

การเปลี่ยนแปลงสภาพอุตสาหกรรมและการใช้ที่ดิน
และผลกระทบที่มีต่อโครงการอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำปึงตอนบน

นายสรารุฒิ โสภณพัฒนานกุล วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2551

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ดร.ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผศ.ดร.นิตยา หวังวงศ์โรจน์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
(ผศ.อุดมศักดิ์ อิศรางกูร ณ อยุธยา)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(ดร.ชนนท์ ไทยเจริญ)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุ-อุทกวิทยาและการใช้ที่ดิน และผลกระทบที่มีต่อโครงการอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำปึงตอนบน
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายสรารุฒิ โสภณพัฒนากุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นิตยา หวังวงศ์วิโรจน์ ผศ.อุดมศักดิ์ อิศรางกูร ณ อยุธยา
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2551

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT จำลองกระบวนการการเปลี่ยนแปลงน้ำฝนเป็นน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน ซึ่งมีขนาดพื้นที่ประมาณ 23,370 ตร.กม. เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุ - อุทกวิทยาและสภาพการใช้ที่ดินที่มีต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบความเหมาะสม และความพอเพียงของแผนการใช้น้ำ และการบริหารจัดการน้ำที่ดำเนินอยู่ในปัจจุบัน ในกรณีที่ในอนาคตปริมาณน้ำท่ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่คาดการณ์ไว้จากข้อมูลในอดีต

ในการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพทางอุตุ - อุทกวิทยาของพื้นที่ศึกษาโดยวิธีการทางสถิติ จากนั้นจึงนำแบบจำลอง SWAT มาวิเคราะห์การเกิดปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน ในการวิเคราะห์ได้ใช้แบบจำลองแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนออกเป็น 11 ลุ่มน้ำย่อย โดยมีเขื่อนภูมิพลเป็นจุดทางออกของกลุ่มน้ำทั้งหมด ใน 11 ลุ่มน้ำย่อย มี 6 ลุ่มน้ำที่จุดทางออกมีสถานีตรวจวัดน้ำท่าหรือมีข้อมูลปริมาณน้ำท่า ได้แก่ ลุ่มน้ำของสถานีตรวจวัดน้ำท่า P.1 P.14 P.20 P.21 เขื่อนแม่จางสมบูรณ์ชล และ เขื่อนแม่กวางอุดมธารา

การเปรียบเทียบแบบจำลองได้กระทำ 3 กรณี คือ ใช้ข้อมูลสภาพการใช้ที่ดิน และสภาพอุตุอุทกของปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1 P.14 P.20 P.21 เขื่อนแม่จางสมบูรณ์ชล เขื่อนแม่กวางอุดมธารา และ เขื่อนภูมิพล ตรวจสอบผลการคำนวณ เกณฑ์การยอมรับผลการเปรียบเทียบแบบจำลองพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ Nash and Sutcliffe (NS) และ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2533 ได้ค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.61 – 0.89 และ ค่า NS อยู่ระหว่าง 0.74 – 0.94 ในขณะที่กรณีของข้อมูลปี พ.ศ. 2544 ได้ค่า R^2 ระหว่าง 0.68 – 0.83 และ ค่า NS ระหว่าง 0.82 – 0.91 เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองในปี พ.ศ. 2544 มาสอบทานกับข้อมูลปี พ.ศ. 2549 พบว่า ค่า R^2 ระหว่าง 0.71 – 0.93 และ ค่า NS ระหว่าง 0.81 – 0.95 ซึ่งแสดงว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลอง SWAT ที่ใช้ในการเปรียบเทียบให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าใกล้เคียงกับผลการตรวจวัดในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

แบบจำลองที่ผ่านการเปรียบเทียบและสอบทานแล้วได้นำไปจำลองการเกิดปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้สภาพการใช้ที่ดินที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการใช้ที่ดินของปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 โดยในแต่ละรูปแบบได้ใช้ข้อมูลอุตุ – อุตกวิทยาย้อนหลัง 20 ปี (พ.ศ. 2530 - 2549) ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า รูปแบบสภาพการใช้ที่ดินมีผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่ารายปี แต่ไม่มีผลกระทบที่ชัดเจนต่อรูปแบบการกระจายปริมาณน้ำท่ารายเดือน ปริมาณน้ำท่ารายปีของสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 มีค่าสูงกว่าปริมาณน้ำท่ารายปีของสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 และ พ.ศ. 2544 สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากข้อมูลการตรวจวัดปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1 และปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนภูมิพลที่มีแนวโน้มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินทั้ง 3 รูปแบบที่นำมาศึกษามีความแตกต่างด้านพื้นที่การใช้ที่ดินแต่ละประเภทน้อยมาก และมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในแต่ละประเภทยังไม่ชัดเจนพอ ดังนั้นจึงยังไม่อาจสรุปผลกระทบของการใช้ที่ดินแต่ละประเภทที่มีต่อกระบวนการเกิดน้ำท่าได้อย่างชัดเจน

คำสำคัญ : สภาพการใช้ที่ดิน / พื้นที่ลุ่มน้ำปิง / แบบจำลอง SWAT / การไหลในลำน้ำ

Thesis Title	Changes in Hydrometeorologic Condition and Land Uses and Their Impacts on Reservoir Projects in the Upper Ping River Basin
Thesis Credits	12
Candidate	Mr. Sarawut Sophonphattanakul
Thesis Advisors	Asst. Prof. Dr. Nittaya Wangwongwiroj Asst. Prof. Udomsak Israngkura
Program	Master of Engineering
Field of Study	Water Resources Engineering
Department	Civil Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2551

Abstract

This thesis applied the hydrological model SWAT to simulate the rainfall – runoff process in the Upper Ping River Basin which covers the area of about 23,370 sq.km. The purpose of the simulation was to observe the influences of changes in hydrometeorologic conditions and in land uses on the occurrence of river runoff. It is expected that the results might be used to predict the change in river runoff in the future when the land uses pattern change and that the feasibility and adequacy of the present water usage plans and water management scheme can be assessed.

In the study, statistical analyses on trends of changes in hydrometeorologic data were done. The SWAT model was then set up for the river basin. The whole river basin which has the Bhumibol Dam as the outlet was divided by SWAT into 11 sub – basins. Six sub – basins out of these 11 sub – basins have the streamflow gaging stations or the streamflow data at their outlets. They are the P.1, P.14, P.20, P.21 streamflow gaging stations and the two storage dams, Mae Ngad Dam and Mae Guang Dam.

Model Calibration was done by using the hydrometeorologic data and land uses data of the years 1990, 2001 and 2006. The computed river runoff values were compared to the measured data at streamflow gaging stations P.1, P.14, P.20 and P.21 and at Mae Ngad

Dam and Mae Guang Dam. Justification of the model calibration was considered from the efficiency coefficient Nash and Sutcliffe (NS) and the correlation coefficients (R^2).

Calibration result of the year 1990 yielded R^2 between 0.61 – 0.89 and NS between 0.74 – 0.94 while that of the year 2001 yielded R^2 between 0.68 – 0.83 and NS between 0.82 – 0.91. The model parameters used for calibration in 2001 were then verified with runoff data in 2006. The verification results that showed R^2 ranged between 0.71 – 0.93 and NS between 0.81 – 0.95. The values of these two coefficients, as they fell within the acceptable range, indicated that the values of model parameters as used in the calibration could produce the values of river runoff closely similar to the observed ones.

The calibrated model was then used to simulate the occurrence of river runoff in Upper Ping River Basin under three different land use patterns. They are those of 1990, 2001 and 2006. For each type of land use, simulation was done by using the past 20 years of meteorologic data (1987-2006).

The simulated results showed that land uses pattern affects the river runoff volume but its effect was not clear on the distribution pattern of monthly runoff volume. The annual runoff volume of 2006 land uses was greater than the ones of 1990 and 2001 land uses. This was in agreement with the trend analysis of the runoff data measured at streamflow gaging station P.1 and at Bhumibol Dam. However, due to the fact that three patterns of land uses which were used in the study contained just minor differences in the percentages of land occupied by each type of land use and that the trend of change could not be clearly identified, the impact of land uses on the rainfall – runoff process in the Upper Ping River Basin still cannot be clearly concluded from this study.

Keywords : Land Use / Upper Ping River Basin / SWAT Model / Stream Flow

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นิตยา หวังวงศ์วิโรจน์ และ ผศ.อุดมศักดิ์ อิศรางกูร ณ อยุธยา เป็นอย่างสูง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจ จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จโดยสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ ดร.ชนนัท ไทยเจริญ นักวิจัยด้านทรัพยากรน้ำ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ที่กรุณาให้เกียรติมาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการให้คำแนะนำที่มีประโยชน์สำหรับการวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ภรณ์ ชนภรรคภวิน นักวิจัยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและเกษตร ที่ได้ให้คำแนะนำฐานข้อมูลของแบบจำลอง และการปรับฐานข้อมูลสภาพดินของประเทศให้เข้ากับแบบจำลอง ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายอุทกวิทยา กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน - น้ำท่า ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าและปล่อยออกจากเขื่อน ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ฝ่ายบริการข้อมูล กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน ข้อมูลอุณหภูมิต้องขอบคุณ คุณประทุมพร พันเพ็ง เจ้าหน้าที่ส่วนสำรวจจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลแผนที่สภาพดิน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวก ตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณชลทิศ กิตติคุณ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย และให้กำลังใจตลอดจนรุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้อง บัณฑิตศึกษา ทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ และขอขอบคุณความดีที่พึงมี จากวิทยานิพนธ์แบบนี้ให้แก่ มารดา ครูบาอาจารย์ และบุคคลที่ได้กล่าวข้างต้น ที่ทำให้ผู้วิจัยได้มีความสำเร็จในวันนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๙
กิตติกรรมประกาศ	๑๑
สารบัญ	๑๕
รายการตาราง	๑๖
รายการรูปประกอบ	๑๗
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 วิธีดำเนินการศึกษา	3
1.6 การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา	4
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 แบบจำลองอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool (SWAT)	8
2.2 อุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำของแบบจำลอง SWAT	13
2.3 การตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุตุ – อุทกวิทยา	40
2.4 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการปรับเทียบแบบจำลอง	45
3. พื้นที่ศึกษาและข้อมูลที่ใช้	46
3.1 ที่ตั้งและสภาพภูมิประเทศ	46
3.2 สภาพภูมิอากาศ	49
3.3 สภาพอุตุ – อุทกวิทยา	51
3.4 อ่างเก็บน้ำในพื้นที่ศึกษา	67
3.5 สภาพทรัพยากรดิน	69

3.6	สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	72
3.7	ข้อมูลที่ใช้ศึกษา	75
4.	การจำลองพื้นที่ศึกษาให้กับแบบจำลอง	91
4.1	การสร้างลักษณะสภาพภูมิประเทศจากแบบจำลอง	91
4.2	การกำหนดค่าพารามิเตอร์แบบจำลอง	93
4.3	การจัดเตรียมข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าแบบจำลอง	95
4.4	การตั้งค่านวณแบบจำลอง SWAT	97
4.5	การเปรียบเทียบแบบจำลอง	104
4.6	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง	107
5.	ผลการศึกษา	108
5.1	ผลการจำลองสภาพทางกายภาพ	108
5.2	ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว	110
5.3	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง	111
5.4	ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองและกรณีศึกษา	140
6.	สรุปและข้อเสนอแนะ	154
6.1	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุ – อุทกวิทยาของพื้นที่ศึกษา	154
6.2	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินของพื้นที่ศึกษา	155
6.3	การจำลองสภาพพื้นที่ศึกษาให้กับแบบจำลอง SWAT	156
6.4	การประเมินค่าพารามิเตอร์ และการเปรียบเทียบแบบจำลอง	156
6.5	การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา ต่อปริมาณน้ำท่า	158
6.6	ข้อเสนอแนะ	159
	เอกสารอ้างอิง	162
	ภาคผนวก	
ก	ค่า Curve Number (CN2) สำหรับเงื่อนไขความชื้นในดินเริ่มต้นแบบ AMC II	165
ข	ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศ	170
ค	ข้อมูลน้ำฝน – น้ำท่า	177

ง สภาพดินและการใช้ที่ดิน	187
จ พารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง	210
ฉ ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง	222
ประวัติผู้วิจัย	227

รายการตาราง

	หน้า	
2.1	สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (n) สำหรับการไหลบนผิวดิน	19
2.2	สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (n) สำหรับการไหลในลำน้ำ	20
2.3	ค่าประสิทธิผลในการนำน้ำใต้ของดิน (hydraulic conductivity) สำหรับวัสดุท้องน้ำต่างๆ	30
3.1	สรุปข้อมูลสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา	49
3.2	ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง	51
3.3	ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา	59
3.4	ข้อมูลสถานีวัดอุณหภูมิต้องน้ำในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง	62
3.5	สัดส่วนพื้นที่ของสถานีตรวจวัดอุณหภูมิต้องน้ำ	65
3.6	สัดส่วนพื้นที่กลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษา	70
3.7	พื้นที่สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549	73
3.8	ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจากหน่วยงานต่างๆ	76
3.9	ขนาดพื้นที่สภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนในแต่ละปี	82
3.10	ขนาดพื้นที่สภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 ในแต่ละปี	88
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ	93
4.2	รหัสและลักษณะของประเภทสภาพการใช้ที่ดิน	99
4.3	ขนาดของพื้นที่รับที่จุดสถานีเปรียบเทียบแบบจำลอง	105
4.4	ข้อมูลและช่วงเวลาที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง	105
5.1	ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ได้จากแบบจำลอง	108
5.2	ตารางการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์	110
5.3	ขนาดและร้อยละความแตกต่างที่จุดทางออกของพื้นที่ลุ่มน้ำ	111
5.4	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล	112
5.5	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1	116
5.6	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.14	120
5.7	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.20	124
5.8	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.21	128
5.9	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	132

5.10 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา	136
5.11 สรุปผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง	139
5.12 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าแต่ละช่วงเวลาข้อมูล	149
5.13 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองกรณีข้อมูลสภาพอุตุ – อุทกวิทยา 20 ปีย้อนหลัง	153
ก.1 ค่า Curve Number (CN2) สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมแบบหว่าน (cultivated agricultural lands)	166
ก.2 ค่า Curve Numbers (CN2) สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมแบบอื่น ๆ	168
ก.3 ค่า Curve Numbers (CN2) สำหรับพื้นที่ในเขตเมือง	169
ข.1 ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศเชียงใหม่คาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)	171
ข.2 ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศลำพูนคาบ 20 ปี (พ.ศ. 2524-2543)	173
ข.3 ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศตากคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)	175
ค.1 ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของสถานีวัดน้ำฝนดัชนี	184
ค.2 ข้อมูลน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้เปรียบเทียบแบบจำลอง	185
ค.3 ข้อมูลอุณหภูมิจนเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของสถานีวัดอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษาและ บริเวณข้างเคียง	186
ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification)	200
จ.1 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 1	211
จ.2 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 2	212
จ.3 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 3	213
จ.4 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 4	214
จ.5 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 5	215
จ.6 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 6	216
จ.7 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 7	217
จ.8 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 8	218
จ.9 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 9	219
จ.10 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 10	220
จ.11 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 11	221

รายการรูปประกอบ

	หน้า	
2.1	วงจรรูทกวิทยา	9
2.2	แนวคิดของแบบจำลอง SWAT	9
2.3	กระบวนการคำนวณหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาในแต่ละลุ่มน้ำย่อย	11
2.4	การเคลื่อนตัวของน้ำในกระบวนการทางอุทกวิทยาของแบบจำลอง SWAT	12
2.5	กระบวนการการเคลื่อนตัวในลำน้ำของแบบจำลอง SWAT	13
2.6	แสดงลักษณะของ hillslope segment	23
2.7	ชั้นให้น้ำใต้ดินอิสระและชั้นให้น้ำบาดาล	24
2.8	Stream-groundwater relationships	25
2.9	แสดงขนาดหน้าตัดขวางของลำน้ำที่เหลี่ยมกางมุม	27
2.10	แสดงขนาดหน้าตัดขวางของทุ่งน้ำท่วม	27
2.11	แสดงลักษณะปริซึมและลิ้มของความจุในช่วงของการไหล	28
2.12	Component of a reservoir with flood water detention features	33
2.13	การปรับค่าข้อมูลน้ำฝนด้วยวิธี Double mass curve	41
2.14	แนวโน้มแสดงค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นกับเวลา	43
2.15	แนวโน้มแสดงค่าเฉลี่ยลดลงกับเวลา	44
3.1	แผนที่ขอบเขตพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำปึงตอนบน	48
3.2	ทิศทางลมมรสุม	50
3.3	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง	54
3.4	ตัวอย่างเส้นชั้นน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง	56
3.5	ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 1 กับสถานีวัดน้ำฝนดัชนี 327501	57
3.6	กราฟปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาช่วงปี พ.ศ. 2530 - 2549	58
3.7	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนทุก ๆ 4 ปี	58
3.8	ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา	60
3.9	กราฟปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในพื้นที่ศึกษาช่วงปี พ.ศ. 2530 - 2549	61
3.10	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนทุก ๆ 4 ปี	62
3.11	แนวโน้มอุณหภูมิต่ำสุด และเฉลี่ยรายปี ที่สถานีตรวจวัดอุณหภูมิต่ำสุดในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง	64

3.12	แผนที่แสดงสัดส่วนพื้นที่ของสถานีวัดอุณหภูมิต่างๆ	65
3.13	แนวโน้มอุณหภูมิต่ำสุด และเฉลี่ยรายปีในพื้นที่ศึกษา	66
3.14	ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าและปล่อยน้ำเฉลี่ยรายเดือนของเขื่อนแม่จันทน์สมบูรณ์ชล ช่วงปี พ.ศ. 2529 – 2550	67
3.15	ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าและปล่อยน้ำเฉลี่ยรายเดือนของเขื่อนแม่กวางอุดมธารา ช่วงปี พ.ศ. 2537 – 2549	68
3.16	แผนที่กลุ่มชุดดิน	71
3.17	แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษาปี พ.ศ. 2549	74
3.18	แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนปี พ.ศ. 2533	79
3.19	แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนปี พ.ศ. 2544	80
3.20	แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนปี พ.ศ. 2549	81
3.21	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยรวม	83
3.22	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนของพื้นที่ เกษตรกรรมและเขตเมือง	83
3.23	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนของพื้นที่ ป่าและสวนป่า	84
3.24	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนของพื้นที่ ป่าและสวนป่ารวมกัน	84
3.25	แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 ปี พ.ศ. 2533	85
3.26	แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 ปี พ.ศ. 2544	86
3.27	แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 ปี พ.ศ. 2549	87
3.28	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่ม P.1 โดยรวม	89
3.29	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่ม P.1 ของพื้นที่ เกษตรกรรมและเขตเมือง	89
3.30	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่ม P.1 ของพื้นที่ ป่าและสวนป่า	90
3.31	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่ม P.1 ของพื้นที่ ป่าและสวนป่ารวมกัน	90
4.1	แผนที่ขอบเขตสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการปรับเทียบแบบจำลองและสถานีวัดน้ำฝนดัชนี	92
4.2	การกำหนด Projection ให้กับแผนที่ DEM	97
4.3	แผนที่ลุ่มน้ำที่ได้กำหนดชั้นดินของแบบจำลอง SWAT	98
4.4	แสดงการนำเข้าแผนที่สภาพการใช้ที่ดินและสภาพดิน	100

4.5	แสดงการกำหนดหน่วยการตอบสนองของพื้นที่	101
4.6	แสดงลักษณะข้อมูลเมื่อจบขั้นตอนการกำหนดสถานีอุดุนิยมวิทยา	102
4.7	แสดงการตั้งค่าและกำหนดวิธีการคำนวณของแบบจำลอง	103
4.8	แสดงการตั้งค่าและการกำหนดวิธีการคำนวณของพื้นที่ลุ่มน้ำ	104
5.1	เปรียบเทียบลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำจากสภาพลุ่มน้ำจริงและจากแบบจำลอง	108
5.2	ตำแหน่งสถานีน้ำฝนเฉลี่ยและลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยในการคำนวณ	109
5.3	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 ณ จุดน้ำไหล เข้าเขื่อนภูมิพล	113
5.4	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2533 ณ จุดน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล	113
5.5	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 ณ จุดน้ำไหล เข้าเขื่อนภูมิพล	114
5.6	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544 ณ จุดน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล	114
5.7	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 ณ จุดน้ำไหล เข้าเขื่อนภูมิพล	115
5.8	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2549 ณ จุดน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล	115
5.9	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 สถานี P.1	117
5.10	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2533 สถานี P.1	117
5.11	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 สถานี P.1	118
5.12	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544 สถานี P.1	118
5.13	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 สถานี P.1	119
5.14	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2549 สถานี P.1	119
5.15	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 สถานี P.14	121
5.16	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2533 สถานี P.14	121
5.17	ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 สถานี P.14	122

5.37 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 ไหลเข้าเขื่อน แม่จัดสมบูรณ์ชล	135
5.38 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการไ้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2549 ไหลเข้าเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล	135
5.39 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 ไหลเข้าเขื่อน แม่กวงอุดมธารา	137
5.40 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการไ้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544 ไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา	137
5.41 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 ไหลเข้าเขื่อน แม่กวงอุดมธารา	138
5.42 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการไ้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2549 ไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา	138
5.43 ปริมาณน้ำรายปีไหลเข้าเขื่อนภูมิพลจากการพิจารณาผลกระทบของเขื่อนในพื้นที่ ศึกษา ในสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2533	141
5.44 ปริมาณน้ำรายเดือนไหลเข้าเขื่อนภูมิพลจากการพิจารณาผลกระทบของเขื่อนใน พื้นที่ศึกษา ในสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2533	141
5.45 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำลุ่มน้ำปิงตอนบนที่จุดทางเข้าเขื่อนภูมิพลช่วงปี พ.ศ. 2533 ในสภาพการไ้ที่ดินต่างกัน	143
5.46 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำลุ่มน้ำปิงตอนบนที่จุดทางเข้าเขื่อนภูมิพลช่วงปี พ.ศ. 2544 ในสภาพการไ้ที่ดินต่างกัน	144
5.47 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำลุ่มน้ำปิงตอนบนที่จุดทางเข้าเขื่อนภูมิพลช่วงปี พ.ศ. 2549 ในสภาพการไ้ที่ดินต่างกัน	145
5.48 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำลุ่ม P.1 ช่วงปี พ.ศ. 2533 ในสภาพการไ้ที่ดินต่างกัน	146
5.49 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำลุ่ม P.1 ช่วงปี พ.ศ. 2544 ในสภาพการไ้ที่ดินต่างกัน	147
5.50 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำลุ่ม P.1 ช่วงปี พ.ศ.2549 ในสภาพการไ้ที่ดินต่างกัน	148
5.51 ปริมาณน้ำรายปีไหลเข้าเขื่อนภูมิพลในช่วงข้อมูลฤดู – อุทกวิทยา 20 ปี ย้อนหลัง แต่สภาพการไ้ที่ดินต่างกัน	150
5.52 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนไหลเข้าเขื่อนภูมิพลในช่วงข้อมูลฤดู – อุทกวิทยา 20 ปี ย้อนหลัง แต่สภาพการไ้ที่ดินต่างกัน	151
5.53 ปริมาณน้ำทั้งหมดรายปีที่สถานี P.1 ในช่วงข้อมูลฤดู – อุทกวิทยา 20 ปีย้อนหลัง แต่สภาพการไ้ที่ดินต่างกัน	152

5.54 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานี P.1 ในช่วงข้อมูลอุตุ – อุทกวิทยา 20 ปี ย้อนหลัง แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน	152
ค.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 1 กับสถานีฝนดัชนี 327501	178
ค.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 2 กับสถานีฝนดัชนี 327016	178
ค.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 3 กับสถานีฝนดัชนี 327501	179
ค.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 4 กับสถานีฝนดัชนี 327007	179
ค.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 5 กับสถานีฝนดัชนี 327008	180
ค.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 6 กับสถานีฝนดัชนี 327004	180
ค.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 7 กับสถานีฝนดัชนี 329005	181
ค.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 8 กับสถานีฝนดัชนี 327024	181
ค.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 9 กับสถานีฝนดัชนี 327022	182
ค.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำเขื่อนแม่งัด (ลุ่มย่อยที่ 10) กับสถานีฝนดัชนี 327501	182
ค.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำเขื่อนแม่กวง (ลุ่มย่อยที่ 11) กับสถานีฝนดัชนี 327004	183
ฉ.1 พิจารณาข้อมูลสภาพอุตุ – อุทกวิทยาย้อนหลัง 20 ปี ที่เขื่อนภูมิพล แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน	223
ฉ.2 พิจารณาข้อมูลสภาพอุตุ – อุทกวิทยาย้อนหลัง 20 ปีที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน	225

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินเป็นสิ่งที่สำคัญ และจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่ต้องศึกษาทำความเข้าใจ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจมีผลให้ชุมชนต้องปรับเปลี่ยนวิถีการดำรงชีวิตเพื่อความอยู่รอด โดยหน่วยงานของรัฐบาลจะต้องมีบทบาทสำคัญในการกำหนดนโยบาย และมาตรการในการดำเนินงานต่าง ๆ ให้เหมาะสม สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อลดผลกระทบทางลบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตให้น้อยที่สุด

สำหรับประเทศไทยปริมาณน้ำต้นทุนของแหล่งน้ำทั้งหมดมาจากน้ำฝน โครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่ดำเนินมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ส่วนใหญ่ต้องพึ่งพาการสร้างอ่างเก็บน้ำเพื่อเก็บกักน้ำส่วนเกินในช่วงฤดูฝนไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง การศึกษาวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการตลอดจนการจัดทำแผนการใช้น้ำ การบริหารจัดการเก็บกักน้ำ และระบายน้ำของอ่างเก็บน้ำ ล้วนอาศัยข้อมูลอุตุ – อุตกวิทยาที่เก็บรวบรวมไว้ในอดีตเพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น หากสภาพอุตุ – อุตกวิทยาและสภาพการใช้ที่ดินเปลี่ยนแปลงไปมากจากที่ใช้ในการศึกษาที่ผ่านมา ก็ควรจะมีการตรวจสอบทบทวนแผนการใช้น้ำและการบริหารจัดการน้ำของโครงการ แล้วปรับปรุงให้เหมาะสมตามสภาพการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต รวมถึงการพิจารณามาตรการอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดจากโครงการ

พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนเป็นพื้นที่หนึ่งที่มีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องน้ำ ทั้งน้ำท่วมและน้ำแล้ง โดยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ มีเทือกเขาสลับซับซ้อนปกคลุมด้วยป่าไม้ ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในภาคเหนือ แต่เนื่องด้วยปัจจุบันได้มีการรุกกล้าของพื้นที่เกษตรกรรม และชุมชนที่อยู่อาศัย ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินอย่างต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงผลกระทบต่อสภาพน้ำท่า

แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) เป็นแบบจำลองหนึ่งที่จำลองลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำแบบกึ่งกระจายพารามิเตอร์ตามสภาพทางกายภาพของพื้นที่จริง ต่างจากแบบจำลองทางอุทกวิทยาทั่วไป ซึ่งจำลองในลักษณะของการรวมและเฉลี่ยค่าพารามิเตอร์ทั้งลุ่มน้ำ แบบจำลอง SWAT สามารถใช้ในการทำนายผลกระทบของการใช้ที่ดินต่อทรัพยากรน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพดินและสภาพการใช้ที่ดิน

1.2 วัตถุประสงค์

1. ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและแนวโน้ม (Trends) ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ และสภาพอุตุ-อุตุนิยมวิทยา อื่นๆ เช่น ฝน การระเหย ปริมาณน้ำท่า และสภาพการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำ
2. ปรับเทียบแบบจำลอง SWAT ให้เหมาะสมกับข้อมูลและสภาพการใช้ที่ดินในประเทศไทย
3. วิเคราะห์ความเหมาะสมและความพอเพียงของแผนการใช้น้ำ และบริหารจัดการน้ำที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุตุ-อุตุนิยมวิทยา และการใช้ที่ดินในรูปแบบ (Scenarios) ต่างๆ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

สำหรับขอบเขตการศึกษาได้กำหนดไว้ดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูลที่ต้องใช้ประกอบด้วยข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ ข้อมูลลักษณะสภาพดิน ข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดิน ข้อมูลอุตุ-อุตุนิยมวิทยา
2. การศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อจำลองปริมาณการไหลของน้ำจากข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน โดยทำการปรับเทียบ (calibrate) พารามิเตอร์ของแบบจำลอง SWAT ก่อนนำมาประยุกต์ใช้กับแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำต้นทุนของโครงการอ่างเก็บน้ำ
3. การศึกษาแผนการบริหารจัดการน้ำของโครงการอ่างเก็บน้ำในปัจจุบัน และตรวจสอบผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำต้นทุนในอนาคต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา มีดังนี้

1. สามารถประเมินค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน
2. สามารถนำแบบจำลอง SWAT ไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นที่มีลักษณะภูมิประเทศคล้ายกับลุ่มน้ำปึงตอนบนได้
3. สามารถนำไปพิจารณาประกอบเป็นแนวทางในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำภายในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน และโครงการอื่นๆ

1.5 วิธีดำเนินการศึกษา

1. ทบทวนเอกสารงานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลอง SWAT และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
2. รวบรวมข้อมูลทางด้านอุตุ – อุทกวิทยาจากสถานีตรวจวัดทั้งหมดในกลุ่มน้ำปิงตอนบน และพื้นที่ใกล้เคียง
3. ตรวจสอบและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และคัดเลือกสถานีหลักที่จะนำข้อมูลมาศึกษาวิเคราะห์
4. วิเคราะห์แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแต่ละประเภทโดยวิธีการทางสถิติ
5. ปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง SWAT เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา
6. นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์แนวโน้มข้อมูลตามข้อ 4 เพื่อคัดเลือกสภาพกำหนด (Scenario) ที่ให้ผลใกล้เคียงกัน
7. นำข้อมูลแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินในอนาคต ไปประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝน และปริมาณน้ำท่าของโครงการอ่างเก็บน้ำที่คัดเลือก โดยใช้ผลการวิเคราะห์จากข้อ 6
8. นำผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝน และปริมาณน้ำท่า ในสภาพกำหนด (Scenario) ต่างๆ ที่ได้จากข้อ 7
9. เตรียมนำเสนอและตีพิมพ์บทความวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับชาติ พร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา

