วิทยานิพนธ์

การศึกษาแบบจำลองภูมิ-อุทก ในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS บนลุ่มน้ำต้นแบบลาดชันสูง

TOPOGRAPHY-HYDROLOGICAL MODEL IN GEOINFORMATICS PUBLIC DOMAIN SYSTEM GRASS APPRAISED ON STEEP SLOPE PROTOTYPE RIVER BASIN

นายปรเมศวร์ นิตยวรรธนะ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ	วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาแบบจำลองภูมิ-อุทก ในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS บนลุ่มน้ำต้นแบบลาดชันสูง

Topography-Hydrological Model in Geoinformatics Public Domain System GRASS Appraised on Steep Slope Prototype River Basin

นามผู้วิจัย นายปรเมศวร์ นิตยวรรธนะ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ ....

(รองศาสตราจารย์หรรษา วัฒนานุกิจ, D.Eng.)

กรรมการ ....

(รองศาสตราจารย์วีระพล แต้สมบัติ, Ph.D.)

กรรมการ ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, D.Ing.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรชัย ลิปิวัฒนาการ, M.Asc.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาแบบจำลองภูมิ-อุทก ในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS บนลุ่มน้ำต้นแบบลาดชันสูง

Topography-Hydrological Model in Geoinformatics Public Domain System GRASS Appraised on Steep Slope Prototype River Basin

โดย

นายปรเมศวร์ นิตยวรรธนะ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)
พ.ศ. 2551

ปรเมศวร์ นิตยวรรธนะ 2551: การศึกษา แบบจำลองภูมิ-อุทก ในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS บนลุ่มน้ำต้นแบบลาดชันสูง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์หรรษา วัฒนานุกิจ, D.Eng. 93 หน้า

ลุ่มน้ำในภาคเหนือของประเทศไทยมีลักษณะเป็นภูเขาสูงชันที่ตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลลมมรสุมซึ่งส่งผลให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันเกือบทุกปี ในการศึกษาครั้งนี้ได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาคือลุ่มน้ำแม่วาง อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 518 ตารางกิโลเมตร โดยมีสถานีวัดปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำจำนวน 2 สถานี คือ สถานี P.82 บ้านสบวิน ต.แม่วิน และสถานี P.84 บ้านพันตน ต.ทุ่งปี สถานีวัดปริมาณน้ำฝนมี จำนวน 4 สถานี คือ สถานี 07801 บ้านสบวิน ต.แม่วิน สถานี 074C1 บ้านพันตน ต.ทุ่งปี สถานี 07811 บ้านทุ่งหลวง ต.แม่วิน และสถานี 071B1 บ้านขุนวาง ต.แม่วิน

จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองภูมิ-อุทกในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS สามารถจำลองลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำแม่วางได้ดี ด้วยข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศมาตราส่วน 1:50,000 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือนได้ผลอยู่ในเกณฑ์ดี โดยใช้เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง 6 วิธี คือ Sum of absolute error (SAE), Sum of squared residuals (SSE), Percent error in peak (PEP), Peak-weighted root mean square error objection function (PSE), Sum of squared log residuals (SLE) และ The Nash and Sutcliff Efficiency (EFF) ซึ่งวิธีที่ให้ผลดีที่สุดคือ The Nash and Sutcliff Efficiency (EFF) ให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและข้อมูลจากการสำรวจที่สถานีวัดน้ำท่า (R^2) อยู่ในระดับดีถึงดีมาก คือ 0.771/0.949 สำหรับสถานี P.82 และ 0.786/0.937 สำหรับสถานี P.84 ตามลำดับ

การใช้งานด้วยแบบจำลองภูมิ-อุทกในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS นี้ จะช่วยแก้ปัญหาด้านลิขสิทธิของโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศและแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยา อีกทั้งยังสามารถนำมาเป็นเครื่องมือเพื่อให้เกิดประโยชน์ในด้านการวางแผนการจัดการลุ่มน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเตือนภัยจากน้ำท่วมที่มักพบบ่อยครั้งในลุ่มน้ำทางภาคเหนือของประเทศไทย

________________ ลายมือชื่อนิสิต

________________ ลายมือชื่อประธานกรรมการ

___ / ___ / ___

Porrameth Nitayavardhana 2008: Topography-Hydrological Model in Geoinfomatics Public Domain System GRASS Appraised on Steep Slope Prototype River Basin. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Hansa Vathananukij, D.Eng. 93 pages.

River basins in northern part of Thailand are situated on steep slope area and in monsoon region that produced flood almost every year.This study selected Mae Waang basin, Amphoe Mae Waang, Chiangmai province as a study area. The 518 square-kilometers river basin area have two discharge-observed stations; P.82 (Ban Sop Win, Tambon Mae Win) and P.84 (Ban pan Ton, Tambon Tungpi). There are four rainfall gauging stations; 07801 (Ban Sop Win, Tambon Mae Win), 074C1 (Ban pan Ton, Tambon Tungpi), 07811 (Ban Toong Laung, Tambon Mae Win) and 071B1 (Ban Khung Waang, Tambon Mae Win)

According to the study, Topography-Hydrological Model in Geoinfomatics Public Domain System GRASS could model the characteristic of Mae Waang basin through 1:50,000 geoinformatic data. The comparison among daily and monthly discharge outputs gave goods results. Efficiency was studied on Sum of absolute error (SAE), Sum of squared residuals (SSE), Percent error in peak (PEP), Peak-weighted root mean square error objection function (PSE), Sum of squared log residuals (SLE) and The Nash and Sutcliff Efficiency (EFF). The Nash and Sutcliff Efficiency (EFF) gave the best result. Relation between simulated data and recorded data of discharge (R^2) were 0.771/0.949 for P.82 station and 0.786/0.937 for P.84 respectively.

The Topography-Hydrological Model in Geoinfomatics Public Domain System GRASS could mend problem on software licenses of the geoinfomatics Hydrological Model. This potentiality could be used as a tool for river basin planning/management. Especially on flood warning system that often occurred in the northern river basins of Thailand.

_______________________________ _______________________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.หรรษา วัฒนานุกิจ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือและสนับสนุนในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาตราจารย์ ดร.วีระพล แต้สมบัติ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล ดำรงค์ศรี กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และ รองศาสตราจารย์ ธีรธร อัศวรุจานนท์ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดมา ตลอดจนอาจารย์และนักวิจัยในศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการจัดการทรัพยากรและระบบภูมิสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ โรงเรียนเทศบาล ๑ วัดประตูสาร โรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย จังหวัดสุพรรณบุรี และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ขอขอบคุณ คุณมนต์ศักดิ์ โซ่เจริญธรรม นักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคเหนือตอนบน กรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ นายปรมัตถ์ นิตยวรรธนะ ครอบนิตยวรรธนะ และครอบครัวอัศนีทิพย์กุล ตลอดจนญาติมิตรทุคคนผู้มีพระคุณและเป็นผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ คอยช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณความดีทั้งหมดนี้ขอกราบแทบเท้ามอบแด่คุณแม่อรชิรา นิตยวรรธนะ และคุณยายเฮียง แช่ตั้ง ที่ให้กำเนิดเลี้ยงดูและอุ้มชูลูก คอยดูแลและให้กำลังใจเสมอมา ส่งเสริมลูกจนประสบความสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้

ปรเมศวร์ นิตยวรรธนะ

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	14
อุปกรณ์	14
วิธีการ	15
ผลและวิจารณ์	43
สรุปและข้อเสนอแนะ	55
สรุป	55
ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	57
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา	62
ภาคผนวก ข การจำแนกกลุ่มดินของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่	63
ภาคผนวก ค การใช้งานระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS	74
ภาคผนวก ง ข้อมูลการจำลองลักษณะทางกายภาพด้วย GRASS	81
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	93

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1	ชุดคำสั่งใน GRASS	17
2	สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ จ.เชียงใหม่	27
3	รูปแบบการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง	30
4	ความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องและละเอียดของข้อมูล	34
5	เกณฑ์สำหรับการวัดผลลัพธ์ของแบบจำลอง	42
6	รายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL สำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.82 บ้านสบวิน	48
7	รายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL สำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.84 บ้านพันตน	51
8	ค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง	52
9	ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง TOPMODEL	54

ตารางผนวกที่

1	ปริมาณน้ำฝนรายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี 074C1 บ้านพันตน	63
2	ปริมาณน้ำฝนรายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี 07801 บ้านสบวิน	64
3	ปริมาณน้ำฝนรายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี 07811 บ้านทุ่งหลวง	65
4	ปริมาณน้ำฝนรายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี 078B1 บ้านขุนวาง	66
5	ปริมาณน้ำท่ารายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี P.82 บ้านสบวิน	67
6	ปริมาณน้ำท่ารายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี P.84 บ้านพันตน	68
7	ปริมาณการใช้น้ำของพืช พ.ศ. 2548 ณ สถานีตรวจวัดอากาศ (37501) อ.เมืองเชียงใหม่	69

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนและวิธีการการศึกษา	15
2	การพัฒนาโปรแกรม GRASS GIS	16
3	การระบายน้ำผ่านพื้นที่รับน้ำที่มีความลาดเท ณ จุดหนึ่งภายในพื้นที่ลุ่มน้ำ	19
4	ผังกระบวนการทางอุทกวิทยาของแบบจำลอง TOPMODEL	19
5	การไหลทางแนวตั้งของน้ำในดินตามแนวคิดของแบบจำลอง TOPMODEL	21
6	กระบวนการทางอุทกวิทยาภายใต้ดัชนีสภาพภูมิประเทศที่เพิ่มขึ้น	22
7	แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำแม่วาง อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่	26
8	ทิศทางของลมมรสุมและพายุที่พัดผ่านประเทศไทย	28
9	ที่ตั้งสถานีอุตุ-อุทกวิทยาในบริเวณพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำแม่วาง อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่	31
10	การวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศ DEM	37
11	วิธีวิเคราะห์การไหลหลายทิศทาง (Multiple Flow Direction algorithm)	38
12	กราฟแสดงปริมาณน้ำจากข้อมูลการตรวจการไหลในลำน้ำรวม และ ปริมาณน้ำจากข้อมูลการไหลรายวันจากแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบ ณ.สถานี P.82 บ้านสบวิน	45
13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันจากการตรวจวัด สำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.82 บ้านสบวิน	46
14	กราฟแสดงปริมาณน้ำจากข้อมูลการตรวจวัดการไหลในลำน้ำรวม และปริมาณน้ำจากข้อมูลการไหลรายเดือนจากแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบ ณ.สถานี P.82 บ้านสบวิน	46
15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณการไหลในลำน้ำรายเดือนจากการตรวจวัด สำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.82 บ้านสบวิน	47

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

16 กราฟแสดงปริมาณน้ำจากข้อมูลการตรวจวัดการไหลในลำน้ำรวม และ ปริมาณน้ำจากข้อมูลการไหลรายวันจากแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบ ณ.สถานี P.84 บ้านพันตน 48

17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับ ปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันจากการตรวจวัด สำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.84 บ้านพันตน 49

18 กราฟแสดงปริมาณน้ำจากข้อมูลการตรวจวัดการไหลในลำน้ำรวม และ ปริมาณน้ำจากข้อมูลการไหลรายเดือนจากแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบ ณ.สถานี P.84 บ้านพันตน 50

19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับ ปริมาณการไหลในลำน้ำรายเดือนจากการตรวจวัด สำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.84 บ้านพันตน 51

ภาพผนวกที่

1 หน้าจอหลักเข้าโปรแกรม GRASS 75

2 การสร้างฐานข้อมูลใหม่ของพื้นที่ศึกษา 75

3 หน้าจอแสดงตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลชนิด Vector 76

4 หน้าจอแสดงตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลชนิด Raster 76

5 หน้าจอแสดงตัวอย่างการเรียกคำสั่งเพื่อสร้างข้อมูล Slope และ Aspect 76

6 หน้าจอคำสั่งการสร้างข้อมูล Slope และ Aspect 77

7 หน้าจอแสดงตัวอย่างการเรียกคำสั่งเพื่อสร้างข้อมูล Accumulation, Drainage, Subbasin และ Stream 77

8 หน้าจอแสดงตัวอย่างการเรียกคำสั่งเพื่อสร้างข้อมูล Flow Direction และ Risk Flood Area 77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
9	หน้าจอแสดงตัวอย่างการเรียกคำสั่งเพื่อสร้างข้อมูลจุดตรวจสอบ (ข้อมูล Outlet)	78
10	หน้าจอแสดงตัวอย่างการเรียกคำสั่งเพื่อจำลองปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง TOPMODEL	78
11	รูปแบบข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง	79
12	รูปแบบข้อมูลปริมาณน้ำฝนและการใช้น้ำของพืช	79
13	รูปแบบข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีที่ใช้ตรวจสอบ	79
14	รูปแบบผลลัพธ์การจำลองด้วยแบบจำลอง TOPMODEL	80
15	ข้อมูลภูมิสารสนเทศ DEM	82
16	ข้อมูลภูมิสารสนเทศดัชนีภูมิประเทศ (Topographic Index)	82
17	ข้อมูลภูมิสารสนเทศความลาดชัน (Slope)	83
18	ข้อมูลภูมิสารสนเทศทิศลาด (Aspect)	83
19	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการไหลสะสม (Accumulation)	84
20	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการไหลสะสมหลายทิศทาง (Accumulation Grid)	84
21	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการระบายน้ำ (Drainage)	85
22	ข้อมูลภูมิสารสนเทศทิศทางการระบายน้ำ (Drainage Direction)	85
23	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลุ่มน้ำย่อย (Minimum Subbasin) 3 ลุ่มน้ำ	86
24	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลุ่มน้ำย่อย 220 ลุ่มน้ำ	86
25	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลุ่มน้ำย่อย 750 ลุ่มน้ำ	87
26	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลุ่มน้ำย่อย 1102 ลุ่มน้ำ	87
27	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลุ่มน้ำย่อย (Maximum Subbasin) 2484 ลุ่มน้ำ	88
28	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลำน้ำย่อย (Minimum Stream) 3 ลำน้ำ	88
29	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลำน้ำย่อย 220 ลำน้ำ	89
30	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลำน้ำย่อย 750 ลำน้ำ	89
31	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลำน้ำย่อย 1102 ลำน้ำ	90
32	ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลำน้ำย่อย (Maximum Stream) 2484 ลำน้ำ	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
33	ข้อมูลภูมิสารสนเทศจุดตรวจสอบสถานี P.82 (Water Outlet)	91
34	ข้อมูลภูมิสารสนเทศจุดตรวจสอบสถานี P.84 (Water Outlet)	91
35	ข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นที่เสี่ยงภัย (Problem Area)	92
36	ข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นที่ที่เป็นแอ่ง (Sink Watershed)	92

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

%	เปอร์เซ็นต์
กม.	กิโลเมตร
จ.	จังหวัด
ชม.	ชั่วโมง
ต.	ตำบล
ตร.กม.	ตารางกิโลเมตร
ตร.ม.	ตารางเมตร
ตร.ม./วัน	ตารางเมตรต่อวัน
พ.ศ.	พุทธศักราช
ค.ศ.	คริสต์ศักราช
ม.	เมตร
ม./วินาที	เมตรต่อวินาที
ม.รทก.	เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง
มม.	มิลลิเมตร
มม./ชม.	มิลลิเมตรต่อชั่วโมง
ลบ.ม.	ลูกบาศก์เมตร
ลบ.ม./ชม.	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
ลบ.ม./วัน	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ลบ.ม./วินาที	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
ล้าน ลบ.ม.	ล้านลูกบาศก์เมตร
ล้าน ลบ.ม./ปี	ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี
อ.	อำเภอ

การศึกษา แบบจำลองภูมิ-อุทก ในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS บนลุ่มน้ำต้นแบบลาดชันสูง

Topography - Hydrological Model in Geoinformatics Public Domain System GRASS Appraised on Steep Slope Prototype River Basin

คำนำ

ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านระบบภูมิสารสนเทศ ซึ่งในทุกหน่วยงานของรัฐและเอกชนได้ให้ความสนใจและ ทำการจัดเก็บข้อมูลทางด้านนี้ไว้เป็นจำนวนมาก ในขณะที่การประยุกต์ใช้กับแบบจำลองมาตรฐานสากลยังมีจุดอ่อนเนื่องจากลิขสิทธิที่มีราคาแพง และยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อโปรแกรมเพิ่มเติม เพื่อให้การใช้งานของระบบหลากหลาย โดยเฉพาะโปรแกรมแบบจำลองต่างๆ ที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบภูมิสารสนเทศ ดังนั้นในระดับนานาชาติการใช้งานของระบบภูมิสารสนเทศแบบสาธารณสิทธิ จึงได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากผู้ใช้สามารถศึกษาและพัฒนาระบบไปใช้งานได้โดยตรง

ระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS สามารถใช้งานได้หลายระบบปฏิบัติการอาทิ เช่น Linux, MacOSX และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้สามารถใช้กับระบบปฏิบัติการ Ms Windows จากการศึกษาได้คัดเลือกแบบจำลองทางอุทกวิทยา TOPMODEL ในการจำลองปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าเลียนแบบธรรมชาติ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศเพื่อประเมินลักษณะความเปียก แห้งและปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยนำระบบภูมิสารสนเทศและแบบจำลองคณิตศาสตร์เข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกันโดยมีข้อมูลปริมาณน้ำฝน การใช้น้ำของพืชและเส้นชั้นความสูงเป็นปัจจัย การประยุกต์ใช้งานระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญในการใช้งานระบบภูมิสารสนเทศในปัจจุบัน

ลุ่มน้ำในภาคเหนือของประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลทั้งลมมรสุมและลมพายุ มีลักษณะพื้นที่เป็นภูเขาที่มีความลาดชันสูง เป็นบริเวณที่เกิดน้ำท่วมฉับพลันบ่อยครั้ง ต้นแบบการศึกษาคัดเลือกบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาศักยภาพใช้งานจริงของระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS

2. พัฒนาการใช้งานและความสัมพันธ์ของแบบจำลองภูมิ-อุทก ในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS ด้วยพื้นที่ต้นแบบในประเทศไทย

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS บนระบบ Microsoft Window XP

2. ศึกษาแบบจำลองภูมิ-อุทก ในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS

3. รวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยา และข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศในพื้นที่ศึกษา

4. ศึกษาสหสัมพันธ์ผลลัพธ์ข้อมูลในแบบจำลองภูมิ-อุทก ใน GRASS

การตรวจเอกสาร

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Parks (1991) ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ได้ถือกำเนิดครั้งแรกในราวปี 1785 ซึ่งในขณะนั้นหน่วยรังวัด (Public Land Survey) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการจัดทำแผนที่ ต่อมาในช่วงปี 1800 ก็ได้มีการนำระบบชั้นข้อมูลของแผนที่ (Thematic Cartography) เข้ามาใช้งาน และ ในปี 1890 Hollerith ได้พัฒนาระบบคอมพิวเตอร์แบบบัตรเจาะขึ้น ทำให้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ได้รับการพัฒนาตามด้วยเช่นกัน ทั้งยังได้ทำการผนวกระบบประมวลผลเชิงพื้นที่อัตโนมัติเข้าไปด้วย ต่อมาในช่วงทศวรรษที่ 60 โดยความร่วมมือในการวิจัยของมหาวิทยาลัย และทางภาครัฐ ได้พัฒนาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ จนสามารถที่จะแสดงแผนที่ทางภูมิศาสตร์ โดยอาศัยข้อมูลจากฐานข้อมูล เพื่อให้สามารถพิมพ์แผนที่ขนาดต่างๆ ตามต้องการออกมาได้ จากนั้นการพัฒนาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ได้เป็นไปอย่างรวดเร็วจนในช่วงทศวรรษที่ 70 โปรแกรมทางด้านสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ก็ได้เริ่มวางจำหน่ายในเชิงพาณิช

ดารารัตน์ (2540) ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ หมายถึง “ขบวนการของการใช้คอมพิวเตอร์ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟท์แวร์ (Software) เพื่อการกำหนดและจัดการกับข้อมูลเชิงพื้นที่หรือ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ให้อยู่ในระบบฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ ในรูปแบบข้อมูลตัวเลขและมีคุณลักษณะที่สามารถทำการเรียงซ้อน (Overlay) ข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผล อีกทั้งสามารถ แสดง ข้อมูลออกมาในลักษณะภาพกราฟฟิกได้ในรูปแบบต่างๆ รวมถึงมีความสามารถรวม (Merging) ข้อมูลแผนที่เข้าด้วยกับ หรือแยกข้อมูลแผนที่นั้นออกจากกัน (Aggregation) รวมทั้งการวางนัยทั่วไป (Generalization) และการเชื่อมโยง (Association) ข้อในมูลแผนที่ต่างๆ นั้นได้”

หรรษา (2547) Geographic Information System (GIS) แปลว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หมายถึง ระบบข้อมูลที่มีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงการนำเสนอในรูปแผนที่มาตรฐาน โดยทุกจุดของข้อมูลบนแผนที่มีพิกัดโลกแสดงที่ตั้ง แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็นชั้นต่างๆ สามารถนำข้อมูลมาสลับจัดซ้อนเพื่อเสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ต้องการศึกษานั้น โดยมีการแยกรายละเอียดความสัมพันธ์ข้อมูลเป็นแผนที่และอรรถาธิบาย นับเป็นการปฏิวัติข้อมูลในระบบข้อมูลโลก ที่สามารถนำข้อมูลในระบบต่างๆ ในอดีตมาเชื่อมโยงและประยุกต์ความสัมพันธ์อย่างเป็บระบบ

ความหมายของระบบภูมิสารสนเทศ

ความหมายของระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์นั้น ได้มีผู้ให้คำจำกัดความไว้หลายประการ เช่น

George (1997) ข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศได้เตรียมมาเพื่อทำการพัฒนา จัดเก็บ วิเคราะห์ แสดงให้เห็นภาพการกระจายของข้อมูลรายละเอียดเชิงซ้อน (visualize spatially distributed data) ซึ่งข้อมูลชุดนี้อาจอยู่ในรูปของแผนที่ที่แสดงถึง ระดับ ข้อมูลดิน หรือข้อมูล output จากแบบจำลองทางสิ่งแวดล้อม (environmental models) โดยมีโปรแกรมหลายโปรแกรมที่สามารถให้ผู้ใช้ทำการศึกษาผลจากการซ้อนข้อมูลแผนที่ได้หลายๆ ชั้น การแสดงข้อมูลและทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนที่ ซึ่งด้วยความสามารถจากการมองเห็นภาพ และการวิเคราะห์ ทำให้ระบบภูมิสารสนเทศ ได้กลายมาเป็นที่นิยมใช้กับงานหลาย ๆ ด้าน ซึ่งในปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ในการประเมินทรัพยากรธรรมชาติ (natural resources assessment) การจำลองแบบ สำหรับงานทางด้านการออกแบบทางวิศวกรรม วิศวกรรมขนส่ง (transportation engineering) การประเมินความเสี่ยง (hazard assessment) และ ประยุกต์ใช้ในด้านการแพทย์ ปัจจุบันสามารถใช้งานร่วมกับข้อมูลระยะไกล เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ และ ข้อมูลดาวเทียม ซึ่งช่วยในการศึกษาและจัดทำแผนที่การศึกษาในด้านสิ่งแวดล้อม และการพัฒนาข้อมูลทางทรัพยากรธรรมชาติ

หรรษา (2547) Geoinformatic System (GIS) แปลว่า ระบบภูมิสารสนเทศ จัดเป็นระบบข้อมูลที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบัน โดยผนวกข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจธรรมชาติกับระบบข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้ในการปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัย และประยุกต์ข้อมูลเข้ากับแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้านต่างๆ การนำเสนอข้อมูลสามารถทำได้ทุกรูปแบบ และทุกมิติ

แบบจำลองอุทกวิทยา กับ ข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ

ในปัจจุบันนักอุทกวิทยาได้หันมาให้ความสนใจกับข้อมูลระบบ GIS เพื่อใช้ในการศึกษาสภาพทางธรรมชาติ หรือ สภาพสิ่งที่มนุษย์ทำขึ้นอย่างเช่น การหมุนเวียนของน้ำทางในวัฐจักรทางอุทกวิทยาสำหรับแบบจำลองทางอุทกวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับลักษณะการกระจายทางธรรมชาติ ซึ่งจะสัมพันธ์กับ การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของลักษณะความหลากหลายของพื้นที่ลุ่มน้ำและ ฝน โดยระบบ GIS จะมีบทบาทสำคัญในด้านการบอกลักษณะมิติเชิงพื้นที่ (spatial dimension)

วีระพล (2531) กล่าวว่า รูปแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ที่นิยมกันในด้านอุทกวิทยาส่วนมากจะใช้วิธีการเปลี่ยนน้ำฝนให้เป็นน้ำท่า หรือจะกล่าวว่าเป็นกระบวนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่า (rainfall - runoff relationship) ก็ได้ ดังนั้นรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์ดังกล่าวจึงนิยมเรียกว่า รูปแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า (rainfall – runoff model) หรือแบบจำลองลุ่มน้ำ (Watershed model)

Saghafian (1992) แบ่งลำดับของแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่ใช้ GIS เป็นเครื่องมือช่วยไว้เป็น 4 ระดับคือ

1. Hydrologic assessment คือ ระดับการใช้งาน GIS เพื่อหาค่าเกี่ยวกับปัจจัยทางอุทกวิทยา (hydrologic factor) กับบางเหตุการณ์ โดยใช้ข้อมูลแผนที่ GIS

2. Hydrologic parameter determination คือระดับการใช้งาน GIS เพื่อหาค่าตัวแปรทางอุทกวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศ และ ลักษณะพืชคลุมดิน ซึ่งค่าตัวแปรนี้จะใช้กับแบบจำลองทางอุทกวิทยา

3. Hydrologic modeling inside GIS คือ ระดับการใช้งาน GIS โดยใช้ร่วมกับแบบจำลองอุทกวิทยาสำหรับเป็นการคำนาณสภาพการไหลแบบ Steady state

4. Link GIS and Hydrologic model คือ ระดับการใช้งาน GIS โดยใช้ร่วมกับแบบจำลองอุทกวิทยา โดยเป็นการเชื่อมโยงกับแบบจำลองโดยตรง

Mitasova (1998) แบบจำลองทั่วไปในปัจจุบันมักจะมีส่วนที่ใช้ระบบ GIS เป็นเครื่องมือสนับสนุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน Software ทางการค้าที่มีความสามารถทางด้านข้อมูล Raster อย่างเช่น ARCGRID, ArcView Spatial Analyst, Intergraph ERMA, IDRISI, GRASS และ ERDAS เป็นต้น ซึ่งในการรวมกันระหว่างแบบจำลองกับ GIS จำเป็นต้องใช้คำสั่ง GIS function ที่สร้างขึ้นมาเฉพาะเพื่อใช้กับแบบจำลองที่มีความซับซ้อน (complex models) อย่างเช่นต้องสร้างคำสั่งมาเพื่อใช้ในการสนับสนุนในส่วนข้อมูลที่เป็น temporal, 3D หรือ 4D และ ตาราง (meshes) สำหรับการคำนวณด้วยวิธี finite element สำหรับรูปแบบของข้อมูล และ การพัฒนาเครื่องมือที่ทันสมัยจะเป็นเครื่องกระตุ้นในการรวมกันของแบบจำลอง กับ GIS Software ทางการค้า สำหรับเทคโนโลยีของ object orient programming ที่ใช้มาเป็นเครื่องช่วยในการรวมกัน และ การสนับสนุนของระบบ GIS ซึ่งสามารแบ่งเป็นประเภทได้ดังนี้คือ

1. การรวมกับแบบสมบูรณ์ (Full integration – embedded coupling) เป็นแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาเครื่องมือ และ การเขียนโปรแกรมโดยใช้ GIS เป็นเครื่องมือในการสนับสนุน อย่างเช่น Application Programming Interface (API), scripting tool, map algebra operations เป็นต้น โดยแบบจำลองจะทำงานด้วยคำสั่งของ GIS, ข้อมูลนำเข้าและผลลัพท์ของข้อมูล จะใช้ระบบฐานข้อมูลของ GIS Database โดยจะไม่มีการแปลงไปใช้กับแบบจำลอง ในส่วนของประสิทธิภาพในการคำนาณจากการเขียนด้วย scripting tool ทำให้การคำนวณช้าลง ทำให้เป็นข้อจำกัดในการพัฒนาเนื่องจากพึ่งอยู่กับระบบ GIS โดยตัวอย่างแบบจำลองประเภทนี้แสดงดังนี้

1.1 เชื่อมต่อกันแบบฝังตัว (Embeded coupling)

- โปรแกรม r.hydro.CASC2d, r.watershed, r.topmodel ใน GRASS GIS
- โปรแกรม Darcyflow และ Particletrack ใน ARCGRID

1.2 การสนับสนุนด้วยพีชคณิตของแผนที่ (Map algebra implementation)

- การคำนาณการไหลของน้ำ เช่น โปรแกรม r.drain, r.terraflow, r.flow ใน GRASS GIS
- การแพร่กระจายตัว (Dispersion) เช่น โปรแกรม r.ros, r.spreadpath, r.spread ใน GRASS GIS หรือ โปรแกรม Simple Fire Spread model ใน ARCGRID

1.3 แบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาเพื่อสนับสนุนผู้ใช้ โดยพัฒนาเครื่องมือ และ Extension สำหรับพีชคณิตของแผนที่ (Map algebra)

- โปรแกรม DYNAMITE for PCRaster
- Avenue script
- โปรแกรม Cellular-IDRIS

2. การรวมกันภายใต้ระบบติดต่อผู้ใช้ (Integration under a common interface-tight coupling) เป็นแบบจำลองได้รับการพัฒนาที่อยู่ภายนอกระบบ GIS และ มีโครงสร้างของข้อมูลเป็นแบบของตัวเลขโดยมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่าง แบบจำลอง และ GIS ที่ซ่อนอยู่ภายในโดยอาจมีบางข้อมูลที่มีการใช้งานร่วมกันอยู่ด้วย ซึ่งระบบติดต่อผู้ใช้จะเป็นตัวสนับสนุนให้ GIS และแบบจำลองที่มีความซับซ้อนอื่นๆ ที่แตกต่างกัน ให้อยู่ในกระบวนการเดียวกัน ซึ่งจะไม่สามารถไปใช้กับ GIS ระบบอื่นๆได้ ตัวอย่างแบบจำลองประเภทนี้แสดงดังนี้

2.1 SWAT, AGNPS, ANSWERS ทำงานบน GRASS GIS

2.2 SWAT, IDOS3D, BASIN-2 ทำงานบน ArcView GIS

3. การรวมตัวแบบไม่ถาวร (Loose coupling) เป็นแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนา และทำงานอย่างเป็นอิสระปราศจากระบบ GIS แต่ข้อมูล Input จะถูกนำไปแสดงในระบบ GIS และ Output จะถูกนำเข้ามาในระบบ GIS เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และ แสดงให้เห็นภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ด้วยระบบ GIS ที่แตกต่างกันได้ ตัวอย่างแบบจำลองประเภทนี้แสดงดังนี้

3.1 โปรแกรม PAYSAGE-forest and habitat change ทำการเชื่อมต่อกับ Arcview หรือ Arcinfo

3.2 โปรแกรม SIMWE-erosion and deposition ทำการเชื่อมต่อกับ GRASS แต่ก็สามารถใช้กับ GIS อื่นๆ ที่สามารถสนับสนุนข้อมูล Raster ได้

GRASS

Neteler (1998) GRASS ย่อมาจาก “Geographic Resource Analysis Support System” เป็นระบบประเภทหนึ่งในการจัดการระบบสารสนเทศทั้งในรูปแบบข้อมูล vector และ raster ในการศึกษาของ Netelerจะมุ่งเน้นที่การประมวลผลแบบ raster มากกว่า รวมถึงมีความสามารถประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม

GRASS ได้รับการพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยหน่วย CERL (Construction Engineering Research Lab) ในสังกัดของ U.S. Army Corps of Engineers ประเทศสหรัฐอเมริกา จนกระทั่งในปี 1989 GRASS ก็ได้รับการเผยแพร่สู่สาธารณชนอย่างเป็นทางการ ทางกลุ่มวิจัยของมหาวิทยาลัย Baylor University ที่มลรัฐ Texas ได้ตั้งกลุ่มวิจัยขึ้นในชื่อของ “The GRASS Research Group” โดยมีจุดประสงค์ในการดูแลระบบ GRASS และนำระบบนี้เผยแพร่สู่ระบบเครือข่าย internet เพื่อให้ผู้ใช้ทั่วโลกสามารถคัดลอกระบบนี้ไปใช้ได้โดยไม่คิดมูลค่าพร้อม source code ใช้สิทธิบัตรแบบสาธารณะ (GNU: General Public License) ภายหลังกลุ่มผู้ใช้ทั่วโลกช่วยกันพัฒนาสร้างชุดคำสั่งขึ้นเพื่อใช้ในงานต่างๆ มากมาย เช่น ทำนายการกัดเซาะของดิน การทำโมเดลทางชลศาสตร์ การแยกข้อมูลดาวเทียม การทำนายการพัดพาของสารเคมี และอื่นๆ จวบจนปัจจุบัน GRASS มีกลุ่มผู้พัฒนาและใช้งานเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติอย่างมากมายแต่ในประเทศไทยยังไม่มีผู้พัฒนา GRASS ให้เป็นระบบใช้งานได้จริง

