท่ากับ 19 ตั้งทศนิยม 5 ตำแหน่ง และการตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล จะต้องตรงกันกับที่แสดงไว้ใน Location file

ตารางผนวกที่ ง7 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางความเร็วลม

DATE	WND
1/1/2011	2.57222
2/1/2011	4.70500
3/1/2011	3.82000

5) ตารางข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ข้อมูลรายวัน หน่วยเป็นเปอร์เซนต์ ช่องที่ 1 DATE กว้างเท่ากับ 8 และช่องที่ 2 : HMD กว้างเท่ากับ 19 ตั้งทศนิยม 5 ตำแหน่ง และการตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล จะต้องตรงกันกับที่แสดงไว้ใน Location file

ตารางผนวกที่ ง8 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลตารางความชื้นสัมพัทธ์

DATE	HMD
1/1/2011	0.87000
2/1/2011	0.7000
3/1/2011	0.82000

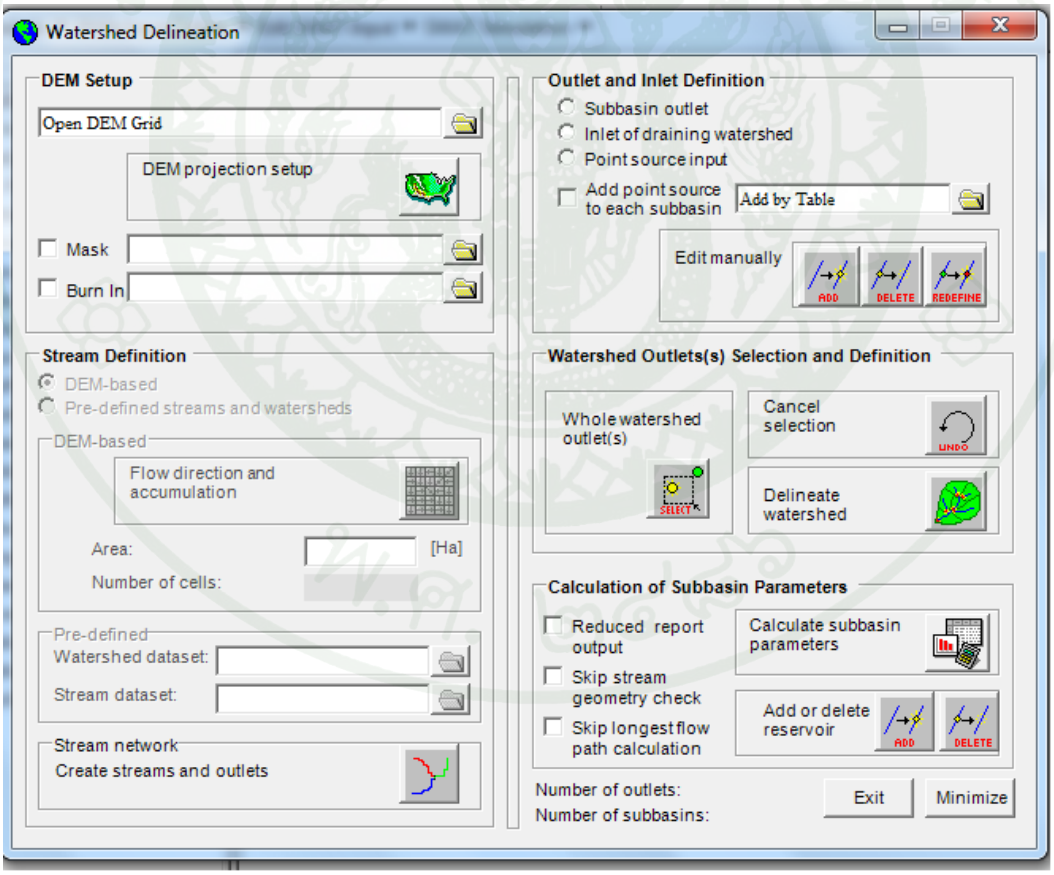
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง SWAT

การกำหนดรายละเอียดลุ่มน้ำ (Watershed Delineator)

1) Watershed delineation

1.1) DEM Setup เป็นการนำเข้าข้อมูล DEM 1.2) Stream Definition เป็นส่วนของการประมวลผลหา flow direction และ flow accumulation 1.3) Stream network เป็นการสร้างโครงข่ายเส้นลำน้ำ1.4) Watershed Outlets(s) Selection and Definition เป็นการกำหนดจุดออกของเส้นทางน้ำเพื่อสร้างขอบเขตลุ่มน้ำย่อย 1.5) Calculation of Subbasin Parameters เป็นการประมาวลผลค่าพารามิเตอร์ของลุ่มน้ำย่อย