1.6.1 การศึกษาโดยใช้แบบจำลอง SWAT

กิตติพงษ์ ธนาศิริยะกุล [2] ศึกษาประเมินสัมพันธภาพลำน้ำย่อยด้วยแบบจำลอง SWAT/GIS บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ต้นตอนบน จ.เชียงใหม่ เนื้อที่ประมาณ 1500 ตร.กม. และพัฒนาโปรแกรม Data Analysis เพื่อเป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบโดยการแยก Base Flow จากน้ำท่าด้วยวิธี Streamflow Hydrograph Separation And Analysis Program (HYSEP) ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง แสดงความแตกต่างสัมพันธระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำบ้านหลวง ได้ผลลัพธ์สำหรับปริมาณการไหลรวมเฉลี่ยทั้งปี คือ ร้อยละ 3 และได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.5795 ในส่วนของสถานีวัดน้ำป่าคาได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.5361 แต่ในการศึกษานี้ได้กล่าวถึงข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ว่าในส่วนที่เป็นพื้นที่เล็กๆ จะไม่มีผลต่อการจำลองและในแต่ละหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจะสมมติให้ว่ามีลักษณะเหมือนกันทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยๆ นั้น

โอพาร เวศอุไร [8] ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อประเมินผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำน่านตอนบน โดยเลือกใช้วิธี SCS Curve Number ในการคำนวณปริมาณน้ำท่าผิวดิน และวิธี Muskingum Routing เพื่อจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ ผลของแบบจำลอง SWAT พบว่าโครงข่ายลำน้ำที่จำลองขึ้นมีสภาพใกล้เคียงกับสภาพลำน้ำจริง และปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัดในขนาดที่ยอมรับได้ ช่วงของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ที่อ่อนไหว คือ คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ปริมาณน้ำที่ยอมให้มีในดิน และค่า Curve Number (CN) ซึ่งได้นำมาประมาณค่าปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลตรวจวัดน้ำฝนรายวัน เพื่อประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน และผลของการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสภาพกำหนด (scenarios) ที่แตกต่างกันแสดงถึงประโยชน์การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการวางแผนพัฒนา และบริหารจัดการลุ่มน้ำ

Hernandez, et al. [11] ศึกษาการตอบสนองของแบบจำลองต่อสภาพพื้นที่ และปริมาณน้ำที่แปรเปลี่ยนไปในพื้นที่ลุ่มกึ่งแล้ง ใช้ 2 แบบจำลองในการศึกษาคือ KINEROS สำหรับเหตุการณ์ในแต่ละช่วงเวลาแบบต่อ 1 นาที และแบบจำลอง SWAT สำหรับเหตุการณ์ที่ต่อเนื่องแบบรายวัน ทำการแบ่งเป็นสามขั้นตอน คือ 1. กำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลองโดยข้อมูล GIS และผลของน้ำท่าสำหรับการเลือกช่วงเวลาและเหตุการณ์ฝน 2. ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบผลของการคำนวณและข้อมูลจริง 3. ในการทดสอบสมมติฐานของการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่ส่งผลต่อน้ำฝน – น้ำท่าของกลุ่มน้ำ โดยการป้อนข้อมูลของพื้นที่ลุ่มน้ำจาก 1972 NALC ที่ผสมระหว่างทะเลทรายและทุ่งหญ้า ป่าไม้ ป่าไฉก เกษตรกรรม เขตเมือง และพื้นที่แห้งแล้ง ผล

ของการคำนวณแบบจำลอง SWAT พบว่าพารามิเตอร์ CN จะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพพื้นที่ แต่แบบจำลอง KINEROS พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการปกคลุมพื้นที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำ ได้แก่ การซึมลงดิน (K_s) และสัมประสิทธิ์ของแมนนิง (n) จากผลของการคำนวณค่า CN ในแบบจำลอง SWAT ให้ค่าการคำนวณและการวัดจริงไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าเริ่มต้นสำหรับการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ามีค่า 75.1 ผลของแบบจำลองชี้ว่าค่า CN ที่เหมาะสมอยู่ที่ 83 ผลของแบบจำลองสามารถบอกถึงลักษณะผลกระทบต่อความสัมพันธ์ภายใต้เงื่อนไขความแตกต่างของสภาพพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลอง SWAT ใช้สำหรับหาค่าในเชิงปริมาณของผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นที่ที่ส่งผลต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งมีความจำเป็นที่จะปรับค่า CN เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองในการใช้งาน

Zhang, et al. [17] ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบน บริเวณแม่น้ำ Luohe หรือแม่น้ำเหลือง มีพื้นที่ประมาณ 4,623 ตร.กม. เพื่อประเมินปริมาณการเคลื่อนที่ของน้ำท่า และตะกอนในช่วงปี ค.ศ. 1992 – 1997 ทำการตรวจสอบผลของแบบจำลองจากข้อมูลที่ตรวจวัดจริงปี ค.ศ. 1998 – 1999 โดยใช้สัมประสิทธิ์ R^2 และ Nash – Sutcliffe ในการประเมินผลการทำนายของแบบจำลอง ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล และการเคลื่อนตัวของตะกอนมากกว่า 0.7 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง SWAT สามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการวางแผนทางด้านทรัพยากรน้ำ และการอนุรักษ์ดิน

Gikas, et al. [10] ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ลาดเชิงเขาและเกษตรกรรมทางตอนเหนือของประเทศกรีซ ศึกษาภายใต้สภาพอากาศและดินในแถบเมดิเตอร์เรเนียน ทำการเปรียบเทียบและตรวจสอบข้อมูลทางอุทกนิยวิทยาที่ต่อเนื่องจาก 8 สถานี ในบริเวณพื้นที่ระบายน้ำของพื้นที่ศึกษา รวมไปถึงอัตราการไหลของน้ำท่า ปริมาณตะกอน และการตรวจวัดปริมาณสารเคมีจาก 9 สถานี จากแม่น้ำสาขาหลักของลุ่มน้ำ ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 1998 – 2000 การพยากรณ์ของแบบจำลองได้แสดงผลในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุทกวิทยา ตะกอน และปริมาณสารพิษ โดยทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง และได้ผลที่มีความใกล้เคียงกับสภาพจริง นอกจากนี้ยังใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) ในการตรวจสอบค่าความถูกต้อง การตรวจแบบจำลองใช้การทดสอบประสิทธิภาพของการเลือกกรณีในการลดการปล่อยสารเคมีลงสู่แหล่งน้ำซึ่งผลการทดสอบสามารถบอกถึงการจัดการลุ่มน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Cao, et al. [9] ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีปริมาณแหล่งน้ำที่จำกัด บริเวณลุ่มน้ำ Motueka ประเทศนิวซีแลนด์ มีพื้นที่ประมาณ 2,180 ตร.กม. มีความลาดชันสูงกว่า 15 องศา และมีการแข่งขันทางด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ ส่งผลให้มีความขัดแย้งในการใช้น้ำซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด การศึกษาได้ตั้งเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินสอง

กรณี คือ กรณีก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้น้ำที่ดิน และ กรณีพื้นที่เป็นไร่นาสน ข้อมูลการใช้น้ำที่ดินได้จาก LCDB ที่มาจากภาพถ่ายดาวเทียม Spot II ในช่วงฤดูร้อนในปี ค.ศ. 1996/1997 และแบ่งออกเป็น 16 ประเภทของสภาพการใช้น้ำที่ดิน ผลของแบบจำลองคือ ปริมาณน้ำโดยรวม ปริมาณการไหล และการไหลของน้ำที่ดินมีค่าลดลงอย่างพอสมควรในการใช้น้ำที่ดินทั้ง 2 กรณี เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำที่ดินในปัจจุบัน โดยปริมาณความสมดุลน้ำรายปีของกรณีการใช้น้ำที่ดินทั้ง 2 กรณีมีความไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามยังมีพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ควรพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของการใช้น้ำที่ดินและตำแหน่งของกลุ่มน้ำย่อย ผลการคำนวณการไหลในช่วงน้ำแล้งของสภาพการใช้น้ำที่ดินทั้ง 2 กรณีมีค่าต่ำลงจากปัจจุบัน และเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา และการปรับเปลี่ยนพื้นที่โดยมนุษย์จะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำรายปี และการไหลของน้ำในช่วงน้ำแล้ง

Holvoet, et al. [12] ศึกษาทำความเข้าใจในประสิทธิภาพของเครื่องมือด้านการเกษตรต่าง ๆ ที่ลดการปล่อยปริมาณสารเคมีลงสู่แหล่งน้ำ พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณลุ่มน้ำ Nil ตอนกลางของประเทศเบลเยียม โดยพิจารณาถึงการใช้น้ำกำจัดวัชพืชสำหรับการเพาะปลูกข้าวโพด แบบจำลองพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพการใช้น้ำกำจัดวัชพืช (AP_EF) ซึ่งตลอดการคำนวณจะกำหนดให้มีความคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา แต่ในความเป็นจริงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนการใช้น้ำในแต่ละวัน และตัวผู้ใช้งานเอง ทว่าไปแล้วจะมีการจัดการ คือ การจัดการกากของเสีย การปลูกพืชแบบขั้นบันได การปลูกพืชแบบเป็นแนวหรือแถว และการใช้เครื่องมือในการเพาะปลูก ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองชี้ว่าการปลูกพืชเป็นแนวนั้นช่วยลดการกระจายของสารเคมีได้เป็นอย่างดี มีค่าการปล่อยสารเคมีร้อยละ 38.7 รองลงมาเป็นการเพาะปลูกด้วยการหว่านไม่มีการใช้เครื่องจักร การเพาะด้วยเครื่องจักรตามลำดับ โดยมีค่าประมาณร้อยละ 25 ในการลดการปล่อยสารเคมี

Ouyang, et al. [15] ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการประมาณค่ามลพิษของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ให้เป็นพื้นที่ป่าในลุ่มน้ำขนาดใหญ่ บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ Yangtze มีพื้นที่ประมาณ 65,959 ตร.กม. เป็นพื้นที่เพาะปลูก และประมาณ 70% ของพื้นที่เป็นพื้นที่ลาดชัน มลพิษหลักคือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 4 กรณี คือ กรณี A เป็นกรณีก่อนการเปลี่ยนแปลงตามนโยบายของรัฐบาลจีน กรณี B เป็นพื้นที่เชิงเขาที่มีความลาดชันมากกว่า 25 องศา 2 กรณีที่เหลือคือ C และ D มีความชันมากกว่า 15 และ 7.5 องศา ตามลำดับ ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองอยู่ในช่วงปี ค.ศ. 1996 – 2005 ผลของแบบจำลองปริมาณการไหลของน้ำท่าสูงสุด คือ กรณี C มีค่า 331.4 ลบ.ม.ต่อวินาที ปริมาณการส่งตะกอนสูงสุด คือ กรณี A มีค่าอยู่ในช่วง 1535×10^3 ถึง 4456×10^3 ตัน ในการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณมลพิษประมาณ 10 ปี พบว่า มีค่าลดลงเมื่อมีพื้นที่ป่าเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลดลงไป 42.1% และ 62.7% ตามลำดับ

1.6.2 การศึกษาวิจัยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

อมราพร จิตประไพ [7] ได้ทำการวิเคราะห์ความไม่คงตัวของข้อมูลอุทกวิทยา โดยเลือกใช้การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำปิง เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลา และวิเคราะห์แนวโน้ม (Trend Analysis) ของข้อมูล ใช้วิธี Moving Average การวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าสะสมเฉลี่ย การตรวจสอบค่าสหสัมพันธ์ภายในตัวแปร (Autocorrelation) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบใช้ตัวพารามิเตอร์ (Parameter Analysis) และการตรวจสอบด้วยค่าแบบไม่ใช้ตัวพารามิเตอร์ (Non-Parameter Analysis) โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี และรายเดือนที่มีการเก็บข้อมูลยาวนานประมาณ 40 ปี ขึ้นไป พบว่าไม่สามารถสรุปได้ว่าลุ่มน้ำปิงมีแนวโน้มฝนลดลงหรือไม่ เนื่องจากผลการวิเคราะห์ของแต่ละจุดโดยหลายวิธีให้ผลสรุปเกี่ยวกับแนวโน้มไม่ตรงกัน แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงไม่ได้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทั้งพื้นที่รวมทั้งผลการวิเคราะห์แนวโน้มโดยรวม และข้อมูลฝนรายปียังไม่แนวโน้มลดลงที่ชัดเจน ส่วนผลการวิเคราะห์แนวโน้มรายเดือนส่วนใหญ่พบว่าไม่มีแนวโน้มลดลง ทางด้านการวิเคราะห์แนวโน้มทุกวิธีโดยใช้ตัวพารามิเตอร์ แต่จำเป็นต้องตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับชนิด และการกระจายของชุดข้อมูล และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในขณะที่การวิเคราะห์แบบไม่ใช้พารามิเตอร์นั้นไม่ขึ้นกับสมมติฐานชนิดการกระจายของข้อมูล เป็นการวิเคราะห์โดยอิสระกระทำได้ง่าย ชัดเจน และไม่ขึ้นกับสมมติฐานของผู้วิเคราะห์

วิษุวัตต์ แต่สมบัติ [4] เปรียบเทียบประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลองด้านอุทกพลศาสตร์ คือ แบบจำลอง NWS FLDWAV และ MIKE 11-HD ในการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน คัดเลือกเหตุการณ์น้ำหลากจำนวน 3 เหตุการณ์ ในช่วงฤดูน้ำหลากของปี พ.ศ. 2544 2546 และ 2548 โดยทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการประเมินระดับน้ำและปริมาณการไหลในแม่น้ำปิงสายหลักที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองกับค่าที่วัดได้จริงที่สถานีวัดน้ำท่า P. 67 และ P. 1 ซึ่งผลที่ได้จากการเปรียบเทียบ และตรวจสอบแบบจำลองทั้งสอง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง (Manning's n) ในการจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำหลากในลำน้ำ (channel) และทุ่งน้ำท่วม (flood plain) ช่วงที่น้ำไหลผ่านสถานี P. 1 ในลำน้ำมีค่าเท่ากับ 0.025 และในทุ่งน้ำท่วม 0.125 ช่วงที่ไหลผ่านสถานี P. 73 ในลำน้ำมีค่าเท่ากับ 0.035 และในทุ่งน้ำท่วม 0.175 และช่วงที่ไหลก่อนเข้าเขื่อนภูมิพล ในลำน้ำมีค่าเท่ากับ 0.050 และในทุ่งน้ำท่วม 0.250

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

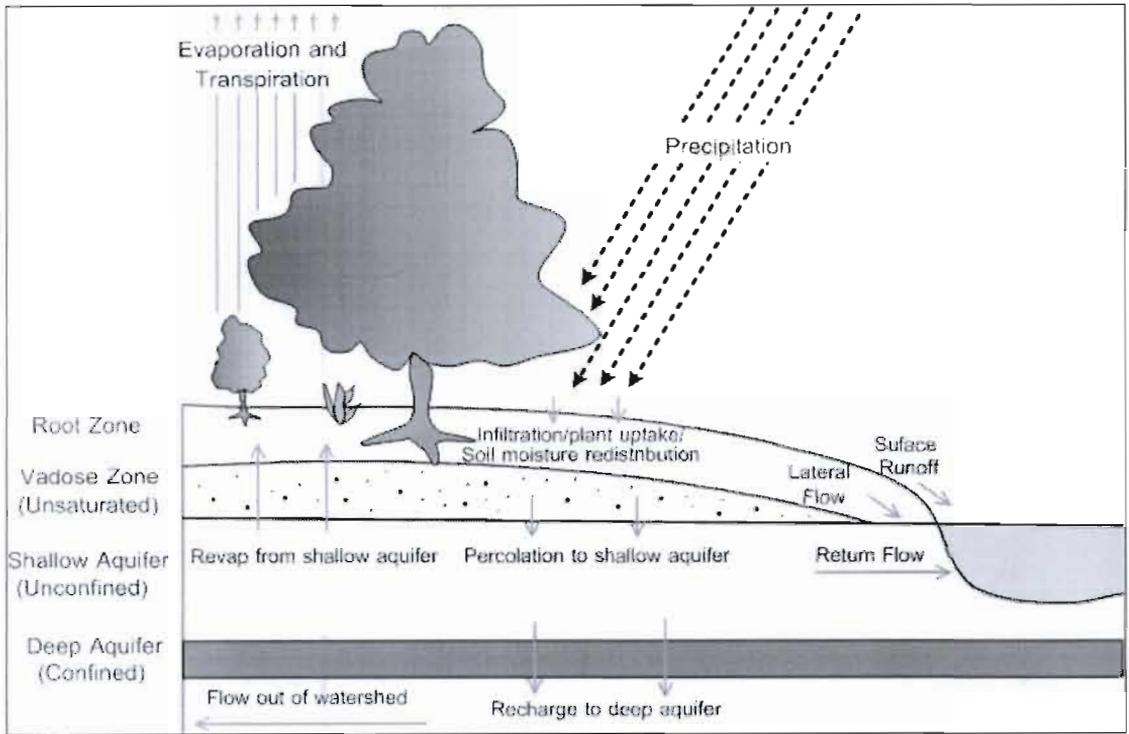
2.1 แบบจำลองอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

2.1.1 หลักการทำงานและแนวคิดของแบบจำลอง SWAT

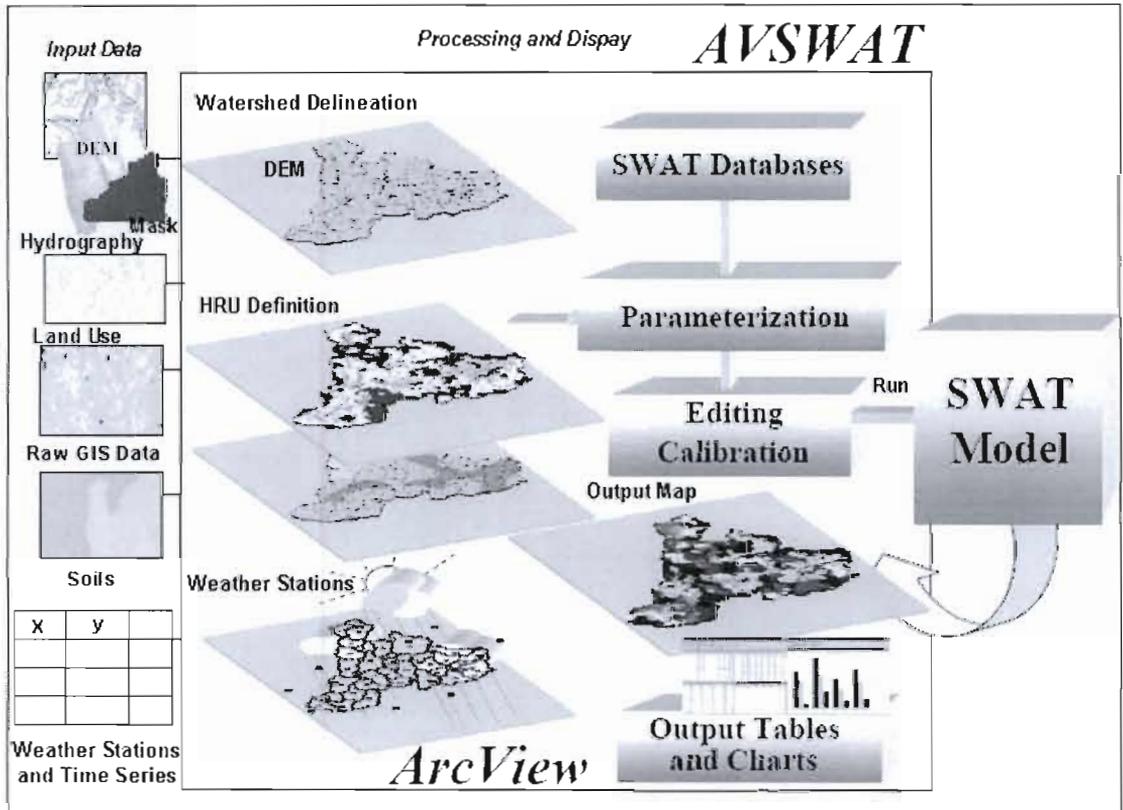
แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT [14] เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองกระบวนการทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Dr. Jeff Arnold ให้แก่หน่วยงาน United States Department of Agricultural Research Service (USDA – ARS) เพื่อใช้ในการศึกษาทำนายผลกระทบของการบริหารจัดการการใช้ที่ดินต่อทรัพยากรน้ำ ได้แก่ ปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และปริมาณสารเคมีจากเกษตรกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนซึ่งไม่มีสถานีตรวจวัด (Large ungaged river basin) โดยมีการเปลี่ยนแปลงไปของสภาพดิน การใช้ที่ดิน และการจัดการในช่วงเวลายาวนาน เป็นแบบจำลองประเภท Semi – Distributed Physically Based Model ซึ่งแบบจำลองประเภทนี้เป็นแบบจำลองที่ต้องใช้ข้อมูลทางกายภาพของกลุ่มน้ำ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะโครงข่ายเส้นลำน้ำ ลักษณะสภาพดิน สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน และเงื่อนไขการบริหารจัดการต่างๆ เช่น อ่างเก็บน้ำ ฝาย เป็นต้น โดยจะทำงานร่วมกับโปรแกรม ArcView GIS ในการแก้ไขประมวลผลวิเคราะห์ และแสดงผลในรูปแบบของตาราง กราฟ และแผนที่

สำหรับหลักการทำงานของแบบจำลอง SWAT ใช้หลักการของสมดุลน้ำในการจำลองสภาพลุ่มน้ำแบ่งการจำลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การจำลองลุ่มน้ำส่วนพื้นดิน (Land Phase of the Hydrologic Cycle) และส่วนบนลำน้ำ (Routing Phase of the Hydrologic Cycle) โดยการวิเคราะห์ในส่วนพื้นดินจะเป็นการศึกษาวงจรอุทกวิทยาแสดงดังรูปที่ 2.1 เพื่อทำการประเมินปริมาณน้ำท่า การคายระเหยของน้ำ ความชื้นในดิน การไหลใต้ผิวดิน และอัตราการซึมลงในชั้นหน้าตัดดินในแต่ละวันที่มีฝนตก ส่วนการจำลองลุ่มน้ำส่วนบนลำน้ำเป็นการจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำ การตกตะกอน มลพิษทางน้ำ มีส่วนประกอบย่อย 2 คือ ส่วนการไหลในลำน้ำ (Routing in the Main Channel or Reach) และการไหลผ่านอ่างเก็บน้ำ (Routing through the Reservoir)

แนวคิดของแบบจำลอง SWAT แสดงดังรูปที่ 2.2 ข้อมูลนำเข้าหลักที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองคือข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model , DEM) ซึ่งหมายถึงข้อมูลแผนที่เชิงเลขที่เป็นตัวแทนของสภาพพื้นที่ทางกายภาพ ที่มีข้อมูลระดับความสูงกำหนดอยู่ และค่าสภาพกายภาพทั่วไปของพื้นที่ เช่น ภูมิอากาศ ค่าการตอบสนองทางอุทกวิทยา ซึ่งประกอบด้วยลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน สภาพของดิน และการจัดการน้ำ หนอง/บึง น้ำใต้ดิน ลำน้ำสาขาหลัก และลำน้ำสาขาย่อย



รูปที่ 2.1 วงจรอุทกวิทยา [14]



รูปที่ 2.2 แนวคิดของแบบจำลอง SWAT [14]

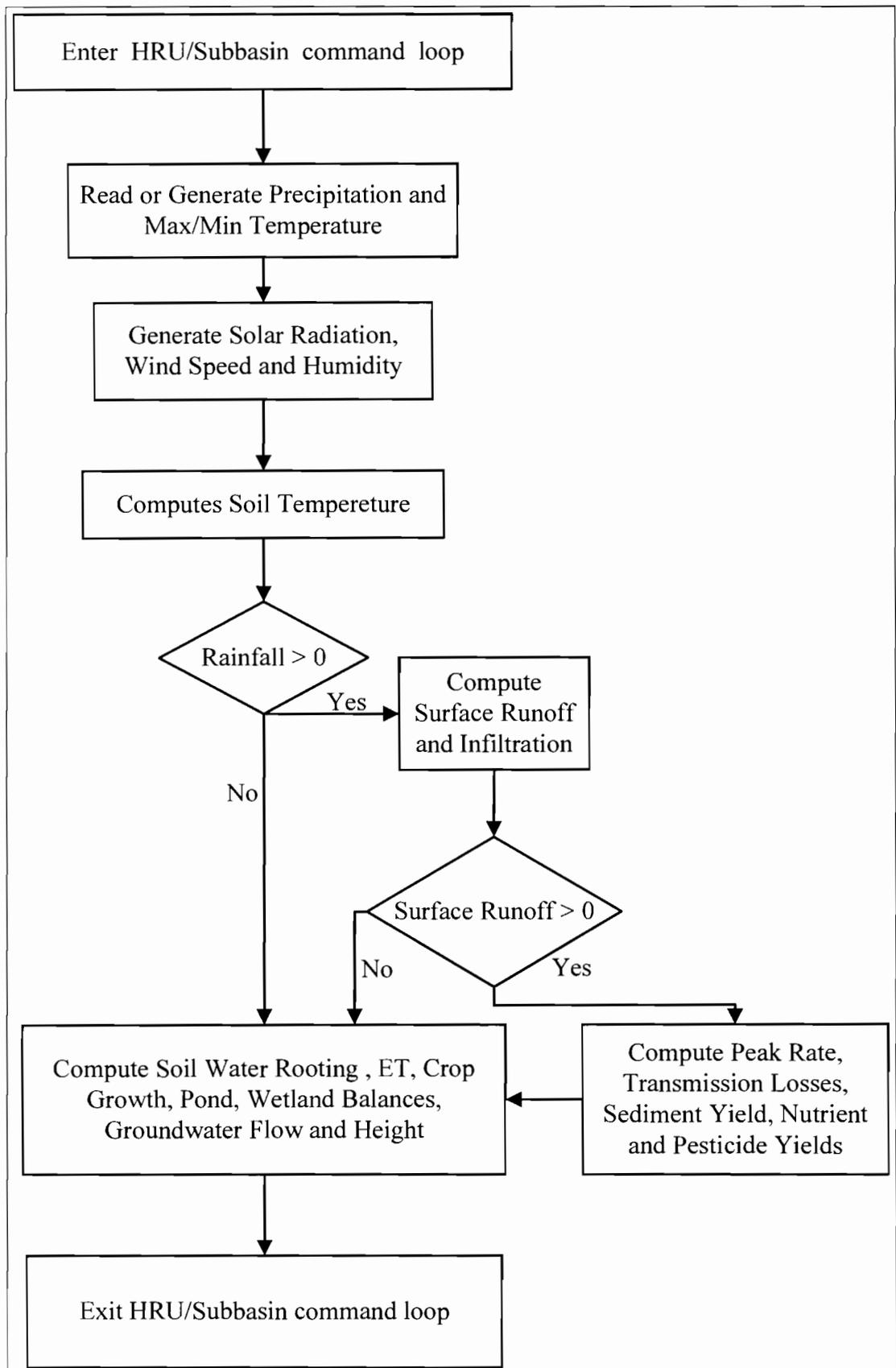
2.1.2 ส่วนประกอบของแบบจำลอง (Model Component)

แบบจำลอง SWAT จำลองสภาพของระบบอุทกวิทยาลุ่มน้ำ โดยสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

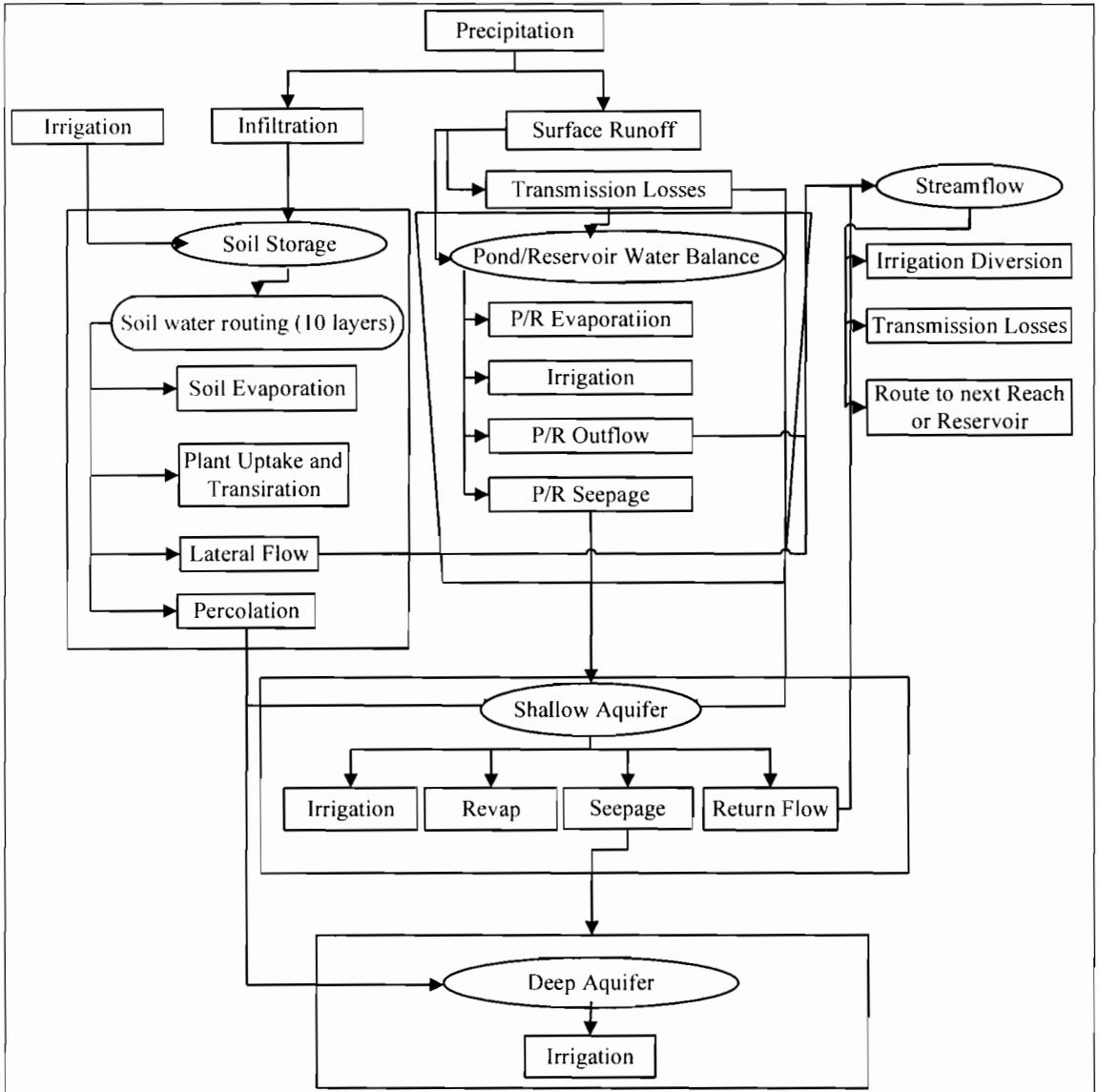
2.1.2.1 ส่วนบนพื้นดิน (Land Phase)