GRASS สามารถทำงานได้บนหลายระบบปฏิบัติการ โดยเฉพาะระบบ UNIX เช่น Linux, SGI, sun, และ DEC/Alpha ปัจจุบันได้พัฒนาสำหรับระบบปฏิบัติการ Microsoft window โดยผู้ใช้สามารถใช้ตัวแปลภาษาเพื่อสร้างซอฟแวร์เองหรือสามารถดาวน์โหลดโปรแกรม GRASS มาใช้ได้โดยตรง โดยตัวโปรแกรม GRASS นั้นอยู่ในURL: http://www.grass.itc.it

Hasting (1997) ปัจจุบัน GRASS ได้รับการพัฒนาจากกลุ่มผู้ใช้ทั่วโลกจนมีชุดคำสั่งสำหรับการประมวลผลต่างๆ มากมาย เช่น

1. ชุดคำสั่งประมวลผลทางด้าน raster มากกว่า 60 ชุด
2. ชุดคำสั่งด้าน vector มากกว่า 30 ชุด
3. ชุดคำสั่งสำหรับประมวลผลข้อมูลดาวเทียมประมาณ 30 ชุด
4. ชุดคำสั่งสำหรับสร้างข้อมูล 3 มิติมากกว่า 40 ชุด

แบบจำลอง TOPMODEL

TOPMODEL (TOPography based hydrological MODEL) เป็นแบบจำลองอุทกวิทยาแบบปฐมภูมิที่ใช้ลักษณะภูมิกายภาพของพื้นที่ เป็นตัวแทนการตอบสนองต่อลักษณะทางอุทกวิทยาในลุ่มน้ำ (Conceptual Model) และนำดัชนีสภาพภูมิประเทศ (Topographic Index) แสดงความเปียกแห้งของลุ่มน้ำ เป็นปัจจัยหลักในการควบคุมปริมาณน้ำท่าและกระบวนการทางอุทกวิทยาต่าง ๆ ควบคุมด้วยสัมประสิทธิ์การแทรกซึมผ่านได้ของน้ำในชั้นดิน (soil transmissivity) ผู้ใช้สามารถปรับปรุงการทำงานของแบบจำลองได้ (Beven, 2001a, 2001b; Merwade, 2001)

กล่าวอีกนัยหนึ่ง TOPMODEL จัดเป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall - runoff model) ชนิดหนึ่ง ที่ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเป็นหลักในการคำนวณผลออกมาเป็นปริมาณน้ำท่า Quinn et al (1995) จัด TOPMODEL เป็นแบบจำลองในประเภท distributed hydrological model เนื่องจากลักษณะของแบบจำลองเป็นการทำนายน้ำท่าแบบกระจายบนพื้นที่ (Distributed predictions) ด้วยพื้นฐานของการวิเคราะห์ลักษณะทางภูมิประเทศของลุ่มน้ำ

TOPMODEL ถูกริเริ่มขึ้นโดยศาสตราจารย์ Mike Kirkby แห่งภาควิชาภูมิศาสตร์ (School of Geography) มหาวิทยาลัยลีดส์ (University of Leeds) ประเทศอังกฤษภายใต้ทุนสนับสนุนจากสภาวิจัยสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ ประเทศอังกฤษ (UK Natural Environment Research Council) ในปี ค.ศ. 1974 แบบจำลองที่ได้ในยุคแรกถูกพัฒนาโดยศาสตราจารย์ Keith Beven แห่งสถาบันสิ่งแวดล้อมและวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ (Institute of Environmental and Natural Sciences) มหาวิทยาลัย แลนด์แคสเตอร์ (Lancaster University) ประเทศอังกฤษ ด้วยภาษา FORTRAN IV บนเครื่องคอมพิวเตอร์เมนเฟรม (mainframe computer) ICL 1904S ในปี ค.ศ. 1979 และได้มีการการพัฒนาโดยนักวิจัยนานาชาติไปอย่างต่อเนื่องทั่วโลก โดยมีการประยุกต์ให้ทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ UNIX และประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมและแบบจำลอง เช่น IDRISI, ArcView, SPANS, GRASS, TAPES-G, PVWave, MATLAB, SVAT และ SHE เป็นต้น

TOPMODEL เป็นแบบจำลองที่สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศหลายโปรแกรม แต่เนื่องจากปัญหาด้านลิขสิทธิ ดังนั้นในปี ค.ศ.2000 Huidae Cho นักศึกษาปริญญาโทของมหาวิทยาลัย Kyungpook National University ประเทศเกาหลีใต้ ได้พัฒนาแบบจำลอง TOPMODEL ให้เป็นชุดคำสั่งซึ่งสามารถใช้งานเชื่อมต่อได้กับระบบภูมิสารสนเทศแบบสาธารณ

สิทธิ GRASS โดยเขียน Source Code ขึ้นด้วยภาษา C ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโทแต่ยังคงใช้หลักการคำนวณ, สมการ และค่าสัมประสิทธ์แบบเดียวกับศาสตราจารย์ Keith Beven ซึ่งเขียน Source Code ด้วยภาษา FORTRAN IV และตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา ทำให้การศึกษาแบบจำลองได้ขยายวงกว้างขวางอย่างรวดเร็วไปทั่วโลก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Quinn et al. (1995) ความถูกต้องของการพยากรณ์ โดยแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับการนำกระบวนวิธี (algorithm) ในการสร้างแบบจำลองดัชนีสภาพภูมิประเทศ ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์สภาพภูมิประเทศ (digital terrain analysis, DTA) การคำนวณดัชนีสภาพภูมิประเทศของแบบจำลอง TOPMODEL อาศัยความละเอียดของกริดพื้นที่ร่วมกับความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำบนพื้นที่ลาดชัน กับการวิเคราะห์ของระบบลำน้ำที่มีอิทธิพลต่อค่าดัชนีสภาพภูมิประเทศ การทดสอบผลการคำนวณโดยการวิเคราะห์สภาพภูมิประเทศ แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กับการประเมินปริมาณน้ำท่า ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าค่า CIT (Channel Initiation Threshold) หรือการกำหนดจุดเริ่มต้นของลำธาร (first order) ที่เหมาะสมอยู่ที่ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของ river headwater ในแบบจำลองระดับความสูง (Digital Elevation Model, DEM) ในทำนองเดียวกันความละเอียดของกริดจะให้ผลความถูกต้องในการประเมินค่าปริมาณน้ำท่าเชิงภูมิประเทศซึ่งจะต้องมีการปรับค่าสัมประสิทธิ์อย่างเหมาะสมไปตามขนาดความละเอียดของกริด ดังนั้นการนำกระบวนการ DTA มาใช้รวมกับการบ่งชี้ค่า CIT เป็การอธิบายทิศทางการไหลของน้ำจากระบบลำน้ำได้

Rosenthal et al. (1995) ใช้ระบบติดต่อผู้ใช้งาน (interface) ในการรวบรวมข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง โดยใช้พื้นที่ศึกษากับลุ่มน้ำ Lower Colorado River basin ในรัฐ Texas และ พบว่าระบบติดต่อผู้ใช้งาน (interface) ช่วยทำให้ประหยัดเวลาในการรวบรวม และ จัดการกับข้อมูลอย่างมาก และ ยังสามารถให้ผู้ใช้งานทำการปรับปรุง และ วิเคราะห์แบบของตัวอย่างการจัดการในหลาย ๆ ทางเลือกได้อย่างง่าย ๆ

Srinivasan et al. (1995) ได้พัฒนาโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน (interface) ซึ่งเขียนขึ้นด้วยภาษา C กับ Library เครื่องมือใน GRASS (The Geographical Resources Analysis Support System) GIS และโปรแกรม SWAT ที่เขียนขึ้นด้วยภาษา FORTRAN 77 โดยทั้ง SWAT และ GRASS จะ

ทำงานอยู่บนระบบ Unix (Linux, solaris, sun, hp, alpha, irix) โดยได้ทำการสร้างโปรแกรมเครื่องมือในการเตรียมการเชื่อมต่อระหว่างแบบจำลองให้สามารถดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ได้เพื่อใส่ข้อมูลไปในข้อมูล raster map layers และ จัดการกับข้อมูลสำหรับที่จะใช้ในแบบจำลอง ใน hydrologic models. และเชื่อมโยงโดยวิธี Grid cell method ซึ่งทำให้ผู้ใช้ประหยัดเวลา และยังสามารถพัฒนาข้อมูลนำเข้าสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ โดยการดึงข้อมูลจากแผนที่ที่มีอยู่แล้ว

Wilson (1998) ใช้ TOPMODEL สำหรับ 2 ลุ่มน้ำ คือ Highland และ Withybed ซึ่งเป็นลุ่มน้ำสายย่อย ข้อมูลทางกายภาพของ Highland โดยที่ไม่มีการเก็บข้อมูลทางกายภาพและใช้ขนาดของ Digital Terrain Model 100 เมตร ปรากฏว่าผลที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจเนื่องจากข้อมูลเบื้องต้นไม่สมบูรณ์และขาดความถูกต้อง สำหรับ Withybed ได้เปลี่ยนขนาดของ Digital Terrain Model 20 เมตร และมีการเก็บข้อมูลทางกายภาพประกอบกับพื้นที่มีขนาดเล็กทำให้ผลที่ได้ออกมาดีเนื่องคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูลที่ดีกว่า

Fedak (1999) ศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลอง HEC-1 และ TOPMODEL โดยใช้ HEC-1 ทดลองเพิ่มจำนวนของ Subbasin จาก 20 เป็น 81 เพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่า ผลลัพธ์ที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน หลังจากนั้นได้ใช้ TOPMODEL ทดลองเปลี่ยนขนาดความละเอียดกริดของDigital Terrain Model จาก 15 เป็น 120 เมตร ซึ่งทำให้ค่าเฉลี่ยของ Topographic Index เพิ่มขึ้น ปรากฏว่าไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้ แต่พารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบอย่างมากเป็นค่า m และ $\ln(T_0)$ จากนั้นทำการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งสองซึ่ง HEC-1 เป็นแบบจำลองแบบเหตุการณ์เดี่ยวแต่ TOPMODEL เป็นแบบจำลองแบบเหตุการณ์ต่อเนื่องโดยการใช้ขนาดของ Storms ที่ใหญ่กว่าทำให้ HEC-1 ส่งผลกระทบมากกว่า จากนั้นใช้แบบจำลอง TOPMODEL จำลองเหตุการณ์ทั้งแบบเหตุการณ์เดี่ยวและเหตุการณ์ต่อเนื่องซึ่งได้ผลลัพธ์ว่า การใช้ HEC-1 และ TOPMODEL จำลองแบบเหตุการณ์เดี่ยวนั้น HEC-1 จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า TOPMODEL ส่วนเหตุการณ์ต่อเนื่องได้ผลลัพธ์ว่า TOPMODEL จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า HEC-1

Schreider et al. (2000) ได้ทำการศึกษาในหัวข้อ Prediction of Monthly Discharge in Ungauged Catchments Under Agricultural Land Use in the Upper Ping Basin, Northern Thailand. เพื่อทำนายอัตราการไหลในลุ่มน้ำที่ไม่มีการตรวจวัดบนพื้นที่ เกษตรกรรมในลุ่มน้ำปิงตอนบน

วัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนา IHACRES และ นำ TI (Topographic Index) ใน TOPMODEL ช่วยในการให้สัดส่วนของน้ำท่าเพื่อประมาณปริมาณน้ำในพื้นที่ที่ไม่มีการตรวจวัดข้อมูล

ชัชชัย (2543) ศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยคอกม้า จ.เชียงใหม่ โดยศึกษาถึงหลักการและวิธีการในการประเมินค่า TI รวมถึงข้อจำกัดต่างในการประเมินค่า TI และนำความรู้ความเข้าใจที่ได้มาเสนอเป็นแผนภาพแสดงแนวคิดในการจำลองแบบ Model Conceptual Diagram ทางอุทกวิทยาแบบกระจายพื้นที่โดยทดลองสร้างข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ (DEM) จากโครงข่ายสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า (Triangulated Irregular Networks, TIN) ที่สร้างจากเส้นชั้นความสูง ใช้ความละเอียดของขนาดกริด 10 ,20 และ 50 เมตร แล้วนำข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ (DEM) ที่ได้ไปคำนวณค่า Topographic Index (TI) โดยใช้โปรแกรม DTM Analysis for Windows ที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัย LANCASTER ผลการศึกษาพบว่า โปรแกรม DTM Analysis for Windows ยังมีข้อจำกัดหลายประการในการนำมาใช้ในการประเมินค่า TI จึงพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาใหม่โดยใช้ภาษา Visual Basic forApplication ที่ทำงานบน Microsoft Excel ตาม algorithm เดิมมาใช้แทน และพบว่าความถูกต้องของข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ (DEM) และความละเอียด (resolution) หรือขนาดของ grid มีบทบาท (sensitive) มากต่อการประเมินค่า TI

ปณุฑ (2545) ลักษณะชั้นดินกรุงเทพฯ โดยระบบภูมิสารสนเทศ GRASS ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลการเจาะทางธรณีเทคนิคจำนวน 1163 หลุมในจังหวัดกรุงเทพมหานครลงในระบบฐานข้อมูลชั้นดินชื่อ GeSEP (Geotechnical Subsoil Explorer Project) โดยใช้โปรแกรมจัดเก็บระบบฐานข้อมูลแม่ข่าย PostgreSQL บนระบบ Linux และใช้ระบบภูมิสารสนเทศ GRASS สำหรับแปรผลและวิเคราะห์ในระดับสูง

เอกชัย, ณัฐพล (2545) การวิเคราะห์ฝนทั้งพื้นที่ของลุ่มน้ำแม่กลองโดยใช้โปรแกรม GRASS GIS มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาฝนเฉลี่ยทั้งพื้นที่ของลุ่มน้ำแม่กลอง โดยใช้ข้อมูลฝนรายเดือนและรายปี ของสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในลุ่มนำแม่กลองจำนวน 84 สถานี ข้อมูลฝนที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าฝนเฉลี่ยด้วยวิธี simple mean spline และ Inverse Distance Weight (IDW) โดยใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์ของโปรแกรม GRASS GIS ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของแผนที่น้ำฝนเฉลี่ย histogram และค่าทางสถิติแล้วนำผลที่ได้มาทำการวิเคราห์เปรียบเทียบหาความแตกต่างทางพีชคณิต ความแตกต่างของ histogram และความแตกต่างทางสถิติ พบว่าค่าฝนทั้งพื้นที่ของลุ่มน้ำแม่กลองที่ได้มาจากวิธีการ วิเคราะห์ทั้ง 3 วิธีค่าใกล้เคียงกันในบริเวณที่มีสถานีวัดน้ำฝนตั้งอยู่

วีรียา (2547) ได้ทำการศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยคอกม้า อยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ - ปุย ตั้งอยู่บนดอยปุย อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง TOPMODEL เพื่อประเมินน้ำท่าบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยคอกม้า โดยพบว่าไม่สามารถจำลองลักษณะการไหลของน้ำท่าช่วง Recession Curve ให้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้ ถึงแม้จะทำการปรับปรุงแบบจำลองโดยการเปลี่ยนสมการ Local gravity drainage storage deficit (SD) เพื่อยกระดับความจุของความชื้นในดินไม่ให้ขนานไปกับภูมิประเทศแล้วก็ตาม และการแบ่งชั้นค่า TI เป็น 30, 50 และ 100 เพื่อเปรียบเทียบการประเมินน้ำท่า พบว่าจำนวนที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการประเมินน้ำท่าน้อยมาก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium III > 1.0 GHz RAM 512 MB Hard disk 600 MB การ์ดแสดงผลที่มีหน่วยประมวลผล 3 มิติ และเครื่องพิมพ์ จำนวน 1 ชุด

2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP

3. โปรแกรม Microsoft Office

4. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7017 ของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 6 ระวาง ได้แก่ 4646I, 4646II, 4746I, 4746II, 474III และ 4746IV

5. ข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ

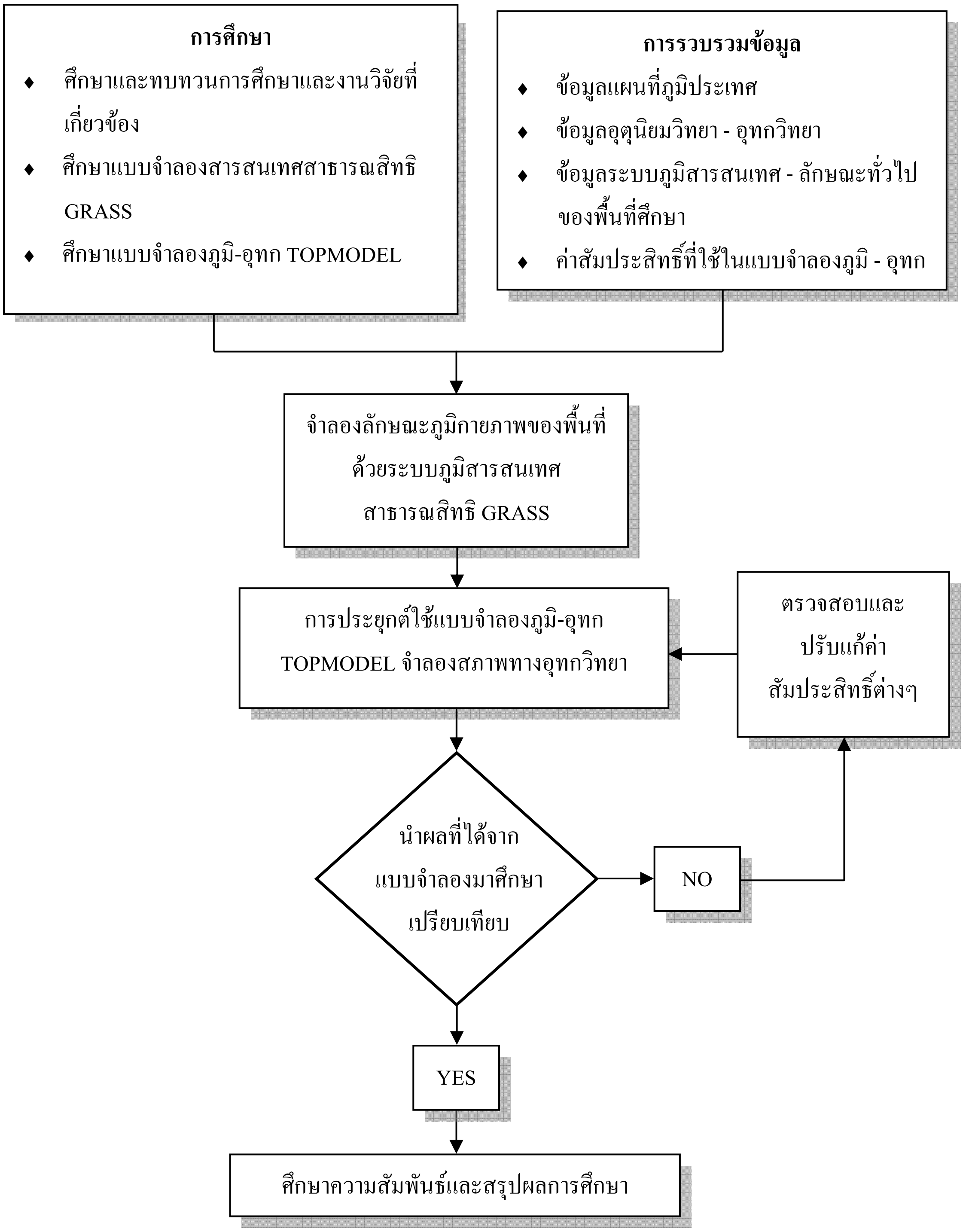
6. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลอุทกวิทยา

7. อุปกรณ์บันทึกข้อมูล เช่น แผ่น CD-R, Flash Drive

8. อุปกรณ์สำนักงานต่าง ๆ

วิธีการ

ขั้นตอนและวิธีศึกษาแสดงได้ดังภาพที่ 1 โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้



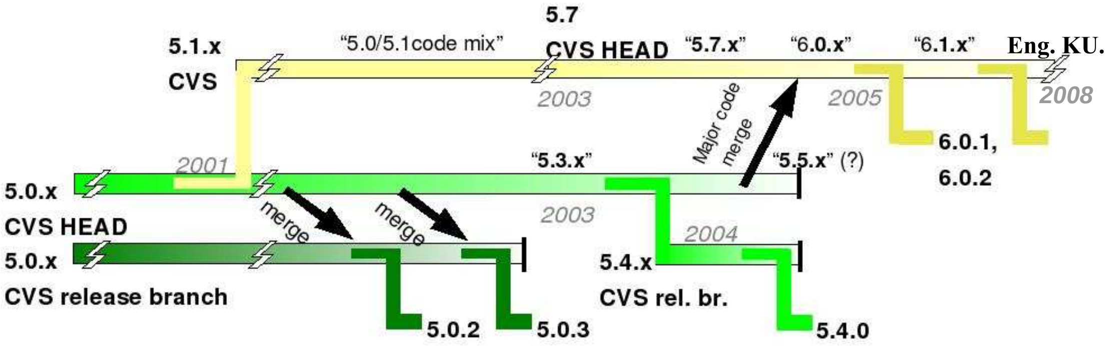
ภาพที่ 1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนและวิธีศึกษา

1. การศึกษา

1.1 ศึกษา และทบทวนงานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งโปรแกรม รวมทั้งแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานและการประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS ในพื้นที่ต้นแบบ ศึกษาวิธีการนำเข้าข้อมูล การหาค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองและค่าสัมประสิทธิ์ที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลลัพธ์ของแบบจำลอง

1.2 ศึกษาระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS

GRASS ได้รับการพัฒนาโดยใช้ภาษา C จึงเป็นผลทำให้สามารถทำงานร่วมกับระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ได้หลายระบบ อาทิเช่น Sun Solaris, HP, SCO, SGI Irix, DEC Alpha, Linux รวมถึง Ms Windows ซึ่ง GRASS ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากนักวิจัยทั่วโลก ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การพัฒนาโปรแกรม GRASS GIS

1.2.1 ความต้องการของระบบ

GRASS เวอร์ชั่น 6.1.cvs เป็นเวอร์ชั่นที่สามารถติดตั้งและทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ Ms Windows และควรใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลมากกว่าหรือเท่ากับ 1 GHz หน่วยความจำมากกว่าหรือเท่ากับ 512 MB การ์ดแสดงผลที่มีหน่วยประมวลผล 3 มิติ และเนื้อที่ในฮาร์ดดิสมากกว่า 600 MB

1.2.2 ชุดคำสั่งใน GRASS

ชุดคำสั่งของ GRASS จะประกอบด้วยตัวอักษร 2-3 ชุดซึ่งคั่นด้วยเครื่องหมายจุด ในอักษรชุดแรกจะแสดงถึงประเภทของชุดคำสั่ง ส่วนอักษรชุดต่อไปจะแสดงถึงหัวข้อย่อย และในอักษรชุดสุดท้ายจะแสดงถึงรายละเอียดย่อย ชุดคำสั่งใน GRASS แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชุดคำสั่งใน GRASS

Prefix	Function class	Meaning of the commands	Examples
d.*	Display	For graphical display and visual query at the monitor	d.erase, d.histogram, d.nviz
db.*	Database	Database management modules	db.columns, db.copy, db.select
g.*	General	General file operation commands	g.copy, g.manual, g.region
i.*	Imagery	For image processing	i.group, i.rectify, i.spectral
p.*	Paint	Map design commands	p.out.vrml
ps.*	Postscript	Map design commands for postscript size	ps.map
r3.*	Voxel raster	For 3D raster data processing	r3.in.ascii, r3.info, r3.mask
r.*	Raster	For raster data processing	r.contour, r.slope.aspect, r.sun
v.*	Rector	For vector data processing	v.buffer, v.to.rast, v.univar

ที่มา: Hannover (2005)

1.2.3 รูปแบบข้อมูลที่ใช้ใน GRASS

รูปแบบของข้อมูลที่ GRASS รองรับสำหรับการนำเข้าและส่งออกข้อมูล ซึ่งนับเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมากของโปรแกรมทางด้านระบบภูมิสารสนเทศ โดยมีรูปแบบดังนี้

ก. ข้อมูลแบบ Raster

1) รูปแบบข้อมูลนำเข้า มีดังนี้ ARC/INFO ASCII/Binary GRID, BIL, ERDAS (LAN, IMG), USGS DOQ, JPEG, SAR CEOS, EOSAT, GeoTIFF, PPM/PNM, SDTS

DEM, GIF, PNG, ASCII-GRID, (Geo)TIFF, ERDAS/IMG, BIL, GMT binary files และ LANDSAT TM5

2) รูปแบบข้อมูลส่งออก มีดังนี้ ARC/INFO, ASCII GRID, ASCII, MPEG, PNG, POV, PPM/PNM, TIFF/TFW, Binary Array และ GRIDATB.FOR

ข. ข้อมูลแบบ Vector

1) รูปแบบข้อมูลนำเข้า มีดังนี้ SHAPE file, UK.NTF, SDTS, TIGER, S57, MapInfo-File, GRASS ASCII และ ArcInfo-E00-format

2) รูปแบบข้อมูลส่งออก มีดังนี้ GRASS ASCII, SHAPE, TIGER, S57, MapInfo, DGN, Memory, CSV, GML, ODBC, PostgreSQL และ Povray

1.3 ศึกษาแบบจำลองภูมิ - อุทก TOPMODEL

1.3.1 ทฤษฎีของแบบจำลอง

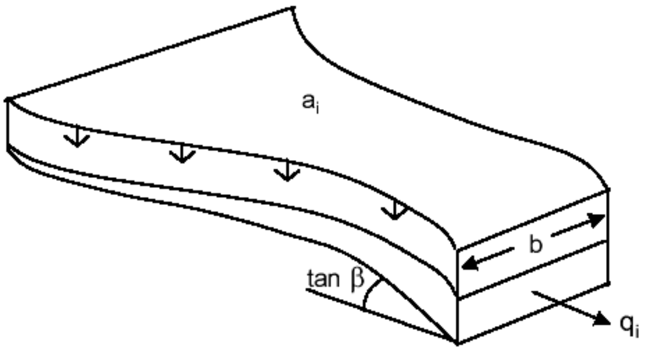
Beven (2001a) กล่าวว่า ทฤษฎีของแบบจำลองตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า การไหลของน้ำซึ่งผ่านชั้นดินอิ่มตัวด้วยน้ำถูกประมาณด้วยค่าการไหลสะสมของพื้นที่ (a) ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำ (grid) และค่าความต่างศักย์ของน้ำในดิน (hydraulic gradient) ของชั้นดินอิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งประมาณด้วยค่าความลาดชันของพื้นที่ (tan β) โดยนำสมมติฐานดังกล่าวหาความสัมพันธ์ระหว่างความจุของความชื้นในดินส่วนที่เหลือภายหลังสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ (storage deficit below saturation) กับค่าดัชนีสภาพภูมิประเทศ (TI, ln (a/ tan β))

ดัชนีสภาพภูมิประเทศ (Topographic Index) ดัชนีสภาพภูมิประเทศ (TI) หมายถึง ค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำสะสมจากกริดบนลงสู่กริดล่างต่อค่าระยะทางการไหลกับค่าความลาดชันของพื้นที่ ณ จุด (grid) หนึ่ง ๆ ซึ่ง Quinn et al. (1991, 1995) อธิบายไว้ในรูปของข้อมูลเชิงกริด ดังสมการที่ 1 และภาพที่ 3

$$TI = \ln\left(\frac{a}{\tan\beta}\right) \qquad (1)$$

เมื่อ a คือ พื้นที่รับน้ำสะสมจากกริดบนลงสู่กริดล่าง (total upslope area accumulated, A) ต่อค่า ระยะทางการไหล (contour length, b)

$\tan\beta$ คือ ค่าความลาดชันของกริดนั้น ๆ ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณของความต่างศักย์ของน้ำในดิน (hydraulic gradient) ภายใต้สภาวะคงตัว (steady - state condition)

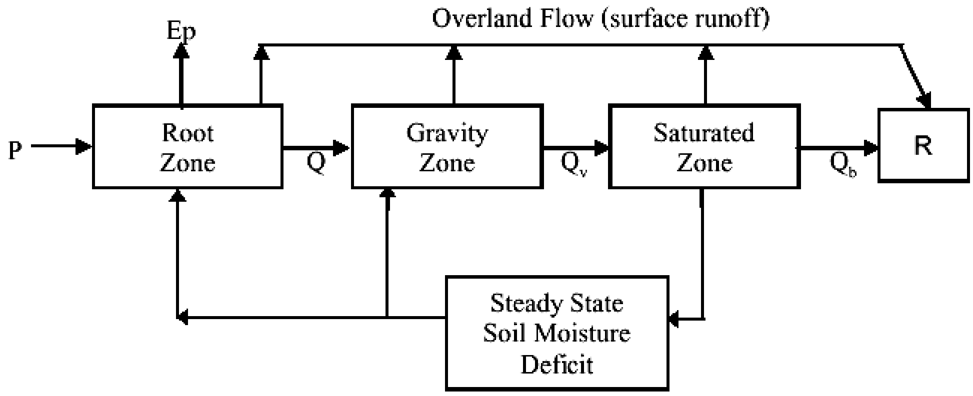


ภาพที่ 3 การระบายน้ำผ่านพื้นที่รับน้ำที่มีความลาดเท ณ จุดหนึ่งภายในพื้นที่ลุ่มน้ำ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Beven (2001a)

1.3.2 กระบวนการทางอุทกวิทยา

กระบวนการอุทกวิทยาของแบบจำลอง TOPMODEL มีลักษณะดังนี้ โดย P แทนปริมาณการตกของฝน E_p แทนการใช้น้ำของพืช และ R แทนปริมาณน้ำท่า ส่วน Q , Q_v และ Q_b แทนปริมาณน้ำที่ไหลจากเขตความชื้นของดินชั้นต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผังกระบวนการทางอุทกวิทยาของแบบจำลอง TOPMODEL

ที่มา: Romanowicz (1997); Merwade (2001)

การไหลในลำน้ำของแบบจำลอง TOPMODEL ใช้หลักการไหลแบบ Kinematic Wave Routing โดยกำหนดให้ ความลาดชันท้องลำน้ำ (S_0) มีค่าเท่ากับความลาดชันของผิวน้ำ (S_f) ซึ่งการไหลเป็นแบบ Steady – Uniform Flow

$$S_0 = S_f \tag{2}$$

การคำนวณปริมาณน้ำท่าสามารถคำนวณได้จากสมการต่อเนื่อง (Continuity equation) ของ St. Venant equations

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \tag{3}$$

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วในการไหลของน้ำเป็นตัวควบคุมโดยแบบจำลองจะกำหนดให้ความมีความเร็วเท่ากันทุกจุดของลำน้ำ

กระบวนการทางอุทกวิทยาของการไหลในแนวตั้ง(Vertical storage elements) ในกรณีที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำในรูปแบบความลึกของชั้นน้ำใต้ดิน เขตการเก็บกักน้ำในชั้นรากพืช (Root zone storage) การระเหย (Evaporation) ในลุ่มน้ำ เขต non - active moisture เป็นตัวแทนของความชื้นในดินสูงสุด (Field capacity) การไหลในแนวตั้งจากชั้นรากพืชไปยังชั้นน้ำใต้ดิน ในชั้นการไหลของน้ำตามแรงโน้มถ่วง (Gravity drainage zone) เมื่อถึงจุด field capacity โดยปริมาณการเก็บกักระหว่างชั้น saturation และ field capacity ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามความลึกของดิน ดังแสดงในภาพที่ 5 และสามารถแสดงด้วยสมการ ดังนี้

$$S_i = (\theta_s - \theta_{fc})(Z_i - \psi_0) = \Delta\theta_1(Z_i - \psi_0) \tag{4}$$

เมื่อ

S_i = ความจุความชื้นในดินส่วนที่เหลือ ณ จุดใดจุดหนึ่งหลังจากระบายน้ำตามแรงโน้มถ่วง (Local gravity drainage storage deficit: m)

θ_s = ความชื้นในดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ (Soil moisture at saturation)

