



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประยุกต์แบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย
จากพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก: กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

Application of the SWAT Model to Evaluate Runoff and Suspended Sediment
from a Small Watershed: A Case Study of Mae Phun Subwatershed,
Laplae District, Uttaradit Province

نامผู้วิจัย นายธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์กอบเกียรติ ผ่องพูลิ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งจธรรม, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์แบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย
จากพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก: กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

Application of the SWAT Model to Evaluate Runoff and Suspended Sediment
from a Small Watershed: A Case Study of Mae Phun Subwatershed, Laplae District,
Uttaradit Province

โดย

นายธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2554

ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ 2554: การประยุกต์แบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอยจากพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก: กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ, Ph.D. 119 หน้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย จากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล โดยใช้แบบจำลอง SWAT ในการวิเคราะห์ข้อมูล และศึกษาการกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำท่า และการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ รวมทั้งจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย โดยที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก ซึ่งไม่มีสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย จึงได้เก็บข้อมูลปริมาณน้ำท่าโดยวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย และตะกอนแขวนลอย เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

ผลการศึกษา พบว่า การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดที่ฝายทุ่งนากลาง และฝายหลวง มีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2) อยู่ในช่วง 0.574 ถึง 0.704 ค่า Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) อยู่ในช่วง 0.447 ถึง 0.645 และค่าร้อยละความแตกต่าง อยู่ในช่วง 0.769 ถึง 4.661 ส่วนการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ฝายหลวง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.690 ค่า NSE เท่ากับ 0.685 และค่าร้อยละความแตกต่าง เท่ากับ 9.298 ซึ่งเป็นค่าสถิติที่ยอมรับได้ และผลจากการประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอยจากแบบจำลอง SWAT ในช่วงวันที่ 1 พ.ย. 2552 ถึง 31 ต.ค. 2553 พบว่า มีปริมาณน้ำท่ารายปีรวม 32.209 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล รวมทั้งหมด 13,564.897 ตัน ซึ่งเดือนสิงหาคมเป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอยในลำน้ำมากที่สุด เนื่องจากอิทธิพลของปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ และมีปริมาณการสูญเสียดินในลุ่มน้ำย่อยแม่พูลเฉลี่ยทั้งหมด เท่ากับ 5.436 ตัน/เฮกเตอร์/ปี โดยมีระดับความรุนแรงของการสูญเสียดินในระดับน้อย ร้อยละ 95.14 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณการสูญเสียดินระดับปานกลาง ร้อยละ 3.50 และปริมาณการสูญเสียดินระดับรุนแรง ร้อยละ 1.36 สำหรับการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย พบว่า ลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ป่าไม้มาก จะทำให้น้ำท่านอกช่วงฤดูฝนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนลดลง และมีปริมาณตะกอนแขวนลอยลดลงทั้งนอกช่วงฤดูฝนและในช่วงฤดูฝน รวมทั้งมีปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำลดลง

Teerawat Suwanlertcharoen 2011: Application of the SWAT Model to Evaluate Runoff and Suspended Sediment from a Small Watershed: A Case Study of Mae Phun Subwatershed, Laplae District, Uttaradit Province. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Kobkiat Pongput, Ph.D. 119 pages.

The objective of this study is to evaluate runoff and suspended sediment from the Mae Phun subwatershed, to evaluate runoff and soil erosion distribution in the watershed and to simulate the effects of land use on runoff and suspended sediment through the application of the SWAT model. Mae Phun is a small watershed which still has no observed runoff and sediment stations installed in the area, so the data of runoff and suspended sediment were collected by weirs and sampling. The collected data were used for calibrating with the model.

The results showed that the model calibration between observed and simulated flows at Thoungnaklang and Failuang weirs. The results were stated as; the coefficient of determination (R^2) varies from 0.574 to 0.704, Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSE) varies from 0.447 to 0.645, and the relative difference ranges from 0.769% to 4.661%. For the model calibration of suspended sediment at Failuang weir. The results were stated as; the R^2 is 0.690, NSE is 0.685 and relative difference is 9.298% which can be acceptable statistically. The assessment of runoff and suspended sediment was done during November 1, 2009 to October 31, 2010 that indicated the total annual runoff volume is 32.209 MCM and total suspended sediment from the Mae Phun subwatershed is 13,564.897 tons. The highest runoff and suspended sediment are occurred on August which resulted from rainfall in the watershed area. The total average of soil loss in the Mae Phun subwatershed is 5.436 t/ha/y. Severity levels of soil loss can be categorized into slight, moderate and severe levels with shares of 95.14%, 3.50%, and 1.36% of watershed area, respectively. For the land use simulation on runoff and suspended sediment, the result showed that the watershed with large forest land has increased runoff volume in the dry period, on the other hand, it has decreased runoff volume in the wet period. While suspended sediment is decreased both dry and wet periods, the amount of soil loss in watershed area is also decreased.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ตั้งจธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัยตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนิมิตร พุกงาม ประธานการสอบ และ อาจารย์ ดร.ไมตรี ดวงสวัสดิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้คำแนะนำในการปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่องจากการสอบ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้อง และสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์วิทยาลัยสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ ชาวสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ช่วยเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่พ่อ แม่ ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และการสนับสนุนด้านการศึกษากับผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง รวมทั้งทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจ และมีความห่วงใยมาโดยตลอด

ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ
ตุลาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	55
สรุปและข้อเสนอแนะ	87
สรุป	87
ข้อเสนอแนะ	91
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	94
ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก รายละเอียดลักษณะกลุ่มชุดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	99
ภาคผนวก ข การติดตั้งแผ่นวัดระดับน้ำ และลักษณะโครงสร้างของฝาย	103
ภาคผนวก ค ผลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายในพื้นที่ศึกษา	107
ภาคผนวก ง ผลการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยในพื้นที่ศึกษา	112
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	119

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือนและค่าเฉลี่ยรายปีในคาบ 30 ปี ของตัวแปรภูมิอากาศ	6
2 พื้นที่ของกลุ่มชุดดินต่างๆ ในบริเวณพื้นที่ศึกษา	7
3 พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินต่าง ๆ ในบริเวณพื้นที่ศึกษา	9
4 ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีต่อผลการคำนวณปริมาณการไหล ในแบบจำลอง SWAT	27
5 เกณฑ์ที่ใช้กำหนดในการเปรียบเทียบและทดสอบ (calibration/validation) แบบจำลอง	30
6 เกณฑ์ในการใช้ค่า R^2 และ r ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงเส้น	30
7 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจากหน่วยงานต่างๆ	39
8 สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	42
9 จุดตรวจวัดปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอยในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	44
10 การกำหนดรหัสตัวอักษร ตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง SWAT	50
11 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล จากการคำนวณ ของแบบจำลอง SWAT	57
12 พารามิเตอร์ที่อ่อนไหวสำหรับปริมาณน้ำท่า	61
13 พารามิเตอร์ที่อ่อนไหวสำหรับตะกอน	62
14 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่า	63
15 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ	67
16 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในช่วงการคำนวณระหว่าง พฤษภาคม 2552-ตุลาคม 2553	70
17 ปริมาณน้ำท่ารายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในช่วงการคำนวณ ระหว่าง พฤษภาคม 2552-ตุลาคม 2553	71
18 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำรายเดือนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	73
19 ปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	74
20 ผลการวิเคราะห์การจำแนกชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	77
21 พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินต่างๆ ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล จากการกำหนดการจำลอง สถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน	81
22 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน ช่วงการคำนวณระหว่าง พฤษภาคม 2552-ตุลาคม 2553	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
23	เปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน ช่วงการคำนวณระหว่าง พฤศจิกายน 2552-ตุลาคม 2553	83
24	ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน ช่วงการคำนวณระหว่าง พฤศจิกายน 2552-ตุลาคม 2553	84
25	ผลการวิเคราะห์การจำแนกชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดิน ในแต่ละกรณี การใช้ประโยชน์ที่ดิน	85
ตารางผนวกที่		
ค1	ผลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายในพื้นที่ศึกษา	108
ง1	ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอย และการคำนวณปริมาณตะกอนแขวนลอยให้มีหน่วยเป็นตัน ณ จุดตรวจวัดที่ฝายหลวง	113
ง2	ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายวันจากสมการโค้งปริมาณตะกอนแขวนลอย (sediment-discharge rating curve) ณ จุดตรวจวัดที่ฝายหลวง	115

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สภาพทั่วไป บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	5
2	ลักษณะกลุ่มชุดดิน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	8
3	การใช้ประโยชน์ที่ดิน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	10
4	แผนผังของวงจรถูกทวิทยา	16
5	กระบวนการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำของแบบจำลอง SWAT	21
6	ลักษณะฝายสันคม (sharp-crested weirs)	31
7	ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	32
8	ลักษณะฝายสันกว้าง (broad-crested weir)	33
9	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	38
10	ชั้นความสูงเชิงตัวเลข และเส้นแนวลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	41
11	ตำแหน่งสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	43
12	ตำแหน่งจุดตรวจวัดปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอยในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	45
13	ขั้นตอนการเตรียมกระดาศกรองใยแก้ว	47
14	ขั้นตอนการวิเคราะห์หาตะกอนแขวนลอยโดยการกรองด้วยกระดาศกรอง GF/C	47
15	การแบ่งขอบเขตลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	56
16	ชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และความลาดชันของพื้นที่ที่ใช้ในการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ	59
17	เปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดแบบรายวัน ที่ฝายทุ่งนากลาง	64
18	ความสัมพันธ์การกระจายตัวระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด ที่ฝายทุ่งนากลาง	64
19	เปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดแบบรายวัน ที่ฝายหลวง	66
20	ความสัมพันธ์การกระจายตัวระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ที่ฝายหลวง	66
21	เปรียบเทียบระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากการตรวจวัดแบบรายวัน ที่ฝายหลวง	68
22	ความสัมพันธ์การกระจายตัวระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากการตรวจวัด ที่ฝายหลวง	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
23 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในช่วงการคำนวณระหว่าง พฤษภาคม 2552-ตุลาคม 2553	69
24 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำท่ารายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	72
25 ปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	75
26 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อย ของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	76
27 การกระจายเชิงพื้นที่ของระดับความรุนแรงการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปี	78
28 การกำหนดการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ทั้ง 3 กรณีในพื้นที่ ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	80
29 ปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน	82
30 ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน	84
ภาพผนวกที่	
ข1 การติดตั้งแผ่นวัดระดับน้ำที่ฝายทุ่งนากลาง	104
ข2 ลักษณะโครงสร้างของฝายทุ่งนากลาง	104
ข3 สภาพลำน้ำบริเวณฝายทุ่งนากลาง	105
ข4 การติดตั้งแผ่นวัดระดับน้ำที่ฝายหลวง	105
ข5 ลักษณะโครงสร้างของฝายหลวง	106
ข6 สภาพลำน้ำบริเวณฝายหลวง	106
ง1 กราฟแสดงความสัมพันธ์โค้งปริมาณตะกอนแขวนลอย (sediment-discharge rating curve) ณ จุดตรวจวัดที่ฝายหลวง	114

**การประยุกต์แบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณน้ำท่า
และตะกอนแขวนลอยจากพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก: กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล
อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์**

**Application of the SWAT Model to Evaluate Runoff and
Suspended Sediment from a Small Watershed: A Case Study of
Mae Phun Subwatershed, Laplae District, Uttaradit Province**

คำนำ

การประเมินปริมาณน้ำท่าสำหรับการจัดการน้ำและสิ่งแวดล้อม ควรจะศึกษาให้ครอบคลุมทั้งเรื่องปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำไปพร้อมๆกัน ปัจจุบันแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้ ไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรมอย่างไม่ถูกวิธี นับวันจะสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินมากขึ้น นำไปสู่การเกิดตะกอนในลำน้ำ ทำให้ลำน้ำตื้นเขิน มีปริมาณเก็บกักในลำน้ำลดลง และส่งผลต่อคุณภาพน้ำสำหรับการใช้ประโยชน์ของมนุษย์และระบบนิเวศ ดังนั้นการประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย สามารถประยุกต์ใช้ในการวางแผนและกำหนดมาตรการการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เหมาะสมในลุ่มน้ำได้

สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ลักษณะภูมิประเทศตอนบนของลุ่มน้ำประกอบด้วยภูเขาสูง และมีความลาดชันค่อนข้างสูง พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ประกอบกับในปัจจุบันพื้นที่ป่าไม้บริเวณที่สูงส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินไปเป็นสวนผลไม้ ทำให้เมื่อเกิดฝนตกหนักการชะล้างพังทลายของดินในบริเวณดังกล่าวจึงเกิดขึ้นง่าย โดยที่พื้นดินไม่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้มากเท่ากับพื้นดินที่มีป่าไม้สมบูรณ์ น้ำส่วนน้อยเท่านั้นที่จะซึมลงสู่ชั้นดินเบื้องล่าง แต่น้ำส่วนใหญ่ที่อยู่บนผิวดินกลายเป็นน้ำไหลบ่าหน้าดินลงสู่ลำน้ำในที่สุด ก่อให้เกิดน้ำไหลหลากและจะไหลออกจากลุ่มน้ำไปอย่างรวดเร็ว ในขณะที่น้ำไหลผ่านหน้าดินน้ำก็จะกัดเซาะชั้นดินไปด้วย ทำให้เกิดการสูญเสียดินชั้น ผลเสียที่ตามมาคือเกิดการทับถมของตะกอนในที่ลุ่มน้ำตอนล่าง ผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงเป็นสาเหตุที่จะต้องมีการประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอยเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนป้องกัน และบรรเทาความสูญเสียที่เกิดขึ้นให้ลดลงในอนาคต

แนวทางในการประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธีการ โดยแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการทำนายผลกระทบของการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า ผลผลิตตะกอน และสารเคมีจากการเกษตรของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยการจำลองกระบวนการทางกายภาพต่างๆ ที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำ นอกจากนี้แบบจำลอง SWAT ยังมีลักษณะเป็นแบบจำลองที่เป็นสาธารณสมบัติ (public domain) ที่ผู้พัฒนาอนุญาตให้นำไปใช้ได้โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายแต่อย่างใด

ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย จากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย ที่เกิดขึ้นจากพื้นที่ได้ รวมถึงเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมกับบริเวณพื้นที่ดังกล่าวต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย จากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล โดยใช้แบบจำลอง SWAT ในการวิเคราะห์ข้อมูล
2. เพื่อศึกษาการกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำท่า และการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล
3. เพื่อจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย

การตรวจเอกสาร

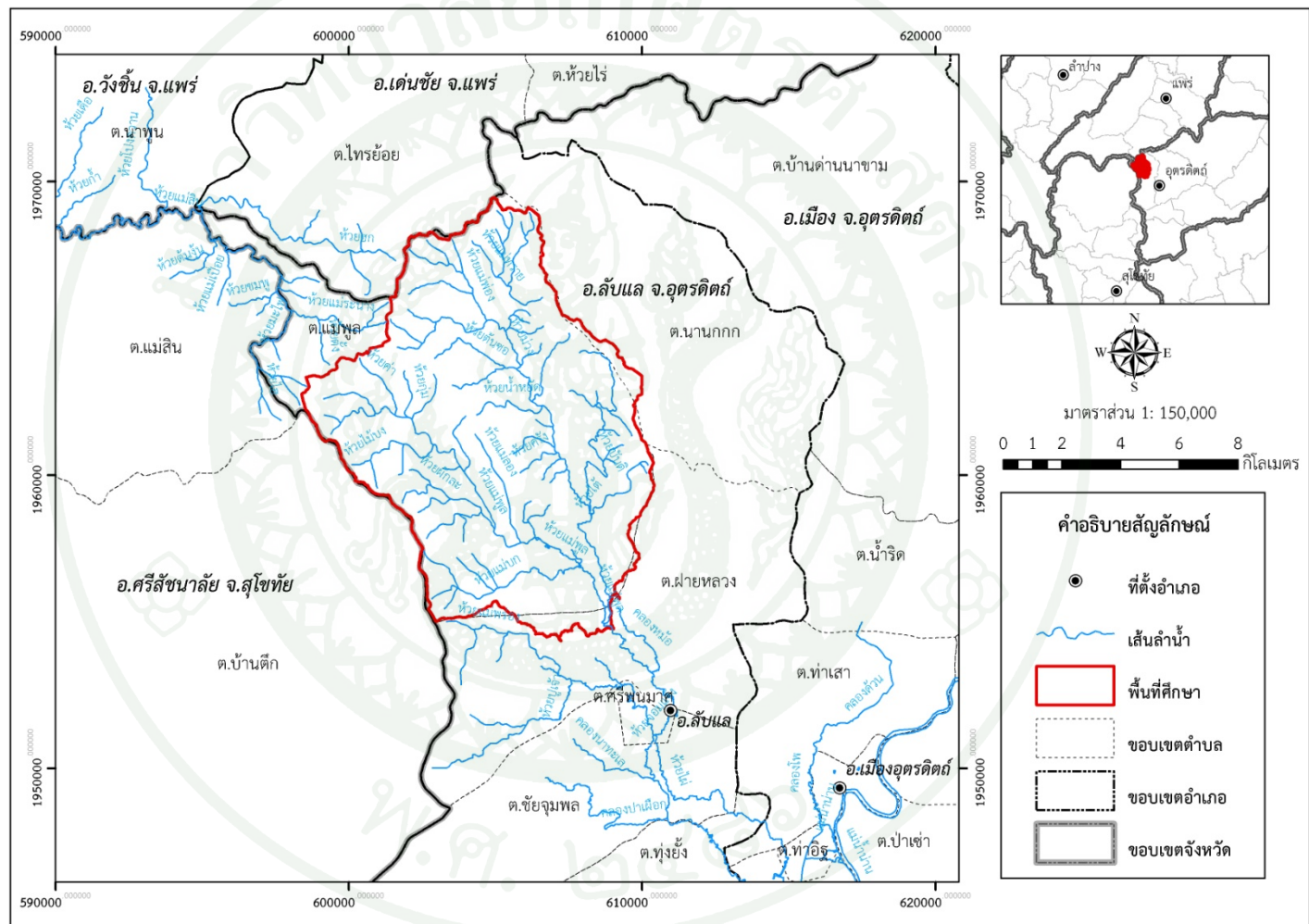
1. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

1.1 สภาพภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็ก ตั้งอยู่บริเวณตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ มีพื้นที่ประมาณ 107.37 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 11 หมู่บ้าน โดยลุ่มน้ำย่อยแม่พูลตั้งอยู่ในขอบเขตลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำน่านส่วนที่ 4 ของลุ่มน้ำหลักลุ่มน้ำน่าน ดังแสดงขอบเขตพื้นที่ไว้ในภาพที่ 1

ภูมิประเทศของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีลักษณะเป็นพื้นที่สูงภูเขาล้อมรอบทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านทิศเหนือมีดอยเขาต่ำ และเขาน้ำตก ทางด้านตะวันออกมีดอยปานดี และม่อนปูปา ทางทิศตะวันตกมีดอยกิวมะแง ดอยน้ำหยัด และดอยฤาษี โดยมีระดับพื้นที่สูงสุดที่ยอดดอยกิวมะแง (ประมาณ +878 ม.รทก.) ส่วนในบริเวณพื้นที่ตอนล่างทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นที่ราบ และมีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ข้างเคียงดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ ตำบลไทรย้อย อำเภอด่านซ้าย จังหวัดแพร่
ทิศใต้	ติดต่อกับ ตำบลฝายหลวง อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ ตำบลน่านกกก อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ ตำบลบ้านตึกและตำบลแม่สิน อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย



ภาพที่ 1 สภาพทั่วไป บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่พลู อำเภอลับแล จังหวัดอุดรดิตถ์

1.2 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ได้ทำการรวบรวมข้อมูลสถิติข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนในคาบ 30 ปี (ปี พ.ศ. 2521-2550) ของสถานีอำเภอเมืองจังหวัดอุตรดิตถ์ จากกรมอุตุนิยมวิทยา สภาพภูมิอากาศทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีสภาพภูมิอากาศอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ยังมีพายุดีเปรสชันและพายุไต้ฝุ่นซึ่งมาจากทะเลจีนใต้พัดผ่านเข้ามาเป็นครั้งคราว ส่งผลทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ ได้แก่ ฤดูฝนจะเกิดในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยมีข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนในคาบ 30 ปี ของตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญ ดังตารางที่ 1 ซึ่งปัจจัยในด้านปริมาณน้ำฝนจะมีอิทธิพลที่ส่งผลต่อปริมาณการไหลของน้ำท่าอย่างชัดเจน และจากการศึกษาของ พลชัย (2533) ได้แบ่งช่วงการไหลของน้ำท่าออกเป็น 2 ช่วง คือ การไหลของน้ำท่าในช่วงฤดูฝน อยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และการไหลของน้ำท่านอกช่วงฤดูฝน อยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน

ตารางที่ 1 ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือนและค่าเฉลี่ยรายปีในคาบ 30 ปี ของตัวแปรภูมิอากาศ

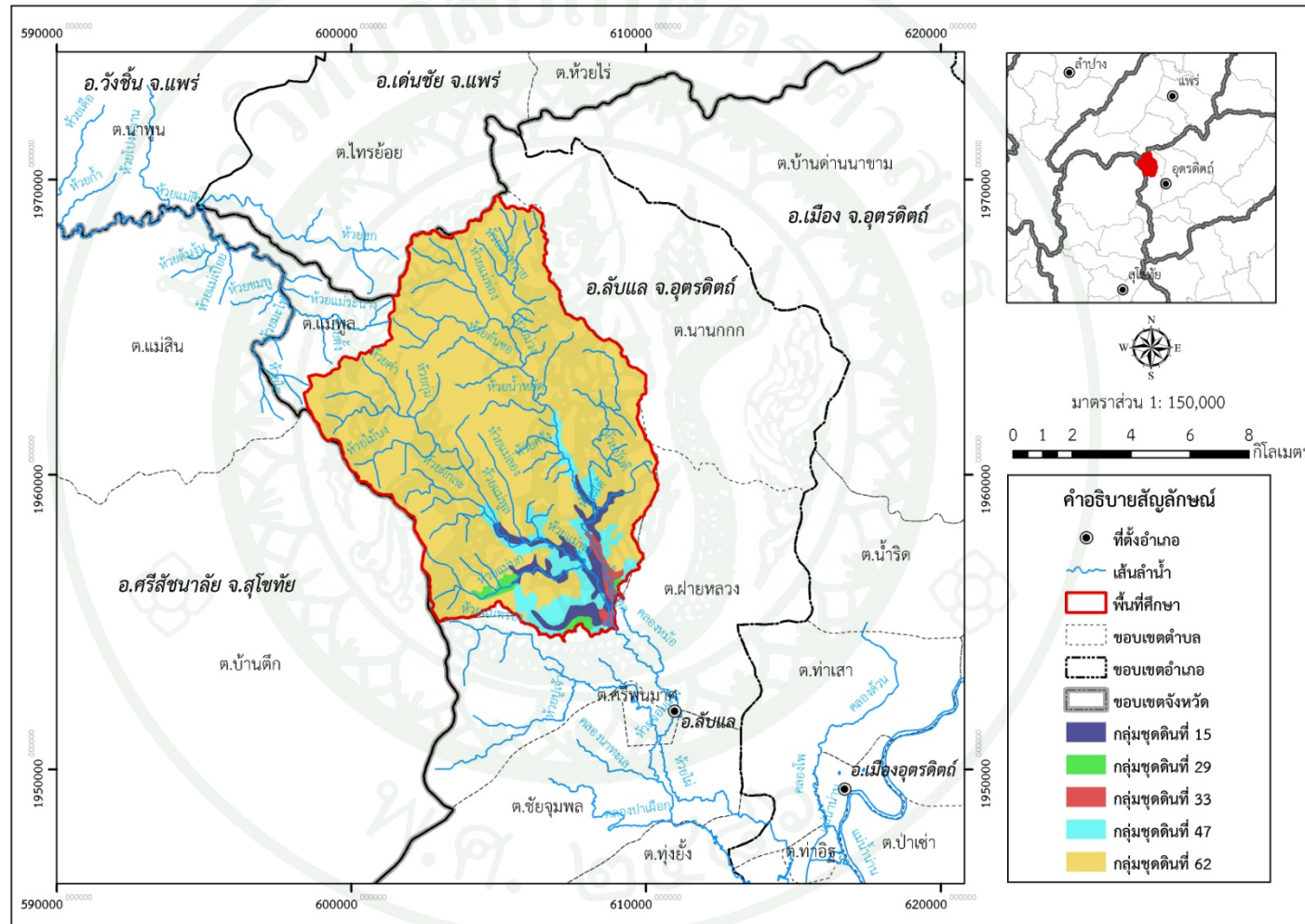
ตัวแปรภูมิอากาศ	ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	
	ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ยรายปี
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	24.6 (ธ.ค.) – 31.3 (เม.ย.)	28.2
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	62.0 (มี.ค.) - 83.0 (ส.ค.)	73.0
ปริมาณการระเหยจากผิวน้ำ (มม.)	111 (ม.ค.) - 181 (เม.ย.)	1,588
ปริมาณน้ำฝน (มม.)	4.6 (ธ.ค.) – 261.9 (ก.ย.)	1,397.5
ความชื้นของเมฆ (1-10)	2 (ม.ค., ก.พ.) - 11 (มิ.ย.)	5
ความเร็วลม (นอต)	0.5 (ม.ค.) - 1.0 (เม.ย.)	0.73

1.3 ทรัพยากรดิน

การศึกษาสมบัติของดินจากแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน มาตราส่วน 1:50,000 เพื่อศึกษาการกระจายตัวของดินชุดต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา พบว่า ลักษณะดินที่พบในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ประกอบด้วย 5 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 15, 29, 33, 47 และ 62 ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยกลุ่มชุดดินที่พบมากในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 62 คิดเป็นร้อยละ 87.79 รองลงมา คือ กลุ่มชุดดินที่ 47 คิดเป็นร้อยละ 6.38 ซึ่งมีรายละเอียดของลักษณะกลุ่มชุดดิน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พื้นที่ของกลุ่มชุดดินต่างๆ ในบริเวณพื้นที่ศึกษา

กลุ่มชุดดิน	ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	
	ตร.กม.	ร้อยละ
กลุ่มชุดดินที่ 15	4.13	3.85
กลุ่มชุดดินที่ 29	1.02	0.95
กลุ่มชุดดินที่ 33	1.11	1.03
กลุ่มชุดดินที่ 47	6.85	6.38
กลุ่มชุดดินที่ 62	94.26	87.79
รวม	107.37	100.00



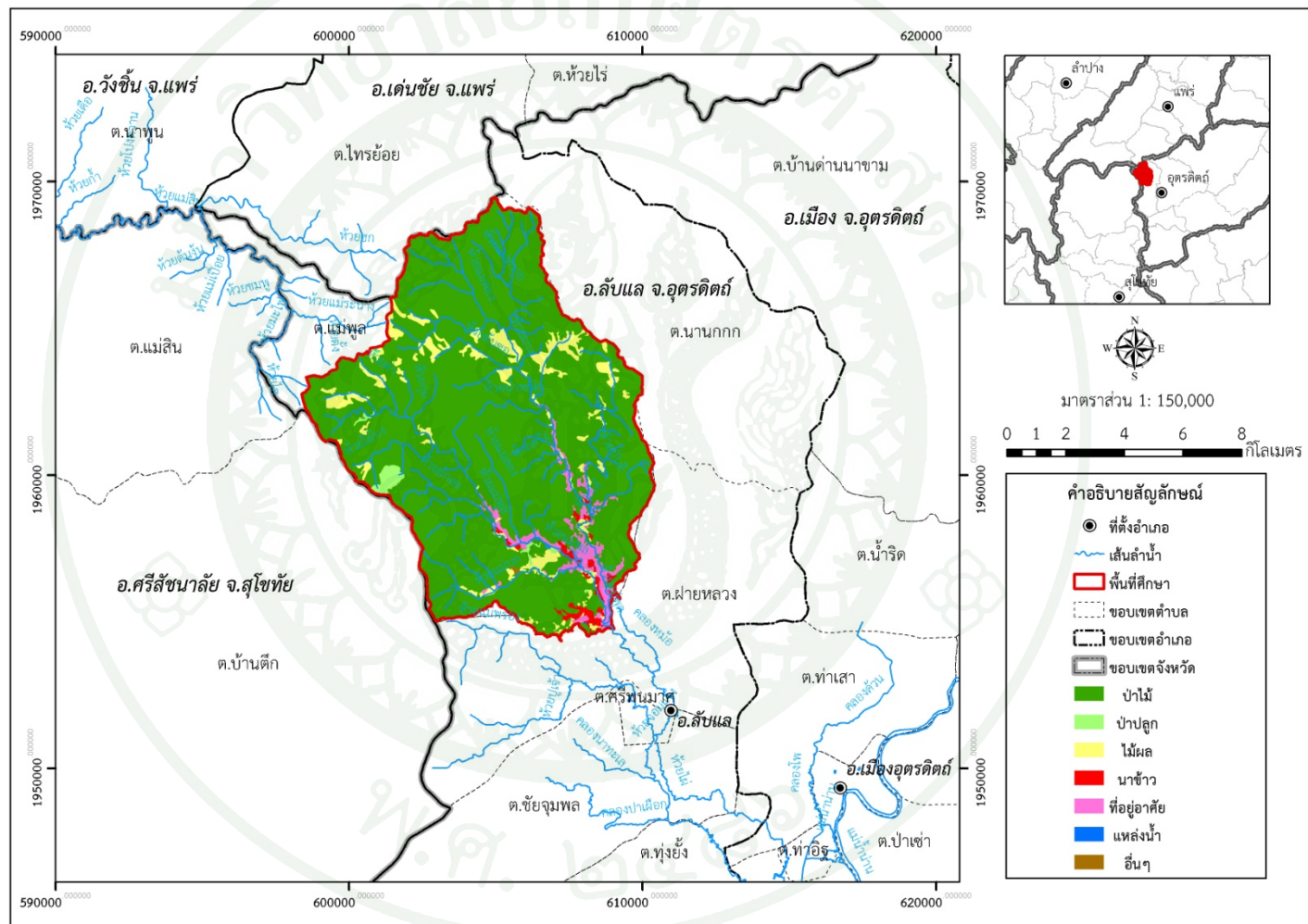
ภาพที่ 2 ลักษณะกลุ่มชุดดิน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอล้าแล จังหวัดอุดรธานี

1.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2552 ของกรมพัฒนาที่ดิน มาตรฐาน 1:50,000 เพื่อศึกษาประเภทการใช้ที่ดินและพืชปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาพบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ คิดเป็นร้อยละ 89.10 รองลงมา คือ การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทไม้ผล คิดเป็นร้อยละ 6.43 และที่ดินประเภทที่อยู่อาศัย คิดเป็นร้อยละ 3.23 ดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 3

ตารางที่ 3 พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินต่าง ๆ ในบริเวณพื้นที่ศึกษา

ประเภทการใช้ที่ดิน	ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล	
	ตร.กม.	ร้อยละ
ป่าไม้	95.67	89.10
ไม้ผล	6.90	6.43
นาข้าว	1.25	1.16
ที่อยู่อาศัย	3.47	3.23
แหล่งน้ำ	0.01	0.01
อื่นๆ	0.07	0.07
รวม	107.37	100.00



ภาพที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พล อำเภอลับแล จังหวัดอุดรดิตร

2. การชะล้างพังทลายของดิน

การชะล้างพังทลายของดิน หมายถึง การขุดทำลายพื้นผิวดินและเคลื่อนย้ายดิน กรวด และทรายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งด้วยน้ำ ลม และแรงโน้มถ่วงของโลก (เกษม, 2551) สอดคล้องกับ นิพนธ์ (2545) ที่กล่าวว่า การชะล้างพังทลายของดิน เป็นกระบวนการที่เกิดจากการที่มีแรง ซึ่งอาจเกิดจากน้ำ ลม หรือแรงโน้มถ่วงของโลก มากระทำให้วัตถุธาตุหรือสารแตกแยกออกจากกัน แล้วเคลื่อนย้ายอนุภาคของดินหรือสารหรือวัตถุธาตุดังกล่าวไปตกตะกอนที่บ่ออีกแห่งหนึ่ง โดยกระบวนการดังกล่าวอาจเรียกว่า การกร่อนดิน

การชะล้างพังทลายของดิน เป็นกระบวนการที่ดินและแร่ธาตุในดินถูกชะล้างและพัดพาไปโดยน้ำ ลม หรือแรงดึงดูดของโลก แบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ การชะล้างพังทลายของดินโดยธรรมชาติ (geological or natural erosion) ซึ่งจากการกระทำของน้ำ ลม และแรงถ่วงของโลก การพังทลายประเภทนี้จะค่อยเป็นค่อยไปที่ทำให้เกิดลักษณะต่างๆบนผิวโลก เช่น ห้วยธาร หุบเขา กระบวนการนี้มนุษย์จะไปบังคับหรือควบคุมไม่ให้เกิดขึ้นไม่ได้ และการชะล้างพังทลายของดินที่มีตัวเร่ง (accelerated erosion) ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน และแปรสภาพสิ่งปกคลุมดิน เช่น การแผ้วถางป่า การทำถนนหนทาง และการทำเกษตร เป็นต้น (นิพนธ์, 2545; นิวัติ, 2547)