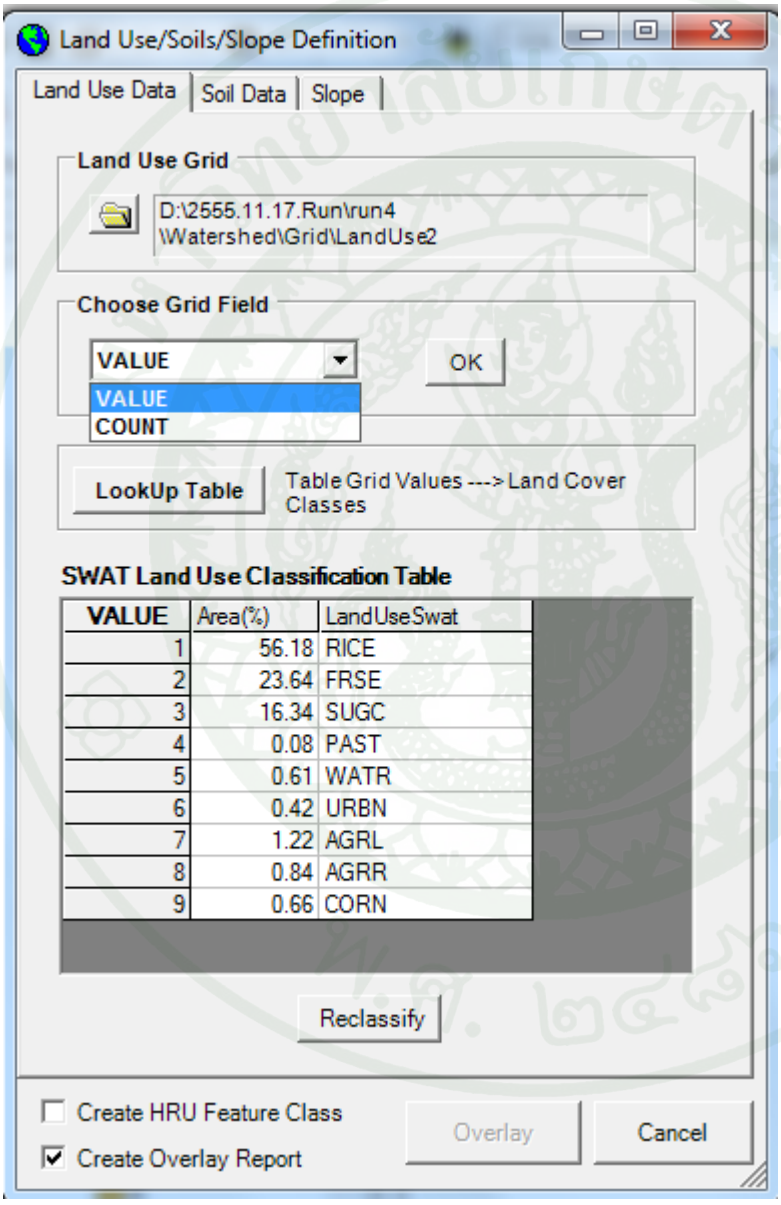


ภาพผนวกที่ ง1 การกำหนดพื้นหนดพื้นที่ลุ่มน้ำของโปรแกรม ArcSWAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. HRUs Analysis