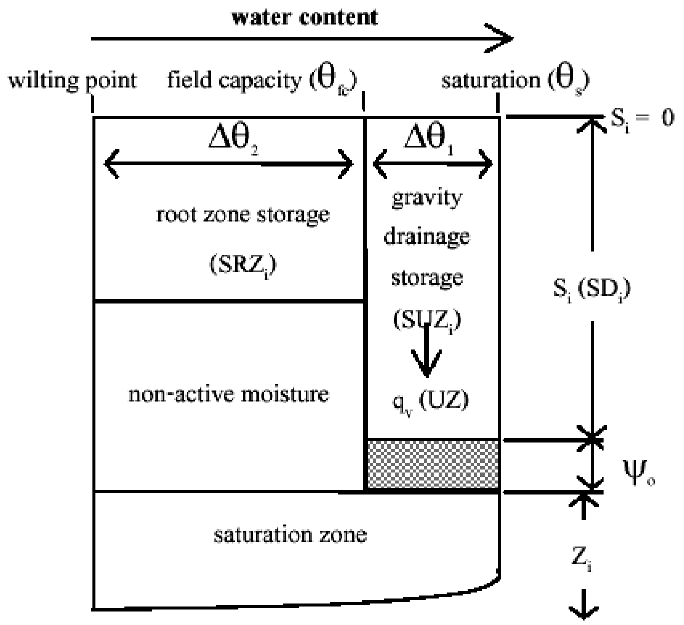
θ_{fc} = ความชื้นในดินสูงสุด (Soil moisture at Field Capacity, FC)

Z_i = ความสูงของระดับน้ำใต้ดิน (m)

$\Delta\theta_1$ = ช่องว่างในดินที่ เก็บกักน้ำส่วนที่เกินกว่าความชื้นในดินภาคสนาม (Effective drained porosity: m)

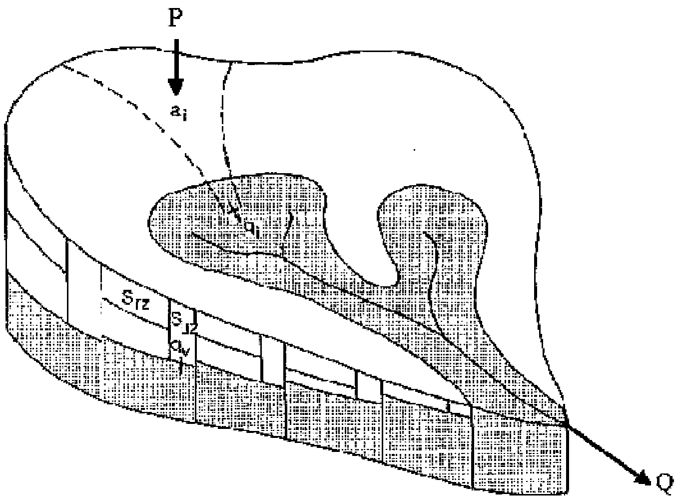
$\Delta\theta_2$ = ความชื้นในดินเขตรากพืช (Root zone storage)

ψ_0 = ความสูงของแนวน้ำซึมจากแรง capillary (Effective depth of Capillary fringe) เมื่อดินอิ่มตัว



ภาพที่ 5 การไหลทางแนวตั้งของน้ำในดินตามแนวคิดของแบบจำลอง TOPMODEL
ที่มา: ปรับปรุงจาก Beven et al. (1995); Pinol et al. (1997)

Beven et al. (1995) TOPMODEL คือความสัมพันธ์ของกระบวนการทางอุทกวิทยาหรือการเก็บกักน้ำเทียบกับค่าดัชนีสภาพภูมิประเทศ โดยชั้นของค่า TI ในแต่ละชั้นการเก็บกักจากภาพที่ 6 ในหนึ่งหน่วยลุ่มน้ำ พื้นที่ (a_i) จะระบายน้ำสะสมในจุด i ลงสู่ชั้นดินที่ ระบายสีดำ ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการตอบสนองของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จนกระทั่งได้ชั้น TI ที่มีค่าสูงสุด การไหลในแนวตั้งแบ่งเป็น 3 เขต โดยมีเขตรากพืช (root zone store, S_{rz}) เขตการระบายน้ำโดยแรงโน้มถ่วง (vertical drainage store, S_{uz}) และการไหลลงสู่เขตดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated zone, q_v)



ภาพที่ 6 กระบวนการทางอุทกวิทยาภายใต้ดัชนีสภาพภูมิประเทศ $\ln(a/\tan\beta)$ ที่เพิ่มขึ้น
ที่มา: Beven et al. (1995); Pinol et al. (1997)

Durand et al. (1992) อธิบายดัชนี TI ว่ามีสมมติฐานให้ความต่างศักย์ของน้ำในดิน (hydraulic gradient) ขนานไปกับความลาดเทของไหล่เขา สามารถเขียนในรูปของความจุความชื้นในดินส่วนที่เหลือก่อนถึงจุดอิ่มตัวด้วยน้ำ ณ จุดใดจุดหนึ่งของพื้นที่ลุ่มน้ำที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัว (local saturated zone deficits, S_i) ดังนี้

$$S_i = \overline{S} + m[\lambda - \ln(a/\tan\beta_i)] \quad (5)$$

เมื่อ $\overline{S}$ คือ ความจุความชื้นในดินส่วนที่เหลือเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ (หน่วย : เมตร) และ λ คือ ค่าดัชนีสภาพภูมิประเทศเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักพื้นที่ สมการ (5) ใช้ในการประเมินความจุความชื้นในดินส่วนที่เหลือในแต่ละช่วงเวลา ค่า S_i ลดลงแสดงว่าพื้นที่นั้น ๆ มีความชื้นเพิ่มขึ้นและเข้าใกล้จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ ในขณะที่ค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่าพื้นที่มีความชื้นลดลง

Huang and Jiang (2002) การคำนวณใช้การเก็บกัก 2 ส่วน คือ SUR และ SRZ โดย SRZ เป็นตัวแทนของ root zone storage มีค่า 0 เมื่อถึงจุด FC และค่าเพิ่มขึ้นเมื่อดินแห้ง ส่วน SUZ เป็นตัวแทน unsaturated zone storage (gravity drainage) มีค่า 0 ที่จุด FC มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อการเก็บกักเพิ่มขึ้น และเป็นจุดเก็บกักสูงสุดของค่า SD การคำนวณ q_v (Vertical drainage flux) หรือ UZ สามารถแสดงโดยสมการดังนี้

$$q_v = \frac{SUZ_i}{S_i t_d} \qquad (6)$$

ถ้า $S_i t_d$ เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น เมื่อ t_d เป็นค่าคงที่ของเวลา (Time constant) พื้นที่ที่องค์ประกอบเนื้อดินต่างกันและมีรูพรุนขนาดใหญ่ (soil heterogeneity and macroporosity) สมมติให้เป็นการไหลลงในแนวตั้งและน้ำไหลออกจากชั้นนี้ไปภายใต้ดินที่มีรูพรุนอย่างสม่ำเสมอ (homogeneous soil)

แบบจำลอง TOPMODEL ได้คำนวณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration, E_a) โดยใช้ศักยภาพการระเหยสูงสุด (Potential evaporation, E_p) และการเก็บกักน้ำในชั้นรากพืช (root zone) กำหนดให้คำนวณ E_a ดังสมการ (5)

$$E_a = E_p \times \left(1 - \frac{S_{rz}}{S_{r\max}}\right) \qquad (7)$$

เมื่อ S_{rz} คือความจุของน้ำในชั้นรากพืช (Root zone storage deficit) และ $S_{s\max}$ คือความจุสูงสุดของการเก็บกักน้ำในดิน (maximum allowable storage deficit) ในชั้น root zone ซึ่งสมมติให้เป็นช่วงความชื้นระหว่าง FC – PWP (permanent wilting point หรือจุดเหี่ยวถาวร) (Beven et al., 1995)

Romanowiz (1997) ทฤษฎี steady-state สมมติให้เวลาคงที่ นำมาใช้ในการพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างค่า TI และดินอิ่มตัว การประเมินปริมาณน้ำท่าซึ่งแสดงถึงการระบายของน้ำใต้ผิวดิน (Q_b) ลงสู่แม่น้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_b(t) = T_0 e^{-\bar{\lambda}} e^{\bar{s}(t)/m} \qquad (8)$$

เมื่อ T_0 คือ ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การแทรกซึมน้ำในดินเมื่อดินเริ่มอิ่มตัว

A คือ พื้นที่ลุ่มน้ำ

$\bar{S}(t)$ คือ ความจุความชื้นในดินส่วนที่เหลือเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ (เมตร)

m คือ ค่าสัมประสิทธิ์ประเมินจากโค้งถดถอยของปริมาณน้ำท่า (recession curve) ที่เกิดจากการไหลของน้ำใต้ดิน

$$\overline{\lambda} = 1/\mathrm{A}\int \lambda_i$$

$$\lambda_i = \ln(a_i / \tan \beta_i)$$

1.3.3 สัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง

สำหรับสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง TOPMODEL ที่ทำงานเชื่อมต่อบนระบบภูมิสารสนเทศแบบสาธารณสิทธิ GRASS มีที่สำคัญ 7 ค่า ดังนี้

1) m คือ ค่าสัมประสิทธิ์ควบคุมอัตราการถดถอยของค่าการซึมน้ำผ่านชั้นดิน หรือโค้งถดถอยของปริมาณน้ำท่า (หน่วย : เมตร)

2) ln(Te) คือ ล็อกฐาน e (natural logarithm) ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การแทรกซึมน้ำผ่านชั้นดินเมื่อดินเริ่มอิ่มตัว ภายใต้สมมติฐานที่กำหนดให้ดินมีเนื้อเดียวกันทั้งลุ่มน้ำ (หน่วย: $\ln(m^2/h)$ (ตารางเมตร/ ชั่วโมง))

3) td คือ ระยะเวลาของการไหลในดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำต่อหน่วยความจุของน้ำในดิน (หน่วย: ชั่วโมง/ เมตร)

4) Sr_{max} คือ ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้น้ำของพืช หรือความชื้นในระดับที่ดินอุ้มน้ำเอาไว้ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างความชื้นสูงสุด กับจุดเหี่ยวถาวรของพืช ซึ่งถ้าดินมีปริมาณน้ำน้อยกว่าจุดนี้ พืชจะไม่สามารถนำน้ำจากดินไปใช้ประโยชน์ได้ (หน่วยความสูงของน้ำ: เมตร)

5) Sr_0 คือ ค่าความชื้นเริ่มต้นที่เป็นผลต่างของปริมาณความชื้นในดินระหว่างจุดอิ่มตัวกับค่าจริง ณ จุดเริ่มต้นของการคำนวณ (หน่วยความสูงของน้ำ: เมตร)

6) V_{ch} คือ ความเร็วของน้ำสายหลักที่มีผลต่อการไหลของพื้นผิวลำน้ำ หรือที่เรียกว่า Network width function สมมติให้เป็น linear routing (หน่วย: เมตร/ ชั่วโมง)

7) V_r คือ ความเร็วของน้ำสายย่อย (หน่วย: เมตร/ ชั่วโมง)

2. การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำไปศึกษาศักยภาพใช้งานจริงของระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS รวมทั้งการศึกษาความสัมพันธ์ของแบบจำลองภูมิ-อุทก ให้สอดคล้องกับข้อมูลจริงในพื้นที่ต้นแบบ ในการศึกษานี้ประกอบด้วย

2.1 ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศและลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

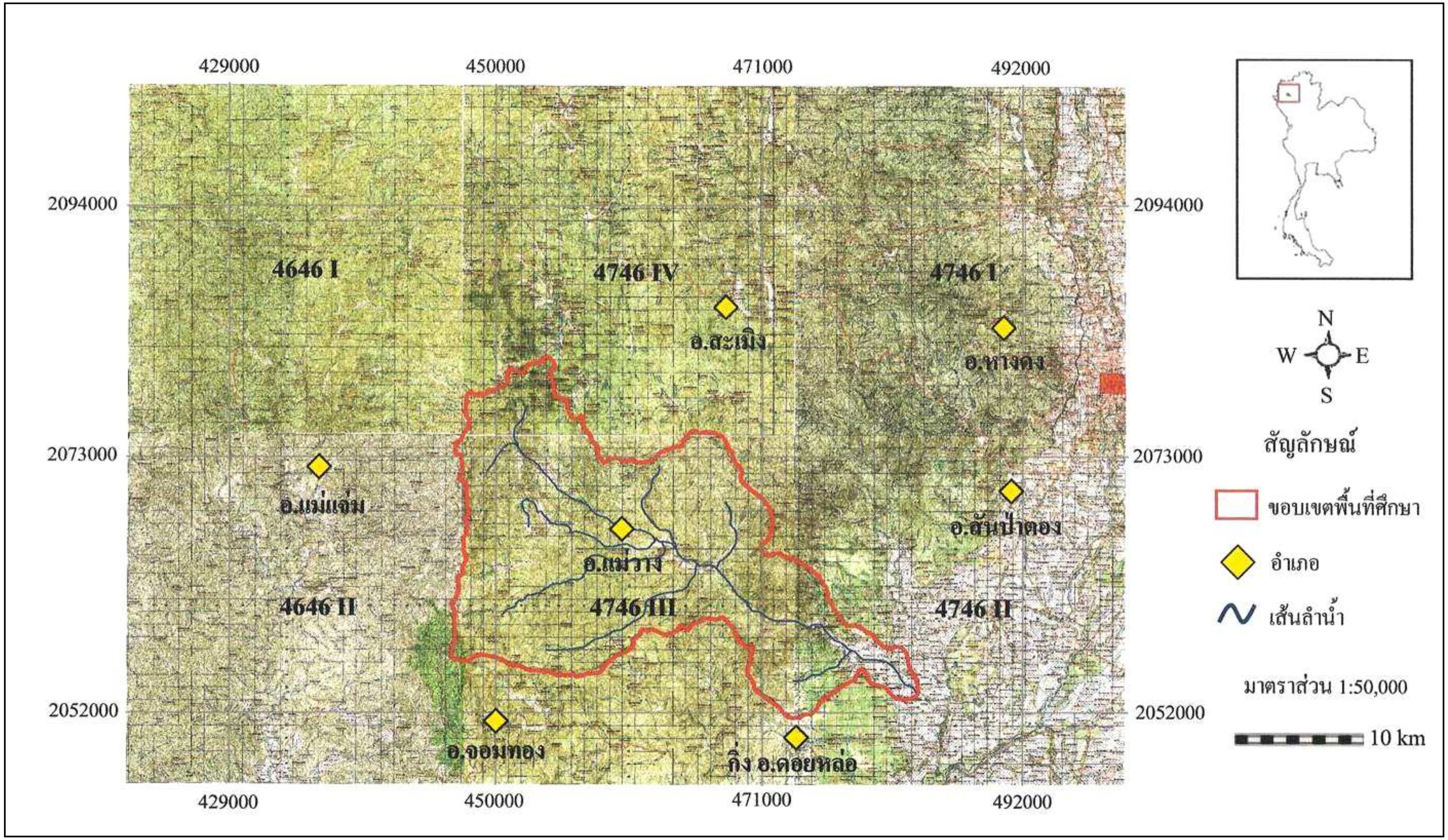
2.1.1 ตำแหน่งที่ตั้ง

พื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง เป็นลุ่มน้ำสาขาย่อยของลุ่มน้ำปิงอันเป็นแม่น้ำสายหลักทางภาคเหนือ ซึ่งอยู่ในเขต อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ห่างจากตัวเมืองเชียงใหม่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ 40 กิโลเมตร หรือห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 740 กิโลเมตร มีพิกัดระหว่างเส้นรุ้งประมาณ 18 องศา 33 ลิปดา ถึง 18 องศา 46 ลิปดาหนือ และเส้นแวง 98 องศา 31 ลิปดา ถึง 98 องศา 47 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่ 518 กม.^{2} และมีเขตติดต่อดังนี้

ทิศเหนือ ติดต่อกับ อ. แม่วาง อ. สะเมิง และ อ. หางดง จ.เชียงใหม่
ทิศใต้ ติดต่อกับ อ.แม่วาง อ.จอมทองและกิ่ง อ. ดอยหล่อ จ.เชียงใหม่
ทิศตะวันออกติดต่อกับ อ.สันป่าตองจ.เชียงใหม่
ทิศตะวันตก ติดต่อกับ อ.แม่แจ่ม และ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่

2.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำส่วนใหญ่เป็นเทือกเขาสูงชันสลับซับซ้อน มีพื้นที่เป็นเนินเขา พื้นที่ลอนลาดต่อเนื่องจากพื้นที่ภูเขาสูงลงสู่ที่ราบทางทิศตะวันออกของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยพื้นที่ลุ่มน้ำมีลักษณะเป็นรูปรี มีลำน้ำสายหลักคือแม่น้ำวาง ไหลทอดยาวจากทิศตะวันตกสู่ทิศตะวันออก พื้นที่ลุ่มน้ำแม่วางมีความสูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 400 – 2,500 เมตร ตามแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7017 ของกรมแผนที่ทหารระวางที่ 4646I, 4646II, 4746I, 4746II, 474III และ 4746IV แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำแม่วาง อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่

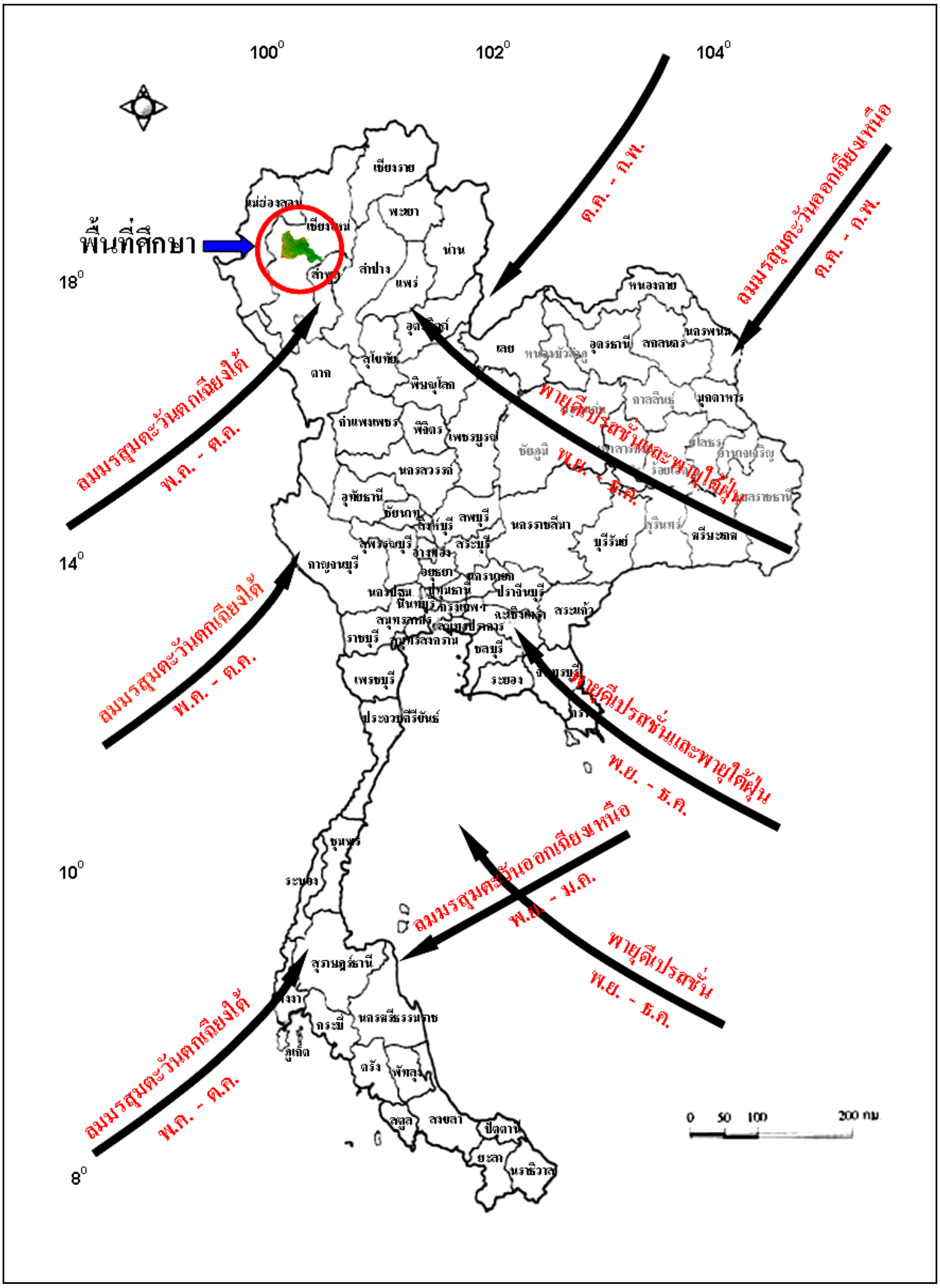
2.1.3 ลักษณะภูมิอากาศ

เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงชันสลับซับซ้อน สภาพอากาศทั่วไปอยู่ภายใต้ อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากพายุซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ทำให้ มีฝนตกชุกเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ดังแสดงในภาพที่ 8 และอากาศหนาวจัดในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมพันธ์ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 71.0 เปอร์เซ็นต์ และต่ำสุดในเดือนมีนาคม 31.0 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 25.6 องศาเซลเซียส ในช่วงฤดูหนาวอุณหภูมิเฉลี่ยจะอยู่ระหว่าง 15-17 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 10-15 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,100-1,400 มิลลิเมตรต่อปี สถิติสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ณ จังหวัดเชียงใหมช่วงปี พ.ศ. 2514 ถึง 2543 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ จ.เชียงใหม่

ตัวแปรภูมิอากาศ	ค่าเฉลี่ยรายปี	ช่วงพิสัยค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน	ค่าเฉลี่ยต่ำสุดรายเดือน
อุณหภูมิ (C^0)	25.6	20.4-31.9	36	14.1
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	71	49.0-89.0	93	31
ความครึ้มเมฆ (0-10)	5.2	2.0-8.4	-	-
ความเร็วลม (น๊อต)	2.4	1.3-3.3	64	-
ปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหย (มม.)	1,639.00	98.3-189.4	-	-

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ



ภาพที่ 8 ทิศทางของลมมรสุมและพายุที่พัดผ่านประเทศไทย

2.1.4 ลักษณะพืชพรรณ

กรมอุทยานแห่งชาติ (2547) เนื่องจากสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วางส่วนใหญ่มีสภาพเป็นป่าไม้โดยสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ดังนี้

1) ป่าเบญจพรรณ พบในพื้นที่ระดับความสูงระหว่าง 400-1,000 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง พันธุ์ไม้เด่นที่สำคัญ ได้แก่ สัก ตะแบก ประดู่ แดง มะเกิ้ม สมอไทย กาสามปีก สลีนก กระบก ซ้อ และไผ่ชนิดต่างๆ

2) ป่าเต็งรัง พบที่ระดับความสูง 400-900 เมตรจากระดับน้ำทะเล ตามเนินเขาหรือสันเขาที่แห้งแล้ง พันธุ์ไม้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย เต็ง รัง เหียง พลวง พะยอม

3) ป่าสนเขา พบในพื้นที่ที่มีระดับความสูงระหว่าง 900-1,500 เมตรจากระดับน้ำทะเล โดยมีสนสองใบและสนสามใบเป็นไม้เด่น พันธุ์ไม้อื่นและพืชพื้นล่างที่พบได้แก่ สารภีดอย ค่าหด หว้า เหมือดคนตัวผู้ เม้าแดง รักใหญ่ ทะโล้ ก่อแป้น ก่อเดือย ก่อแพะ สาบเสือ หนาด กระชายป่า และข่าลิง

4) ป่าดิบเขา พบโดยทั่วไปในพื้นที่ที่มีความสูงตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป พันธุ์ไม้ที่พบ เช่น จำปีป่า อบเชย สารภีป่า กำลังเสือโคร่ง และก่อชนิดต่าง

2.1.5 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วางสามารถจำแนกรูปแบบได้ 6 ประเภท โดยมีพื้นที่ป่าไม้มากที่สุดประมาณ 400.13 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 76.93 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม ไร่ร้าง สวนป่า ที่อยู่อาศัย และแหล่งน้ำ โดยมีพื้นที่ประมาณ 47.12, 39.62, 25.67, 5.78, และ 0.40 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 9.00, 8.00, 5.00, 1.00, และ 0.07 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3 เนื่องด้วยลักษณะทางภูมิประเทศของลุ่มน้ำแม่วางส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง และเป็นพื้นที่ราบประมาณร้อยละ 24% ของพื้นที่ทั้งหมดทางทิศตะวันออกของพื้นที่ลุ่มน้ำ จากข้อมูลสำนักงานเกษตรอำเภอแม่วางจังหวัดเชียงใหม่ (2547) พื้นที่เกษตรกรรมในเขตลุ่มน้ำแม่วางส่วนใหญ่จะปลูกข้าวนาปี และปลูกเต็มพื้นที่ในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-กันยายน) ในฤดูแล้งจะปลูกพืชไร่ เช่นถั่วเหลือง กระเทียม หอมหัวใหญ่ และพืชผัก พื้นที่บางส่วนของลุ่มน้ำแม่วางจะปลูกพืชสวนซึ่งพืชที่นิยมปลูกได้แก่ ลำไย

ตารางที่ 3 รูปแบบการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง

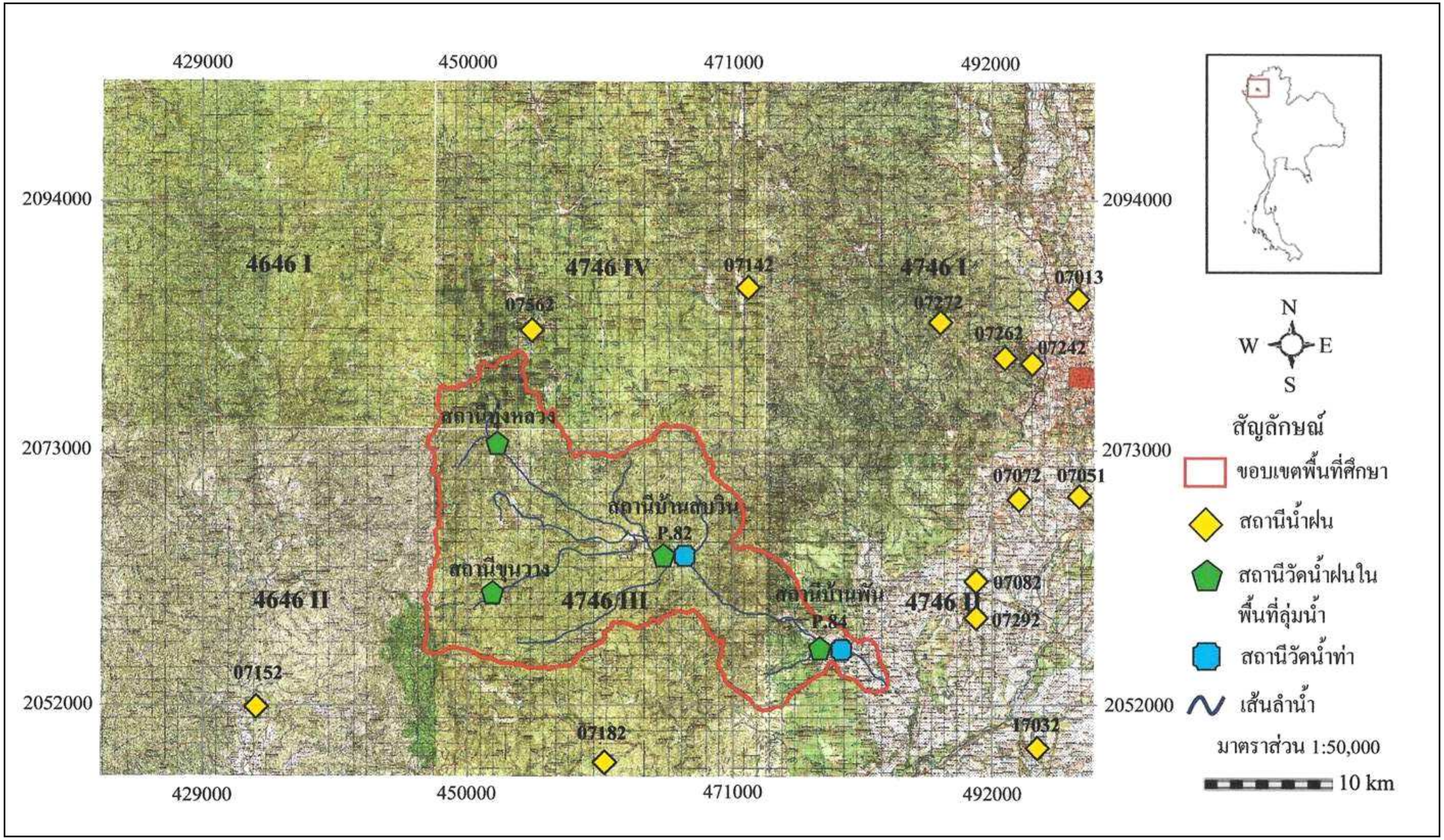
รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่(ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่ป่าไม้	400.13	76.93
พื้นที่เกษตรกรรม	47.12	9.00
ไร่ร้าง	39.62	8.00
สวนป่า	25.67	5.00
ที่อยู่อาศัย	5.78	1.00
แหล่งน้ำ	0.4	0.07
รวมทั้งหมด	518.72	100.00

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2543)

2.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยา

2.2.1 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในประเทศไทยมีหน่วยงานหลักที่ทำการวัดได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำแม่วางที่ใช้ในการศึกษานำมาจากข้อมูลสถานีอุทกวิทยาของกรมชลประทาน ได้แก่ สถานี 074C1 บ้านพันตน ต.ทุ่งปี, สถานี 07801 บ้านสบวิน ต.แม่วิน, สถานี 07811 บ้านทุ่งหลวง ต.แม่วิน และสถานี 071B1 บ้านขุนวาง ต.แม่วิน รวม 4 สถานี และมีสถานีที่อยู่ในบริเวณข้างเคียงได้แก่ สถานี 07562, 07142, 07242, 07262, 07013, 07072, 07082, 07292, 07182, 07152, 07272, 07051 และ 17032 รวม 13 สถานี แสดงดังภาพที่ 9 โดยการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำปี พ.ศ. 2548 เนื่องจากมีข้อมูลน้ำฝนครบสมบูรณ์



ภาพที่ 9_ ที่ตั้งสถานีอุตุ-อุทกวิทยาในบริเวณพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำแม่วาง อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่

2.2.2 ข้อมูลปริมาณน้ำท่า

ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำแม่วางที่ใช้ในการศึกษา คือสถาณีวัดน้ำท่า P.41 บ้านปางเติม ต.แม่วิน เก็บข้อมูลปริมาณน้ำท่าตั้งแต่ปี พ.ศ.2522 จนถึงปี พ.ศ.2533 และในปัจจุบันตั้งสถาณีวัดน้ำท่าขึ้นใหม่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ 2 สถานี คือ สถานี P.82 บ้านสบวิน ต.แม่วิน ตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2545 และ สถานี P.84 บ้านพันตน ต.ทุ่งปี ตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ.2546 แสดงดังภาพที่ 9 โดยการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลน้ำท่า ปี พ.ศ. 2548 เนื่องจากมีข้อมูลน้ำท่าครบสมบูรณ์

2.2.3 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืช Evapotranspiration ของลุ่มน้ำแม่วาง ใช้ข้อมูลจากถาดวัดการระเหย สถานีตรวจวัดอากาศ 37501 อ. เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ ในความรับผิดชอบของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งปริมาณการใช้น้ำของพืชตลอดปีเฉลี่ย 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514-2543 ประมาณ 1,639 มิลลิเมตร ปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมีมากที่สุดในเดือนเมษายนประมาณ 189.47 มิลลิเมตร และน้อยที่สุดในเดือนธันวาคมประมาณ 98.3 มิลลิเมตร

2.2.4 ข้อมูลชุดดิน

Craig (1981) ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างดิน และ พืชพรรณบริเวณที่สูงภาคเหนือของประเทศไทย โดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจ โดยตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของดิน คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของดิน การแพร่กระจายของดิน การจำแนกความสัมพันธ์ของชั้นดินนั้นๆ อย่างละเอียดในพื้นที่ 3 แห่ง คือ ดอยปุย ดอยหลวง จังหวัดเชียงราย และแม่สะนาม (Mae Sanaam) จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าคุณสมบัติของดิน และชนิดของพืชพรรณ ทั้งในระหว่าง และภายในพื้นที่ที่ได้ทำการศึกษามีความแปรปรวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่มีต้นกำเนิดต่างกัน และมีความแปรปรวนสูง ตัวแปรทางสภาพอากาศ เช่น ปริมาณน้ำฝนและความชื้น มีอิทธิพลในการเกิด และการเจริญเติบโตของพืชพรรณนั้นๆ สภาพภูมิอากาศ เช่น ทิศทางของสภาพพื้นที่ ความลาดชัน และลักษณะตะปุ่มตะป่ำของพื้นที่ พบว่ามีอิทธิพลต่อดิน และพืชพรรณในบริเวณที่สูงชัน และที่ดอนบนภูเขาสูง

กองสำรวจดิน (2522) ได้จัดทำแผนที่ดินจังหวัดเชียงใหม่ โดยแบ่งดินออกเป็น 66 ชุด แต่สำหรับในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วางนี้จะมีดินอยู่ 9 ชุดดังนี้ ซึ่งรายระเอียดแสดงในภาคผนวก ข

1. ดินชุดที่ 5 ดินราชบุรี (Rb : Ratchaburi series)

2. ดินชุดที่ 22 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดลำปาง/ชุดสันทราย (Lp/Sai : Lampang/San Sai association)

3. ดินชุดที่ 31 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดโคราช/ชุดสะตึก (Kt/Suk : Korat/Satuk association)

4. ดินชุดที่ 35 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดโคราช/ชุดห้างฉัตรประเภทลอนลาด (Kt/He-B : Korat/Hang Chat association, undulating phase)

5. ดินชุดที่ 40 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดแม่ริม/ชุดห้างฉัตรประเภทลอนชัน (Mr-c/Hc-c : Mae Rim/Hang Chat association, rolling phase)

6. ดินชุดที่ 41 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดห้างฉัตรเชิงปูน/ชุดแม่ริมประเภทลอนลาด (Hc-ca/Mr-B : association, undulating phase)

7. ดินชุดที่ 48 ดินชุดปากช่องประเภทคละหินมาก (Pe-vst : Pak Chong series, very stony phase)

8. ดินชุดที่ 59 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดปงทอง/ชุดเลย (Po/Lo : Pong Tong/Loei association)

9. ดินชุดที่ 62 ดินชุดดอยปุยประเภทที่มีสภาพพื้นที่เนินเขา (Dp-D : Doi Pui series, hilly phase)

2.3 ข้อมูลภูมิสารสนเทศ

หรรษา (2547) แผนที่ภูมิศาสตร์ในรูปตัวเลข หรือ Digital Elevation Model (DEM) หมายถึง แบบจำลองพื้นที่ผิวของสภาพภูมิประเทศ ได้รับการพัฒนาโดย The United States Geological Survey (USGS) ให้เป็นฐานข้อมูลที่บอกถึงลักษณะของพื้นผิวของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยข้อมูล DEM สามารถใช้ในการบอกรายละเอียดของเส้นแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำได้ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง มาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7017 ของกรมแผนที่ทหาร รวมทั้งข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศและข้อมูลแผนที่ภูมิศาสตร์ในรูปตัวเลข หรือ Digital elevation model (DEM) โดยใช้ความละเอียดของ

ขนาดกริด 20 x 20 ตารางเมตร เพื่อใช้ศึกษาลักษณะภูมิกายภาพของพื้นที่ศึกษา โดยมีหลักเกณฑ์การเลือกความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องและความละเอียดของข้อมูลเพื่อเลือกใช้ขนาดของกริด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องและความละเอียดของข้อมูล

มาตราส่วน (1:M)	ความถูกต้องแน่นอน			ความละเอียด		สำหรับงานประเภท
	ช่วงกว้างชั้นความสูง (เมตร)	ระดับความสูง (เมตร)	ตำแหน่งที่ตั้ง (เมตร)	ช่วงกว้างจุดภาพ (เมตร)	ขนาดจุดภาพไม่มีพิกัด (เมตร)	
1:500	0.5	0.17	0.25	0.5	0.05	Cadastre
1:1,000	1	0.33	0.5	1	0.1	Cadastre, Utilities
1:2,500	2	0.7	1.25	2.5	0.25	Urban Planning
1:5,000	5	1.7	2.5	5	0.5	Urban Planning
1:10,000	10	3	5.0	10	1.0	City Map
1:25,000	10,20	3,7	12.5	25	2.5	Base Topomaps
1:50,000	20,40	7,13	25.0	50	5.0	Base Topomaps
1:100,000	50	17	50.0	100	10.0	Regional Planning
1:250,000	100	33	125.0	250	25.0	Natural Resource
1:500,000	100,200	33,66	250.0	500	50.0	Natural Resource
1:1,000,000	200	66	500.0	1,000	100.0	World map, Navigation

ที่มา: หรรษา (2547)

3. การศึกษาลักษณะภูมิกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยระบบภูมิสารสนเทศ GRASS

การศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะภูมิกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วางมีขั้นตอนดังนี้

3.1 ติดตั้งโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS โดยสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมที่ทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ Windows ที่โฮมเพจ http://www.grass.itc.it หรือที่ http://geni.atx.cx/grass.html ดังแสดงในภาคผนวก ค

3.2 สร้างขอบเขต กำหนดพิกัด และสร้างฐานข้อมูลของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วางเพื่อเป็นการเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS ดังแสดงในภาคผนวก ค

3.3 นำเข้าข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ DEMความละเอียดของขนาดกริด 20 x 20 ตร.ม.