2.1 กระบวนการชะล้างพังทลายของดิน

กระบวนการชะล้างพังทลายของดินเริ่มต้นจากเม็ดฝนที่ตกกระทบผิวน้ำดินจากพลังงานของฝนที่ปะทะหน้าดิน ทำให้อนุภาคของดินที่เกาะกันอยู่เกิดการแตกแยกเป็นอนุภาคนขนาดเล็ก อนุภาคเหล่านี้จะกระเด็นไปอุดช่องว่างภายในดิน หรือไปอุดรูดินทำให้น้ำฝนที่ตกลงมาแทรกซึมไปในดินได้ยาก ต่อมาเมื่อฝนตกลงมาอีก น้ำฝนในส่วนที่เกิดจากการแทรกซึมลงไปดินก็จะรวมตัวกันเป็นน้ำไหลบ่าหน้าดินและไหลลงสู่ลำธารหรือที่ต่ำ ซึ่งในขณะที่น้ำไหลบ่าหน้าดินอยู่นั้นจะมีพลังงานที่มากพอสำหรับการพัดพาของอนุภาคของดินแตกกระจายมากขึ้น

เกษม (2551) กล่าวว่า กระบวนการเกิดการชะล้างพังทลายของดินแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการดังนี้

1) การแตกกระจาย (detachment) เป็นขั้นแรกของกระบวนการพังทลายที่ทำให้เม็ดดินแตกเป็นอนุภาคนขนาดเล็ก และเม็ดดินขนาดเล็กๆเหล่านี้หลุดกระจายออกไปซึ่งอาจจะหลุดจากเม็ดดินเดิมแล้วกระเด็นออกไปที่อื่นหรืออยู่ใกล้ๆบริเวณที่เกิดขึ้นได้ แต่การที่ดินจะแตกกระจายได้

มาน้อยเท่าไรขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญสองประการ คือ แรงที่กระทำต่อเม็ดดิน (raindrop impact) ซึ่งเป็นแรงตกกระทบของเม็ดฝน และความสามารถในการแตกกระจาย (detachability) หรือความยากง่ายของดินต่อการถูกทำให้แตกกระจาย

2) การเคลื่อนย้าย (transportation) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นต่อจากกระบวนการแรก กล่าวคือ เมื่อเม็ดดินแตกกระจายและอาจมีการอุดรูพรุนของดินนั้น จะทำให้กระบวนการซึมน้ำผ่านผิวดินลดลง มีผลทำให้มีน้ำไหลบ่าหน้าผิวดิน โดยน้ำจะเป็นตัวพัดพาเอาตะกอนไหลลงสู่พื้นที่ที่ต่ำกว่า ซึ่งน้ำจำนวนนี้จะไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ อัตราการไหลจะรุนแรงมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับความลาดชัน และระยะทางของความลาดชัน อีกทั้งปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดการไหลตามผิวดิน โดยตะกอนที่มีขนาดเล็กจะถูกพัดพาไปได้ไกลกว่าตะกอนที่มีขนาดใหญ่

3) การหยุดนิ่ง (deposition) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการพังทลายของดิน กล่าวคือ เป็นชั้นที่อนุภาคต่างๆ จะตกตะกอนนอนกันตามแอ่งน้ำ หรือลำธาร สาเหตุอันสำคัญก็คืออัตราความเร็วของกระแสน้ำที่ลดลงและหยุดนิ่ง ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนขนาดเล็กก็จะเกาะตัวกันเองด้วยแรงประจุ พอมีขนาดใหญ่ที่ทำให้แรงโน้มถ่วงของโลกมีอิทธิพลดึงดูดลงมาแล้วจะตกตะกอนอีกต่อหนึ่ง

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน

นิพนธ์ (2545) กล่าวว่า ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน ประกอบด้วย ลมฟ้าอากาศ สภาพภูมิประเทศ ดิน พืชพรรณ และมนุษย์ ดังนี้

1) ลมฟ้าอากาศ

(1) อิทธิพลของฝน เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด เนื่องจากแรงตกกระทบของเม็ดฝนนับเป็นพลังงานแรกที่ทำให้ดินเกิดการแตกแยกออกจากกัน แรงตกกระทบดังกล่าวยังเป็นตัวการต่อเนื่องที่ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าผิวดิน และการเคลื่อนย้ายอนุภาคดิน ซึ่งคุณสมบัติของฝนที่เกี่ยวข้องกับการชะล้างพังทลายดิน คือ ลักษณะการแตกกระจายของฝน (distribution) ปริมาณการชะล้างพังทลายจะเกิดขึ้นได้สูงสุดเมื่อฝนตกหนักและหน้าดินว่างเปล่าปราศจากสิ่งปกคลุม หรือในช่วงที่พืชเพิ่งเริ่มงอกหรือเพิ่งเริ่มตั้งตัวได้

(2) อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างช่วงเวลากลางวันและเวลากลางคืนหรือระหว่างฤดูกาลจะมีผลต่อการปรับตัวของโครงสร้างดิน กล่าวคือ อิทธิพลดังกล่าวทำให้การจับตัวกันของอนุภาคดินมีแรงยึดกันน้อยลง

2) สภาพภูมิประเทศ

(1) ความลาดเทของพื้นที่ นับเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการชะล้างพังทลายดิน โดยทั่วไปแล้วเมื่อความลาดเทมากขึ้นอัตราการชะล้างพังทลายดินจะมากขึ้นด้วย เนื่องจากพื้นที่ลาดชันนั้นมักทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินได้มาก และดินมีโอกาสเก็บกักน้ำฝนที่ตกลงมาน้อย ทำให้มีการไหลบ่าหน้าดินรวดเร็วและรุนแรง ในบริเวณที่มีความลาดเทมากนั้น น้ำไหลบ่าหน้าดินจะเกิดได้รวดเร็ว พลังน้ำจะกัดกร่อนและพัดพาดินที่ถูกชะล้างลงสู่ที่ต่ำได้มาก อย่างไรก็ตาม ความลาดชันจะมีผลเพียงเล็กน้อยในขณะที่ฝนตกแผ่วเบาและนาน แต่มีอิทธิพลรุนแรงมากถ้าฝนตกในช่วงเวลาสั้น ๆ

(2) ความยาวของแนวความลาดเท ตามปกติแล้วถ้าพลังการกัดเซาะของน้ำไหลบ่าหน้าดินน้อยกว่าแรงต้านของเม็ดดินจะไม่เกิดการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความยาวของความลาดเทมากขึ้น เนื่องมาจากอัตราการไหลบ่าหน้าดินจะเพิ่มมากขึ้นไปตามความยาวของความลาดเท อย่างไรก็ตามบนพื้นที่ลาดเขานี้การกัดเซาะล้างพังทลายผิวหน้าดิน มักจะไม่ปรากฏให้เห็นบนบริเวณสันเขา และส่วนที่เป็นเชิงลาดลงมา ในกรณีที่ฝนตกสม่ำเสมอทั่วทั้งลาดเขา แต่จะเห็นการชะล้างพังทลายดินอย่างชัดเจนบริเวณที่ต่ำลงมา ตรงจุดที่น้ำไหลบ่าหน้าดินเริ่มมีพลังกัดเซาะสูงกว่าแรงต้านทานของอนุภาคดิน เมื่อน้ำไหลบ่าหน้าดินไหลลงสู่ที่ต่ำนั้น ปริมาณดินที่ถูกชะล้างพังทลายจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งพลังการเคลื่อนย้ายดินของน้ำไหลบ่าหน้าดินหมดสมรรถนะ ไม่สามารถจะพัดพาเคลื่อนย้ายมวลดินตะกอนลงต่ำไปได้อีก แล้วกระบวนการตกตะกอนก็จะเกิดขึ้น ณ จุดนั้น ส่วนมากมักจะเป็นบริเวณใกล้สองฝั่งลำธาร

3) ปัจจัยของดิน

การชะล้างพังทลายได้ยากง่ายของดินจะแตกต่างกันไปในดินแต่ละชนิด โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวกับสมบัติของดินที่สำคัญ ดังนี้

(1) ความคงทนต่อการถูกกัดเซาะและเคลื่อนย้าย ในกระบวนการชะล้างพังทลายดินมี 3 ขั้นตอน คือ การกัดเซาะ การเคลื่อนย้าย และการตกทับถม ซึ่งในกระบวนการต่าง ๆ จะเกิดขึ้นกับดินแต่ละชนิดแตกต่างกันไป โดยทั่วไปนั้นความยากง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลาย (detachability) จะเพิ่มขึ้นไปตามขนาดของอนุภาคดิน แต่เป็นไปในทางตรงกันข้าม เมื่อกล่าวถึงความยากง่ายในการเคลื่อนย้าย (transportability) ตัวอย่างเช่น อนุภาคของดินเหนียวยากต่อการถูกกัดเซาะมากกว่าอนุภาคดินทราย แต่ก็ง่ายต่อการที่ถูกพัดพาเคลื่อนย้ายไปมากกว่าดินทราย เป็นต้น

(2) อัตราการซึมผ่านของดิน น้ำฝนเมื่อลงสู่ผิวดิน ส่วนหนึ่งซึมผ่านดินลงสู่ชั้นที่ลึกลงไป น้ำไหลบ่าหน้าดินจะเกิดก็ต่อเมื่อดินเปียกเต็มที่ และสมรรถนะในการยอมให้น้ำซึมผ่านผิวดินเริ่มคงที่ ถ้าหากว่ายังมีฝนตกตามมาเรื่อยๆ อัตราการซึมผ่านผิวดินของน้ำจะแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติ

ทางกายภาพของดิน ได้แก่ ปริมาณ และขนาดของช่องว่างในดิน โดยอนุภาคของดินที่ละเอียดจับตัวคลุกเคล้ากันเป็นกลุ่มก้อน มักมีความสามารถดูดซับน้ำได้ดีพอควร

(3) ความลึกของดินชั้นบน ดินที่บริเวณผิวดินที่เป็นดินร่วนซุย มีโครงสร้างดีและอินทรีย์วัตถุสูงที่ถูกกัดชะไปมักง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลาย ทำให้ดินที่บริเวณผิวน้ำถูกชะไปหมด ดินที่เหลืออยู่จึงมีสมรรถนะซึมซับน้ำได้น้อยกว่าที่เคยเป็น ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินได้ง่ายและมาก จึงทำให้อัตราการชะล้างพังทลายมีอัตราสูง

4) การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ชนิดของพืชคลุมดินและลักษณะการปกคลุมผิวดินเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน เพราะพืชจะช่วยป้องกันมิให้ฝนตกกระทบหน้าดินโดยตรงและลดพลังของแรงตกกระทบของเม็ดฝน เรือนยอดของต้นไม้ช่วยลดพลังงานที่ตกกระทบของเม็ดฝน และความหนาแน่นของลำต้นช่วยลดพลังชะล้างพังทลายของน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นอย่างดี พืชคลุมดินยังช่วยทำให้ปริมาณ และอัตราน้ำไหลบ่าหน้าดินลดน้อยลง เป็นผลทำให้อำนาจกัดชะและเคลื่อนย้ายดินลดน้อยลง นอกจากนี้รากพืชยังช่วยให้เม็ดดินเกาะกันแข็งแรงขึ้น ขณะเดียวกันรากก็ช่วยยึดอนุภาคดินด้วย เมื่อพืชตายซากที่ผุพังช่วยเชื่อมเม็ดดินให้เกาะกันแข็งแรง และทำให้โครงสร้างของดินดีทำให้มีการซึมน้ำได้สูง ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินในลักษณะต่างๆ ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ พืชไร่ พืชสวน พืชไร่ พื้นที่เกษตรกรรมพืชสวนผลไม้ เป็นต้น ย่อมมีผลต่อการชะล้างพังทลายของดินแตกต่างกันไปด้วย

3. แบบจำลองทางอุทกวิทยา (hydrological model)

แบบจำลอง (model) เป็นเสมือนหนึ่งเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาอาจเป็นแบบจำลองทางกายภาพ ทั้งนี้อาจหมายถึง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงระบบโดยการใช้รูปแบบของสมการต่างๆ อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ (Jorgensen, 1988 อ้างถึงใน แสงสุรีย์, 2542) ซึ่งการจัดการทรัพยากรในพื้นที่ลุ่มน้ำให้มีผลตอบสนองต่อความต้องการในเรื่องของน้ำได้ดีนั้น จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย ทั้งนี้นอกจากจะเป็นเครื่องมือช่วยชี้แนวทางการจัดการในเบื้องต้นแล้ว ยังทำให้ทราบถึงกระบวนการและกลไกต่างๆ ทางอุทกวิทยาที่จะสามารถทำให้กำหนดรูปแบบและวิธีการจัดการได้ละเอียดถี่ถ้วนอีกด้วย (นิพนธ์, 2549)

3.1 แบบจำลอง SWAT

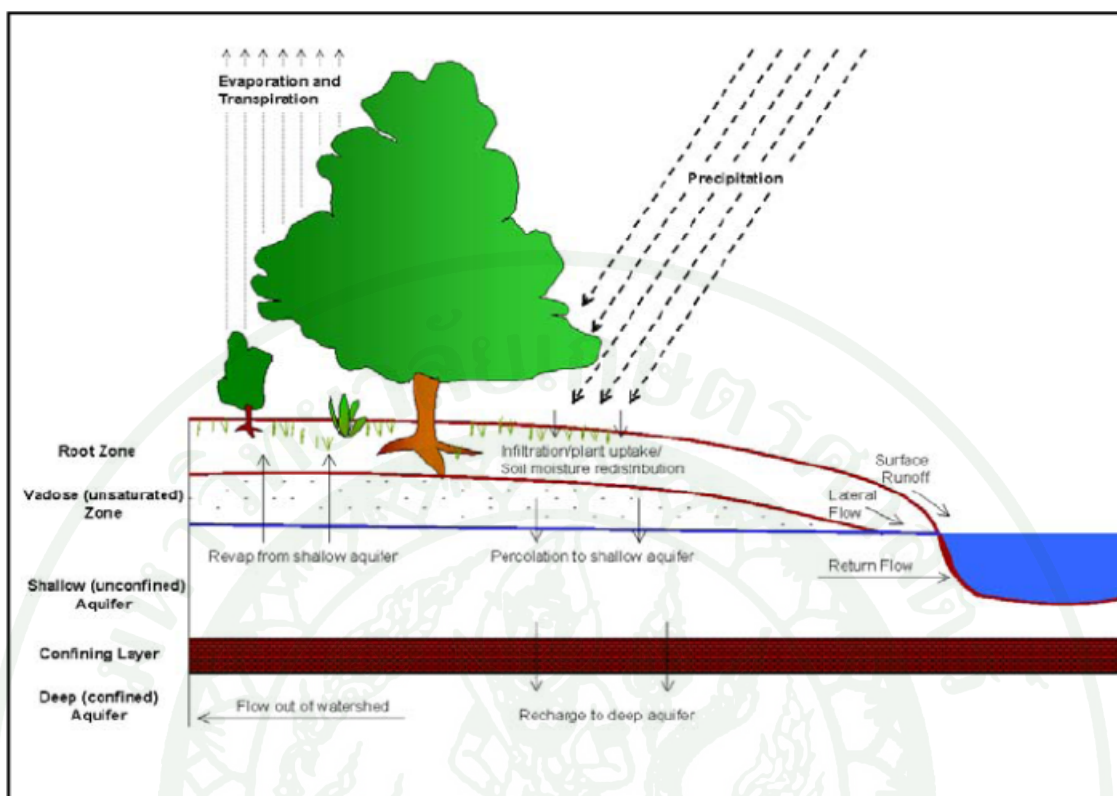
แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ได้พัฒนาขึ้นด้วยความร่วมมือระหว่าง USDA agricultural research service และ Blackland research and extension centre ประเทศสหรัฐอเมริกา (Neitsch *et al.*, 2005) แบบจำลอง SWAT พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการทำนายผลกระทบของการใช้ที่ดินต่อทรัพยากรน้ำ ได้แก่ น้ำท่า ตะกอน และสารเคมีจากการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่และซับซ้อน (large-complex watershed) ที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพดิน การใช้ที่ดิน และการจัดการ ซึ่งสามารถจำลองกระบวนการทางกายภาพต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำ โดยแบ่งลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อยตามลักษณะการใช้ที่ดินที่คล้ายคลึงกัน

3.2 หลักการคำนวณขององค์ประกอบแบบจำลอง SWAT

การวิเคราะห์ทางด้านอุทกวิทยาของลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนพื้นดิน (land phase) เป็นการศึกษาวงจรอุทกวิทยา เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า ตะกอน ไนโตรเจน และ สารเคมีจากการเกษตรที่ไหลลงสู่ลำน้ำหลักของแต่ละลุ่มน้ำย่อย และ 2) ส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (water routing phase) จะคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำ ตะกอน ไนโตรเจน และอื่นๆ (Neitsch *et al.*, 2005)

1) ส่วนพื้นดิน หรือ ส่วนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (land phase or subbasin component)

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแบ่งเป็น 8 ส่วนคือ อุทกวิทยา (hydrology) สภาพอากาศ (weather conditions) การตกตะกอน (sedimentation) อุณหภูมิของดิน (soil temperature) การเติบโตของพืช (crop growth) สารอาหาร (nutrients) ยาฆ่าแมลง (pesticides) และการจัดการทางการเกษตร (agricultural management) (Neitsch *et al.*, 2005) ดังภาพที่ 4 ซึ่งการศึกษาวงจรอุทกวิทยาในการวิเคราะห์ส่วนพื้นดินใช้สมการสมดุลน้ำ ดังนี้



ภาพที่ 4 แผนผังของวงจรอุทกวิทยา

ที่มา: Neitsch *et al.* (2005)

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

- เมื่อ
- SW_t = ปริมาณน้ำในดินสุดท้าย (มม.)
 - SW_o = ปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นในวันที่ i (มม.)
 - t = เวลา (วัน)
 - R_{day} = ปริมาณฝนในวันที่ i (มม.)
 - Q_{surf} = ปริมาณน้ำผิวดินในวันที่ i (มม.)
 - E_a = ปริมาณการคายระเหยในวันที่ i (มม.)
 - W_{seep} = ปริมาณน้ำไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดินในวันที่ i (มม.)
 - Q_{gw} = ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลกลับสู่ลำน้ำในวันที่ i (มม.)

ขั้นตอนการจำลองกระบวนการของวงจรอุทกวิทยา จะกำหนดให้ปริมาณฝนที่จะตกลงสู่พื้นดินถูกพืชกักไว้เป็นบางส่วน ปริมาณฝนส่วนที่เหลือก็จะไหลซึมลงสู่ผิวดินหรือซึมนองอยู่ตามผิวดินแล้วรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำ สำหรับปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงสู่ผิวดินส่วนหนึ่งจะถูกเก็บกักไว้ในเนื้อดินซึ่งต่อมาจะระเหยคืนสู่บรรยากาศโดยพืช และอีกส่วนหนึ่งก็จะไหลซึมต่อไปยังชั้นน้ำใต้ดิน และจะไหลกลับลงสู่แม่น้ำลำธารเมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งด้วยการไหลไปทางด้านข้างของน้ำใต้ดิน

(1) น้ำท่าผิวดิน (surface runoff)

การคำนวณปริมาณของน้ำท่าผิวดิน และค่าอัตราการไหลของน้ำท่าสูงสุด สามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ SCS curve number procedure และ วิธี Green and Ampt infiltration (Neitsch *et al.*, 2005) แต่วิธีที่นิยมกันใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทยในการทำนายน้ำท่าผิวดิน คือ SCS curve number ดังสมการ

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

$$Q = 0.0, \quad R \leq 0.2s \quad (3)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (ลบ.ม./วินาที)
 R = ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มม.)
 s = Retention Parameter, มีความสัมพันธ์กับค่า CN
 ดังสมการที่ 4

$$s = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (4)$$

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า CN (curve number) คือ คุณสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน (hydrologic soil group) สิ่งปกคลุม (land cover) สภาพอุทกวิทยา (hydrologic condition) การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use classification) และเงื่อนไขความชื้นในดินเริ่มต้น (antecedent moisture content; AMC)

(2) อัตราการไหลสูงสุด (peak runoff rate)

การประมาณค่าอัตราการไหลสูงสุดสำหรับแต่ละเหตุการณ์ฝนโดยใช้วิธี modified rational formula (Neitsch *et al.*, 2005) ดังสมการ

$$q_{peak} = \frac{C \cdot i \cdot Area}{3.6} \quad (5)$$

เมื่อ	q_{peak}	= อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)
	C	= สัมประสิทธิ์น้ำท่า
	i	= ความเข้มของฝน (มม./ชั่วโมง)
	$Area$	= ขนาดพื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)

(3) ปริมาณการไหลด้านข้างใต้ผิวดิน (lateral subsurface flow)

ปริมาณการไหลด้านข้างใต้ผิวดินได้จำลองการไหลด้านข้างใต้ผิวดินโดยใช้ kinematics storage model ที่พัฒนาโดย Sloan & More ในปี 1984 ซึ่งใช้สมการ mass continuity equation โดยใช้ entire hillslope segment ของ soil profile เป็น control volume (Neitsch *et al.*, 2005) ดังสมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$Q_{lat} = 0.024 \cdot \left[\frac{2 \cdot SW_{ly,excess} \cdot K_{sat} \cdot slp}{\phi_d L_{hill}} \right] \quad (6)$$

เมื่อ	Q_{lat}	= ปริมาณการไหลด้านข้างใต้ผิวดินที่จุดออก (มม./วัน)
	$SW_{ly,excess}$	= ปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้ในชั้นดินอิ่มตัว (มม.)
	K_{sat}	= saturated hydraulic conductivity (มม./ชม.)
	slp	= ความลาดชัน
	ϕ_d	= ความพรุนของดิน
	L_{hill}	= hill slope length (ม.)

(4) ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน (groundwater flow)

การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ shallow aquifer และ deep aquifer ปริมาณการไหลในเขต shallow aquifer จะไหลออกสู่แม่น้ำลำธารในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยปริมาณน้ำท่าผิวดิน ปริมาณการไหลด้านข้างในเขตรากพืช และปริมาณน้ำไหลกลับ (return flow) จากเขต shallow aquifer มีบางส่วนซึมลงสู่เขต deep aquifer โดยเป็นน้ำส่วนที่สูญเสียไปของระบบจะไม่มีการไหลกลับออกมาในระบบลุ่มน้ำอีก สมการสมดุลของน้ำสำหรับเขต shallow aquifer แสดงได้ดังนี้ (Neitsch *et al.*, 2005)

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + w_{rchrg} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{deep} - w_{pump,sh} \quad (7)$$

- เมื่อ $aq_{sh,i}$ = ปริมาณน้ำที่เก็บกักในชั้น shallow aquifer ในวันที่ i (มม.)
- $aq_{sh,i-1}$ = ปริมาณน้ำที่เก็บกักในชั้น shallow aquifer ในวันที่ i-1 (มม.)
- w_{rchrg} = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ชั้น shallow aquifer ในวันที่ i (มม.)
- Q_{gw} = ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินออกสู่ลำธาร ในวันที่ i (มม.)
- w_{revap} = ปริมาณน้ำที่ไหลจากผิวดินลงสู่เขตรากพืช ในวันที่ i (มม.)
- w_{deep} = ปริมาณน้ำที่ไหลจาก shallow aquifer ลงสู่ deep aquifer ในวันที่ i (มม.)
- $w_{pump,sh}$ = ปริมาณน้ำที่สูบออกจาก shallow aquifer ในวันที่ i (มม.)

สำหรับสมดุลของน้ำของเขต deep aquifer แสดงได้ดังสมการ

$$aq_{dp,i} = aq_{dp,i-1} + w_{deep} - w_{pump,dp} \quad (8)$$

เมื่อ $aq_{dp,i}$ = ปริมาณน้ำที่เก็บกักในชั้น deep aquifer ในวันที่ i (มม.)

$aq_{dp,i-1}$ = ปริมาณน้ำที่เก็บกักในชั้น deep aquifer ในวันที่ i-1 (มม.)

w_{deep} = ปริมาณน้ำที่ไหลจาก shallow aquifer ลงสู่ deep aquifer ในวันที่ i (มม.)

$w_{pump,dp}$ = ปริมาณน้ำที่ถูกสูบออกจาก deep aquifer ในวันที่ i (มม.)

(5) อัตราการคายระเหยของพืช (evapotranspiration)

แบบจำลอง SWAT มีทางเลือกในการประมาณค่าอัตราการคายระเหย 3 วิธี ได้แก่ Penman-Monteith, Priestley-Taylor และ Hargreaves (Neitsch *et al.*, 2005) โดยวิธีของ Penman-Monteith จะต้องใช้ข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ มีสมการดังนี้

$$\lambda E_t = \frac{\Delta \cdot (H_{net} - G) + \gamma \cdot K_1 \cdot (0.622 \cdot \lambda \cdot \rho_{air} / P) \cdot [e_z^0 - e_z] / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)} \quad (9)$$

เมื่อ λ = latent heat of vaporization (MJ/กก.)

E_t = อัตราการคายระเหยสูงสุด (มม./วัน)

K_1 = 8.64×10^4

P = ความดันบรรยากาศ (kPa)

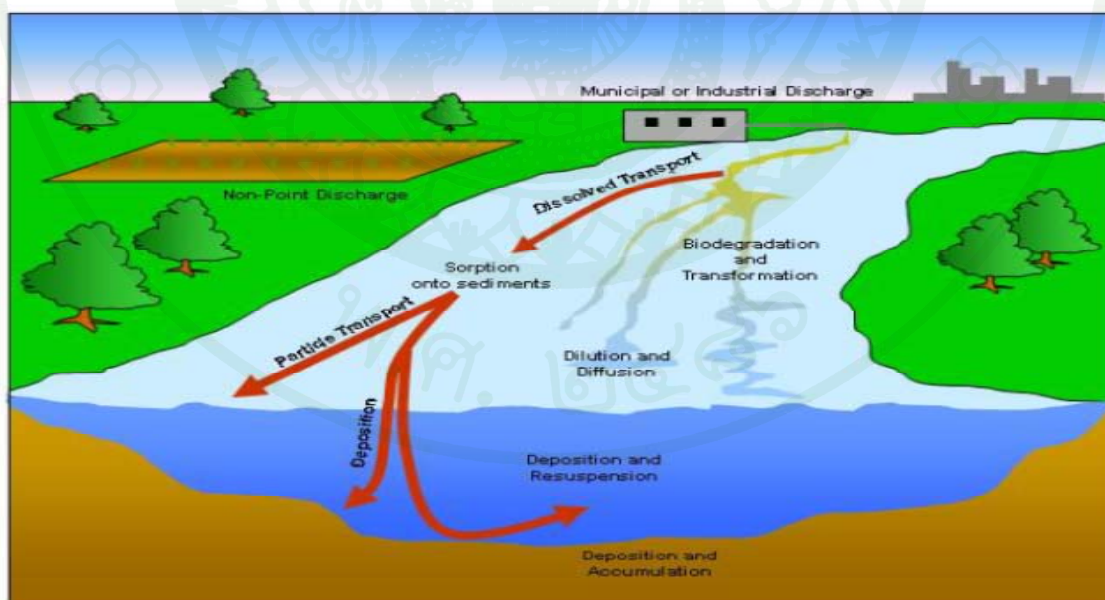
Δ = ความดันไอน้ำอิ่มตัว/อุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว (kPa/องศาเซลเซียส)

H_{net} = อัตราการแผ่รังสีสุทธิ (MJ/ตร.ม./วัน)

- G = พลังงานความร้อนที่พื้นดิน (MJ/ตร.ม./วัน)
 ρ_{air} = ความหนาแน่นอากาศ (กก./ลบ.ม.)
 e_z^o = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ความสูง z (kPa)
 e_z = ความดันไอน้ำที่ความสูง z (kPa)
 r_c = plant canopy resistance (วินาที/ม.)
 r_a = aerodynamic resistance (วินาที/ม.)
 γ = psychometrics constant (kPa/องศาเซลเซียส)

2) ส่วนการเคลื่อนตัวของน้ำ (routing component)

แบบจำลอง SWAT นั้นนอกจากสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำ ตะกอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสารเคมี ที่เคลื่อนที่ไปตามระบบลำน้ำของกลุ่มน้ำแล้ว ยังสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างลำน้ำและท้องน้ำด้วย โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน ได้แก่ การเคลื่อนตัวในลำน้ำ (routing in main channel or reach) และการเคลื่อนที่ในอ่างเก็บน้ำ (routing in the reservoir) (Neitsch *et al.*, 2005) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กระบวนการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำของแบบจำลอง SWAT

ที่มา: Neitsch *et al.*, (2005)

แบบจำลอง SWAT ใช้การเคลื่อนตัวของน้ำด้วยวิธีทางอุทกวิทยา (hydrologic flow routing) และคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านทางน้ำเป็นรายวัน (daily time step) ไม่มีการคำนวณซ้ำ (iteration) ทำให้สามารถทำการจำลองแบบได้ในช่วงเวลาที่ยาวนานบนพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ได้ โดยลดข้อมูลที่เป็นรายละเอียดของหน้าตัดทางขวางของทางน้ำ ด้วยการสมมติให้ขนาดของทางน้ำสายหลักมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ความลาดเททางข้าง (channel side slope) เป็น 2:1 สำหรับบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง (floodplain) แบบจำลองจะทำการสร้างขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในทางน้ำมีความลึกมากกว่าความลึกทั้งหมด โดยจะกำหนดให้ความกว้างบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงกว้างเป็น 5 เท่าของความกว้างด้านบนของทางน้ำและความลาดเททางข้างเป็น 4:1

ซึ่งข้อมูลนำเข้าของทางน้ำประกอบด้วยความยาวของช่วงของทางน้ำ ความลาดชันทางน้ำ ความลึกทางน้ำ ความกว้างทางน้ำด้านบน ความลาดเทของทุ่งน้ำท่วม ค่าสัมประสิทธิ์ manning's n ของทางน้ำและทุ่งน้ำท่วม โดย SWAT สามารถทำการเตรียมข้อมูลนำเข้าพื้นฐาน เช่น ความยาวลำน้ำ ความลาดเทของทางน้ำ เป็นต้น

ปริมาณน้ำไหลออก (outflow) จากช่วงของลำน้ำหาได้จากสมการดังนี้

$$O_i = SC(I_i + S_{i-1}) \quad (10)$$

เมื่อ O_i = ปริมาณน้ำไหลออกของวันที่ i (ลบ.ม.)

I_i = ปริมาณน้ำไหลเข้าของวันที่ i (ลบ.ม.)

S_{i-1} = ปริมาณความจุน้ำของช่วงลำน้ำของวันที่ $i-1$ (ลบ.ม.)

SC = ค่า storage coefficient, สามารถประมาณค่าโดยใช้สมการ

ดังนี้

$$SC = \frac{2 \cdot \Delta t}{2 \cdot TT + \Delta t} \quad (11)$$

เมื่อ TT = travel time (ชั่วโมง)

อัตราการไหล (q_{ch}) และความเร็ว (v_c) ของน้ำเฉลี่ยจะคำนวณโดยใช้สมการ Manning's equation ดังนี้

$$q_{ch} = \frac{A_{ch} \cdot R_{ch}^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{\eta} \quad (12)$$

$$v_c = \frac{R_{ch}^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{\eta} \quad (13)$$

เมื่อ A_{ch} = พื้นที่หน้าตัดการไหล (ตร.ม.)
 R_{ch} = รัศมีชลศาสตร์ (ม.)
 slp_{ch} = ความลาดชันของลำน้ำ (ม./ม.)
 η = สัมประสิทธิ์แมนนิง

3.3 การประเมินค่าปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจากแบบจำลอง SWAT

Neitsch *et al.* (2005) กล่าวว่า แบบจำลอง SWAT จะใช้วิธีการคำนวณการชะล้างพังทลายของพื้นผิวที่มีสาเหตุมาจากฝนและน้ำท่าซึ่งอยู่ภายในแต่ละ หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (hydrological response units; HRUs) ด้วยสมการสูญเสียดินสากลดัดแปลง (MUSLE) (Williams, 1975) ดังแสดงในสมการที่ 14 สมการ MUSLE เป็นรูปแบบดัดแปลงของสมการสูญเสียดินสากล (USLE) ซึ่งพัฒนาโดย Wischmeier and Smith (1965, 1978) สมการ USLE จะทำนายค่าเฉลี่ยของผลรวมของการชะล้างพังทลายตลอดปีที่เกิดขึ้นจากพลังงานฝน แต่ในสมการ MUSLE ปัจจัยพลังงานฝนจะถูกแทนที่ด้วยปัจจัยของน้ำท่าที่ในการคาดการณ์การเกิดการชะล้างพังทลายและผลผลิตตะกอน ซึ่งเป็นการเพิ่มความถูกต้องในการทำนายผลผลิตตะกอน

$$sed = 11.8(Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} \cdot K_{usle} \cdot C_{usle} \cdot P_{usle} \cdot LS_{usle} \cdot CFRG \quad (14)$$

เมื่อ sed = ผลผลิตตะกอนในแต่ละวัน (ตัน)
 Q_{surf} = ปริมาณของน้ำผิวดิน (มม./เฮกแตร์)
 q_{peak} = อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)
 $area_{hru}$ = พื้นที่ของ HRUs (เฮกแตร์)

$$\begin{aligned}
 K_{usle} &= \text{ปัจจัยความคงทนต่อการถูกชะล้างพังทลายของดิน} \\
 C_{usle} &= \text{ปัจจัยพืชคลุมดิน} \\
 P_{usle} &= \text{ปัจจัยทางมาตรการอนุรักษ์} \\
 LS_{usle} &= \text{ปัจจัยความลาดเทของพื้นที่} \\
 CFRG &= \text{ปัจจัยส่วนหยาบบนผิวดิน}
 \end{aligned}$$

ส่วนประกอบของแบบจำลองอุทกวิทยาในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าและอัตราการไหลของน้ำสูงสุด ที่ใช้ในการคำนวณค่าพลังงานของน้ำท่า ซึ่งแบบจำลอง SWAT จะคำนวณอัตราการไหลน้ำท่าสูงสุด โดยวิธีใช้หลักเหตุผล (rational method)

แบบจำลองการเคลื่อนตัวของตะกอนในลำน้ำจะจำลองการการพัดพาตะกอนทางน้ำ ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนที่เกิดพร้อมกัน คือการตกทับถมและการกัดเซาะ โดยค่าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดจากกระบวนการการตกทับถมและการกัดเซาะ คำนวณจากสมการที่ 15 โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกอนจากจุดหนึ่งกับอีกจุดหนึ่งในลำน้ำ (reach) ที่ช่วงเวลาเริ่มต้น

ความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดที่สามารถถูกพัดพาไปในลำน้ำ ที่เกิดจากความเร็วสูงสุดของทางน้ำไหล คำนวณได้จากสมการที่ 15

$$conc_{sed,ch,mx} = C_{sp} \cdot v_{ch,pk}^{spexp} \quad (15)$$

เมื่อ $conc_{sed,ch,mx}$ = ความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดที่สามารถถูกพัดพาไปในลำน้ำ (ตัน/ลบ.ม.)