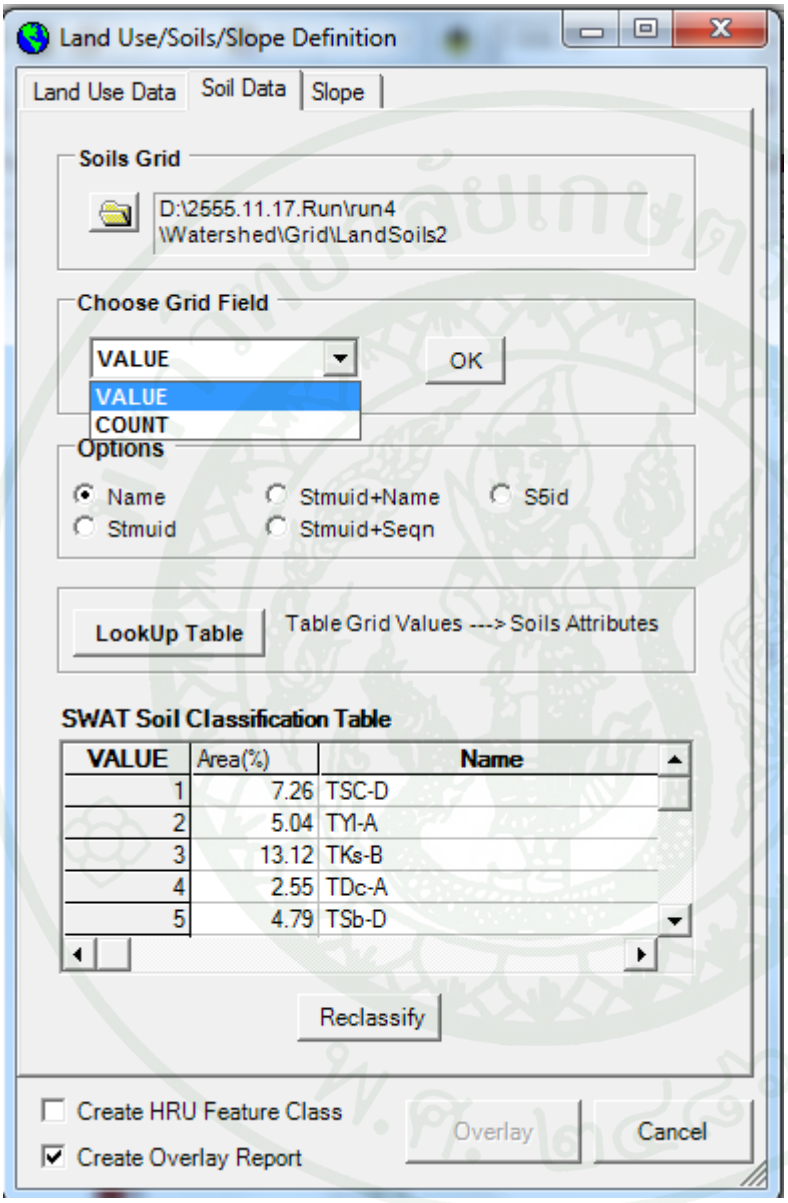
2.1) Land use Definition เป็นการกำหนดค่าการใช้ที่ดินโดยการนำเข้าข้อมูลทั้งที่เป็นกริด และตารางที่กำหนดรหัสตามฐานข้อมูลการใช้ที่ดินแบบจำลอง SWAT



ภาพผนวกที่ ง2 Land use Definition

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

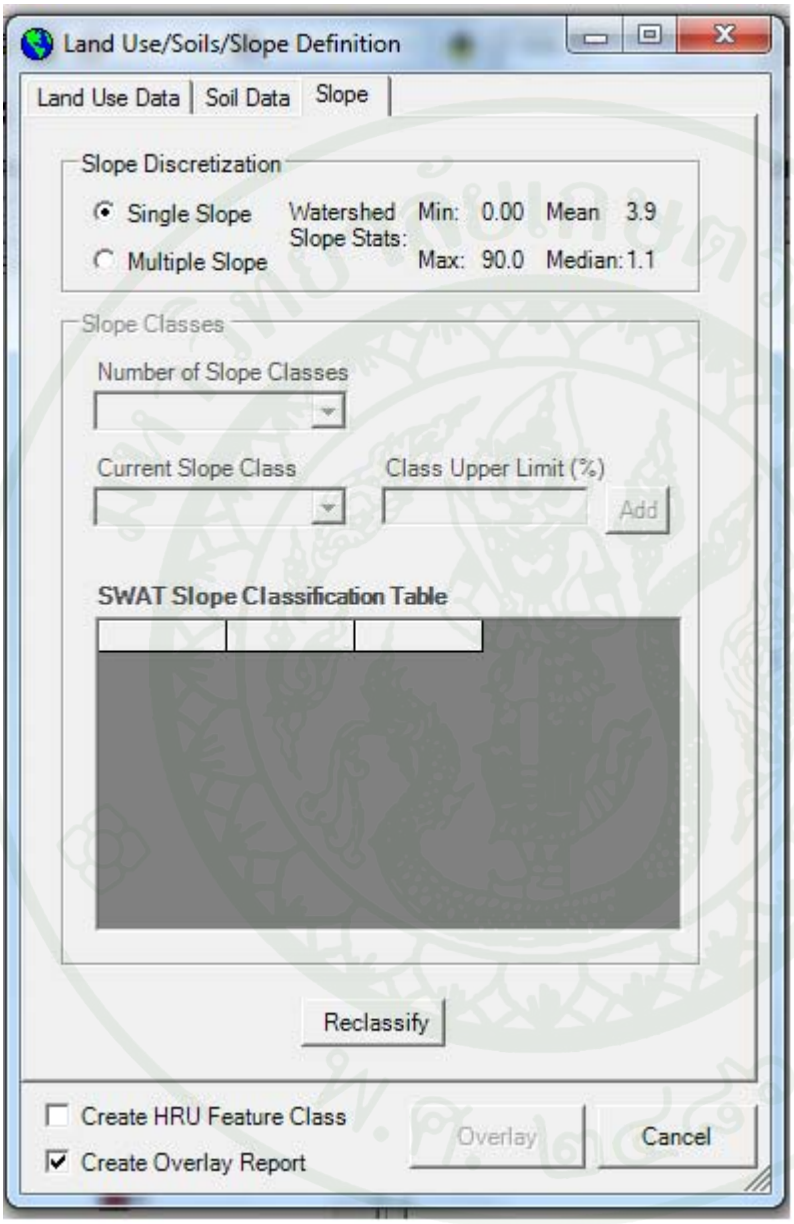
2.2) Soil Definition เป็นการกำหนดค่าดินโดยการนำเข้าข้อมูลทั้งที่เป็นกริดและตารางที่กำหนดรหัสตามฐานข้อมูลดินแบบจำลอง SWAT