3.4 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา

วีระพล (2531) ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (Size หรือ Watershed Area) หาได้ด้วยการวัดพื้นที่ซึ่งล้อมรอบโดยสันปันน้ำในแผนที่ภูมิประเทศ ภาพถ่ายทางอากาศ หรือจากแผนที่แสดงลักษณะของดิน สำหรับสัญลักษณ์ขนาดพื้นที่ที่นิยมใช้กันก็คือ A ซึ่งมีหน่วยที่นิยมกันคือ ตารางกิโลเมตร ตารางไมล์ หรือเอเคอร์ รูปร่างลุ่มน้ำ (Basin Shape) จะมีผลต่อรูปร่างกราฟน้ำท่าและปริมาณการไหลสูงสุด (Peak-Flow Rate) รูปร่างของลุ่มน้ำอาจพิจารณาได้ด้วย Shape Index ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (9)

$$S_w = \frac{L}{W} = \frac{L^2}{A} \qquad (9)$$

เมื่อ L คือ ความยาวของลุ่มน้ำวัดตามแนวลำน้ำสายหลักจากจุด outlet จนถึงสันเขาหรือสันปันน้ำที่อยู่ไกลสุด หน่วย กิโลเมตร

W คือ ความกว้างเฉลี่ยของลุ่มน้ำซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับอัตราส่วนของพื้นที่และความยาว (A/L)

A คือ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ หน่วย ตารางกิโลเมตร

ความหนาแน่นของระบบระบายน้ำ (Drainage Density) คืออัตราส่วนของความยาวสะสมของลำน้ำทั้งหมดภายในลุ่มน้ำต่อพื้นที่ของลุ่มน้ำดังสมการ (10)

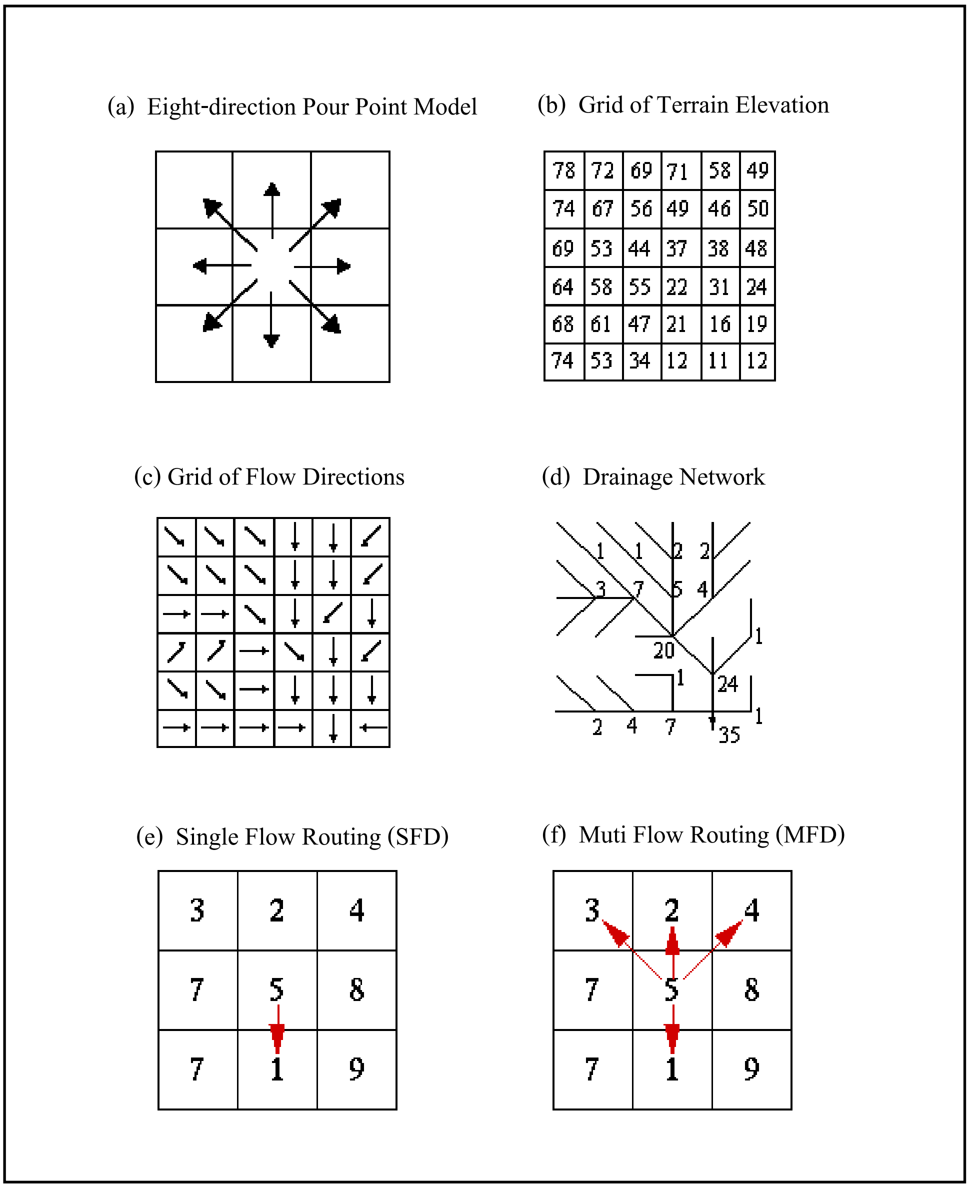
$$D = \frac{1}{A}\sum L_i \qquad (10)$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่นของระบบระบายน้ำ (Drainage Density)
หน่วย กิโลเมตร/ กิโลเมตร^2
L_i คือ ความยาวของลำน้ำสายที่ i หน่วย กิโลเมตร
A คือ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ หน่วย ตารางกิโลเมตร

จะเห็นได้ว่าค่าความหน่าแน่นของระบบระบายน้ำ ก็คือความยาวของลำน้ำต่อพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นเอง ลุ่มน้ำที่มีค่าความหน่าแน่นของการระบายน้ำสูง จะมีความสามารถในการระบายน้ำออกจากลุ่มน้ำได้ดี หรือกล่าวได้ว่าลุ่มน้ำให้การตอบสนองเชิงอุทก (Hydrology Response) ต่อฝนที่ตกลงบนลุ่มน้ำเป็นอย่างดี ในทางตรงกันข้ามลุ่มน้ำมีค่าความหนาแน่นของการระบายน้ำต่ำ จะมีความสามารถในการระบายน้ำออกจากลุ่มน้ำได้ไม่ดีหรือมีการตอบสนองเชิงอุทกช้านั่นเอง โดยทั่วไปข้อมูลจากประเทศสหรัฐอเมริกาแสดงค่าความหน่าแน่นของการระบายน้ำ อยู่ในพิกัดค่าต่ำสุดประมาณ 3 ไปจนถึงค่าสูงสุด 400 หรือมากกว่า ค่าต่ำของความหน่าแน่นของการระบายน้ำจะเป็นในลักษณะดินปกคลุมชนิดต้านการกัดเซาะเป็นอย่างดีหรือมีการซึมสูง ส่วนลุ่มน้ำที่มีค่าความหน่าแน่นของการระบายน้ำสูง จะเป็นกรณีที่ดินปกคลุมมีลักษณะง่ายต่อการกัดเซาะหรือมีอัตราการซึมต่ำ ความลาดเทของลุ่มน้ำค่อนข้างชัน และไม่ค่อยมีพืชปกคลุมผิวดิน

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาโดยการลากเส้นแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำ จากข้อมูล DEM ได้กลายมาเป็นแบบมาตรฐานเพื่อใช้ในการกำหนดทิศทางการไหลทั้ง 8 ทิศ ซึ่งในแต่ละหน่วย ข้อมูลจะทำการเชื่อมต่อกับอีกหน่วยข้อมูลที่เป็นตำแหน่งใกล้เคียงที่ลาดชันที่สุดที่โดยกำหนดค่าของทิศทางการไหลในแนวแกนตั้งฉากเป็น 1, 4, 16 และ 64 สำหรับทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก และ ทิศเหนือ ส่วนค่าของทิศทางการไหลในแนวแกนเอียง 45 องศาเป็น 2, 8, 32 และ 128 สำหรับทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ

กระบวนการในการกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเริ่มจากข้อมูล Grid ของระดับความสูง คำนวณข้อมูล Grid ของทิศทางการไหล คำนวณผลรวมหน่วยการไหลสะสมของจำนวนหน่วยข้อมูลที่ไหลจากพื้นที่ที่อยู่สูงกว่า กำหนดเส้นแนวลำน้ำ จากผลรวมหน่วยการไหลสะสมที่มากที่สุดแต่ไม่น้อยกว่าค่าขอบเขตการไหลสะสม (Flow accumulation threshold) และ ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำกำหนดจากหน่วยข้อมูลที่ทำการระบายน้ำผ่านหน่วยข้อมูลดังกล่าว ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10_ การวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศ DEM

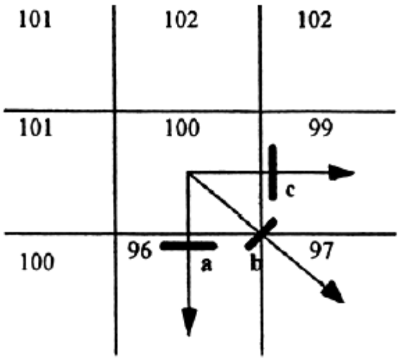
ที่มา: Hannover (2005), หรรษา (2551)

Quinn et al. (1991, 1995) ได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์การไหลหลายทิศทาง (Multiple Flow Direction algorithm, MFD) เพื่อใช้คำนวณพื้นที่การไหลสะสมของน้ำผ่านพื้นที่แต่ละกริดไปพื้นที่โดยรอบ ๆ กริดนั้น (a = A/b) สามารถคำนวณทิศทางการไหลของน้ำได้สูงสุดถึง 8 ทิศ โดยการให้ค่าน้ำหนักในการเฉลี่ยค่า (interpolate) แต่ละกริดเพื่อหาสัดส่วนทิศทางการไหลตัวอย่างการคำนวณ DEM โดยใช้ความละเอียดของขนาดกริด 50 x 50 เมตร ดังภาพที่ 11

a และ c เป็นการไหลในแนว cardinal ให้ค่าน้ำหนัก 0.5 และใช้ความละเอียดของขนาดกริดเป็น 50x50 เมตรจึง ได้ระยะทางการไหล (flow length) dx1=50 เมตร

b เป็นการไหลในแนว diagonal ให้ค่าน้ำหนัก 0.354 ได้ระยะทางในการไหล dx2 = 2 dx1 = 70.71 เมตร

ผลรวม a + b + c = 100%



a = 0.5* tan ((100-96)/dx1) = 65.55%
b = 0.35 * tan ((100-97)/dx2) = 23.01%
c = 0.5 * tan ((100-99)/dx1) =15.44%

ภาพที่ 11 วิธีวิเคราะห์การไหลหลายทิศทาง (Multiple Flow Direction algorithm)
ที่มา: Quinn et al. (1991; 1995)

Quinn et al. (1995) การเปลี่ยนความละเอียดของขนาดกริดมีผลต่อการคำนวณถ้ากริดมีขนาดใหญ่หรือหยาบเกินไปจะไม่เป็นตัวแทนที่ ดีของลุ่มน้ำ รูปร่างและขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำมีผลโดยเฉพาะในลุ่มน้ำขนาดเล็ก ซึ่งอาจจะละเลยรายละเอียดบางส่วนของพื้นที่ไปได้โดยเฉพาะบริเวณขอบเขตของลุ่มน้ำที่มีความลาดชันสูง และบริเวณแม่น้ำ อีกทั้งขนาดกริดที่ใหญ่เกินไปจะเพิ่มความแปรปรวนของดัชนีสภาพภูมิประเทศ แต่ถ้าลดความละเอียดของกริดให้เล็กลงจะเพิ่มขนาดความจุของข้อมูล อีกทั้งในลุ่มน้ำขนาดใหญ่ยังมีโอกาสพบความผิดพลาดในการเฉลี่ย กริดโดยรอบ (interpolation error) ตามจำนวนกริดที่เพิ่มมากขึ้น และยังเพิ่มเวลาในการวิเคราะห์ด้วย ผลการปรับค่าสัมประสิทธิ์ (re -optimized) พบว่าไม่มีนัยสำคัญต่อความละเอียดของขนาดกริดในช่วง 5 – 100 เมตร การปรับค่าสัมประสิทธิ์จึงมี ส่วนสำคัญที่ช่วยในการปรับปรุงผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าให้ดีขึ้น

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษามีขั้นตอนดังนี้

3.4.1 ศึกษาลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งประกอบด้วยการศึกษาขนาด ความสูง รูปร่างของพื้นที่ลุ่มน้ำ (Basin Shape) และ ความหนาแน่นของระบบการระบายน้ำ (Drainage Density)

3.4.2 ศึกษาความลาดชัด (Slope) และ ทิศลาด (Aspect) ด้วยคำสั่ง r.slope.aspect ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการประมวลผลของระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS จะอยู่ในรูปแบบของข้อมูลชนิด Raster และหาค่าเฉลี่ยของความลาดชันและทิศลาดของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วางในรูปแบบกราฟแท่ง Histogram ด้วยคำสั่ง d.histogram

3.4.3 ศึกษาการไหลสะสม การระบายน้ำ การแบ่งลุ่มน้ำย่อย และการแบ่งลำน้ำย่อย (Stream Segment) ด้วยคำสั่ง r.watershed ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการประมวลผลของระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS จะอยู่ในรูปแบบของข้อมูล Raster และแปลงข้อมูล Raster ของข้อมูลการแบ่งเส้นลำน้ำเป็นข้อมูล Vector ด้วยคำสั่ง r.thin แต่ถ้าขนาดความละเอียดถูกต้องของข้อมูล DEM มีค่าความผิดพลาดสูงจะทำให้การกำหนดแนวลำน้ำอาจจะคลาดเคลื่อนจากแนวสภาพลำน้ำจริงได้ เมื่อทำการกำหนดเส้นแนวลำน้ำจากการประมวลผล แล้วแนวลำน้ำต่างจากความเป็นจริงมาก จึงมีความจำเป็นต้องแก้ไขแนวลำน้ำให้ใกล้เคียงกับความภูมิประเทศจริง เพื่อเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลให้มากยิ่งขึ้น

3.4.4 ศึกษาทิศทางการไหลของน้ำ และพื้นที่เสี่ยงประสบปัญหาน้ำท่วม ด้วยคำสั่ง r.fill.dir ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการประมวลผลของระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS จะอยู่ในรูปแบบของข้อมูล Raster

4. การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL จำลองสภาพทางอุทกวิทยา

การศึกษาความสัมพันธ์ของแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL ในระบบภูมิสารสนเทศ สาธารณสิทธิ GRASS ให้สอดคล้องกับข้อมูลวิศวกรรมทรัพยากรน้ำเพื่อจำลองสภาพทางอุทกวิทยาในพื้นที่ต้นแบบลุ่มน้ำแม่วาง มีขั้นตอนดังนี้

4.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อนำเข้าแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL มีขั้นตอนดังนี้

4.1.1 เตรียมข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา ได้แก่ ข้อมูลน้ำฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลการใช้น้ำของพืช โดยการใช้ข้อมูลรายวันและรายเดือนรวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในแบบจำลองเพื่อสร้างแฟ้มข้อมูล ในรูปแบบที่กำหนด .txt (Text File)

4.1.2 สร้างข้อมูลแผนที่ Raster บริเวณจุดที่น้ำไหลออก (Outlet) ซึ่งกำหนดด้วยตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดปริมาณน้ำท่า ด้วยคำสั่ง r.water.outlet

4.2 การนำเข้าข้อมูลในแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL โดยการนำข้อมูลที่เตรียมไว้จากหัวข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 รวมทั้งข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ DEM ที่ได้จากหัวข้อ 3.3 เข้าสู่แบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL เพื่อทำการประมาณค่าปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง ด้วยคำสั่ง r.topmodel

5. การสอบเทียบแบบจำลอง

จุดประสงค์การปรับเทียบแบบจำลองเพื่อลดความแตกต่างระหว่างข้อมูลจากการตรวจในพื้นที่วัด กับข้อมูลจากการประมวลผลด้วยแบบจำลองให้เหลือน้อยที่สุด โดยทุกแบบจำลองจำเป็นต้องมีการปรับเทียบกับทุกพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษาโดยหลักเกณฑ์ทางอุดมคติในการปรับเทียบแบบจำลองมีหลักการดังนี้

1. ผลลัพธ์ในการจำลองมีค่าเท่ากับข้อมูลจากการวัด
2. ค่าสัมประสิทธิ์ มีค่าตรงกันกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ

สำหรับการสอบเทียบแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL จะทำการศึกษาปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์จนกระทั่งกราฟปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองและกราฟปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกัน (Goodness of Fit) ทั้งนี้ให้พิจารณาร่วมกับเกณฑ์การวัดเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองและปริมาณปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่ ซึ่งการปรับเทียบค่านี้ใช้กระบวนการ trial and error

5.1 เกณฑ์การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำท่าระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและจากการตรวจวัดข้อมูลในพื้นที่

Madsen, (2000) การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองจะใช้การวิเคราะห์ทางด้านสถิติในการวัดพฤติกรรมของแบบจำลอง สำหรับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่ามีข้อแนะนำสำหรับเงื่อนไขในการประเมินประสิทธิภาพหรือความสามารถของแบบจำลอง 6 เกณฑ์ดังนี้ แสดงดังตารางที่ 5

5.1.1 Sum of absolute error (SAE) คือผลรวมของความแตกต่างสัมบูรณ์ระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัดในพื้นที่ ซึ่งสามารถแสดงการ

เปรียบเทียบของ ปริมาตรและเวลาในการเกิดการไหลสูงสุดระหว่างกราฟน้ำท่าทั้งสอง โดยมีค่าเกณฑ์สมบูรณ์เท่ากับ ศูนย์

5.1.2 Sum of squared residuals (SSE) คือผลรวมของความแตกต่างกำลังสองระหว่างช่วงเวลาที่เกิดการไหลสูงสุด ความแตกต่างของปริมาตรน้ำท่าและเวลาในการเกิดการไหลสูงสุดระหว่างกราฟน้ำท่าทั้งสอง โดยมีค่าเกณฑ์สมบูรณ์เท่ากับศูนย์

5.1.3 Percent error in peak (PEP) คือเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของการไหล

5.1.4 Peak-weighted root mean square error objection function (PSP) วิธีการนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาที่เกิดการไหลสูงสุด ความแตกต่างของปริมาตรน้ำท่าและเวลาในการเกิดการไหลสูงสุดระหว่างกราฟน้ำท่าทั้งสอง โดยมีค่าเกณฑ์สมบูรณ์เท่ากับ ศูนย์

5.1.5 Sum of squared log residuals (SLE) คือผลรวมของความแตกต่างลอการิทึมระหว่างช่วงเวลาที่เกิดการไหลสูงสุด ความแตกต่างของปริมาตรน้ำท่าและเวลาในการเกิดการไหลสูงสุดระหว่างกราฟน้ำท่าทั้งสอง โดยมีค่าเกณฑ์สมบูรณ์เท่ากับศูนย์

5.1.6 The Nash and Sutcliff Efficiency (EFF) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาที่เกิดการไหลสูงสุด ความแตกต่างของปริมาตรน้ำท่าและเวลาในการเกิดการไหลสูงสุดระหว่างกราฟปริมาณน้ำท่าทั้งสองโดยมีค่าเกณฑ์สมบูรณ์เท่ากับหนึ่ง เกณฑ์นี้พิจารณาความสำคัญของรูปร่างกราฟปริมาณน้ำท่า

5.2 การวิเคราะห์ความไวของค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL ทีละค่าสัมประสิทธิ์นั้น เพื่อพิจารณาลักษณะการเกิดกราฟน้ำท่าที่มีผลกระทบจากการเพิ่มและลดค่าสัมประสิทธิ์ โดยพิจารณาจากกราฟของผลต่างระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองจากชุดค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองที่เกิดจากการเพิ่มและลดค่าสัมประสิทธิ์ตัวนั้นๆ

ตารางที่ 5 เกณฑ์สำหรับการวัดผลลัพธ์ของแบบจำลอง

เกณฑ์	สมการ
Sum of absolute error	$Z = \sum_{i=1}^{NQ} \lvert q_o(i) - q_s(i) \rvert$
Sum of squared residuals	$Z = \sum_{i=1}^{NQ} [q_o(i) - q_s(i)]^2$
Percent error in peak	$Z = 100 \left\lvert \frac{q_s(peak) - q_o(peak)}{q_o(peak)} \right\rvert$
Peak-weighted root mean square error objection function	$Z = \left\{ \frac{1}{NQ} \left[\sum_{i=1}^{NQ} (q_o(i) - q_s(i))^2 \left(\frac{q_o(i) + q_o(mean)}{2q_o(mean)} \right) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$
Sum of squared log residuals	$Z = \sum_{i=1}^{NQ} [\log(q_o(i)) - \log(q_s(i))]^2$
The Nash and Sutcliff Efficiency	$Z = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{NQ} (q_s(i) - q_o(i))^2}{\sum_{i=1}^{NQ} (q_o(i) - q_o(mean))^2} \right]$

เมื่อ NQ = จำนวนข้อมูลในแต่ละเหตุการณ์

q_o = อัตราการไหลที่ได้จากการวัด

q_s = อัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณ

$q_0(mean)$ = อัตราการไหลเฉลี่ยที่ได้จากการวัด

$q_0(peak)$ = อัตราการไหลสูงสุดที่ได้จากการวัด

$q_0(peak)$ = อัตราการไหลสูงสุดที่ได้จากการคำนวณ

ผลและวิจารณ์

การศึกษาแบบจำลองภูมิ-อุทก ในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS บนลุ่มน้ำต้นแบบลาดชันสูง (ลุ่มน้ำแม่วาง)

1. ลักษณะทางภูมิกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ

การศึกษาลักษณะทางภูมิกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วางด้วย GRASS โดยอาศัยข้อมูลภูมิสารสนเทศ DEM โดยใช้ความละเอียดของขนาดกริด 20 x 20 ตารางเมตร ได้ผลการศึกษาดังนี้

1.1 ลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง

- ลุ่มน้ำแม่วางมีขนาดพื้นที่ 518 ตารางกิโลเมตร
- ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2,560 เมตร และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 280 เมตร โดยมีค่าเฉลี่ยความสูงจากระดับน้ำทะเลอยู่ที่ 929 เมตร
- ลุ่มน้ำแม่วางมีลักษณะรูปร่างแบบเหลี่ยมหรือรูปพัด โดยมีค่า Shape Index (S_w) เท่ากับ 1.97
- ลุ่มน้ำแม่วางมีค่าความหนาแน่นของการระบายน้ำเท่ากับ 0.81

1.2 ความลาดชัด (Slope) และ ทิศลาด (Aspect) ของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง

- ความลาดชันสูงสุดอยู่ที่ 81 องศา บริเวณที่เป็นเทือกเขาสูง และค่าความลาดชันต่ำสุดอยู่ที่ 0 องศา ซึ่งเป็นที่ราบบริเวณจุดที่น้ำไหลออก (Outlet) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15 องศา
- ค่าของทิศลาดสูงสุดมีค่า 360 องศาจากทิศเหนือ และมีค่าทิศลาดต่ำสุดอยู่ที่ 0 องศา โดยมีค่าทิศลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 143 องศา

จากค่าความลาดชันและค่าของทิศลาดข้างต้นเป็นการคำนวณโดยใช้ข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ DEM ความละเอียดของขนาดกริด 20 x 20 ตารางเมตร ซึ่งถ้าเปลี่ยนค่า DEM ที่มีความละเอียดของขนาดกริดขนาดอื่นๆ ค่าความลาดชันและค่าของทิศลาดจะมีค่าเปลี่ยนไปตามค่าความละเอียดของขนาดกริด

1.3 การศึกษาการระบายน้ำ การไหลสะสม และการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง

- การระบายน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำถูกแบ่งออกเป็นทิศทาง 8 ทิศทาง คือ ทิศเหนือ (N) ตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ตะวันออก (E) ตะวันออกเฉียงใต้ (SE) ใต้ (S) ตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ตะวันตก (W) หรือตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) โดยผลการวิเคราะห์การระบายน้ำส่วนใหญ่ไหลไปทางตะวันออกเฉียงใต้ (SE)
- พื้นที่ลุ่มน้ำมีการไหลสะสมของน้ำจากลำน้ำสาขาและไหลสะสมรวมกันสู่ลำน้ำสายหลักโดยบริเวณจุดน้ำไหลออกของพื้นที่ลุ่มน้ำมีการไหลสะสม 60,000 กริด
- GRASS สามารถแบ่งลุ่มน้ำและลำน้ำย่อยได้สูงสุด 2,484 ลุ่มน้ำ และแบ่งได้น้อยสุด 3 ลุ่มน้ำ โดยใช้ข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ DEM เป็นข้อมูลหลัก

GRASS สามารถแบ่งลุ่มน้ำและลำน้ำย่อยของลุ่มน้ำแม่วางได้น้อยสุด 3 ลุ่มน้ำย่อย เนื่องจากสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีจุดตรวจสอบ (สถานีวัดปริมาณน้ำท่า P.82) ตั้งอยู่บริเวณกลางพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยมีลำน้ำสายหลักสองสายไหลจากสันเขามาบรรจบที่จุดตรวจสอบและไหลรวมกันลงสู่จุดตรวจสอบบริเวณตอนล่างของลุ่มน้ำ (สถานีวัดปริมาณน้ำท่า P.84)

1.4 การศึกษาทิศทางการไหลของน้ำ และพื้นที่เสี่ยงประสบปัญหาน้ำท่วมขัง ของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง

- ทิศทางการไหลของน้ำถูกแบ่งด้วยมุมที่อ้างอิงกับทิศหนือ และค่า 0 หมายถึงเป็นที่ราบไม่มีการไหล โดยทิศทางการไหลส่วนใหญ่ไหลทำมุม 144 องศากับทิศหนือ ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางการระบายน้ำที่ไหลไปทางตะวันออกเฉียงใต้ (SE)
- โดยการวิเคราะห์มาจาก DEM ในลุ่มน้ำแม่วางไม่พบว่ามีความเสี่ยงต่อปัญหาน้ำท่วมขัง

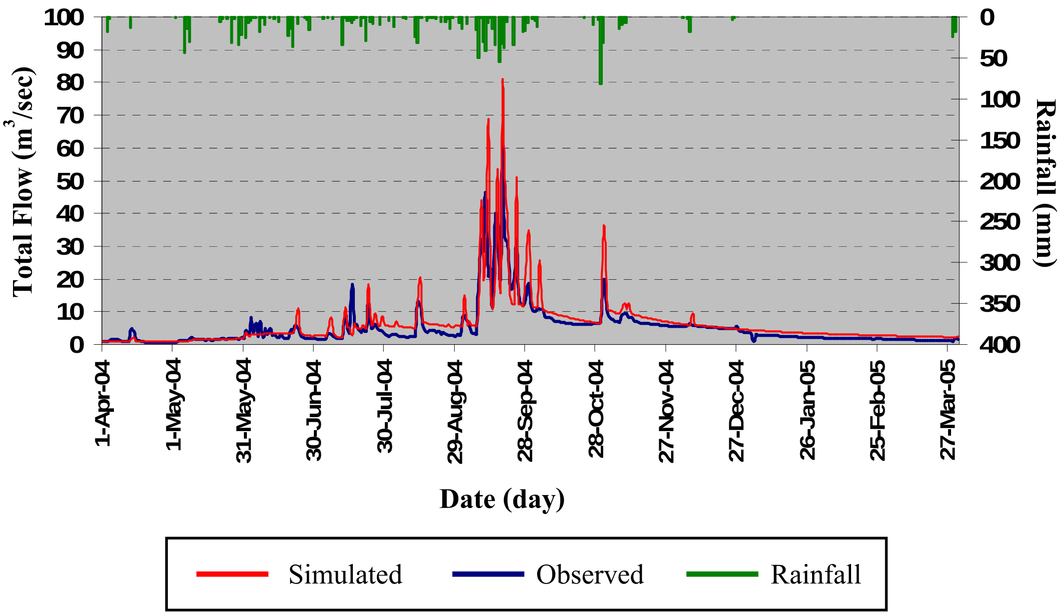
2. ลักษณะทางอุทกวิทยาและการสอบเทียบแบบจำลองภูมิ-อุทก

การศึกษาความสัมพันธ์ของแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL ในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS ให้สอดคล้องกับข้อมูลวิศวกรรมทรัพยากรน้ำเพื่อจำลองสภาพทางอุทกวิทยา ในพื้นที่ต้นแบบลุ่มน้ำแม่วาง ผลการศึกษาได้เปรียบเทียบกราฟปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลองและจากการตรวจวัด ของสถานีวัดปริมาณน้ำท่า 2 สถานี คือ