เป็นส่วนที่ควบคุมกระบวนการทางระบบอุทกวิทยาด้านต่างๆ โดยแบ่งออกเป็นหลายส่วนคือ สภาพภูมิอากาศ ระบบอุทกวิทยา การใช้ที่ดิน/พื้นที่ปกคลุม ปริมาณตะกอน สารอาหาร การจัดการ และปริมาณมลพิษที่ลงสู่ลำน้ำสายหลักจากลุ่มน้ำ โดยในแต่ละลุ่มน้ำย่อยที่แบบจำลองแบ่งนั้นมีความแตกต่างของปริมาณการคายระเหยสำหรับพื้นที่ที่มีสภาพการใช้ที่ดิน และสภาพดินที่ต่างกัน ปริมาณน้ำท่าที่ได้ทำนายจะแบ่งออกสำหรับแต่ละหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา และรวมปริมาณน้ำท่าทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำ กระบวนการกำหนดค่าหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาในส่วนบนพื้นดิน แสดงดังรูปที่ 2.3

ขั้นตอนของกระบวนการทางอุทกวิทยาได้กำหนดให้ปริมาณฝนที่ตกลงมา มีปริมาณน้ำส่วนหนึ่งที่ถูกกักเก็บน้ำโดยพืชที่ปกคลุมผิวดิน บางส่วนที่ตกลงสู่ผิวดินจะซึมลงสู่ชั้นดินหรือไหลออกเป็นน้ำท่าผิวดิน โดยเคลื่อนตัวไปตามทางของลำน้ำสู่ด้านท้ายน้ำ ปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงสู่ผิวดิน บางส่วนจะถูกกัก และระเหยคืนสู่ชั้นบรรยากาศ และอีกส่วนจะไหลซึมต่อไปสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



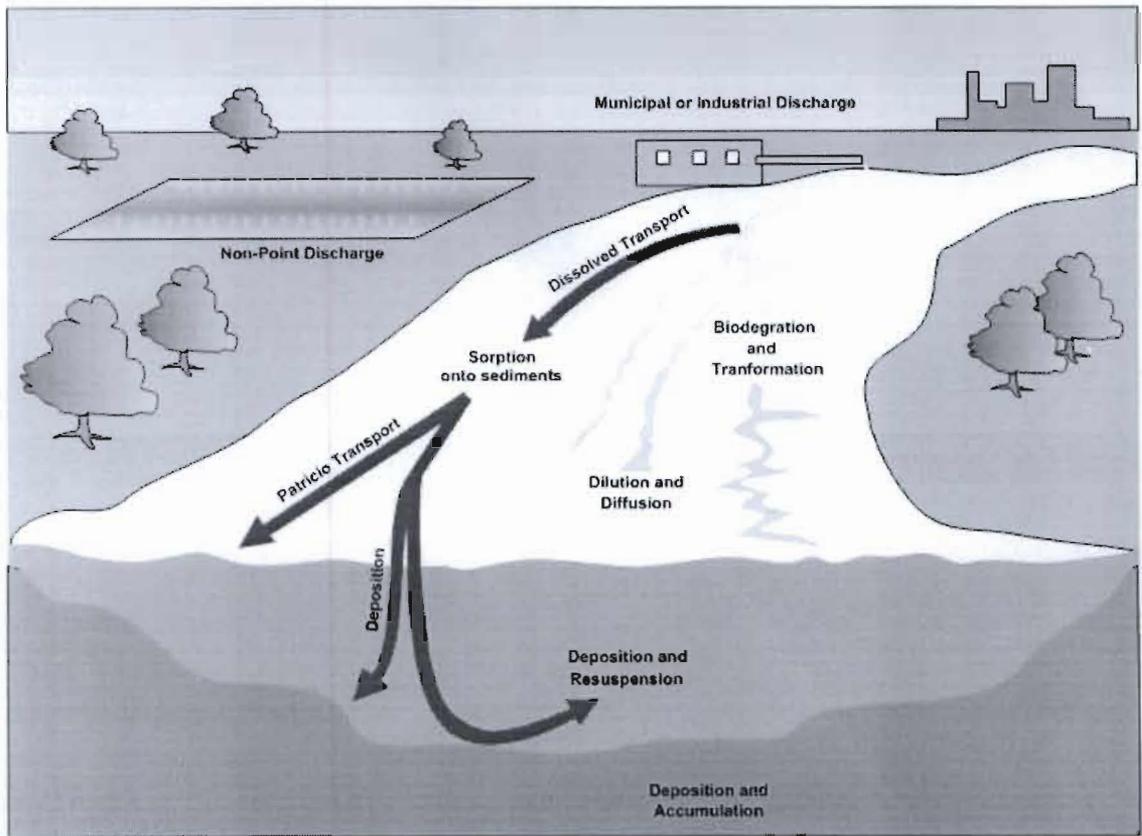
รูปที่ 2.3 กระบวนการคำนวณหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาในแต่ละลุ่มน้ำย่อย



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนตัวของน้ำในกระบวนการทางอุทกวิทยาของแบบจำลอง SWAT

2.1.2.2 ส่วนการเคลื่อนตัวของน้ำ (Routing Phase)

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่คำนวณปริมาณน้ำ ตะกอน สารอาหาร และยาฆ่าแมลงในลำน้ำสายหลัก ปริมาณการเคลื่อนตัวในโครงข่ายลำน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำ รวมไปถึงการรักษาเส้นทาง การเคลื่อนตัวในลำน้ำ ลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำแสดงในรูปที่ 2.5 โดยส่วนของการเคลื่อนตัวของน้ำในแบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านทางน้ำ (Main Channel or Reach Routing) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนของน้ำ ส่วนของตะกอน ส่วนของสารอาหาร และส่วนองค์ประกอบของสารเคมี อีกส่วนประกอบหนึ่งคือ การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Routing) ซึ่งประกอบไปด้วยสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้า/ออก ปริมาณน้ำฝนบนผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำ การคายระเหย และการรั่วซึมจากด้านล่างอ่างเก็บน้ำ



รูปที่ 2.5 กระบวนการเคลื่อนตัวในลำน้ำของแบบจำลอง SWAT [14]

2.2 อุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำของแบบจำลอง SWAT

ในการคำนวณส่วนของวงจรอุทกวิทยาของแบบจำลอง SWAT นั้นใช้พื้นฐานของสมการน้ำโดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (2.1)$$

เมื่อ

SW_t คือ ปริมาณน้ำในดินสุดท้าย (มม.)

SW_0 คือ ปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นในวันที่ i (มม.)

t คือ เวลา (วัน)

R_{day} คือ ปริมาณน้ำฝนในวันที่ i (มม.)

Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดินในวันที่ i (มม.)

E_a คือ ปริมาณการคายระเหยในวันที่ i (มม.)

w_{seep} คือ ปริมาณน้ำไหลซึมลงชั้นใต้ดินในวันที่ i (มม.)

Q_{gw} คือ ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลกลับสู่ลำน้ำในวันที่ i (มม.)

2.2.1 น้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff)

น้ำท่าผิวดินเกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำที่ตกลงสู่พื้นดินมีค่ามากกว่าอัตราการซึมลงสู่ผิวดิน ซึ่งอัตราการซึมจะเริ่มลดลงเมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้น เมื่อดินไม่สามารถรับน้ำที่ไหลซึมลงได้อีก น้ำที่ลงสู่พื้นดินจะไหลไปตามทางกลายเป็นน้ำท่าผิวดิน โดยแบบจำลอง SWAT มีการประมาณค่าน้ำท่าผิวดิน 2 วิธี คือ SCS Curve Number Procedure และ Green & Ampt Infiltration ซึ่งสามารถเลือกใช้วิธีในการคำนวณวิธีไหนขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้แบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วิธี SCS Curve Number เนื่องจากพารามิเตอร์ของวิธี Green & Ampt Infiltration ต้องการค่าที่ละเอียดถึงรายชั่วโมง แต่ข้อมูลที่มีในการศึกษานี้มีความละเอียดของข้อมูลเป็นรายวัน

การคำนวณน้ำท่ามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1.1 สมการ SCS Curve Number มีดังนี้

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)}, R_{day} > 0.2S \quad (2.2)$$

$$Q_{surf} = 0.0, R_{day} \leq 0.2S \quad (2.3)$$

เมื่อ

Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำท่ารายวัน (มม.)

R_{day} คือ ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มม.)

S คือ ปริมาณเก็บกักสูงสุด (Retention Parameter) (มม.)

โดยตัวแปร S มีความสัมพันธ์กับค่า Curve Number (CN) ดังสมการต่อไปนี้

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2.4)$$

เมื่อ

CN คือ ค่า Curve Number

ค่า CN เป็นฟังก์ชันของการซึมผ่านได้ในดิน การใช้ที่ดิน ปริมาณน้ำในดิน ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า CN มีดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติทางอุทกวิทยาของกลุ่มดิน (Soil Hydrologic Group)

หน่วยงาน Natural Resource Conservation Service (NRCS) ได้แบ่งคุณสมบัติของดินออกเป็น 4 กลุ่ม โดยคำนึงถึงศักยภาพน้ำท่าภายใต้เงื่อนไขของพายุฝน และสิ่งปกคลุมดิน คือ กลุ่ม A, B, C และ D หรือ 3 กลุ่มดิน คือ A/D, B/D และ C/D คุณสมบัติดินแต่ละกลุ่มมีความหมายดังต่อไปนี้

กลุ่ม A ศักยภาพน้ำท่าต่ำ (low runoff potential) ดินในกลุ่มนี้มีอัตราการซึมสูง ถึงแม้ว่าดินนั้นจะเปียกชุ่มก็ตาม ส่วนมากเป็นทรายและกรวดที่มีความลึกจากผิวดินลงไปมาก มีการระบายน้ำได้ดี มีอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านดินสูง (transmission)

กลุ่ม B ดินในกลุ่มนี้มีอัตราการซึมปานกลางเมื่อดินเปียกชุ่ม ส่วนใหญ่มีความลึกปานกลางถึงลึกมาก มีการระบายน้ำปานกลางถึงดี มีเนื้อดินตั้งแต่ละเอียดปานกลางจนถึงหยาบปานกลาง มีอัตราการเคลื่อนของน้ำผ่านดินปานกลาง

กลุ่ม C ดินในกลุ่มนี้มีอัตราการซึมปานกลางเมื่อดินเปียกชุ่ม ส่วนใหญ่ประกอบด้วยชั้นดินซึ่งกีดขวางการเคลื่อนตัวของน้ำ มีเนื้อละเอียดปานกลางถึงละเอียด มีการอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านดินต่ำ

กลุ่ม D (high runoff potential) ดินในกลุ่มนี้มีอัตราการซึมของน้ำลงสู่ดินต่ำมากเมื่อดินเปียกชุ่ม ส่วนมากประกอบไปด้วยดินเหนียวที่มีศักยภาพการบวมตัวสูง ระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงหรือมีชั้นดินที่มีอัตราการซึมผ่านของน้ำได้ยากอยู่ใกล้ชั้นผิวดิน มีอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านดินต่ำมาก ทำให้มีศักยภาพในการเกิดน้ำท่าสูง ส่วนกลุ่มคูดินให้ใช้สำหรับประกอบดินที่เปียกชุ่มซึ่งสามารถระบายน้ำได้อย่างเพียงพอ

2. สิ่งปกคลุมดิน (Cover)

คือสิ่งต่าง ๆ ที่ปกคลุมดิน และป้องกันการกระแทกของเม็ดฝนที่ตกลงมาสู่ผิวดิน ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะการใช้ที่ดิน (land use) การรักษาน้ำดิน (land treatment) จะเกี่ยวข้องกับลักษณะและวิธีการปลูกพืช การเตรียมแปลงโดยแบ่งออกเป็น การทำการเพาะปลูกเป็นแถว (straight - row) การทำการเพาะปลูกแถวค้อยตามระดับพื้นที่ (contoured) และการทำการเพาะปลูกเป็นขั้นบันได (terraced)

3. สภาพอุทกวิทยา (Hydrologic Condition) โดยแบ่งออกเป็น

- poor มีพืชปกคลุมดินพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 50
- fair มีพืชปกคลุมดินพื้นที่ระหว่างร้อยละ 50 – 75
- good มีพืชปกคลุมดินพื้นที่มากกว่าร้อยละ 75

4. การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification)

ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินสามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทหลัก คือ พื้นที่ป่า (forest) พื้นที่เกษตรกรรม (agriculture) พื้นที่โล่งเตียน/พื้นที่อยู่อาศัย (bare – land/residential) และ พื้นที่ที่เป็นน้ำ (water body)

5. เงื่อนไขความชื้นในดินเริ่มต้นก่อนที่จะเกิดฝนตก (*Antecedent Soil Moisture Condition, AMC*)

SCS ได้แบ่งเงื่อนไขความชื้นเริ่มต้นออกเป็น 3 กรณี คือ

- AMC I จุดเหี่ยวเฉา (wilting point) เป็นลักษณะดินที่มีศักยภาพที่จะทำให้เกิดปริมาณน้ำไหลออกน้อย ดินเป็นดินแห้ง เหมาะสำหรับการไถหรือหว่านในพื้นที่เพาะปลูก
- AMC II ความชื้นในดินเฉลี่ย (average moisture) เป็นลักษณะดินที่มีความชื้นในดินปานกลาง
- AMC III (field capacity) เป็นลักษณะดินที่มีศักยภาพที่จะทำให้เกิดปริมาณการไหลออกมา ดินเป็นดินอิ่มตัวด้วยน้ำอันเนื่องมาจากปริมาณฝนในช่วงก่อนหน้า

ค่า CN ที่แสดงในภาคผนวก ก เป็นค่าสำหรับกรณี AMC II เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ค่า CN ให้เป็นกรณี AMC I และ AMC III ตามเงื่อนไขความชื้นดินก่อนหน้าที่คำนวณได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20 \cdot (100 - CN_2)}{[100 - CN_2 + \exp(2.533 - 0.0636 \cdot (100 - CN_2))]} \quad (2.5)$$

$$CN_3 = CN_2 \cdot \exp[0.00673 \cdot (100 - CN_2)] \quad (2.6)$$

เมื่อ

CN_1 คือ ค่า CN ในเงื่อนไขความชื้นที่ 1 (AMC I)

CN_2 คือ ค่า CN ในเงื่อนไขความชื้นที่ 2 (AMC II)

CN_3 คือ ค่า CN ในเงื่อนไขความชื้นที่ 3 (AMC III)

6. การปรับแก้ความลาดชัน (*Slope Adjustments*)

จากตารางค่า CN_2 ในภาคผนวก ก ได้สมมติให้ค่าความลาดชันประมาณร้อยละ 5 ดังนั้น Williams [14] ได้พัฒนาการปรับแก้ค่าความลาดชัน โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$CN_2 = \frac{(CN_3 - CN_2)}{3} \cdot [1 - 2 \cdot \exp(-13.86 \cdot slp)] + CN_2 \quad (2.7)$$

เมื่อ

slp คือ ค่าเฉลี่ยความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

2.2.1.2 สมการ Green & Ampt Infiltration มีดังนี้

$$F_{inf,t} = F_{inf,t-1} + K_e \cdot \Delta t + \Psi_{wf} \cdot \Delta \theta_v \cdot \ln \left[\frac{F_{inf,t} + \Psi_{wf} \cdot \Delta \theta_v}{F_{inf,t-1} + \Psi_{wf} \cdot \Delta \theta_v} \right] \quad (2.8)$$

เมื่อ

$F_{inf,t}$ คือ อัตราการซึมสะสมสำหรับช่วงเวลาพิจารณา (มม.)

$F_{inf,t-1}$ คือ อัตราการซึมสะสมสำหรับช่วงเวลาก่อนพิจารณา (มม.)

K_e คือ ประสิทธิภาพของการนำน้ำได้ (มม./ชั่วโมง)

Ψ_{wf} คือ Wetting front matric potential (มม.)

$\Delta \theta_v$ คือ Change in volumetric moisture content across the wetting front

เมื่อความชื้นผิวน้ำมีค่าน้อยกว่าอัตราการซึมลงดิน การซึมของน้ำฝนทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับช่วงคาบเวลา และปริมาณการซึมลงสะสมสำหรับช่วงคาบเวลา มีสมการดังนี้

$$F_{inf,t} = F_{inf,t-1} + R_{\Delta t} \quad (2.9)$$

เมื่อ

$R_{\Delta t}$ คือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกในช่วงเวลาพิจารณา (มม.)

ค่า K_e คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$K_e = \frac{56.82 \cdot K_{sat}^{0.286}}{1 + 0.051 \cdot \exp(0.062 \cdot CN)^{-2}} \quad (2.10)$$

เมื่อ

K_{sat} คือ ค่าการนำน้ำได้อิ่มตัวสำหรับชั้นดิน (มม./ชั่วโมง)

CN คือ Curve Number

ค่า Ψ_{wf} คำนวณในฟังก์ชันของความพรุนของร้อยละของทรายและร้อยละของดินเหนียว มีสมการดังนี้

$$\Psi_{wf} = 10 \cdot \exp \left[\begin{array}{l} 6.5309 - 7.32561 \cdot \phi_{soil} + 0.001583 \cdot m_c^2 + 3.809479 \cdot \phi_{soil}^2 \\ + 0.000344 \cdot m_s \cdot m_c - 0.049837 \cdot m_s \cdot \phi_{soil} + 0.001608 \cdot m_s^2 \cdot \phi_{soil}^2 \\ + 0.001602 \cdot m_s^2 \cdot \phi_{soil}^2 - 0.0000136 \cdot m_s \cdot m_c - 0.003479 m_c \cdot \phi_{soil}^2 \\ - 0.000799 \cdot m_s^2 \cdot \phi_{soil} \end{array} \right] \quad (2.11)$$

เมื่อ

- ϕ_{soil} คือ ค่าความพรุนของดิน
 m_c คือ ร้อยละของปริมาณดินเหนียว
 m_s คือ ร้อยละของปริมาณดินทราย

และค่า $\Delta\theta_v$ คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\Delta\theta_v = \left(1 - \frac{SW}{FC}\right) \cdot (0.95 \cdot \phi_{soil}) \quad (2.12)$$

เมื่อ

- SW คือ ปริมาณน้ำในดินของชั้นดินทั้งหมดที่รวมกับปริมาณน้ำที่เกาะในชั้นดินที่จุด
 ทีเดียว (มม.)
 FC คือ ปริมาณน้ำในดินที่สนาม (field capacity) (มม.)

2.2.1.3 ปริมาณอัตราการไหลของน้ำท่าสูงสุด (Peak Runoff Rate)

การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของแบบจำลอง SWAT ประมวลค่าจากอัตราการไหลสูงสุดสำหรับ
 ฝนแต่ละเหตุการณ์ โดยใช้ Modified Rational Method ดังสมการ

$$q_{peak} = \frac{\alpha_{tc} \cdot Q_{surf} \cdot A}{3.6 \cdot t_{conc}} \quad (2.13)$$

เมื่อ

- q_{peak} คือ ปริมาณน้ำท่าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)
 α_{tc} คือ สัดส่วนของน้ำฝนรายวันที่เกิดขึ้นระหว่างเวลาของการไหลรวมตัว
 (Time of Concentration)
 Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำท่าผิวดิน (มม.)
 A คือ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (กม.)
 t_{conc} คือ เวลาของการไหลรวมตัวสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (ชั่วโมง)
 3.6 คือ แฟกเตอร์แปลงหน่วย

1. เวลาของการไหลรวมตัวของน้ำผ่านลุ่มน้ำ (Time of concentration)

เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านลุ่มน้ำเริ่มจากเหตุการณ์ฝนตกในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีส่วนทำให้
 ไหลไป ณ จุดทางออกของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยสามารถคำนวณได้จากผลรวมของเวลาการไหลบนผิ
 ดินและเวลาการไหลในลำน้ำ มีสมการดังนี้

$$t_{conc} = t_{ov} + t_{ch} \quad (2.14)$$

เมื่อ

t_{ov} คือ เวลาของการไหลรวมตัวสำหรับการไหลบนผิวดิน (ชั่วโมง)

t_{ch} คือ เวลาของการไหลรวมตัวสำหรับการไหลในลำน้ำ (ชั่วโมง)

ซึ่งการคำนวณค่า t_{ov} และค่า t_{ch} ได้จากสมการต่อไปนี้

$$t_{ov} = \frac{L_{slp}^{0.6} \cdot n^{0.6}}{18 \cdot slp^{0.3}} \quad (2.15)$$

$$t_{ch} = \frac{0.62 \cdot L \cdot n^{0.25}}{A^{0.125} \cdot slp_{ch}^{0.375}}$$

เมื่อ

L_{slp} คือ ระยะความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (ม.)

L คือ ความยาวของลำน้ำจากจุดที่พิจารณาถึงจุดทางออก (outlet) ของพื้นที่ลุ่มน้ำ (กม.)

n คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง โดยค่า n ที่ใช้สำหรับการไหลบนผิวดิน และการไหลในลำน้ำแสดงในตารางที่ 2-1 และตารางที่ 2-2 ตามลำดับ

slp คือ ความลาดชันเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

slp_{ch} คือ ความลาดชันของลำน้ำ

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (n) สำหรับการไหลบนผิวดิน [14]

Characteristics of Land Surface	Median	Range
Fallow, no residue	0.010	0.008-0.012
Conventional tillage, no residue	0.090	0.60-0.120
Conventional tillage, residue	0.190	0.160-0.220
Chisel plow, no residue	0.090	0.060-0.120
Chisel plow, residue	0.130	0.100-0.160
Fall disking, residue	0.400	0.300-0.500
No till, no residue	0.070	0.040-0.100
No till, 0.5-1 t/ha residue	0.120	0.070-0.170
No till, 2-9 t/ha residue	0.300	0.170-0.470
Rangeland, 20 cover	0.600	
Fall disking, residue	0.400	0.300-0.500

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (n) สำหรับการไหลบนผิวดิน (ต่อ) [14]

Characteristics of Land Surface	Median	Range
No till, no residue	0.070	0.040-0.100
Bermuda grass	0.410	0.300-0.480
Short grass prairie	0.150	0.100-0.200
Dense grass	0.240	0.170-0.300

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (n) สำหรับการไหลในลำน้ำ [14]

Characteristics of Channel	Median	Range
Excavated r dredged		
Earth, straight and uniform	0.025	0.016-0.033
Earth, winding and sluggish	0.035	0.023-0.050
Not maintained, weeds and brush	0.075	0.040-0.140
Nature streams		
Few tree, stones and brush	0.050	0.025-0.065
Heavy timber and brush	0.100	0.050-0.150

2.2.1.4 การคายระเหยของพืช (Evapotranspiration)

การคายระเหยของพืชเป็นการรวมกระบวนการทั้งหมดของน้ำที่ผิวโลกกลายเป็นไอน้ำ ซึ่งรวมไปถึงการระเหยจากพืช/พุ่มไม้ การคายน้ำ การกลั่นน้ำให้บริสุทธิ์ และการระเหยจากดิน อัตราการคายระเหยของพืชสูงสุด (potential evapotranspiration) ในแบบจำลอง SWAT นั้นมีวิธีการคำนวณอยู่ 3 วิธีได้แก่

1. วิธี *Penman - Monteith* ต้องใช้ข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วมลม สมการคำนวณ คือ

$$\lambda E_p = \frac{\Delta \cdot (H_{net} - G) + \gamma \cdot K_1 \cdot (0.622 \cdot \lambda \cdot \rho_{air} / P) \cdot (e_z^0 - e_z) / r_a}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_c / r_a)} \quad (2.16)$$

2. วิธี *Priestley - Taylor* ต้องใช้ข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิของอากาศ สมการคำนวณ คือ

$$\lambda E_0 = \alpha_{pet} \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (H_{net} - G) \quad (2.17)$$

3. วิธี *Hargreaves* ใช้เพียงข้อมูลอุณหภูมิอากาศเท่านั้น สมการคำนวณ คือ

$$\lambda E_0 = 0.0023 \cdot H_0 \cdot (T_{mx} - T_{mn})^{0.5} \cdot (\bar{T}_{av} + 17.8) \quad (2.18)$$

เมื่อ

λ	คือ ความหนาแน่นของความร้อนแฝง (เมกะจูล/กิโลกรัม)
E_t	คือ อัตราการกลายเป็นไอสูงสุด (มม./วัน)
E_0	คือ ศักยภาพของการคายระเหย (มม./วัน)
K_1	คือ Dimension coefficient needed to ensure the two terms in the numerator have the same units (for u_z in m/s, 8.64×10^4)
P	คือ ความบวมขึ้น Atmospheric (กิโลปาสกาล)
Δ	คือ ความลาดชันของเส้นโค้งระหว่างความดันไออิ่มตัวกับอุณหภูมิ (กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)
H_{net}	คือ พลังงานแสงอาทิตย์สุทธิ (เมกะจูล/ตร.ม. วัน)
G	คือ Heat flux density to constant pressure to the ground (เมกะจูล/ตร.ม. วัน)
T_{mx}	คือ อุณหภูมิอากาศสูงสุด (องศาเซลเซียส)
T_{mn}	คือ อุณหภูมิอากาศต่ำสุด (องศาเซลเซียส)
ρ_{air}	คือ ความหนาแน่นอากาศ (กิโลกรัม/ลบ.ม.)
c_p	คือ Specific heat at constant pressure (เมกะจูล/กิโลกรัม องศาเซลเซียส)
$e_z^{(l)}$	คือ ความดันไออิ่มตัวของอากาศที่ความสูง z (กิโลปาสกาล)
e_z	คือ ความดันไอของอากาศที่ความสูง z (กิโลปาสกาล)
γ	คือ Psychometric constant (กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)
r_c	คือ Plant canopy resistance (s/m)
r_a	คือ Diffusion resistance of the air layer (aerodynamic resistance) (s/m)
α_{pet}	คือ สัมประสิทธิ์ในสมการของ Priestley - Taylor

2.2.1.5 ความชื้นในดิน (Soil Water)

น้ำที่ไหลเข้าดินสามารถเคลื่อนตัวไปได้หลายทาง อาจจะเคลื่อนตัวออกจากดินโดยการดูดกลับของพืชหรือการระเหย หรือสามารถซึมลงไปสู่ชั้นใต้ดินและเป็นการเติมน้ำใต้ดิน สุดท้ายจะไหลออกทางด้านข้างและเข้าเสริมกับแม่น้ำ ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของดิน ได้แก่ ค่า bulk density เป็นค่าที่บอกความสัมพันธ์ของปริมาณช่องว่างในดินกับโครงสร้างของดิน ค่าการให้น้ำของดินแก่พืช (Available Water Content) และ ค่า hydraulic conductivities เป็นค่าการนำน้ำในดิน ซึ่งค่าต่าง ๆ นี้ จำเป็นในการคำนวณของแบบจำลอง SWAT ลักษณะของความชื้นในดินมีดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างดิน (Soil Structure)

ดินประกอบไปด้วย 3 ช่วง คือ ช่วงของแข็ง ช่วงของเหลว และช่วงก๊าซ ช่วงของก๊าซประกอบไปด้วยแร่และ/หรือสารอินทรีย์ที่เป็นโครงสร้างของดิน ระหว่างอนุภาคของของแข็งจะเป็นรูของดินซึ่งเป็นช่วงของของเหลวและช่วงก๊าซ โดยความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูช่องว่าง และโครงสร้างของดินจะเรียกว่า “Soil’s bulk density” มีสมการดังนี้

$$\rho_b = \frac{M_S}{V_T} \quad (2.19)$$

เมื่อ

ρ_b คือ Bulk density (เมกะกรัม/ลบ.ม.)

M_S คือ มวลของของแข็ง (มล.)

V_T คือ ปริมาตรรวม (ลบ.ม.)

เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างองค์ประกอบของดิน ดินเหนียวประกอบด้วยสัดส่วนของรูขนาดกลางและรูขนาดใหญ่ที่มากกว่า ในขณะที่ดินทรายประกอบด้วยรูขนาดเล็กกว่า ซึ่งปรากฏได้ชัดจากการเปรียบเทียบค่าการนำน้ำได้ของดิน (hydraulic conductivity) ของดินเหนียวและดินทราย

2. การเคลื่อนตัวลงของน้ำในชั้นดิน (Percolation)

การเคลื่อนตัวลงของน้ำจะคำนวณในแต่ละชั้นดิน โดยที่น้ำจะเคลื่อนตัวลงถ้าปริมาณน้ำส่วนเกินมีมากกว่าปริมาณความชื้นในชั้นดิน และชั้นดินที่อยู่ด้านบนนั้นไม่อิ่มตัว

ความสามารถของการเคลื่อนตัวลงได้ในชั้นดินสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$w_{perc,ly} = SW_{ly,excess} \cdot \left(1 - \exp \left[\frac{-\Delta t}{TT_{perc}} \right] \right) \quad (2.20)$$

เมื่อ

$w_{perc,ly}$ คือ ปริมาณน้ำที่ซึมลงในแต่ละชั้นดิน ในแต่ละวัน (มม.)

$SW_{ly,excess}$ คือ ปริมาตรของการระบายน้ำได้ในชั้นดิน ในแต่ละวัน (มม.)

Δt คือ ความยาวของช่วงเวลาที่ใช้พิจารณา (ชั่วโมง)

TT_{perc} คือ เวลาของการเคลื่อนตัวสำหรับการเคลื่อนตัวลงในแต่ละชั้นดิน (ชั่วโมง)

ซึ่งค่า TT_{perc} สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$TT_{perc} = \frac{SAT_{ly} - FC_{ly}}{K_{sat}} \quad (2.21)$$

เมื่อ

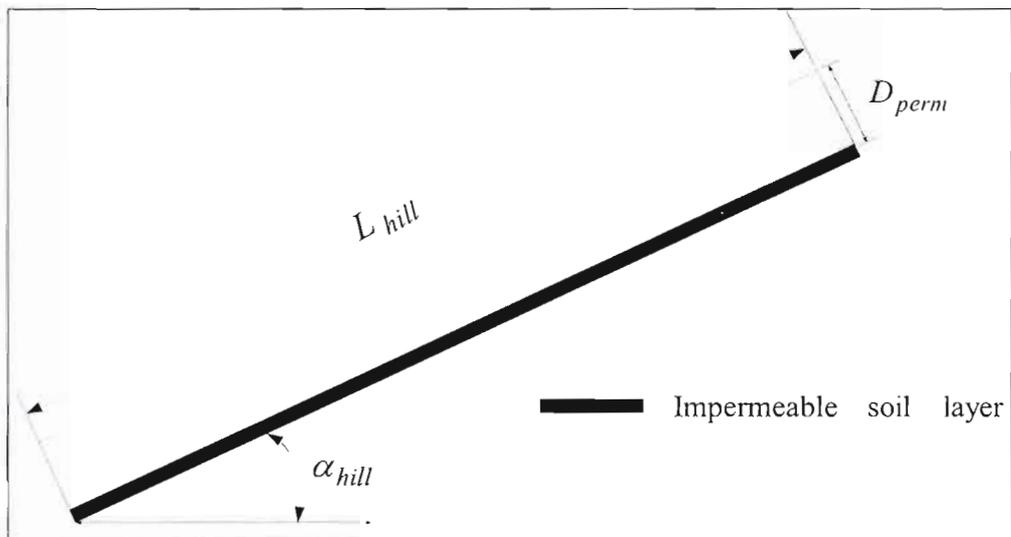
SAT_{ly} คือ ปริมาณน้ำในชั้นดินเมื่ออิ่มตัวสมบูรณ์ (มม.)