C_{sp} = ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดโดยผู้ใช้

$v_{ch,pk}$ = ความเร็วสูงสุดของในลำน้ำ (เมตร/วินาที)

$spexp$ = ค่าตัวแปรยกกำลังสำหรับคำนวณปริมาณตะกอนในส่วนการเคลื่อนตัวของตะกอนในลำน้ำ กำหนดโดยผู้ใช้ ปกติจะมีค่าระหว่าง 1.0 และ 2.0

ความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดที่คำนวณในสมการที่ 15 เปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ คือค่า $conc_{sed,ch,i}$ ถ้า $conc_{sed,ch,i} > conc_{sed,ch,mx}$ แสดงว่ากระบวนการตกตะกอนทับถมในลำน้ำ จะเป็นกระบวนการหลัก และปริมาณตะกอนที่ตกทับถมในลำน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 16

$$sed_{dep} = (conc_{sed,ch,i} - conc_{sed,ch,mx}) \cdot V_{ch} \quad (16)$$

เมื่อ	sed_{dep}	=	ปริมาณตะกอนที่ตกทับถมในลำน้ำ (ตัน)
	$conc_{sed,ch,i}$	=	ค่าความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ (ตัน/ลบ.ม.)
	$conc_{sed,ch,mx}$	=	ความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดที่สามารถถูกพัดพาไปในลำน้ำ (ตัน/ลบ.ม.)
	V_{ch}	=	ปริมาณน้ำในช่วงลำน้ำ (ลบ.ม.)

ถ้า $conc_{sed,ch,i} < conc_{sed,ch,mx}$ แสดงว่ากระบวนการกัดเซาะในลำน้ำจะเป็นกระบวนการหลัก และปริมาณตะกอนที่ถูกกัดเซาะในลำน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 17

$$sed_{deg} = (conc_{sed,ch,mx} - conc_{sed,ch,i}) \cdot V_{ch} \cdot K_{ch} \cdot C_{ch} \quad (17)$$

เมื่อ	sed_{deg}	=	ปริมาณตะกอนที่ถูกกัดเซาะในลำน้ำ (ตัน)
	$conc_{sed,ch,mx}$	=	ความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดที่สามารถถูกพัดพาไปโดยน้ำ (ตัน/ลบ.ม.)
	$conc_{sed,ch,i}$	=	ค่าความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ (ตัน/ลบ.ม.)
	V_{ch}	=	ปริมาณน้ำในช่วงลำน้ำ (ลบ.ม.)
	K_{ch}	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะดิน (ชม./ชม./ปาสคาร์ล)
	C_{ch}	=	ค่าสัมประสิทธิ์ปกคลุมลำน้ำ

ค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ คำนวณได้จากสมการที่ 18

$$sed_{ch} = sed_{ch,i} - sed_{dep} + sed_{deg} \quad (18)$$

เมื่อ sed_{ch} = ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ (ตัน)
 $sed_{ch,i}$ = ปริมาณตะกอนแขวนลอยเริ่มต้นในลำน้ำ (ตัน)
 sed_{dep} = ปริมาณตะกอนที่ตกทับถมในลำน้ำ (ตัน)
 sed_{deg} = ปริมาณตะกอนที่ถูกกัดเซาะในลำน้ำ (ตัน)

ปริมาณตะกอนสุดท้ายที่ถูกพัดพาออกไปจากช่วงลำน้ำ คำนวณได้จากสมการที่ 19

$$sed_{out} = sed_{ch} \cdot \frac{V_{out}}{V_{ch}} \quad (19)$$

เมื่อ sed_{out} = ปริมาณตะกอนสุดท้ายที่ถูกพัดพาออกไปจากช่วงลำน้ำ (ตัน)
 sed_{ch} = ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ (ตัน)
 V_{out} = ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากช่วงลำน้ำ (ลบ.ม.)
 V_{ch} = ปริมาณน้ำในช่วงลำน้ำ (ลบ.ม.)

4. การเปรียบเทียบแบบจำลอง

การเปรียบเทียบแบบจำลองในโปรแกรม SWAT มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดความแตกต่างระหว่างข้อมูลจากการวัดกับข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลองให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งจำเป็นจะต้องเปรียบเทียบทุกพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ศึกษา โดยการเปรียบเทียบจะต้องทำจากลุ่มน้ำย่อยที่อยู่เหนือน้ำก่อน แล้วถัดลงไปตามลำดับจนถึงจุดปลายสุดของลุ่มน้ำหลัก (Neitsch *et al.*, 2005)

นิพนธ์ (2549) กล่าวว่า การสอบเทียบหรือการปรับเทียบ (calibration) คือการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยข้อมูลสารสนเทศที่มีการตรวจวัดไว้แล้วทั้งส่วนที่เป็นข้อมูลสารสนเทศนำเข้า (input information) และข้อมูลสารสนเทศที่เป็นผลลัพธ์ (output information) เพื่อเป็นการปรับ (adjust) หรือประมาณค่าปัจจัยในกรณีที่ยังไม่มีข้อมูลปรากฏ ส่วนการทดสอบเพื่อความมั่นใจ (validation) เป็นการเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ตรวจวัดจากระบบสิ่งแวดล้อมจริง

อันที่จริงแล้วการทดสอบความมั่นใจ ก็เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่ได้สอบเทียบไปแล้ว สามารถประเมินผลในทุกกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรและสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ดีมาน้อยเพียงไร

การตรวจสอบความมั่นใจในแบบจำลองมีหลายหนทางด้วยกัน โดยหลักการมักจะใช้ข้อมูลช่วงแรกๆ ซึ่งอย่างน้อยประมาณ 3-5 ปี ที่ใช้ในการปรับเทียบเป็นการสอบเทียบเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ผลที่ได้สอดคล้องกับการตรวจวัด ในทางปฏิบัติแล้วกระบวนการปรับเทียบและการตรวจสอบความมั่นใจแบบจำลอง สามารถดำเนินได้อย่างเป็นระบบ

4.1 การปรับเทียบปริมาณการไหล

การปรับเทียบปริมาณการไหล จำเป็นต้องมีข้อมูลตรวจวัดปริมาณการไหลที่จุดออกภายในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษา โดยเริ่มปรับเทียบจากปริมาณน้ำท่ารายปี เมื่อผลการคำนวณจากแบบจำลองสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดดีแล้ว จึงค่อยทำการสอบเทียบปริมาณการไหลรายเดือนและรายวัน การปรับเทียบแบบจำลองเป็นการปรับเทียบค่าปริมาณการไหล โดยปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม ดังตัวอย่างพารามิเตอร์ในแต่ละตัวจะมีความอ่อนไหวที่แตกต่างกันที่มีต่อผลการคำนวณปริมาณการไหลของแบบจำลอง SWAT ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีต่อผลการคำนวณปริมาณการไหลในแบบจำลอง SWAT

ค่าพารามิเตอร์	ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์		
	ปริมาณการไหลรวม	ปริมาณการไหลผิวดิน	ปริมาณการไหลพื้นฐาน
CN	สูง	สูง	ต่ำ
SOL_AWC	สูง	สูง	ต่ำ
ESCO	สูง	สูง	ต่ำ
GW_REVAP	ปานกลาง	ต่ำ	สูง
REVAPMN	ปานกลาง	ต่ำ	สูง
GWOMN	ปานกลาง	ต่ำ	สูง

ที่มา: Neitsch *et al.* (2005)

โดยที่	CN	=	SCS runoff curve number
	SOL_AWC	=	ปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บไว้ได้
	ESCO	=	factor ชดเชยการระเหยในดิน
	GW_REVAP	=	ค่าสัมประสิทธิ์น้ำใต้ดินที่ไหลออกจากชั้น shallow aquifer ไปสู่ชั้นดินเขตรากพืช
	REVAPMN	=	ปริมาณน้ำน้อยสุดที่ shallow aquifer ที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำใต้ดินที่ไหลจาก shallow aquifer ขึ้นสู่ชั้นดินเขตรากพืช
	GWOMN	=	ปริมาณน้ำน้อยสุดใน shallow aquifer ที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำใต้ดินที่ไหลจาก shallow aquifer เป็นปริมาณน้ำไหลกลับ

4.2 การปรับเทียบในส่วนของการชะล้างพังทลายของดินและการเกิดตะกอน

การปรับเทียบในส่วนของการชะล้างพังทลายของดินและการเกิดตะกอน (sediment - erosion calibration) เป็นการปรับเทียบความถูกต้องปริมาณตะกอน จะทำต่อจากมีการตรวจสอบเทียบแบบจำลองอุทกวิทยาแล้วและจะต้องทำก่อนหน้าการปรับเทียบคุณภาพน้ำ ในทางปฏิบัติแล้ว ตะกอนรายปีเกิดจากการรวมจากรายเดือนและรายเดือนรวมจากค่าที่คำนวณได้รายวัน โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองหาขนาดปริมาณตะกอน (sediment load) ที่ไหลลงสู่ลำน้ำมักเริ่มต้นด้วยการใช้สมการสูญเสียดินสากล (USLE) หาค่าการชะล้างพังทลายในพื้นที่การใช้ประโยชน์แต่ละชนิด แล้วปรับค่าการชะล้างพังทลายในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิดให้สมเหตุสมผลก่อน แล้วจึงปรับค่าการชะล้างทั้งลุ่มน้ำเป็นค่าตะกอนในลำน้ำ (นิพนธ์, 2549)

4.3 การปรับเทียบการเคลื่อนย้ายตะกอนในลำน้ำ

การปรับเทียบการเคลื่อนย้ายตะกอนในลำน้ำ (instream sediment transport calibration) จะทำเมื่อปรับเทียบขนาดปริมาณตะกอนที่ลงสู่ลำน้ำ (sediment loading rate) ได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็ต้องตรวจสอบปรับเทียบปริมาณตะกอนที่ไหลอยู่ในลำน้ำ (instream sediment transport) โดยจะต้องปรับเทียบตะกอนแขวนลอยที่จะไหลออกไปจากพื้นที่ลุ่มน้ำในรูปของความเข้มข้น (suspended sediment concentration) โดยการเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง (นิพนธ์, 2549)

4.4 การทดสอบและประยุกต์ใช้แบบจำลอง

นิพนธ์ (2549) กล่าวว่าวิธีการที่ควรใช้วัดความถูกต้องของการสอบเทียบ และความถูกต้องของแบบจำลองนั้น ประกอบด้วย

1) ใช้การสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง กับการตรวจวัดจริง (graphical comparisons) โดยมี 3 วิธี เช่น

(1) พล็อตกราฟเปลี่ยนแปลงตามเวลา (time series plots) ของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าตรวจวัดจริงของพารามิเตอร์เดียวกันในเวลาเดียวกัน

(2) ใช้กราฟเส้นทแยงมุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส 45 องศา (45° linear regression line displayed) ตัดสินความสอดคล้องระหว่างค่าตรวจวัดจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง

(3) ใช้กราฟค่าการแจกแจงความถี่สะสม (cumulative frequency distribution) ของค่าตรวจวัดจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองตามอนุกรมเวลาที่กำหนดเป็นตัวเปรียบเทียบ

2) ใช้วิธีการทดสอบทางสถิติ (statistical tests) ซึ่งอาจดำเนินการได้ด้วยวิธีต่างๆ เช่น

(1) หาความคลาดเคลื่อนทางสถิติ เช่น หาค่าสัมประสิทธิ์ความผันผวน (coefficient of variance, CV) หาค่าดัชนีการลดความคลาดเคลื่อนของค่าประมาณ (reduced error estimate, REE) หรือหาค่าโมเมนต์ที่สอง (second moment, M^2)

(2) การสอบเทียบแบบจำลองด้วยเทคนิคความเหมาะสมที่สุด เช่น การหาค่าสหสัมพันธ์ทางสถิติ (coefficient of determination, R^2)

(3) ทดสอบด้วยค่าความแตกต่างของค่าการแจกแจงความถี่สะสม

4.5 การใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกแบบจำลอง

ในความเป็นจริงการตรวจวัดเครื่องมือ และแบบจำลองที่สร้างขึ้นคงไม่สามารถแทนความเป็นจริงของธรรมชาติได้อย่างถูกต้องร้อยละร้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดหลักเกณฑ์ในการยอมรับประสิทธิภาพในการทำนาย (predict) ค่าแบบจำลองที่สร้างขึ้น (นิพนธ์, 2549) ดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ที่แสดงเกณฑ์ในการยอมรับ นอกจากนี้ Santhi *et al.* (2001) ได้กำหนดเกณฑ์ในการตัดสินใจสำหรับค่าที่ยอมรับได้จากการปรับเทียบแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยา โดยมีค่าร้อยละความ

แตกต่างกัน น้อยกว่าร้อยละ 15, R^2 มากกว่า 0.6 และ Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) มากกว่า 0.5 จะนับเป็นค่าสถิติที่เพียงพอสำหรับการสอบเทียบที่ยอมรับได้

ตารางที่ 5 เกณฑ์ที่ใช้กำหนดในการปรับเทียบและทดสอบ (calibration/validation) แบบจำลอง

พารามิเตอร์ที่ต้องการปรับเทียบ/ทดสอบ	ร้อยละความแตกต่าง การคำนวณกับการตรวจวัด (ระดับประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลอง)		
	ดีมาก	ดี	พอใช้
น้ำท่า (hydrology / flow)	< 10	10 - 15	15 - 20
ตะกอน (sediment)	< 20	20 - 30	30 - 35

ที่มา: นิพนธ์ (2549) ดัดแปลงจาก Donigian (2002)

ตารางที่ 6 เกณฑ์ในการใช้ค่า R^2 และ r ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงเส้น

พารามิเตอร์ทางสถิติ	สัมประสิทธิ์ยอมรับในระดับต่าง ๆ				
r	← 0.75	0.80	0.85	0.90	0.95 →
R^2	← 0.6	0.7	0.8	0.9	→
daily flow	ไม่ดี	พอใช้	ดี	ดีมาก	
monthly flow	ไม่ดี	พอใช้	ดี	ดีมาก	

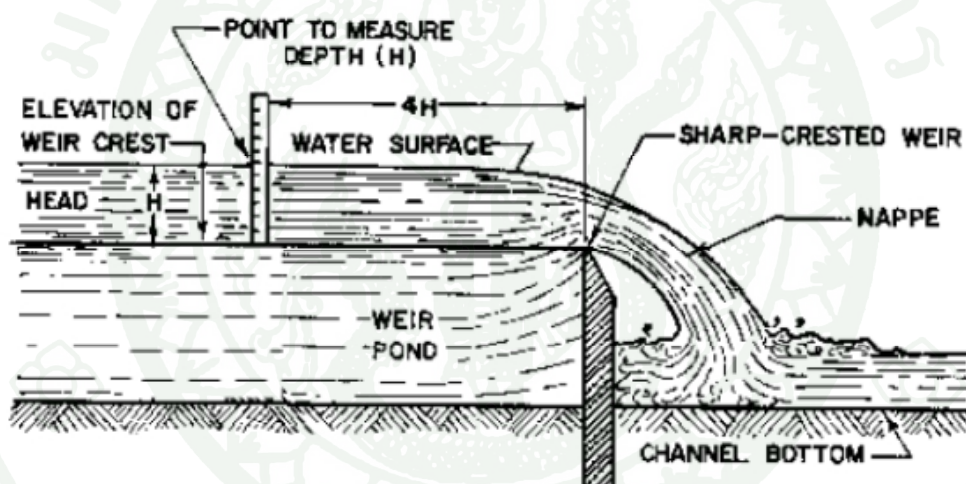
ที่มา: นิพนธ์ (2549) ดัดแปลงจาก Donigian (2002)

5. การวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย

ฝายเป็นอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างที่สร้างขึ้นขวางทางน้ำเปิดเพื่อใช้วัดอัตราการไหลของน้ำ เก็บกักน้ำ และทำหน้าที่ทดน้ำที่ไหลมาตามลำน้ำให้มีระดับสูงโดยให้น้ำไหลล้นข้ามไปได้ สันฝายโดยทั่วไปจะตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ (Merkley, 2004; Chaudhry, 1993)

5.1 ฝายสันคม (sharp-crested weirs)

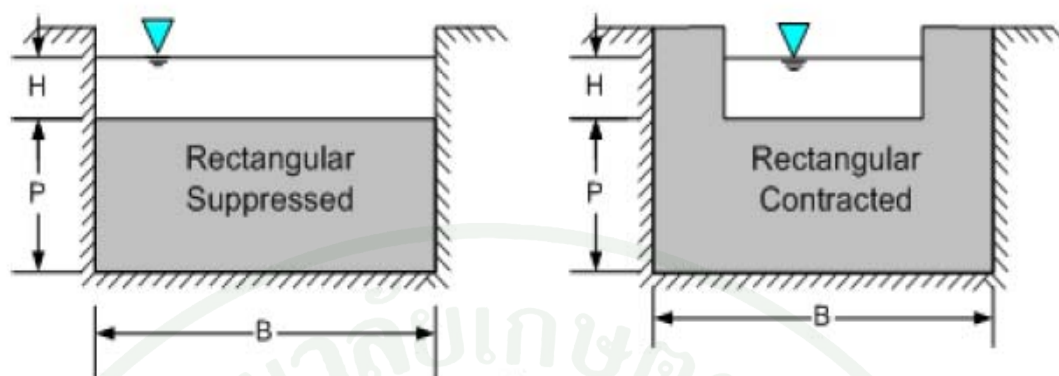
ฝายสันคม เป็นฝายที่สร้างโดยใช้สิ่งขวางกั้นทางน้ำเป็นแผ่นบางตั้งฉากกับทิศทางการไหล สันของแผ่นขวางกั้นทางน้ำจะมีลักษณะเป็นสันคม เมื่อน้ำไหลผ่านสันของแผ่นขวางกั้นทางน้ำจะทำให้เกิดม่านน้ำ (nappe) มีลักษณะดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ลักษณะฝายสันคม (sharp-crested weirs)

ที่มา: Boss (1989)

ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular weirs) จะแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ฝายที่มีความยาวสันฝายเท่ากับความกว้างของทางน้ำ (suppressed rectangular weir) และฝายที่มีความกว้างฝายไม่เท่ากับความกว้างลำน้ำ (contracted rectangular weir) ดังภาพที่ 7



(ก) ความกว้างฝายเท่ากับความกว้างลำน้ำ (ข) ความกว้างฝายไม่เท่ากับความกว้างลำน้ำ

ภาพที่ 7 ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ที่มา: Bos (1989)

สมการในการหาอัตราการไหลผ่านฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ความกว้างฝายเท่ากับ ความกว้างลำน้ำ จะแสดงได้ ดังสมการที่ 20

$$Q = \frac{2}{3} C_d B \sqrt{2g} H_1^{3/2} \quad (20)$$

เมื่อ

- Q = อัตราการไหลผ่านฝาย (ม.³/วินาที)
- C_d = สัมประสิทธิ์อัตราการไหล
- g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m³/s)
- H_1 = ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย (ม.)
- B = ความยาวของสันฝาย (ม.)

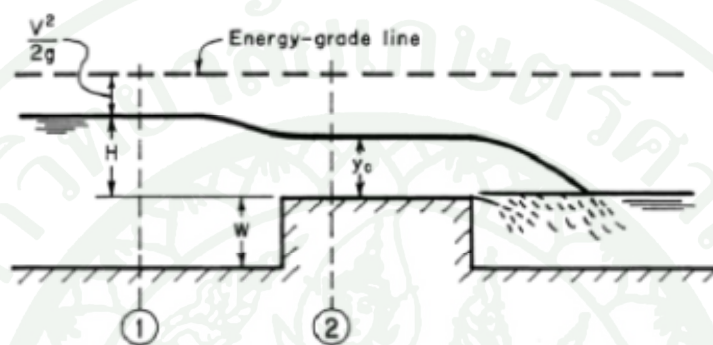
ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล จากผลการทดลองของ Rehbock (Henderson, 1966) C_d ประมาณได้ดังนี้

$$C_d = 0.661 + 0.08 \frac{H_1}{P} \quad (21)$$

เมื่อ P = ความสูงของฝายเหนือพื้นทางน้ำด้านเหนือน้ำ

5.2 ฝายสันกว้าง (broad-crested weirs)

ฝายสันกว้าง เป็นฝายที่มีความกว้างของสันฝายมากพอที่จะกำหนดขอบเขตได้ตามทิศทางการไหลของน้ำ โดยมีสันฝายอยู่ในแนวระนาบและกระจายแรงดันของน้ำบนสันฝาย แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลักษณะฝายสันกว้าง (broad-crested weir)

ที่มา: Chaudhry (2008)

สมการในการหาอัตราการไหลผ่านฝายสันกว้างรูปสี่เหลี่ยมในสภาวะการไหลแบบอิสระ (free flow) ดังนี้

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H_1^{3/2} \quad (22)$$

- เมื่อ
- Q = อัตราการไหลผ่านฝาย (ม.³/วินาที)
 - L = ความยาวของสันฝาย (ม.)
 - C_d = สัมประสิทธิ์อัตราการไหล
 - H_1 = ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย
 - g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ($g = 9.81$ ม.³/วินาที)

สำหรับการศึกษาของ Govida Rao และ Muralidhar ได้แสดงสมการค่าสัมประสิทธิ์ อัตราการไหลของฝายสันกว้างประเภทต่างๆ ดังสมการที่ 23, 24 และ 25 โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของความสูงของน้ำด้านหน้าฝายต่อความกว้างของฝาย $\left(\frac{H_1}{B_w}\right)$ ซึ่งมีเงื่อนไขอยู่ที่ $0 \leq \frac{H_1}{B_w} \leq 2.0$ และ $0 \leq \frac{H_1}{P} \leq 1.0$ ดังนี้ (Subramanya, 1982)

- 1) long-crested weirs; $\frac{H_1}{B_w} \leq 0.10$

$$C_d = 0.561 \cdot \left(\frac{H_1}{B_w}\right)^{0.022} \quad (23)$$

- 2) broad-crested weirs; $0.10 < \frac{H_1}{B_w} \leq 0.35$

$$C_d = 0.028 \cdot \left(\frac{H_1}{B_w}\right) + 0.521 \quad (24)$$

- 3) narrow-crested weirs; $0.35 < \frac{H_1}{B_w} \leq 1.50$

$$C_d = 0.120 \cdot \left(\frac{H_1}{B_w}\right) + 0.492 \quad (25)$$

- 4) sharp-crested weirs; $\frac{H_1}{B_w} > 1.50$ ถือว่าเป็นฝายสันคม ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์

อัตราการไหลจึงพิจารณาจากสมการของฝายสันคม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติพงษ์ (2546) ศึกษาการประเมินสัมพันธภาพลำนํ้าย่อยของประเทศไทยด้วยข้อมูลระบบ ภูมิสารสนเทศ และแบบจำลองสารสนเทศ SWAT/GIS บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ต้นตอนบน อำเภอมวกก่อ จังหวัดเชียงใหม่ มีพื้นที่ประมาณ 1,500 ตารางกิโลเมตร มีสถานีวิัดน้ำท่าเพื่อใช้ในการสอบเทียบ 2 สถานี คือ สถานี P64 และสถานี PN.8 โดยทำการศึกษาโครงสร้างของแบบจำลอง SWAT/GIS และ

พัฒนาโปรแกรม data analysis ขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการสอบเทียบ โดยแยก base flow จากปริมาณน้ำท่าโดยวิธี HYSEP ผลของการศึกษา พบว่า การปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง แสดงความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำ P64 ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.5795 และสถานี PN.8 ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.5361

โอฬาร (2548) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบน โดยใช้แบบจำลอง SWAT ซึ่งใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2520 2537 และ 2544 เป็นตัวแทนการเปลี่ยนแปลง และสามารถจำแนกหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของแบบจำลอง (HRUs) ในแต่ละช่วงเวลา และได้นำข้อมูลน้ำท่าที่ตรวจวัดรายเดือนต่อเนื่องประมาณ 5-10 ปี ของแต่ละช่วงการเปลี่ยนแปลง มาใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง ผลที่ได้จากแบบจำลอง SWAT โครงการลำน้ำที่จำลองขึ้นมีสภาพใกล้เคียงกับสภาพลำน้ำจริง และปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัดในขนาดที่ยอมรับได้

Al-Soufi (2004) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในศึกษาการชะล้างพังทลายของดินและการเคลื่อนย้ายตะกอนในลุ่มน้ำโขง ผลการศึกษา พบว่า การชะล้างพังทลายของดินและการเคลื่อนย้ายตะกอนมีมากขึ้น จากการตัดไม้ทำลายป่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรกรรม และการปลูกสร้างบ้านเรือนเพิ่มขึ้น โดยการปรับเทียบข้อมูลของแบบจำลองได้ใช้วิธี relative error (RE) และนำไปคูณ 100 ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะเป็นค่าร้อยละ ซึ่งการปรับเทียบอยู่ในช่วงระยะเวลาปี 1990-1994 และการทดสอบแบบจำลองในปี 1996-1999 โดยค่าความผิดพลาดจากการปรับเทียบข้อมูลตะกอนของแบบจำลอง อยู่ในช่วงร้อยละ 21-44

Munchaona (2009) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับทางนิเวศของพื้นที่ลุ่มน้ำ: กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิง จังหวัดนครราชสีมา โดยปรับเทียบการไหลในลำน้ำที่สถานี M.145 กับปริมาณน้ำจากแบบจำลองในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีสถานีวัดน้ำตั้งอยู่ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.87 สำหรับผลการวิเคราะห์ศักยภาพในการทำหน้าที่เชิงนิเวศของพื้นที่ลุ่มน้ำ พบว่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการผลิตทางการเกษตรสูงกว่าป่าธรรมชาติ จะส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการทำหน้าที่เชิงนิเวศของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นอย่างมาก โดยปริมาณน้ำท่าเกิดขึ้นมากในช่วงฤดูฝน ส่งผลให้ผิวหน้าดินถูกพัดพาไปสะสมในแหล่งน้ำธรรมชาติมากขึ้น รวมทั้งนอกช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำท่าเกิดขึ้นน้อยกว่าปกติ ส่งผลให้เกิดภาวะน้ำขาดแคลน

Alibuyog *et al.* (2009) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง ArcSWAT ในการทำนายผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าและผลผลิตตะกอนในลุ่มน้ำย่อย Manupali River ในประเทศฟิลิปปินส์ ซึ่งผลของการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่าและผลผลิตตะกอนด้วยวิธี Nash and Sutcliffe coefficient (NSE) มีค่าอยู่ในช่วง 0.77–0.83 และ 0.55–0.80 ตามลำดับ

Zheng *et al.* (2009) ได้ประยุกต์ใช้แบบ SWAT ในการประมาณค่าผลผลิตตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำที่เป็นพื้นที่เกษตรบนภูเขา พื้นที่ศึกษาอยู่ในลุ่มน้ำ Chaohe ซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำในบริเวณอ่างเก็บน้ำ Miyun ที่ใหญ่ที่สุดในตอนเหนือของประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่า จากการเปรียบเทียบแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่วัดได้ที่ Dage station ในช่วงปี 1985–1987 และทดสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่วัดได้ในช่วง 1988–1990 ค่าของ E_{NS} และ R^2 จากการจำลองน้ำท่าและตะกอนเป็นที่น่าพอใจ

Sanjay *et al.* (2010) ศึกษาการจำลองน้ำท่าและผลผลิตตะกอนสำหรับลุ่มน้ำ Himalayan โดยใช้แบบจำลอง SWAT พื้นที่ศึกษาอยู่ในบริเวณ Suni to Kasol ซึ่งเป็นลุ่มน้ำตอนกลางของแม่น้ำ Satluj ที่อยู่ในเขต Western Himalayan ผลของการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ R^2 พบว่า ค่า R^2 ในช่วงการเปรียบเทียบแบบจำลองของน้ำท่ารายวันและรายเดือน มีค่า 0.53 และ 0.90 ส่วนในช่วงการทดสอบแบบจำลองของน้ำท่ารายวันและรายเดือน มีค่า 0.33 และ 0.66 ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองของผลผลิตตะกอนรายวันและรายเดือน มีค่า R^2 เท่ากับ 0.33 และ 0.38 ส่วนในช่วงการทดสอบแบบจำลองของผลผลิตตะกอนรายวันและรายเดือน มีค่า R^2 เท่ากับ 0.26 และ 0.47 ตามลำดับ

Shimelis *et al.* (2010) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองของผลผลิตตะกอนในลุ่มน้ำ ANJENI-GAUGED ของประเทศเอธิโอเปีย ด้วยแบบจำลอง SWAT ซึ่งปัญหาการชะล้างพังทลายของดินเป็นปัญหาหลักในที่สูงของประเทศ โดยใช้ข้อมูลอุทกนิยมนิเวศวิทยา น้ำท่า และตะกอนรายเดือนในช่วงสิบปีมาใช้ในการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง ผลจากการศึกษา พบว่า ค่าที่ตรวจวัดได้จริงสอดคล้องกับผลผลิตตะกอนที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ Nash–Sutcliffe efficiency (NSE) เท่ากับ 0.81 ซึ่งแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์การจัดการในรูปแบบต่างๆ ที่จะช่วยให้ผู้มีส่วนได้เสียในการวางแผนและการนำไปปฏิบัติกับกลยุทธ์ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วยดังนี้