สถานี P.82 บ้านสบวิน และ สถานี P.84 บ้านพันตน ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน ปี พ.ศ. 2548 จากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่า

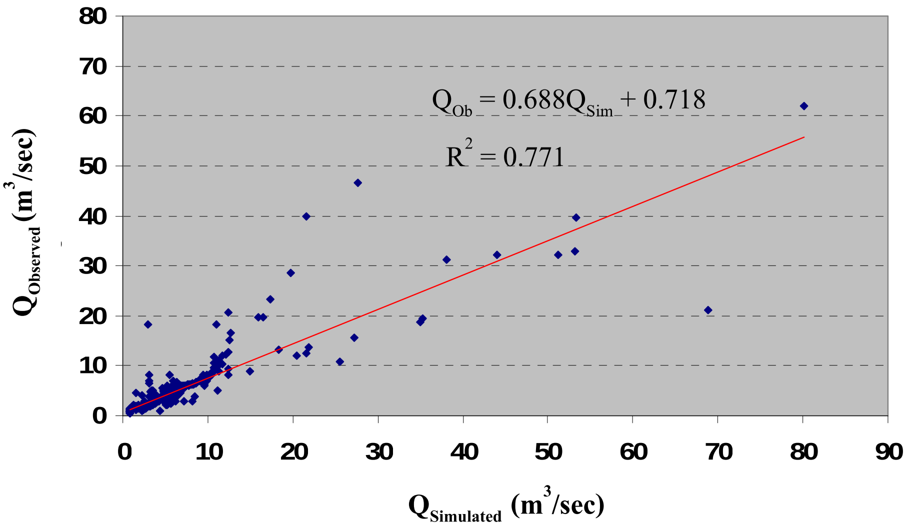
- การสอบเทียบ สถานี P.82 บ้านสบวิน

การปรับเทียบลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ ณ. สถานี P.82 บ้านสบวิน มีพื้นที่รับน้ำ 389 ตารางกิโลเมตร ผลของการปรับเทียบแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL ซึ่งใช้ข้อมูลเป็นแบบรายวันและรายเดือนแสดงดังภาพที่ 12, 13, 14 และ 15 โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบ ณ.สถานี P.82 บ้านสบวิน แสดงดังตารางที่ 6



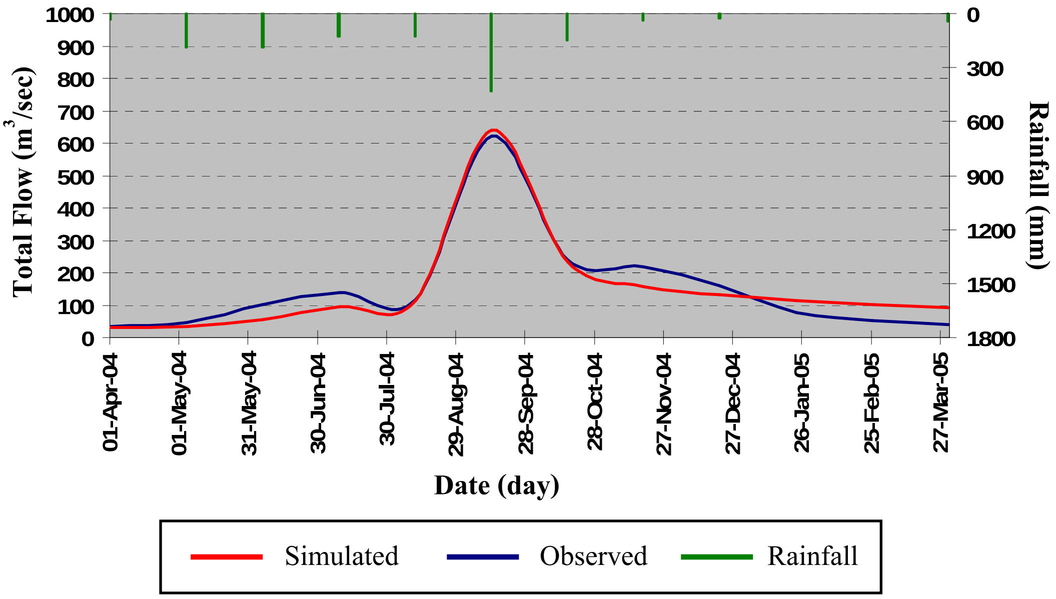
ภาพที่ 12 กราฟแสดงปริมาณน้ำจากข้อมูลการตรวจการไหลในลำน้ำรวม และ ปริมาณน้ำจากข้อมูลการไหลรายวันจากแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบ ณ.สถานี P.82 บ้านสบวิน

จากการสอบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน ณ สถานีวัดปริมาณน้ำท่า P.82 พบว่าปริมาณน้ำท่ารวมตลอดทั้งปีซึ่งคำนวณได้จากแบบจำลองมีปริมาณเท่ากับ 198.87 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่ารวมตลอดทั้งปีซึ่งได้จากการวัดที่สถานีวัดปริมาณน้ำท่ามีปริมาณเท่ากับ 159.42 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งปริมาณที่ปริมาณน้ำท่าได้จากแบบจำลองนั้นมีปริมาณมากกว่าปริมาณที่วัดได้จริงเท่ากับ 39.43 ล้านลูกบาศก์เมตร และคิดเป็นปริมาณน้ำท่าที่มากกว่าข้อมูลจากการตรวจวัด 24.73 %



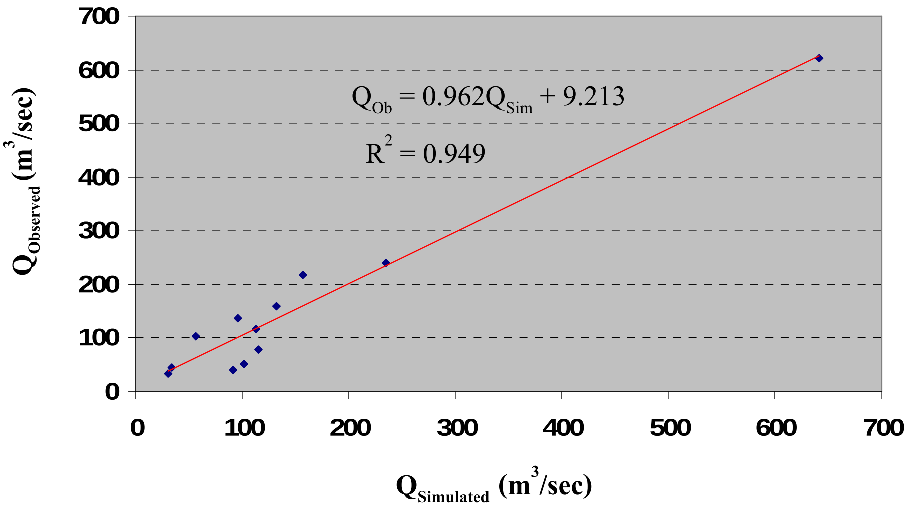
ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันจากการตรวจวัดสำหรับการปรับเทียบณ.สถานีP.82บ้านสบวิน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันจากการตรวจวัด ณ. สถานี P.82 แบบรายวัน ได้ความสัมพันธ์ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการ $Q_{Ob} = 0.688Q_{Sim} + 0.718$ และได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในระดับดี $R^2 = 0.771$



ภาพที่ 14 กราฟแสดงปริมาณน้ำจากข้อมูลการตรวจวัดการไหลในลำน้ำรวม และปริมาณน้ำจากข้อมูลการไหลรายเดือนจากแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบ ณ.สถานี P.82 บ้านสบวิน

ผลที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน ณ สถานีวัดปริมาณน้ำท่า P.82 พบว่าปริมาณน้ำท่ารวมตลอดทั้งปีซึ่งคำนวณได้จากแบบจำลองมีปริมาณเท่ากับ 155.89 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่ารวมตลอดทั้งปีซึ่งได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดปริมาณน้ำท่ามีปริมาณเท่ากับ 159.43 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองนั้นมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณที่วัดได้จริงเท่ากับ 3.54 ล้านลูกบาศก์เมตร และคิดเป็นปริมาณน้ำท่าที่น้อยกว่าจากที่ตรวจวัดได้จริง 2.22 %



ภาพที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณการไหลในลำน้ำรายเดือนจากการตรวจวัด สำหรับการปรับเทียบ ณ.สถานี P.82 บ้านสบวิน

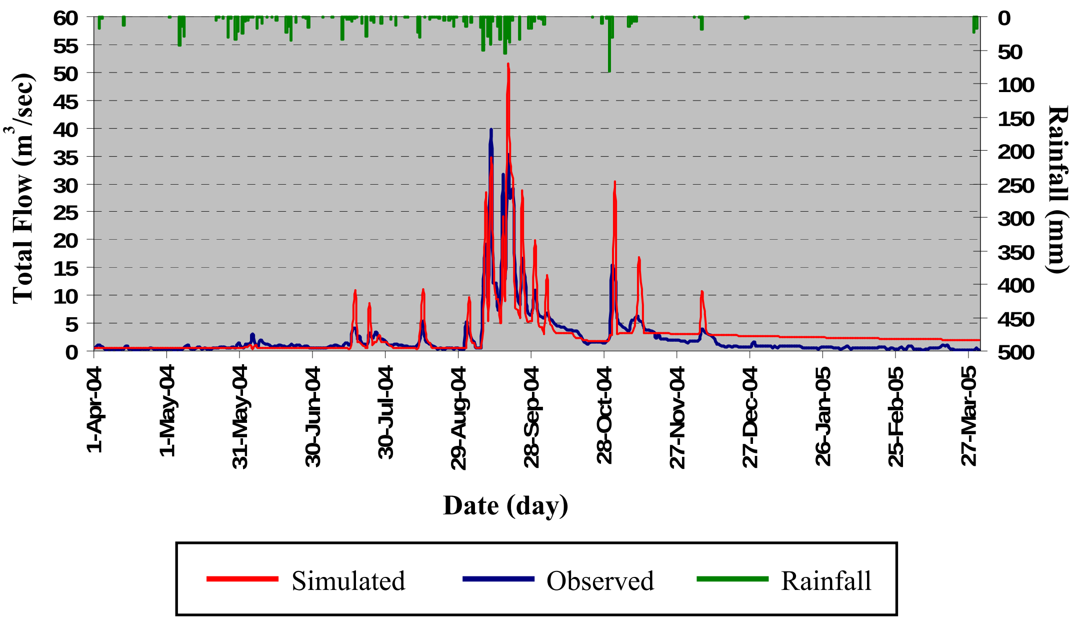
จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันจากการวัด ณ. สถานี P.82 แบบรายเดือน พบว่าได้ความสัมพันธ์ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการ $Q_{Ob} = 0.962Q_{Sim} + 9.213$ และได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในระดับดีมาก $R^2 = 0.949$

ตารางที่ 6 รายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL สำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.82 บ้านสบวิน

ข้อมูล	ค่าสัมประสิทธิ์						
	m (เมตร)	lnTe (ตร.ม/ชม.)	Td (ชม./ม.)	Sr_{max} (ม.)	Sr_0 (ม.)	V_{ch} (ม./ชม.)	V_r (ม./ชม.)
รายวัน	0.0875	-4.0	60	0.015	0.0020	2500	2500
รายเดือน	0.2100	-4.5	50	0.08	0.0005	2500	2500

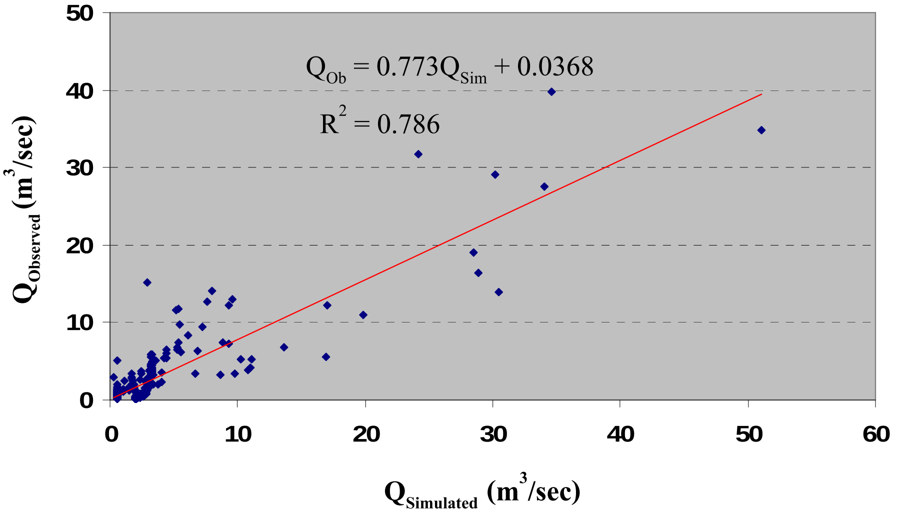
- การสอบเทียบ สถานี P.84 บ้านพันตน

การปรับเทียบพื้นที่ลุ่มน้ำ ณ. สถานี P.84 บ้านพันตน มีพื้นที่รับน้ำ 493 ตารางกิโลเมตร ผลของการปรับเทียบแบบจำลองภูมิ–อุทก TOPMODEL ซึ่งใช้ข้อมูลเป็นแบบรายวันและรายเดือน แสดงดังภาพที่ 16, 17, 18 และ 19 โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.84 บ้านพันตน แสดงดังตารางที่ 7



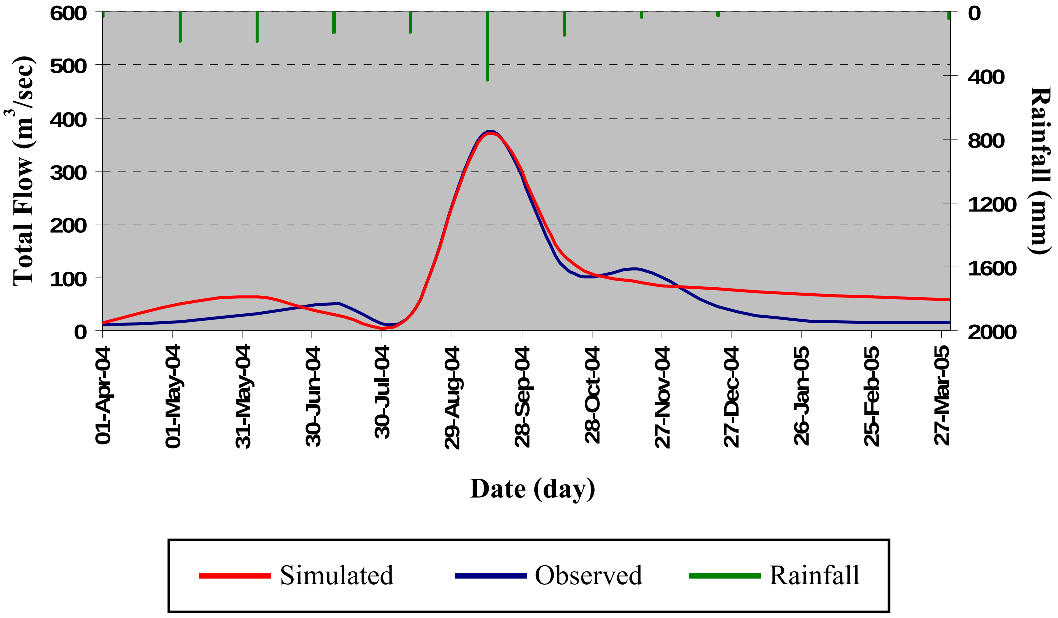
ภาพที่ 16 กราฟแสดงปริมาณน้ำจากข้อมูลการตรวจวัดการไหลในลำน้ำรวม และ ปริมาณน้ำจากข้อมูลการไหลรายวันจากแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบ ณ.สถานี P.84 บ้านพันตน

ผลที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน ณ สถานีวัดปริมาณน้ำท่า P.84 พบว่าปริมาณน้ำท่ารวมตลอดทั้งปีซึ่งคำนวณจากแบบจำลองมีปริมาณเท่ากับ 92.89 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่ารวมตลอดทั้งปีซึ่งได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดปริมาณน้ำท่ามีปริมาณเท่ากับ 72.98 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองนั้นมีปริมาณมากกว่าปริมาณที่ตรวจวัดได้จริงเท่ากับ 19.91 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นปริมาณน้ำท่ามากกว่าจากที่ตรวจวัดได้จริงเท่ากับ 27.28 % ปริมาณน้ำที่ตรวจวัดได้จากสถานี P.84 มีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่สถานี P.82 เนื่องจากบริเวณโดยรอบของสถานี P.84 เป็นพื้นที่การเกษตรจึงมีการใช้น้ำบางส่วนในเกษตรกรรม



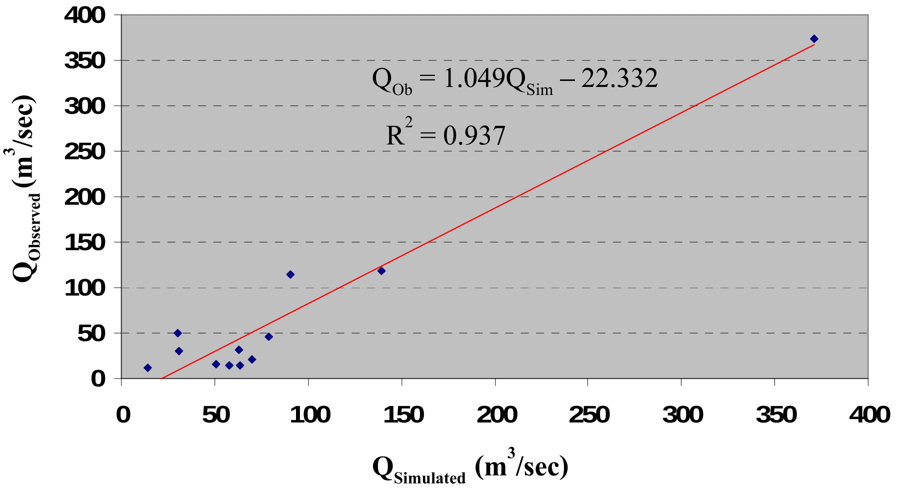
ภาพที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันจากการตรวจวัด สำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.84 บ้านพันตน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันจากการตรวจวัด ณ. สถานี P.84 แบบรายวัน พบว่าได้ความสัมพันธ์ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการ $Q_{Ob} = 0.773Q_{Sim} + 0.0368$ และได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในระดับดี $R^2 = 0.786$



ภาพที่ 18 กราฟแสดงปริมาณน้ำจากข้อมูลการตรวจวัดการไหลในลำน้ำรวม และ ปริมาณน้ำจากข้อมูลการไหลรายเดือนจากแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบ ณ.สถานี P.84 บ้านพันตน

จากผลที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน ณ สถานีวัดปริมาณน้ำท่า P.84 พบว่าปริมาณน้ำท่ารวมตลอดทั้งปีซึ่งคำนวณจากแบบจำลองมีปริมาณเท่ากับ 91.55 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่ารวมตลอดทั้งปีซึ่งได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดปริมาณน้ำท่ามีปริมาณเท่ากับ 72.96 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองนั้นมีปริมาณมากกว่าปริมาณที่ตรวจวัดได้จริงเท่ากับ 18.54 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นปริมาณน้ำท่าที่มากกว่าจากที่ตรวจวัดได้จริงเท่ากับ 25.41 %



ภาพที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณการไหลในลำน้ำรายเดือนจากการตรวจวัด สำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.84 บ้านพันตน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันจากการตรวจวัด ณ. สถานี P.84 แบบรายวัน ความสัมพันธ์ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการ $Q_{Ob} = 1.049Q_{Sim} – 22.332$ และได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในระดับดีมาก $R^2 = 0.937$

ตารางที่ 7 รายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL สำหรับการปรับเทียบ ณ. สถานี P.84 บ้านพันตน

ข้อมูล	ค่าสัมประสิทธิ์						
	m (เมตร)	lnTe (ตร.ม/ชม.)	Td (ชม./ม.)	Sr_{max} (ม.)	Sr_0 (ม.)	V_{ch} (ม./ชม.)	V_r (ม./ชม.)
รายวัน	0.15	-1.5	50	0.95	0.085000	2500	2500
รายเดือน	0.15	-2.3	0.55	0.11	0.000085	2500	2500

3. การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL

การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองจะใช้การวิเคราะห์ทางด้านสถิติในการวัดพฤติกรรมของแบบจำลอง ในการประเมินครั้งนี้ใช้หลักเกณฑ์การประเมินทั้งหมด 6 หลักเกณฑ์ ดังนี้ Sum of absolute error (SAE), Sum of squared residuals (SSE), Percent error in peak (PEP), Peak-weighted root mean square error objection function (PSE), Sum of squared log residuals (SLE) และ The Nash and Sutcliff Efficiency (EFF) โดยประสิทธิ์แบบจำลองที่ดีจะมีค่าเท่ากับ 0 และค่าเท่ากับ 1 สำหรับเกณฑ์การวัดแบบ (EFF) ผลจากการใช้เกณฑ์การวัดทั้งหมดได้แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง

เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง	สถาณี P.82		สถาณี P.84	
	รายวัน	รายเดือน	รายวัน	รายเดือน
SAE (m^3/s)	732.437	356.261	515.513	310.534
SSE ($(m^3/s)^2$)	6915.522	15304.048	2256.762	11351.597
PEP (%)	29.126	62.084	12.881	0.851
PSE (m^3/s)	7.437	6.217	4.554	4.735
SLE ($(m^3/s)^2$)	12.739	0.371	60.545	1.52
EFF	0.577	0.947	0.699	0.902

ผลของเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพแบบจำลองแบบต่างๆ พบว่าเกณฑ์การวัดที่เหมาะสมเป็นแบบ The Nash and Sutcliff Efficiency (EFF) ซึ่งเป็นเกณฑ์การวัดที่แบบจำลอง TOPMODEL เลือกใช้เป็นมาตรฐาน โดยสามารถสรุปความสัมพันธ์ของเกณฑ์การวัดได้ดังนี้

1. Sum of absolute error (SAE) เป็นเกณฑ์การวัดที่ใช้ค่าของผลรวมของผลต่างระหว่างค่าสมบูรณ์จากค่าที่คำนวณได้ในแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัด ข้อมูลที่มีผลต่างกันเล็กน้อยแต่มีจำนวนชุดข้อมูลมากๆ ไม่สามารถหาข้อสรุปเป็นเกณฑ์ตามมาตรฐานได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าของประสิทธิภาพแบบจำลองข้อมูลรายวันของทั้งสองสถานีมีค่าอยู่ที่ 515 และ 732 ข้อมูลรายเดือนมีค่าอยู่ที่ 356 และ310 (ค่าที่ดีต้องเท่ากับศูนย์) เมื่อนำค่าที่ได้มาทำการเฉลี่ยด้วยจำนวนชุด

ข้อมูลก็จะได้ค่าที่ต่างกันเพียง 1.4 และ 2 m^3/s สำหรับข้อมูลรายวัน 25.8 และ 29.6 สำหรับข้อมูลรายเดือน

2. Sum of squared residuals (SSE) เป็นเกณฑ์การวัดที่ใช้ค่าของความแตกต่างกำลังสองระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัด ผลต่างที่ได้ยกกำลังสอง ผลที่ได้จะเป็นค่าบวกเสมอ

3. Percent error in peak (PEP) เป็นเกณฑ์การวัดที่ใช้ค่าของความแตกต่างเฉพาะค่าสูงสุดที่ได้ระหว่างค่าที่คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัด เกณฑ์นี้ใช้ไม่ได้เมื่อค่าผลต่างของค่าสูงสุดได้ผลเท่ากับศูนย์

4. Peak-weighted root mean square error objection function (PSE) เป็นเกณฑ์การวัดที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดมาคำนวณ จึงทำให้มีความแม่นยำมากขึ้นในการเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้จริงกับข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลอง

5. Sum of squared log residuals (SLE) เป็นเกณฑ์การวัดที่ใช้ความแตกต่างกำลังสองของค่าลอการิทึมระหว่างค่าที่ตรวจวัดได้จริงและค่าที่ได้จากการคำนวณ ค่าที่ได้จะมากกว่าหรือเท่ากับ 1 เสมอ

6. The Nash and Sutcliff Efficiency (EFF) เป็นเกณฑ์การวัดที่ใช้การเปรียบเทียบระหว่างผลต่างกำลังสองของข้อมูลที่คำนวณได้และข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง กับผลต่างของข้อมูลที่วัดได้จริงและข้อมูลที่วัดได้จริงเฉลี่ย ดังนั้นค่าที่ได้จะได้ค่าที่ไม่เกิน 1

4. การวิเคราะห์ความไวของค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL

การวิเคราะห์ความไวของค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองแสดงดังตารางที่ 9 จากการศึกษาพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ที่ส่งผลกระทบต่อรูปร่างกราฟปริมาณน้ำท่า 2 ค่า คือ

1. ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำผ่านชั้นดิน (m) ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการไหลสูงสุดและปริมาณน้ำท่า ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ m มีค่ามากจะส่งผลให้บริเวณส่วนยอดของกราฟน้ำท่าต่ำลง และถ้าค่าสัมประสิทธิ์ m มีค่าน้อยจะส่งผลให้บริเวณส่วนยอดของกราฟปริมาณน้ำท่าสูงขึ้น แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ m คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีอิทธิพลกับปริมาณน้ำท่าโดยตรง

2. ค่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมน้ำผ่านชั้นดินเมื่อดินเริ่มอิ่มตัวเฉลี่ย (ln(Te)) มีผลกระทบกับระยะเวลาในการเกิดการไหลสูงสุด ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ ln(Te) มีค่ามากจะทำให้จุดสูงสุดของกราฟปริมาณน้ำท่าเคลื่อนไปทางมาก ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ ln(Te) มีค่าน้อยจะส่งผลทำให้จุดสูงสุดของกราฟน้ำท่าเคลื่อนมาข้างหลัง แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ ln(Te) คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีอิทธิพลกับตัวกำหนดเวลาการเกิดการไหลสูงสุด

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลอง TOPMODEL

	ค่าสัมประสิทธิ์						
	m (เมตร)	lnTe (ตร.ม/ชม.)	Td (ชม./ม.)	Sr_{max} (ม.)	Sr_0 (ม.)	V_{ch} (ม./ชม.)	V_r (ม./ชม.)
ค่าสูงสุด	4	1	120	1	0.05	5000	5000
ค่าต่ำสุด	0.01	-7	0.1	0.2	0	1000	1000

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษาลักษณะทางภูมิกายภาพของพื้นที่ศึกษา GRASS มีศักยภาพในการจำลองลักษณะทางภูมิกายภาพ โดยอาศัยเพียงข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ DEM เป็นข้อมูลนำเข้า อีกทั้ง GRASS ยังมีโมดูลหลายโมดูลที่สนับสนุนการใช้งานด้านการศึกษาลักษณะทางภูมิกายภาพ

2. การศึกษาความสัมพันธ์ของแบบจำลองภูมิ-อุทก ในระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS พบว่า แบบจำลองภูมิ-อุทก TOPMODEL สามารถหาความสัมพพันธ์ของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาได้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าจริงที่สำรวจได้จากสถานีวัดน้ำท่า แม้ว่าจะใช้ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้เพียงปีเดียว

3. ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองมีที่สำคัญเพียงแค่ 7 ค่า ได้แก่ m, ln(Te), td, Sr_{max}, Sr_0, V_{ch} และ V_r สำหรับข้อมูลนำเข้าหลักคือ ข้อมูลปริมาณฝน ข้อมูลการใช้น้ำของพืช และข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ DEM ซึ่งทำให้สะดวกต่อการปรับเทียบแบบจำลอง อีกทั้งแบบจำลองยังใช้ระยะเวลาในการคำนวณไม่นาน

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาลักษณะทางภูมิกายภาพด้วย GRASS ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ความละเอียดของข้อมูล DEM 20x20 ตารางเมตร ดังนั้นควรใช้ความละเอียดของข้อมูลที่มีความละเอียดแตกต่างกันออกไป และควรศึกษากับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่กว่าการศึกษาครั้งนี้ เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้

2. การศึกษาลักษณะทางภูมิอุทกด้วยแบบจำลอง TOPMODEL ควรใช้ความละเอียดของข้อมูลที่มีความละเอียดแตกต่างกันออกไป และควรศึกษากับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่กว่าการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งใช้ชุดข้อมูลที่มีช่วงข้อมูลที่ยาวกว่า 1 ปี เพื่อตรวจสอบศักยภาพการใช้งานจริงของแบบจำลองกับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองสำรวจดิน. 2522.รายงานการสำรวจดินจังหวัดเชียงใหม่ 2522. ฉบับที่204. กรมพัฒนาที่ดิน,กรุงเทพฯ.

กิตติพงษ์ ธนาศิริยะกุล 2546. **การประเมินสัมพันธภาพลำน้ำย่อยของประเทศไทยด้วยข้อมูล ระบบภูมิสารสนเทศและ แบบจำลองสาธารณสิทธิ SWAT/GIS : กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำ แม่ตื่นตอนบน อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัชชัย ตันตสิรินทร์. 2543. การศึกษาวิธีการประเมินค่า Topographic Index เพื่อเป็นแนวทางใน การนำไปประยุกต์ใช้จำลองแบบทางอุทกวิทยาแบบกระจายพื้นที่. **เอกสารประกอบการ สอนวิชา 301561อุทกวิทยาป่าไม้ประยุกต์**. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

ดารารัตน์ ดิษบรรจง. 2540. **ความรู้เบื้องต้นและการประยุกต์ใช้ระบบสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)**. กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

วีระพล แต้สมบัติ. 2531. **อุทกวิทยาประยุกต์**. หจก. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

วีรียา วิทยะ 2547. **การประยุกต์แบบจำลอง TOPography based hydrologicl MODEL (TOPMODEL) เพื่อประเมินน้ำท่าบริเวณลุ่มน้ำห้วยคอกม้า จ.เชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

หรรษา วัฒนานุกิจ. 2545. **วิศวกรรมแม่น้ำ (River Engineering)** สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

หรรษา วัฒนานุกิจ. 2547. **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์/ระบบภูมิสารสนเทศ**. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

หรรษา วัฒนานุกิจ. 2551. **นวัตกรรมวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ เรื่อง แบบจำลองสาธารณสิทธิ (SWAT & GRASS)**. สำนักพิมพ์อักษรโสภณ, กรุงเทพฯ.

อิศเรศ ดวงเนตร 2544. **การวิเคราะห์การจัดสรรน้ำและการจัดการน้ำในลุ่มน้ำแม่วาง**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกชัย ธิติมาธัญญากุล และ ณัฐพล เกิดสุข 2544. **การวิเคราะห์ฝนทั้งพื้นที่ของลุ่มน้ำแม่กลอง โดยใช้โปรแกรม GRASS GIS**. โครงงานวิศวกรรมชลประทาน ปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Beven, K. J. 1997. TOPMODEL: A critique, pp. 1 - 17. In Beven, K. J., ed. **Distributed - Hydrological Modelling**: Application of the TOPMODEL Concept. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester.

________, R. Lamb, P. Quinn, R. Romanowicz and J. Freer. 1995. TOPMODEL, pp. 627 - 668. In Singh, V. P., ed. **Computer Models of Watershed Hydrology**. Water Resource Publications, Colorado.

Craig, A.H. 1981. **Soil - Vegetation relations in the North continental highland region of Thailand**. Soil Survey Division, Department of Land Development.

Durand P., A. Robson and C. Neal. 1992. Modelling the hydrology of submediterranean montane catchments (Mont-Lozère, France) using TOPMODEL: initial results. **Journal of Hydrological** 139: 1 – 14

ESRI. 1994. **Understanding GIS: The ARC/INFO Method**. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California.

Fedak, R. 1999. **Effect of Spatial Scale on Hydrologic Modeling in a Headwater Catchment**. M.S. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.

George, B.K. 1997. The GIS book : **Understanding the value and implementation of geographic information systems**. OnWord Press, USA.

Hastings, David A. 1997. The GIS-GRASS mini howto. Avialable Source: http://www.linux.com/howto/mini/GIS-GRASS.html, June 14, 2001.

Huang, B. and B. Jiang. 2002. AVTOP: a full integration of TOPMODEL into GIS. Environmental Modelling & Software, 17 (2002): 261-268. Available Source: http://www.elsevier.com/locate/envsoft, October 20, 2002.

Madsen, H. 2000. Automatic Calibration and Uncertainty Assessment in Rainfall-Runoff Modelling. **Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning & Management** (2000): 1-10.

Markus, N. 2004. **Open source GIS: a GRASS GIS approach**. 2nd ed. Kluwer Academic, Boston.

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

Neteler, Markus. 1998. Introduction to GRASS GIS software. Available Source: http://www.geog.uni-hannover.de, January 7, 2001.

Parks, J. E. 1991. Introduction to geographic information systems using the Geographical Resources Analysis Support System.

Pinol, J, K. Beven. and J. Freer. 1997. Modelling the hydrological response of Mediterranean catchments, Prades, Catalonia. The use of distributed models as aids to hypothesis formulation, pp. 229 - 248. In Beven, K. J., ed. **Distributed - Hydrological Modelling: Application of The TOPMODEL Concept**. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester.