FC_{ly} คือ ปริมาณน้ำของชั้นดินที่สนาม (field capacity) (มม.)

K_{sat} คือ ค่าการนำน้ำได้อิ่มตัวสำหรับชั้นดิน (มม./ชั่วโมง)

3. การไหลทางด้านข้างใต้ผิวดิน (Lateral Flow)

การไหลทางด้านข้างนั้นจะอยู่ในบริเวณที่ดินมีค่าการนำน้ำของดิน (hydraulic conductivities) ในชั้นผิวดินสูง และความสามารถการซึมผ่านของน้ำที่สูงในชั้นดินตื้น ซึ่งแบบจำลอง SWAT ได้ใช้ Kinematic Storage Model สำหรับการไหลชั้นใต้ผิวดินที่พัฒนาโดย Sloan and Moore ปี ค.ศ. 1984 [14] ใช้สมการความต่อเนื่อง (Mass Continuity) หรือ สมดุลน้ำ (Water Balance) เป็นพื้นฐานพร้อมกับใช้ Entire Hillslope Segment ของ Soil Profile เป็น ปริมาตรควบคุม (Control Volume) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และสมการมีดังนี้



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของ hillslope segment

$$Q_{lat} = 0.024 \cdot \left(\frac{2 \cdot SW_{ly,excess} \cdot K_{sat} \cdot slp}{\phi_a \cdot L_{hill}} \right) \quad (2.22)$$

เมื่อ

Q_{lat} คือ ปริมาณการไหลด้านข้างใต้ผิวดินที่จุดออก (มม./วัน)

$SW_{ly,excess}$ คือ ปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้ในชั้นดินอิ่มตัวของ hillslope ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (มม.)

K_{sat} คือ ค่าการนำน้ำอิ่มตัว (มม./ชั่วโมง)

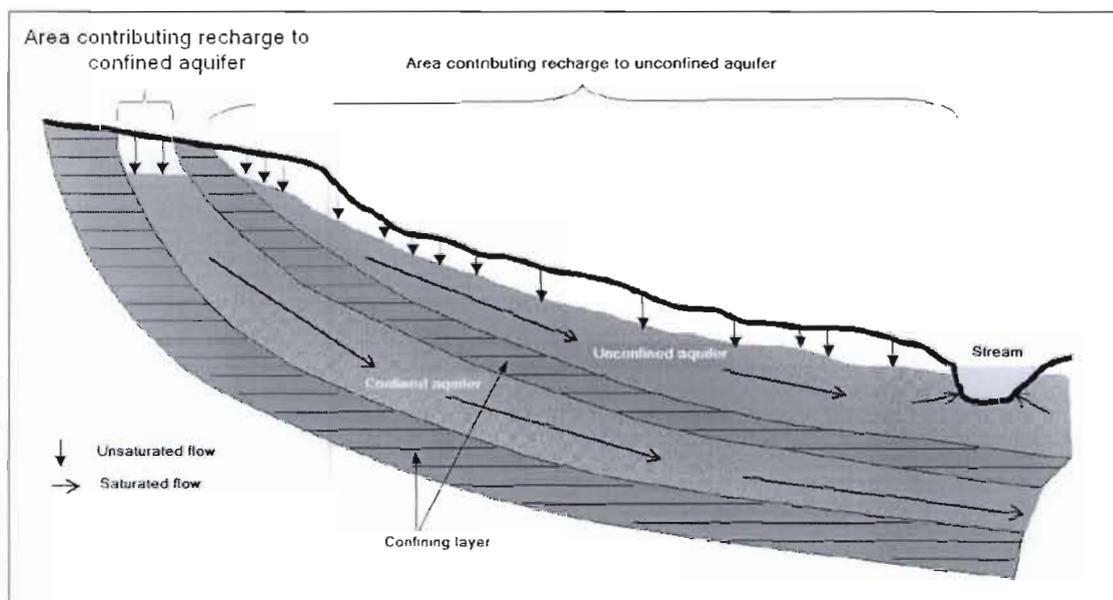
slp	คือ ความลาดชัน
ϕ_d	คือ ความพรุนในการระบายน้ำของดิน
L_{hill}	คือ Hill Slope Length (ม.)

2.2.1.6 น้ำใต้ดิน (Groundwater)

1. ระบบน้ำใต้ดิน (Groundwater Systems)

ภายในโซนอิ่มตัวของน้ำใต้ดินสามารถหาคุณสมบัติของขอบเขตการนำน้ำสูงหรือต่ำได้ ขอบเขตของการนำน้ำได้เป็นส่วนของอนุภาคดินที่มีเนื้อหยาบ โดยจะมีเปอร์เซ็นต์ของรูขนาดใหญ่อยู่สูงจึงยอมให้น้ำเคลื่อนตัวผ่านได้ง่าย ส่วนขอบเขตของการนำน้ำได้น้อยเป็นส่วนของอนุภาคดินที่มีเนื้อละเอียด โดยจะมีร้อยละของรูขนาดเล็กและขนาดกลางอยู่สูงจึงทำให้อัตราการเคลื่อนตัวของน้ำมีจำกัด

ในทางธรณีวิทยาได้แบ่งโครงสร้างของชั้นดินที่เกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดินเป็น 2 ชั้นหลัก คือ ชั้นให้น้ำใต้ดินอิสระ (Unconfined aquifer) ชั้นดินที่เป็นขอบเขตบนของระดับน้ำใต้ดิน และชั้นให้น้ำบาดาล (Confined aquifer) ชั้นดินที่เป็นขอบเขตบนและล่างของการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.7

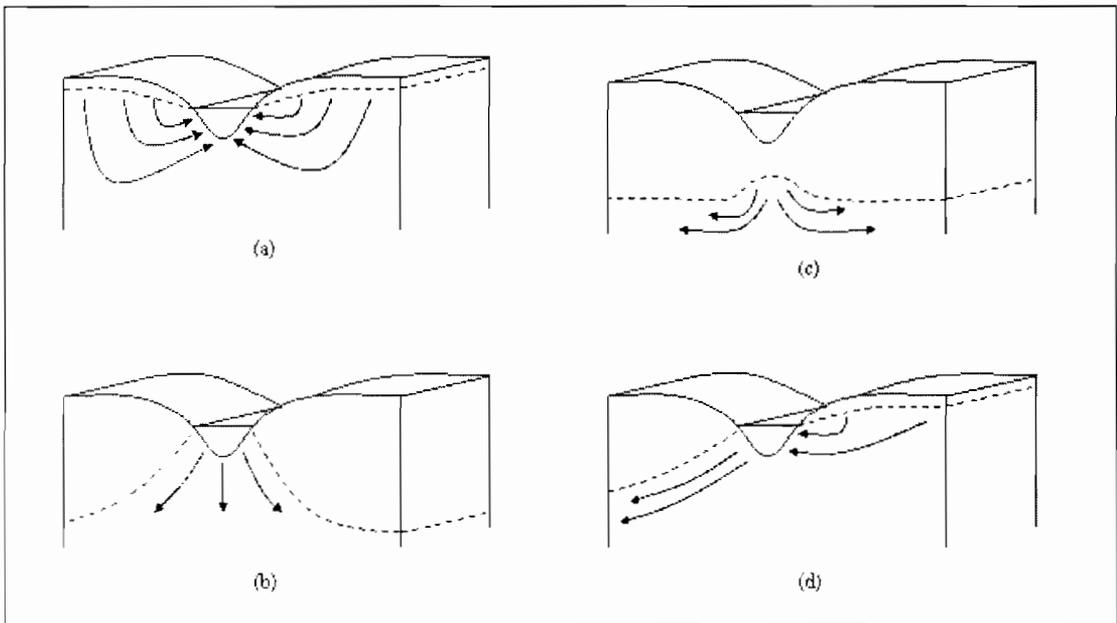


รูปที่ 2.7 ชั้นให้น้ำใต้ดินอิสระและชั้นให้น้ำบาดาล [14]

การไหลในลำน้ำอาจจะจัดกลุ่มได้โดยความสัมพันธ์ของระบบน้ำใต้ดิน ตำแหน่งลำน้ำของพื้นที่การไหลที่รับน้ำจากน้ำใต้ดินแล้วไหลออกมาในลำน้ำแสดงในรูปที่ 2.8-a เป็นประเภทของลำน้ำที่มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นในช่วงทำynnน้ำ ตำแหน่งของลำน้ำในพื้นที่เติมน้ำกลับเข้าน้ำใต้ดิน ประเภทที่น้ำในลำน้ำสูญเสียดลงใต้ดินที่เชื่อมต่อกับระดับน้ำใต้ดินแสดงในรูปที่ 2.8-b และประเภทค่อยๆเติมน้ำใต้ดิน

จะแสดงในรูปที่ 2.8-c ลำน้ำที่รับน้ำจากน้ำใต้ดินและสูญเสียน้ำลงใต้ดินในเวลาเดียวกันแสดงในรูปที่ 2.8-d

แบบจำลอง SWAT ทำการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนของแต่ละกลุ่มน้ำย่อย คือ เขตชั้นน้ำใต้ดินตื้น (Shallow Aquifers) เป็นชั้นน้ำใต้ดินที่สามารถไหลไปรวมกับลำน้ำสายหลักหรือลำน้ำสาขาย่อยของกลุ่มน้ำ และเขตชั้นน้ำใต้ดินลึก (Deep Aquifers) เป็นชั้นน้ำใต้ดินที่อยู่ลึกลงไปโดยสมมติให้น้ำใน deep aquifers นั้นจะไหลไปรวมกับลำน้ำใต้ที่จุดใด ๆ ของพื้นที่กลุ่มน้ำ



รูปที่ 2.8 Stream-groundwater relationships : a) gaining stream receiving water from groundwater flow ; b) losing stream connected to groundwater system ; c) losing stream perched above groundwater system ; d) flow-through stream [14]

2. เขตชั้นน้ำใต้ดินตื้น (Shallow aquifer)

สมการของน้ำเขต shallow aquifers มีสมการดังนี้

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + w_{rchrg,sh} - Q_{gw} - w_{deep} - w_{revap} - w_{pump,sh} \quad (2.23)$$

เมื่อ

$aq_{sh,i}$ คือ ปริมาณน้ำเก็บกักในชั้นน้ำใต้ดินตื้น ในวันที่ i (มม.)

$aq_{sh,i-1}$ คือ ปริมาณน้ำเก็บกักในชั้นน้ำใต้ดินตื้น ในวันที่ $i-1$ (มม.)

$w_{rchrg,sh}$ คือ ปริมาณน้ำที่เติมกลับเข้าไปในชั้นน้ำใต้ดิน ในวันที่ i (มม.)

Q_{gw} คือ ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินออกสู่ลำน้ำ ในวันที่ i (มม.)

- w_{revap} คือ ปริมาณน้ำที่ไหลจากผิวดินลงสู่ชั้นรากพืช ในวันที่ i (มม.)
 w_{deep} คือ ปริมาณน้ำที่ไหลจากชั้นน้ำใต้ดินตื้นลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินลึก ในวันที่ i (มม.)
 $w_{pump.sh}$ คือ ปริมาณน้ำที่ถูกสูบออกไปจากชั้นน้ำใต้ดินตื้น ในวันที่ i (มม.)

3. เขตน้ำใต้ดินลึก (Deep aquifer)

สมการของน้ำเขตน้ำใต้ดินลึกมีสมการดังนี้

$$aq_{dp,i} = aq_{dp,i-1} + w_{deep} - w_{pump.dp} \quad (2.24)$$

เมื่อ

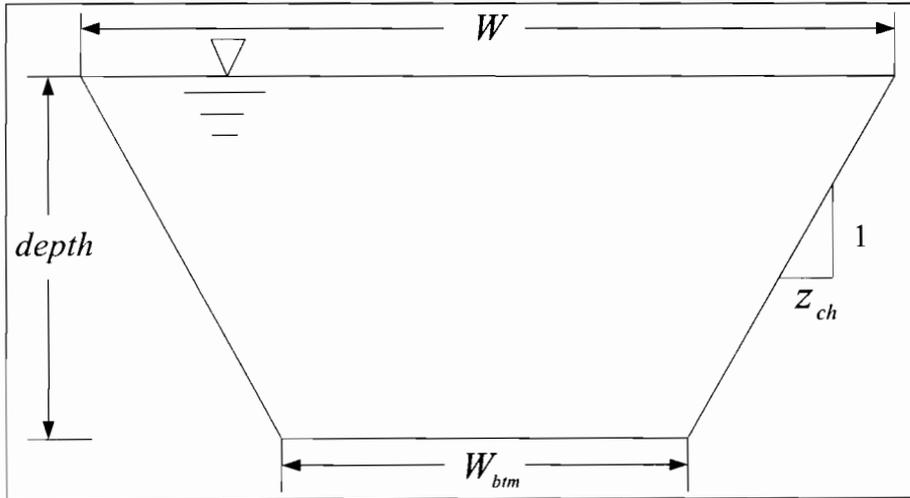
- $aq_{dp,i}$ คือ ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในชั้นน้ำใต้ดินลึก ในวันที่ i (มม.)
 $aq_{dp,i-1}$ คือ ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในชั้นน้ำใต้ดินลึก ในวันที่ $i-1$ (มม.)
 w_{deep} คือ ปริมาณน้ำที่ไหลจากชั้นน้ำใต้ดินตื้นลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินลึก ในวันที่ i (มม.)
 $w_{pump.dp}$ คือ ปริมาณน้ำที่ถูกสูบออกไปจากชั้นน้ำใต้ดินลึก ในวันที่ i (มม.)

2.2.2 การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านทางน้ำ (Water Routing)

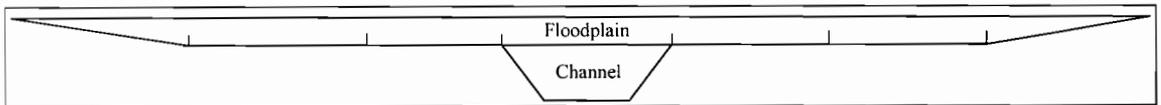
แบบจำลอง SWAT ใช้สมการ Manning ในการกำหนดอัตราไหลและความเร็วในการเคลื่อนตัวของน้ำ โดยการคำนวณเคลื่อนตัวผ่านโครงข่ายลำน้ำใช้วิธี Variable Storage Routing และ วิธี Muskingum Routing ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นการจำลองแบบ Kinematic Wave Routing

2.2.2.1 ลักษณะของลำน้ำ (Channel Characteristics)

แบบจำลอง SWAT สมมติให้หน้าตัดขวางของลำน้ำหรือแต่ละลำน้ำสาขาเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมคางหมู ความลาดเทด้านข้าง (Channel Side Slope) เป็น 2 : 1 แสดงในรูปที่ 2.9 สำหรับพื้นที่ทุ่งน้ำท่วม (Floodplain) แบบจำลองจะทำการสร้างชั้นเมื่อปริมาณน้ำในทางน้ำมีความลึกมากกว่าความลึกทั้งหมด โดยจะกำหนดให้ความกว้างของทุ่งน้ำท่วมกว้างเป็น 5 เท่าของความกว้างด้านบนของทางน้ำ และความลาดเทด้านข้างเป็น 4 : 1 แสดงในรูปที่ 2.10 เนื่องจากการคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านทางน้ำเป็นแบบช่วงเวลารายวัน (Daily Time Step) และไม่มีกรคำนวณซ้ำ (Iteration) ทำให้สามารถทำการจำลองแบบได้ในช่วงเวลาที่ยาวนานบนพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ได้



รูปที่ 2.9 แสดงขนาดหน้าตัดขวางของลำน้ำสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 2.10 แสดงขนาดหน้าตัดขวางของทุ่งน้ำท่วม

2.2.2.2 อัตราไหลและความเร็วของน้ำที่เคลื่อนตัวผ่านทางน้ำ (Flow Rate and Velocity)

สมการแมนนิง (Manning) ที่ใช้สำหรับการไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) มีดังนี้

$$q_{ch} = \frac{A_{ch} \cdot R_{ch}^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{n} \quad (2.25)$$

$$v_{ch} = \frac{R_{ch}^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{n} \quad (2.26)$$

เมื่อ

q_{ch} คือ อัตราไหลในลำน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

A_{ch} คือ พื้นที่หน้าตัดขวางของลำน้ำที่น้ำเคลื่อนตัวผ่าน (ตร.ม.)

R_{ch} คือ รัศมีชลศาสตร์สำหรับระดับการไหล (ม.)

n คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิง สำหรับลุ่มน้ำย่อยหรือลำน้ำ

slp_{ch} คือ ความลาดชันของลำน้ำ

2.2.2.3 การคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านทางน้ำด้วยวิธี Variable Storage Routing

ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากช่วงของลำน้ำหาได้จากสมการดังนี้

$$q_{out} = SC \cdot \left(q_{in,ave} + \frac{V_{stored}}{\Delta t} \right) \quad (2.27)$$

เมื่อ

q_{out} คือ ปริมาณน้ำไหลออกช่วงเวลาพิจารณา (ลบ.ม./วินาที)

$q_{in,ave}$ คือ ปริมาณน้ำไหลเข้าเฉลี่ยช่วงเวลาพิจารณา (ลบ.ม./วินาที)

V_{stored} คือ ปริมาตรเก็บกัก (ลบ.ม.)

Δt คือ ระยะเวลาในการพิจารณา (วินาที)

SC คือ สัมประสิทธิ์การเก็บกัก สามารถประมาณค่าได้จากสมการดังนี้

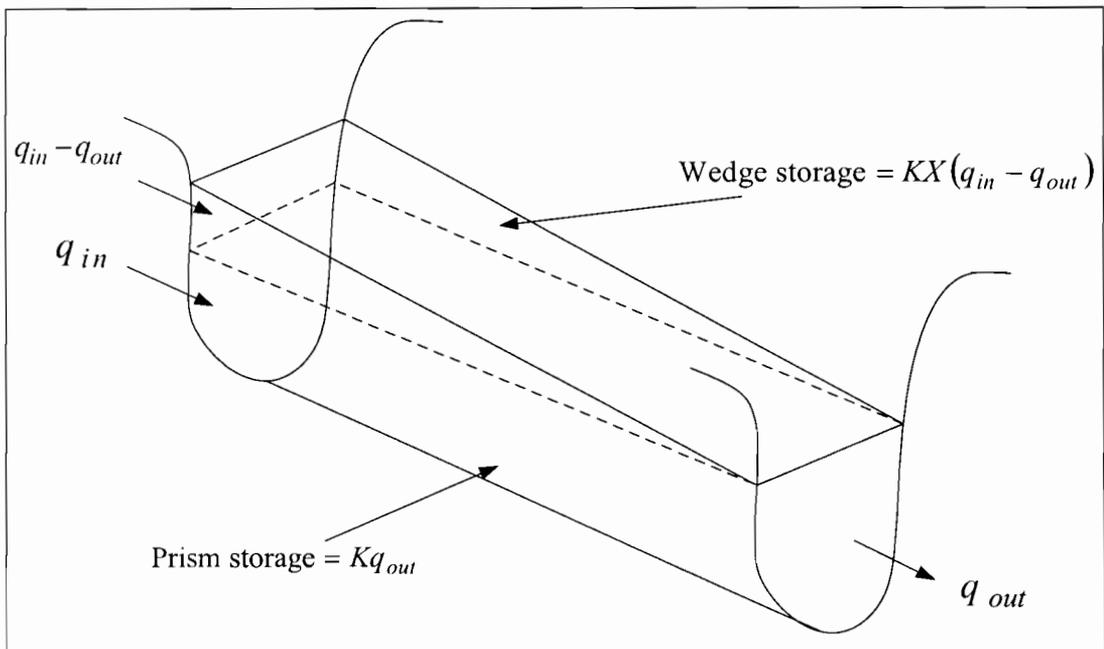
$$SC = \frac{2 \cdot \Delta t}{2 \cdot TT + \Delta t} \quad (2.28)$$

เมื่อ

TT คือ เวลาการเคลื่อนที่ (วินาที)

2.2.2.4 การคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านทางน้ำด้วยวิธี Muskingum Routing

วิธี Muskingum Routing จะจำลองปริมาตรเก็บกักในช่วงการไหลของน้ำเป็นเหมือนลิ้มและปริซึมของการไหลแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะปริซึมและลิ้มของความจุในช่วงของการไหล

จากสมมติฐาน ปริมาตรของปริซึมสามารถหาได้จากฟังก์ชันของอัตราไหล โดยใช้สมการ $K \cdot q_{out}$ เมื่อ K คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรเก็บกักและปริมาณการไหล มีหน่วยเป็นเวลา ในทำนองเดียวกัน ปริมาตรของลิ้มสามารถหาได้จากสมการ $K \cdot X \cdot (q_{in} - q_{out})$ เมื่อ X คือ weighting factor เป็นตัวควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลเข้าและการไหลออก ต่อการคำนวณ

ปริมาตรเก็บกัก สำหรับในแม่น้ำค่า X อยู่ระหว่าง 0.0–0.3 โดยค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียง คือ 0.2 เมื่อรวมปริมาตรของทั้ง 2 ส่วน จะได้ว่า

$$V_{stored} = K \cdot (X \cdot q_{in} + (1 - X) \cdot q_{out}) \quad (2.29)$$

เมื่อ

V_{stored} คือ ปริมาตรเก็บกัก (ลบ.ม.)

q_{in} คือ อัตราไหลเข้า (ลบ.ม./วินาที)

q_{out} คือ อัตราไหลออก (ลบ.ม./วินาที)

จากสมการที่ (2-29) และสมการความต่อเนื่อง จัดรูปใหม่ได้สมการดังนี้

$$q_{out,2} = C_1 \cdot q_{in,2} + C_2 \cdot q_{in,1} + C_3 \cdot q_{out,1} \quad (2.30)$$

เมื่อ

$q_{in,1}$ คือ อัตราไหลเข้าที่เวลาเริ่มต้น (ลบ.ม./วินาที)

$q_{in,2}$ คือ อัตราไหลเข้าที่เวลาถัดไป (ลบ.ม./วินาที)

$q_{out,1}$ คือ อัตราไหลออกที่เวลาเริ่มต้น (ลบ.ม./วินาที)

$q_{out,2}$ คือ อัตราไหลออกที่เวลาถัดไป (ลบ.ม./วินาที)

และ

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2 \cdot K \cdot X}{2 \cdot K \cdot (1 - X) + \Delta t} \quad (2.31)$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2 \cdot K \cdot X}{2 \cdot K \cdot (1 - X) + \Delta t} \quad (2.32)$$

$$C_3 = \frac{2 \cdot K \cdot (1 - X) - \Delta t}{2 \cdot K \cdot (1 - X) + \Delta t} \quad (2.33)$$

โดยที่ $C_1 + C_2 + C_3 = 1.0$ ถ้าทำการกระจายค่าในหน่วยของปริมาตร จะได้สมการดังนี้

$$V_{out,2} = C_1 \cdot V_{in,2} + C_2 \cdot V_{in,1} + C_3 \cdot V_{out,1} \quad (2.34)$$

2.2.2.5 การสูญเสียของการส่งผ่านของน้ำ (Transmission Losses)

ในระหว่างที่ลำน้ำไม่มีการรับน้ำจากน้ำใต้ดินนั้น มีความเป็นไปได้สำหรับที่น้ำสูญเสียไปตามด้านข้างและด้านท้องน้ำของลำน้ำที่ไหลผ่าน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$t_{loss} = K_{ch} \cdot TT \cdot P_{ch} \cdot L_{ch} \quad (2.35)$$

เมื่อ

t_{loss} คือ การสูญเสียของการส่งผ่านของลำน้ำในลำน้ำ (ลบ.ม.)

K_{ch} คือ ประสิทธิภาพในการนำน้ำใต้ของตะกอนลำนํ้า (มม./ชั่วโมง)

P_{ch} คือ เส้นขอบเปียก (ม.)

L_{ch} คือ ความยาวของลำนํ้า (ม.)

ในการสูญเสียน้ำจากลำนํ้าหลักสมมติให้น้ำสูญเสียเข้าแหล่งเก็บกักกริมตลิ่งหรือชั้นดินลึก และค่า K_{ch} สำหรับวัตถุของดินโคลนที่น้ำพัดพามาในค่าต่างๆ แสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2.3 ค่าประสิทธิภาพในการนำน้ำใต้ของดิน (hydraulic conductivity) สำหรับวัสดุที่องน้ำต่าง ๆ [14]

Bed material group	Bed material characteristics	Hydraulic conductivity (mm/hr)
1 Very high loss rate	Very clean gravel and sand D50 > 2 mm	> 127
2 High loss rate	Clean sand and gravel, field conditions	51 - 127
3 Moderately high loss rate	Sand and gravel mixture with low silt - clay content	25 - 76
4 Moderate loss rate	Sand and gravel mixture with high silt - clay content	6 - 25
5 Insignificant to low loss rate	Consolidated bed material; High silt - clay content	0.025 - 2.5

2.2.2.6 การสูญเสียของการระเหย (Evaporation Losses)

การระเหยสำหรับน้ำในลำนํ้าสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$E_{ch} = coef_{ev} \cdot E_o \cdot L_{ch} \cdot W \cdot fr_{\Delta t} \quad (2.36)$$

เมื่อ

E_{ch} คือ การระเหยของน้ำจากลำนํ้า ในวันที่ i (ลบ.ม.)

$coef_{ev}$ คือ สัมประสิทธิ์การระเหย

E_o คือ ศักยภาพของการระเหย (มม.)

W คือ ความกว้างผิวน้ำในลำนํ้า (ม.)

$fr_{\Delta t}$ คือ สัดส่วนของเวลาที่พิจารณาที่น้ำกำลังไหลในลำนํ้า

L_{ch} คือ ความยาวลำนํ้า (ม.)

2.2.2.7 แหล่งเก็บกักน้ำของริมตลิ่ง (Bank Storage)

ปริมาณของน้ำที่ไหลเข้าแหล่งเก็บกักน้ำของริมตลิ่งในแต่ละวันสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$bnk_{in} = tloss \cdot (1 - fr_{trns}) \quad (2.37)$$

เมื่อ

bnk_{in} คือ ปริมาณที่ไหลเข้าแหล่งเก็บกักริมตลิ่ง (ลบ.ม.)

$tloss$ คือ การสูญเสียของการส่งผ่านของน้ำในลำน้ำ (ลบ.ม.)

fr_{trns} คือ สัดส่วนของการสูญเสียการส่งผ่านน้ำที่แบ่งไปสู่ชั้นน้ำใต้ดินลึก

แหล่งเก็บกักน้ำริมตลิ่งมีส่วนทำให้การไหลของน้ำในลำน้ำหลักหรือลำน้ำสาขาไหลเข้าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ปริมาตรของน้ำที่ไหลเข้าในลำน้ำสาขาจากแหล่งเก็บกักน้ำริมตลิ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{bnk} = bnk \div (1 - \exp[-\alpha_{bnk}]) \quad (2.38)$$

เมื่อ

V_{bnk} คือ ปริมาตรน้ำที่เติมในลำน้ำไปสู่การไหลกลับของแหล่งน้ำเก็บกักน้ำริมตลิ่ง (ลบ.ม.)

bnk คือ ปริมาตรน้ำทั้งหมดในแหล่งเก็บกักริมตลิ่ง (ลบ.ม.)

α_{bnk} คือ การไหลริมตลิ่งที่ตัดออกคงที่หรือตามสัดส่วนคงที่

2.2.2.8 สมดุลของน้ำในลำน้ำ (Channel Water Balance)

ปริมาณน้ำในลำน้ำที่จุดสุดท้ายของช่วงเวลาสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V_{stored,2} = V_{stored,1} + V_{in} - V_{out} - tloss - E_{ch} + div + V_{bnk} \quad (2.39)$$

เมื่อ

$V_{stored,2}$ คือ ปริมาตรน้ำในลำน้ำที่เวลาถัดไป (ลบ.ม.)

$V_{stored,1}$ คือ ปริมาตรน้ำในลำน้ำที่เวลาเริ่มต้น (ลบ.ม.)

V_{in} คือ ปริมาตรน้ำไหลเข้าลำน้ำที่เวลาพิจารณา (ลบ.ม.)

V_{out} คือ ปริมาตรน้ำไหลออกจากลำน้ำที่เวลาพิจารณา (ลบ.ม.)

$tloss$ คือ ปริมาตรน้ำที่สูญเสียจากลำน้ำไปตามท้องน้ำ (ลบ.ม.)

E_{ch} คือ การระเหยจากลำน้ำในแต่ละวัน (ลบ.ม.)

div คือ ปริมาตรน้ำที่เติมหรือเคลื่อนตัวออกจากลำน้ำ สำหรับวันที่เบี่ยงเบนผ่านไป (ลบ.ม.)

V_{bnk} คือ ปริมาณน้ำที่เติมในลำน้ำไปตามทางการไหลจากแหล่งเก็บกักริมตลิ่ง (ลบ.ม.)

2.2.2.9 การคำนวณปริมาณการเคลื่อนตัวของตะกอน (Sediment Routing)

การขนส่งตะกอนในโครงข่ายของลำน้ำมีอยู่ 2 กระบวนการ คือ การทับถม และการกัดเซาะ โดยที่กระบวนการทั้งสองจะเกิดพร้อมกันในระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านทางน้ำ แบบจำลอง SWAT คำนวณโดยกำหนดให้ขนาดของลำน้ำมีขนาดเท่ากันตลอดช่วงที่พิจารณา และจำลองว่ามีการเปลี่ยนแปลงขนาดของลำน้ำ ซึ่งทำการปรับข้อมูลขนาดของลำน้ำล่าสุดผ่านการจำลอง ปริมาณของการทับถมและการกัดเซาะของตะกอนสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$sed_{ch} = sed_{ch,i} - sed_{dep} + sed_{deg} \quad (2.40)$$

เมื่อ

sed_{ch} คือ ปริมาณตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ (metric tons)

$sed_{ch,i}$ คือ ปริมาณตะกอนลำน้ำที่เวลาเริ่มต้น (metric tons)

sed_{dep} คือ ปริมาณตะกอนทับถมในลำน้ำ (metric tons)

sed_{deg} คือ ปริมาณตะกอนที่กัดเซาะในลำน้ำ (metric tons)

ปริมาณการขนส่งตะกอนออกจากลำน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$sed_{out} = sed_{ch} \cdot \frac{V_{out}}{V_{ch}} \quad (2.41)$$

เมื่อ

sed_{out} คือ ปริมาณตะกอนที่เคลื่อนตัวออกจากลำน้ำ (metric tons)

V_{out} คือ ปริมาตรไหลออกที่เวลาที่พิจารณา (ลบ.ม.)