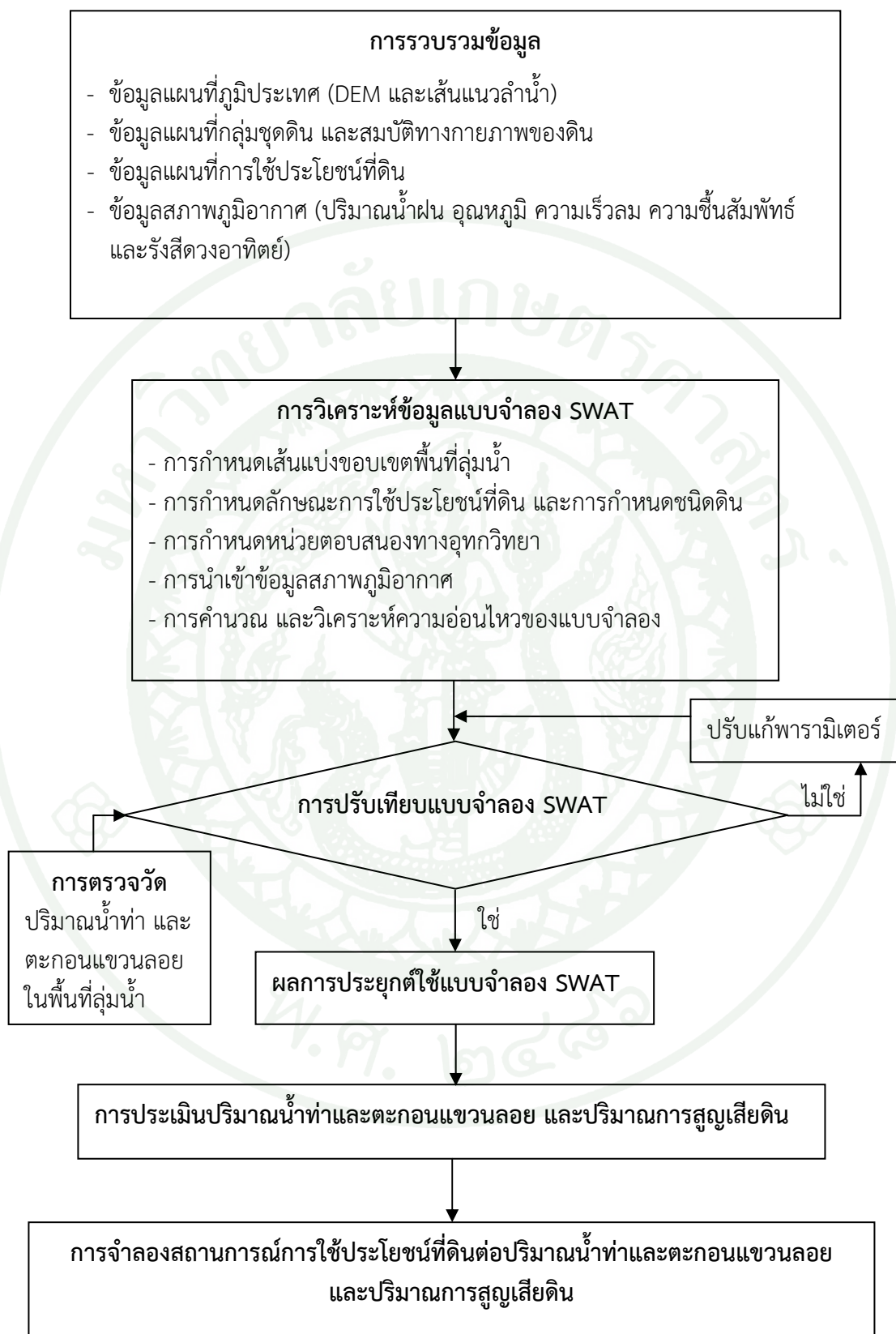
1. Personal computer
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP
3. GIS software: ArcGIS 9.3 และ ArcView 3.3
4. โปรแกรม Microsoft Excel
5. โปรแกรม SWATPlot
6. ArcGIS Extension
 - 6.1 spatial analyst
 - 6.2 ArcSWAT 2.3.3a
 - 6.3 3D analysis
7. เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System; GPS)
8. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
9. เครื่องพิมพ์

วิธีการ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวิธีการและขั้นตอนการดำเนินการศึกษา ดังภาพที่ 9 และมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาสำหรับแบบจำลอง SWAT ประกอบไปด้วยข้อมูลต่างๆ เช่น ข้อมูลภูมิประเทศ ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลดิน ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย เป็นต้น โดยรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 7 ซึ่งแบบจำลอง SWAT จะมีการทำงานร่วมกันกับข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในการจำลองแบบทางอุทกวิทยา และการทำนายผลกระทบของการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า และตะกอน ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยมีข้อมูลเชิงพื้นที่และตารางที่ต้องใช้สำหรับแบบจำลองประกอบด้วยดังนี้



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ตารางที่ 7 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจากหน่วยงานต่างๆ

ลำดับ	ข้อมูล	ลักษณะข้อมูล	ที่มา
1	แผนที่ภูมิประเทศ	แผนที่	กรมแผนที่ทหาร
2	เส้นชั้นความสูง	GIS file	กรมแผนที่ทหาร
3	พื้นที่ระดับความสูงเชิงเลข	GIS file	KU [*]
4	เส้นแนวลำน้ำ	GIS file	กรมแผนที่ทหาร
5	ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่าและตะกอน	GIS file	สำรวจภาคสนาม
6	ตำแหน่งของสถานีวัดภูมิอากาศ	GIS file	KU [*] , มูลนิธิอาสา เพื่อนพึ่ง (ภาฯ), กรมอุตุนิยมวิทยา
7	ตำแหน่งของสถานีวัดปริมาณน้ำฝน	GIS file	KU [*] , มูลนิธิอาสา เพื่อนพึ่ง (ภาฯ)
8	ข้อมูลปริมาณน้ำท่า	ข้อมูลตาราง	สำรวจภาคสนาม
9	ข้อมูลปริมาณตะกอนแขวนลอย	ข้อมูลตาราง	สำรวจภาคสนาม
10	ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ	ข้อมูลตาราง	มูลนิธิอาสาเพื่อน พึ่ง (ภาฯ), กรมอุตุนิยมวิทยา
11	ข้อมูลปริมาณน้ำฝน	ข้อมูลตาราง	KU [*] , มูลนิธิอาสา เพื่อนพึ่ง (ภาฯ)
12	แผนที่กลุ่มชุดดิน	GIS file	กรมพัฒนาที่ดิน
13	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน	GIS file	กรมพัฒนาที่ดิน

หมายเหตุ: * โครงการวิจัย การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำเพื่อพัฒนาระบบการเฝ้าระวัง
และการเตือนภัยจากน้ำท่วมฉับพลัน

1) ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ

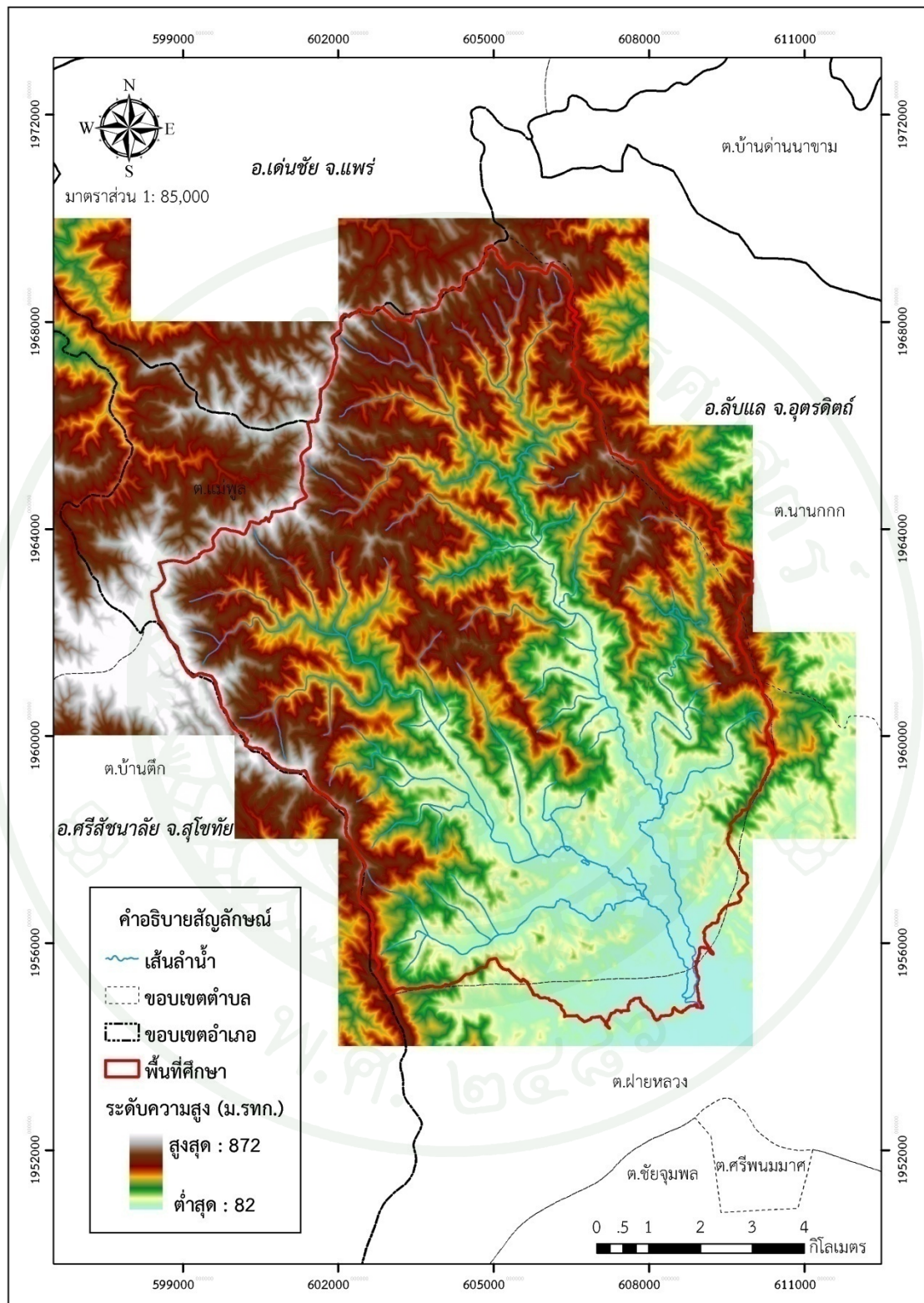
ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศที่ใช้สำหรับแบบจำลอง ประกอบด้วยข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ได้แก่ ข้อมูลแผนที่แสดงชั้นความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model; DEM) โดยทำการสร้างจากข้อมูลค่าพิกัดและจุดระดับความสูงที่ห่างกันทุกๆ ระยะ 5 เมตร ในรูปของข้อมูล shapefile หลังจากนั้นทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของข้อมูลราสเตอร์หรือข้อมูลในรูปของกริดเซลล์รูปสี่เหลี่ยม ซึ่งในแต่ละข้อมูลกริดเซลล์จะมีค่าระดับความสูงอยู่ และข้อมูลเส้นทางน้ำ ที่แสดงเส้นแนวลำน้ำต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยข้อมูลแผนที่แสดงชั้นความสูงเชิงตัวเลข และข้อมูลเส้นทางน้ำ ดังภาพที่ 10

2) ข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดิน

ข้อมูลดิน ได้รวบรวมข้อมูลจากแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน มาตรฐาน 1:50,000 ที่ศึกษาคุณสมบัติของดิน และการกระจายตัวของดินชุดต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้จัดทำชุดดินในประเทศไทยออกเป็น 62 กลุ่มดิน (soil group) โดยใช้หลักเกณฑ์ในการรวมชุดดินที่มีลักษณะสมบัติ และศักยภาพในการเพาะปลูกรวมถึงการจัดการดินที่คล้ายคลึงกัน มาไว้เป็นกลุ่มเดียวกันจากชุดดินกว่า 300 ชุดดิน ข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินที่อยู่ในบริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่พลประกอบไปด้วยกลุ่มชุดดิน ดังภาพที่ 2

3) ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ข้อมูลแผนที่ใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้รวบรวมข้อมูลจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2552 ของกรมพัฒนาที่ดิน มาตรฐาน 1:50,000 โดยศึกษาประเภทการใช้ที่ดินและพืชปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการแปลภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียม สำหรับข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่พล ดังภาพที่ 3



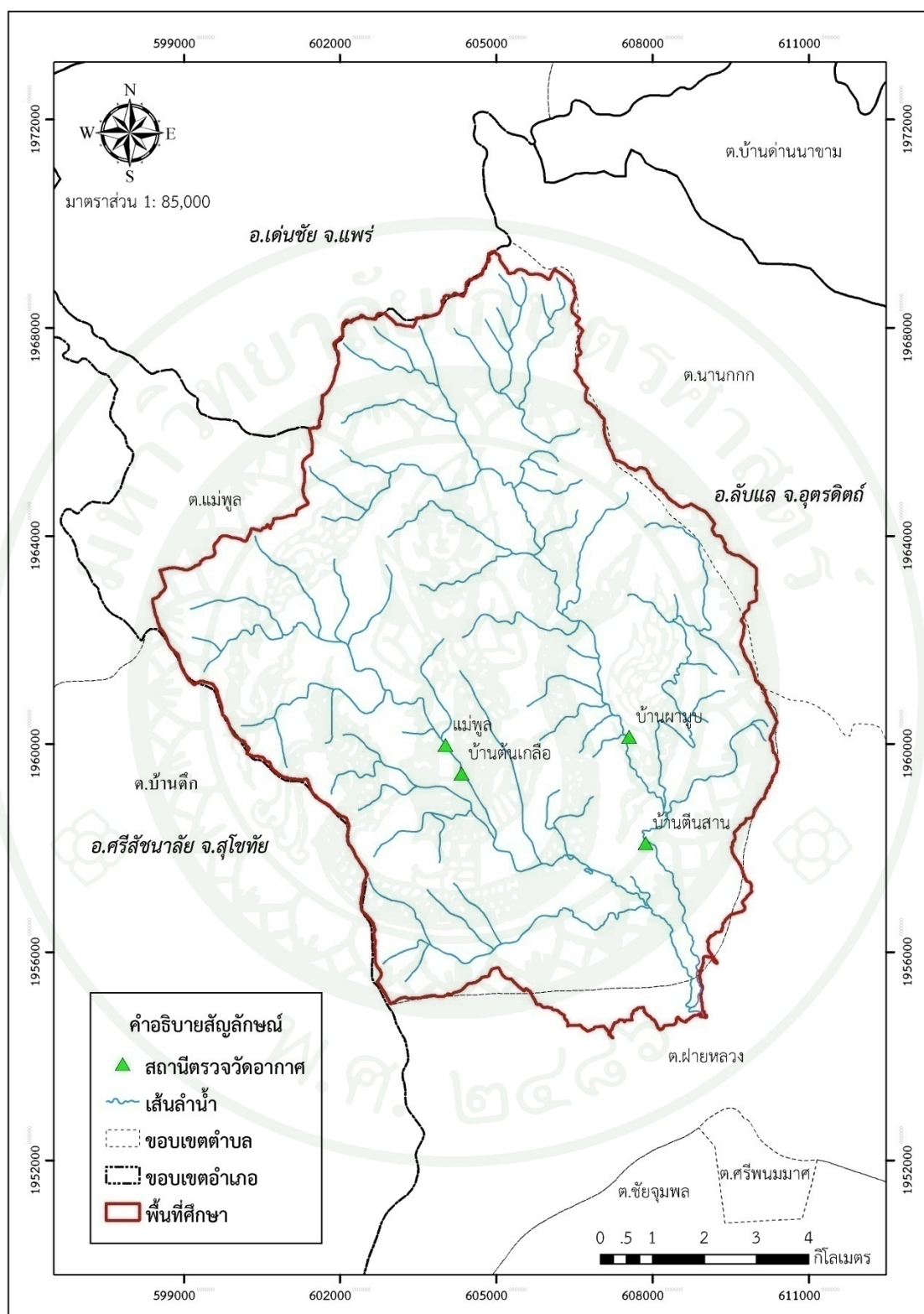
ภาพที่ 10 ชั้นความสูงเชิงตัวเลข และเส้นแนวลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

4) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลสถิติภูมิอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา มูลนิธิอาสาเพื่อนพึ่ง (ภาฯ) และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยได้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติที่กระจายอยู่ในพื้นที่ศึกษา และบริเวณข้างเคียง ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ (ต่ำสุด-สูงสุด) ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และรังสีดวงอาทิตย์ โดยทั้งหมดเป็นข้อมูลรายวัน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้คัดเลือกสถานีที่เก็บรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศในบริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ดังตารางที่ 8 และแสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ดังภาพที่ 11

ตารางที่ 8 สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ข้อมูล	สถานี	ตำแหน่งสถานี		ช่วงปีสถิติข้อมูล
		Easting	Northing	
ปริมาณน้ำฝน	แม่พูล	604025	1959974	ก.ย. 2551 - ก.ย. 2553
	บ้านตีนसान	607873	1958094	ก.ค 2552 - ธ.ค. 2553
	บ้านผามุบ	607551	1960136	ก.ค 2552 - ต.ค. 2553
	บ้านต้นเกลือ	604335	1959431	ก.ค 2553 - ต.ค. 2553
อุณหภูมิ	บ้านตีนसान	607873	1958094	ก.ค 2552 - ธ.ค. 2553
	บ้านผามุบ	607551	1960136	ก.ค 2552 - ต.ค. 2553
ความเร็วลม	จังหวัดอุดรดิตถ์	616704	1948114	ก.ย. 2551 - พ.ย. 2553
ความชื้นสัมพัทธ์	บ้านตีนसान	607873	1958094	ก.ค 2552 - ธ.ค. 2553
	บ้านผามุบ	607551	1960136	ก.ค 2552 - ต.ค. 2553
	บ้านต้นเกลือ	604335	1959431	ก.ค 2553 - ต.ค. 2553
รังสีดวงอาทิตย์	บ้านตีนसान	607873	1958094	ก.ค 2552 - ต.ค. 2553



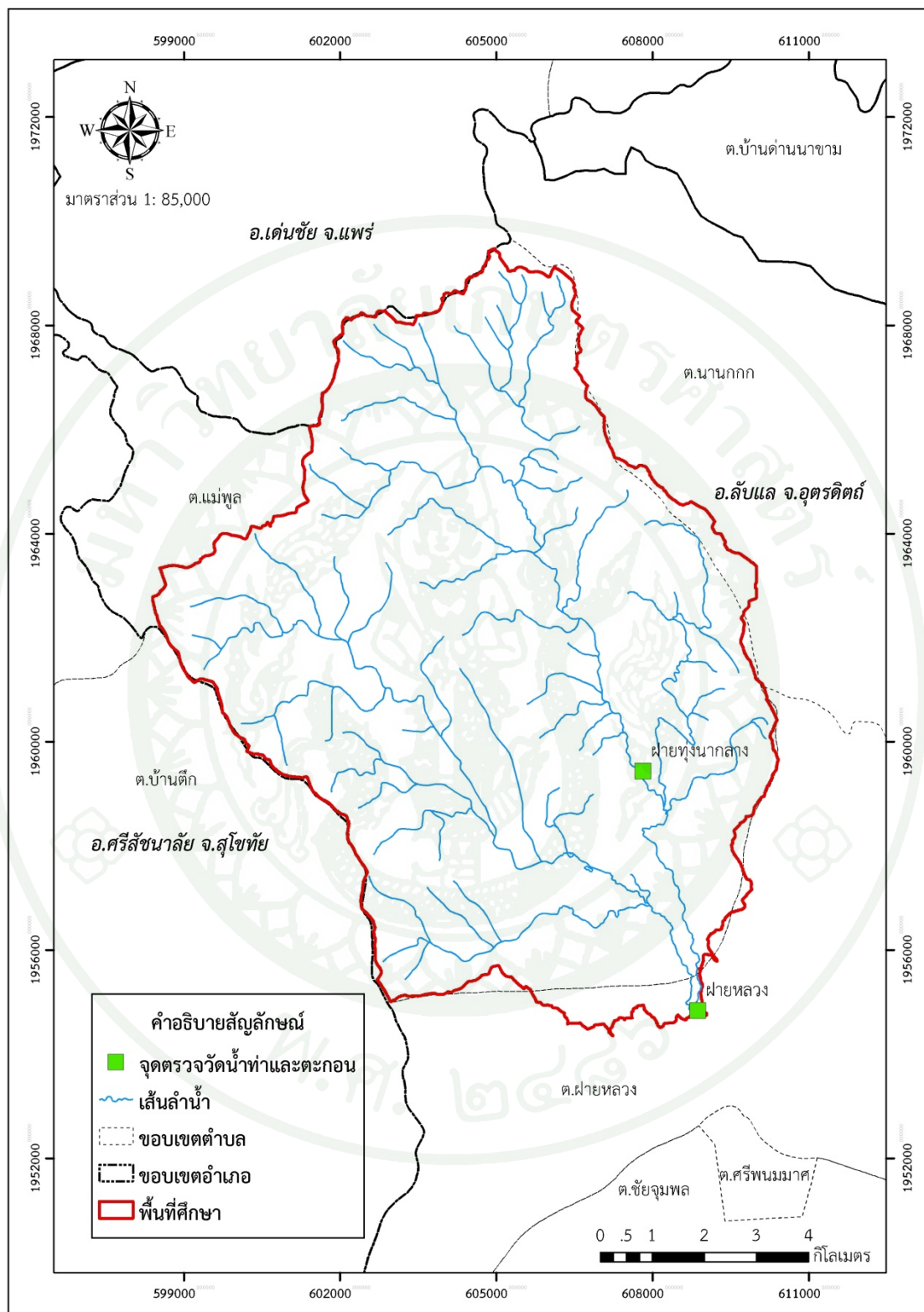
ภาพที่ 11 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พล

5) ข้อมูลปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย

ข้อมูลอุทกวิทยาที่สำคัญประกอบไปด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้ข้อมูลจากการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา จำนวน 2 แห่ง ได้แก่ ฝายทุ่งนากลาง และฝายหลวง ซึ่งข้อมูลก็นำมาใช้เป็นข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน ส่วนข้อมูลปริมาณตะกอนแขวนลอยได้จากการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษาที่ฝายหลวง โดยเก็บตัวอย่างน้ำ ไปวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักของตะกอนแขวนลอย และนำไปหาปริมาณตะกอนแขวนลอยรายวัน โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่าและตะกอนนำไปใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองกับผลที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง SWAT ซึ่งจุดตรวจวัดปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอยในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ดังตารางที่ 9 และภาพที่ 12

ตารางที่ 9 จุดตรวจวัดปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอยในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ข้อมูล	สถานี	ตำแหน่งสถานี		ช่วงปีสถิติข้อมูล
		Easting	Northing	
น้ำท่า	ฝายหลวง	608874	1954830	27 ก.ค. – 31 ต.ค. 2553
	ฝายทุ่งนากลาง	607818	1959431	27 ก.ค. – 31 ต.ค. 2553
ตะกอนแขวนลอย	ฝายหลวง	608874	1954830	7 ส.ค. – 7 พ.ย. 2553 (14 ครั้ง)



ภาพที่ 12 ตำแหน่งจุดตรวจวัดปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอยในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย ที่ได้จากการตรวจวัด และการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลกับแบบจำลอง 2) การวิเคราะห์ข้อมูลแบบจำลอง SWAT

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา

1) การตรวจวัดปริมาณน้ำท่า

การตรวจวัดปริมาณน้ำท่า ทำการตรวจวัดด้วยวิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย โดยการติดตั้งแผ่นวัดระดับความสูงน้ำ (staff gage) บริเวณหน้าฝาย พร้อมจดบันทึกค่าระดับน้ำเพื่อวัดความสูงของน้ำเหนือสันฝายรายวัน โดยจดบันทึกค่าระดับน้ำประจำวันทั้งหมด 3 เวลา คือ 06.00, 12.00 และ 18.00 น. แล้วมาคำนวณหาค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายวัน รวมทั้งทำการสำรวจรายละเอียดของฝาย เช่น ลักษณะโครงสร้างของฝาย และความยาวของสันฝาย เป็นต้น หลังจากนั้นจึงนำมาคำนวณปริมาณน้ำท่ารายวัน โดยใช้สมการในการหาอัตราการไหลผ่านฝายตามชนิดของฝายที่ทำการตรวจวัด ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝายเฉลี่ยรายวัน ที่ฝายทุ่งนากลาง และฝายหลวง ตั้งแต่วันที่ 27 ก.ค.-31 ต.ค. 2553 สำหรับฝายทั้งสองนั้นเป็นฝายชนิดฝายสันกว้าง ซึ่งนำความสูงของน้ำเหนือสันฝายมาคำนวณปริมาณน้ำท่ารายวัน ดังสมการที่ 26

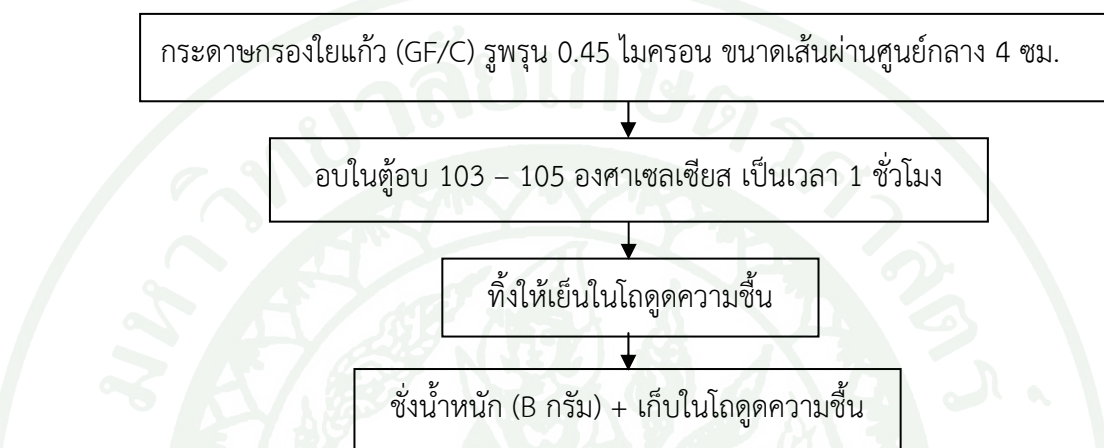
$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H_1^{3/2} \quad (26)$$

2) การตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอย

การตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอย เป็นการตรวจวัดส่วนของแข็งที่เหลือค้ำบนกระดาดกรองใยแก้วมาตรฐานหลังจากการกรองตัวอย่าง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอย ได้เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์หาตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ฝายหลวง ซึ่งเป็นบริเวณจุดออก (outlet) ของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงฤดูฝน มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 14 ครั้ง ในช่วงวันที่ 7 ส.ค.-7 พ.ย. 2553 และนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางเคมี

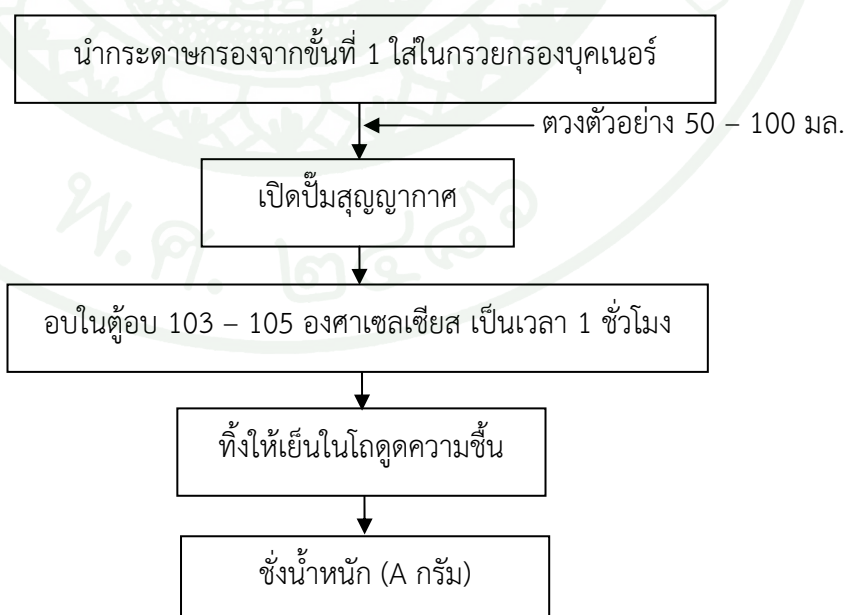
วิธีการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในห้องปฏิบัติการทางเคมี ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

(1) การเตรียมกระดาศกรองใยแก้ว โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการเตรียมกระดาศกรองใยแก้ว

(2) การวิเคราะห์หาตะกอนแขวนลอยโดยการกรองด้วยกระดาศกรอง GF/C โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาตะกอนแขวนลอยโดยการกรองด้วยกระดาศกรอง GF/C

(3) การคำนวณน้ำหนักตะกอนแขวนลอย ใช้สูตรดังนี้

$$SS \text{ (มก./ล.)} = \frac{(A-B) \times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } A &= \text{น้ำหนักกระดาษากรอง + น้ำหนัก SS หลังอบ} \\ B &= \text{น้ำหนักกระดาษากรอง (มิลลิกรัม)} \end{aligned}$$

เมื่อได้ค่าปริมาณตะกอนแขวนลอย ในหน่วย มก./ล. แล้ว ทำให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยมีหน่วยเป็นตัน โดยคำนวณตามสมการที่ 28 และ 29 ดังนี้

$$Q_{MCM} = Q_{c.m.s.} \times 0.0864 \quad (28)$$

$$SS_{ton} = Q_{MCM} \times SS_{mg/l} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } Q_{MCM} &= \text{ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)} \\ Q_{c.m.s.} &= \text{ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที)} \\ SS_{ton} &= \text{ปริมาณตะกอนแขวนลอย (ตัน)} \\ SS_{mg/l} &= \text{ปริมาณตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)} \end{aligned}$$

หลังจากได้ค่าปริมาณตะกอนแขวนลอย (ตัน) จากการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 14 ครั้ง แล้วให้นำไป plot กราฟเลขยกกำลังของโค้งปริมาณตะกอนแขวนลอย (sediment-discharge rating curve) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอย และปริมาณการไหลของน้ำ (กอบเกียรติ, 2542) โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที) อยู่ในแกน X และปริมาณตะกอนแขวนลอย (ตัน) อยู่ในแกน Y ทำให้สามารถนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณตะกอนเฉลี่ยรายวัน ในรูปแบบสมการ ดังนี้

$$Y = aX^b \quad (30)$$

เมื่อ Y = ปริมาณตะกอนแขวนลอย (ตัน/วัน)
 X = ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที)
 a, b = ค่าสัมประสิทธิ์

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบจำลอง SWAT

การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยใช้แบบจำลอง SWAT เป็นเครื่องมือในการศึกษา ต้องมีการใช้ข้อมูลในการนำเข้าสู่แบบจำลอง ซึ่งการนำเข้าข้อมูลแบบจำลอง SWAT ประกอบไปด้วยการนำเข้าข้อมูล 2 ลักษณะ คือ การนำเข้าข้อมูลทางกายภาพเชิงพื้นที่ และการนำเข้าข้อมูลแบบตาราง เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลอง ดังนี้

1) การกำหนดเส้นแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ

การกำหนดเส้นแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นขั้นตอนแรกในการสร้างแบบจำลองทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยนำเข้าข้อมูลชั้นความสูงเชิงตัวเลข (DEM) ซึ่งเป็นข้อมูลในรูปแบบราสเตอร์หรือข้อมูลในรูปของกริดเซลล์รูปสี่เหลี่ยม ข้อมูล DEM นั้นจะใช้ในการคำนวณสภาพทางกายภาพทั่วไปของพื้นที่ เช่น ความลาดชันของพื้นที่ (slope) ทิศทางการไหล (flow direction) ผลรวมของการไหลสะสม (flow accumulation) ระบบโครงข่ายลำน้ำ และการกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT

2) การกำหนดลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการกำหนดชนิดดิน

หลังจากการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการกำหนดชนิดดิน โดยการนำเข้าข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและแผนที่ชนิดดินเข้าสู่แบบจำลอง SWAT

การกำหนดลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะต้องมีการเตรียมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยแบ่งประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีอยู่ในพื้นที่ศึกษา และกำหนดรหัสตัวอักษร 4 ตัว ตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินให้อยู่ในรูปแบบที่แบบจำลอง SWAT ต้องการ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การกำหนดรหัสตัวอักษร ตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง SWAT

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	รหัสตัวอักษร 4 ตัว
ป่าไม้	FRSE
ไม้ผล	ORCD
นาข้าว	PDDY
สวนป่า	PNFR
ที่อยู่อาศัย	URBN
แหล่งน้ำ	WATR
อื่นๆ	OTHR

การนำเข้าข้อมูลแผนที่ของดิน ได้มีการกำหนดฐานข้อมูลชนิดดินที่มีอยู่ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งฐานข้อมูลชนิดดินนั้นได้มาจากข้อมูลลักษณะสมบัติทางกายภาพของดินในประเทศไทยทั้งหมด 62 กลุ่มชุดดิน จากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน และข้อมูลคุณลักษณะดินบางประการจากเอกสารงานวิชาการที่ได้ศึกษาคุณลักษณะของดินตามการจำแนกประเภทเนื้อดิน และนำเข้าสู่ฐานข้อมูลของแบบจำลอง SWAT

3) การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา

การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) เป็นการกำหนดรายละเอียดของพื้นที่ให้พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยสามารถมีลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ที่ความหลากหลายตามลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดิน และ ชนิดของดิน ทำให้มีความแตกต่างของค่าการใช้น้ำของพืช และ เงื่อนไขทางด้านอุทกวิทยาที่เกิดจากลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดิน และชนิดของดิน ที่แตกต่างกัน ด้วยปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้ในแต่ละหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา ดังนั้นในการกำหนด HRUs จึงต้องกำหนดหน่วยพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่กลุ่มชุดดินให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

4) การนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

การนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝน เป็นข้อมูลที่สำคัญในการคำนวณจากแบบจำลอง SWAT ข้อมูลที่นำเข้าได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดรายวัน ความเร็วลมรายวัน ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน และรังสีดวงอาทิตย์รายวัน โดยต้องจัดทำข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบตารางตามที่แบบจำลองต้องการ ซึ่งก่อนการนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝนนั้น ได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันที่มีการบันทึกไว้ในบางสถานี อาจมีการขาดหายไปของข้อมูล จึงต้องมีการเติมค่าส่วนที่ขาดหายไปให้ครบถ้วน โดยการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตจากสถานีวัดปริมาณน้ำฝนที่อยู่ใกล้เคียงในช่วงเวลาเดียวกันเปรียบเทียบกับสถานีตรวจวัดที่มีข้อมูลขาดหายไป