Romanowicz, R. 1997. A MATLAB implementation of TOPMODEL, pp. 107 - 121. In Beven, K. J., ed. **Distributed - Hydrological Modelling: Application of The TOPMODEL Concept**. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester.

Rosenthal, W.D., R.Srinivasan and J.G. Arnold. 1995. **Alternative river management using a linked GIS-hydrology model**. Trans ASAE. 38(3): 783–790.

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.

Schreider, S.Yu., T. Jakeman, J. Gallant and W.S. Merritt. 2000. Prediction of Monthly Discharge in Ungauged Catchments Under Agricultural Land Use in the Upper Ping Basin, Northern Thailand. **iCAM Working Paper 2000/02**.

Srinivasan, R., B.W.Byars and J.G.Arnold. 1995. Swat – Grass Users Manual. Available Source: http://www.baylor.edu/~Bruce_Byars/swatgrassman.html, March 27, 2001.

Wilson, M. 1998. Using TOPMODEL to Predict discharge in the Highland Water catchment, New Forest. M.S. thesis, Southampton University.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

ตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณน้ำฝนรายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี 074C1 บ้านพันตน

หน่วย : มิลลิเมตร

วันที่	ปริมาณน้ำฝนรายวัน											
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	0.0	0.0	14.0	0.4	6.0	9.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	4.6	2.3	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	18.0	0.4	10.5	3.9	0.0	10.4	38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	2.7	0.0	54.6	14.2	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	31.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	4.0	3.2	15.0	0.0	41.7	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0
7	0.0	23.1	0.4	26.5	0.2	36.3	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	20.4	17.6	0.0	0.3	1.2	0.0	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	5.0	0.0	2.2	0.0	0.0	39.5	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	24.5	0.0	1.2	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	3.1	0.9	12.5	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	5.6	70.2	30.6	69.0	0.0	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0
13	13.2	4.5	6.4	18.0	15.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.4	2.3	15.7	10.0	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.1	4.2	0.0	50.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	7.0	0.4	15.0	0.7	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	3.8	26.8	2.8	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	19.7	5.0	0.0	5.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	2.0	0.0	0.0	2.2	23.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.5	3.6	10.5	0.0	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	7.5	22.0	0.7	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	6.0	26.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	50.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	2.5	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	1.4	2.5	1.1	0.0	2.2	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	5.7	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	11.5	0.0	0.0	8.0	0.0	34.0	0.0	0.0	0.0	-	31.6
31	-	0.0	-	0.3	40.7	-	12.0	-	0.0	0.0	-	0.0
รวม	33.9	127.4	199.9	291.5	145.5	413.6	132.9	102.3	6.1	0.0	0.0	31.6
เฉลี่ย	1.1	4.1	6.7	9.4	4.7	13.8	4.3	3.4	0.2	0.0	0.0	1.0

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณน้ำฝนรายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี 07801 บ้านสบวิน

หน่วย : มิลลิเมตร

วันที่	ปริมาณน้ำฝนรายวัน											
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	0.0	0.0	25.1	0.4	4.5	14.9	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.9	7.7	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	18.0	0.0	5.5	0.0	12.7	9.0	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	2.7	0.0	1.4	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	43.6	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0
7	0.0	14.3	18.1	0.0	1.2	16.1	0.0	14.2	18.9	0.0	0.0	0.0
8	0.0	30.4	1.7	2.1	2.0	50.7	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	1.8	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	30.2	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	1.7	0.0	0.5	41.7	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.3	34.6	24.3	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	13.2	0.0	2.1	1.3	31.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.4	4.8	0.7	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	6.5	4.7	0.8	34.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	6.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.5	3.5	4.5	54.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.4	1.6	0.8	32.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	23.7	0.2	1.1	38.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	15.1	11.0	0.8	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	5.9	36.5	0.7	2.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	1.9	0.4	29.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	8.5	0.5	5.9	34.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	3.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	0.1	8.3	6.6	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0
26	0.0	31.6	1.0	0.3	2.9	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
27	0.0	2.7	3.1	0.0	14.8	18.3	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	15.9	10.2	1.5	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	33.7	0.0	0.5	0.0	7.4	3.2	0.0	0.0	0.0	-	24.1
30	0.0	21.9	0.5	0.0	0.4	0.5	82.4	0.0	0.0	0.0	-	18.1
31	-	0.0	-	0.0	7.6	-	32.0	-	0.0	0.0	-	0.0
รวม	33.9	189.9	188.1	129.9	128.3	430.4	148.3	38.6	27.6	0.0	0.0	42.2
เฉลี่ย	1.1	6.1	6.3	4.2	4.1	14.3	4.8	1.3	0.9	0.0	0.0	1.4

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณน้ำฝนรายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี 07811 บ้านทุ่งหลวง

หน่วย : มิลลิเมตร

วันที่	ปริมาณน้ำฝนรายวัน											
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	0.0	0.0	14.0	0.4	6.0	9.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	4.6	2.3	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	18.0	0.4	10.5	3.9	0.0	10.4	38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	2.7	0.0	54.6	14.2	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	31.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	4.0	3.2	15.0	0.0	41.7	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0
7	0.0	23.1	0.4	26.5	0.2	36.3	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	20.4	17.6	0.0	0.3	1.2	0.0	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	5.0	0.0	2.2	0.0	0.0	39.5	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	24.5	0.0	1.2	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	3.1	0.9	12.5	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	5.6	70.2	30.6	69.0	0.0	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0
13	13.2	4.5	6.4	18.0	15.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.4	2.3	15.7	10.0	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.1	4.2	0.0	50.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	7.0	0.4	15.0	0.7	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	3.8	26.8	2.8	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	19.7	5.0	0.0	5.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	2.0	0.0	0.0	2.2	23.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.5	3.6	10.5	0.0	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	7.5	22.0	0.7	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	6.0	26.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	50.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	2.5	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	1.4	2.5	1.1	0.0	2.2	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	5.7	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	11.5	0.0	0.0	8.0	0.0	34.0	0.0	0.0	0.0	-	31.6
31	-	0.0	-	0.3	40.7	-	12.0	-	0.0	0.0	-	0.0
รวม	33.9	127.4	199.9	291.5	145.5	413.6	132.9	102.3	6.1	0.0	0.0	31.6
เฉลี่ย	1.1	4.1	6.7	9.4	4.7	13.8	4.3	3.4	0.2	0.0	0.0	1.0

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณน้ำฝนรายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี 078B1 บ้านขุนวาง

หน่วย : มิลลิเมตร

วันที่	ปริมาณน้ำฝนรายวัน											
	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	0.0	0.0	21.2	1.4	0.0	21.8	1.7	54.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	28.5	0.0	22.8	14.0	3.2	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	2.3	29.4	0.0	2.5	5.4	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	23.7	0.0	38.1	1.4	2.9	15.8	16.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	12.4	0.0	41.5	6.3	0.8	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
6	0.0	0.0	0.0	16.3	2.1	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0
7	0.0	9.6	2.3	5.3	0.0	6.2	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	37.7	0.0	17.5	3.0	16.3	19.3	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	37.4	9.2	0.0	1.2	28.7	7.1	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	19.6	1.8	12.3	5.6	2.2	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	27.9	2.2	8.8	32.8	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	9.5	9.6	0.0	9.5	48.4	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	2.0	8.4	51.1	28.4	32.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	2.6	0.0	13.2	7.6	31.7	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	5.6	2.5	13.3	63.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
16	0.0	0.0	31.6	37.4	3.6	97.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	31.9	0.0	3.2	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	2.8	0.0	8.7	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	2.4	12.5	8.8	32.2	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	18.2
20	0.0	11.9	9.7	2.9	7.7	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1
21	2.7	14.4	4.4	9.7	3.2	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	5.4	2.7	2.2	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	5.3	20.9	28.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	25.2	6.9	2.4	40.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	6.6	4.4	17.0	0.0	44.2	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	6.4	0.0	23.8	0.0	4.9	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	15.1	5.1	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	10.2	6.0	0.0	15.1	6.8	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	3.0	5.4	0.0	25.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0
30	0.0	22.8	0.0	0.7	0.0	7.7	18.5	0.0	0.0	0.0	-	0.0
31	-	27.6	-	0.0	0.0	-	58.4	-	0.0	0.0	-	0.0
รวม	41.4	224.2	404.6	265.6	197.6	594.2	140.3	104.1	6.1	0.0	0.0	39.6
เฉลี่ย	1.4	7.2	13.5	8.6	6.4	19.8	4.5	3.5	0.2	0.0	0.0	1.3

ตารางภาคผนวกที่ 5 ปริมาณน้ำท่ารายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี P.82 บ้านสบวิน

หน่วย : ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

วัน	ปริมาณน้ำท่ารายวัน											
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	0.85	0.60	4.24	1.67	2.44	8.27	10.42	15.67	5.64	3.70	2.12	1.49
2	0.85	0.56	2.92	1.67	3.16	8.92	9.99	9.56	5.64	3.50	1.98	1.38
3	0.85	0.78	8.27	1.67	3.16	7.07	11.07	8.06	5.51	0.96	1.98	1.49
4	1.15	1.30	3.76	1.60	2.92	5.38	10.85	7.63	5.38	2.96	1.98	1.49
5	1.45	1.15	6.42	1.90	2.56	3.76	10.64	7.07	5.51	2.82	1.98	1.49
6	1.45	1.15	2.44	3.28	2.44	3.40	8.70	6.94	5.77	2.82	1.98	1.38
7	1.38	1.23	7.07	2.92	2.32	3.04	8.27	6.81	6.29	2.82	1.98	1.38
8	1.15	1.82	2.05	2.44	2.20	18.36	8.27	8.92	5.90	2.82	1.98	1.38
9	1.00	2.05	4.99	2.05	2.20	32.20	7.84	9.35	5.90	2.82	1.98	1.38
10	0.93	1.52	3.04	1.97	2.32	28.60	7.41	9.56	5.51	2.82	1.98	1.38
11	0.85	1.38	4.99	1.82	2.44	46.60	7.07	8.27	5.51	2.82	1.98	1.38
12	0.85	1.60	2.68	1.82	2.56	21.16	6.94	8.27	5.38	2.82	1.98	1.38
13	4.48	1.38	2.92	8.92	12.72	23.20	6.68	7.41	5.38	2.68	1.98	1.28
14	4.12	1.45	2.20	5.38	11.99	11.74	6.68	6.94	5.25	2.54	1.98	1.28
15	1.23	1.30	2.05	3.52	6.03	39.95	6.55	6.68	5.25	2.54	1.84	1.28
16	1.08	1.38	3.04	18.36	4.60	39.60	6.55	6.42	5.12	2.54	1.84	1.28
17	0.93	1.23	1.97	5.90	3.76	19.76	6.29	6.29	5.12	2.40	1.84	1.28
18	0.85	1.23	1.90	6.03	4.36	62.00	6.16	6.29	5.12	2.40	1.84	1.28
19	0.70	1.60	1.97	4.36	4.36	32.80	6.16	6.29	4.99	2.40	1.84	1.28
20	0.67	1.67	4.73	3.52	4.24	31.30	6.16	6.16	4.99	2.40	1.70	1.28
21	0.70	1.67	3.64	4.48	3.64	19.76	6.03	6.03	4.86	2.40	1.70	1.28
22	0.70	1.82	5.77	4.12	3.88	16.68	6.03	6.16	4.99	2.26	1.70	1.28
23	0.70	1.67	4.99	13.22	3.16	20.60	6.03	6.03	4.99	2.26	1.59	1.17
24	0.70	1.52	3.16	4.86	3.52	32.20	6.03	5.90	4.99	2.26	1.70	1.17
25	0.70	1.75	2.12	5.64	3.16	15.18	6.03	5.77	4.86	2.26	1.70	1.17
26	0.70	1.90	1.97	6.16	2.80	12.23	6.03	5.77	4.99	2.26	1.70	1.17
27	0.67	1.75	1.97	4.60	2.80	11.99	6.29	5.77	5.51	2.26	1.59	1.17
28	0.63	1.90	1.97	4.24	2.80	13.71	6.29	5.64	3.90	2.26	1.49	1.17
29	0.63	1.45	1.90	3.88	2.56	18.64	6.29	5.64	3.90	2.26	-	1.07
30	0.60	2.05	1.82	3.16	2.92	12.48	6.81	5.64	3.70	2.26	-	1.70
31	-	1.82	-	2.68	2.68	-	19.48	-	3.70	2.12	-	1.59
รวม	33.55	45.68	102.96	137.84	116.70	620.58	240.04	216.94	159.55	78.44	51.93	41.18
เฉลี่ย	1.12	1.47	3.43	4.45	3.76	20.69	7.74	7.23	5.15	2.53	1.85	1.33

ตารางภาคผนวกที่ 6 ปริมาณน้ำท่ารายวัน พ.ศ. 2548 ณ สถานี P.84 บ้านพันตน

หน่วย : ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

วัน	ปริมาณน้ำท่ารายวัน											
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	0.52	0.30	0.57	0.57	1.05	5.15	6.43	13.92	1.49	0.81	0.57	0.35
2	1.09	0.32	1.23	0.60	1.05	3.36	6.08	5.94	1.85	0.81	0.37	0.98
3	1.09	0.30	1.33	0.60	1.23	2.40	5.94	4.89	1.76	0.88	0.60	0.91
4	0.68	0.20	1.37	0.52	1.05	1.67	6.78	4.56	1.76	0.88	0.70	0.42
5	0.32	0.30	3.00	0.52	1.05	0.57	6.15	4.08	1.85	0.55	0.81	0.40
6	0.22	0.22	1.19	0.70	0.88	0.55	5.48	3.78	2.07	0.91	0.37	0.30
7	0.30	0.35	0.63	0.98	0.88	0.50	5.08	3.66	3.90	0.52	0.52	0.27
8	0.25	0.63	1.94	0.91	0.70	11.64	4.63	5.54	3.36	0.88	0.47	0.20
9	0.27	1.02	1.67	1.02	0.74	19.08	4.44	5.48	3.25	0.84	0.45	0.35
10	0.22	0.52	1.26	0.81	0.74	9.74	4.38	6.29	2.80	0.84	0.52	0.32
11	0.25	0.37	1.23	0.70	0.70	39.75	4.32	5.54	2.60	0.81	0.55	0.57
12	0.35	0.42	1.09	0.68	1.26	12.30	4.02	5.28	2.07	0.84	0.50	0.60
13	0.32	0.47	0.63	1.44	2.25	12.21	3.84	4.20	1.30	0.81	0.50	0.57
14	0.84	0.63	0.95	1.49	5.34	7.28	3.84	3.84	1.19	0.81	0.55	0.57
15	0.40	0.40	0.95	1.05	1.94	11.83	3.66	3.72	0.98	0.81	0.50	0.70
16	0.27	0.45	1.02	3.60	1.49	31.70	3.66	3.54	0.91	0.88	0.55	1.16
17	0.22	0.37	0.98	4.14	1.30	12.97	3.48	3.36	0.74	0.65	0.55	0.98
18	0.19	0.37	0.88	2.07	0.98	34.87	2.70	2.30	0.81	0.50	0.63	1.16
19	0.19	0.40	0.70	2.75	0.77	27.48	1.94	2.90	0.77	0.50	0.70	0.42
20	0.27	0.57	0.81	1.30	0.42	29.10	1.49	2.21	0.81	0.47	0.63	0.30
21	0.30	0.57	1.33	1.26	0.45	14.11	1.30	2.12	0.81	0.47	0.42	0.25
22	0.32	0.52	0.84	1.33	0.37	9.40	1.58	2.12	0.77	0.47	0.42	0.22
23	0.37	0.65	1.12	3.25	0.42	8.40	1.53	2.03	0.74	0.47	0.45	0.25
24	0.45	0.74	1.05	2.40	0.57	16.44	1.55	1.94	0.77	0.42	0.37	0.25
25	0.32	0.55	0.77	2.90	0.50	12.68	1.58	1.94	0.74	0.63	0.27	0.25
26	0.30	0.50	0.77	3.48	0.45	7.44	1.58	1.89	0.74	0.63	0.27	0.22
27	0.32	0.52	0.81	2.35	0.42	6.43	1.44	1.89	0.77	0.70	0.63	0.20
28	0.32	0.63	0.74	2.07	0.60	6.78	1.40	1.80	1.62	0.70	0.30	0.20
29	0.30	0.57	0.60	1.94	0.37	10.98	2.03	1.80	0.88	0.70	-	0.20
30	0.30	1.37	0.55	1.53	0.37	7.44	2.65	1.80	0.84	0.60	-	0.52
31	-	0.84	-	1.12	0.37	-	15.16	-	0.81	0.50	-	0.19
รวม	11.56	16.07	32.01	50.08	30.71	374.25	118.59	114.36	45.76	21.29	14.17	14.28
เฉลี่ย	0.39	0.52	1.07	1.62	0.99	12.48	3.95	3.81	1.48	0.69	0.51	0.46

ตารางภาคผนวกที่ 7 ปริมาณการใช้น้ำของพืช พ.ศ. 2548 ณ สถานีตรวจวัดอากาศ (37501) อ.เมืองเชียงใหม่

หน่วย : มิลลิเมตร

วัน	ปริมาณการใช้น้ำของพืชรายวัน											
	เม.ย.	**พ.ค.**	**มิ.ย.**	**ก.ค.**	**ส.ค.**	**ก.ย.**	**ต.ค.**	**พ.ย.**	**ธ.ค.**	**ม.ค.**	**ก.พ.**	**มี.ค.**
1	9.5	6.89	6.87	3.96	0.88	-	2.26	1.62	1.85	3.18	3.31	4.28
2	9.4	7.68	4.17	3.99	4.91	5.39	4.98	5.28	4.84	3.14	4.00	4.93
3	9.4	7.75	2.15	4.27	3.41	1.31	4.44	2.40	2.64	3.01	3.95	4.86
4	7.5	5.76	4.43	4.65	2.12	4.32	3.55	2.32	3.99	4.72	3.32	5.68
5	0.0	5.03	3.20	6.47	3.77	1.69	4.76	1.89	3.14	3.17	3.93	4.98
6	9.4	3.97	2.67	6.43	3.63	0.13	3.56	4.25	1.35	2.45	3.70	4.85
7	8.9	1.34	4.72	6.93	0.37	3.54	4.60	4.09	2.44	3.20	3.02	5.70
8	6.9	0.36	2.66	4.90	3.59	3.39	5.35	4.38	1.45	3.24	2.97	5.44
9	9.3	3.71	4.15	3.48	2.40	3.22	3.38	1.54	2.37	3.16	3.12	5.75
10	8.4	5.99	4.97	4.89	2.57	3.10	3.53	2.79	2.48	3.18	3.21	4.70
11	9.3	6.19	3.60	4.23	3.18	3.00	4.45	2.89	2.67	2.87	4.42	4.21
12	8.8	3.38	3.01	-	0.52	4.59	3.10	3.48	2.78	2.90	4.57	5.57
13	7.7	4.52	2.34	2.85	0.39	5.33	2.63	5.08	1.78	3.32	2.77	5.78
14	5.7	4.62	4.63	4.45	0.23	4.58	3.93	4.44	4.13	3.58	1.24	5.33
15	3.5	6.72	1.72	4.07	3.96	0.48	3.94	4.40	3.26	3.45	4.13	4.83
16	8.6	6.26	4.40	3.21	3.08	2.94	3.64	3.85	4.46	3.73	4.81	5.42
17	9.8	5.96	3.86	6.39	0.02	3.77	4.59	2.78	4.20	3.93	4.50	5.76
18	8.9	6.74	5.44	4.48	0.51	7.58	4.22	4.34	2.66	3.48	5.21	5.38
19	7.8	7.39	3.56	3.69	2.99	3.64	7.10	3.38	3.06	2.88	4.16	2.69
20	8.9	4.20	3.10	2.85	4.67	1.95	3.10	4.87	2.87	4.29	5.79	3.67
21	9.5	6.34	5.32	1.99	1.73	1.64	2.84	2.08	2.27	3.12	5.11	5.84
22	10.0	6.01	1.60	3.45	3.09	3.41	5.27	3.14	3.68	3.45	5.41	5.99
23	9.3	4.97	3.35	2.17	1.49	7.25	3.96	3.21	1.32	2.65	3.28	4.74
24	9.2	7.71	2.92	1.18	3.54	4.21	5.00	2.86	3.24	3.29	7.79	4.04
25	8.3	6.04	3.79	0.67	4.91	4.21	2.63	2.53	2.19	3.09	6.47	6.92
26	8.8	6.52	4.56	2.60	3.11	4.22	2.41	3.32	0.95	3.20	6.71	5.95
27	9.9	7.62	3.03	2.95	1.75	3.42	2.94	3.94	3.48	3.54	5.87	5.75
28	9.7	2.05	3.61	4.46	3.45	1.60	5.14	3.71	2.68	3.43	4.42	4.25
29	9.7	6.02	3.72	5.66	3.25	3.57	-	4.45	3.60	2.82	-	2.34
30	10.1	3.28	4.93	2.34	3.16	2.94	1.41	4.00	2.97	4.77	-	3.11
31	10.3	3.20	-	4.30	2.10	-	-	-	3.00	3.77	-	1.75
ราม	262.50	164.2	112.5	118.0	78.7	100.4	112.7	103.3	87.8	104.01	121.19	150.5
เฉลี่ย	8.47	5.30	3.75	3.93	2.54	3.46	3.89	3.44	2.83	3.36	4.33	4.85

ภาคผนวก ข

การจำแนกกลุ่มดินของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่

สำราจดิน (2522) ได้จัดทำแผนที่ดินจังหวัดเชียงใหม่ โดยแบ่งดินออกเป็น 66 ชุด แต่สำหรับในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วางนี้จะมีดินอยู่ 9 ชุดดินดังนี้

1. ดินชุดที่ 5 ดินราชบุรี (Rb : Ratchaburi series) พบในที่ราบน้ำท่วมถึง วัตถุต้นกำเนิดเป็นพวกตะกอนใหม่ที่น้ำพัดพามาทับถมไว้ทุกปี ๆ ปี สภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นที่ราบเรียบมีความลาดเอียง 0-1 % เป็นดินลึก การระบาบน้ำตามธรรมชาติค่อนข้างเลว ความสามารถในการซึมผ่านได้ช้าและมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง มักจะมีระยะเวลาที่น้ำท่วมขังอยู่ค่อนข้างนานในรอบปี ในฤดูแล้งดินจะค่อนข้างแข็งและมีรอยแตกระแหงอยู่ทั่วไป ดินชั้นบนหนาประมาณ 15-20 เซนติเมตร มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีพื้นเป็นสีน้ำตาลปนเทาเข้มมีจุดปะสีน้ำตาลแก่ ส่วนดินชั้นล่างลึกตั้งแต่ประมาณ 20 เซนติเมตร เป็นดินเหนียว สีพื้นเป็นสีน้ำตาล สีน้ำตาลเข้ม มีจุดปะสีน้ำตาลปนเหลือง

2. ดินชุดที่ 22 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดลำปาง/สันทราย (Lp/Sai : Lampang/San Sai association) มีเป็นลักษณะเป็นลานตะพักลำน้ำเก่าระดับต่ำหรือเป็นที่ราบเนินตะกอนรูปพัดเก่า หน่วยดินนี้มีดินชุดลำปางประมาณ 60% และดินชุดสันทรายประมาณ 40 % มีความลาดเอียง 0-2 % การระบายน้ำค่อนข้างเลว การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า ความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำช้า ดินชั้นบนหนาประมาณ 15-25 % มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย หรือดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาลปนเทาหรือสีน้ำตาลปนเทาเข้ม มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาลแก่ ส่วนดินชั้นล่างลึกตั้งแต่ 25 เซนติเมตร ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย สีเทา สีเทาอ่อนหรือสีเทาปนชมพู มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาลแก่

3. ดินชุดที่ 31 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดโคราช/ชุดสะตึก (Kt/Suk : Korat/Satuk assosiation) เป็นดินตะกอนลำน้ำเก่าเกิดตามลานตะพักลำน้ำเก่าระดับกลางสถาพพื้นที่เป็นที่ลูกคลื่นลอนลาด หน่วยดินนี้มีชุดดินโคราชประมาณ 60% และดินชุดสะตึกประมาณ 40% มีความลาดเอียง 0-8 % เป็นคินลึก การระบายน้ำดี ความสามารถให้น้ำผ่านได้ปานกลาง และมีความสามารถในการอุ้มน้ำปานกลาง ดินชั้นบนหนาประมาณ 20 เซนติเมตร เป็นดินร่วนปนทรายสีน้ำตาลปนเทาเข้มมากหรือสีน้ำตาลเข้ม ดินชั้นล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินร่วนปนดินเหนียว สีน้ำตาลแก่หรือสีเหลืองปนแดง

4. ดินชุดที่ 35 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดโคราช/ชุดห้างฉัตรประเภทลอนลาด (Kt/He-B : Korat/Hang Chat association, undulating phase) เกิดตามภูมิประเทศที่เป็นลานตะพักลำน้ำหรือตานเนินตะกอนรูปพัดเก่า วัตถุต้นกำเนิดเป็นพวกตะกอนลำน้ำเก่า สภาพพื้นที่เป็นที่ลูกคลื่นลอน มีความลาดเอียงส่วนใหญ่อยู่ในระหว่าง 2-8 % เป็นดินลึก การระบายน้ำดี ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง และมีความสามารภอุ้มน้ำปานกลาง ดินชั้นบบหนาประมาณ 15-20 % เซนติเมตร เป็นดินร่วนปนทรายแต่มีบ้างบางแห่งที่เป็นดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาลปนเทาเข้มมากหรือสีน้ำตาล ดินชั้นล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายจนถึงดินเหนียวปนทรายหรือดินเหนียว สีแดงปนเหลืองจนถึงสีแดง

5. ดินชุดที่ 40 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดแม่ริม/ชุดห้างฉัตรประเภทลอนชัน (Mr-c/Hc-c : Mae Rim/Hang Chat association, rolling phase) เกิดตามลานตะพักลำน้ำเก่าระดับสูงติดต่อกับเชิงเขา ชุดดินนี้มีดินชุดแม่ริมอยู่ประมาณ 60 % และดินชุดห้างฉัตรประมาณ 40% มีความลาดเอียงอยู่ประมาณ 8-16 % นอกจากบริเวณที่อยู่ริมห้วยทางน้ำหรือบริเวณใกล้เขา จะมีความลาดเอียงมากกว่านี้ เป็นดินลึกแต่มีก้อนกรวดก้อนหินปะปนอยู่ในเนื้อดินหนาแน่ในระดับตื้น เป็นดินที่มีการระบายน้ำดี ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลางถึงค่อนข้างเร็ว ดินชั้นบนหนาประมาณ 15-20 เซนติเมตร เป็นดินร่วนปนทรายหรือดินเหนียวปนดินร่วน สีน้ำตาลปนเทามากหรือสีน้ำตาลเข้ม ดินชั้นล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายปนกรวด ดินร่วนเหนียวปนกรวดจนถึงดินเหนัยวปนกรวดสีแดงปนเหลือง สีเหลืองปนแดง แค่บางแห่งมีสีน้ำตางแก่หรือสีน้ำตาลอ่อน

6. ดินชุดที่ 41 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดห้างฉัตรเชิงปูน/ชุดแม่ริมประเภทลอนลาด (Hc-ca/Mr-B : Hang Chat/Mae Rim association, undulating phase) เป็นดินที่อยู่ตามลานตะพักลำน้ำเก่าซึ่งบางส่วนอยู่ติดต่อกับเชิงเขาหินปูน สภาพพื้นที่เป็นที่ลูกลอนลาด ชุดดินนี้มีดินชุดห้างฉัตรเชิงปูนประมาณ 65% และมีดินชุดแม่ริมประมาณ 35% มีความลาดเอียงอยู่ในระหว่าง 2-8 % เป็นดินที่มีการระบายน้ำดี การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้าถึงเร็ว ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง เป็นดินลึกมาก ดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลเข้มถึงสีน้ำตาลปนแดงเข้ม ดินชั้นล่างตอนบนเป็นดินเหนียวสีแดงปนเหลืองถึงสีแดง ดินล่างตอนล่างเป็นดินเหนียวสีแดง มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองและสีน้ำตาล

7. ดินชุดที่ 48 ดินชุดปากช่องประเภทคละหินมาก (Pe-vst : Psk Chong series, very stony phase) เป็นชุดดินที่เกิดขึ้นตามลานตะพักลำน้ำเก่าติดต่อกับชุดดินห้างฉัตรลอนลาด ความลาดเอียงประมาณ 2-4 % เป็นดินลึก ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง และมีความสามารภอุ้มน้ำปานกลาง ดินชั้นบนหนาประมาณ 15-20 เซนติเมตร เป็นดินร่วนปนทรายหรือดินเหนียวปนทราย สีเทาเข้มหรือสีน้ำตาลปนเทาเข้ม ดินชั้นล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถึงดินเหนียว สีแดงปนเหลืองจนถึงสีแดง

8. ดินชุดที่ 59 หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดปงทอง/ชุดเลย (Po/Lo : Pong Tong/Loei assosiation) ชุดดินนี้มีต้นกำเนิดเกิดจากการผุพังสลายตัวของหินแกรนิต สภาพพื้นที่เป็นที่ลอนคลื่นและเนินเขา ชุดดินนี้มีชุดดินปงทองประมาณ 60% และชุดดินเลยประมาณ 40% มีความลาดเอียงอยู่ในระหว่าง 4-16 % เป็นดินลึก การระบายน้ำดี ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง และมีความสามารถในการอุ้มน้ำปานกลาง มีลักษณะดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว สีน้ำตาลปนเทาเข้มมากหรือสีน้ำตาลเข้ม ดินชั้นล่างเป็นดินเหนียวปนกรวด สีน้ำตางปนแดง

9. ดินชุดที่ 62 ดินชุดดอยปุยประเภทที่มีสภาพพื้นที่เนินเขา (Dp-D : Doi Pui series) เป็นชุดดินที่พบได้ตามบริเวณเขา เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินเป็นส่วนใหญ่ ดินในชุดดินนี้มีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนชัน มีความลาดเอียงอยุ่ระหว่าง 16-30 % เป็นดินลึกมีการระบายน้ำดี ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง และมีความสามารถในการอุ้มน้ำปานกลาง ดินชั้นบนหนาประมาณ 15-20 เซนติเมตร เป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลเข้มมาก หรือสีน้ำตาลแดง ดินชั้นล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียวจนถึงเหนียว สีน้ำตาลแดงเข้มและค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มหรือสีแดง

ภาคผนวก ค

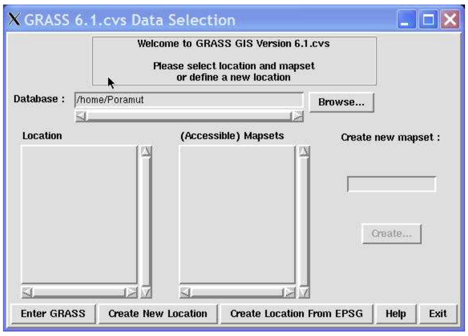
การใช้งานระบบภูมิสารสนเทศสาธารณสิทธิ GRASS

การติดตั้งและการเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม GRASS

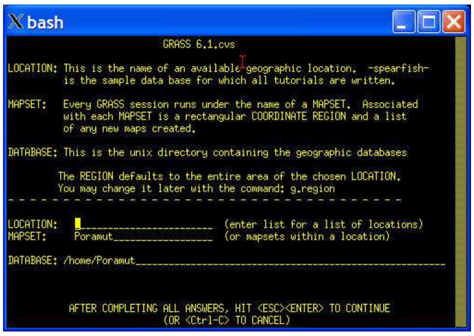
การติดตั้งโปรแกรม GRASS

การติดตั้งโปรแกรม GRASS สามารถดาวน์โหลดได้ในURL: http://www.grass.itc.it, http://www.gcog.uni-hanover.de/grass/ , http://geni.atx.cx/grass.html และ http://cygwin.com

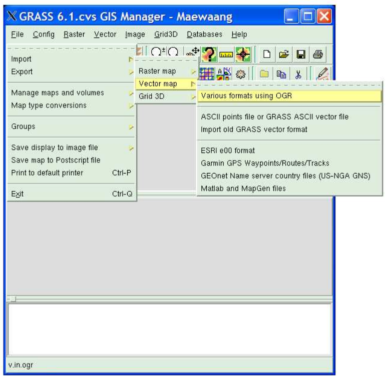
การเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม GRASS



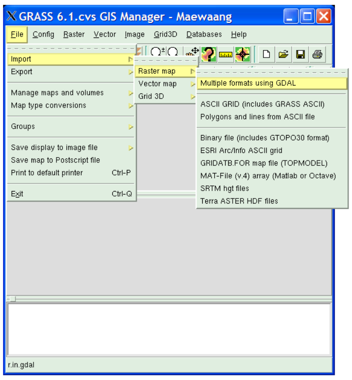
ภาพผนวกที่ 1 หน้าจอหลักเข้าโปรแกรม GRASS