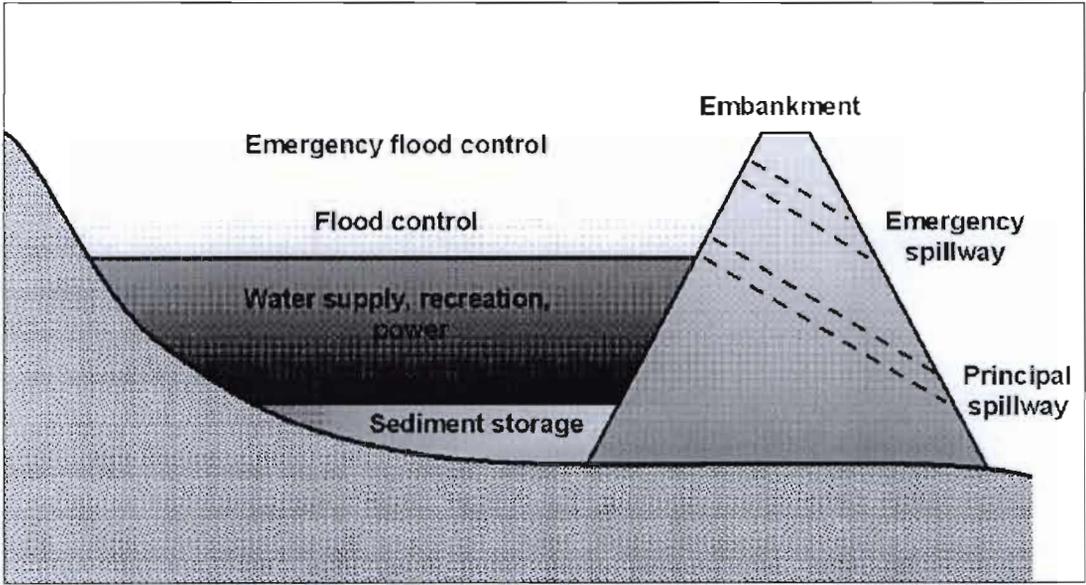
V_{ch} คือ ปริมาตรน้ำในส่วนของลำน้ำ (ลบ.ม.)

2.2.3 การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านทางกักขังน้ำ (Impoundment Water Routing)

ในแบบจำลอง SWAT ได้แบ่งลักษณะของพื้นที่น้ำขังออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

2.2.3.1 อ่างเก็บน้ำ (Reservoirs)

อ่างเก็บน้ำเป็นแหล่งกักน้ำที่ตั้งอยู่บนโครงข่ายลำน้ำสาขาหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำ ลักษณะของการกักขังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Component of a reservoir with flood water detention features [14]

สมคุณน้ำสำหรับอ่างเก็บน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V = V_{stored} + V_{flowin} - V_{flowout} + V_{pcp} - V_{evap} - V_{seep} \tag{2.42}$$

เมื่อ

- V คือ ปริมาณน้ำกักขัง (impoundment) ที่เวลาถัดไป (ลบ.ม.)
- V_{stored} คือ ปริมาณน้ำเก็บกักในแหล่งน้ำ (water body) ที่เวลาเริ่มต้น (ลบ.ม.)
- V_{flowin} คือ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าแหล่งน้ำระหว่างวัน (ลบ.ม.)
- $V_{flowout}$ คือ ปริมาณน้ำไหลออกจากแหล่งน้ำระหว่างวัน (ลบ.ม.)
- V_{pcp} คือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงบนแหล่งน้ำระหว่างวัน (ลบ.ม.)
- V_{evap} คือ ปริมาณน้ำที่เคลื่อนตัวออกจากแหล่งน้ำโดยการระเหยระหว่างวัน (ลบ.ม.)
- V_{seep} คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากแหล่งน้ำโดยการรั่วซึม (ลบ.ม.)

1. พื้นที่ผิวหน้า (Surface Area)

พื้นที่ผิวหน้าของอ่างเก็บน้ำเป็นสิ่งจำเป็นที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ตกบนแหล่งน้ำเก็บกัก ปริมาณการระเหย และการรั่วซึม พื้นที่ผิวจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่เก็บกักไว้ ซึ่งคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$SA = \beta_{sa} \cdot V^{exp_{sa}} \tag{2.43}$$

เมื่อ

- SA คือ พื้นที่ผิวของแหล่งน้ำ (เฮกตาร์)

- β_{sa} คือ สัมประสิทธิ์สำหรับสมการพื้นที่ผิวน้ำกักขัง
 V คือ ปริมาตรน้ำในกักขัง (ลบ.ม.)
 $expsa$ คือ เลขชี้กำลังสำหรับการคำนวณพื้นที่ผิวน้ำกักขัง

ค่าสัมประสิทธิ์ β_{sa} และเลขชี้กำลัง $expsa$ คำนวณได้จากสมการ (2-43) โดยรู้ค่าตัวแปร 2 ค่า คือ พื้นที่ผิวน้ำ และปริมาตรของน้ำสำหรับทางระบายน้ำสันหลัก (principal spillways) และทางระบายน้ำล้นฉุกเฉิน (emergency spillways)

$$expsa = \frac{\log_{10}(SA_{em}) - \log_{10}(SA_{pr})}{\log_{10}(V_{em}) - \log_{10}(V_{pr})} \quad (2.44)$$

$$\beta_{sa} = \left(\frac{SA_{em}}{V_{em}} \right)^{expsa} \quad (2.45)$$

เมื่อ

- SA_{em} คือ พื้นที่ผิวของอ่างเก็บน้ำเมื่อวางระบายน้ำล้นฉุกเฉินเต็ม (เฮกตาร์)
 SA_{pr} คือ พื้นที่ผิวของอ่างเก็บน้ำเมื่อวางระบายน้ำสันหลักเต็ม (เฮกตาร์)
 V_{em} คือ ปริมาตรน้ำที่ควบคุมในอ่างเก็บน้ำเมื่อวางระบายน้ำล้นฉุกเฉิน (ลบ.ม.)
 V_{pr} คือ ปริมาตรน้ำที่ควบคุมในอ่างเก็บน้ำเมื่อวางระบายน้ำสันหลัก (ลบ.ม.)

2. น้ำจากฟ้า (Precipitation)

ปริมาตรของน้ำจากฟ้าที่ตกลงบนอ่างเก็บน้ำในระหว่างวันสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{pcp} = 10 \cdot R_{day} \cdot SA \quad (2.46)$$

เมื่อ

- V_{pcp} คือ ปริมาตรน้ำที่เติมในแหล่งน้ำโดยฝนที่ตกลงมาระหว่างวัน (ลบ.ม.)
 R_{day} คือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาต่อวัน (มม.)

3. การระเหย (Evaporation)

ปริมาตรน้ำที่สูญเสียไปจากการระเหยในแต่ละวันสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{evap} = 10 \cdot \eta \cdot E_o \cdot SA \quad (2.47)$$

เมื่อ

- V_{evap} คือ ปริมาตรน้ำที่เคลื่อนตัวออกจากแหล่งน้ำโดยการระเหยระหว่างวัน (ลบ.ม.)
 η คือ สัมประสิทธิ์การระเหย (0.6)
 E_o คือ ศักยภาพการระเหยต่อวัน (ลบ.ม.)

4. การรั่วซึม (Seepage)

ปริมาณของน้ำที่สูญเสียไปจากการรั่วซึมผ่านคันน้ำใต้ของอ่างเก็บน้ำในแต่ละวันสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{seep} = 240 \cdot K_{sat} \cdot SA \quad (2.48)$$

เมื่อ

V_{seep} คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากแหล่งน้ำโดยการรั่วซึม (ลบ.ม.)

K_{sat} คือ ประสิทธิภาพของการนำน้ำได้อิมตัวที่คันน้ำใต้ของอ่างเก็บน้ำ (มม./ชม.)

5. ปริมาณน้ำไหลออก (Outflow)

ปริมาณของการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำสามารถคำนวณได้ 4 วิธี คือ ข้อมูลตรวจวัดการปล่อยน้ำออกรายวัน ข้อมูลตรวจวัดการปล่อยน้ำออกรายเดือน อัตราปล่อยน้ำเฉลี่ยรายปีสำหรับอ่างเก็บน้ำที่ไม่มีการควบคุม และอัตราการควบคุมปล่อยน้ำตามเกณฑ์ โดยการกำหนดวิธีการคำนวณปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำของแบบจำลอง สามารถกำหนดด้วยค่า IRESKO วิธีการคำนวณปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำของแบบจำลอง และ ค่า IRESKO แสดงดังต่อไปนี้

5-1. ข้อมูลตรวจวัดการปล่อยน้ำออกรายวัน (Measured Daily Outflow)

ผู้ใช้แบบจำลองต้องกำหนดข้อมูลของอัตราการไหลออกสำหรับแต่ละวัน (IRESKO = 3) หรือทุกวันของอ่างเก็บน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำของช่วงเวลาที่ทำการพิจารณา ปริมาณของการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{flowout} = 86400 \cdot q_{out} \quad (2.49)$$

เมื่อ

$V_{flowout}$ คือ ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากแหล่งน้ำระหว่างวัน ($m^3 H_2O$)

q_{out} คือ อัตราไหลออก (m^3/s)

5-2. ข้อมูลตรวจวัดการปล่อยน้ำออกรายเดือน (Measured Monthly Outflow)

ผู้ใช้แบบจำลองต้องกำหนดข้อมูลของอัตราการไหลออกสำหรับแต่ละเดือน (IRESKO = 1) หรือทุกเดือนของอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำของช่วงเวลาที่ทำการพิจารณา ปริมาณของการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำคำนวณได้จากสมการ (2.49)

5-3. อัตราการปล่อยน้ำเฉลี่ยรายปีสำหรับอ่างเก็บน้ำที่ไม่มีการควบคุม (Average Annual Release Rate For Uncontrolled Reservoir)

วิธีการคำนวณการไหลออกด้วยค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยน้ำรายปี (IRESKO = 0) การปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเมื่อปริมาณน้ำของอ่างเก็บน้ำเกินกว่าปริมาณของทางระบายน้ำล้นหลัก ถ้าปริมาณน้ำใน

อ่างเก็บน้ำมากกว่าปริมาณของทางระบายน้ำสันหลักแต่น้อยกว่าปริมาณของทางระบายน้ำสันลูกเงิน การคำนวณหาปริมาณการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำได้ดังนี้

$$V_{flowout} = V - V_{pr} \quad \text{if } V - V_{pr} < q_{rel} \cdot 86400 \quad (2.50)$$

$$V_{flowout} = V - V_{pr} \quad \text{if } V - V_{pr} < q_{rel} \cdot 86400 \quad (2.51)$$

ถ้าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเกินกว่าปริมาณของทางระบายน้ำสันลูกเงิน การคำนวณหาปริมาณการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำได้ดังนี้

$$V_{flowout} = (V - V_{em}) + (V_{em} - V_{pr}) \quad \text{if } V_{em} - V_{pr} < q_{rel} \cdot 86400 \quad (2.52)$$

$$V_{flowout} = (V - V_{em}) + (V_{em} - V_{pr}) \quad \text{if } V_{em} - V_{pr} < q_{rel} \cdot 86400 \quad (2.53)$$

เมื่อ

$V_{flowout}$ คือ ปริมาณน้ำไหลออกของแหล่งน้ำระหว่างวัน (ลบ.ม.)

V คือ ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ (ลบ.ม.)

V_{em} คือ ปริมาณน้ำควบคุมในอ่างเก็บน้ำเมื่อทางระบายน้ำสันลูกเงินล้นเต็ม (ลบ.ม.)

V_{pr} คือ ปริมาณน้ำควบคุมในอ่างเก็บน้ำเมื่อทางระบายน้ำสันหลักเต็ม (ลบ.ม.)

q_{rel} คือ อัตราการปล่อยน้ำเฉลี่ยรายวันของทางระบายน้ำสันหลัก (ลบ.ม./วินาที)

5-4. การปล่อยน้ำตามเกณฑ์สำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีการควบคุม (Target Release For Controlled Reservoir)

การปล่อยน้ำตามเกณฑ์ (IRESCO = 2) จะเป็นฟังก์ชันของความต้องการที่จะเก็บกักน้ำไว้ โดยการเก็บกักน้ำที่มีการควบคุมอาจจะเป็นข้อมูลเฉพาะของผู้ใช้งานในแต่ละเดือนหรือสามารถคำนวณเป็นฟังก์ชันของฤดูน้ำหลาก และความชื้นในดิน ถ้าการเก็บกักเป็นข้อมูลเฉพาะ จะคำนวณปริมาณน้ำที่เก็บกักในอ่างเก็บน้ำตามเกณฑ์ได้ดังนี้

$$V_{targ} = starg \quad (2.54)$$

เมื่อ

V_{targ} คือ ปริมาณในอ่างเก็บน้ำตามเกณฑ์ ในแต่ละวัน (ลบ.ม.)

$starg$ คือ ปริมาณในอ่างเก็บน้ำตามเกณฑ์เฉพาะ ในแต่ละเดือน (ลบ.ม.)

ถ้าการเก็บกักตามเกณฑ์นั้นไม่ใช่ข้อมูลเฉพาะ จะคำนวณปริมาณการเก็บกักตามเกณฑ์ได้ดังนี้

$$V_{targ} = V_{em} \quad \text{if } mon_{fld,beg} < mon < mon_{fld,end} \quad (2.55)$$

$$V_{targ} = V_{pr} + \frac{\left(1 - \min\left[\frac{SW}{FC} - 1\right]\right)}{2} \cdot (V_{em} - V_{pr})$$

if $mon \leq mon_{fld,beg}$ or $mon \geq mon_{fld,end}$ (2.56)

เมื่อ

V_{targ}	คือ ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำตามเกณฑ์ ในแต่ละวัน (ลบ.ม.)
V_{em}	คือ ปริมาณน้ำควบคุมในอ่างเก็บน้ำเมื่อวางระบายน้ำสันจุกเงินเต็ม (ลบ.ม.)
V_{pr}	คือ ปริมาณน้ำควบคุมในอ่างเก็บน้ำเมื่อวางระบายน้ำสันหลักเต็ม (ลบ.ม.)
SW	คือ ปริมาณน้ำในดินเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (มม.)
FC	คือ ปริมาณน้ำของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่สนาม (filed capacity) (มม.)
mon	คือ เดือนในรอบปี
$mon_{fld,beg}$	คือ เดือนเริ่มของฤดูน้ำหลาก
$mon_{fld,end}$	คือ เดือนสิ้นสุดของฤดูน้ำหลาก

2.2.3.2 บ่อน้ำ/หนองบึง (Ponds/Wetlands)

บ่อน้ำและหนองบึงเป็นแหล่งน้ำภายในลุ่มน้ำย่อยซึ่งรับน้ำเข้ามาจากสัดส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย สมดุลน้ำสำหรับบ่อน้ำหรือหนองบึง โดยในการคำนวณหาพื้นที่ผิวน้ำ ปริมาณน้ำจากฟ้าที่ตกลงมา ปริมาณน้ำที่ไหลเข้า ปริมาณการระเหย และปริมาณการรั่วซึมสามารถคำนวณได้ตามสมการของอ่างเก็บน้ำแต่ต่างกันที่ปริมาณน้ำที่ไหลออก ซึ่งการไหลออกของบ่อน้ำมีลักษณะดังต่อไปนี้

$$V_{targ} = V_{em} \quad \text{if } mon_{fld,beg} < mon < mon_{fld,end} \quad (2.57)$$

$$V_{targ} = V_{pr} + \frac{\left(1 - \min\left[\frac{SW}{FC} - 1\right]\right)}{2} \cdot (V_{em} - V_{pr})$$

if $mon \leq mon_{fld,beg}$ or $mon \geq mon_{fld,end}$ (2.58)

เมื่อ

V_{targ}	คือ ปริมาณอ่างเก็บน้ำตามเกณฑ์ ในแต่ละวัน (ลบ.ม.)
V_{em}	คือ ปริมาณน้ำควบคุมในอ่างเก็บน้ำเมื่อวางระบายน้ำจุกเงินเต็ม (ลบ.ม.)
V_{pr}	คือ ปริมาณน้ำควบคุมในอ่างเก็บน้ำเมื่อวางระบายน้ำสันหลักเต็ม (ลบ.ม.)
SW	คือ ปริมาณน้ำในดินเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (มม.)
FC	คือ ปริมาณน้ำของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่สนาม (filed capacity) (มม.)
mon	คือ เดือนในรอบปี
$mon_{fld,beg}$	คือ เดือนเริ่มของฤดูน้ำหลาก

$mon_{fld,end}$ คือ เดือนสิ้นสุดของฤดูน้ำหลาก

ส่วนการไหลออกของหนอง/บึงมีลักษณะดังนี้

$$V_{flowout} = 0 \quad \text{if } V < V_{nor} \quad (2.59)$$

$$V_{flowout} = \frac{V - V_{nor}}{10} \quad \text{if } V_{nor} \leq V \leq V_{mx} \quad (2.60)$$

$$V_{flowout} = V - V_{mx} \quad \text{if } V > V_{mx} \quad (2.61)$$

เมื่อ

$V_{flowout}$ คือ ปริมาณน้ำไหลออกของแหล่งน้ำระหว่างวัน (ลบ.ม.)

V คือ ปริมาณน้ำเก็บกักในพื้นที่ชุ่มน้ำ (ลบ.ม.)

V_{mx} คือ ปริมาณน้ำควบคุมในพื้นที่ลุ่มน้ำ (wetland) เมื่อระดับน้ำสูงสุดเต็ม (ลบ.ม.)

V_{nor} คือ ปริมาณน้ำควบคุมในพื้นที่เมื่อระดับน้ำปกติเต็ม (ลบ.ม.)

2.2.3.3 ตะกอนในพื้นที่ที่น้ำกักขัง (Sediment in Water Bodies)

1. สมดุลมวล (Mass Balance)

$$sed_{wb} = sed_{wb,i} + sed_{flowin} + sed_{stl} - sed_{flowout} \quad (2.62)$$

เมื่อ

sed_{wb} คือ ปริมาณตะกอนในแหล่งน้ำที่สิ้นสุดวัน (metric tons)

$sed_{wb,i}$ คือ ปริมาณตะกอนในแหล่งน้ำเริ่มต้นวัน (metric tons)

sed_{flowin} คือ ปริมาณตะกอนที่เติมในแหล่งน้ำด้วยการไหล (metric tons)

sed_{stl} คือ ปริมาณตะกอนที่เคลื่อนตัวออกจากแหล่งน้ำโดยตะกอน (settling) (metric tons)

$sed_{flowout}$ คือ ปริมาณตะกอนที่เคลื่อนออกของแหล่งน้ำด้วยการไหลออก (metric tons)

2. ตะกอน (Settling)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ขังน้ำของแต่ละวันสามารถคำนวณได้ในฟังก์ชันของความเข้มข้น ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยเริ่มต้น มีดังนี้

$$conc_{sed,i} = \frac{(sed_{wb,i} + sed_{flowin})}{(V_{stored} + V_{flowin})} \quad (2.63)$$

เมื่อ

$conc_{sed,i}$ คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำ (เมกะกรัม/ลบ.ม.)

$sed_{wb,i}$ คือ ปริมาณตะกอนในแหล่งน้ำที่เริ่มต้นวัน (metric tons)

sed_{flowin} คือ ปริมาณตะกอนที่เติมในแหล่งน้ำด้วยการไหลเข้า (metric tons)

V_{stored} คือ ปริมาตรเก็บกักในแหล่งน้ำหรือลำน้ำที่เริ่มต้นวัน (ลบ.ม.)

V_{flowin} คือ ปริมาณน้ำที่เข้าในแหล่งน้ำของแต่ละวัน (ลบ.ม.)

ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยสุดท้าย มีดังนี้

$$conc_{sed,f} = (conc_{sed,i} - conc_{sed,eq}) \cdot \exp[-k_s \cdot t \cdot d_{50}] + conc_{sed,eq} \quad \text{if } conc_{sed,i} > conc_{sed,eq} \quad (2.64)$$

$$conc_{sed,f} = conc_{sed,i} \quad \text{if } conc_{sed,i} \leq conc_{sed,eq} \quad (2.65)$$

เมื่อ

$conc_{sed,f}$ คือ ความเข้มข้นของตะกอนสุดท้ายในแหล่งน้ำ (เมกะกรัม/ลบ.ม.)

$conc_{sed,eq}$ คือ ความเข้มข้นในสภาวะสมดุลของของแข็งแขวนลอยในแหล่งน้ำ (เมกะกรัม/ลบ.ม.)

k_s คือ การย่อยสลายคงที่ (Decay constant) (ลิตร/วัน)

t คือ ระยะเวลาในการพิจารณา (1 วัน)

d_{50} คือ ขนาดของอนุภาคค่ากลาง (Median) ของตะกอนที่ไหลเข้า (ไมโครเมตร)

สำหรับบ่อน้ำ และพื้นที่น้ำขัง ค่าขนาดของตะกอนเฉลี่ยที่เข้ามาสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$d_{50} = \exp\left(0.41 \cdot \frac{m_c}{100} + 2.71 \cdot \frac{m_{silt}}{100} + 5.7 \cdot \frac{m_s}{100}\right) \quad (2.66)$$

เมื่อ

m_c คือ ร้อยละของดินเหนียวในชั้นผิวดินของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

m_{silt} คือ ร้อยละของดินโคลนในชั้นผิวดินของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

m_{sand} คือ ร้อยละของดินทรายในชั้นผิวดินของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

ปริมาณตะกอนที่ไหลออกสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$sed_{stl} = (conc_{sed,i} - conc_{sed,f}) \cdot V \quad (2.67)$$

เมื่อ

$sed_{wb,i}$ คือ ปริมาณตะกอนที่เคลื่อนตัวออกจากแหล่งน้ำโดยตะกอน (metric tons)

$conc_{sed,i}$	คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำ (มิลลิกรัม/ลบ.ม.)
$conc_{sed,f}$	คือ ความเข้มข้นตะกอนสุดท้ายในแหล่งน้ำ (มิลลิกรัม/ลบ.ม.)
V	คือ ปริมาตรน้ำในพื้นที่กักขัง (ลบ.ม.)

3. การไหลออกของตะกอน (*Sediment Outflow*)

ปริมาณของตะกอนที่เคลื่อนตัวออกจากพื้นที่ขังน้ำสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$sed_{flowout} = conc_{sed,f} \cdot V_{flowout} \quad (2.68)$$

เมื่อ

$sed_{flowout}$ คือ ปริมาณการขนส่งตะกอนออกจากแหล่งน้ำด้วยการไหลออก (metric tons)

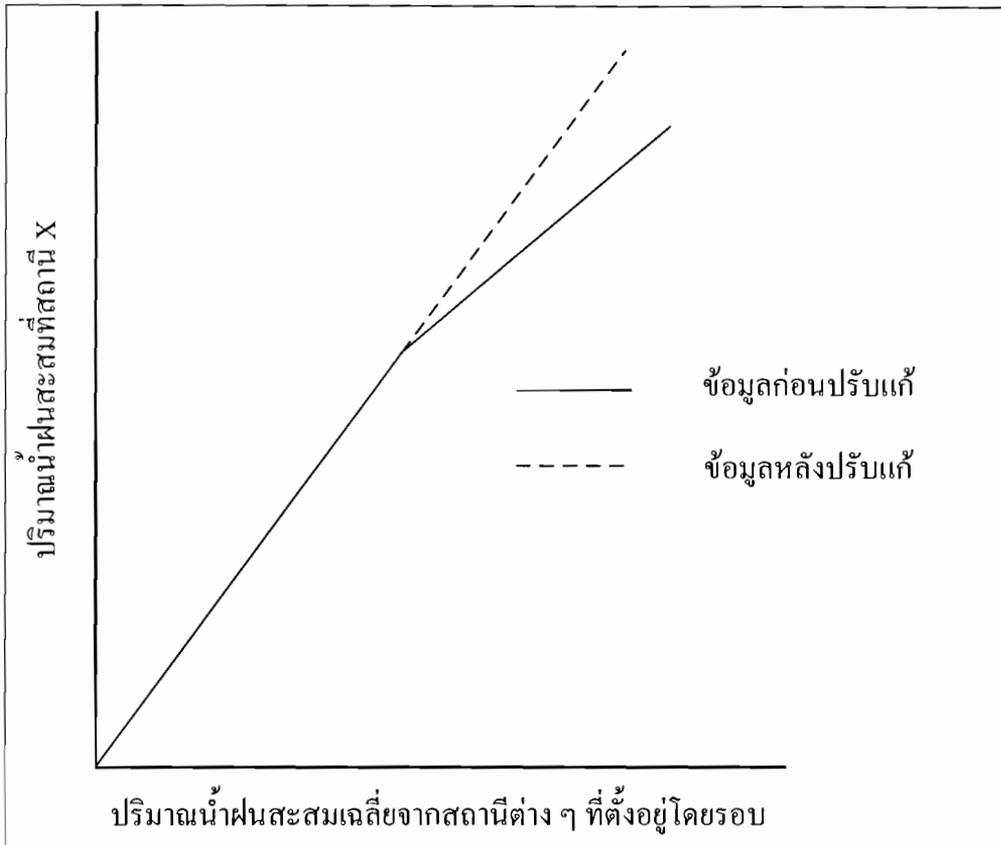
$conc_{sed,f}$ คือ ความเข้มข้นตะกอนสุดท้ายในแหล่งน้ำ (มิลลิกรัม/ลบ.ม.)

V คือ ปริมาตรการไหลออกจากพื้นที่กักขัง (ลบ.ม.)

2.3 การตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุตุ – อุทกวิทยา

2.3.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาจะต้องอาศัยการเก็บข้อมูลที่ยาวนาน ซึ่งข้อมูลที่ตรวจวัดและรวบรวมมานั้น อาจเกิดความไม่น่าเชื่อถือของข้อมูลได้ เช่น อาจมีการเปลี่ยนตำแหน่งของสถานี หรือการเปลี่ยนวิธีการเก็บข้อมูล เป็นต้น ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลดังกล่าว วิธีที่เลือกมาใช้ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลคือ Double Mass analysis [3] เป็นการเปรียบเทียบค่าสะสมของปริมาณน้ำฝนรายปีของสถานีที่ตรวจสอบและค่าสะสมของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของสถานีต่างๆ ที่ตั้งอยู่โดยรอบ การเปรียบเทียบกระทำโดยการพล็อตค่าสะสมของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของสถานีที่ต้องการจะตรวจสอบกับค่าเฉลี่ยของค่าสะสมปริมาณน้ำฝนรายปีจากสถานีต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.13 หากข้อมูลเชื่อถือได้ กราฟที่พล็อตได้จะเป็นเส้นตรงมีความลาดเทเดียวกัน



รูปที่ 2.13 การปรับค่าข้อมูลน้ำฝนด้วยวิธี Double mass curve

2.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทางอุทกวิทยาเช่น ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า เป็นต้น เป็นข้อมูลที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระมากมาย [5] และมีความสัมพันธ์ต่อกันที่ค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นต้องมีการศึกษาและทำความเข้าใจถึงข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่เก็บได้นั้นเป็นข้อมูลเชิงสถิติ และยังพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ข้อมูลทางอุทกวิทยาสามารถวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อคุณลักษณะของข้อมูลจากตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.3.2.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)

เป็นตัววัดถึงค่าโน้มน้ำหนักส่วนกลาง (Central tendency) ค่าโน้มน้ำหนักส่วนกลางนี้อาจจะวัดได้จากค่าตรงกลางหรือมัธยฐาน (Median) ค่าที่ซ้ำกันมาก ๆ หรือฐานนิยม (Mode) และค่าเฉลี่ยน้ำหนัก (Weighted mean) มีสมการคำนวณดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (2.69)$$

เมื่อ

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย

X_i คือ ค่าตัวแปร

N คือ จำนวนข้อมูล

2.3.2.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

เป็นตัววัดการกระจายของข้อมูล X_i จากค่าเฉลี่ย \bar{X} มีสมการคำนวณดังนี้

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (2.70)$$

เมื่อ

S_x คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย

X_i คือ ค่าตัวแปร

N คือ จำนวนข้อมูล

2.3.2.3 สัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation)

เป็นค่าวัดการแปรผันเทียบกับค่าเฉลี่ย เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยมีหน่วยกัน ค่า C_v จึงไม่มีหน่วย มีสมการคำนวณดังนี้

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{X}} \quad (2.71)$$

เมื่อ

C_v คือ สัมประสิทธิ์การแปรผัน

S_x คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย

2.3.2.4 สัมประสิทธิ์การเฉ (Skew Coefficient)

เป็นการที่ข้อมูลมีการกระจายที่เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้ลักษณะความสัมพันธ์ไม่สมมาตร มีลักษณะดังนี้

$$g = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S_x} \quad (2.72)$$

เมื่อ

g คือ สัมประสิทธิ์การเฉ ถ้าการกระจายเป็นแบบสมมาตร $g = 0$

ถ้าเอียงไปทางขวา $g > 0$

ถ้าเอียงไปทางซ้าย $g < 0$

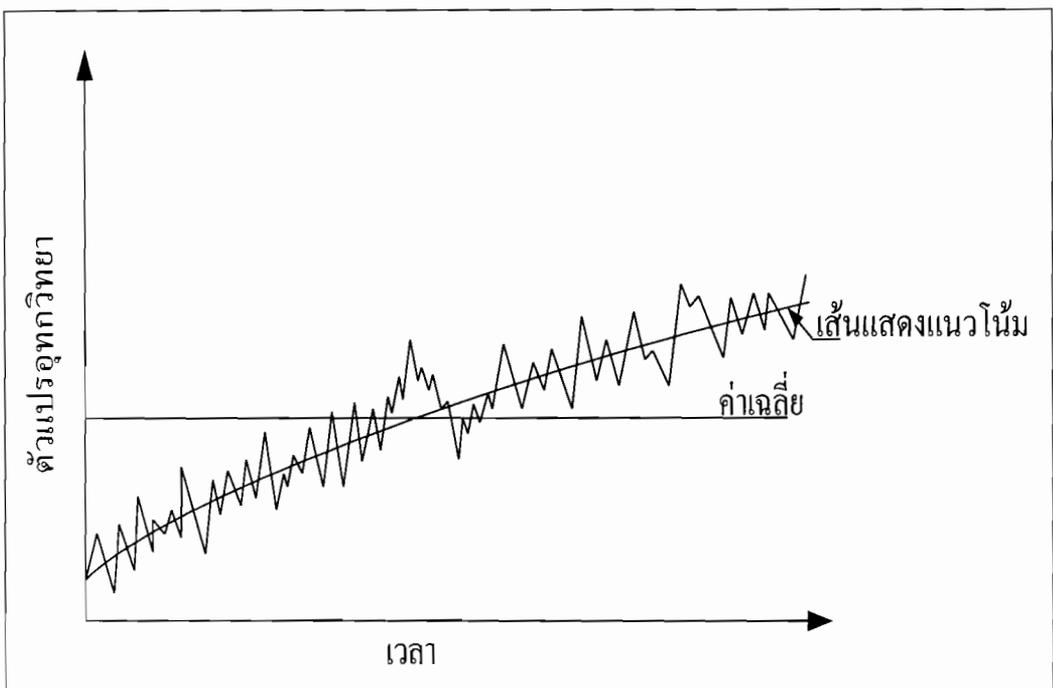
S_x	คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
\bar{X}	คือ ค่าเฉลี่ย
X_i	คือ ค่าตัวแปร