5) การคำนวณแบบจำลอง

เมื่อทำการจำลองสภาพลุ่มน้ำและนำเข้าข้อมูลครบถ้วนตามที่แบบจำลอง SWAT ต้องการแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอนจากพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยแบบจำลองจะคำนวณเพื่อหาปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่เกิดขึ้นแบบรายวัน รายเดือน และรายปีในช่วงเวลาที่กำหนดได้ ซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า กระบวนการชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้น และการเคลื่อนตัวของตะกอนในน้ำ ที่จะทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำท่าและผลผลิตตะกอนที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ลุ่มน้ำ

โดยก่อนเอาผลการคำนวณจากแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ ควรทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (sensitive analysis) เพื่อประเมินปริมาณความไม่แน่นอนและความเหมาะสมในการปรับแก้พารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่อนไหวในการกระทบต่อการคำนวณของแบบจำลอง โดยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองทั้งในส่วนพารามิเตอร์ที่สำคัญของน้ำท่า และตะกอน

3. การปรับเทียบแบบจำลอง SWAT

การปรับเทียบแบบจำลอง (model calibration) เป็นขั้นตอนในการปรับเทียบข้อมูลที่ได้จากการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ การจำลองสภาพลุ่มน้ำจากแบบจำลอง กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่ ณ สถานีวัดปริมาณน้ำท่าและตะกอน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั้งสองให้เหลือน้อยที่สุด โดยการปรับเทียบแบบจำลองจะต้องทำจากลุ่มน้ำย่อยที่อยู่เหนือน้ำก่อน

แล้วถัดลงไปตามลำดับจนถึงจุดออก (outlet) ของลุ่มน้ำหลักตามลำดับ ซึ่งการเปรียบเทียบแบบจำลอง ต้องมีการเปรียบเทียบปริมาณการไหลให้เรียบร้อยก่อน โดยปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม หลังจากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบการเคลื่อนย้ายตะกอนในลำน้ำ เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมของแบบจำลองแล้ว จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์ต่อไป

สำหรับวิธีการที่นำมาใช้ในการความถูกต้องของการเปรียบเทียบข้อมูล และความถูกต้องของแบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้โดยเปรียบเทียบข้อมูลกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง ที่ฝ่ายทุ่งนากลาง และฝ่ายหลวง ซึ่งวิธีการที่นำมาใช้ประกอบไปด้วย

1) การใช้กราฟในการเปรียบเทียบ ซึ่งจะพิจารณาถึงการเข้ากันดีของรูปร่างกราฟน้ำท่าจากข้อมูลที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง โดยการดูรูปร่างของกราฟน้ำท่าในแต่ละช่วงเวลา

2) การพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) โดยมีสมการดังนี้

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (31)$$

เมื่อ	O	=	ค่าจากการวัดจริง
	P	=	ค่าคาดคะเนจากแบบจำลอง
	$\bar{O}$	=	ค่าเฉลี่ยของค่าจากการวัดจริง
	$\bar{P}$	=	ค่าเฉลี่ยของค่าคาดคะเนจากแบบจำลอง

3) การพิจารณาจากค่า Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) (Nash and Sutcliffe, 1970) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1

โดยค่า Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) เป็นดัชนีที่ใช้ในการบอกค่าความแม่นยำของแบบจำลอง (model accuracy) หรือประสิทธิภาพ-ประสิทธิผลของแบบจำลอง (model performance) ในการคาดคะเนค่าที่ต้องการ ค่า NSE สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 32

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (32)$$

เมื่อ Y_i = ค่าจากการวัดจริง ที่ i เมื่อ i มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง n
 $\hat{Y}_i$ = ค่าคาดคะเนจากแบบจำลองของค่า Y_i
 $\bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของ Y_i

4) การใช้ค่าร้อยละความแตกต่าง โดยเป็นการเปรียบเทียบกับค่าจากการวัดจริง กับค่าคาดคะเนจากแบบจำลอง ซึ่งค่าที่ได้น้อยจะยิ่งน้อยยิ่งมีความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั้งสองน้อย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 33

$$\left(\frac{R_m - R_p}{R_m} \right) \cdot 100 \quad (33)$$

เมื่อ R_m = ค่าจากการวัดจริง
 R_p = ค่าคาดคะเนจากแบบจำลอง

4. การประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย และปริมาณการสูญเสียดิน

การประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย จากการคำนวณแบบจำลอง SWAT เป็นขั้นตอนในการประยุกต์การวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองหลังการปรับเทียบแบบจำลอง โดยประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอยจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ซึ่งการประเมินปริมาณน้ำท่า ประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล และปริมาณน้ำท่ารายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ส่วนการประเมินปริมาณตะกอนแขวนลอย ประกอบไปด้วย ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล และปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล โดยช่วงเวลาที่ใช้ในการประเมิน อยู่ในช่วงระยะเวลา 1 ปี ระหว่างวันที่ 1 พ.ย. 2552 ถึง 31 ต.ค. 2553

5. การจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย และปริมาณการสูญเสียดิน

การจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอยเป็นขั้นตอนในการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินในกรณีต่างๆ โดยกำหนดกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณี ได้แก่

- 1) กรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2552 เป็นกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินในปีปัจจุบันที่ใช้ทำการศึกษา
- 2) กรณี scenario 1 การจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในกรณีที่เปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ไม้ผลเป็นพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมด
- 3) กรณี scenario 2 การจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในกรณีที่พื้นที่ป่าไม้เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ไม้ผล โดยมีพื้นที่ไม้ผลเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด โดยพิจารณาจากปัจจัยการเข้าถึงได้ในพื้นที่ ระยะห่างจากลำน้ำ และความลาดชันเป็นต้น และนำผลการคำนวณปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอนแขวนลอย และปริมาณการสูญเสียดินจากแบบจำลอง SWAT ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน มาทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้

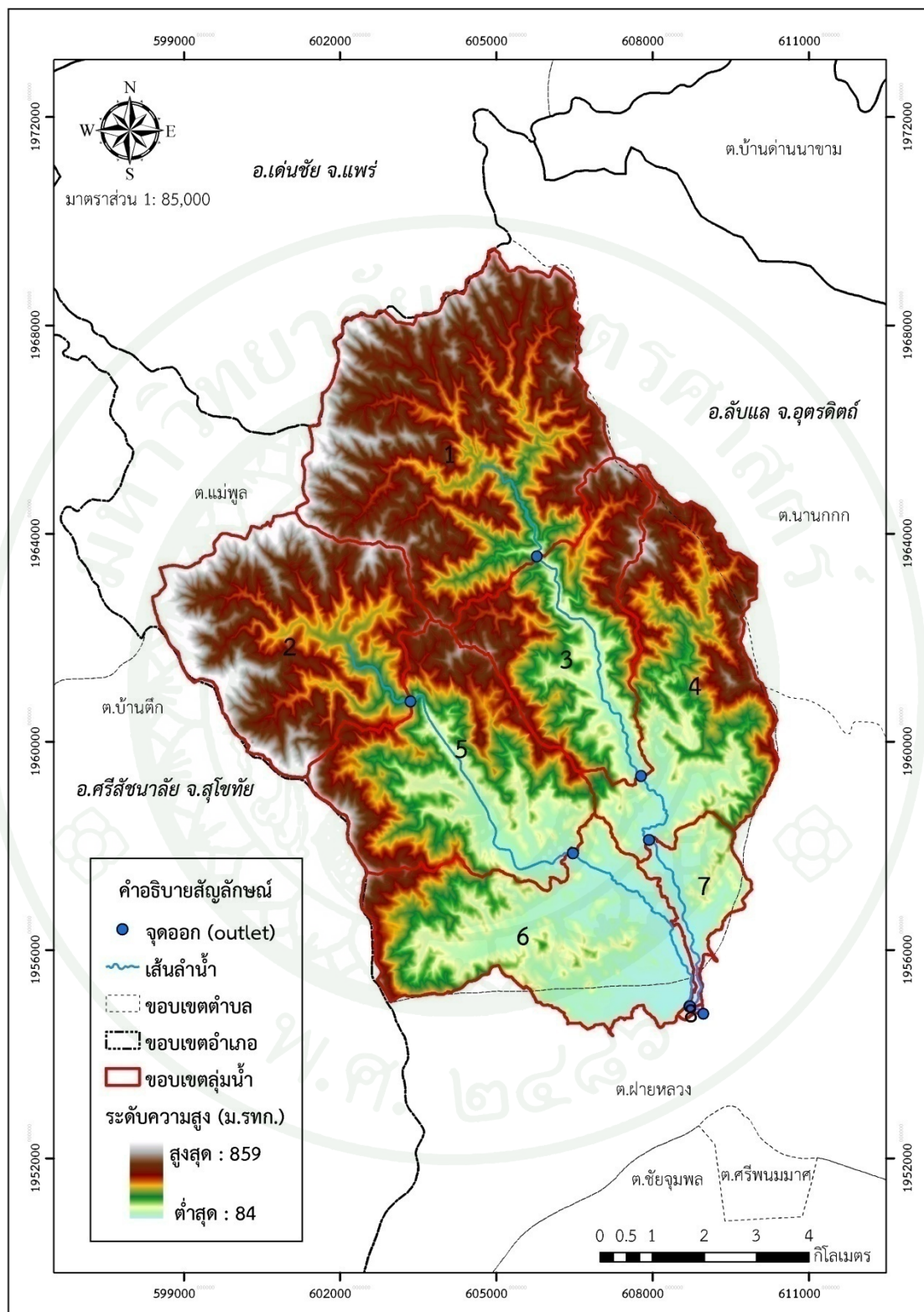
ผลและวิจารณ์

1. ผลการกำหนดเส้นแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ

การกำหนดเส้นแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยแบบจำลองจะคำนวณจากข้อมูล DEM ในการคำนวณทิศทางการไหลของน้ำ (flow direction) ผลรวมของการไหลสะสม (flow accumulation) ระบบโครงข่ายลำน้ำ และความลาดชันของพื้นที่ เป็นต้น ทำให้สามารถกำหนดขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำ การแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย และแนวเส้นลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำได้ ซึ่งขนาดความละเอียดของข้อมูล DEM ที่นำไปใช้ในการคำนวณยังมีความละเอียดมาก จะทำให้การกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ และเส้นลำน้ำ มีความถูกต้องสูงและตรงกับสภาพทางกายภาพในพื้นที่จริง

การศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูล DEM ที่มีขนาดความละเอียด 5 เมตร x 5 เมตร โดยกำหนดค่า threshold area เท่ากับ 1,000 เฮกเตอร์ หรือ 10 ตารางกิโลเมตร และกำหนดจุดออกกลุ่มน้ำ (outlet) เพื่อแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย ทั้งหมด 7 จุด ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดจุดออกกลุ่มน้ำจากตำแหน่งที่ตั้งของฝายที่อยู่ในพื้นที่เป็นเกณฑ์ในการกำหนด ผลจากการกำหนดเส้นแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ สามารถแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลได้เป็น 8 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ดังภาพที่ 15 และสามารถแสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลในภาพรวมได้ ดังตารางที่ 11

จากภาพที่ 15 และตารางที่ 11 สามารถอธิบายลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำได้ว่า ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลมีลักษณะภูมิประเทศที่มีพื้นที่ที่มีความลาดชันของพื้นที่และความลาดชันของลำน้ำสูง โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำที่มีลักษณะเป็นภูเขาสลับซับซ้อนและสูงชัน โดยมีลำน้ำสายหลักสองสาย ได้แก่ ห้วยแม่พูล และคลองแม่พร่อง ที่ไหลมารวมกันก่อนถึงบริเวณจุดออกกลุ่มน้ำ ซึ่งลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำแบบนี้ส่งผลถึงการไหลของน้ำท่า และการพัดพาตะกอนลงสู่พื้นที่ตอนล่างของกลุ่มน้ำได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 15 การแบ่งขอบเขตกลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ลุ่มย่อยแม่พูล

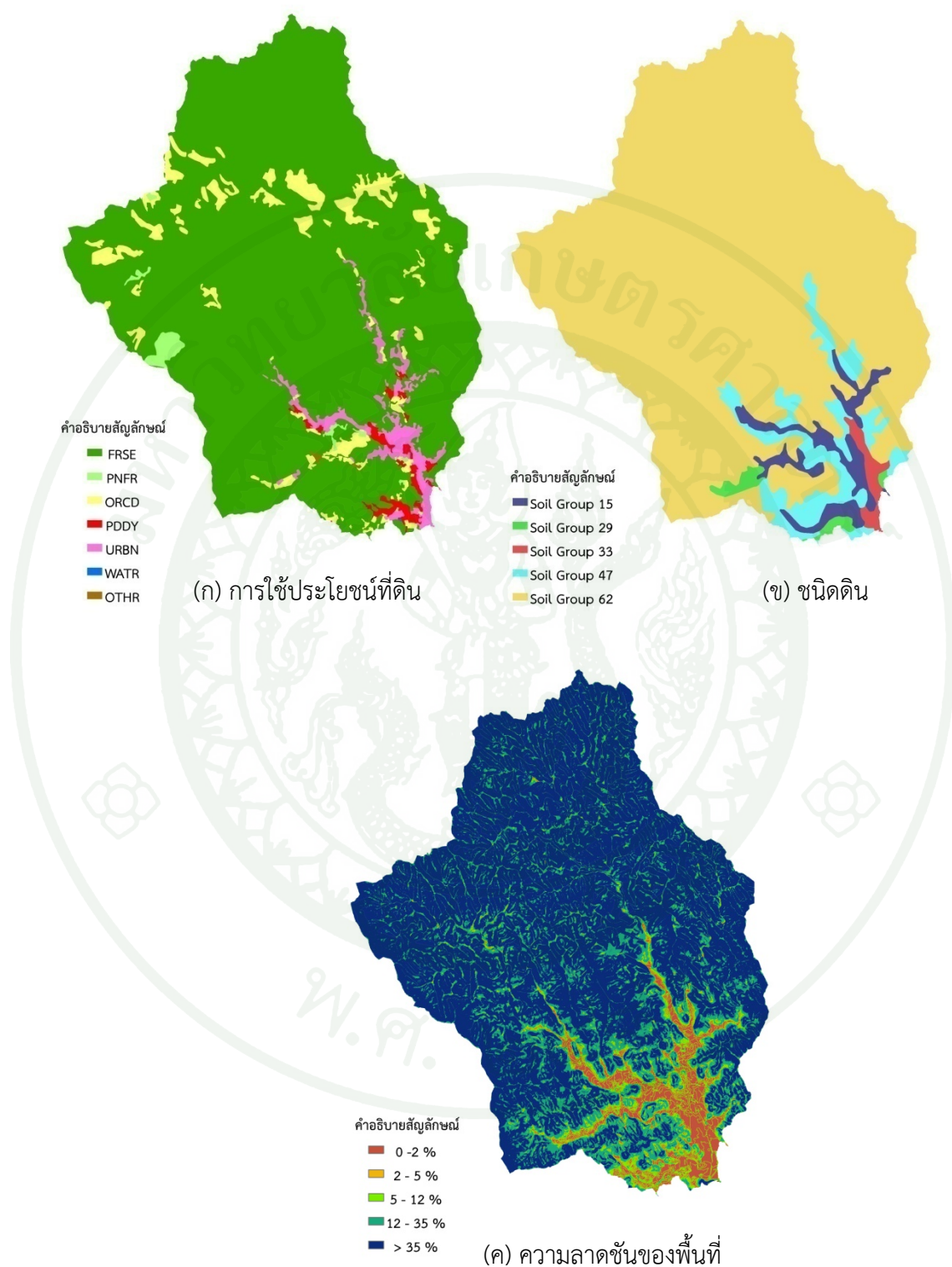
ตารางที่ 11 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล จากการคำนวณของแบบจำลอง SWAT

ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ (ตร.กม.)	ความชื้นของ ลุ่มน้ำ (%)	ระดับสูงสุด ของลุ่มน้ำ (ม.รทก.)	ระดับต่ำสุด ของลุ่มน้ำ (ม.รทก.)	ความยาวของ ลำน้ำสายหลัก (กิโลเมตร)	ความกว้าง ของลำน้ำสาย หลัก (เมตร)	ความลึกของ ลำน้ำสายหลัก (เมตร)	ความลาดชัน ของลำน้ำสาย หลัก (%)
ลุ่มน้ำย่อยที่ 1	27.30	58.38	687	153	2.69	9.38	0.49	3.53
ลุ่มน้ำย่อยที่ 2	17.14	55.81	859	195	2.13	7.10	0.41	2.49
ลุ่มน้ำย่อยที่ 3	12.43	51.17	591	105	5.60	11.75	0.57	0.91
ลุ่มน้ำย่อยที่ 4	15.21	47.56	573	95	2.06	14.27	0.64	0.39
ลุ่มน้ำย่อยที่ 5	16.19	44.45	667	101	5.79	10.58	0.53	1.61
ลุ่มน้ำย่อยที่ 6	15.59	26.70	574	86	4.58	13.31	0.62	0.35
ลุ่มน้ำย่อยที่ 7	3.42	23.65	248	86	3.98	14.80	0.66	0.28
ลุ่มน้ำย่อยที่ 8	0.08	26.09	162	84	0.41	21.34	0.84	0.24

2. ผลการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ

การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นการกำหนดรายละเอียดของพื้นที่ให้พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยสามารถมีลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ที่ความหลากหลายตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และความลาดชันของพื้นที่ โดยกำหนดลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 7 ประเภท ชนิดดินที่อยู่ในพื้นที่ทั้งหมด 5 กลุ่มชุดดิน และความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยกำหนดและปรับค่าระดับชั้นความลาดชันจาก กรมพัฒนาที่ดิน (2545) ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับชั้นความลาดชัน ได้แก่ 1) ร้อยละ 0-2 (ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ) 2) ร้อยละ 2-5 (ลาดชันเล็กน้อยมาก) 3) ร้อยละ 5-12 (ลาดชันเล็กน้อย) 4) ร้อยละ 12-35 (ลาดชันสูง ถึง สูงชันปานกลาง) 5) มากกว่าร้อยละ 35 (สูงชัน ถึงสูงชันมากที่สุด) การกำหนดลักษณะของชั้นข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังภาพที่ 16

การศึกษาในครั้งนี้ได้กำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาในแต่ละลุ่มน้ำย่อยให้มี HRUs สอดคล้องกันตามสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และความลาดชัน โดยกำหนดให้ land use percentage (%) over subbasin area เท่ากับร้อยละ 6 กำหนด soil class percentage (%) over land use area เท่ากับร้อยละ 5 และกำหนด slope class percentage (%) over soil class area เท่ากับร้อยละ 5 ผลจากการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา ทำให้ได้หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดจำนวน 92 HRUs



ภาพที่ 16 ชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และความลาดชันของพื้นที่ ที่ใช้ในการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ

3. ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง เป็นการประเมินความไม่แน่นอน และความเหมาะสมในการปรับแก้พารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งพารามิเตอร์แต่ละตัวจะมีความไวจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป โดยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงว่าพารามิเตอร์ใดมีความสำคัญ และเป็นตัวชี้วัดถึงความอ่อนไหวของแบบจำลองที่มีต่อพารามิเตอร์ในแต่ละตัวที่เกี่ยวข้องซึ่งส่งผลต่อการคำนวณผลลัพธ์ของแบบจำลอง การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองทั้งในส่วนพารามิเตอร์ที่สำคัญของปริมาณน้ำท่า และตะกอน แสดงดังนี้

3.1 ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์สำหรับปริมาณน้ำท่า

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง ในส่วนพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำท่า ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองมีอันดับความอ่อนไหว ดังตารางที่ 12 พารามิเตอร์เหล่านี้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการปรับเทียบแบบจำลองต่อไป

จากตารางที่ 12 พบว่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวสำหรับปริมาณน้ำท่า แบ่งออกเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับน้ำใต้ดิน ได้แก่ ค่าปัจจัยของการไหลพื้นฐาน (ALPHA_BF) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวมากที่สุด พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับดิน ได้แก่ ค่าปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บน้ำไว้ได้ (SOL_AWC) ค่าความสามารถการนำน้ำของดิน (SOL_K) ค่าความลึกของดิน (SOL_Z) พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ ได้แก่ ค่า curve number (CN2) พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับลำน้ำ ได้แก่ ค่าประสิทธิภาพความนำทางชลศาสตร์ในทางน้ำ (CH_K2) ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับลำน้ำ (CH_N2) พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับหน่วยตบหนองทางอุทกวิทยา ได้แก่ ปัจจัยขดเขยการระเหยจากผิวดิน (ESCO) ค่าการเก็บกักน้ำสูงสุดบนผิวดิน (CANMX) ค่าความยาวความลาดชันเฉลี่ย (SLSUBBSN) พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับลุ่มน้ำ ได้แก่ ค่าหน่วงเวลาของน้ำท่าผิวดิน (SURLAG) และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูก ได้แก่ ดัชนีพื้นที่ใบที่มีศักยภาพสูงสุด (BLAI)

ตารางที่ 12 พารามิเตอร์ที่อ่อนไหวสำหรับปริมาณน้ำท่า

อันดับ	พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ชนิดไฟล์	ช่วงที่กำหนดได้
1	ALPHA_BF	ค่าปัจจัยของการไหลพื้นฐาน (days)	.Gw	0 – 1
2	SOL_AWC	ค่าปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บน้ำไว้ได้ (mm/mm)	.Sol	0 – 1
3	CN2	ค่า curve number	.Mgt	35 - 98
4	SOL_K	ค่าความสามารถการนำน้ำของดิน (mm/h)	.Sol	0 - 2,000
5	CH_K2	ค่าประสิทธิผลความนำทางชลศาสตร์ในทางน้ำ (mm/hr)	.Rte	-0.1 - 500
6	SOL_Z	ค่าความลึกของดิน (mm)	.Sol	0 - 3,500
7	CH_N2	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับลำน้ำ	.Rte	-0.1 - 0.3
8	ESCO	ปัจจัยชดเชยการระเหยจากผิวดิน	.Hru	0 – 1
9	SURLAG	ค่าหน่วยเวลาของน้ำท่าผิวดิน	.Bsn	1- 24
10	CANMX	ค่าการเก็บกักน้ำสูงสุดบนผิวดิน (mm)	.Hru	0 - 100
11	BLAI	ดัชนีพื้นที่ใบที่มีศักยภาพสูงสุด (m^2/m^2)	Crop	0.5 - 10
12	SLSUBBSN	ค่าความยาวความลาดชันเฉลี่ย	.Hru	10 - 150

3.2 ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์สำหรับตะกอน

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองในส่วนพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับตะกอน ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองมีอันดับความอ่อนไหว ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 พารามิเตอร์ที่อ่อนไหวสำหรับตะกอน

อันดับ	พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ชนิดไฟล์	ช่วงที่กำหนดได้
1	SPCON	ค่าพารามิเตอร์เส้นตรงของตะกอนในลำน้ำ	.Bsn	0.0001 – 0.01
2	SPEXP	ค่าพารามิเตอร์เอกซ์โพเนนเชียลของตะกอนในลำน้ำ	.Bsn	1 – 1.5
3	USLE_P	ค่าปัจจัยทางมาตรการอนุรักษ์ในสมการ USLE	.Mgt	0 – 1
4	CH_COV	ค่าปัจจัยสิ่งปกคลุมในลำน้ำ	.Rte	-0.001 -1
5	CH_EROD	ค่าปัจจัยความยากง่ายในการพังทลายของดินในลำน้ำ	.Rte	-0.05 – 0.6
6	USLE_C	ค่าปัจจัยพืชคลุมดินในสมการ USLE	Crop	0.001 – 0.5

จากตารางที่ 13 พบว่า พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อปริมาณตะกอนที่คำนวณได้จากแบบจำลองขึ้นอยู่กับชนิดของพืชคลุมดิน ลักษณะการปกคลุมผิวน้ำดิน มาตรการอนุรักษ์ รวมถึงการไหลของน้ำ ลักษณะสิ่งปกคลุมในลำน้ำ และความยากง่ายในการพังทลายของดินในลำน้ำ ซึ่งพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวสำหรับตะกอนที่สำคัญมีทั้งหมด 6 พารามิเตอร์ แบ่งออกเป็น พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลำน้ำ ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์เส้นตรงของตะกอนในลำน้ำ (SPCON) ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อปริมาณตะกอนมากที่สุด และค่าพารามิเตอร์เอกซ์โพเนนเชียลของตะกอนในลำน้ำ (SPEXP) พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ ได้แก่ ค่าปัจจัยทางมาตรการอนุรักษ์ในสมการ USLE (USLE_P) พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลำน้ำ ได้แก่ ค่าปัจจัยสิ่งปกคลุมในลำน้ำ (CH_COV) และค่าปัจจัยความยากง่ายในการพังทลายของดินในลำน้ำ (CH_EROD) พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูก ได้แก่ ค่าปัจจัยพืชคลุมดินในสมการ USLE (USLE_C)

4. ผลการปรับเทียบแบบจำลอง SWAT

การปรับเทียบแบบจำลอง SWAT จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ปรับเทียบปริมาณน้ำท่า และการปรับเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ โดยปรับเทียบปริมาณน้ำท่าจากสถานีที่ทำการตรวจวัดจากลุ่มน้ำย่อยที่อยู่เหนือน้ำก่อน แล้วจึงปรับเทียบกับสถานีสุดท้ายที่บริเวณจุดออกของกลุ่มน้ำหลัก ได้แก่ ฝ่ายทุ่งนากลางที่อยู่บริเวณจุดออกของกลุ่มน้ำย่อยที่ 3 และฝ่ายหลวงที่อยู่บริเวณจุดออกของกลุ่มน้ำย่อยที่ 8 ซึ่งเป็นจุดออกของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล เมื่อทำการปรับเทียบเทียบปริมาณน้ำท่า

ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมเรียบร้อยแล้ว จึงเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ฝายหลวง

4.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า

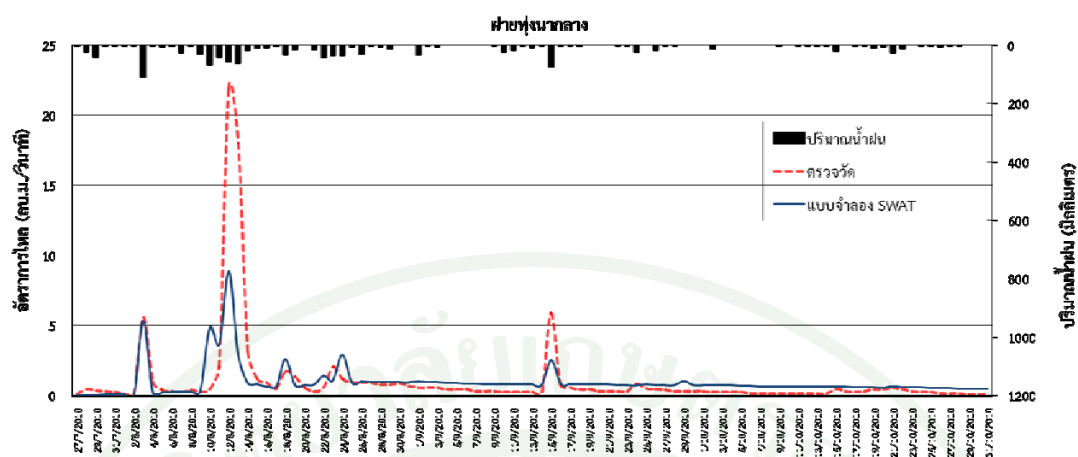
การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT กับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย ที่ฝายทุ่งนากลาง และฝายหลวง มีช่วงเวลาในการเปรียบเทียบ คือ 27 ก.ค. 2553 ถึง 31 ต.ค. 2553 โดยการเปรียบเทียบเป็นข้อมูลแบบรายวัน ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่างดงตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่า

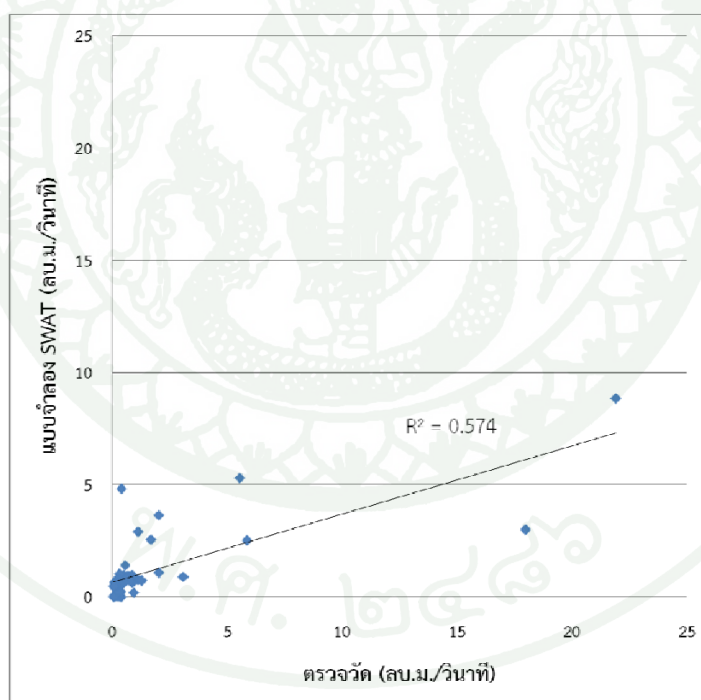
รายละเอียด	ลุ่มน้ำย่อยที่ 3	ลุ่มน้ำย่อยที่ 8
สถานีตรวจวัดน้ำท่า	ฝายทุ่งนากลาง	ฝายหลวง
ช่วงเวลาในการเปรียบเทียบ	27 ก.ค. – 31 ต.ค. 2553	27 ก.ค. – 31 ต.ค. 2553
R^2	0.574	0.704
NSE	0.447	0.645
ร้อยละความแตกต่าง	4.661	-0.769

4.1.1 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า ที่ฝายทุ่งนากลาง

การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดแบบรายวัน ที่ฝายทุ่งนากลาง ในช่วงที่ทำการเปรียบเทียบ ดังภาพที่ 17 โดยเป็นบริเวณจุดออกลุ่มน้ำย่อยที่ 3 ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 และลุ่มน้ำย่อยที่ 3 มีพื้นที่รับน้ำรวม 39.73 ตารางกิโลเมตร และจากตารางที่ 14 พบว่า ผลการเปรียบเทียบมีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.574 มีค่า Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) เท่ากับ 0.447 และมีค่าร้อยละความแตกต่าง เท่ากับ 4.661 ซึ่งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด แสดงดังภาพที่ 18 โดยผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลอง SWAT มีระดับความน่าเชื่อถือ และสัมประสิทธิ์ยอมรับในระดับไม่ดี



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดแบบรายวัน ที่ฝายทุ่งนากลาง

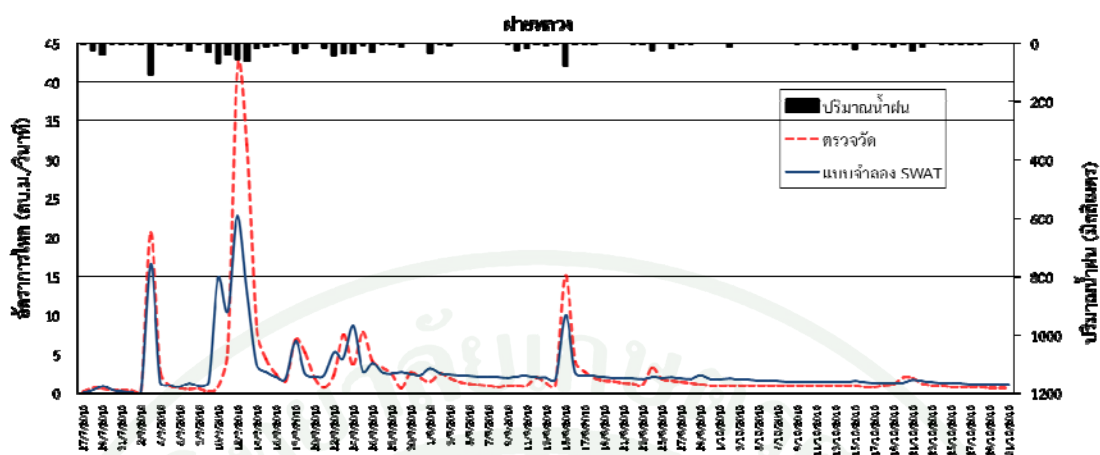


ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์การกระจายตัวระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด ที่ฝายทุ่งนากลาง