ภาพผนวกที่ 2 การสร้างฐานข้อมูลใหม่ของพื้นที่ศึกษา

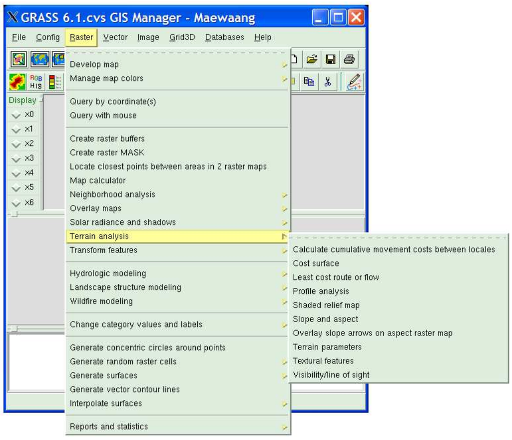


ภาพผนวกที่ 3 หน้าจอแสดงตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลชนิด Vector

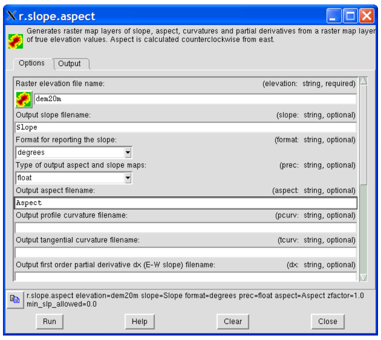


ภาพผนวกที่ 4 หน้าจอแสดงตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลชนิด Raster

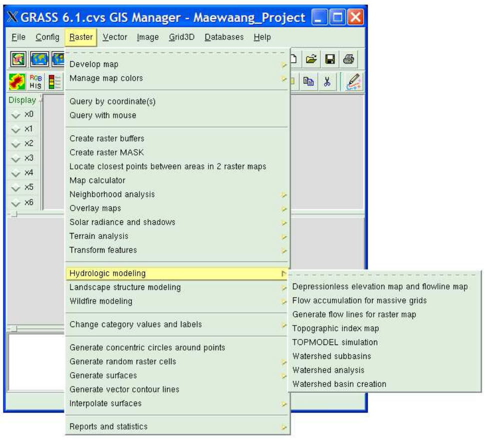
การประยุกต์ใช้ GRASS เพื่อจำลองลักษณะทางภูมิกายภาพ



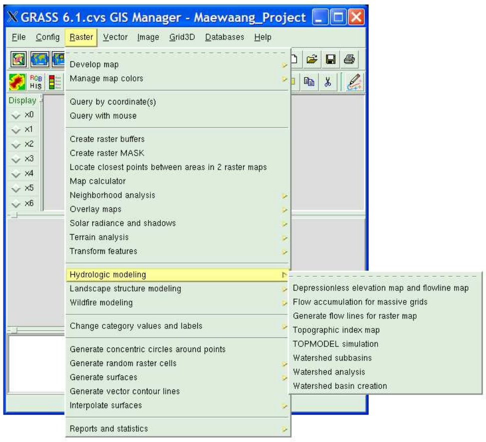
ภาพผนวกที่ 5 หน้าจอแสดงตัวอย่างการเรียกคำสั่งเพื่อสร้างข้อมูล Slope และ Aspect



ภาพผนวกที่ 6 หน้าจอคำสั่งการสร้างข้อมูล Slope และ Aspect

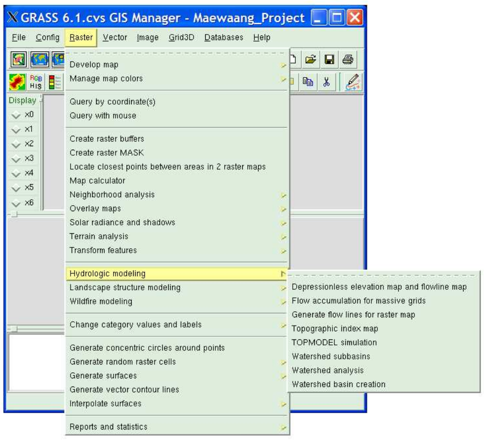


ภาพผนวกที่ 7 หน้าจอแสดงตัวอย่างการเรียกคำสั่งเพื่อสร้างข้อมูล Accumulation, Drainage, Subbasin และ Stream

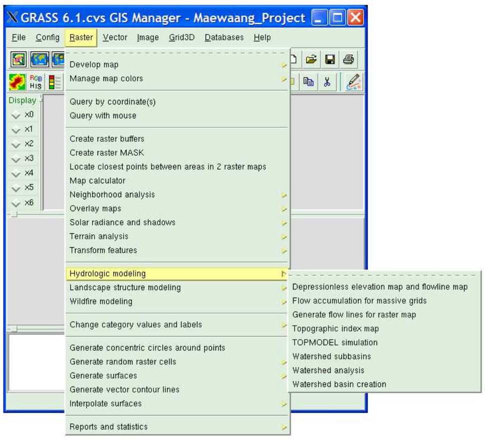


ภาพผนวกที่ 8 หน้าจอแสดงตัวอย่างการเรียกคำสั่งเพื่อสร้างข้อมูล Flow Direction และ Risk Flood Area

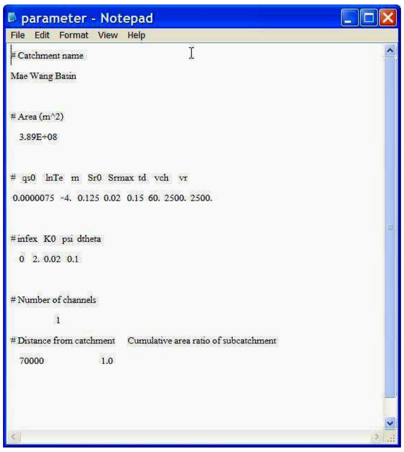
การประยุกต์ใช้ GRASS เพื่อจำลองลักษณะทางภูมิ-อุทก



ภาพผนวกที่ 9 หน้าจอแสดงตัวอย่างการเรียกคำสั่งเพื่อสร้างข้อมูลจุดตรวจสอบ (ข้อมูล Outlet)



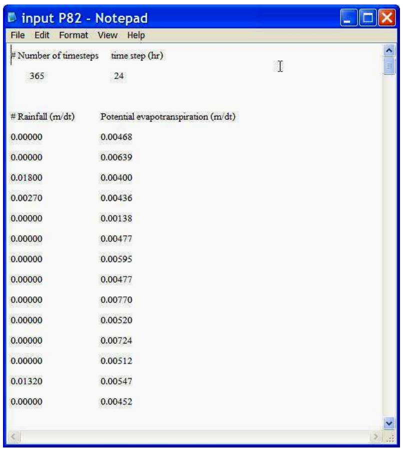
ภาพผนวกที่ 10 หน้าจอแสดงตัวอย่างการเรียกคำสั่งเพื่อจำลองปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง TOPMODEL



parameter - Notepad
File Edit Format View Help

```
# Catchment name
Mae Wang Basin

# Area (m^2)
  3.89E+08

# qs0  lnTe  m  Sr0  Srmax  td  vch  vr
 0.0000075  -4.  0.125  0.02  0.15  60.  2500.  2500.

# infex  K0  psi  dtheta
  0  2.  0.02  0.1

# Number of channels
            1
# Distance from catchment    Cumulative area ratio of subcatchment
  70000              1.0
```

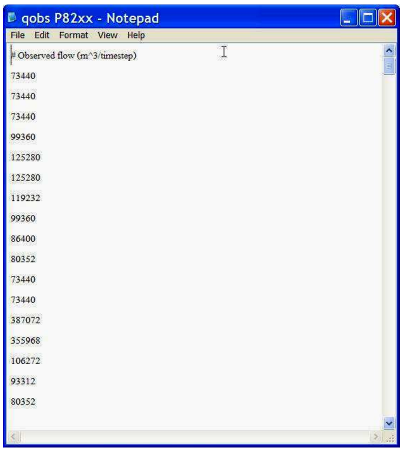
ภาพผนวกที่ 11 รูปแบบข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง



input P82 - Notepad
File Edit Format View Help

```
# Number of timesteps    time step (hr)
    365                 24

# Rainfall (m/dt)       Potential evapotranspiration (m/dt)
0.00000                 0.00468
0.00000                 0.00639
0.01800                 0.00400
0.00270                 0.00436
0.00000                 0.00138
0.00000                 0.00477
0.00000                 0.00595
0.00000                 0.00477
0.00000                 0.00770
0.00000                 0.00520
0.00000                 0.00724
0.00000                 0.00512
0.01320                 0.00547
0.00000                 0.00452
```

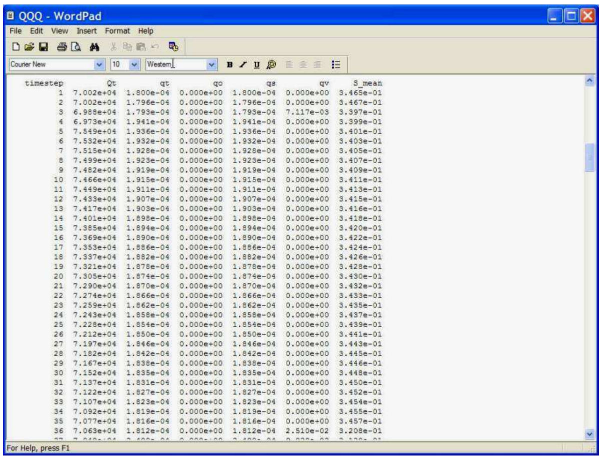
ภาพผนวกที่ 12 รูปแบบข้อมูลปริมาณน้ำฝนและการใช้น้ำของพืช



qobs P82xx - Notepad
File Edit Format View Help

```
# Observed flow (m^3/timestep)
73440
73440
73440
99360
125280
125280
119232
99360
86400
80352
73440
73440
387072
355968
106272
93312
80352
```

ภาพผนวกที่ 13 รูปแบบข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีที่ใช้ตรวจสอบ

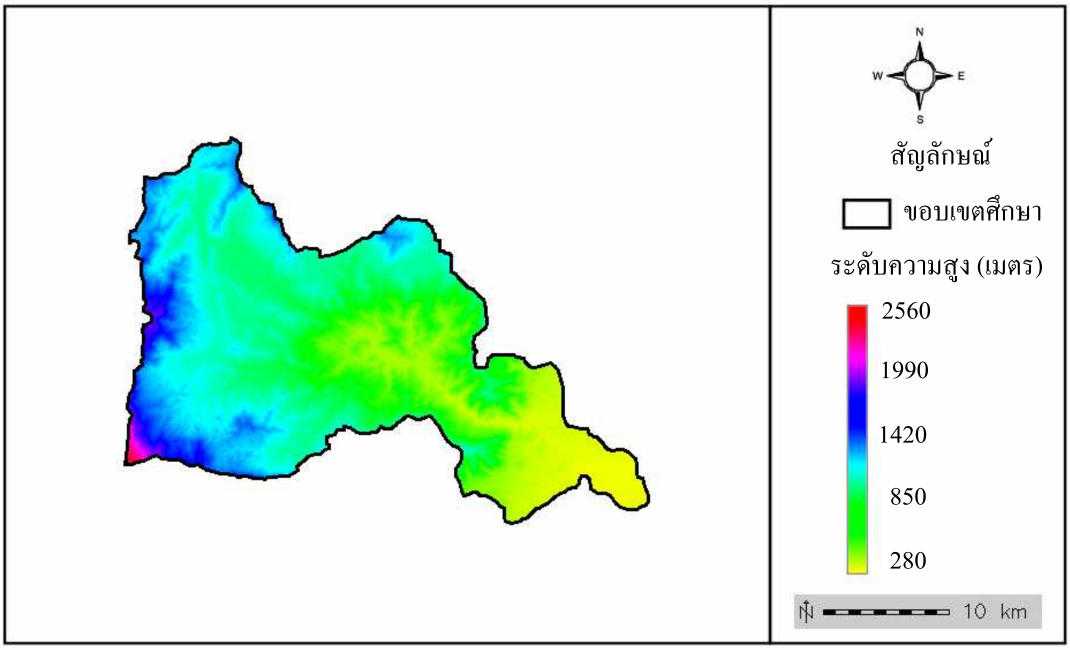


timestep	Qt	qt	qo	qs	qv	S_mean
1	7.002e+04	1.800e-04	0.000e+00	1.800e-04	0.000e+00	3.465e-01
2	7.002e+04	1.796e-04	0.000e+00	1.796e-04	0.000e+00	3.467e-01
3	6.988e+04	1.793e-04	0.000e+00	1.793e-04	7.117e-03	3.397e-01
4	6.973e+04	1.941e-04	0.000e+00	1.941e-04	0.000e+00	3.399e-01
5	7.549e+04	1.936e-04	0.000e+00	1.936e-04	0.000e+00	3.401e-01
6	7.532e+04	1.932e-04	0.000e+00	1.932e-04	0.000e+00	3.403e-01
7	7.515e+04	1.928e-04	0.000e+00	1.928e-04	0.000e+00	3.405e-01
8	7.499e+04	1.923e-04	0.000e+00	1.923e-04	0.000e+00	3.407e-01
9	7.482e+04	1.919e-04	0.000e+00	1.919e-04	0.000e+00	3.409e-01
10	7.466e+04	1.915e-04	0.000e+00	1.915e-04	0.000e+00	3.411e-01
11	7.449e+04	1.911e-04	0.000e+00	1.911e-04	0.000e+00	3.413e-01
12	7.433e+04	1.907e-04	0.000e+00	1.907e-04	0.000e+00	3.415e-01
13	7.417e+04	1.903e-04	0.000e+00	1.903e-04	0.000e+00	3.416e-01
14	7.401e+04	1.898e-04	0.000e+00	1.898e-04	0.000e+00	3.418e-01
15	7.385e+04	1.894e-04	0.000e+00	1.894e-04	0.000e+00	3.420e-01
16	7.369e+04	1.890e-04	0.000e+00	1.890e-04	0.000e+00	3.422e-01
17	7.353e+04	1.886e-04	0.000e+00	1.886e-04	0.000e+00	3.424e-01
18	7.337e+04	1.882e-04	0.000e+00	1.882e-04	0.000e+00	3.426e-01
19	7.321e+04	1.878e-04	0.000e+00	1.878e-04	0.000e+00	3.428e-01
20	7.305e+04	1.874e-04	0.000e+00	1.874e-04	0.000e+00	3.430e-01
21	7.290e+04	1.870e-04	0.000e+00	1.870e-04	0.000e+00	3.432e-01
22	7.274e+04	1.866e-04	0.000e+00	1.866e-04	0.000e+00	3.433e-01
23	7.259e+04	1.862e-04	0.000e+00	1.862e-04	0.000e+00	3.435e-01
24	7.243e+04	1.858e-04	0.000e+00	1.858e-04	0.000e+00	3.437e-01
25	7.228e+04	1.854e-04	0.000e+00	1.854e-04	0.000e+00	3.439e-01
26	7.212e+04	1.850e-04	0.000e+00	1.850e-04	0.000e+00	3.441e-01
27	7.197e+04	1.846e-04	0.000e+00	1.846e-04	0.000e+00	3.443e-01
28	7.182e+04	1.842e-04	0.000e+00	1.842e-04	0.000e+00	3.445e-01
29	7.167e+04	1.838e-04	0.000e+00	1.838e-04	0.000e+00	3.446e-01
30	7.152e+04	1.835e-04	0.000e+00	1.835e-04	0.000e+00	3.448e-01
31	7.137e+04	1.831e-04	0.000e+00	1.831e-04	0.000e+00	3.450e-01
32	7.122e+04	1.827e-04	0.000e+00	1.827e-04	0.000e+00	3.452e-01
33	7.107e+04	1.823e-04	0.000e+00	1.823e-04	0.000e+00	3.454e-01
34	7.092e+04	1.819e-04	0.000e+00	1.819e-04	0.000e+00	3.455e-01
35	7.077e+04	1.816e-04	0.000e+00	1.816e-04	0.000e+00	3.457e-01
36	7.063e+04	1.812e-04	0.000e+00	1.812e-04	2.510e-02	3.208e-01

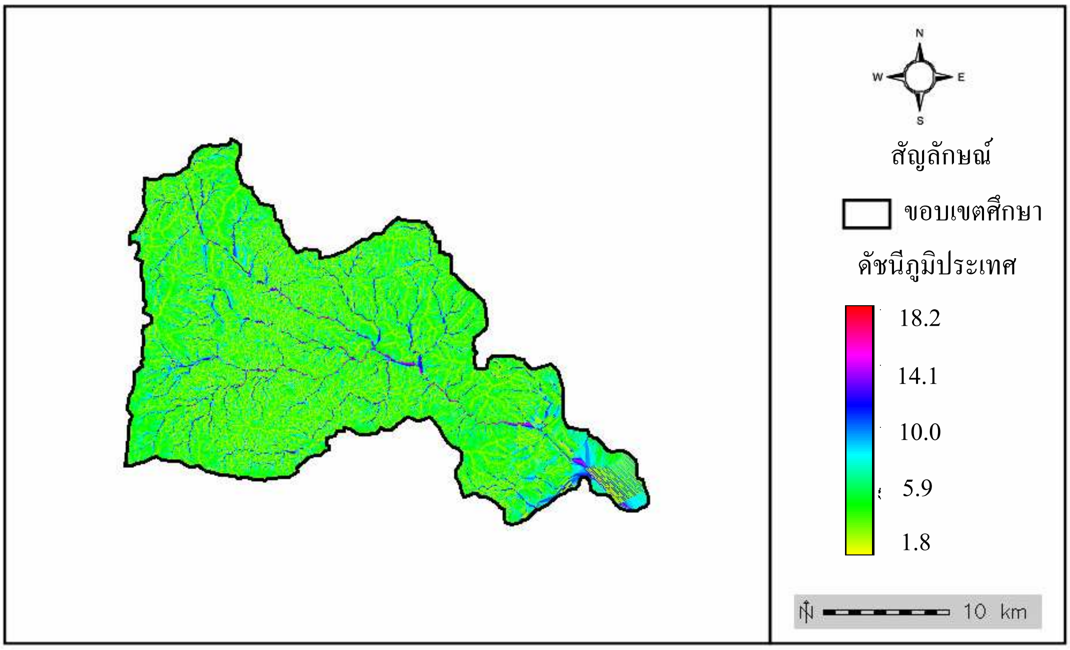
ภาพผนวกที่ 14 รูปแบบผลลัพธ์การจำลองด้วยแบบจำลอง TOPMODEL

ภาคผนวก ง

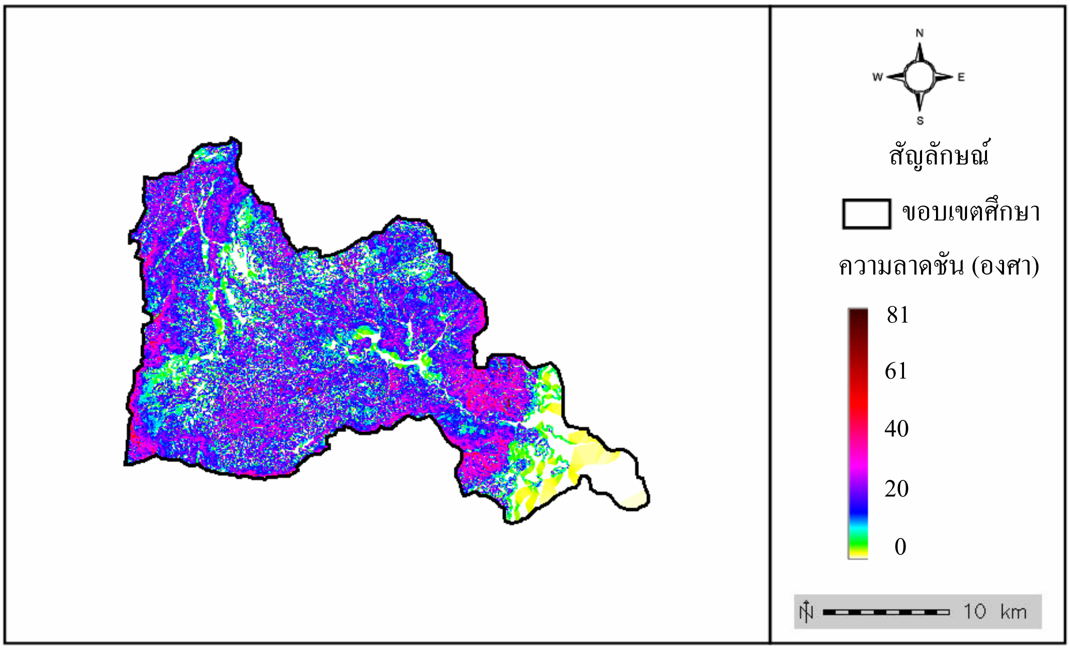
ข้อมูลการจำลองลักษณะทางกายภาพด้วย GRASS



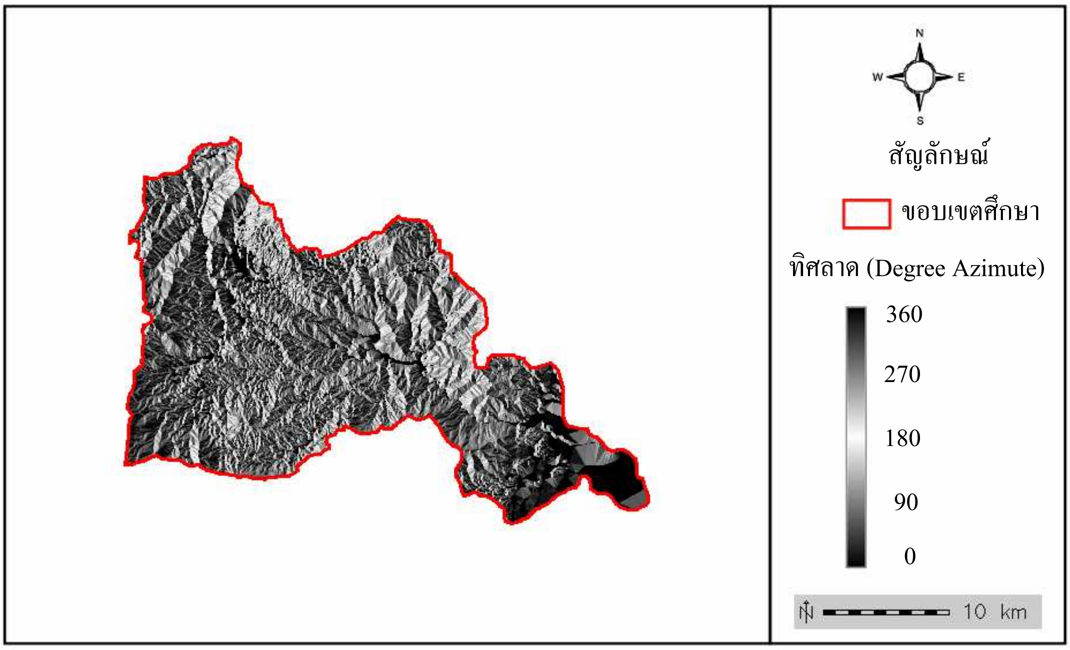
ภาพผนวกที่ 15 ข้อมูลภูมิสารสนเทศ DEM



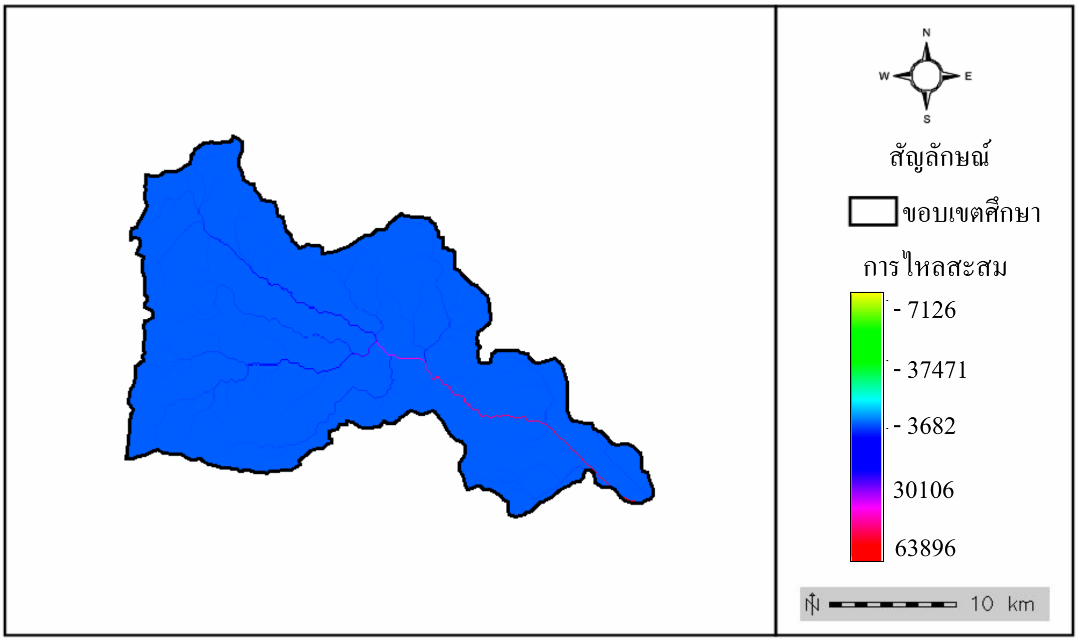
ภาพผนวกที่ 16 ข้อมูลภูมิสารสนเทศดัชนีภูมิประเทศ (Topographic Index)



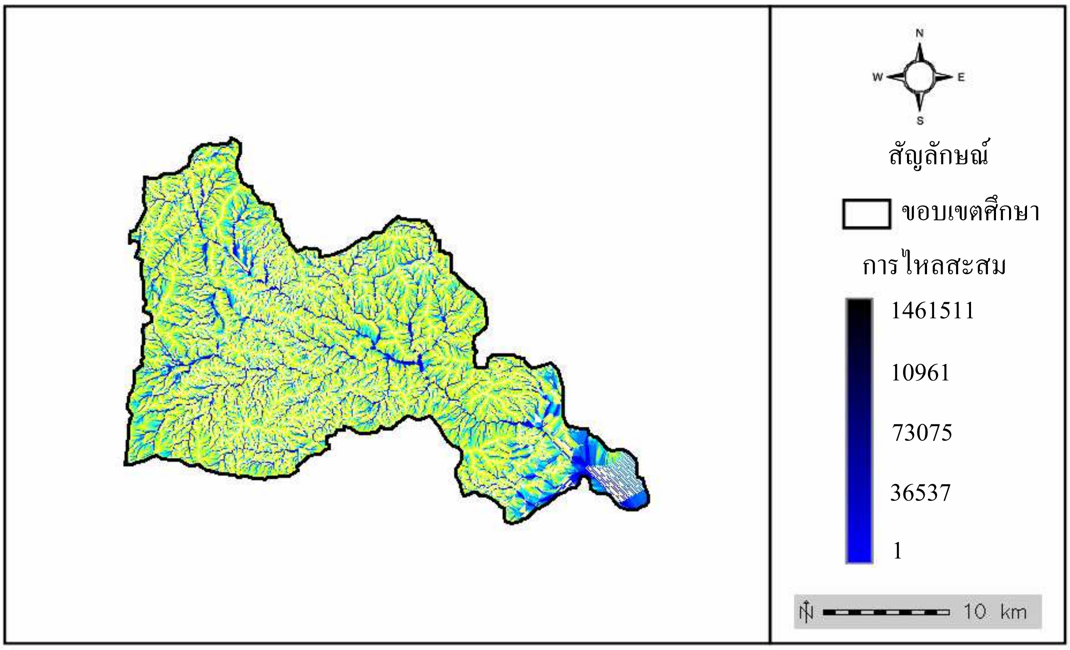
ภาพผนวกที่ 17 ข้อมูลภูมิสารสนเทศความลาดชัน (Slope)



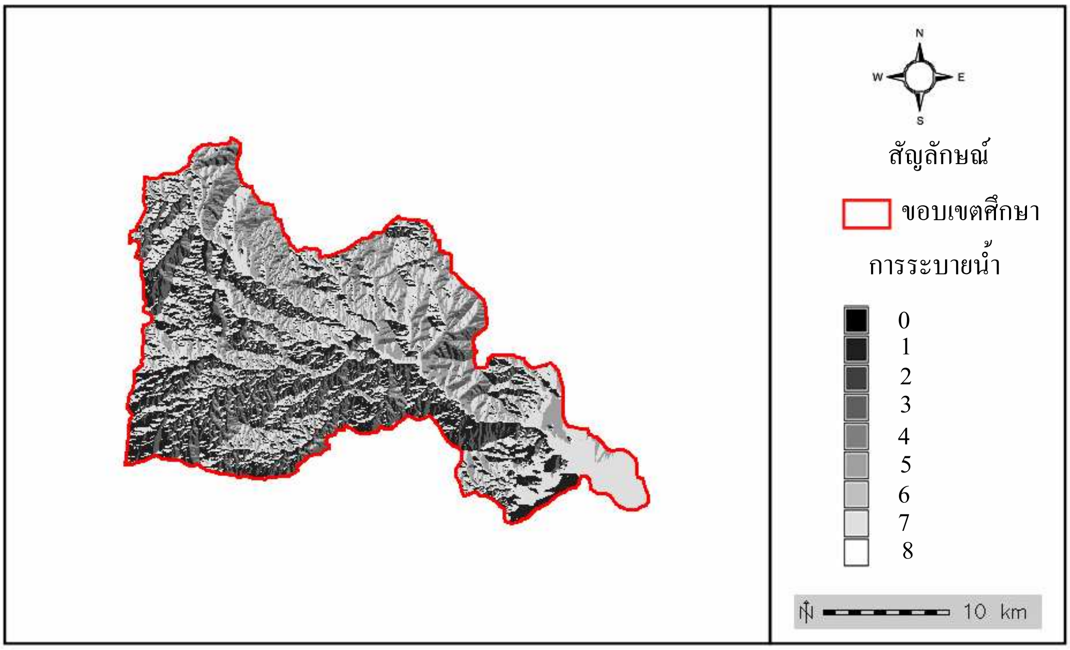
ภาพผนวกที่ 18_ ข้อมูลภูมิสารสนเทศทิศลาด (Aspect)



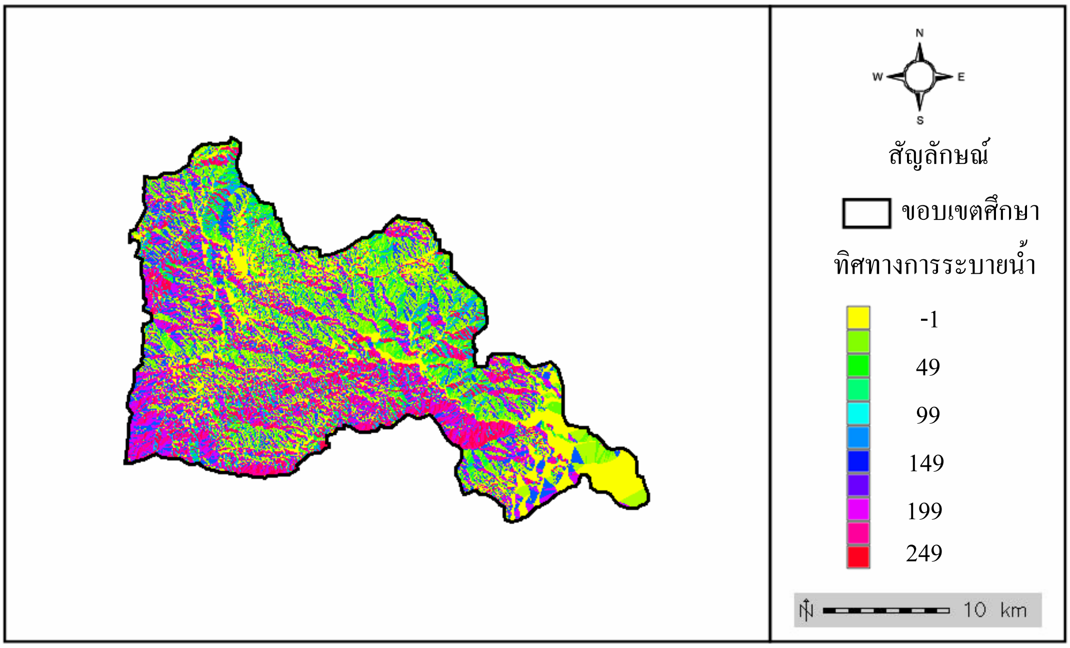
ภาพผนวกที่ 19 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการไหลสะสม (Accumulation)