ภาพผนวกที่ ง3 Soil Definition

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

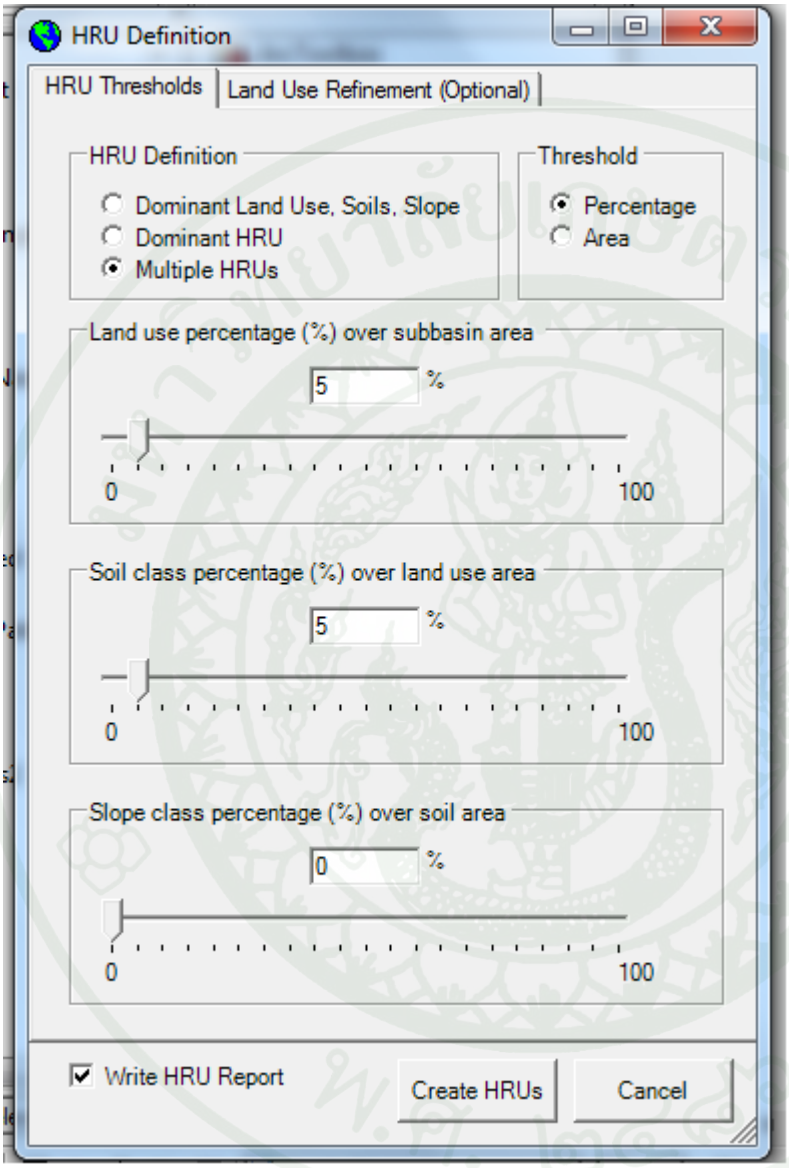
2.3) Slope Definition เป็นการกำหนดค่าความชันของพื้นที่โดยสามารถกำหนดเป็นเปอร์เซนต์ของพื้นที่ได้



ภาพผนวกที่ ง4 Slope Definition

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4) HRU Definition เป็นการกำหนดเปอร์เซนต์ความสำคัญของการใช้ที่ดิน ชนิดดิน และความชันเพื่อกำหนดเป็นหนึ่งหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRHs)