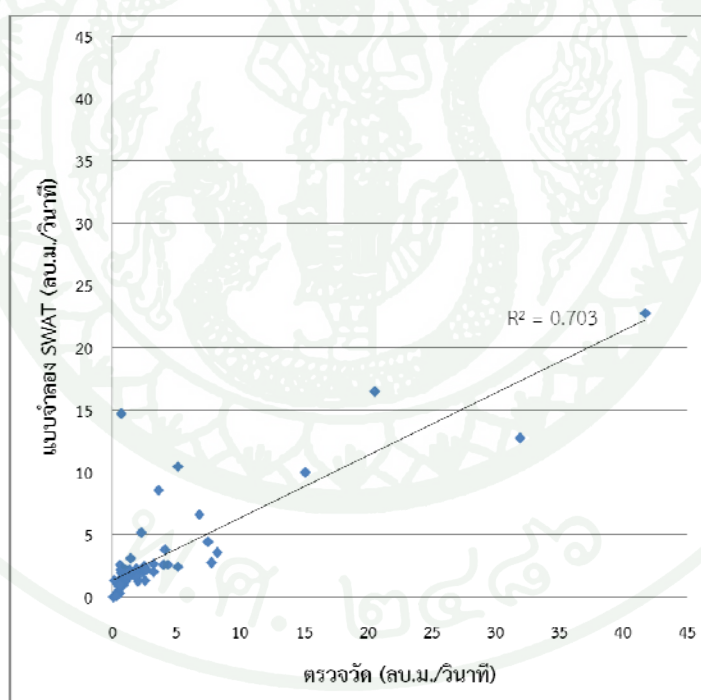
4.1.2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า ที่ฝ่ายหลวง

การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดแบบรายวัน ที่ฝ่ายหลวง ในช่วงที่ทำการเปรียบเทียบ ดังภาพที่ 19 โดยเป็นบริเวณจุดออกกลุ่มน้ำย่อยที่ 8 และเป็นจุดออกกลุ่มน้ำพูลทั้งหมด ครอบคลุมพื้นที่กลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด 8 กลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีพื้นที่รับน้ำรวม 107.37 ตารางกิโลเมตร และจากตารางที่ 14 พบว่า ผลการเปรียบเทียบมีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.704 มีค่า Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) เท่ากับ 0.645 และมีค่าร้อยละความแตกต่างในทางลบ เท่ากับ 0.769 ซึ่งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง กับกับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด แสดงดังภาพที่ 20 โดยผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลอง SWAT มีระดับความน่าเชื่อถือ และสัมประสิทธิ์ยอมรับในระดับดี

ข้อสังเกตกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดแบบรายวัน ที่ฝ่ายทุ่งนากลาง และฝ่ายหลวง ในช่วงวันที่ 11–14 ส.ค. 53 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ฝนตกต่อเนื่องทุกวัน จะมีปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด มากกว่าปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลจากข้อจำกัดในการตรวจวัดปริมาณน้ำท่า ที่จัดบันทึกค่าระดับน้ำประจำวันเพียง 3 เวลา เป็นค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายวันแล้วนำไปคำนวณเป็นปริมาณน้ำท่ารายวัน อาจไม่เพียงพอสำหรับกลุ่มน้ำขนาดเล็ก ที่ลักษณะลำน้ำในพื้นที่เป็นลำน้ำสายเล็กๆ ทำให้เมื่อฝนตกการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในลำน้ำจึงมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว



ภาพที่ 19 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดแบบรายวัน ที่ฝายหลวง



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์การกระจายตัวระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด ที่ฝายหลวง

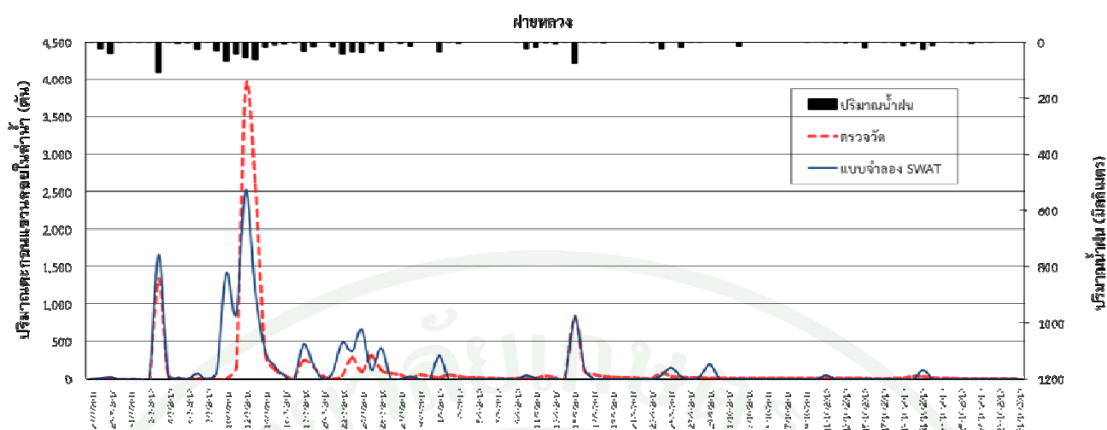
4.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ

การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากแบบจำลอง SWAT กับปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลจากการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ และนำมาสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยกับปริมาณการไหลของน้ำ ที่ฝ่ายหลวง ทำให้ได้เป็นค่าปริมาณตะกอนแขวนลอย (ตัน/วัน) ช่วงเวลาในการเปรียบเทียบ คือ 27 ก.ค. 2553 ถึง 31 ต.ค. 2553 โดยการเปรียบเทียบเป็นข้อมูลแบบรายวัน ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ ดังตารางที่ 15

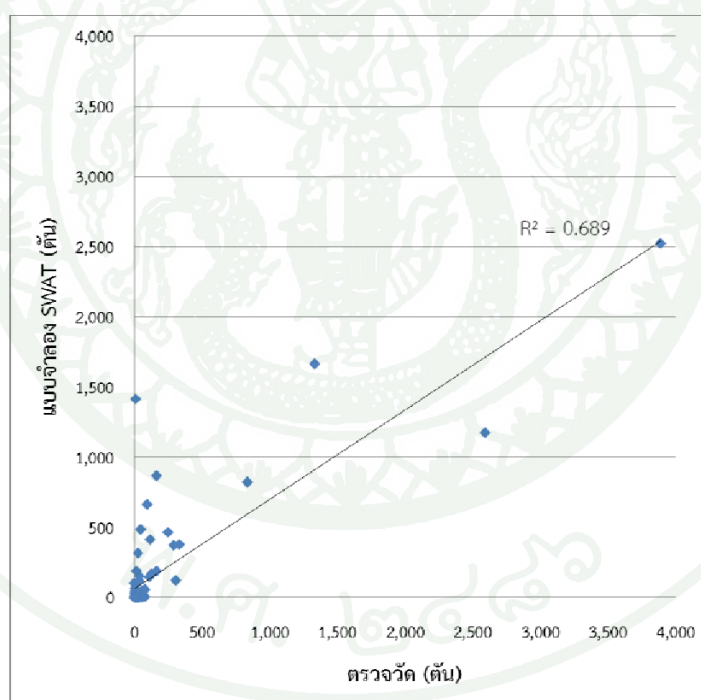
ตารางที่ 15 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ

รายละเอียด	ลุ่มน้ำย่อยที่ 8
สถานีตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอย	ฝ่ายหลวง
ช่วงเวลาในการเปรียบเทียบ	27 ก.ค. – 31 ต.ค. 2553
R^2	0.690
NSE	0.685
ร้อยละความแตกต่าง	9.298

การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากแบบจำลอง SWAT กับปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ได้จากการตรวจวัดแบบรายวัน ที่ฝ่ายหลวง ในช่วงที่ทำการเปรียบเทียบ ดังภาพที่ 21 โดยเป็นบริเวณจุดออกกลุ่มน้ำย่อยที่ 8 ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด 8 ลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีพื้นที่รับน้ำรวม 107.37 ตารางกิโลเมตร และจากตารางที่ 15 พบว่า ผลการเปรียบเทียบมีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.690 มีค่า Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) เท่ากับ 0.685 และมีค่าร้อยละความแตกต่าง เท่ากับ 9.298 ซึ่งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ได้จากแบบจำลอง กับปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ได้จากการตรวจวัดแสดงดังภาพที่ 22 โดยผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลอง SWAT มีระดับความน่าเชื่อถือ และสัมประสิทธิ์ยอมรับในระดับดี



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากการตรวจวัดแบบรายวัน ที่ฝ่ายหลวง

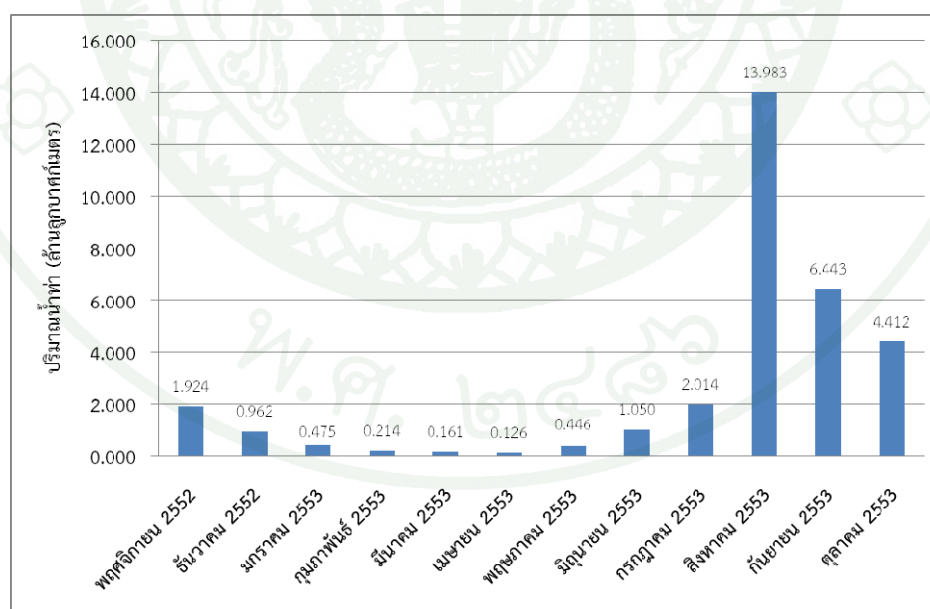


ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์การกระจายตัวระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากแบบจำลอง กับปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากการตรวจวัด ที่ฝ่ายหลวง

5. ผลการประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย จากการคำนวณแบบจำลอง SWAT

5.1 ปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าที่จุดออกของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล จากการคำนวณแบบจำลอง SWAT ในช่วงระยะเวลา 1 ปี ระหว่างวันที่ 1 พ.ย. 2552 ถึง 31 ต.ค. 2553 พบว่า ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลมีปริมาณน้ำฝนรายปีเท่ากับ 1,575.66 มิลลิเมตร โดยปริมาณน้ำท่าในลำน้ำจะมีน้ำไหลตลอดทั้งปี แต่ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2552 ถึงเดือนเมษายน 2553 ปริมาณน้ำท่าจะมีน้อยมาก ซึ่งปริมาณน้ำท่าในช่วงนี้เป็นน้ำที่ดินดูดซับไว้ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินในช่วงฤดูฝน และเกิดการซึมซับน้ำสู่ดินชั้นล่างเป็นน้ำที่ถูกเก็บไว้ใต้ดิน หลังจากนั้นจึงค่อยๆ ซึมผ่านผิวดินไหลลงสู่ลำน้ำ ปริมาณน้ำท่าจะเริ่มมีมากขึ้นในเดือนพฤษภาคม เนื่องจากจากเริ่มเข้าสู่ฤดูฝน และมีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนสิงหาคม ตั้งแต่เดือนกันยายนเป็นต้นไป ปริมาณน้ำท่าจะเริ่มลดลง ดังภาพที่ 23 โดยมีปริมาณน้ำท่ารายปีรวม 32.209 ล้านลูกบาศก์เมตร แบ่งออกเป็นปริมาณน้ำท่านอกช่วงฤดูฝน (พ.ย.-เม.ย.) เท่ากับ 3.861 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) เท่ากับ 28.348 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อจำแนกเป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือน พบว่า เดือนสิงหาคม 2553 เป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำมากที่สุด คือ 13.983 ล้านลูกบาศก์เมตร และเดือนเมษายน 2553 เป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำน้อยที่สุด คือ 0.126 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ 16



ภาพที่ 23 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในช่วงการคำนวณระหว่างพฤศจิกายน 2552-ตุลาคม 2553

ตารางที่ 16 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในช่วงการคำนวณระหว่าง
พฤศจิกายน 2552-ตุลาคม 2553

ช่วงเวลา	ปริมาณน้ำท่า (ล้านลูกบาศก์เมตร)	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)
พฤศจิกายน 2552	1.924	5.590
ธันวาคม 2552	0.962	1.080
มกราคม 2553	0.475	10.250
กุมภาพันธ์ 2553	0.214	3.340
มีนาคม 2553	0.161	23.760
เมษายน 2553	0.126	13.950
พฤษภาคม 2553	0.446	132.680
มิถุนายน 2553	1.050	215.360
กรกฎาคม 2553	2.014	221.740
สิงหาคม 2553	13.983	626.540
กันยายน 2553	6.443	210.840
ตุลาคม 2553	4.412	110.530
รวม	32.209	1,575.660

สำหรับปริมาณน้ำท่ารายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล พบว่า ลุ่มน้ำย่อยที่ 6 มีปริมาณน้ำท่ารายปีมากที่สุด เท่ากับ 5.921 ล้านลูกบาศก์เมตร รองลงมาได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยที่ 1, 5, 4, 3, 2, 7 และ 8 มีปริมาณน้ำท่ารายปี เท่ากับ 5.838, 5.516, 5.267, 4.375, 3.575, 1.655 และ 0.060 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 17 และแสดงการกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำท่ารายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ดังภาพที่ 24

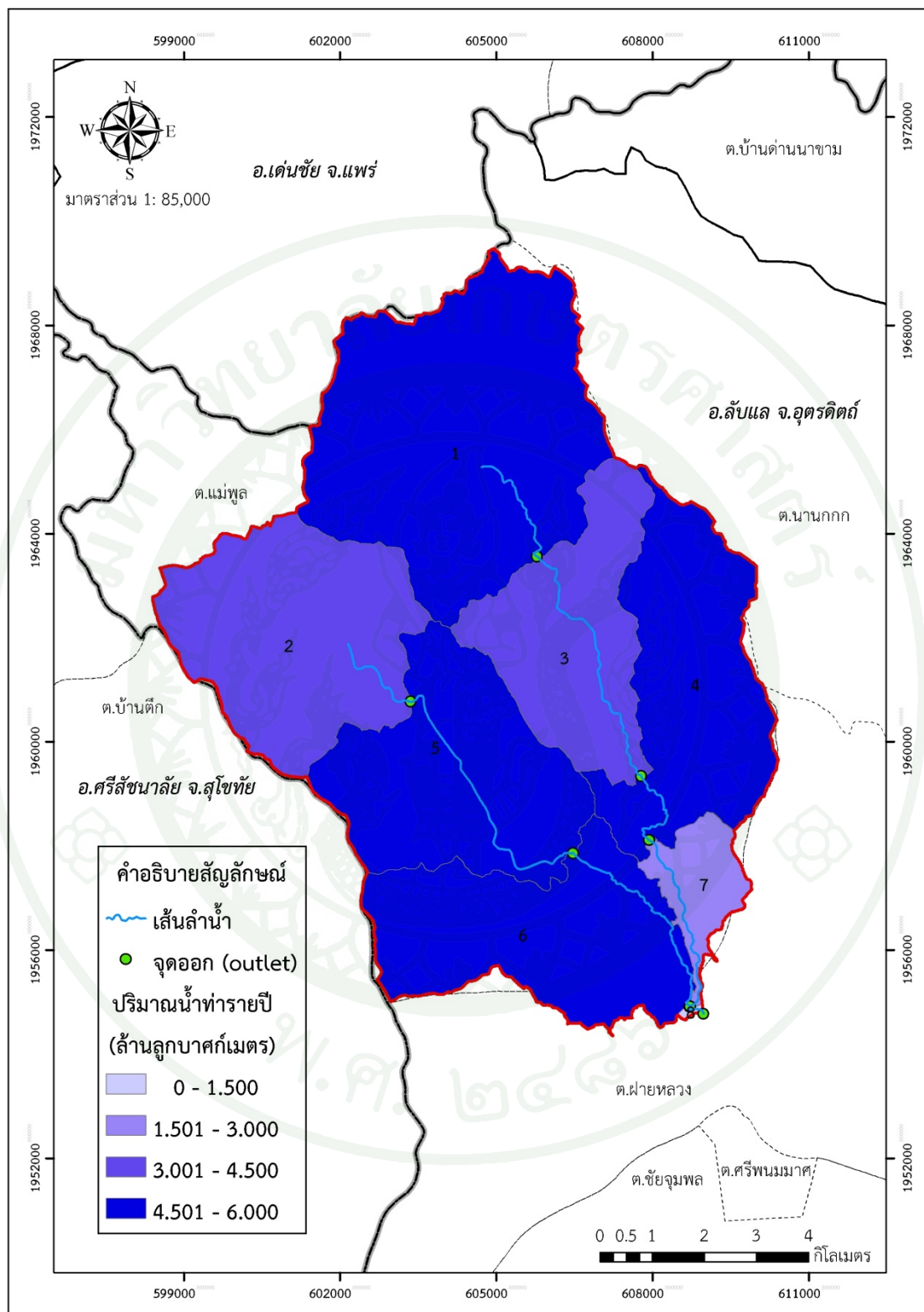
ตารางที่ 17 ปริมาณน้ำท่ารายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในระหว่างการคำนวณ
ระหว่าง พฤศจิกายน 2552–ตุลาคม 2553

ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำ (ตารางกิโลเมตร)	ปริมาณน้ำท่ารายปี		ปริมาณน้ำฝน รายปี (มิลลิเมตร)
		ล้านลูกบาศก์เมตร	มิลลิเมตร	
ลุ่มน้ำย่อยที่ 1	27.30	5.838	213.832	1,372.30
ลุ่มน้ำย่อยที่ 2	17.14	3.575	208.563	1,372.30
ลุ่มน้ำย่อยที่ 3	12.43	4.375	352.001	1,649.07
ลุ่มน้ำย่อยที่ 4	15.21	5.267	346.289	1,649.07
ลุ่มน้ำย่อยที่ 5	16.20	5.516	340.514	1,991.35
ลุ่มน้ำย่อยที่ 6	15.59	5.921	379.772	1,590.20
ลุ่มน้ำย่อยที่ 7	3.42	1.655	483.819	1,590.20
ลุ่มน้ำย่อยที่ 8	0.08	0.060	753.401	1,590.20

5.2 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ และปริมาณการสูญเสียดิน

1) ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ผลการประเมินปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำรายเดือนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล จากการคำนวณแบบจำลอง SWAT ในช่วงระยะเวลา 1 ปี ระหว่างวันที่ 1 พ.ย. 2552 ถึง 31 ต.ค. 2553 พบว่า มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล รวมทั้งหมด 13,564.897 ตัน แบ่งออกเป็นปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำนอกช่วงฤดูฝน (พ.ย.-เม.ย.) เท่ากับ 0.861 ตัน และปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) เท่ากับ 13,564.036 ตัน ดังตารางที่ 18



ภาพที่ 24 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำท่ารายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ตารางที่ 18 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำรายเดือนที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ช่วงเวลา	ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ (ตัน)	ร้อยละของปริมาณตะกอน แขวนลอยรวมรายปี
พฤศจิกายน 2552	0.000	0.000
ธันวาคม 2552	0.000	0.000
มกราคม 2553	0.107	0.001
กุมภาพันธ์ 2553	0.000	0.000
มีนาคม 2553	0.729	0.005
เมษายน 2553	0.026	0.000
พฤษภาคม 2553	2.246	0.017
มิถุนายน 2553	10.390	0.076
กรกฎาคม 2553	323.200	2.383
สิงหาคม 2553	11,520.000	84.925
กันยายน 2553	1,195.000	8.810
ตุลาคม 2553	513.200	3.783
รวม	13,564.897	100

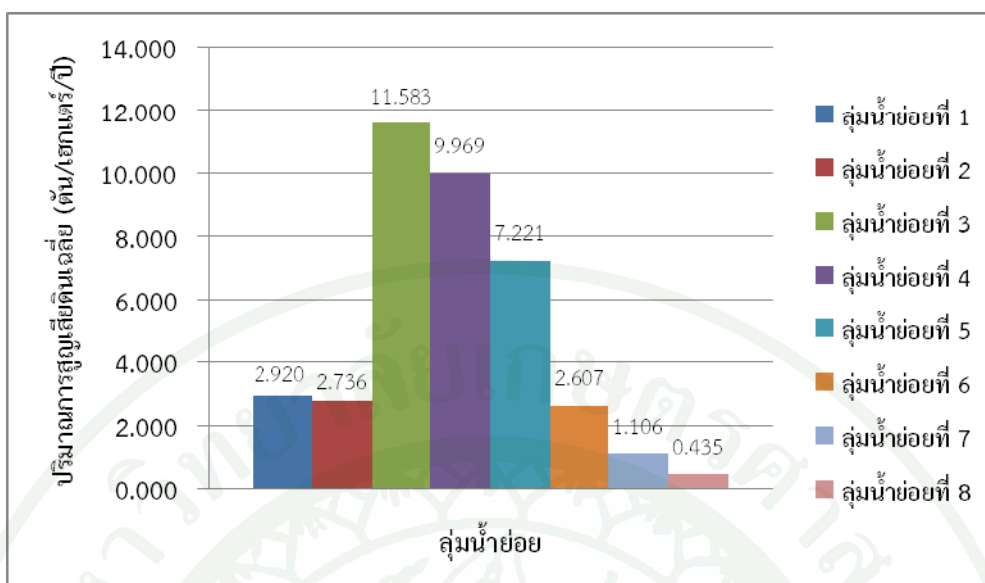
โดยในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2552 ถึง เดือนเมษายน 2553 จะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยลำน้ำในระดับที่น้อยมาก เนื่องจากมีฝนตกน้อย และปริมาณน้ำท่าในลำน้ำน้อย แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงเดือนพฤษภาคม ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่เคลื่อนย้ายออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากเริ่มเข้าสู่ช่วงฤดูฝน ซึ่งเมื่อมีฝนตกลงมาพลังงานจากเม็ดฝนทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน รวมถึงเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดิน และเกิดการเคลื่อนเคลื่อนย้ายตะกอนส่วนหนึ่งลงสู่ลำน้ำ ส่งผลให้มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำเพิ่มขึ้น โดยในเดือนสิงหาคมมีปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลสูงสุด เท่ากับ 11,520.000 ตัน หรือคิดเป็น ร้อยละ 84.925 ของปริมาณตะกอนแขวนลอยรวมรายปีทั้งหมด ซึ่งในเดือนสิงหาคมนี้เป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่ามากกว่าเดือนอื่นๆ เช่นเดียวกัน และตั้งแต่เดือนกันยายนเป็นต้นไป ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำมีปริมาณที่ลดลง โดยปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำกับปริมาณน้ำท่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน

2) ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ผลการประเมินปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูลจากการคำนวณแบบจำลอง SWAT พบว่า ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลทั้งหมดมีปริมาณการสูญเสียดินเท่ากับ 5.436 ตัน/เฮกเตอร์/ปี หรือปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลทั้งหมด เท่ากับ 58,365.687 ตัน โดยในลุ่มน้ำย่อยที่ 3 มีปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อพื้นที่มากที่สุด เท่ากับ 11.583 ตัน/เฮกเตอร์/ปี รองลงมาได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยที่ 4, 5, 1, 2, 6, 7 และ 8 เท่ากับ 9.969, 7.221, 2.920, 2.736, 2.607, 1.106 และ 0.435 ตัน/เฮกเตอร์/ปี ตามลำดับ ดังตารางที่ 19 และภาพที่ 25 นอกจากนี้ยังแสดงการกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ดังภาพที่ 26

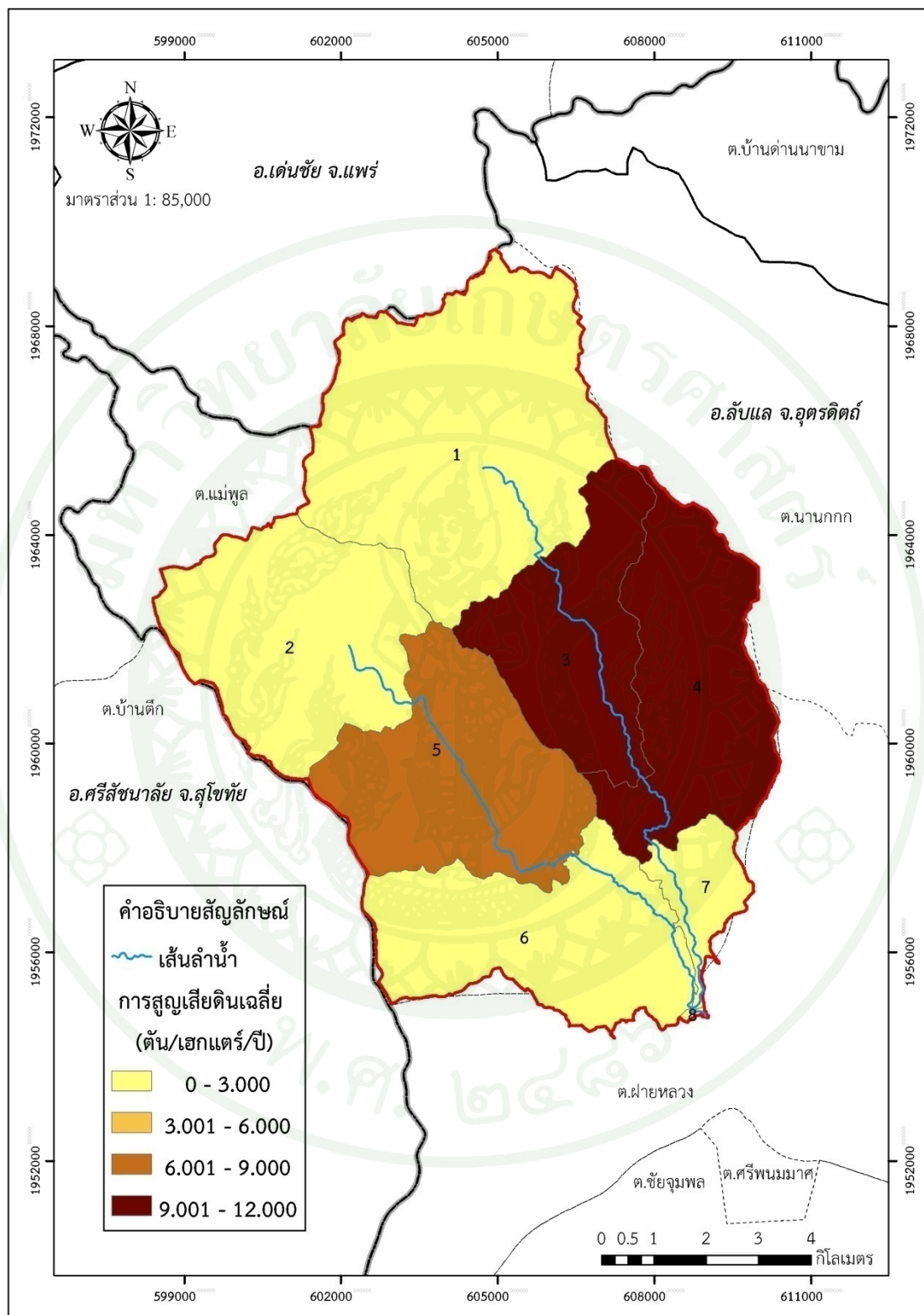
ตารางที่ 19 ปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำ (ตารางกิโลเมตร)	พื้นที่รับน้ำ (เฮกเตอร์)	ปริมาณ การสูญเสียดินเฉลี่ย (ตัน/เฮกเตอร์/ปี)	ปริมาณ การสูญเสียดิน เฉลี่ย (ตัน)
ลุ่มน้ำย่อยที่ 1	27.30	2,730	2.920	7971.6
ลุ่มน้ำย่อยที่ 2	17.14	1,714	2.736	4,689.504
ลุ่มน้ำย่อยที่ 3	12.43	1,243	11.583	14,397.669
ลุ่มน้ำย่อยที่ 4	15.21	1,521	9.969	15,162.849
ลุ่มน้ำย่อยที่ 5	16.20	1,620	7.221	11,698.02
ลุ่มน้ำย่อยที่ 6	15.59	1,559	2.607	4,064.313
ลุ่มน้ำย่อยที่ 7	3.42	342	1.106	378.252
ลุ่มน้ำย่อยที่ 8	0.08	8	0.435	3.48
ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล			5.436	58,365.687



ภาพที่ 25 ปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปีในแต่ละกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

เมื่อพิจารณาการจัดระดับชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดิน จากตารางที่ 19 พบว่า ปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปีในแต่ละกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล พบว่า ทั้ง 8 กลุ่มน้ำย่อย มีระดับชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดินอยู่ในระดับน้อย (0–12.50 ตัน/เฮกแตร์/ปี หรือ 0–2 ตัน/ไร่/ปี) และเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้วกลุ่มน้ำย่อยแม่พูลจัดว่ามีระดับชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดินอยู่ในระดับน้อย ซึ่งการจัดระดับชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดินนี้ เป็นระดับชั้นตามการจำแนกของ กรมพัฒนาที่ดิน ที่แบ่งออกเป็น 5 ระดับความรุนแรง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การจำแนกชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดินในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ดังตารางที่ 20 และ แสดงการกระจายเชิงพื้นที่ของระดับความรุนแรงการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปี โดยจำแนกจากหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) ดังภาพที่ 27



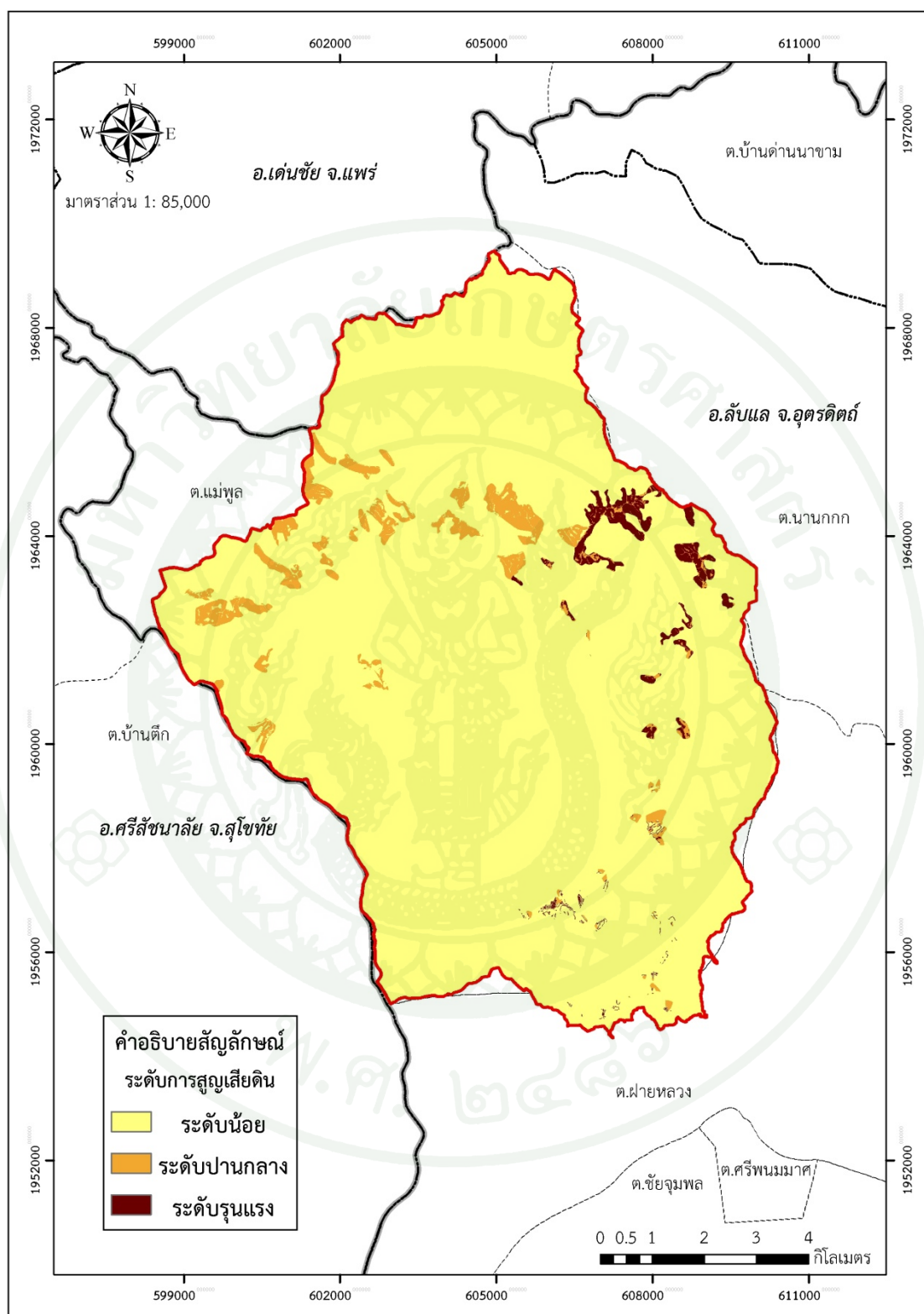
ภาพที่ 26 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์การจำแนกชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ระดับ	ความรุนแรง	อัตราสูญเสียดิน (ตัน/เฮกแตร์/ปี)	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ ของพื้นที่
ระดับ 1	น้อย	0 - 12.5	63,843.75	102.15	95.14
ระดับ 2	ปานกลาง	12.5 - 31.25	2,350	3.76	3.50
ระดับ 3	รุนแรง	31.25 - 93.75	912.5	1.46	1.36
ระดับ 4	รุนแรงมาก	93.75 - 125	-	-	-
ระดับ 5	รุนแรงมากที่สุด	มากกว่า 125	-	-	-
รวม			67,106.25	107.37	100