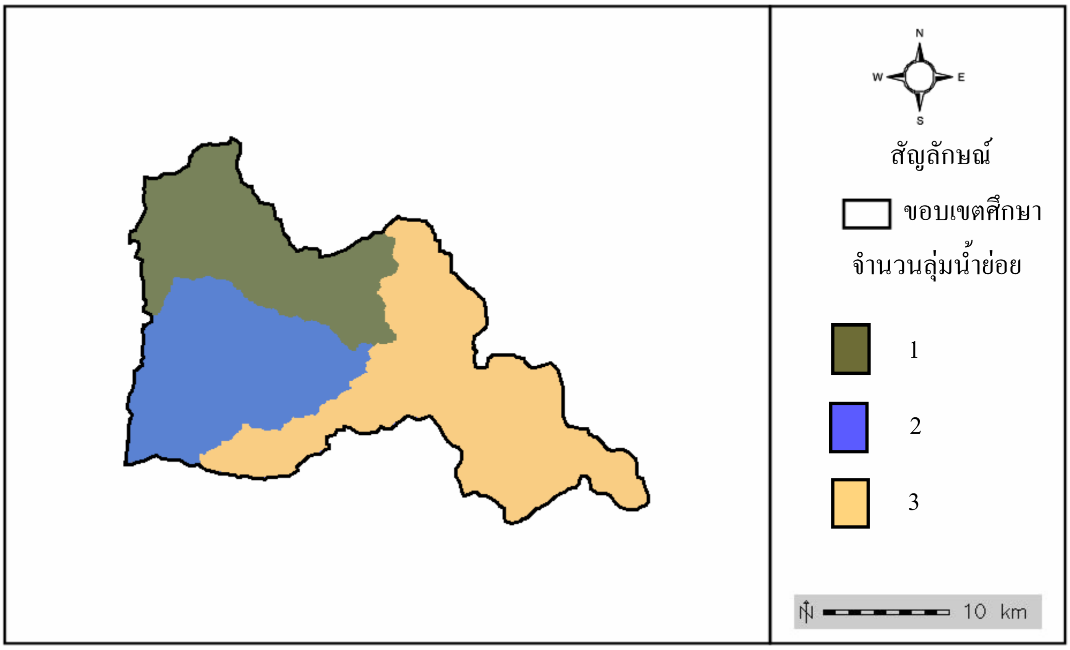
ภาพผนวกที่ 20 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการไหลสะสมหลายทิศทาง (Accumulation Grid)



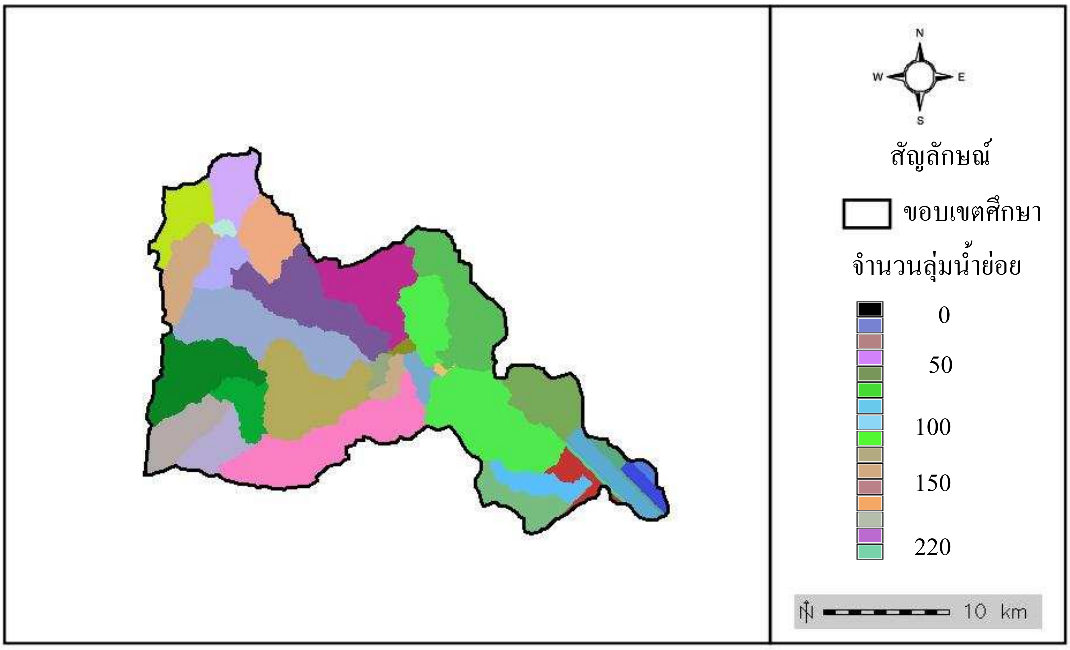
ภาพผนวกที่ 21 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการระบายน้ำ (Drainage)



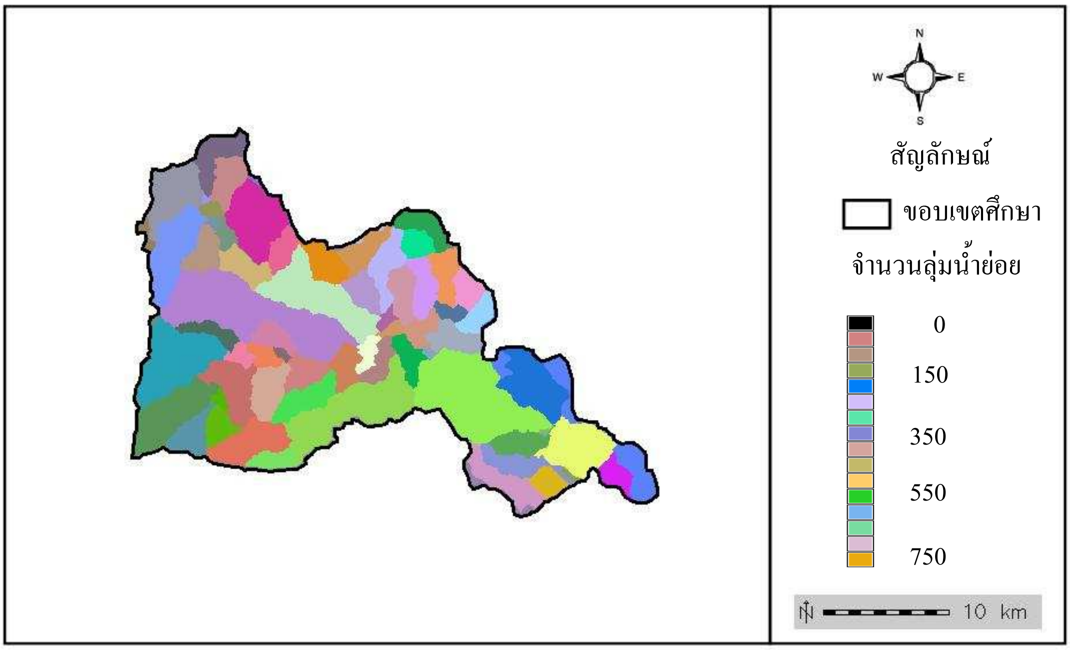
ภาพผนวกที่ 22 ข้อมูลภูมิสารสนเทศทิศทางการระบายน้ำ (Drainage Direction)



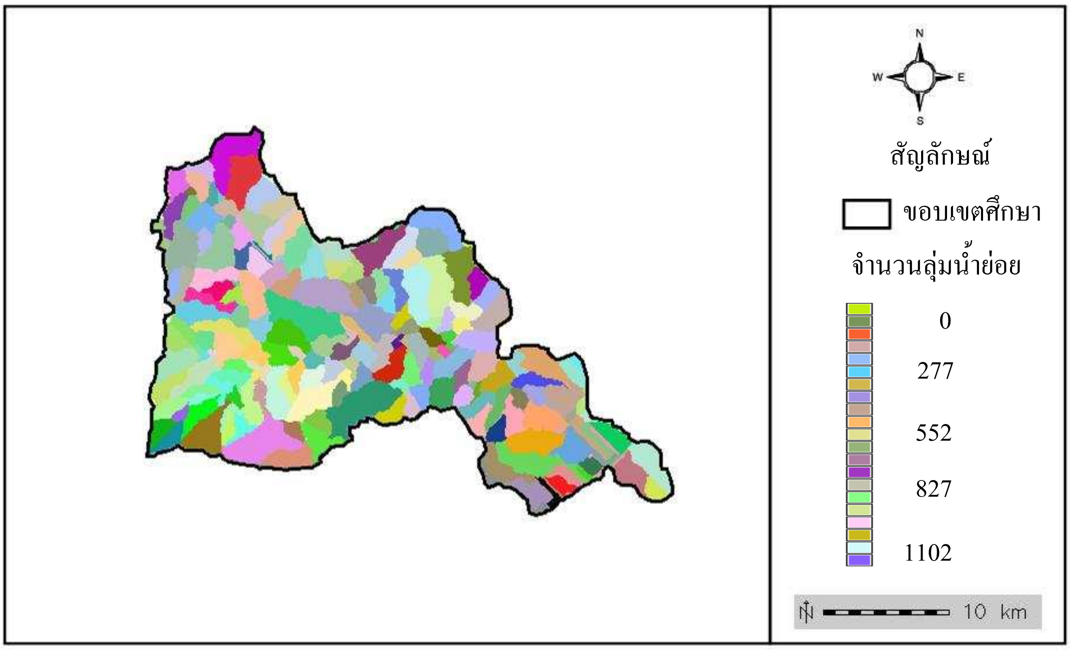
ภาพผนวกที่ 23 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลุ่มน้ำย่อย (Minimum Subbasin) 3 ลุ่มน้ำ



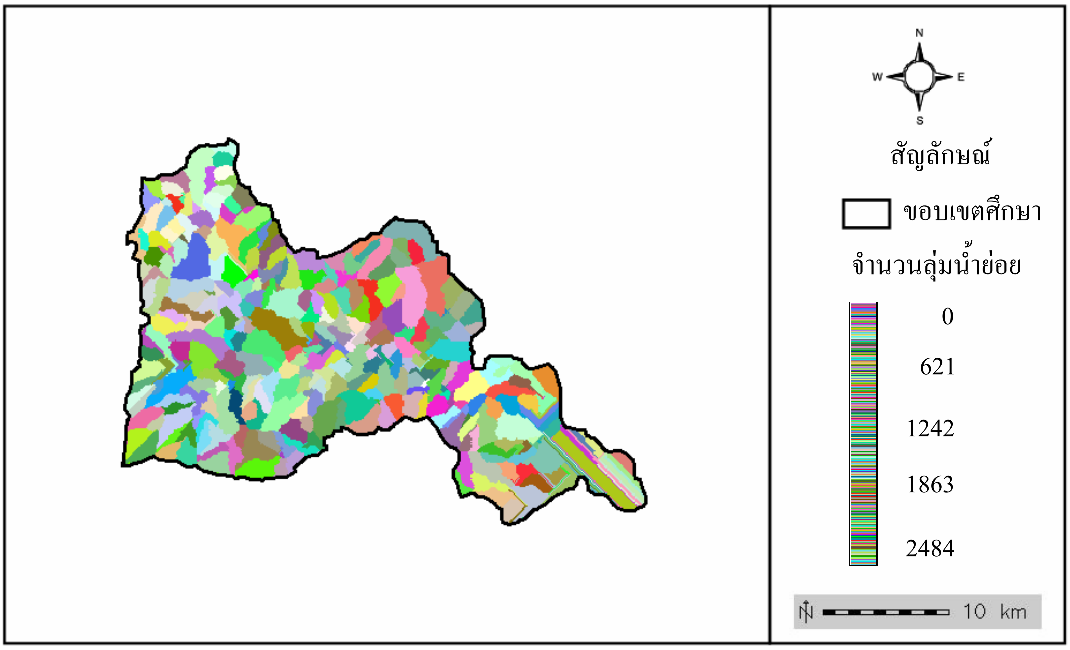
ภาพผนวกที่ 24 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลุ่มน้ำย่อย 220 ลุ่มน้ำ



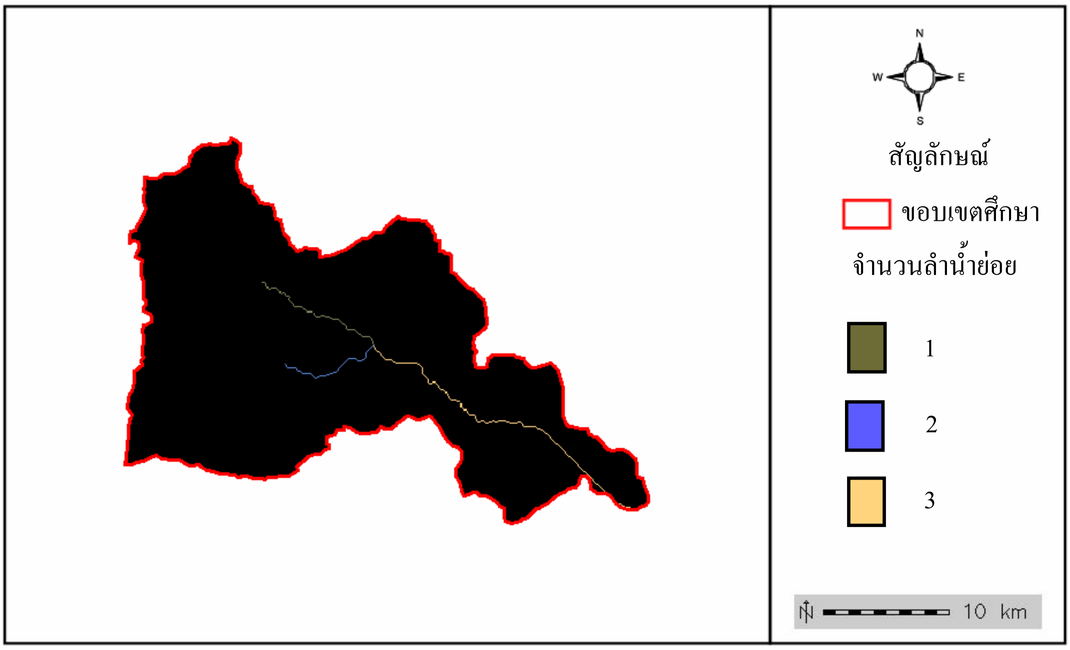
ภาพผนวกที่ 25 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลุ่มน้ำย่อย 750 ลุ่มน้ำ



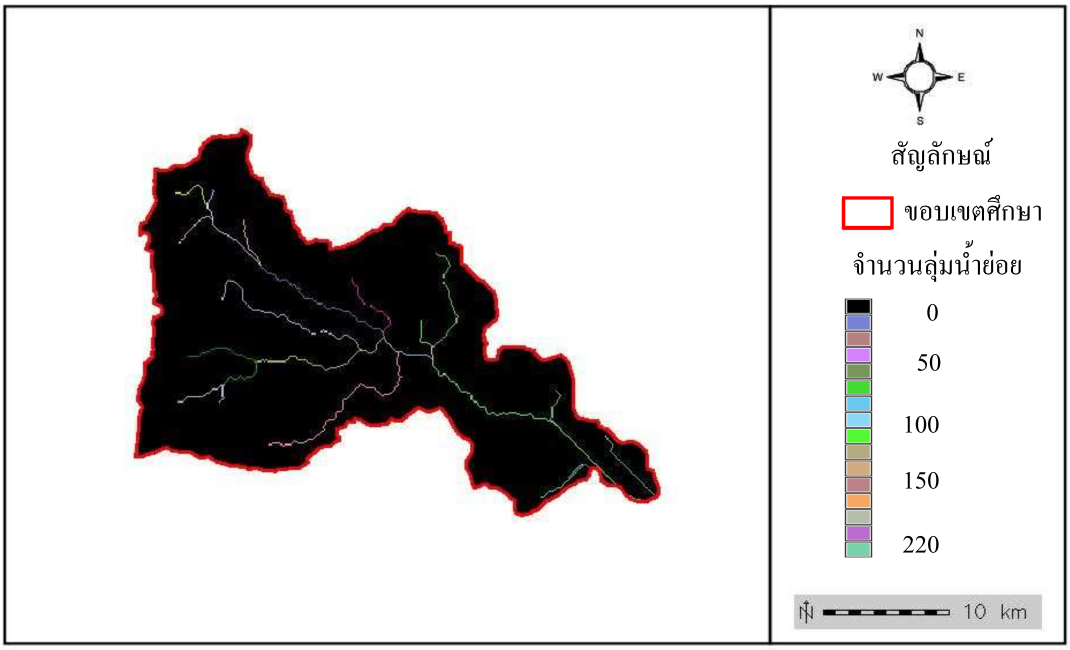
ภาพผนวกที่ 26 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลุ่มน้ำย่อย 1102 ลุ่มน้ำ



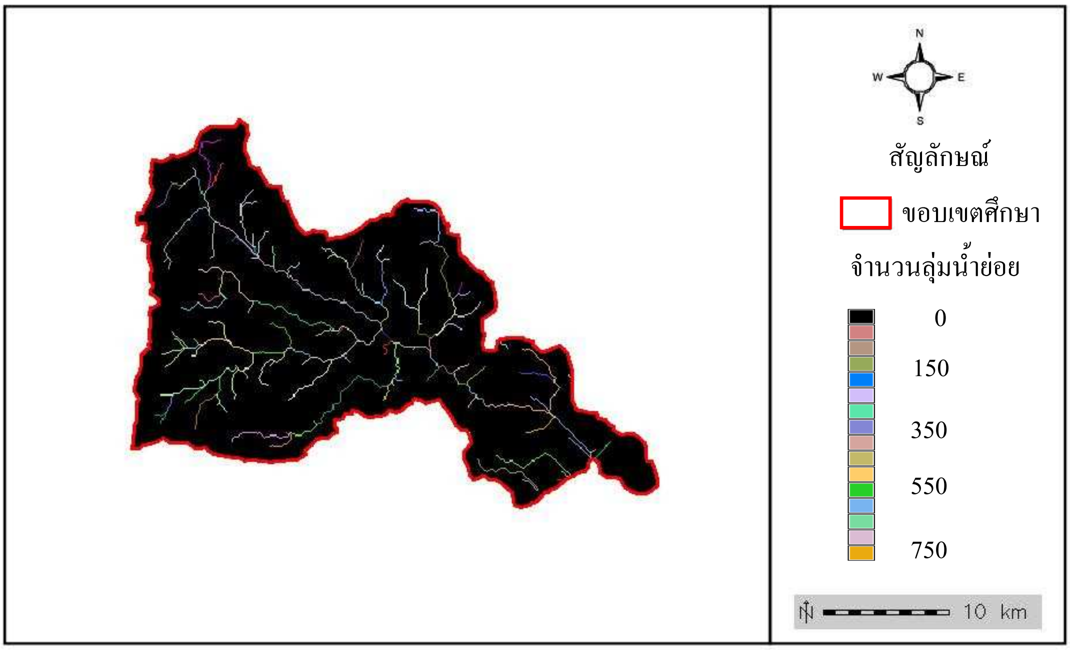
ภาพผนวกที่ 27 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลุ่มน้ำย่อย (Maximum Subbasin) 2484 ลุ่มน้ำ



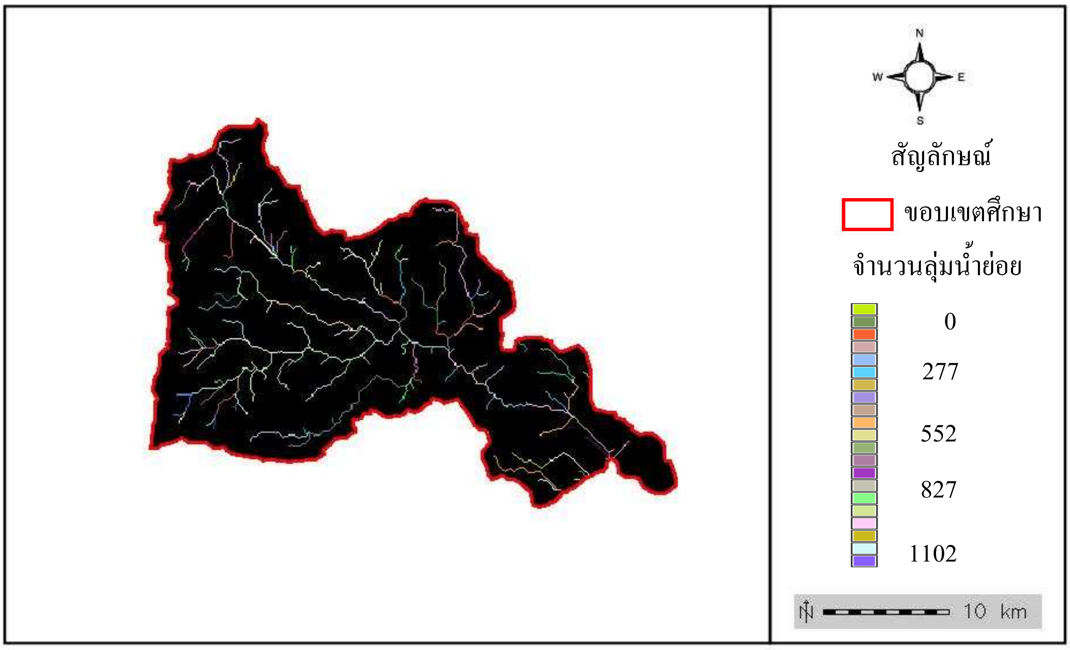
ภาพผนวกที่ 28 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลำน้ำย่อย (Minimum Stream) 3 ลำน้ำ



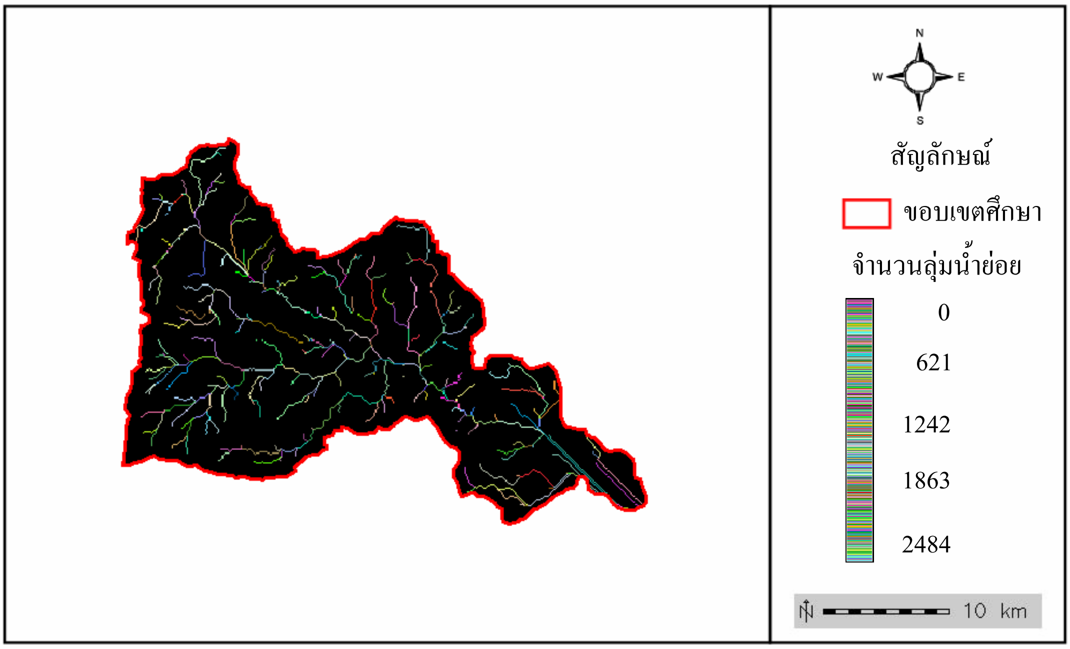
ภาพผนวกที่ 29 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลำน้ำย่อย 220 ลำน้ำ



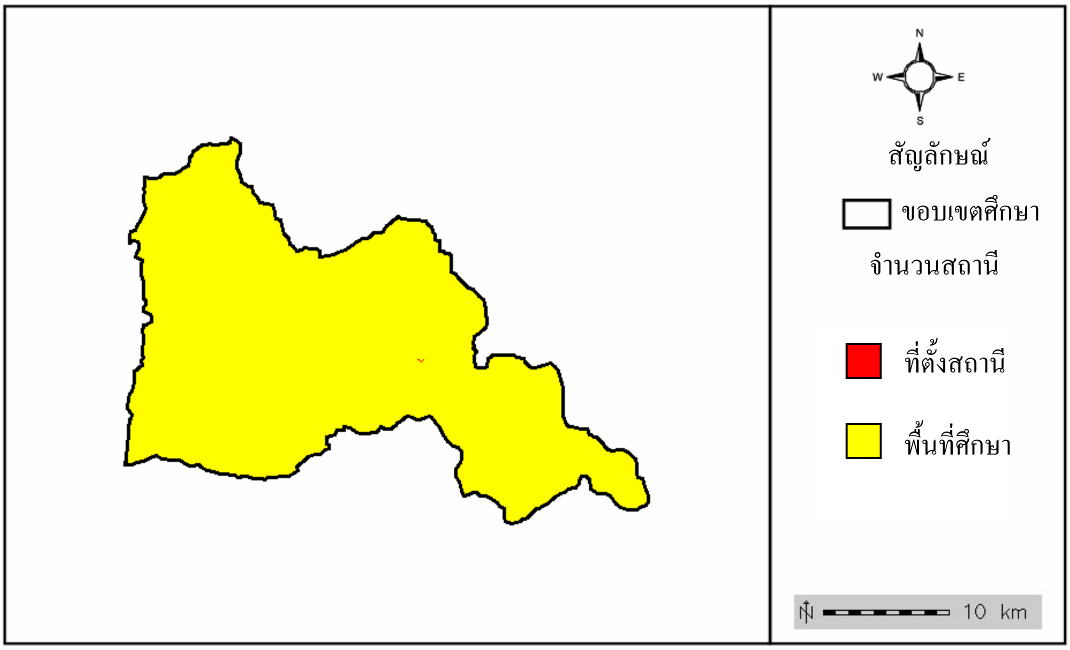
ภาพผนวกที่ 30 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลำน้ำย่อย 750 ลำน้ำ



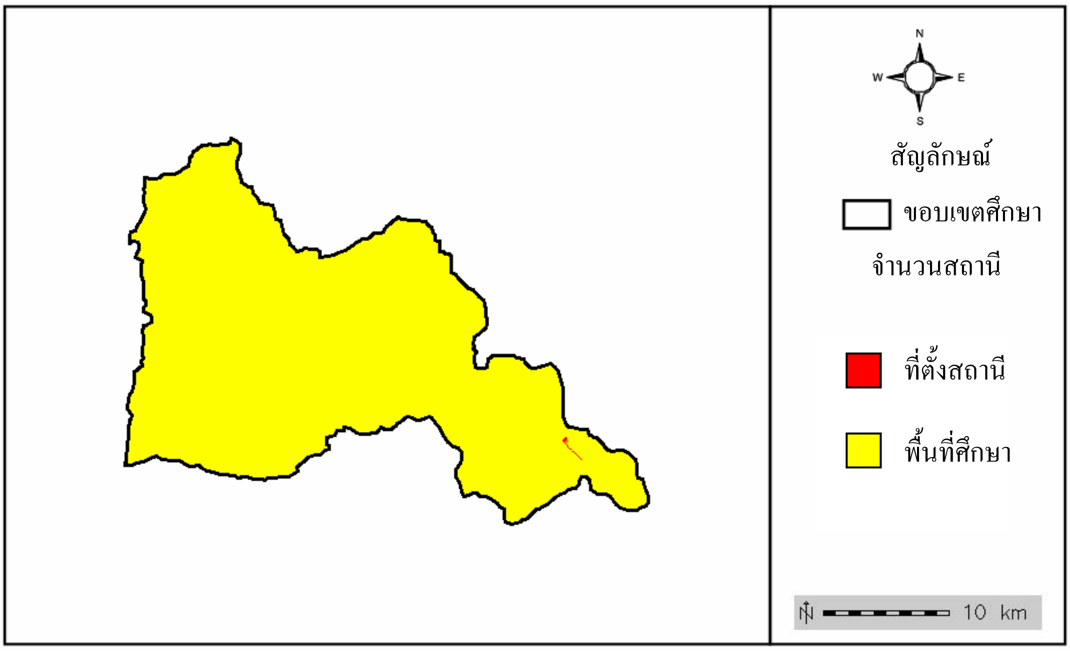
ภาพผนวกที่ 31 ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลำน้ำย่อย 1102 ลำน้ำ



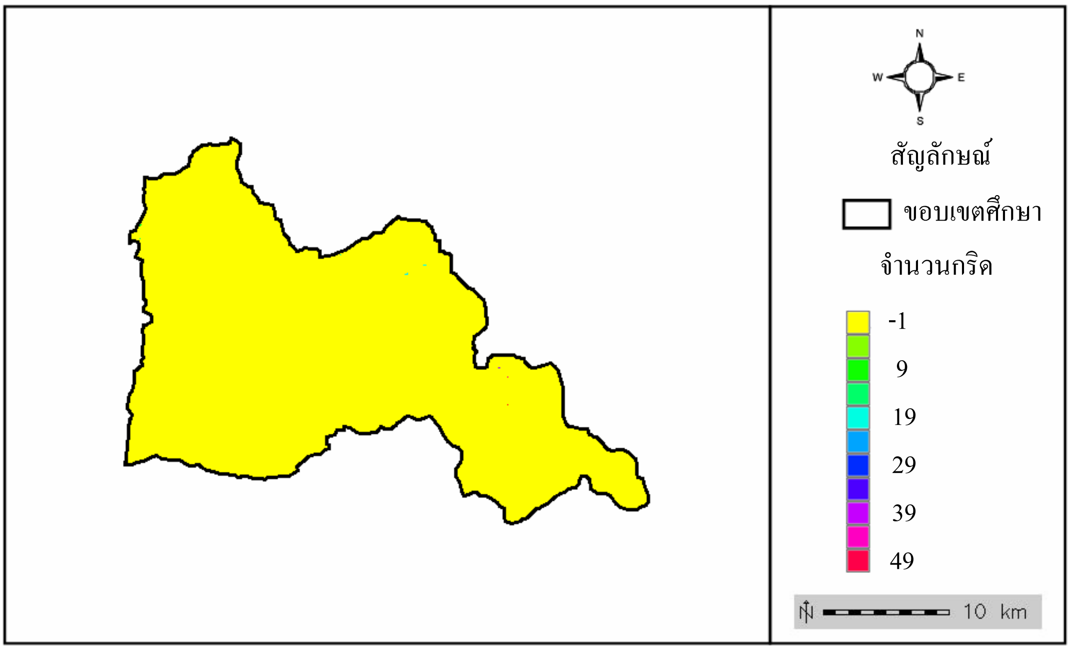
ภาพผนวกที่ 32_ ข้อมูลภูมิสารสนเทศการแบ่งลำน้ำย่อย (Maximum Stream) 2484 ลำน้ำ



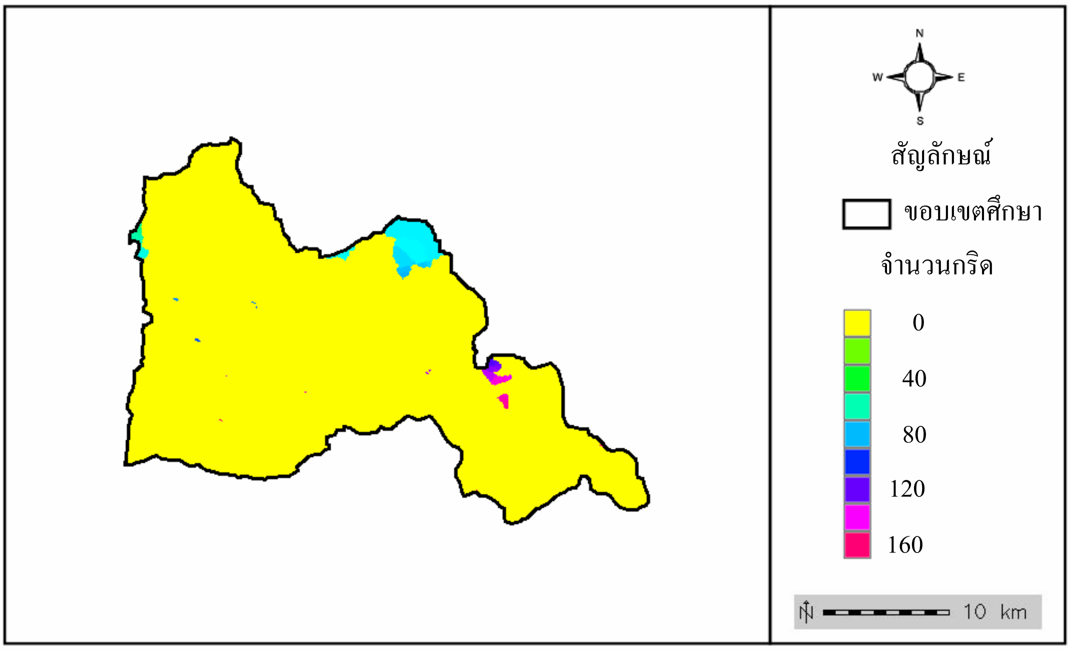
ภาพผนวกที่ 33 ข้อมูลภูมิสารสนเทศจุดตรวจสอบสถานี P.82 (Water Outlet)



ภาพผนวกที่ 34 ข้อมูลภูมิสารสนเทศจุดตรวจสอบสถานี P.84 (Water Outlet)



ภาพผนวกที่ 35 ข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นที่เสี่ยงภัย (Problem Area)



ภาพผนวกที่ 36 ข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นที่ที่เป็นแอ่ง (Sink Watershed)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายปรเมศวร์ นิตยวรรธนะ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 เดือนกันยายน พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดสุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา	(วิศวกรรมโยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (พ.ศ. 2546)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้จัดการหน่วยผลิต
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท นครหลวงคอนกรีต จำกัด มหาชน
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	