2.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Analysis)

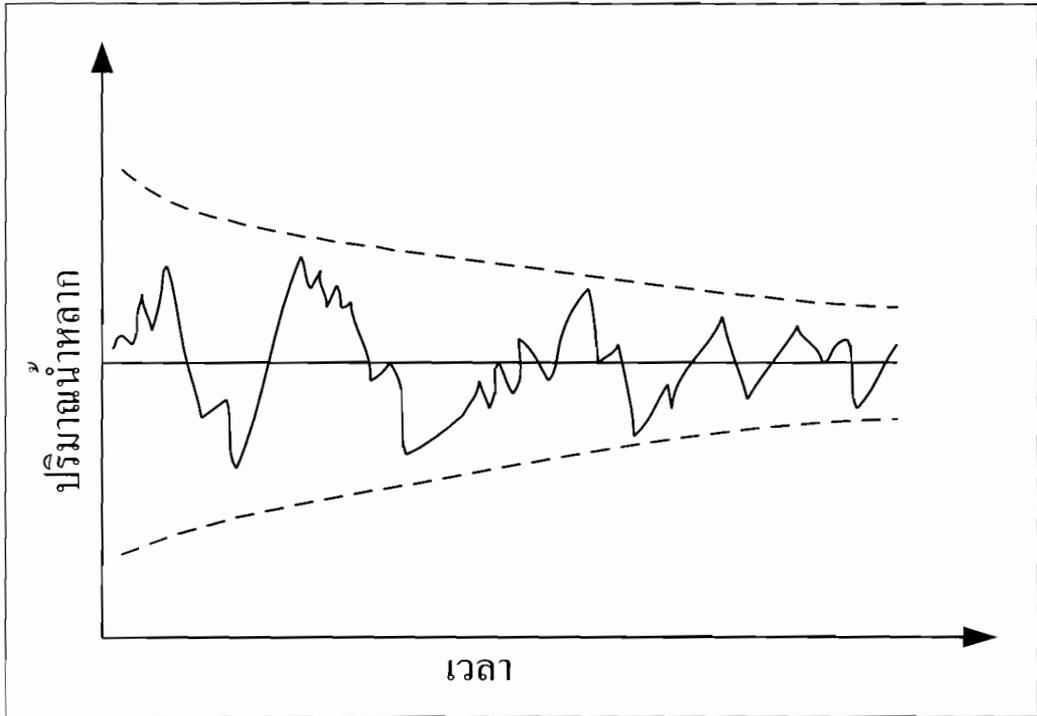
2.3.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยแบบแนวโน้มข้อมูลทั้งหมด

ชุดข้อมูลที่มีการบันทึกเทียบกับเวลาที่แน่นอนเรียกว่า ข้อมูลอนุกรมเวลา ลักษณะของข้อมูลทางอุทกวิทยาจะมีการแปรผันสูง และค่าเฉลี่ยมีลักษณะแปรผันแบบสุ่มค่อนข้างกว้าง แนวโน้ม (Trend) ของข้อมูลจะเห็นได้ชัดเจนจากการเทียบกับเวลาที่เกิดข้อมูลนั้น กราฟอาจแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยในลักษณะหนึ่งโดยเฉพาะ หรืออาจมาจากการเปลี่ยนแปลงของความแปรปรวนเอง รูปที่ 2.14 แสดงถึงแนวโน้มของข้อมูลกับเวลา การนำข้อมูลมาพล็อตเทียบกับเวลา (Scatter Diagram) จะทำให้ทราบถึงแนวโน้มของข้อมูลว่าเป็นอย่างไร ในกรณีที่สงสัยแนวโน้มของข้อมูล ให้แบ่งข้อมูลออกเป็นสองหรือสามช่วง ด้วยความยาวของเวลาเท่ากัน คำนวณหาค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วง

ส่วนรูปที่ 2.15 แสดงถึงแนวโน้มที่ค่าเฉลี่ยลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากความแปรปรวนลดลง แนวโน้มลักษณะนี้อาจจะสังเกตเห็นจากข้อมูลปริมาณน้ำท่า (Runoff) ที่เป็นผลมาจากการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำเพื่อควบคุมน้ำท่วมของพื้นที่รับน้ำ ตัวแปรทางอุทกวิทยาทั้งหลายมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ซึ่งเห็นได้ในลักษณะที่เป็นวงจรสำหรับข้อมูลที่มีการบันทึกยาวนาน



รูปที่ 2.14 แนวโน้มแสดงค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นกับเวลา



รูปที่ 2.15 แนวโน้มแสดงค่าเฉลี่ยลดลงกับเวลา

2.3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average)

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบหนึ่งในการเคลื่อนที่ค่าเฉลี่ย [5, 16] ของข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์ โดยข้อมูลทางอุทกวิทยาที่ได้เก็บบันทึกไว้แบบข้อมูลอนุกรมเวลา ได้แก่ ข้อมูลรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน หรือรายปี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการเก็บและการนำไปใช้งาน ตัวอย่างเช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_N$ ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\bar{X}_1 = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N}, \quad \bar{X}_2 = \frac{X_2 + X_3 + \dots + X_{N+1}}{N} \quad (2.73)$$

เมื่อ

\bar{X}_i คือ ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่ i

X_i คือ ข้อมูลที่นำมาหาค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่

N คือ จำนวนข้อมูลที่นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย

จำนวนข้อมูลที่นำมาหาค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ ถ้าใช้จำนวนข้อมูลที่น้อยเกินไป จะส่งผลให้แนวโน้มกำลังที่ทำการศึกษามีความแปรปรวนตามแนวโน้มข้อมูลทั้งหมด แต่ถ้าใช้จำนวนข้อมูลที่มากเกินไป จะส่งผลให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลหายาบ ไม่เห็นแนวโน้มลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหรือจะให้แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามแนวโน้มที่พิจารณาภาพรวมทั้งหมดข้อมูล ซึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝน จำนวนข้อมูลที่นำมาหาค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ทั่วไป จะเฉลี่ยอยู่

ที่ทุก ๆ 5 ปี เนื่องจากมองเห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ละเอียดมากเกินไปหรือหยาบมากเกินไป แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลและผู้ใช้งานที่นำไปวิเคราะห์ตามความเหมาะสม

2.4 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลอง SWAT สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุด ให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมและเกิดความถูกต้องในการคำนวณปริมาณน้ำท่ารายเดือนเทียบกับข้อมูลจากการตรวจวัดจริง ฟังก์ชันทางสถิติที่นำมาใช้วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการศึกษานี้คือ

Nash and Sutcliffe (NS) [13]

$$NS = 1 - \frac{\sum_1^n (O_i - M_i)^2}{\sum_1^n (O_i - O_{avg})^2} \quad (2.74)$$

เมื่อ

NS คือ Nash and Sutcliffe

O_i คือ ค่าปริมาณน้ำท่าตรวจวัดจริงที่เวลาใด ๆ (ล้านลบ.ม.)

M_i คือ ค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองที่เวลาใด ๆ (ล้านลบ.ม.)

O_{avg} คือ ค่าปริมาณน้ำท่าตรวจวัดจริงเฉลี่ยที่เวลาใด ๆ (ล้านลบ.ม.)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)

$$R^2 = \frac{N \sum_1^n O_i M_i - \sum_1^n (O_i) \sum_1^n (M_i)}{\sqrt{\left[N \sum_1^n O_i^2 - \left(\sum_1^n (O_i) \right)^2 \right] \left[N \sum_1^n M_i^2 - \left(\sum_1^n (M_i) \right)^2 \right]}} \quad (2.75)$$

เมื่อ

R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

O_i คือ ค่าปริมาณน้ำท่าตรวจวัดจริงที่เวลาใด ๆ (ล้านลบ.ม.)

M_i คือ ค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองที่เวลาใด ๆ (ล้านลบ.ม.)

N คือ จำนวนข้อมูลน้ำท่าช่วงที่พิจารณาความคลาดเคลื่อน

โดยที่ค่า NS และ R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องสมบูรณ์และสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง แต่ถ้าค่าทั้ง 2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลที่ได้ไม่มีความถูกต้อง และมีความสัมพันธ์กับข้อมูลตรวจวัดจริงน้อยมาก

บทที่ 3 พื้นที่ศึกษาและข้อมูลที่ใช้

3.1 ที่ตั้งและสภาพภูมิประเทศ

ในการศึกษานี้ได้ใช้ลุ่มน้ำปิงตอนบนเป็นพื้นที่ศึกษา โดยมีเขื่อนภูมิพลเป็นตัวแบ่งแยกระหว่างลุ่มน้ำปิงตอนบนกับลุ่มน้ำปิงตอนล่าง ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 23,370 ตารางกิโลเมตร บริเวณตอนกลางของลุ่มน้ำเป็นที่ตั้งของจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน ซึ่งมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจในภาคเหนือของประเทศไทย โดยทั้งสองจังหวัดประสบปัญหาอุทกภัยแทบทุกปีจากผลของลมมรสุมและพายุจร

ลุ่มน้ำปิงตอนบนตั้งอยู่ทางทิศเหนือของประเทศไทย [6, 18, 21] ลักษณะลุ่มน้ำวางตัวตามแนวเหนือ-ใต้ มีทิศเหนือและทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำสาละวิน และลุ่มน้ำกก ทิศใต้ติดกับลุ่มน้ำปิงตอนล่าง ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำวัง แผนที่ขอบเขตลักษณะสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในรูปที่ 3.1 ลุ่มน้ำสาขาที่สำคัญ คือ

1. แม่น้ำปิง ลุ่มน้ำปิงนับว่ามีพื้นที่รับน้ำฝนขนาดใหญ่ และมีความยาวค่อนข้างมาก นับเป็นลุ่มน้ำหลักของประเทศลุ่มน้ำหนึ่งต้นของแม่น้ำปิงอยู่บริเวณคอยด้วย ซึ่งอยู่ตะวันตกของช่องเมืองนะในอำเภอเชียงดาว จ.เชียงใหม่ไหลผ่านอำเภอต่างๆ ในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน เป็นเส้นแบ่งเขตแดน จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน
2. น้ำแม่แดง เป็นสาขาหนึ่งของลำน้ำแม่ปิง พื้นที่รับน้ำฝนมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว 80 กิโลเมตร ตามแนวเหนือ-ใต้ และกว้าง 40 กิโลเมตร ตามแนวตะวันออก-ตก ด้านเหนือสุดจดชายแดนพม่า ลำน้ำแม่แดงไหลมาสมทบกับลำน้ำปิงที่สบแดง ซึ่งห่างจากที่ตั้งที่ว่าอำเภอแม่แดงประมาณ 2 กิโลเมตร และห่างจากฝายแม่แดงประมาณ 5 กิโลเมตร ต้นน้ำแม่แดงเกิดจากขุนเขาในเทือกเขาดอยอินทนนท์ ซึ่งไหลลัดเลาะไปตามหุบเขายาวประมาณ 120 กิโลเมตร
3. น้ำแม่ริม เป็นสาขาหนึ่งของลำน้ำปิงไหลผ่านอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ มีความยาว 49 กิโลเมตร และพื้นที่รับน้ำฝน 573 ตารางกิโลเมตร
4. น้ำแม่จัด ต้นน้ำอยู่ในเขตอำเภอพร้าว ไหลลงเขื่อนแม่จัดไปรวมกับน้ำปิงที่อำเภอแม่แดงมีความยาว 70 กิโลเมตร และพื้นที่รับน้ำฝน 1,250 ตารางกิโลเมตร
5. แม่น้ำกวัง เป็นลำน้ำสาขาใหญ่สาขาหนึ่งของลำน้ำปิง มีต้นน้ำอยู่ที่บริเวณเทือกเขาในท้องที่อำเภอคอยสะเก็ด อำเภอสันทราย อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน ไหลลงสู่แม่น้ำปิงที่บ้านสบทาอำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน มีความยาวจากต้นน้ำถึงลำน้ำแม่ปิง 115 กิโลเมตร

6. น้ำแม่ทา มีต้นน้ำอยู่ที่คอยขุนทา ในเทือกเขาผีปันน้ำตะวันตก กิ่งอำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ ไหลผ่านที่ราบซึ่งขนานไปด้วยภูเขา ไปสู่อำเภอแม่ทาทางทิศใต้แล้วไหลวกขึ้นไปทางเหนือผ่านที่ราบเชียงใหม่ - ลำพูน ผ่านอำเภอป่าซาง แล้วบรรจบกับแม่น้ำกวังที่บ้านสบทา เขตต่อระหว่างอำเภอเมืองลำพูนกับอำเภอป่าซาง นอกจากนี้ น้ำแม่ทายังได้หล่อเลี้ยงพื้นที่ทำการเกษตรของชุมชนหลายตำบล ในกิ่งอำเภอแม่ออน อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน น้ำแม่ทา มีความยาวประมาณ 90 กิโลเมตร
7. น้ำแม่غان ต้นน้ำเกิดจากคอยแม่ตะละกับคอย แม่แคคน้อย อำเภอสะเมิง ไหลผ่านอำเภอแม่วาง ลงสู่แม่น้ำปิงฝั่งขวาที่ตำบลท่าวังพร้าว อำเภอสันป่าตอง น้ำแม่ทา มีความยาวประมาณ 107 กิโลเมตร
8. น้ำแม่กลาง ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาคอยอินทนนท์ด้านตะวันออก ไหลผ่านอำเภอจอมทอง ลงสู่แม่น้ำปิงฝั่งขวา น้ำแม่กลางมีความยาวประมาณ 45 กิโลเมตร
9. น้ำแม่แจ่ม ต้นน้ำเกิดจากภูเขาทิศเหนือของช่องปางเกี๊ยะ ในอำเภอแม่แจ่ม ผ่านตัวอำเภอแม่แจ่ม และอำเภอฮอด ไหลลงสู่แม่น้ำปิงฝั่งขวาที่บ้านสบแจ่ม อำเภอฮอด น้ำแม่แจ่มมีความยาวประมาณ 170 กิโลเมตร
10. น้ำแม่หาด ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาในเขตอำเภอลี้ จ.ลำพูน ไหลลงสู่แม่น้ำปิงฝั่งซ้ายที่อำเภอดอยเต่า น้ำแม่หาดมีความยาวประมาณ 70 กิโลเมตร
11. น้ำแม่ตื่น ต้นน้ำเกิดจากช่องเขาระหว่างอำเภอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ไหลผ่านอำเภอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ แล้วไหลลงสู่แม่น้ำปิงฝั่งขวาในเขตจังหวัดตาก น้ำแม่ตื่นมีความยาวประมาณ 150 กิโลเมตร
12. น้ำแม่ลี้ ต้นน้ำเกิดจากคอยขุนแม่ลี้คอยสบเทิม ในเขตอำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน ไหลผ่านหลายอำเภอ ตั้งแต่ทุ่งหัวช้าง ลี้ บ้านโฮ้ง น้ำแม่ลี้มีความยาวประมาณ 190 กิโลเมตร

3.2 สภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ปิงในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2504 - 2533) ที่สถานีตรวจอากาศจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และตาก สามารถสรุปได้ตารางที่ 3.1 และมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 อุณหภูมิ ลุ่มน้ำแม่ปิงตอนบน มีอุณหภูมิเฉลี่ยวัดได้ 25.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยวัดได้ 41.4 องศาเซลเซียสในเดือนพฤษภาคม และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยวัดได้ 3.7 องศาเซลเซียสในเดือนมกราคม

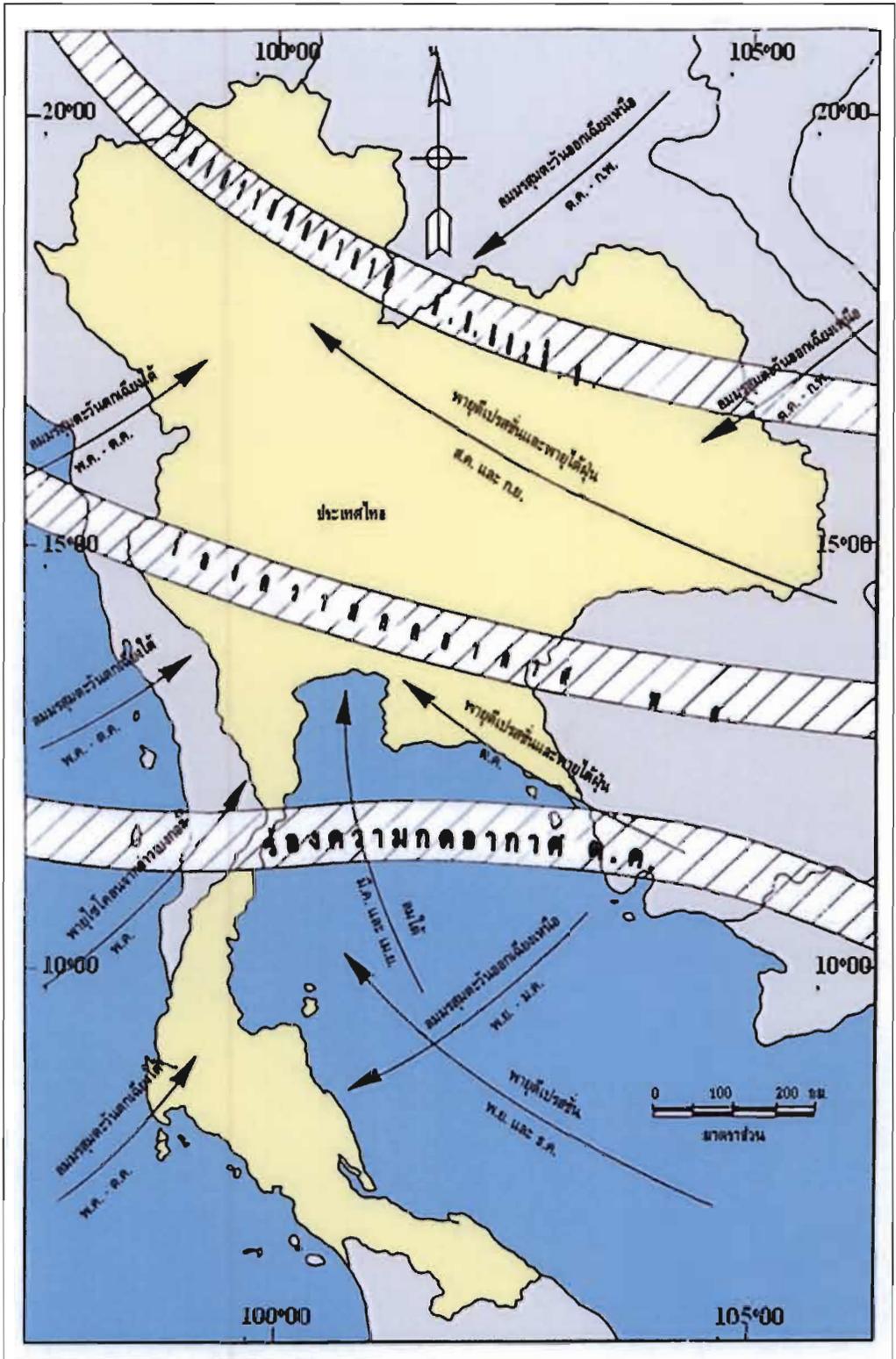
3.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน มีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 47 – 85 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยที่สถานีเชียงใหม่ 72 เปอร์เซ็นต์

3.2.3 ปริมาณน้ำระเหย ปริมาณน้ำระเหยรายเดือน มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ ในเดือนที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และอุณหภูมิสูงจะมีปริมาณน้ำระเหยสูง ปริมาณน้ำระเหยรายเดือนเฉลี่ยที่สถานีเชียงใหม่มีค่าตั้งแต่ 93.6 มม. ในเดือนธันวาคม ถึง 194.4 มม. ในเดือนเมษายน

3.2.4 ลม โดยทั่วไปลมจะมีกำลังแรงในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และกำลังอ่อนลงในฤดูหนาว ความเร็วลมรายเดือนเฉลี่ยมีค่าตั้งแต่ 1.4 ถึง 3.3 นี้อ ความแรงและทิศทางลมจะแปรเปลี่ยนไปตามทิศทางของร่องมรสุมหรือร่องความกดอากาศต่ำ ซึ่งโดยปกติจะเคลื่อนจากทางทิศใต้ขึ้นมาทางทิศเหนือ นอกจากร่องมรสุมนี้แล้วตัวการอีกอย่างหนึ่ง คือ อิทธิพลจากพายุไต้ฝุ่น พายุโซนร้อน ซึ่งจากสถิติที่ผ่านมา ปรากฏว่า พายุจรที่เข้ามามีอิทธิพลต่อลมฟ้าอากาศในประเทศไทยในแต่ละปีจะมีประมาณ 3 – 4 ครั้งด้วยกัน รายละเอียดทิศทางของลมมรสุม และพายุโซนร้อนที่พัดผ่านประเทศไทยในช่วงเวลาต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 สรุปข้อมูลสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ	หน่วย	ค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด	ค่าเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยรายปี
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	41.4	3.7	25.6
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	93	31	72
เมฆปกคลุม	0-10	8.5	2.0	5.2
ความเร็วลม	นี้อ	64	7.7	2.4
ปริมาณการระเหยจากภาค	มิลลิเมตร	194.4	93.6	1639.0



รูปที่ 3.2 ทิศทางลมมรสุม

หมายเหตุ ; การผันแปรค่าเฉลี่ยรายเดือนของข้อมูลตรวจวัดสภาพอากาศจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และ จังหวัดตาก แสดงในภาคผนวก ข

3.3 สภาพอตุ – อุตกวิทยา

3.3.1 ข้อมูลน้ำฝน

ลมมรสุมที่พัดผ่านทางตอนเหนือของประเทศไทยมีอยู่หลายลมมรสุม ซึ่งลมมรสุมที่พัดผ่านแต่ละครั้งจะนำพาสภาพอากาศและน้ำฝนมาด้วย ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนและบริเวณข้างเคียง ดังแสดงรายชื่อสถานีวัดน้ำและฝนช่วงปีที่บันทึกข้อมูลในตารางที่ 3.2 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียงแสดงในรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง

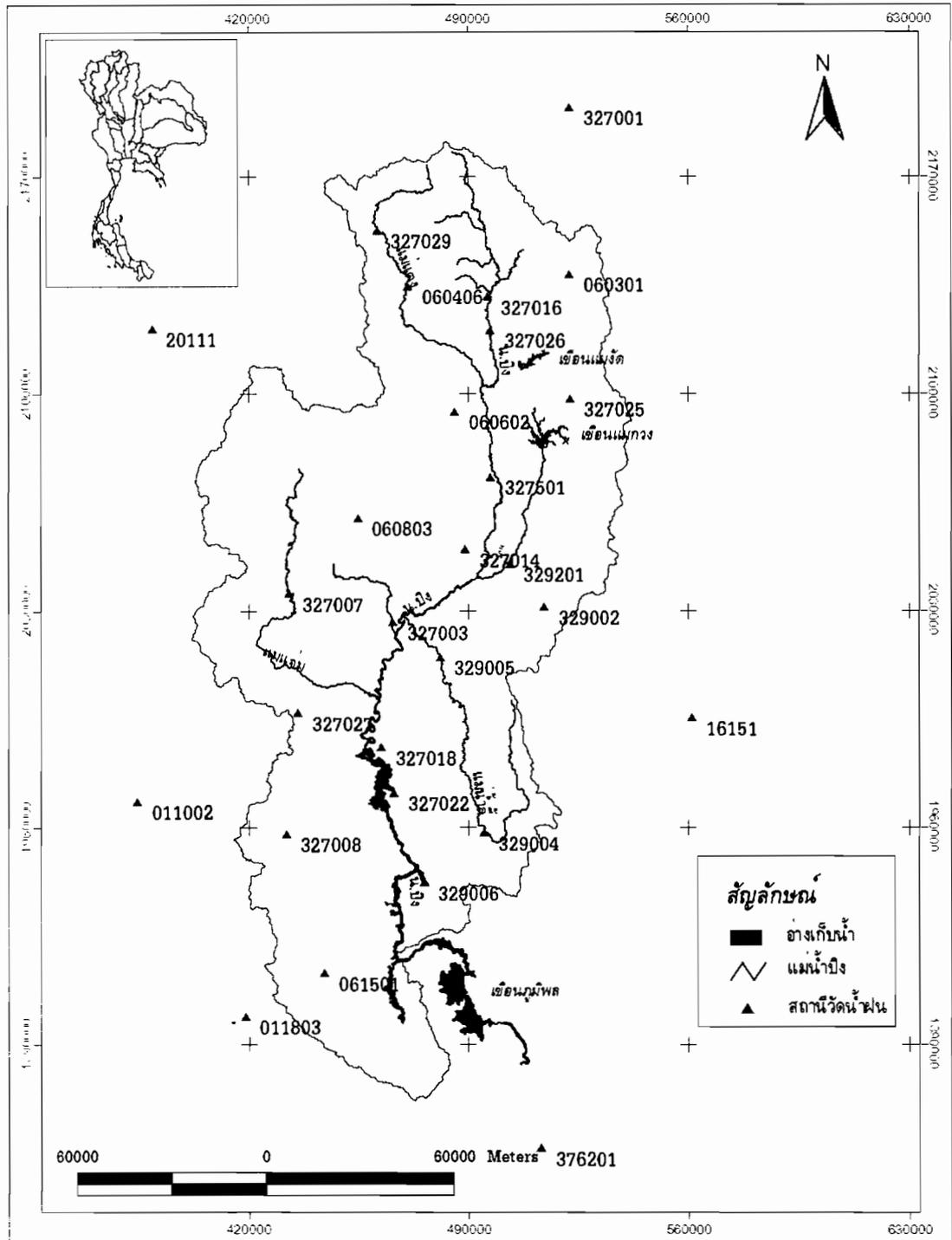
รหัสสถานีฝน	รายชื่อสถานีฝน	ช่วงข้อมูล	ช่วงข้อมูลที่ขาดหาย (เดือน/ปี)	ตำแหน่งสถานี		
				ระดับ(ม.)	ละติจูด	ลองจิจูด
327501	ศูนย์อุตุนิยมวิทยา ภาคเหนือ	2514-2500	-	304.51	18.47.24	98.58.37
327001	ฝาง	2519-2550	1-10,12/2519, 2523-2524, 21/7/2528-9/8/2528	460.00	19.55.00	99.14.00
327003	จอมทอง	2532-2549	-	280.00	18.25.00	98.40.00
327007	แม่แจ่ม	2519-2550	1/2519,4/2522, 3/2524	480.00	18.30.00	98.22.00
327008	อมก๋อย	2520-2550	4,10/2522, 2-3/2537	820.00	17.48.00	98.22.00
327014	สันป่าตอง	2526-2549	-	315.00	18.37.00	98.54.00
327016	เขียงคาว	2530-2550	-	390.00	19.22.00	98.59.00
327018	ต.บ้านอ้าน อ.คอยเต่า	2519-2547	2,12/2520,4/2522, 2/2523,2538, 5-12/2537,10/2541, 5/2546,3,9-12/2547	270.00	17.56.00	98.45.00
327022	นิคมสร้างตนเอง เขื่อนภูมิพล	2522-2550	2,10-11/2520	270.00	17.56.00	98.41.00

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง (ต่อ)

รหัสสถานีฝน	รายชื่อสถานีฝน	ช่วงข้อมูล	ช่วงข้อมูลที่ขาดหาย (เดือน/ปี)	ตำแหน่งสถานี		
				ระดับ(ม.)	ละติจูด	ลองจิจูด
327025	สวนป่าแม่หอพระ อ.แม่แตง	2520-2550	3-4/2520, 4/2521, 2,4-8/2527,5-8/2538	560.00	19.04.00	99.13.00
327026	สถานีวิจัยต้นน้ำ ดอยเชียงดาว	2520-2550	4,6,10-11/2522	1020.00	19.21.00	98.46.00
327029	เวียงแหง	2533-2550	2543,1-10/2549	730.00	19.33.00	98.38.00
329201	สตอ.ลำพูน	2524-2550	-	296.42	18.34.00	99.02.00
329002	แม่ทา	2523-2550	-	400.00	18.27.00	99.08.00
329004	อ.ลี้	2521-2550	2-6,8-9,12/2522, 8-9,11/2525, 6-12/2526,2527, 1-2,12/2528, 11-12/2532	0.00	17.45.00	98.58.00
329005	ปท.บ้านโอง	2519-2550	2520,12/2522	310.00	18.19.00	98.50.00
329006	โรงเรียน บ้านก้อจัดสรร อ.ลี้	2520-2550	8,11-12/2520, 2,11-12/2521, 1-2,4-5,10-12/2522	0.00	17.38.00	98.47.00
376201	สตอ.ตาก	1971-2550	-	124.12	16.53.00	99.07.00
060301	น้ำแม่จืด ที่บ้านดินธาตุ (1)	2522-2548	1-3/2522,2528	0.00	19-25-47	99-12-56
060406	น้ำแม่แดงที่เหนือ บ้านสันป่าสัก	2530-2548	1-10/2530	0.00	19-23-46	98-43-30
060602	น้ำแม่ริม ที่บ้านหนองกาย	2532-2548	-	0.00	19-01-48	98-52-03
060803	น้ำแม่เตียน ที่บ้านทุ่งหลวง	2518-2548	-	0.00	18-43-06	98-34-23

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง (ต่อ)