จากตารางที่ 20 พบว่า ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลมีปริมาณการสูญเสียดินระดับน้อย รวม 102.15 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 95.14 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณการสูญเสียดินระดับปานกลาง รวม 3.76 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 3.50 และปริมาณการสูญเสียดินระดับรุนแรง รวม 1.46 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 1.36 โดยพื้นที่ที่มีปริมาณการสูญเสียดินระดับน้อย ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ และชุมชนเมือง ส่วนพื้นที่ที่มีปริมาณการสูญเสียดินระดับ ปานกลาง และระดับรุนแรง ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกไม้ผลบนพื้นที่ลาดชันสูง

ทั้งนี้การที่พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลมีระดับชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดินอยู่ในระดับน้อย เพราะว่าพื้นที่ลุ่มน้ำแม่พูลมีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ถึงร้อยละ 88.17 ซึ่งดินในพื้นที่ป่าไม้จะมีอินทรีย์วัตถุสูงและมีความสามารถในการซึมน้ำของดินได้ดี ประกอบกับมีความหนาแน่นของเรือนยอด และพืชชั้นล่างขึ้นปกคลุมมาก ซึ่งสามารถลดพลังงานจากแรงตกกระทบหน้าดินของเม็ดฝน และน้ำไหลบ่าหน้าดิน จนสามารถป้องกันการชะล้างพังทลายของดินให้เกิดขึ้นน้อย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2526)



ภาพที่ 27 การกระจายเชิงพื้นที่ของระดับความรุนแรงการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อปี

6. ผลการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย

6.1 การกำหนดการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน

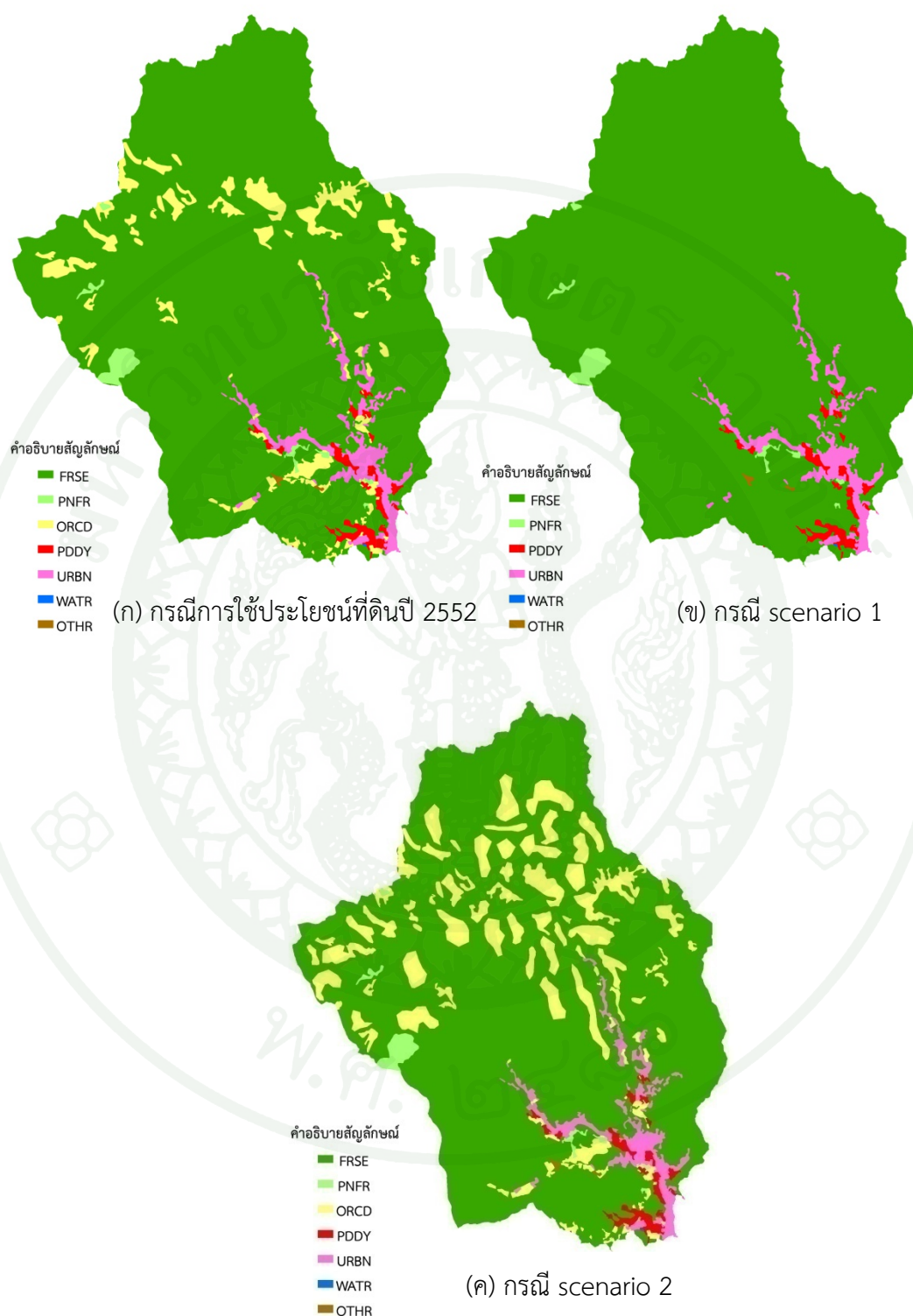
การจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย กำหนดกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับการศึกษาออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

1) กรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2552 เป็นกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินในปีปัจจุบัน ที่ใช้ทำการศึกษ เป็นกรณีฐานและนำมาเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินในกรณี scenario 1 และ กรณี scenario 2

2) กรณี scenario 1 เป็นการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในกรณีที่เปลี่ยนแปลง การใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ไม้ผลเป็นพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมด ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลไม่มีการปลูกไม้ผลในพื้นที่

3) กรณี scenario 2 เป็นการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในกรณีที่พื้นที่ ป่าไม้เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ไม้ผล โดยมีพื้นที่ไม้ผลเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ในกรณีที่มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกไม้ผลเพิ่มขึ้นมากกว่าในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีความลาดชันสูง ซึ่งเคยเป็นพื้นที่ป่าไม้มาก่อน รวมถึงเป็นแหล่งต้นน้ำ ลำธารที่สำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำ และส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ชั้นที่ 1A การเพิ่มพื้นที่ไม้ผล พิจารณาจากปัจจัยการเข้าถึงได้ในพื้นที่ ระยะห่างจากลำน้ำ และความลาดชัน เป็นต้น

ผลจากการกำหนดการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 3 กรณี ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย แม่พูล สามารถแสดงแผนที่การกำหนดการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ในแต่ละกรณี ดังภาพที่ 28 และแสดงรายละเอียดพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินต่าง ๆ ดังตารางที่ 21



ภาพที่ 28 การกำหนดการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ทั้ง 3 กรณีในพื้นที่
ลุ่มน้ำย่อยแม่ปูล

ตารางที่ 21 พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินต่างๆ ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล จากการกำหนดการจำลอง
สถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	กรณีการใช้ประโยชน์ ปี 2552		กรณี scenario 1		กรณี scenario 2	
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ
ป่าไม้ (FRSE)	94.67	88.17	101.57	94.6	85.69	79.81
ไม้ผล (ORCD)	6.90	6.43	-	-	15.88	14.79
นาข้าว (PDDY)	1.25	1.16	1.25	1.16	1.25	1.16
สวนป่า (PNFR)	1.00	0.93	1.00	0.93	1.00	0.93
ที่อยู่อาศัย (URBN)	3.47	3.23	3.47	3.23	3.47	3.23
แหล่งน้ำ (WATR)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
อื่นๆ (OTHR)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
รวม	107.37	100	107.37	100	107.37	100

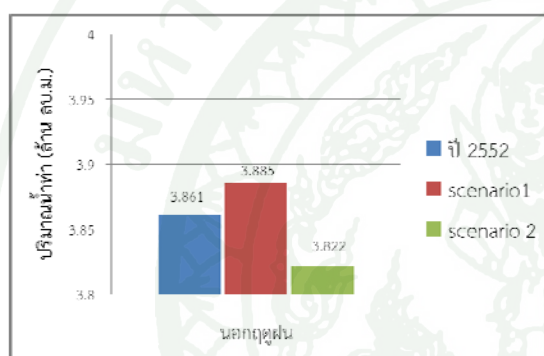
6.2 ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่า ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การกำหนดการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 3 กรณี ต่อปริมาณน้ำท่า มีช่วงเวลาในการคำนวณระยะเวลา 1 ปี ระหว่างวันที่ 1 พ.ย. 2552 ถึง 31 ต.ค. 2553 พบว่า ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่า ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 22 และ ภาพที่ 29 โดยปริมาณน้ำท่าจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลในกรณี scenario 1 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 32.197 ล้านลูกบาศก์เมตร แบ่งออกเป็นปริมาณน้ำท่านอกช่วงฤดูฝน 3.885 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝน 28.312 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552 ซึ่งเป็นกรณีฐาน พบว่า ปริมาณน้ำท่ารายปีลดลง ร้อยละ 0.037 ปริมาณน้ำท่านอกช่วงฤดูฝนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.622 และปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนลดลง ร้อยละ 0.127

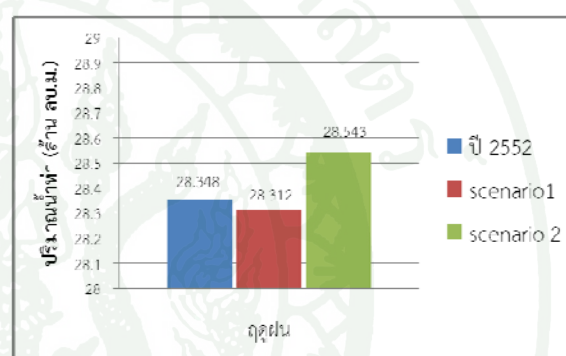
สำหรับปริมาณน้ำท่าจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลในกรณี scenario 2 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 32.365 ล้านลูกบาศก์เมตร แบ่งออกเป็นปริมาณน้ำท่านอกช่วงฤดูฝน 3.822 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝน 28.543 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552 พบว่า ปริมาณน้ำท่ารายปีเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.484 ปริมาณน้ำท่านอกช่วงฤดูฝนลดลง ร้อยละ 1.010 และปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.688

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน
ช่วงการคำนวณระหว่าง พฤศจิกายน 2552–ตุลาคม 2553

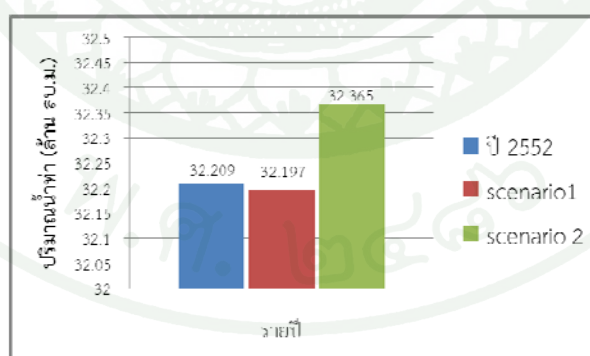
กรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ปริมาณน้ำท่า (ล้านลูกบาศก์เมตร)			ร้อยละความแตกต่าง เทียบกับกรณี การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2552		
	นอกฤดูฝน	ฤดูฝน	รวม	นอกฤดูฝน	ฤดูฝน	รวม
การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552	3.861	28.348	32.209	-	-	-
scenario1	3.885	28.312	32.197	0.622	-0.127	-0.037
scenario 2	3.822	28.543	32.365	-1.010	0.688	0.484



(ก) นอกช่วงฤดูฝน



(ข) ช่วงฤดูฝน



(ค) รายปี

ภาพที่ 29 ปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน

6.3 ผลการคำนวณปริมาณตะกอนแขวนลอย และปริมาณการสูญเสียดินในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน

6.3.1 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ผลการคำนวณปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พล มีค่าที่ได้แตกต่างกันไปในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยแบ่งออกเป็นนอกช่วงฤดูฝน ในช่วงฤดูฝน และผลรวมในช่วงระยะเวลา 1 ปี ดังตารางที่ 23 ซึ่งในกรณี scenario 1 มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ ในช่วงระยะเวลา 1 ปี เท่ากับ 13,184.362 ตัน แบ่งออกเป็นปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำนอกช่วงฤดูฝน 0.844 ตัน และปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในช่วงฤดูฝน 13,183.518 ตัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552 พบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ ในช่วงระยะเวลา 1 ปี ลดลง ร้อยละ 2.805 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำนอกช่วงฤดูฝน ลดลง ร้อยละ 1.974 และปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในช่วงฤดูฝน ลดลง ร้อยละ 2.805

สำหรับปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในกรณี scenario 2 พบว่า มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในช่วงระยะเวลา 1 ปี เท่ากับ 14,013.448 ตัน แบ่งออกเป็นปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำนอกช่วงฤดูฝน 0.878 ตัน และปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในช่วงฤดูฝน 14,012.570 ตัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552 พบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในช่วงระยะเวลา 1 ปี เพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.307 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำนอกช่วงฤดูฝน เพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.974 และปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในช่วงฤดูฝน เพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.307

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน ช่วงการคำนวณระหว่าง พุทธศักราช 2552– ตุลาคม 2553

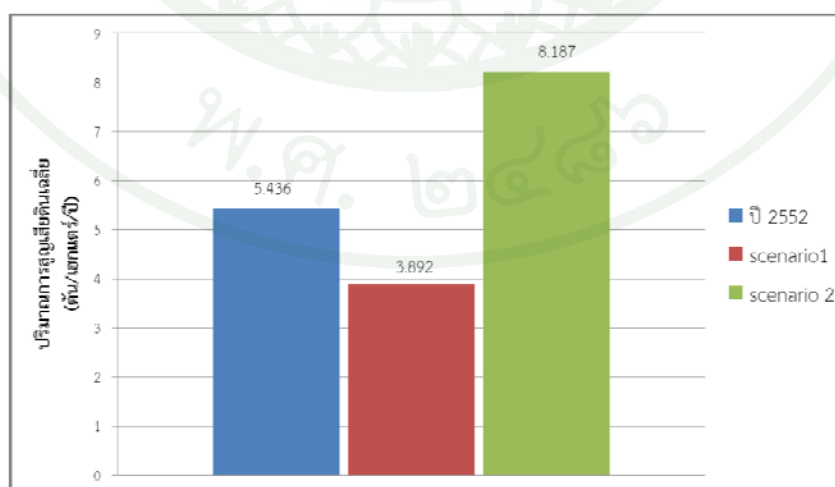
กรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ปริมาณตะกอนแขวนลอย (ตัน)			ร้อยละความแตกต่างเทียบกับ กรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552		
	นอกฤดูฝน	ฤดูฝน	รวม	นอกฤดูฝน	ฤดูฝน	รวม
การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552	0.861	13,564.036	13,564.897	-	-	-
scenario1	0.844	13,183.518	13,184.362	-1.974	-2.805	-2.805
scenario 2	0.878	14,012.570	14,013.448	1.974	3.307	3.307

6.3.2 ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ที่ได้จากแบบจำลอง SWAT ในช่วงการคำนวณระหว่าง พฤศจิกายน 2552–ตุลาคม 2553 ของแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลการคำนวณ ดังตารางที่ 24 และภาพที่ 30 โดยในกรณี scenario 1 มีปริมาณการสูญเสียดิน เท่ากับ 3.892 ตัน/เฮกแตร์/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552 พบว่า ปริมาณการสูญเสียดินลดลง ร้อยละ 28.403 สำหรับกรณี scenario 2 มีปริมาณการสูญเสียดิน เท่ากับ 8.187 ตัน/เฮกแตร์/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552 พบว่า ปริมาณการสูญเสียดินเพิ่มขึ้น ร้อยละ 50.607 ทั้งนี้เมื่อพิจารณา ในกรณี scenario 1 และ scenario 2 โดยภาพรวมแล้วลุ่มน้ำย่อยแม่พูล จัดว่ามีระดับชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดินอยู่ในระดับน้อย

ตารางที่ 24 ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน ช่วงการคำนวณระหว่าง พฤศจิกายน 2552–ตุลาคม 2553

กรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ย (ตัน/เฮกแตร์/ปี)	ร้อยละความแตกต่าง เทียบ กับกรณีการใช้ประโยชน์ ที่ดินปี 2552
การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552	5.436	-
scenario1	3.892	-28.403
scenario 2	8.187	50.607



ภาพที่ 30 ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน

เมื่อเปรียบเทียบระดับชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดินในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า กรณี scenario 1 มีปริมาณการสูญเสียดินระดับน้อยทั้งหมด ส่วนกรณี scenario 2 พบว่า มีปริมาณการสูญเสียดินระดับน้อย รวม 93.73 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 87.30 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณการสูญเสียดินระดับปานกลาง รวม 9.99 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 9.30 และปริมาณการสูญเสียดินระดับรุนแรง รวม 3.65 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 3.40 ซึ่งมีพื้นที่ปริมาณการสูญเสียดินระดับน้อยลดลง ส่วนพื้นที่ปริมาณการสูญเสียดินปานกลาง และระดับรุนแรง เพิ่มขึ้นจากกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552 ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์การจำแนกชั้นความรุนแรงของการสูญเสียดิน ในแต่ละกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ระดับ	ความรุนแรง	อัตราสูญเสียดิน (ตัน/เฮกแตร์/ปี)	ปี 2552		scenario 1		scenario 2	
			พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
ระดับ 1	น้อย	0 - 12.5	102.15	95.14	107.37	100	93.73	87.30
ระดับ 2	ปานกลาง	12.5 - 31.25	3.76	3.5	-	-	9.99	9.30
ระดับ 3	รุนแรง	31.25 - 93.75	1.46	1.36	-	-	3.65	3.40
ระดับ 4	รุนแรงมาก	93.75 - 125	-	-	-	-	-	-
ระดับ 5	รุนแรงมากที่สุด	มากกว่า 125	-	-	-	-	-	-
รวม			107.37	100	107.37	100	107.37	100

การจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอยสามารถอธิบายให้เห็นได้ว่า ลุ่มน้ำก็คือ ระบบสิ่งแวดล้อมหนึ่งที่มีโครงสร้างหลากหลาย ได้แก่ ต้นไม้ สัตว์ คน ดิน หิน แร่ น้ำ อากาศ เมือง หรือ ชุมชน รวมกันเป็นโครงสร้างของระบบลุ่มน้ำ ที่มีหน้าที่สำคัญ คือ การให้น้ำทั้งปริมาณ คุณภาพ และเวลาการไหลในลำธารอย่างสม่ำเสมอ (เกษม, 2544) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล จึงเท่ากับเปลี่ยนโครงสร้างภายในระบบลุ่มน้ำ ที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อบทบาท/หน้าที่ของระบบลุ่มน้ำ คือ ปริมาณ คุณภาพ และระยะเวลาการไหลของน้ำ

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าในลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ป่าไม่มาก ทำให้ปริมาณน้ำท่านอกช่วงฤดูฝนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นน้ำที่ถูกเก็บไว้ใต้ดิน แล้วค่อยๆ ซึมผ่านผิวดินไหลลงสู่ลำน้ำ ส่วนในช่วงฤดูฝนมีปริมาณน้ำท่าลดลง เนื่องจากป่าไม้ช่วยยับยั้งการไหลของน้ำไหลบ่าหน้าดินให้มีความเร็วลดลงเมื่อมีฝนตกลงมา ซึ่งช่วยชะลอน้ำให้มีเวลามากขึ้นก่อนไหลลงสู่ลำน้ำ รวมทั้งยังทำให้น้ำเกิดการซึมลงไปได้มากขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำท่าในลำธารตลอดปี

นอกจากนี้ผลการศึกษาจากการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินยังชี้ให้เห็นว่า พื้นที่ป่าไม้ช่วยลดแรงกระแทกจากฝนที่ปะทะหน้าดิน และความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ทำให้มีการชะล้างพังทลายของดินและการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำลดลง และการที่ความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดินที่พัดพาตะกอนลงสู่ลำน้ำลดลง จึงทำให้มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำลดลง รวมถึงทำให้คุณภาพน้ำในลำน้ำดีขึ้นด้วย ซึ่งตะกอนเป็นดัชนีชี้วัดถึงความสำเร็จของโครงสร้างในระบบลุ่มน้ำว่าอยู่ในสถานภาพปกติหรือไม่

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การประยุกต์แบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอยจากพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก: กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. ผลการกำหนดเส้นแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ

ผลจากการกำหนดเส้นแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยใช้ข้อมูล DEM ที่มีขนาดความละเอียด 5 เมตร x 5 เมตร สามารถแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลได้เป็น 8 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย จากการกำหนดจุดออกลุ่มน้ำบริเวณตำแหน่งที่ตั้งของฝายที่อยู่ในพื้นที่เป็นเกณฑ์ในการกำหนด ซึ่งลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลมีลักษณะภูมิประเทศที่มีพื้นที่ที่มีความลาดชันของพื้นที่และความลาดชันของลำน้ำสูง โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำที่มีลักษณะเป็นภูเขาสลับซับซ้อนและสูงชัน

2. ผลการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ

การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยกำหนดลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 7 ประเภท ชนิดดินที่อยู่ในพื้นที่ทั้งหมด 5 กลุ่มชุดดิน และความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำ 5 ระดับชั้น และกำหนดให้ land use percentage (%) over subbasin area เท่ากับร้อยละ 6 กำหนด soil class percentage (%) over land use area เท่ากับร้อยละ 5 และกำหนด slope class percentage (%) over soil class area เท่ากับร้อยละ 5 ได้หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดจำนวน 92 HRUs

3. ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวสำหรับปริมาณน้ำท่า ได้แก่ 1) ค่าปัจจัยของการไหลพื้นฐาน (ALPHA_BF) 2) ค่าปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บน้ำไว้ได้ (SOL_AWC) 3) ค่า curve number (CN2) 4) ค่าความสามารถการนำน้ำของดิน (SOL_K) 5) ค่าประสิทธิผลความนำทางชลศาสตร์ในทางน้ำ (CH_K2) 6) ค่าความลึกของดิน (SOL_Z) 7) ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับลำน้ำ (CH_N2)

8) ปัจจัยขดเขยการระเหยจากผิวดิน (ESCO) 9) ค่าหน่วยเวลาของน้ำท่าผิวดิน (SURLAG) 10) ค่าการเก็บกักน้ำสูงสุดบนผิวดิน (CANMX) 11) ดัชนีพื้นที่ใบที่มีศักยภาพสูงสุด (BLAI) และ 12) ค่าความยาวความลาดชันเฉลี่ย (SLSUBBSN) ตามลำดับ

สำหรับพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวสำหรับตะกอน ได้แก่ 1) ค่าพารามิเตอร์เส้นตรงของตะกอนในลำน้ำ (SPCON) 2) ค่าพารามิเตอร์เอกซ์โพเนนเชียลของตะกอนในลำน้ำ (SPEXP) 3) ค่าปัจจัยทางมาตรการอนุรักษ์ในสมการ USLE (USLE_P) 4) ค่าปัจจัยสิ่งปกคลุมในลำน้ำ (CH_COV) 5) ค่าปัจจัยความยากง่ายในการพังทลายของดินในลำน้ำ (CH_EROD) และ 6) ค่าปัจจัยพืชคลุมดินในสมการ USLE (USLE_C) ตามลำดับ

4. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง SWAT

4.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า

ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ที่ฝายทุ่งนากลาง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.574 ค่า NSE เท่ากับ 0.447 และมีค่าร้อยละความแตกต่างเท่ากับ 4.661 มีระดับความน่าเชื่อถือ และสัมประสิทธิ์ยอมรับในระดับไม่ดี

ส่วนผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า ที่ฝายหลวง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.704 ค่า NSE เท่ากับ 0.645 และมีค่าร้อยละความแตกต่างในทางลบ เท่ากับ 0.769 โดยผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลอง SWAT มีระดับความน่าเชื่อถือ และสัมประสิทธิ์ยอมรับในระดับดี

4.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ

การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากแบบจำลอง SWAT กับปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณฝายหลวง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.690 ค่า NSE เท่ากับ 0.685 และมีค่าร้อยละความแตกต่าง เท่ากับ 9.298 มีระดับความน่าเชื่อถือ และสัมประสิทธิ์ยอมรับในระดับดี

5. ผลการประเมินปริมาณน้ำท่า และตะกอนแขวนลอย จากการคำนวณแบบจำลอง SWAT

5.1 ปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในช่วงระยะเวลา 1 ปี ระหว่างวันที่ 1 พ.ย. 2552 ถึง 31 ต.ค. 2553 มีปริมาณน้ำท่ารายปีรวม 32.209 ล้านลูกบาศก์เมตร แบ่งออกเป็นปริมาณน้ำท่านอกช่วงฤดูฝน (พ.ย.-เม.ย.) เท่ากับ 3.861 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) เท่ากับ 28.348 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเดือนสิงหาคม 2553 เป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำมากที่สุด คือ 13.983 ล้านลูกบาศก์เมตร และเดือนเมษายน 2553 เป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำน้อยที่สุด คือ 0.126 ล้านลูกบาศก์เมตร

สำหรับปริมาณน้ำท่ารายปีในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำย่อยแม่พูล พบว่า ลุ่มน้ำย่อยที่ 6 มีปริมาณน้ำท่ารายปีมากที่สุด เท่ากับ 5.921 ล้านลูกบาศก์เมตร รองลงมาได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยที่ 1, 5, 4, 3, 2, 7 และ 8 มีปริมาณน้ำท่ารายปี เท่ากับ 5.838, 5.516, 5.267, 4.375, 3.575, 1.655 และ 0.060 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

5.2 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ และปริมาณการสูญเสียดิน

1) ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล รวมทั้งหมด 13,564.897 ตัน แบ่งออกเป็นปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำนอกช่วงฤดูฝน (พ.ย.-เม.ย.) เท่ากับ 0.861 ตัน และปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) เท่ากับ 13,564.036 ตัน

2) ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ย เท่ากับ 5.436 ตัน/เฮกแตร์/ปี โดยในลุ่มน้ำย่อยที่ 3 มีปริมาณการสูญเสียดินเฉลี่ยต่อพื้นที่มากที่สุด เท่ากับ 11.583 ตัน/เฮกแตร์/ปี รองลงมาได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยที่ 4, 5, 1, 2, 6, 7 และ 8 เท่ากับ 9.969, 7.221, 2.920, 2.736, 2.607, 1.106 และ 0.435 ตัน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งลุ่มน้ำย่อยแม่พูลมีปริมาณการสูญเสียดินระดับน้อย รวม 102.15 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 95.14 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณการสูญเสียดินระดับปานกลาง รวม 3.76 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 3.50 และปริมาณการสูญเสียดินระดับรุนแรง รวม 1.46 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 1.36 เนื่องจากลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่

เป็นพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งสามารถลดพลังงานจากแรงตกระทบหน้าดินของเม็ดฝน และน้ำไหลบ่าหน้าดิน จนสามารถป้องกันการชะล้างพังทลายของดินให้เกิดขึ้นน้อย

6. ผลการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าและตะกอนแขวนลอย

ผลการกำหนดกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับการศึกษาออกเป็น 3 กรณี คือ 1) กรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2552 เป็นกรณีฐาน 2) กรณี scenario 1 เป็นการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในกรณีที่เปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ไม้ผลเป็นพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมด 3) กรณี scenario 2 เป็นการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในกรณีที่พื้นที่ป่าไม้เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ไม้ผล โดยมีพื้นที่ไม้ผลเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

6.1 ปริมาณน้ำท่า พบว่า ในกรณี scenario 1 มีปริมาณน้ำท่ารายปีลดลง ร้อยละ 0.037 ปริมาณน้ำท่านอกช่วงฤดูฝนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.622 และปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนลดลง ร้อยละ 0.127 ส่วนใน scenario 2 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.484 ปริมาณน้ำท่านอกช่วงฤดูฝนลดลง ร้อยละ 1.010 และปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.688 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552

6.2 ปริมาณตะกอนแขวนลอย พบว่า ในกรณี scenario 1 มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำรวมทั้งหมดลดลง ร้อยละ 2.805 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำนอกช่วงฤดูฝนลดลง ร้อยละ 1.974 และปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในช่วงฤดูฝนลดลง ร้อยละ 2.805 ส่วนในกรณี scenario 2 มีปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.307 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำนอกช่วงฤดูฝนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.974 และปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำในช่วงฤดูฝนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.307 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2552

6.3 ปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล พบว่า ในกรณี scenario 1 มีปริมาณการสูญเสียดินลดลง ร้อยละ 28.403 และในกรณี scenario 2 มีปริมาณการสูญเสียดินเพิ่มขึ้น ร้อยละ 50.607 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ประโยชน์ปี 2552

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ป่าไม้มาก ทำให้ปริมาณน้ำท่านอกช่วงฤดูฝนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนลดลง ส่วนปริมาณตะกอนแขวนลอยจะมีปริมาณตะกอน

แขวนลอยในลำน้ำลดลง ทั้งนอกช่วงฤดูฝนและในช่วงฤดูฝน รวมทั้งมีปริมาณการสูญเสียดินในพื้นที่ลุ่มน้ำลดลงด้วย

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ แบ่งข้อเสนอแนะเป็น 2 ส่วน คือ ข้อเสนอแนะผลที่ได้จากการศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการพื้นที่ และข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปประยุกต์ในการศึกษาต่อไป โดยข้อเสนอแนะ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ข้อเสนอแนะผลที่ได้จากการศึกษา

1) การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ป่าไม้ลดลง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้ไปเป็นสวนผลไม้ ส่งผลต่อน้ำท่าทำให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน และมีปริมาณน้ำท่าลดลงนอกช่วงฤดูฝน และทำให้มีปริมาณตะกอนแขวนลอย และปริมาณการสูญเสียดินที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงควรมีการอนุรักษ์และฟื้นฟูพื้นที่ป่าไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณภูเขาสูง ที่เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารที่สำคัญให้คงอยู่ต่อไป

2) ควรมีการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ในปัจจุบันให้มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1A ซึ่งเป็นแหล่งต้นน้ำลำธารที่สำคัญ ต้องป้องกันไม่ให้เกิดการบุกรุก และเข้าไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรเพิ่มขึ้น รวมทั้งต้องมีการป้องกันโดยใช้มาตรการทางด้านกฎหมาย ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้มีกฎหมายเกี่ยวกับป่าไม้หลายฉบับ โดยธนพร และคณะ (2552) ได้รวบรวมไว้ ได้แก่ พระราชบัญญัติป่าไม้ พ.ศ. 2484 กฎกระทรวงฉบับที่ 16 พ.ศ. 2498 พระราชบัญญัติอุทยานแห่งชาติ พ.ศ. 2504 พระราชบัญญัติสงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 2535 พระราชบัญญัติป่าสงวนแห่งชาติ พ.ศ. 2507 และพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เป็นต้น ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรต้องมีการบังคับใช้ให้กฎหมายอย่างมีประสิทธิภาพและบังคับใช้อย่างเคร่งครัด เพื่อเป็นการปกป้องและอนุรักษ์พื้นที่ป่าไม้ให้คงอยู่ต่อไป

3) สำหรับพื้นที่การเกษตรบริเวณที่สูงที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้น ต้องมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำต่างๆ ที่เหมาะสมกับความสูงและความลาดชันของพื้นที่ ทั้งวิธีการโดยใช้ระบบพืช และใช้วิธีกล เช่น การป้องกันโดยใช้พืชคลุมดิน การทำขั้นบันได การเพาะปลูกพืชตามแนวระดับ และการทำ

คูรับน้ำรอบขอบเขา เป็นต้น โดยเฉพาะบริเวณที่มีความลาดชันสูงเกินร้อยละ 35 เป็นบริเวณที่ไม่ควรทำการเกษตร แต่ถ้ามีความจำเป็น ต้องมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยทำคันดินเป็นขั้นบันไดขวางความลาดเทของพื้นที่ การทำคูรับน้ำรอบขอบเขาที่ทำขึ้นขวางความลาดชันของพื้นที่เป็นช่วงๆ เพื่อควบคุมให้น้ำไหลไปยังที่กำหนดไว้ และยกร่องปลูกพืชบนแนวคันดินระดับเดียวกัน มาตรการอนุรักษ์เหล่านี้จะช่วยชะลอการไหลบ่าของน้ำ ทำให้น้ำไหลซึมลงไปในดินมากขึ้น รวมทั้งเป็นการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปประยุกต์ในการศึกษาต่อไป

1) การตรวจวัดปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก ด้วยวิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายแบบธรรมดา โดยการจดบันทึกค่าระดับน้ำเหนือสันฝายนั้น ควรบันทึกค่าระดับน้ำประจำวันอย่างน้อย 8 ครั้ง (3 ชั่วโมง/ครั้ง) เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก ลักษณะลำน้ำเป็นสายเล็กๆ ทำให้เมื่อฝนตกการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในลำน้ำจึงมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว หรือถ้ามีงบประมาณเพียงพอ ควรติดตั้งสถานีวัดน้ำท่าแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้มีการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนมีความถูกต้องมากขึ้น และควรทำการตรวจวัดในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน ทำให้มีข้อมูลที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบและตรวจสอบกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองได้อย่างเพียงพอ

2) การตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยควรมีการตรวจวัดเป็นประจำ และให้ครอบคลุมทั้งในช่วงฤดูฝน และนอกช่วงฤดูฝน ทั้งนี้ถ้ามีงบประมาณเพียงพอควรมีการศึกษาปริมาณตะกอนท้องน้ำ (bed load) เพิ่มเติม

3) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน และข้อมูลภูมิอากาศ ที่นำมาใช้ในการศึกษา ควรมีการกระจายของสถานีตรวจวัดที่ครอบคลุมและเป็นตัวแทนที่ดีของพื้นที่ลุ่มน้ำ นอกจากนี้ข้อมูลที่นำมาใช้ควรมีช่วงระยะเวลาของข้อมูลที่ยาวนาน และต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูลก่อน เนื่องจากอาจมีการขาดหายไปของข้อมูล เพื่อให้สามารถประเมินผลจากแบบจำลองในช่วงเวลาที่ยาวนานได้และมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

4) การศึกษาในครั้งนี้ได้จำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่างๆ แต่ไม่ได้คำนึงเกี่ยวกับดิน และไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติของดินในแบบจำลอง ซึ่งโดยธรรมชาติเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแล้ว สมบัติของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงไปและมีสภาพไม่เหมือนเดิม เช่น โครงสร้างของดิน การ

ซึมน้ำผ่านผิวดิน ความสามารถในการเก็บน้ำไว้ในดิน เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาต่อไปจึงควรคำนึงถึงด้านดินด้วย

5) การจัดกลุ่มชุดดินในประเทศไทย ได้จัดให้กลุ่มชุดดินที่ 62 เป็นดินในพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (slope complex) ประกอบด้วยพื้นที่ภูเขาและเทือกเขาที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 เป็นกลุ่มชุดดินเดียวกัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วสภาพทางธรณีวิทยาที่เป็นวัตถุดิบกำเนิดดินในแต่ละพื้นที่ก็มีความแตกต่างกันออกไป เช่น หินปูน หินแกรนิต หินดินดาน เป็นต้น ทำให้สมบัติของดินมีความแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและจัดจำแนกกลุ่มชุดดินนี้ให้มากกว่านี้ เพื่อให้ข้อมูลมีความทันสมัยและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เกษม จันทรแก้ว. 2544. การจัดการสิ่งแวดล้อมแบบผสมผสาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2526. การใช้สมการการสูญเสียดินสากลและมาตรการอนุรักษ์ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2545. การประเมินการสูญเสียดินในประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. ลักษณะและสมบัติของดินที่เป็นตัวแทนกลุ่มชุดดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ. 2542. กระบวนการเรียนรู้ การบำรุงรักษาและปฏิบัติการชลประทาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กิตติพงษ์ ชนาศิริยะกุล. 2546. การประเมินสัมพันธภาพลำน้ำย่อยของประเทศไทยด้วยข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ และแบบจำลองสารสนเทศ SWAT/GIS: กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนบน อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนพร สุปรียศิลป์, กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ, จุมพิตา เรืองวิชาธร, ธนะ บุญญสิริกุล และสุรีย์ บุญญานุพงศ์. 2552. กฎหมายกับการพัฒนาในพื้นที่ป่า. ครองช่างพรินต์ติ้ง, เชียงใหม่.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำ. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2549. การจำลองแบบการจัดการลุ่มน้ำและระบบสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัยป่าไม้
คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิวัติ เรืองพานิช. 2547. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, กรุงเทพฯ.