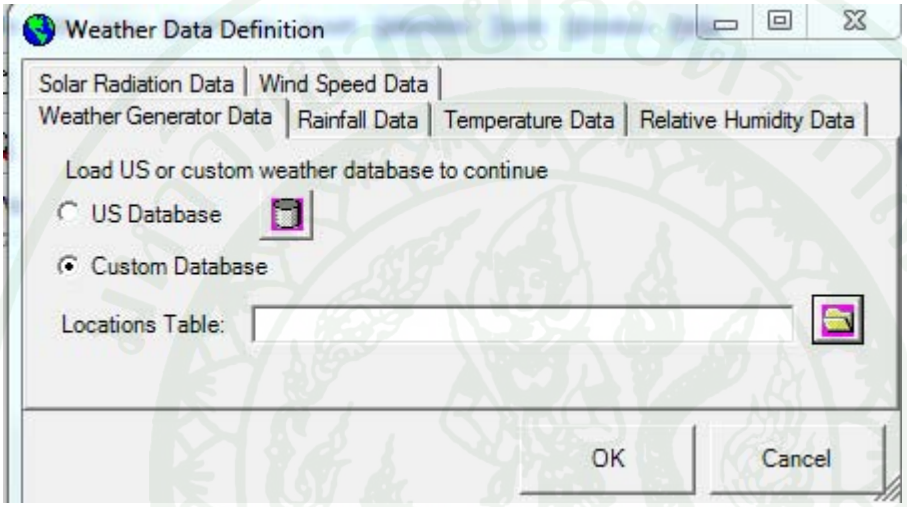


ภาพผนวกที่ ง5 HRU Definition

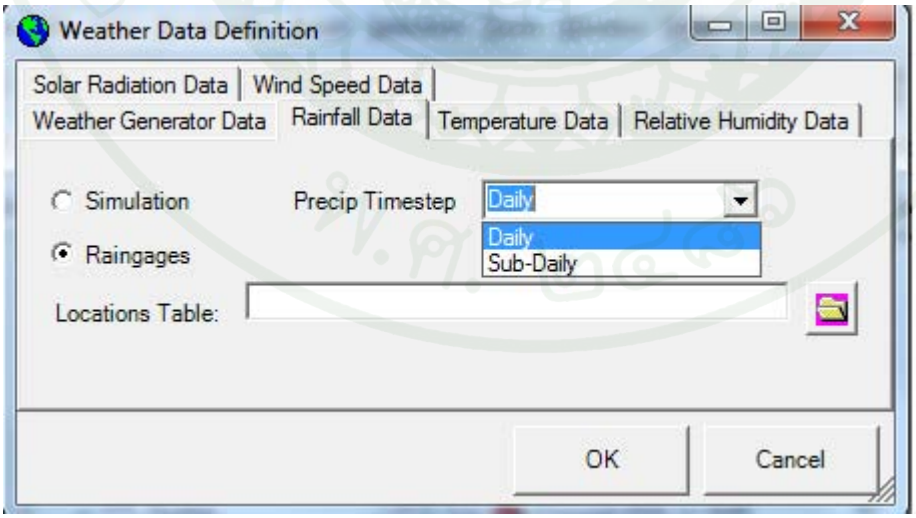
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. Write Input Tables

3.1) Weather Data Definition เป็นการกำหนดข้อมูลสภาพอากาศโดยการใส่ข้อมูลที่เป็นตารางแสดงตำแหน่งของสถานีตรวจอากาศ สถานีวัดน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ พลังงานแสงอาทิตย์ ความเร็วลง ดังภาพผนวกที่