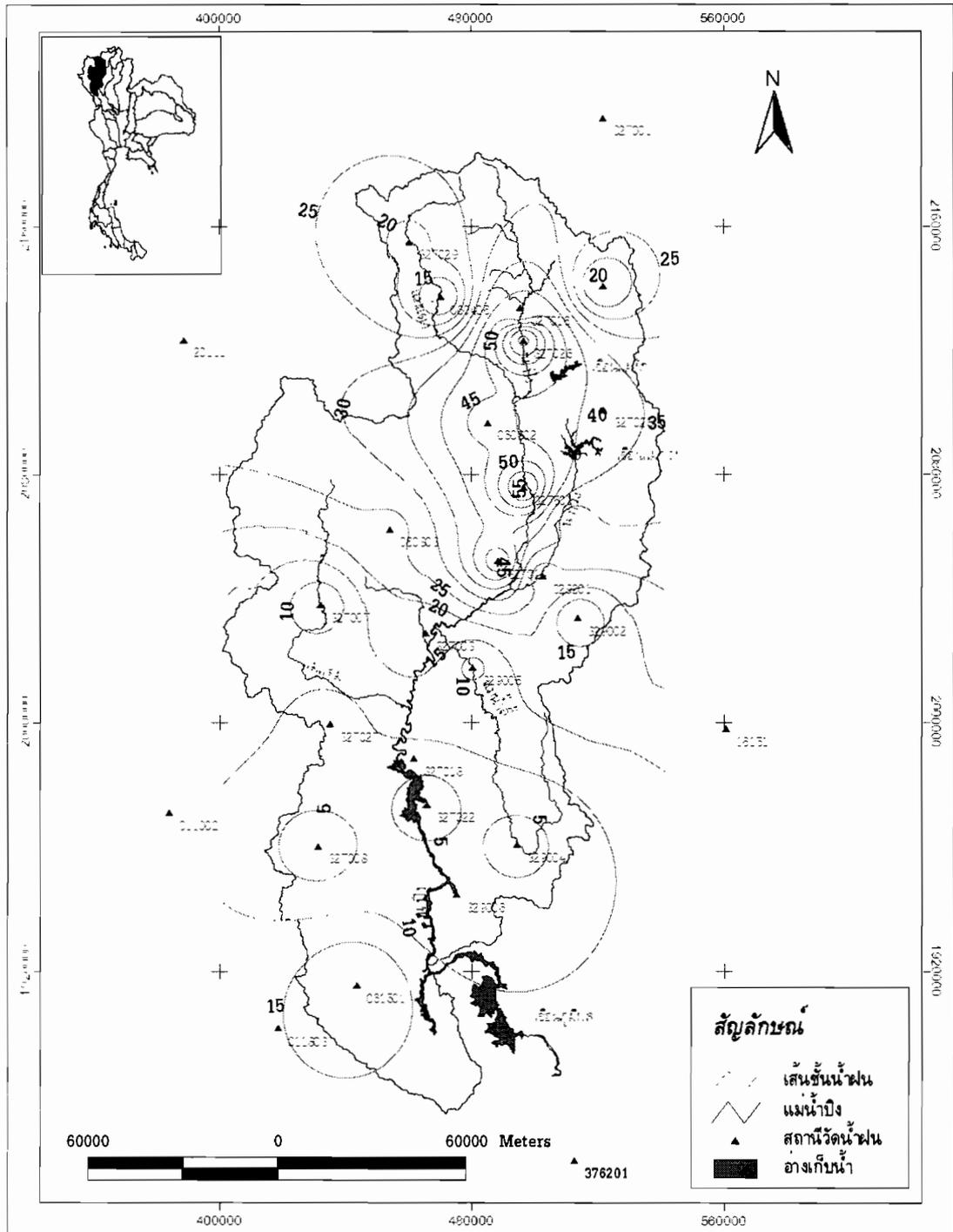
รหัสสถานี	รายชื่อสถานี	ช่วงข้อมูล	ช่วงข้อมูลที่ขาดหาย (เดือน/ปี)	ตำแหน่งสถานี		
				ระดับ(ม.)	ละติจูด	ลองจิจูด
061501	น้ำแม่ต้นที่บ้านป่าคา	2522-2548	3/2542	0.00	17-23-23	98-28-32
16151	น้ำแม่แจง (W.15) อ.แม่ทะ	2514-2549	8/2519,5/2540, 8/2542,6/2543, 6/2544,8/2549	0.00	18 08 09	99 34 53
20111	น้ำปาย (Sw.5A) อ.เมือง	2528-2549	8/2542,6/2543, 7/2544	0.00	19 16 10	97 56 55
011002	น้ำแม่ขวม ที่บ้านเรือผาแล	2512-2547	-	0.00	17-53-24	97-54-48
011803	น้ำแม่ตัน ที่บ้านแคพะทอทะ	2524-2547	-	0.00	17-15-48	98-14-24



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง

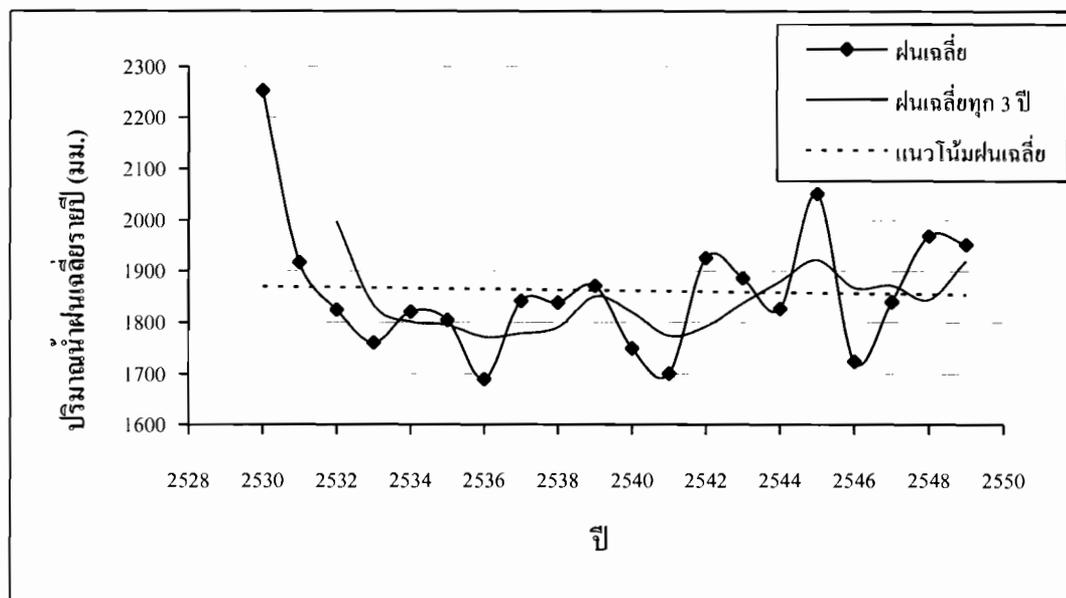
เนื่องจากพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในตอนเหนือของประเทศไทย สภาพพื้นที่มีภูเขาสลับซับซ้อน ทำให้ในการประเมินถึงน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มย่อยเบื้องต้นด้วยวิธี Thiessen Polygon ไม่สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง และข้อมูลน้ำฝนที่มีการตรวจวัดเก็บข้อมูลตามสถานีมีข้อมูลที่ขาดหายไปหลายช่วงเวลาและหลายสถานี ดังนั้นจึงได้เลือกใช้วิธีเส้นชั้นน้ำฝนในการประเมินปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมีความละเอียดและใกล้เคียงกับสภาพจริงมากขึ้น

การสร้างเส้นชั้นน้ำฝนทำโดยเลือกเหตุการณ์ฝนตกที่สถานีตรวจวัดน้ำฝนในพื้นที่และบริเวณข้างเคียงที่มีปริมาณน้ำฝนสูงเกิน 60 มม.ต่อวัน มาประมาณ 20 เหตุการณ์ และเหตุการณ์ฝนตกที่สถานีตรวจวัดน้ำฝนในพื้นที่และบริเวณข้างเคียงที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 15 – 20 มม.ต่อวัน เพื่อใช้เป็นตัวแทนเหตุการณ์ฝนตกทั้งหมด เนื่องจากลักษณะสภาพพื้นที่ศึกษาเป็นเทือกเขาสูงสลับซับซ้อนทำให้ต้องพิจารณาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาให้มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยใกล้เคียงกับความเป็นจริง ต่อมาคำนวณหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยระหว่างเส้นชั้นน้ำฝน เพื่อที่จะได้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษา จากนั้นกำหนดสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาที่มีข้อมูลบันทึกปริมาณน้ำฝนรายวันครบถ้วนตลอด 20 ปีย้อนหลัง (ปี พ.ศ. 2530 - 2549) เพื่อใช้เป็นตัวแทนปริมาณน้ำฝนของสถานีที่กำหนดหรือเรียกว่าสถานีวัดน้ำฝนดัชนี (Index Rainfall Station) จากนั้นทำการหาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยกับปริมาณน้ำฝนของสถานีวัดน้ำฝนดัชนีในเหตุการณ์เดียวกัน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำจากสถานีวัดน้ำฝนดัชนี สถานีวัดน้ำฝนดัชนีเป็นตัวแปลงค่าน้ำฝนให้เป็นน้ำฝนเฉลี่ย ลักษณะตัวอย่างของเส้นชั้นน้ำฝนและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำกับสถานีวัดน้ำฝนดัชนีแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่และปริมาณน้ำฝนสถานีวัดน้ำฝนดัชนีในกลุ่มน้ำย่อยอื่น ๆ แสดงในภาคผนวก ค

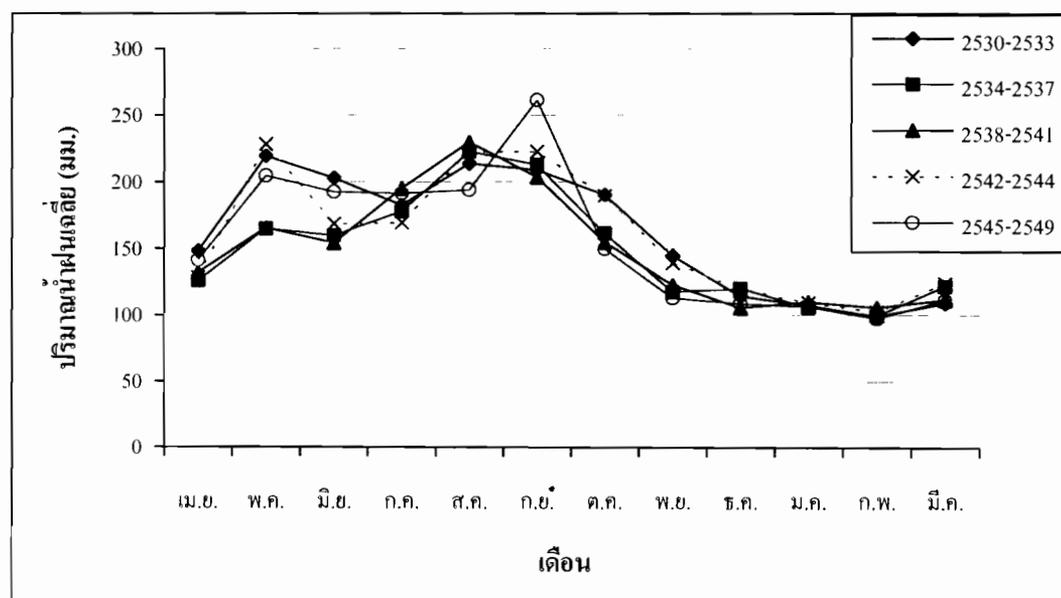


รูปที่ 3.4 ตัวอย่างเส้นชั้นน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง

ชัดเจนหรือไม่ชัดเจนว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ในที่นี้ได้อาศัยการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนทุกๆ 4 ปี พบว่า รูปแบบการกระจายปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนมีรูปแบบไปในแนวทางเดียวกันตลอดทุกๆ ช่วงของค่าเฉลี่ย 4 ปี แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.7 แต่การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณน้ำฝนที่แบ่งช่วงทุกๆ 4 ปีนั้น ยังไม่สามารถบอกได้ว่า ช่วงของปีใดมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายเดือนสูงหรือต่ำ เพราะจากผลการวิเคราะห์ที่นำมาพล็อตกราฟแสดงในรูปที่ 3.7 ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.6 กราฟปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาช่วงปี พ.ศ. 2530 - 2549



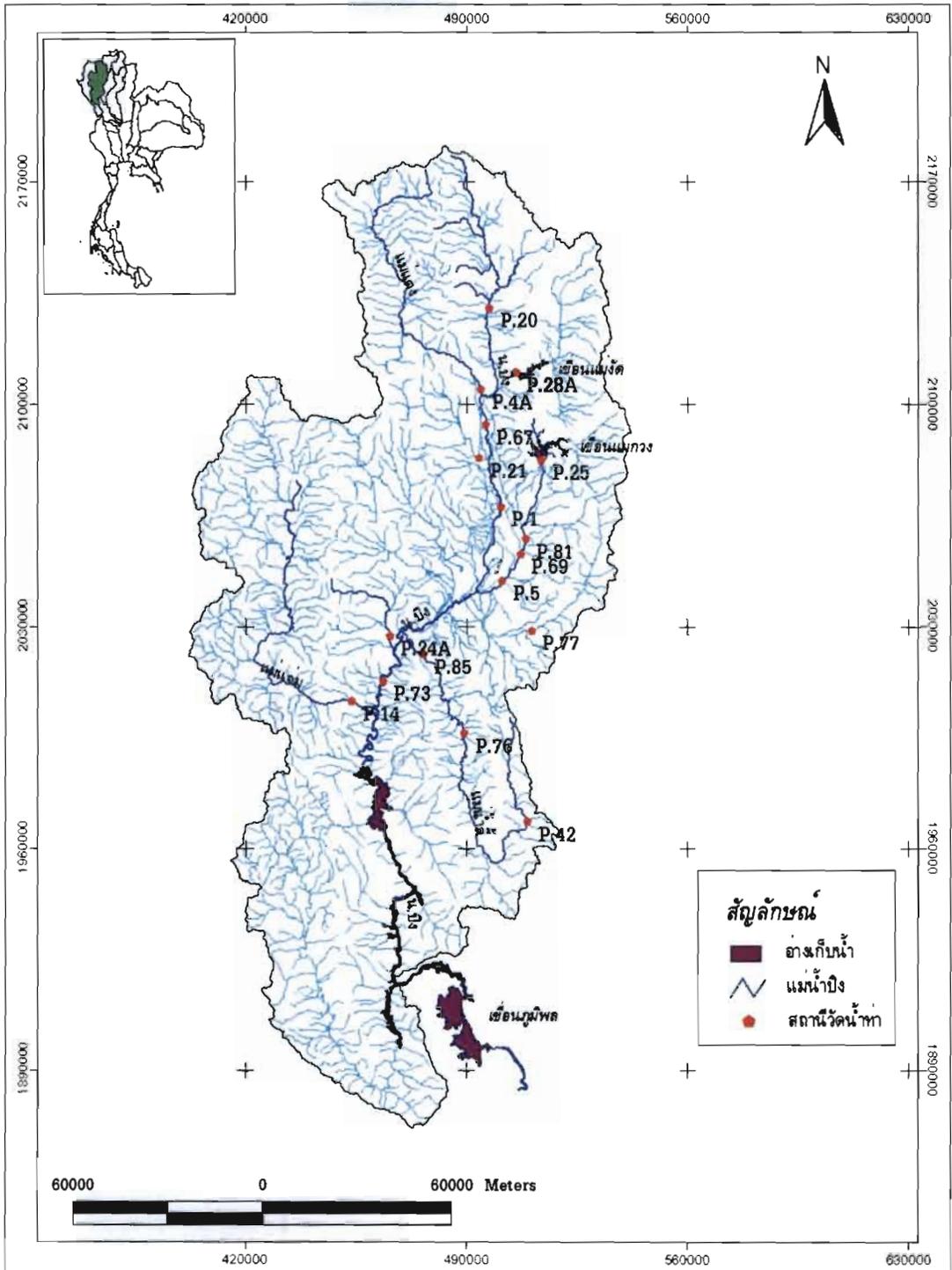
รูปที่ 3.7 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนทุกๆ 4 ปี

3.3.2 ข้อมูลน้ำท่า

พื้นที่ลุ่มน้ำปิงมีจุดแบ่งทางตอนบนและทางตอนล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำ คือ เขื่อนภูมิพล ในการศึกษาได้ศึกษาถึงปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปี โดยพิจารณาปริมาณน้ำท่าที่จุดทางออกของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน นั่นคือ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพล ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ได้มีการบันทึกไว้แสดงในตารางที่ 3.3 และแผนที่แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาแสดงในรูปที่ 3.8

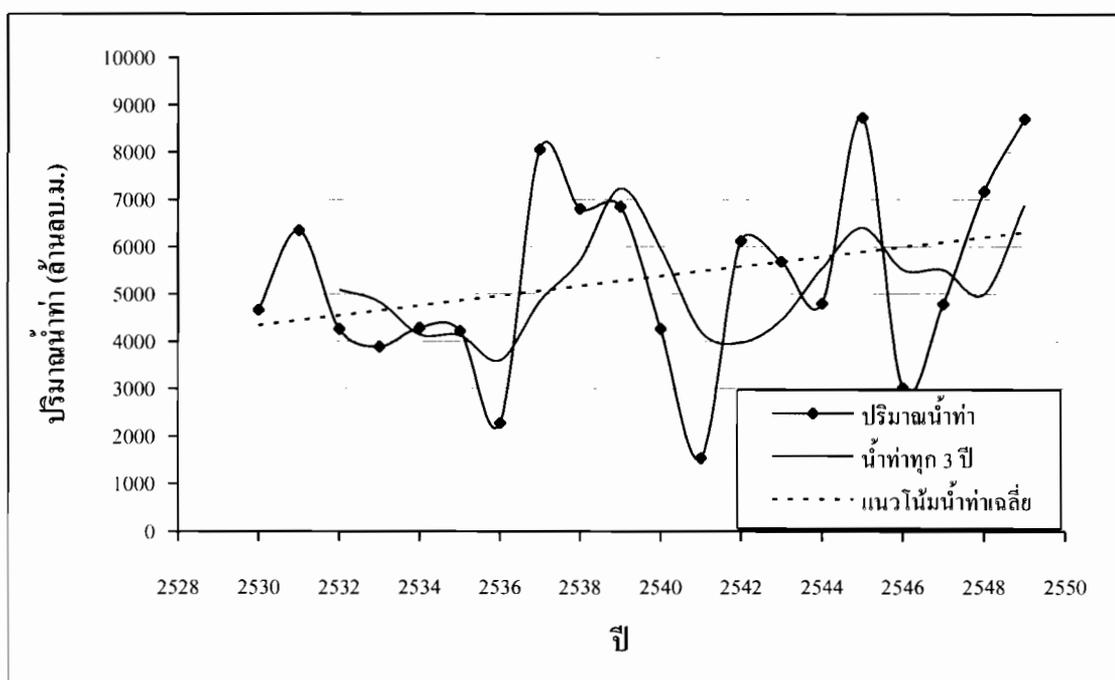
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา

รหัสสถานี	รายชื่อสถานี	ช่วงข้อมูล	ช่วงข้อมูลที่ขาดหาย (เดือน/ปี)	ตำแหน่งสถานี		
				ระดับ (ม.)	ละติจูด	ลองจิจูด
P.1	สะพานนารัฐ	2464-2549	-	0.00	18 47 09	99 00 29
P.14	แก่งออบหลวง	2497-2549	-	0.00	18 13 49	98 33 35
P.20	บ้านเชียงดาว	2522-2549	-	0.00	19 21 09	98 58 25
P.21	บ้านริมใต้	2497-2549	-	0.00	18 55 29	98 56 34
P.24A	สะพานประชาอุทิศ	2516-2549	-	0.00	18 25 01	98 40 29
P.25	บ้านผาแตก	2507-2511	4-5/2507,4-7,1- 3/2509,4-8,1- 3/2510,4,6-7/2511	0.00	18 55 04	99 07 50
P.28	บ้านใหม่	2509-2522	-	0.00	19 10 07	99 03 01
P.42	บ้านแม่บอน	2521-2544	-	0.00	17 53 16	99 05 20
P.4A	บ้านแม่แตง	2498-2549	-	0.00	19 07 15	98 56 51
P.5	สะพานท่าสิงห์ พิทักษ์	2497-2549	-	0.00	18 34 32	99 00 44
P.67	บ้านแม่แต	2539-2549	-	0.00	19 01 11	98 57 42
P.69	บ้านส่องกอก	2538-2543	-	0.00	18 39 06	99 04 02
P.73	บ้านสบสอย	2541-2549	-	0.00	18 17 18	98 39 11
P.76	บ้านแม่ฮิไอ	2543-2549	-	0.00	18 08 23	98 53 56
P.77	บ้านสบแม่สะปัวด	2542-2549	9/2548	0.00	18 25 57	99 0600
P.81	บ้านโป่ง	2545-2549	-	0.00	18 41 37	99 04 55
P.85	บ้านหลายแก้ว	2546-2549	5/2548	0.00	18 21 56	98 46 31

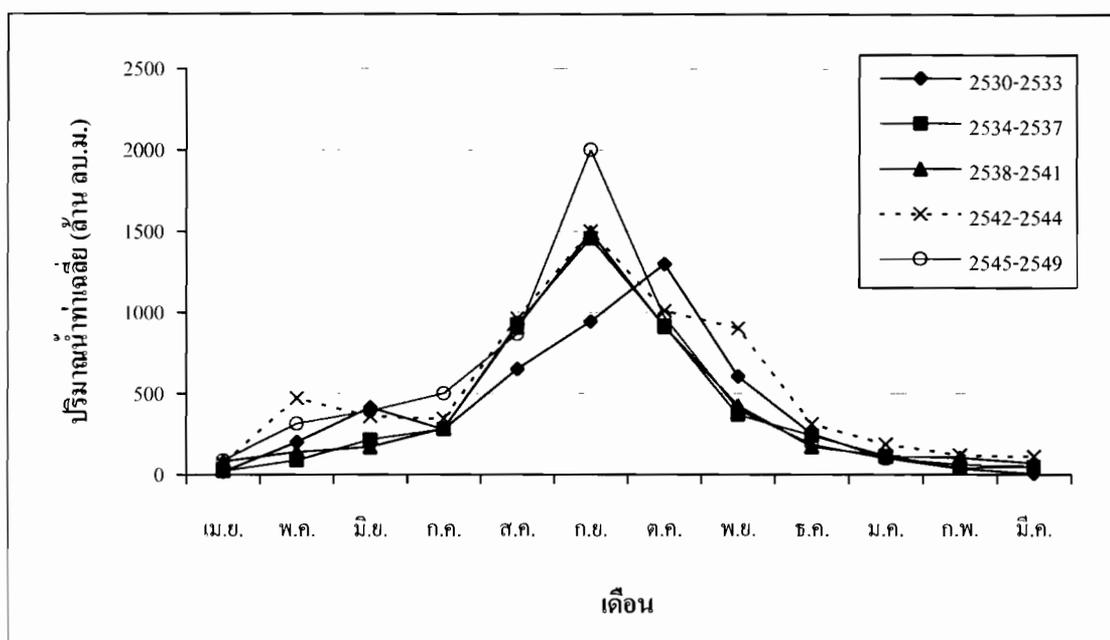


รูปที่ 3.8 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยลักษณะการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์แบบเดียวกับการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ย คือ วิเคราะห์แนวโน้มปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีแบบเคลื่อนที่ทุก ๆ 3 ปี และ แนวโน้มปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีตลอดช่วง 20 ปี ซึ่งจะได้ลักษณะแนวโน้มปริมาณน้ำท่ารายปีของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง คือ มีลักษณะของกราฟน้ำท่ารายปีสูงขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1,500 ถึง 9,000 ล้าน ลบ.ม. นอกจากนี้พบว่าปริมาณน้ำท่ารายปีมีแนวโน้มที่สูงขึ้น แต่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนทุก ๆ 4 ปี พบว่า รูปแบบการกระจายตัวของปริมาณน้ำท่ามีรูปแบบไปในทางเดียวกัน แต่ไม่ทั้งหมดเพราะช่วงปี พ.ศ. 2530 – 2533 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนตุลาคม ซึ่งต่างจากช่วงอื่นที่เกิดขึ้นในเดือนกันยายน แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีและรายเดือนแสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ



รูปที่ 3.9 กราฟปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในพื้นที่ศึกษาช่วงปี พ.ศ. 2530 - 2549



รูปที่ 3.10 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนทุกๆ 4 ปี

3.3.3 ข้อมูลอุทกภูมิ

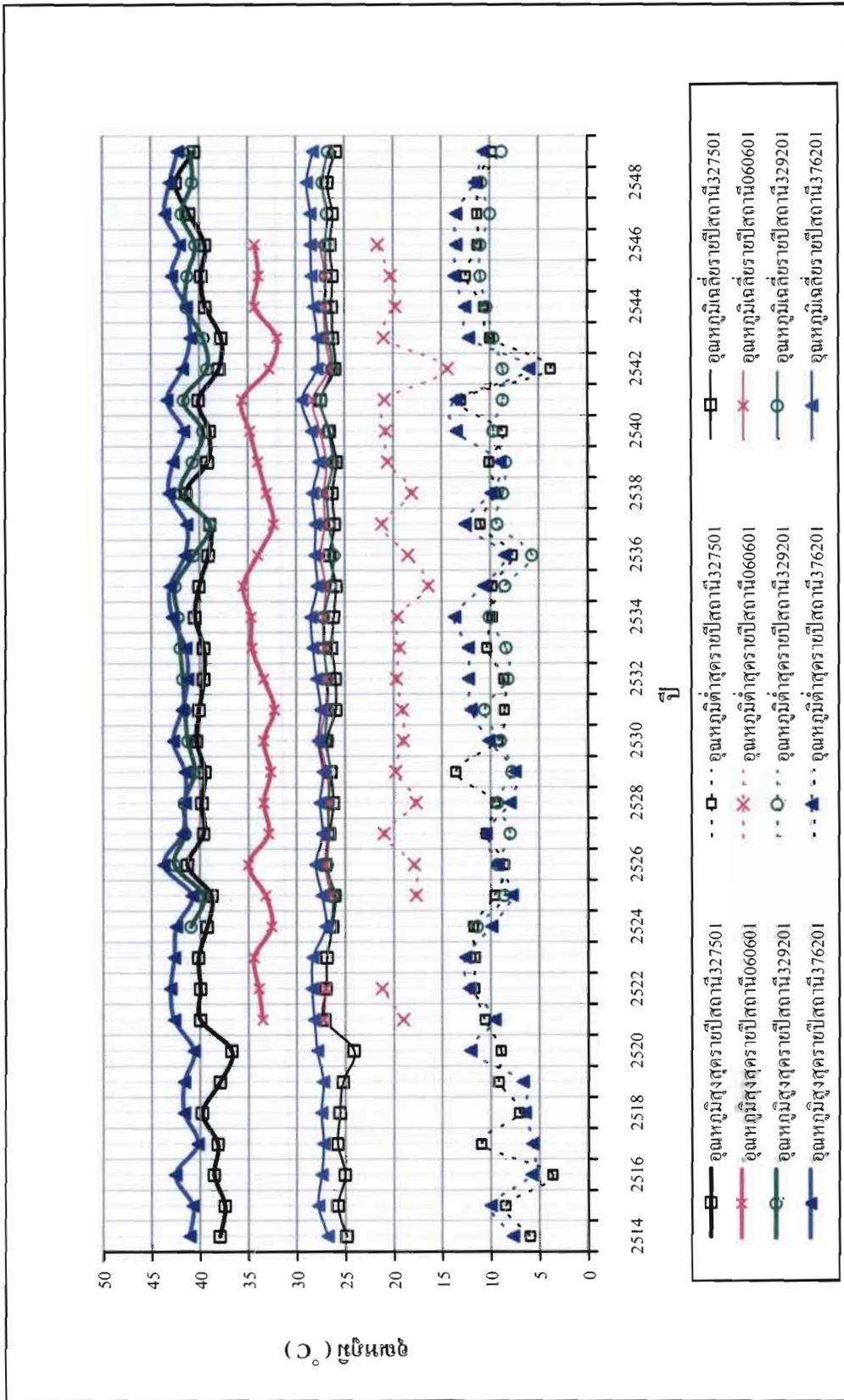
การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของอุทกภูมิสูงสุด อุทกภูมิต่ำสุด และอุทกภูมิเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งข้อมูลที่มีการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษามีอยู่ 4 สถานี คือ สถานีตรวจวัด 327501 ศูนย์อุตสาหกรรมวิทยาทลาดเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ สถานีตรวจวัด 329201 สดอ.ลำพูน จังหวัดลำพูน สถานีตรวจวัด 376201 สดอ.ตาก จังหวัดตาก กรมอุตุนิยมวิทยา และสถานีตรวจวัด 060601 ศูนย์สำรวจอุทกวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ กรมทรัพยากรน้ำ ข้อมูลสถานีตรวจวัดอุทกภูมิในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียงแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลสถานีวัดอุทกภูมิในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง

รหัสสถานี	รายชื่อสถานี	ช่วงข้อมูล	ช่วงข้อมูลที่ขาดหาย (เดือน/ปี)	ตำแหน่งสถานี		
				ระดับ (ม.)	ละติจูด	ลองจิจูด
327501	ศูนย์อุตสาหกรรมวิทยาทลาดเหนือ	2514-2550	-	304.51	18.47.24	98.58.37
329201	สดอ.ลำพูน	2524-2550	-	296.42	18.34.00	99.02.00
376201	สดอ.ตาก	2514-2550	-	124.12	16.53.00	99.07.00
060601	ศูนย์สำรวจอุทกวิทยาเชียงใหม่	2518-2547	2,10/1981		18.56.42	98.56.48

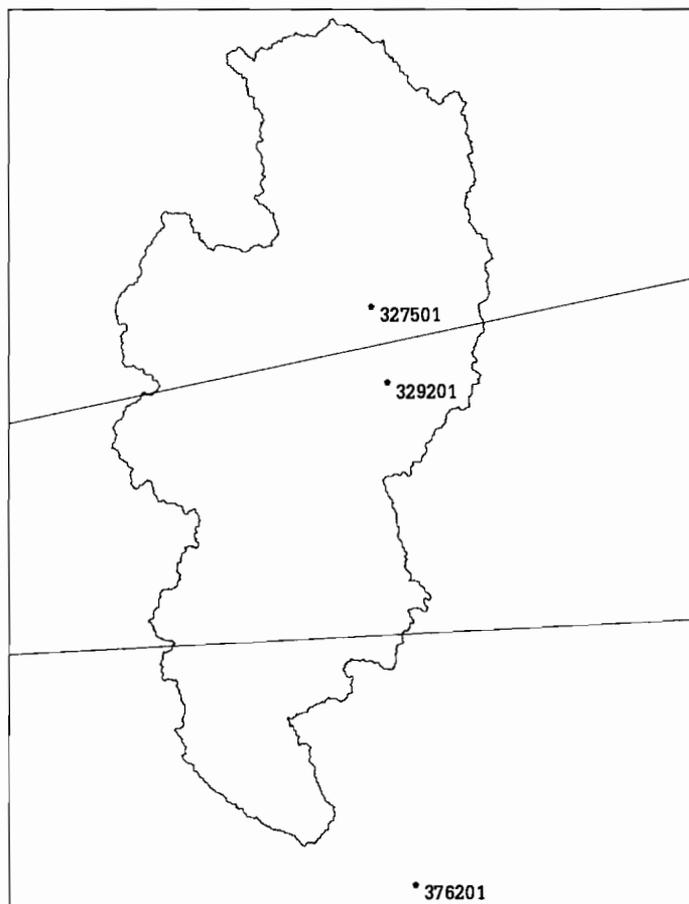
เมื่อตรวจสอบข้อมูลที่มีการตรวจวัดวัดอุณหภูมิ 4 สถานี พิจารณาค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันในแต่ละปี อุณหภูมิต่ำสุดรายวันในแต่ละปี และอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี โดยพล็อตกราฟค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบพบว่า อุณหภูมิสูงสุดรายวันในแต่ละปีของสถานีตรวจวัด 060601 มีค่าต่ำกว่าสถานีตรวจวัดอื่นอีก 3 สถานี ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันในแต่ละปีประมาณ 33–34 °C แต่ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันในแต่ละปีของสถานีตรวจวัดอื่นอีก 3 สถานี มีค่าประมาณ 39–41 °C นอกจากนี้ อุณหภูมิต่ำสุดรายวันในแต่ละปีของสถานีตรวจวัด 060601 มีค่าสูงกว่าสถานีตรวจวัดอื่น ซึ่งมีค่าประมาณ 19–20 °C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 4 สถานี กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิรายปีที่สถานีตรวจวัดในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียงแสดงในรูปที่ 3.11