พลชัย กลิ่นขจร. 2533. อิทธิพลของเขตชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและการลดน้อยถอยลงของพื้นที่ป่า
ต่อบริเวณน้ำไหลในลำธารบนพื้นที่สูงและภูเขาสูงน้ำปิงและน่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

แสงสุรีย์ คัดโนภาส. 2542. การประเมินค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยและน้ำท่าโดยใช้
แบบจำลอง AGNPS บริเวณพื้นที่สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำน่าน อำเภอเวียงสา จังหวัด
น่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โอฬาร เวศอุไร. 2548. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน
ตอนบน โดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Alibuyog, N.R., Victor B. Ella, Manuel R. Reyes, Raghavan Srinivasan, Conrad
Heatwole and Theo Dillaha. 2009. Predicting the Effects of Land Use on
Runoff and Sediment Yield in Selected Sub-watersheds of the Manupali
River Using the ArcSWAT Model. Available Source:
[http://aic.hcmuaf.edu.vn/data/zSWAT%20Book%20sample%20for%20website-
z.pdf](http://aic.hcmuaf.edu.vn/data/zSWAT%20Book%20sample%20for%20website-z.pdf), January 20, 2010

Al-Soufi, R. 2004. Soil Erosion and Sediment Transport in The Mekong Basin.
Available Source: [http://www.wrrc.dpri.kyotou.ac.jp/~aphw/APHW2004/
proceedings/OHS/56-OHS-A339/56-OHS-A339_resubmit.pdf](http://www.wrrc.dpri.kyotou.ac.jp/~aphw/APHW2004/proceedings/OHS/56-OHS-A339/56-OHS-A339_resubmit.pdf), March 17, 2010.

Bos, M.G. 1989. Discharge Measurement Structures. International Institute for Land
Reclamation and Improvement. Wageningen, Netherlands.

Chaudhry, M.H. 2008. **Open Channel Flow**. Springer Science+Business Media, LLC, New York.

Duan, Z., Xianfeng Song and Junzhi Liu. 2009. **Application of SWAT for Sediment Yield Estimation in a Mountainous Agricultural Basin**. Available Source: http://download.osgeo.org/osgeo/foss4g/2009/posters/12_foss4g2009_poster_xianfeng_song.pdf, March 17, 2010.

Merkley, G.P. 2004. **Irrigation Conveyance & Control: Flow Measurement & Structure Design**. Biological & Irrigation Engineering Department Utah State University, Logan, Utah.

Jorgensen, S.E. 1988. **Fundamentation of Ecological Modeling**. Elsevier, Amsterdam.

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

Munchaona, N. 2009. **Watershed Ecological Carrying Capacity Analysis: A Case Study of Lam Phra Phloeng Watershed, Nakhonratchasima Province, Thailand**. M.Sc. Thesis, Mahidol University.

Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry and J.R. Williams. 2005. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation (Version 2005)**. Available Source: <http://swatmodel.tamu.edu/media/1292/SWAT2005theory.pdf>, January 20, 2010.

Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, R. Srinivasan and J.R. Williams. 2005. **Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation (Version 2005)**. Available Source: <http://swatmodel.tamu.edu/media/1291/SWAT2005io.pdf>, January 20, 2010.

Sanjay, K.J., Jaivir Tyagi and Vishal Singh. 2010. Simulation of Runoff and Sediment Yield for a Himalayan Watershed Using SWAT Model. **Water Resource and Protection** 2: 267-281.

Santhi, C., J.G. Arnold, J.R. Williams, W.A. Dugas, R. Srinivasan and L.M. Hauck. 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. **American Water Resources Association** 37 (5): 1169-1188.

Shimelis, G.S., Bijan Dargahi, Ragahawan Srivasan and Assefa M. Melsse. 2010. Modeling of Sediment Yield from Anjeni-Gauged Watershed, Ethiopia Using SWAT Model. **American Water Resources Association** 46 (3): 514-526.

Subramanya, K. 1982. **Flow in Open Channel**. McGraw - Hill, New Delhi.

Williams, J.R. 1975. Sediment-Yield Prediction with Universal Equation Using Runoff Energy Factor, In Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources: Proceedings of the Sediment Yield Workshop, USDA Sedimentation Lab. **ARS-S-40**, pp. 244-252





ลักษณะของกลุ่มชุดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

กลุ่มชุดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล สามารถจำแนกลักษณะของกลุ่มชุดดินและศักยภาพในการใช้ประโยชน์ที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ได้ดังนี้

กลุ่มชุดดินที่ 15

เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากวัตถุดิบกำเนิดดินพวกตะกอนลำนํ้า พบบริเวณที่ราบตะกอนน้ำพา มีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ มีน้ำแช่ขังในช่วงฤดูฝน เป็นดินลึกมากที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเลวหรือเลว เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินบนมีสีน้ำตาลปนเทา ดินล่างสีน้ำตาลหรือสีเทาปนชมพู พบจุดประสีเหลืองหรือสีน้ำตาลปนเหลืองตลอดชั้นดิน ในดินชั้นล่างมักพบก้อนสารเคมีสะสมพวกเหล็ก และแมงกานีส ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำถึงปานกลาง ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6.0-7.5

ปัญหาสำคัญในการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และหน้าดินแน่นทึบทำให้ข้าวแตกกอได้ยาก ปัจจุบันบริเวณดังกล่าวใช้ทำนา ในฤดูแล้งบริเวณใกล้แหล่งน้ำ ใช้ปลูกยาสูบ พืชผักต่างๆ หรือพืชไร่บางชนิด ถ้ามีการชลประทาน ใช้ทำนาได้ 2 ครั้งในรอบปี ตัวอย่างชุดดินที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ชุดดินแม่สาย ชุดดินน่าน ชุดดินหล่มสัก หรือดินคล้ายอื่นๆ ที่มีลักษณะและสมบัติจัดอยู่ในกลุ่มชุดดินนี้ เป็นต้น

กลุ่มชุดดินที่ 29

เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วถูกเคลื่อนย้ายมาทับถมจากวัสดุหลายชนิดที่มีเนื้อละเอียด ทั้งที่มาจากหินตะกอน หรือหินภูเขาไฟ หรือจากวัตถุดิบกำเนิดดินพวกตะกอนลำนํ้า พบบริเวณพื้นที่ดอน ที่เป็นลูกคลื่นจนถึงเนินเขา เป็นดินลึกมาก มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียว สีดินเป็นสีน้ำตาล สีเหลืองหรือสีแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติค่อนข้างต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 4.5-5.5

ปัญหาสำคัญในการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในช่วงฤดูเพาะปลูกพืชอาจขาดน้ำได้หากฝนทิ้งช่วงไปเป็นเวลานาน ส่วนในบริเวณที่มีความลาดชันสูงจะมีปัญหาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของหน้าดิน ปัจจุบันบริเวณดังกล่าวใช้ปลูกพืชไร่และไม่ผลต่างๆ บางบริเวณยังคงสภาพเป็นป่าตามธรรมชาติ ตัวอย่างชุดดินที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ชุดดินบ้านจ้อง ชุดดินหนองมด ชุดดินแม่แดง ชุดดินปากช่อง ชุดดินโชคชัย หรือดินคล้ายอื่นๆ ที่มีลักษณะและสมบัติจัดอยู่ในกลุ่มชุดดินนี้เป็นต้น

กลุ่มชุดดินที่ 33

เป็นกลุ่มชุดดินที่มีวัตถุดิบกำเนิดดินเป็นพวกตะกอนลำน้ำ พบบนสันดินริมน้ำเก่า เนินตะกอนรูปพัด หรือที่ราบตะกอนน้ำพา พบบริเวณพื้นที่ตอนที่มีสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบถึงเป็นลูกคลื่นลอนลาด เป็นดินสีมาก การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง เนื้อดินเป็นพวกดินทรายแป้งหรือดินร่วนละเอียด สีดินเป็น สีน้ำตาล หรือสีน้ำตาลปนแดง บางแห่งในดินล่างลึกๆ มีจุดประสีเทาและสีน้ำตาล อาจมีแรมไคหรือก้อนปูนปะปนอยู่ด้วย มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติปานกลาง ดินชั้นบนมักมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.5-6.5 ส่วนชั้นดินล่าง ถ้ามีก้อนปูนปะปน มีปฏิกิริยาเป็นกลางถึงเป็นด่างจัด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 7.0-8.5

ปัจจุบันบริเวณดังกล่าวใช้ปลูกพืชไร่ต่างๆ เช่น ข้าวโพด อ้อย ฝ้าย ยาสูบ ถั่วต่างๆ และสับปะรด บางแห่งใช้ปลูกไม้ผลหรือเป็นที่อยู่อาศัย ดินกลุ่มนี้ ไม่ค่อยมีปัญหาในการใช้ประโยชน์ ตัวอย่างชุดดินที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ชุดดินดงยางเอน ชุดดินกำแพงแสน ชุดดินกำแพงเพชร หรือดินคล้ายอื่นๆ ที่มีลักษณะและสมบัติจัดอยู่ในกลุ่มชุดดินนี้เป็นต้น

กลุ่มชุดดินที่ 47

เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วถูกเคลื่อนย้ายมาในระยะทางไมไกลนัก ของวัสดุเนื้อละเอียดที่มาจากทั้งหินตะกอน หรือหินอัคนี พบบริเวณพื้นที่ตอน ที่มีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดจนถึงเนินเขา เป็นดินต้น มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียวหรือดินร่วนที่มีเศษหินปะปนมาก มักพบชั้นหินพื้นดินต่ำกว่า 50 ซม. สีดินเป็นสีน้ำตาล สีเหลืองหรือสีแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำถึงปานกลาง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.5-7.0

ปัญหาสำคัญในการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ เป็นดินตื้น มีเศษหินปะปนอยู่ในเนื้อดินเป็นปริมาณมาก ในบริเวณที่มีความลาดชันสูงจะมีปัญหาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของหน้าดินอย่างรุนแรง ปัจจุบันบริเวณดังกล่าว เป็นป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรังหรือป่าละเมาะ บางแห่งใช้ทำไร่เลื่อนลอย หรือปลูกป่าทดแทน ตัวอย่างชุดดินที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ชุดดินลี ชุดดินมวกเหล็ก ชุดดินท่าลี่ ชุดดินสบปราบ หรือดินคล้ายอื่นๆ ที่มีลักษณะและสมบัติจัดอยู่ในกลุ่มชุดดินนี้ เป็นต้น

กลุ่มชุดดินที่ 62

กลุ่มดินนี้ประกอบด้วยพื้นที่ภูเขาและเทือกเขาซึ่งมีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 ลักษณะและสมบัติของดินที่พบไม่แน่นอน มีทั้งดินลึกและดินตื้น ลักษณะของเนื้อดินและความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของหินต้นกำเนิดในบริเวณนั้น มักมีเศษหิน ก้อนหินหรือพื้นโผล่กระจัดกระจายทั่วไป ส่วนใหญ่ยังปกคลุมด้วยป่าไม้ประเภทต่างๆ เช่น ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรังหรือป่าดงดิบชื้น หลายแห่งมีการทำไร่เลื่อนลอยโดยปราศจากมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน จนบางแห่งเหลือแต่หินโผล่

กลุ่มดินนี้ไม่ควรนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เนื่องจากมีปัญหาหลายประการที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ ควรสงวนไว้เป็นป่าตามธรรมชาติเพื่อรักษาแหล่งต้นน้ำลำธารกลุ่มดินนี้ในแผนที่ดินระดับจังหวัด เรียกว่า ที่ลาดชันเชิงซ้อน





ภาพผนวกที่ ข1 การติดตั้งแผ่นวัดระดับน้ำที่ฝายทุ่งนากลาง



ภาพผนวกที่ ข2 ลักษณะโครงสร้างของฝายทุ่งนากลาง



ภาพผนวกที่ ข3 สภาพลำน้ำบริเวณฝายทุ่งนากลาง



ภาพผนวกที่ ข4 การติดตั้งแผ่นวัดระดับน้ำที่ฝายหลวง



ภาพผนวกที่ ข5 ลักษณะโครงสร้างของฝายหลวง



ภาพผนวกที่ ข6 สภาพลำน้ำบริเวณฝายหลวง



ภาคผนวก ค

ผลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายในพื้นที่ศึกษา

ตารางผนวกที่ ค1 ผลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายในพื้นที่ศึกษา

วันที่	ฝายหลวง		ฝายท่งนากลาง	
	ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย (เมตร)	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที.)	ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย (เมตร)	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที.)
27 ก.ค. 53	0.02	0.1114	0.02	0.0795
28 ก.ค. 53	0.06	0.5766	0.06	0.4114
29 ก.ค. 53	0.06	0.5289	0.05	0.3443
30 ก.ค. 53	0.05	0.3946	0.05	0.3124
31 ก.ค. 53	0.04	0.3127	0.04	0.2231
1 ส.ค. 53	0.04	0.3127	0.03	0.1473
2 ส.ค. 53	0.04	0.3127	0.02	0.0795
3 ส.ค. 53	0.54	20.5626	0.31	5.5481
4 ส.ค. 53	0.16	2.5624	0.10	0.9369
5 ส.ค. 53	0.08	0.8909	0.06	0.3773
6 ส.ค. 53	0.06	0.6257	0.05	0.2815
7 ส.ค. 53	0.05	0.4378	0.04	0.2231
8 ส.ค. 53	0.06	0.5289	0.06	0.3773
9 ส.ค. 53	0.02	0.1408	0.04	0.2517
10 ส.ค. 53	0.07	0.7279	0.06	0.4114
11 ส.ค. 53	0.24	5.1505	0.17	2.0204
12 ส.ค. 53	0.85	41.7668	0.70	21.9167
13 ส.ค. 53	0.72	31.9529	0.62	17.9905
14 ส.ค. 53	0.32	8.2132	0.22	3.1019
15 ส.ค. 53	0.22	4.3478	0.12	1.1409
16 ส.ค. 53	0.15	2.3891	0.10	0.8914
17 ส.ค. 53	0.12	1.5992	0.07	0.4824
18 ส.ค. 53	0.28	6.8013	0.15	1.7045
19 ส.ค. 53	0.24	5.1505	0.13	1.3003
20 ส.ค. 53	0.13	1.8996	0.07	0.5193
21 ส.ค. 53	0.07	0.6761	0.05	0.3124
22 ส.ค. 53	0.15	2.3043	0.07	0.5571
23 ส.ค. 53	0.30	7.4918	0.17	2.0204
24 ส.ค. 53	0.19	3.6056	0.12	1.1409
25 ส.ค. 53	0.31	7.7767	0.10	0.8914

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

วันที่	ฝ่ายหลวง		ฝ่ายทุ่งนากลาง	
	ความสูงของน้ำ เหนือสันฝาย (เมตร)	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที)	ความสูงของน้ำ เหนือสันฝาย (เมตร)	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที)
26 ส.ค. 53	0.21	4.1296	0.10	0.8914
27 ส.ค. 53	0.18	3.2088	0.10	0.8914
28 ส.ค. 53	0.15	2.4751	0.09	0.7597
29 ส.ค. 53	0.06	0.5766	0.09	0.7597
30 ส.ค. 53	0.16	2.5624	0.10	0.8467
31 ส.ค. 53	0.13	1.8996	0.08	0.6761
1 ก.ย. 53	0.11	1.4568	0.07	0.5193
2 ก.ย. 53	0.15	2.4751	0.07	0.5193
3 ก.ย. 53	0.13	1.8996	0.07	0.5193
4 ก.ย. 53	0.11	1.3876	0.06	0.4114
5 ก.ย. 53	0.10	1.1868	0.06	0.4114
6 ก.ย. 53	0.09	1.0057	0.06	0.4114
7 ก.ย. 53	0.08	0.8909	0.05	0.3124
8 ก.ย. 53	0.07	0.7279	0.05	0.3124
9 ก.ย. 53	0.08	0.8909	0.05	0.3124
10 ก.ย. 53	0.08	0.8909	0.04	0.2231
11 ก.ย. 53	0.08	0.8909	0.04	0.2231
12 ก.ย. 53	0.13	1.9780	0.04	0.2231
13 ก.ย. 53	0.10	1.2494	0.04	0.2231
14 ก.ย. 53	0.08	0.8909	0.04	0.2231
15 ก.ย. 53	0.45	15.1127	0.32	5.8596
16 ก.ย. 53	0.21	4.0223	0.09	0.7597
17 ก.ย. 53	0.16	2.6510	0.07	0.5571
18 ก.ย. 53	0.13	1.8996	0.06	0.4114
19 ก.ย. 53	0.11	1.5273	0.06	0.4114
20 ก.ย. 53	0.11	1.4568	0.05	0.3124
21 ก.ย. 53	0.10	1.2494	0.05	0.3124
22 ก.ย. 53	0.09	1.1252	0.05	0.3124
23 ก.ย. 53	0.09	1.0057	0.05	0.3124
24 ก.ย. 53	0.18	3.2088	0.09	0.8028

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

วันที่	ฝ่ายหลวง		ฝ่ายทุ่งนากลาง	
	ความสูงของน้ำ เหนือสันฝาย (เมตร)	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที)	ความสูงของน้ำ เหนือสันฝาย (เมตร)	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที)
25 ก.ย. 53	0.13	1.8226	0.07	0.4824
26 ก.ย. 53	0.11	1.5273	0.06	0.4114
27 ก.ย. 53	0.11	1.3876	0.06	0.3773
28 ก.ย. 53	0.10	1.2494	0.05	0.3124
29 ก.ย. 53	0.09	1.0649	0.05	0.3124
30 ก.ย. 53	0.08	0.8909	0.05	0.3124
1 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.05	0.3124
2 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.04	0.2231
3 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.04	0.2231
4 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.04	0.2231
5 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.04	0.2231
6 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.03	0.1473
7 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.03	0.1473
8 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.03	0.1473
9 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.03	0.1473
10 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.03	0.1473
11 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.03	0.1473
12 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.03	0.1473
13 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.03	0.1473
14 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.03	0.1473
15 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.06	0.4114
16 ต.ค. 53	0.07	0.7809	0.05	0.3124
17 ต.ค. 53	0.07	0.7279	0.04	0.2231
18 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.05	0.3124
19 ต.ค. 53	0.09	1.0649	0.06	0.4114
20 ต.ค. 53	0.13	1.9780	0.06	0.4114
21 ต.ค. 53	0.13	1.8996	0.07	0.5193
22 ต.ค. 53	0.10	1.1868	0.06	0.4114
23 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.05	0.3124
24 ต.ค. 53	0.08	0.8909	0.04	0.2231

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

วันที่	ฝ่ายหลวง		ฝ่ายทุ่งนากลาง	
	ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย (เมตร)	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที)	ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย (เมตร)	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที)
25 ต.ค. 53	0.07	0.7279	0.04	0.2231
26 ต.ค. 53	0.07	0.7279	0.03	0.1473
27 ต.ค. 53	0.07	0.7279	0.03	0.1473
28 ต.ค. 53	0.07	0.7279	0.03	0.1473
29 ต.ค. 53	0.06	0.6257	0.02	0.0795
30 ต.ค. 53	0.06	0.5766	0.02	0.0795
31 ต.ค. 53	0.06	0.5766	0.02	0.0795

หมายเหตุ: สมการการคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย ของฝ่ายทุ่งนากลาง และฝ่ายหลวง

$$\text{คือ } Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H_1^{3/2}$$

และ สมการคำนวณ ค่า C_d

$$1) \text{ เมื่อ } \frac{H_1}{B_w} \leq 0.10; C_d = 0.561 \cdot \left(\frac{H_1}{B_w} \right)^{0.022}$$

$$2) \text{ เมื่อ } 0.10 < \frac{H_1}{B_w} \leq 0.35; C_d = 0.028 \cdot \left(\frac{H_1}{B_w} \right) + 0.521$$

$$3) \text{ เมื่อ } 0.35 < \frac{H_1}{B_w} \leq 1.50; C_d = 0.120 \cdot \left(\frac{H_1}{B_w} \right) + 0.492$$

$$4) \text{ เมื่อ } \frac{H_1}{B_w} > 1.50; C_d = 0.661 + 0.08 \cdot \frac{H_1}{P}$$

* ฝ่ายทุ่งนากลาง มีค่า $B_w = 0.3$ ม., $P = 1.3$ ม. และ $L = 18$ ม.

* ฝ่ายหลวง มีค่า $B_w = 0.3$ ม., $P = 1.25$ ม. และ $L = 25.23$ ม.

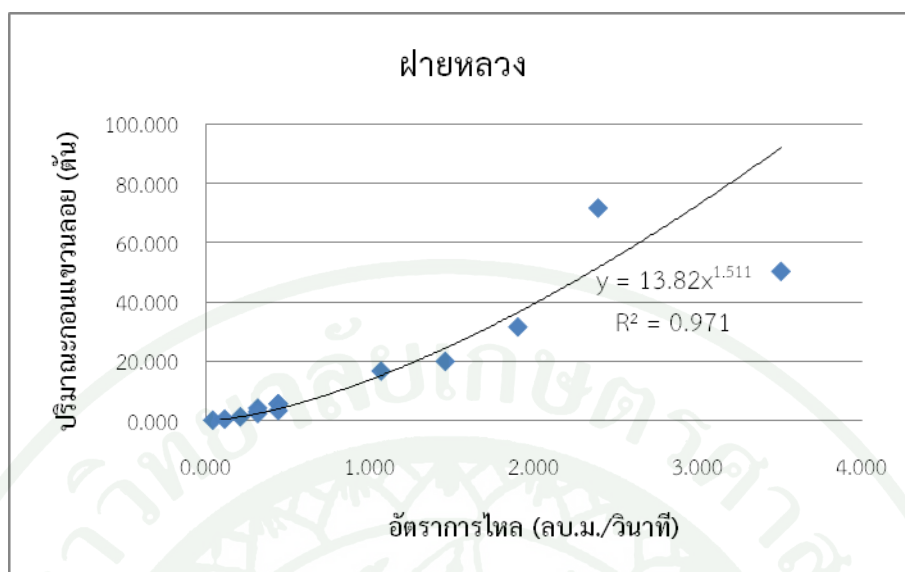


ภาคผนวก ง

ผลการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอยในพื้นที่ศึกษา

ตารางผนวกที่ ง1 ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณตะกอนแขวนลอย และการคำนวณปริมาณตะกอนแขวนลอยให้มีหน่วยเป็นตัน ณ จุดตรวจวัดที่ฝายหลวง

วันที่	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที.)	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ความเข้มข้นของ ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	ปริมาณตะกอน แขวนลอย (ตัน)
7 ส.ค. 53	0.039	0.003	20.000	0.067
21 ส.ค. 53	3.505	0.303	166.000	50.264
25 ส.ค. 53	2.389	0.206	347.000	71.626
29 ส.ค. 53	1.065	0.092	181.000	16.653
5 ก.ย. 53	1.457	0.126	158.000	19.887
11 ก.ย. 53	0.313	0.027	153.000	4.134
18 ก.ย. 53	1.900	0.164	192.000	31.512
26 ก.ย. 53	0.313	0.027	86.000	2.324
3 ต.ค. 53	0.438	0.038	147.000	5.561
10 ต.ค. 53	0.313	0.027	108.000	2.918
16 ต.ค. 53	0.438	0.038	147.000	5.561
23 ต.ค. 53	0.206	0.018	67.000	1.195
30 ต.ค. 53	0.111	0.010	43.000	0.414
7 พ.ย. 53	0.438	0.038	87.000	3.291



ภาพผนวกที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงปริมาณตะกอนแขวนลอย (sediment-discharge rating curve) ณ จุดตรวจวัดที่ฝายหลวง

ตารางผนวกที่ ๖2 ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายวันจากสมการโค้งปริมาณตะกอนแขวนลอย
(sediment-discharge rating curve) ณ จุดตรวจวัดที่ฝายหลวง

วันที่	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที.)	ปริมาณตะกอนรายวัน (ตัน/วัน)
27 ก.ค. 53	0.111	0.501
28 ก.ค. 53	0.577	6.014
29 ก.ค. 53	0.529	5.279
30 ก.ค. 53	0.395	3.390
31 ก.ค. 53	0.313	2.386
1 ส.ค. 53	0.313	2.386
2 ส.ค. 53	0.313	2.386
3 ส.ค. 53	20.563	1332.201
4 ส.ค. 53	2.562	57.277
5 ส.ค. 53	0.891	11.606
6 ส.ค. 53	0.626	6.804
7 ส.ค. 53	0.438	3.968
8 ส.ค. 53	0.529	5.279
9 ส.ค. 53	0.141	0.715
10 ส.ค. 53	0.728	8.552
11 ส.ค. 53	5.150	164.479
12 ส.ค. 53	41.767	3886.720
13 ส.ค. 53	31.953	2593.121
14 ส.ค. 53	8.213	332.919
15 ส.ค. 53	4.348	127.331
16 ส.ค. 53	2.389	51.524
17 ส.ค. 53	1.599	28.093
18 ส.ค. 53	6.801	250.356
19 ส.ค. 53	5.150	164.479
20 ส.ค. 53	1.900	36.440
21 ส.ค. 53	0.676	7.650
22 ส.ค. 53	2.304	48.787
23 ส.ค. 53	7.492	289.740
24 ส.ค. 53	3.606	95.963
25 ส.ค. 53	7.777	306.546
26 ส.ค. 53	4.130	117.799

ตารางผนวกที่ ง2 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที.)	ปริมาณตะกอนรายวัน (ตัน/วัน)
27 ส.ค. 53	3.209	80.462
28 ส.ค. 53	2.475	54.354
29 ส.ค. 53	0.577	6.014
30 ส.ค. 53	2.562	57.277
31 ส.ค. 53	1.900	36.440
1 ก.ย. 53	1.457	24.401
2 ก.ย. 53	2.475	54.354
3 ก.ย. 53	1.900	36.440
4 ก.ย. 53	1.388	22.672
5 ก.ย. 53	1.187	17.901
6 ก.ย. 53	1.006	13.939
7 ก.ย. 53	0.891	11.606
8 ก.ย. 53	0.728	8.552
9 ก.ย. 53	0.891	11.606
10 ก.ย. 53	0.891	11.606
11 ก.ย. 53	0.891	11.606
12 ก.ย. 53	1.978	38.735
13 ก.ย. 53	1.249	19.348
14 ก.ย. 53	0.891	11.606
15 ก.ย. 53	15.113	836.552
16 ก.ย. 53	4.022	113.206
17 ก.ย. 53	2.651	60.295
18 ก.ย. 53	1.900	36.440
19 ก.ย. 53	1.527	26.208
20 ก.ย. 53	1.457	24.401
21 ก.ย. 53	1.249	19.348
22 ก.ย. 53	1.125	16.517
23 ก.ย. 53	1.006	13.939
24 ก.ย. 53	3.209	80.462
25 ก.ย. 53	1.823	34.229
26 ก.ย. 53	1.527	26.208
27 ก.ย. 53	1.388	22.672

ตารางผนวกที่ ง2 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที.)	ปริมาณตะกอนรายวัน (ตัน/วัน)
28 ก.ย. 53	1.249	19.348
29 ก.ย. 53	1.065	15.197
30 ก.ย. 53	0.891	11.606
1 ต.ค. 53	0.891	11.606
2 ต.ค. 53	0.891	11.606
3 ต.ค. 53	0.891	11.606
4 ต.ค. 53	0.891	11.606
5 ต.ค. 53	0.891	11.606
6 ต.ค. 53	0.891	11.606
7 ต.ค. 53	0.891	11.606
8 ต.ค. 53	0.891	11.606
9 ต.ค. 53	0.891	11.606
10 ต.ค. 53	0.891	11.606
11 ต.ค. 53	0.891	11.606
12 ต.ค. 53	0.891	11.606
13 ต.ค. 53	0.891	11.606
14 ต.ค. 53	0.891	11.606
15 ต.ค. 53	0.891	11.606
16 ต.ค. 53	0.781	9.511
17 ต.ค. 53	0.728	8.552
18 ต.ค. 53	0.891	11.606
19 ต.ค. 53	1.065	15.197
20 ต.ค. 53	1.978	38.735
21 ต.ค. 53	1.900	36.440
22 ต.ค. 53	1.187	17.901
23 ต.ค. 53	0.891	11.606
24 ต.ค. 53	0.891	11.606
25 ต.ค. 53	0.728	8.552
26 ต.ค. 53	0.728	8.552
27 ต.ค. 53	0.728	8.552
28 ต.ค. 53	0.728	8.552

ตารางผนวกที่ ง2 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม./วินาที.)	ปริมาณตะกอนรายวัน (ตัน/วัน)
29 ต.ค. 53	0.626	6.804
30 ต.ค. 53	0.577	6.014
31 ต.ค. 53	0.577	6.014

หมายเหตุ: สมการตะกอนแขวนลอยรายวัน คือ $Y = 13.82X^{1.511}$

โดย Y = ปริมาณตะกอน (ตัน/วัน), X = ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	22 กุมภาพันธ์ 2530
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ภูมิศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับ 2 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-