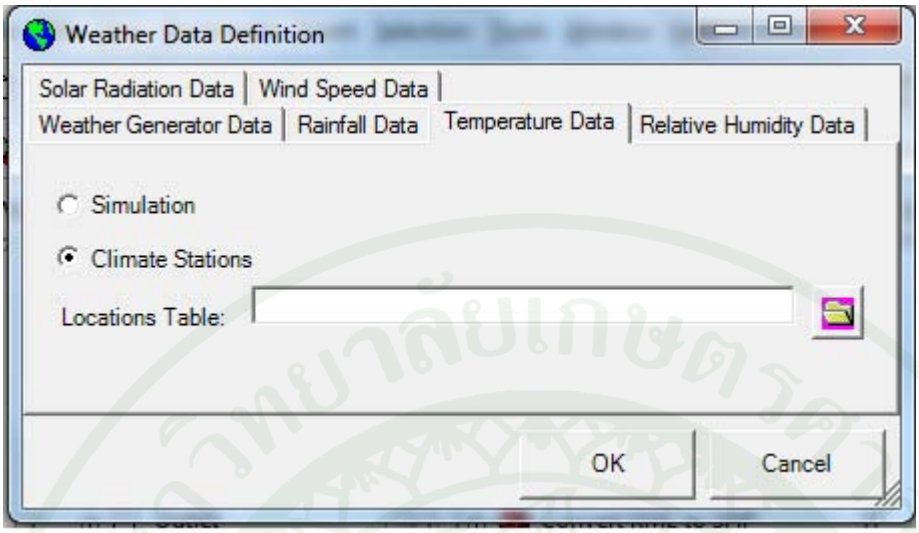


ภาพผนวกที่ ง6 Weather Data Definition

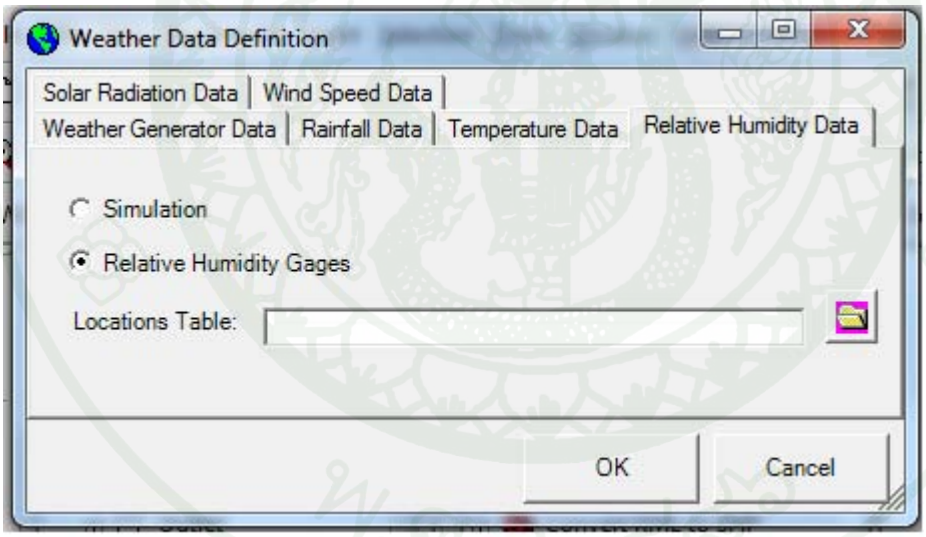


ภาพผนวกที่ ง7 Rainfall Data Definition

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

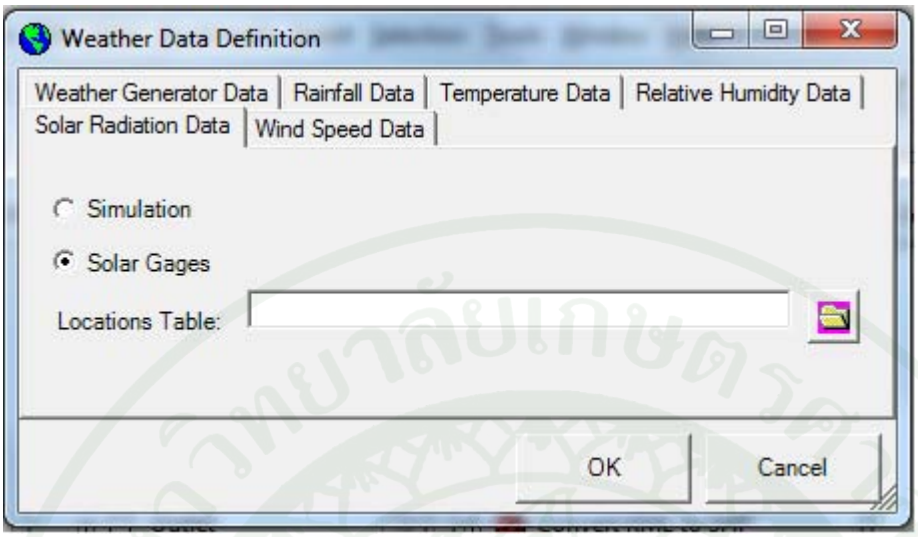


ภาพผนวกที่ ง8 Temperature Data Definition

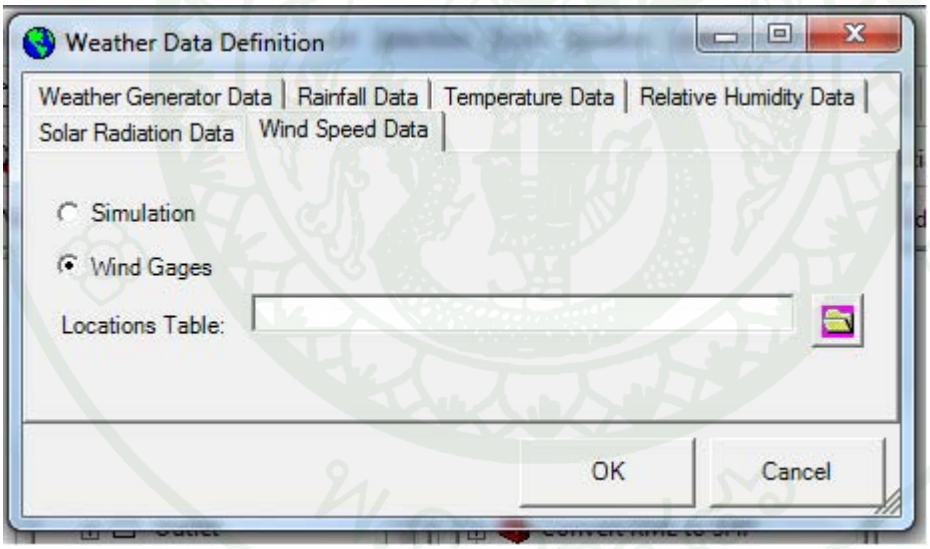


ภาพผนวกที่ ง9 Relative Humidity Gages Definition

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

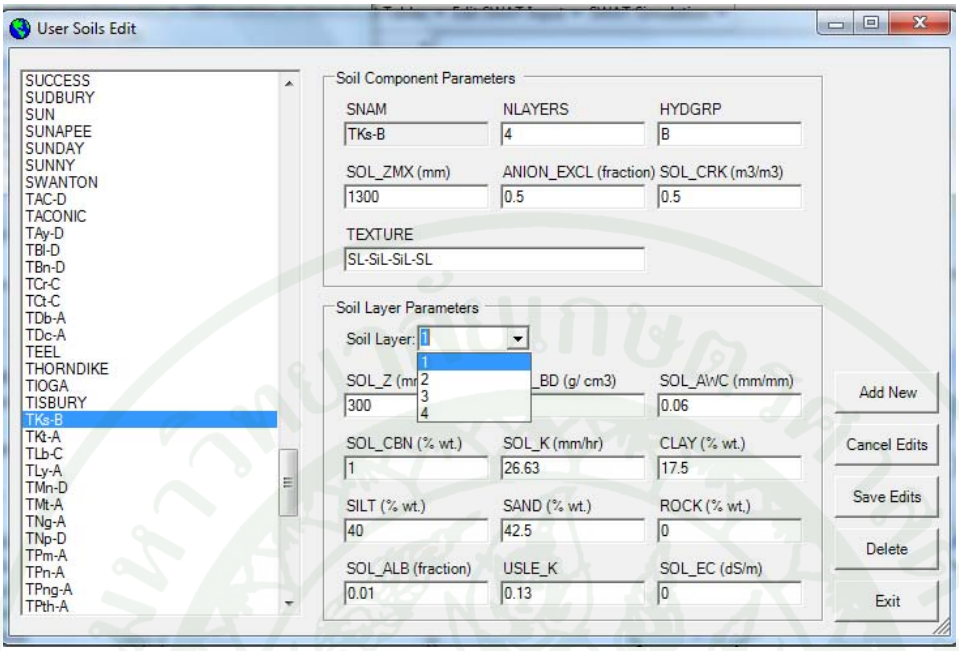


ภาพผนวกที่ ง10 Solar Gages Definition

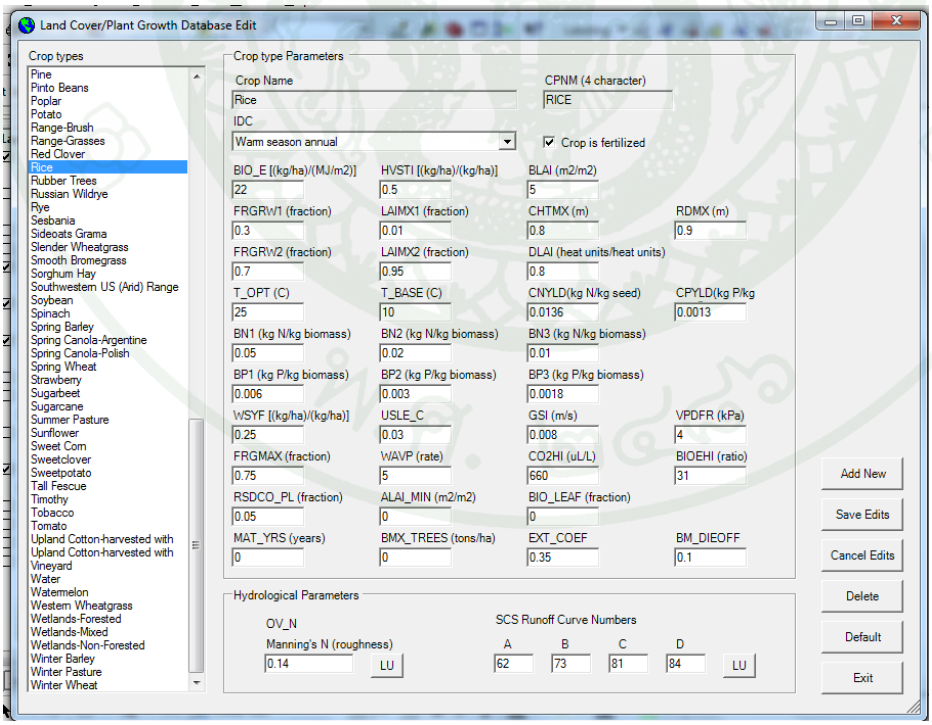


ภาพผนวกที่ ง11 Wind Gages Definition

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

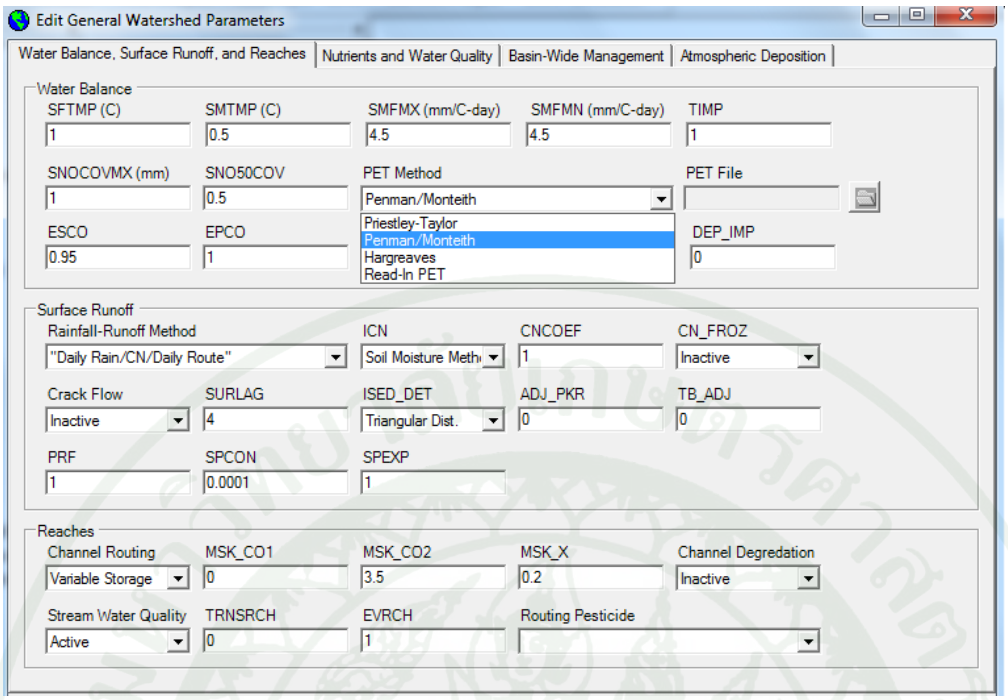


ภาพผนวกที่ ง12 User Soil Edit



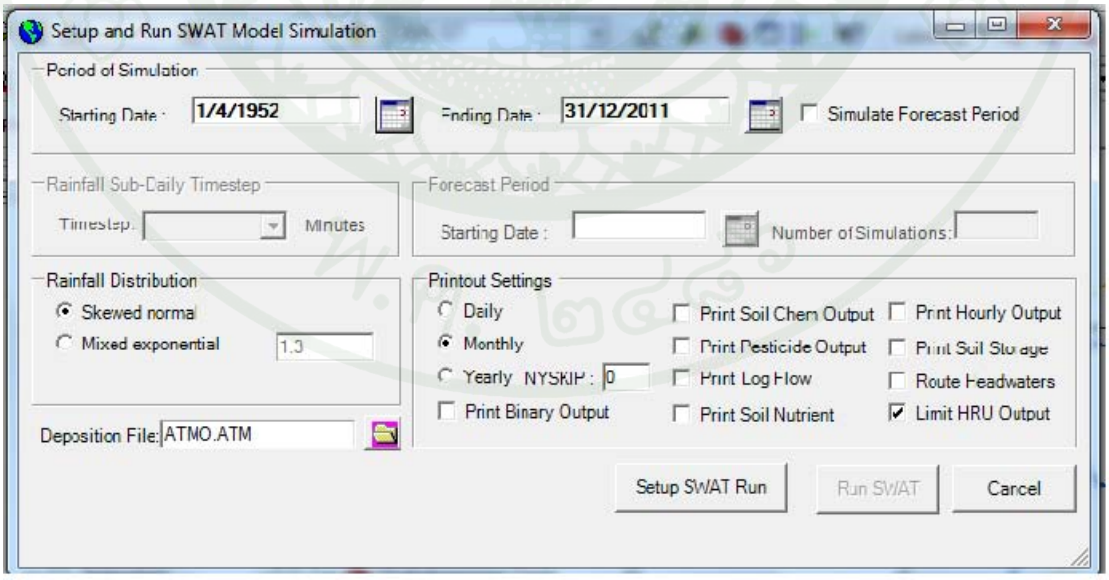
ภาพผนวกที่ ง13 Land Cover Edit

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ง14 Edit General Watershed Parameter

4. SWAT Simulation



ภาพผนวกที่ ง15 Setup and Run SWAT Model Simulation

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-สกุล	นายอิศเรศ กะการดี
เกิดวันที่	4 พฤษภาคม 2529
สถานที่เกิด	อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ปฐพีวิทยา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์