นอกจากนี้ข้อมูลตรวจวัดอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัด 060601 มีช่วงข้อมูลที่ขาดหายไป ประกอบกับข้อมูลที่ใช้ในการนำเข้าแบบจำลองเป็นข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวัน ดังนั้น ในการศึกษานี้ ได้คัดเลือกสถานีตรวจวัดอุณหภูมิ 3 สถานีจากกรมอุตุนิยมวิทยา คือ สถานีตรวจวัด 327501 สถานีตรวจวัด 329201 และสถานีตรวจวัด 376201



รูปที่ 3.11 แนวโน้มอุดมhuriสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยรายปี ที่สถานีตรวจวัดอุดมhuriในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง

ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอุณหภูมิกกรมอุตุนิยมวิทยา อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนตลอดช่วง 20 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2530 - 2549) โดยนำข้อมูลจาก 3 สถานีตรวจวัด ได้แก่ สถานีตรวจวัด 327501 329201 และ 376201 นำมาหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษาด้วยวิธี Thiessen Polygon เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี อุณหภูมิสูงสุดรายปี อุณหภูมิต่ำสุดรายปี โดยลักษณะของสัดส่วนพื้นที่ของสถานีตรวจวัดแสดงในรูปที่ 3.12 และตารางที่ 3.5

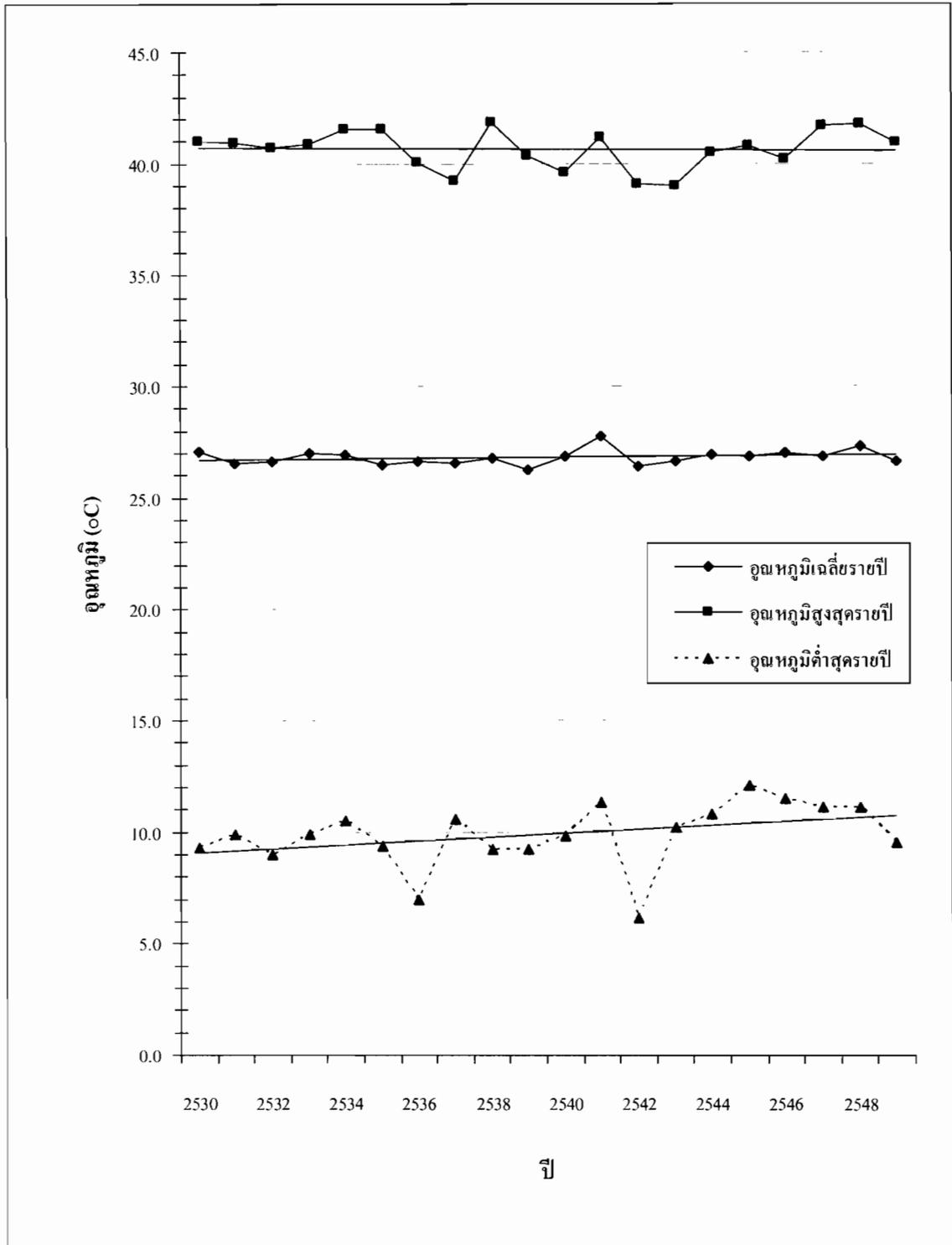


รูปที่ 3.12 แผนที่แสดงสัดส่วนพื้นที่ของสถานีวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.5 สัดส่วนพื้นที่ของสถานีตรวจวัดอุณหภูมิ

ลำดับ	สถานีตรวจวัดอุณหภูมิ	สัดส่วนพื้นที่
1	327501	0.44
2	329201	0.41
3	376201	0.15
รวม		1.00

จากการวิเคราะห์แนวโน้มอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษาตลอดช่วง 20 ปีย้อนหลัง แสดงในรูปที่ 3.13 พบว่า อุณหภูมิต่ำสุดรายปีมีแนวโน้มที่สูงขึ้น แต่แนวโน้มของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีและอุณหภูมิสูงสุด มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงไปจากอดีต



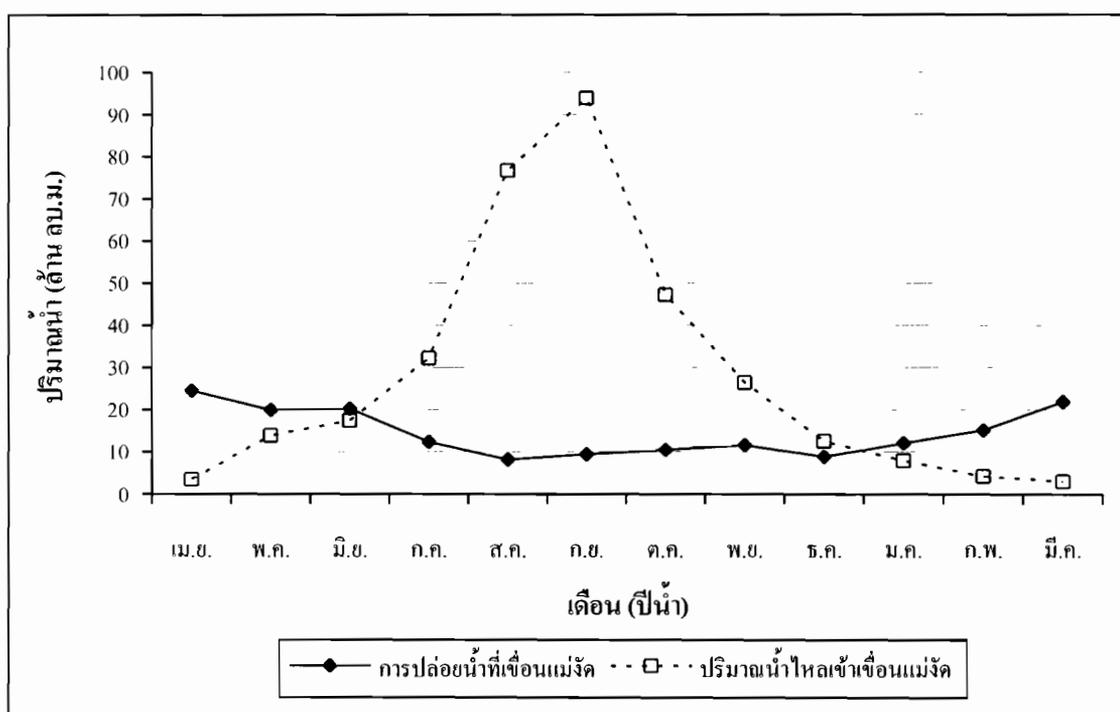
รูปที่ 3.13 แนวโน้มอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยรายปีในพื้นที่ศึกษา

3.4 อ่างเก็บน้ำในพื้นที่ศึกษา

อ่างเก็บน้ำในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ เขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลและเขื่อนแม่กวงอุดมธารา โดยมีลักษณะดังนี้

3.4.1 เขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล

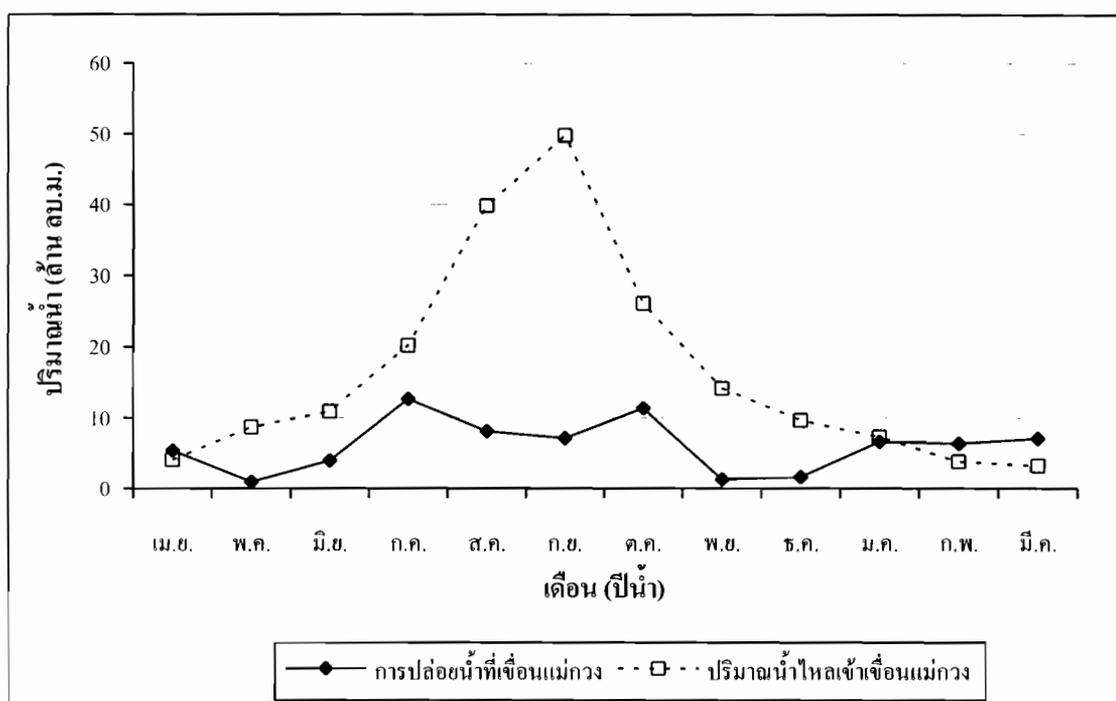
เขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล [20] ก่อสร้างขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2520 แล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2528 โดยปิดกั้นแม่น้ำแม่จัด ที่บ้านแม่วะ ตำบลช่อแล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ตัวเขื่อนเป็นเขื่อนดินแบบถมบดอัดแน่น มีความจุของเขื่อนที่ระดับสูงสุดที่ 325 ล้าน ลบ.ม. และ ความจุของเขื่อนที่ระดับเก็บกักที่ 265 ล้าน ลบ.ม. เขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล นำมาใช้ประโยชน์เพื่อการชลประทาน สามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกด้านท้ายได้ 30,000 ไร่ ป้องกันการเกิดอุทกภัยที่ตัวเมืองเชียงใหม่ สามารถป้องกันน้ำไหลหลากที่เกิดจากพื้นที่น้ำฝนเหนือเขื่อนไม่ให้ไหลบ่าลงไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้น้ำปริมาณทั้งหมด 265 ล้าน ลบ.ม. ยังใช้เป็นต้นทุนที่เก็บไว้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ปีละประมาณ 28.75 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ปริมาณน้ำไหลเข้าและปล่อยออกจากเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลรายเดือนเฉลี่ยตลอดช่วงปี พ.ศ. 2529 – 2550 แสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าและปล่อยน้ำเฉลี่ยรายเดือนของเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล ช่วงปี พ.ศ. 2529 - 2550

3.4.2 เขื่อนแม่กวงอุดมธารา

เขื่อนแม่กวงอุดมธารา [19] ก่อสร้างขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2530 แล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2536 เป็นเขื่อนดินถมบดอัดแน่น มีความจุของเขื่อนที่ระดับสูงสุดที่ 295 ล้าน ลบ.ม. และ ความจุของเขื่อนที่ระดับเก็บกักที่ 263 ล้าน ลบ.ม. เขื่อนแม่กวงอุดมธารา นำมาใช้ประโยชน์ด้านชลประทาน สามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกได้ประมาณ 175,000 ไร่ นอกจากนี้ สามารถบรรเทาอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กวงและลุ่มน้ำแม่ปิง จากบริเวณจุดบรรจบที่บ้านสบทา อำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน จนถึงตัวเมืองปริมาณน้ำไหลเข้าและปล่อยออกจากเขื่อนแม่กวงอุดมธารารายเดือนเฉลี่ยตลอดช่วงปี พ.ศ. 2537 – 2549 แสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าและปล่อยน้ำเฉลี่ยรายเดือนของเขื่อนแม่กวงอุดมธารา ช่วงปี พ.ศ. 2537 - 2549

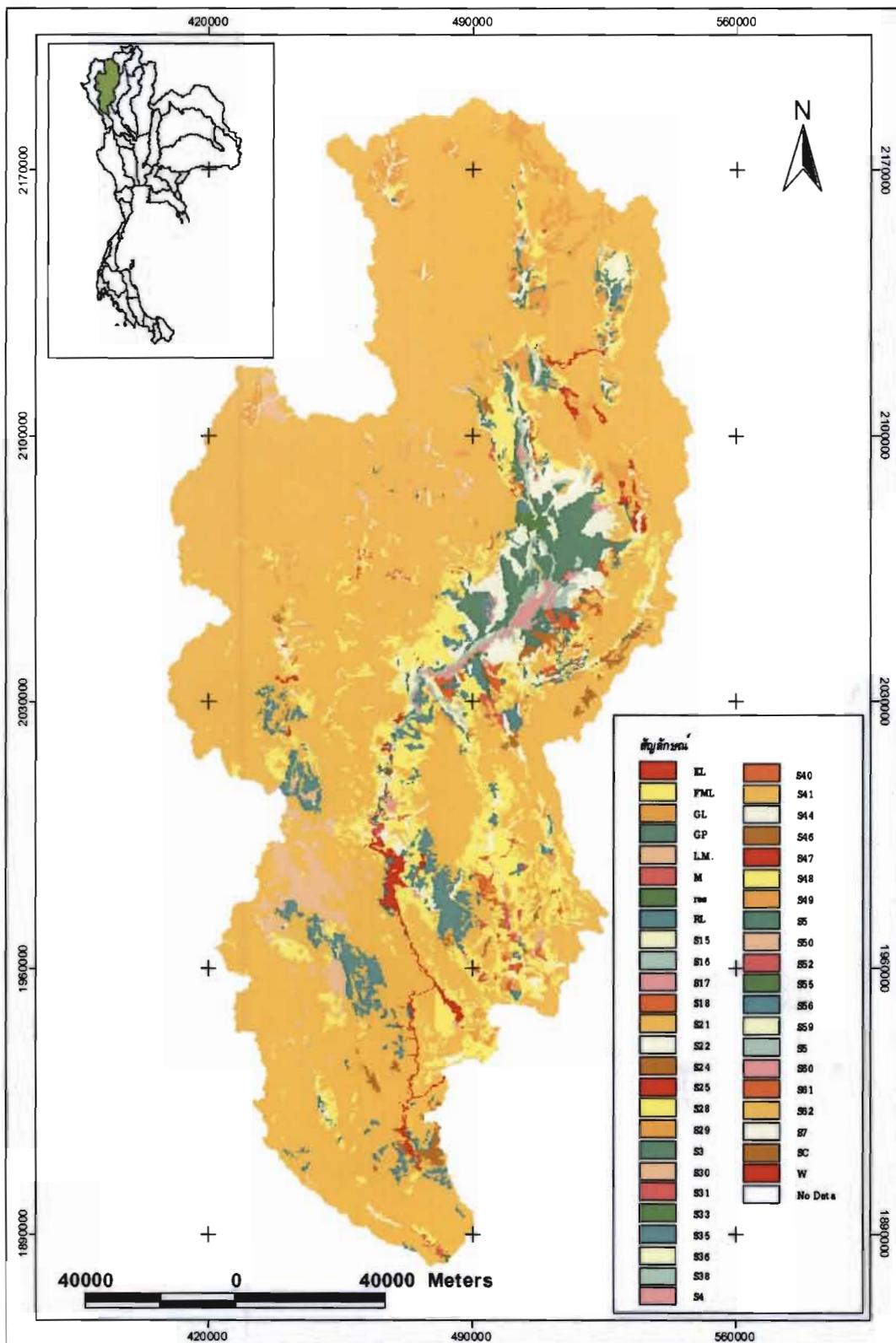
3.5 สภาพทรัพยากรดิน

การศึกษาเกี่ยวกับเรื่องดินของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ใช้ข้อมูลทรัพยากรดินของกรมพัฒนาที่ดิน การจำแนกดินในประเทศตามกรมพัฒนาที่ดินมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การจำแนกสภาพภูมิประเทศและการเพาะปลูก ในประเทศไทยมีการจำแนกกลุ่มชุดดินอยู่ 62 กลุ่ม และจำแนกตามคุณสมบัติของดิน ซึ่งลักษณะของข้อมูลสภาพดินจะกล่าวในหัวข้อ 3.7.3 พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่ครอบคลุม 23,370 ตร.กม. เมื่อนำแผนที่กลุ่มชุดดินที่มีมาตราส่วน 1 : 50,000 มาวิเคราะห์ตามขอบเขตพื้นที่ศึกษาในแผนที่กลุ่มชุดดิน พบว่า มีหน่วยแผนที่กลุ่มชุดดินอยู่ทั้งหมด 45 กลุ่มชุดดิน และกลุ่มชุดดินที่ 62 มีสัดส่วนพื้นที่มากถึงร้อยละ 69.02 ของพื้นที่ โดยกลุ่มชุดดินที่ 62 เป็นกลุ่มดินที่มีความลาดชันเชิงซ้อน (Slope Complex) สัดส่วนพื้นที่ของกลุ่มชุดดินที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาแสดงในตารางที่ 3.6 และลักษณะของการกระจายตัวของกลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.16 โดยที่รายละเอียดของแต่ละกลุ่มชุดดินจะแสดงในภาคผนวก ง

ตารางที่ 3.6 สัดส่วนพื้นที่กลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	กลุ่มชุดดิน	สัดส่วนพื้นที่
1	S15	0.11
2	S16	0.08
3	S17	0.06
4	S18	0.20
5	S21	0.12
6	S22	1.10
7	S24	0.10
8	S25	0.00
9	S28	0.08
10	S29	3.32
11	S3	0.10
12	S30	1.95
13	S31	0.17
14	S33	0.06
15	S35	1.36
16	S36	0.07
17	S38	0.70
18	S4	0.50
19	S40	0.53
20	S41	0.27
21	S44	0.60
22	S46	0.61
23	S47	0.25

ลำดับ	กลุ่มชุดดิน	สัดส่วนพื้นที่
24	S48	9.82
25	S49	0.10
26	S5	2.33
27	S50	0.01
28	S52	0.11
29	S55	0.01
30	S56	0.09
31	S59	2.15
32	S6	0.12
33	S60	0.15
34	S61	0.10
35	S62	69.02
36	S7	0.65
37	EL	0.05
38	FML	0.01
39	GL	0.02
40	GP	0.03
41	L.M.	0.03
42	M	0.02
43	res	0.19
44	RL	2.06
45	W	0.56



ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

รูปที่ 3.16 แผนที่กลุ่มชุดดิน

3.6 สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำในภาคเหนือของประเทศไทย ประกอบด้วยพื้นที่ภูเขาหรือเทือกเขา ชั้บซ้อนเป็นส่วนใหญ่ ขนาดพื้นที่ที่เป็นภูเขาหรือเทือกเขาจะมีขนาดใหญ่มากทางตอนบนของภาคเหนือ และ ขนาดจะเล็กลงทางตอนใต้ ซึ่งจะมีการผันแปรเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับลุ่มน้ำของพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำแบ่งได้ดังนี้

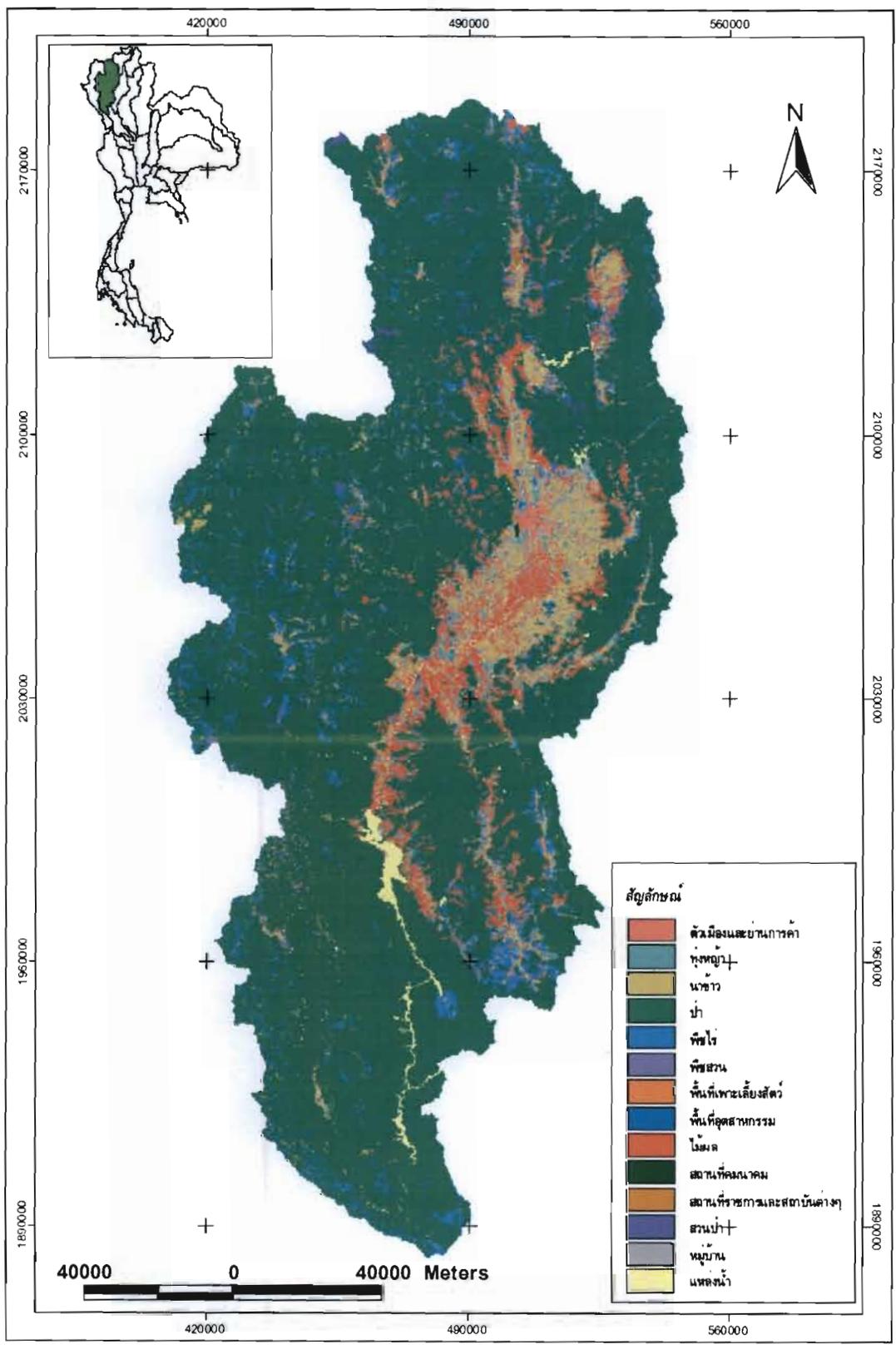
1. นาข้าว เป็นพื้นที่ที่ปัจจุบันเป็นนาข้าว อาจจะมีการทำนาเป็นประจำ ปีละหนึ่งครั้งในฤดูฝน ทำนาปีละ 2 ครั้ง หรือปัจจุบันไม่ได้มีการทำนา แต่ยังคงสภาพเป็นนาข้าวอยู่ พื้นที่นี้จะอยู่ในหุบเขาที่เป็นที่ราบ มีลำน้ำไหลผ่าน แปลงนาข้าวมีขนาดเล็ก ส่วนมากเป็นการทำนาค้ำทิ้งในฤดูฝนหรือในฤดูแล้ง โดยอาศัยน้ำชลประทานขนาดเล็ก เช่น การทำฝายกั้นลำธารแล้วผันน้ำเสริมการปลูกข้าวในฤดูฝน
2. พืชไร่ เป็นพื้นที่คอนที่ในปัจจุบันมีการปลูกพืชไร่ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง อ้อย สับปะรด ฝ้าย เป็นต้น การใช้พื้นที่ดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการปลูกพืชแต่ละชนิด เช่น ข้าวโพดอาจจะใช้ระยะเวลาเพียง 3-4 เดือน
3. ไม้ผล ไม้ยืนต้น เป็นการใช้อย่างดินสำหรับการปลูกสวนผลไม้หรือไม้ยืนต้น พืชที่ปลูก เช่น ลำไย ลิ้นจี่ มะม่วง ขนุน เป็นต้น โดยปลูกเป็นแปลงใหญ่หรือเป็นสวนผสมหรือผสมปนอยู่ในบริเวณหมู่บ้าน ซึ่งจะพบมากตามริมลำธาร
4. ป่าไม้ เป็นพื้นที่ที่มีป่าไม้ธรรมชาติปกคลุม มักพบตามที่ลาดเขา ภูเขาหรือเทือกเขา ชั้บซ้อน ป่าไม้ที่พบมีทั้งป่าไม้ผลัดใบ เช่น ป่าดิบชื้น ป่าดิบเขา ป่าดิบแล้ง และป่าสน ส่วนป่าไม้ผลัดใบได้แก่ ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินปีล่าสุด (พ.ศ. 2549) จากกรมพัฒนาที่ดินได้จัดประเภทการใช้ที่ดินเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ เกษตรกรรม ป่าไม้ เขตเมืองและอุตสาหกรรม แหล่งน้ำ และ พื้นที่อื่น ๆ (เหมืองเก่า ที่โล่ง) โดยขนาดพื้นที่ของกลุ่มสภาพการใช้ที่ดินแสดงในตารางที่ 3.7

สภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนปัจจุบันที่มีการสำรวจล่าสุด คือ ปี พ.ศ. 2549 จากกรมพัฒนาที่ดิน ลักษณะของสภาพการใช้ที่ดินปีล่าสุดแสดงในรูปที่ 3.17 แผนที่สภาพการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินจะบอกในรูปของรหัสตัวเลขการใช้ที่ดิน รหัสดังกล่าวแสดงในภาคผนวก ง

ตารางที่ 3.7 พื้นที่สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549

กลุ่มการใช้ที่ดิน	ประเภทการใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วนพื้นที่
เกษตรกรรม	นาข้าว	1,317.16	5.20
	พืชไร่	684.55	2.70
	ไม้ยืนต้น	20.45	0.08
	ไม้ผล	1,614.88	6.37
	พืชสวน	46.44	0.18
	ไร่มวนเวียน	626.81	2.47
	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และ โรงเรือนเลี้ยงสัตว์	6.56	0.03
	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	0.96	0.00
ป่าไม้	ป่าเสื่อมโทรม	261.26	1.03
	ป่าดิบ	15,020.30	59.25
	ป่าผลัดใบ	4,221.85	16.65
	สวนป่า	65.66	0.26
พื้นที่อื่นๆ	ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ	354.73	1.40
	พื้นที่ลุ่ม	33.62	0.13
	เหมืองแร่ บ่อขุด	24.17	0.10
	อื่น ๆ	1.64	0.01
เขตเมืองและอุตสาหกรรม	ตัวเมืองและย่านการค้า	106.36	0.42
	หมู่บ้าน	565.60	2.23
	สถานที่ราชการ และ สถาบันต่างๆ	59.45	0.23
	สถานีคมนาคม	12.17	0.05
	ย่านอุตสาหกรรม	13.81	0.05
	อื่น ๆ	19.38	0.08
	แหล่งน้ำ	แหล่งน้ำธรรมชาติ	180.76
แหล่งน้ำที่สร้างขึ้น	92.16	0.36	
รวม		25,350.75	100.00



ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

รูปที่ 3.17 แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษาปี พ.ศ. 2549

3.7 ข้อมูลที่ใช้ศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ข้อมูลภูมิประเทศ ข้อมูลอุตุ – อุตกวิทยา ข้อมูลสภาพดิน และสภาพการใช้ที่ดิน มีดังนี้

3.7.1 ข้อมูลภูมิประเทศ

เป็นข้อมูลที่บอกถึงลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา เช่น ระดับความสูงของพื้นที่ โครงข่ายของเส้นลำน้ำ หรือขอบเขตของกลุ่มน้ำ โดยเป็นลักษณะทั่วไปของพื้นที่ และจากแบบจำลอง SWAT ใช้งานร่วมกับโปรแกรม Arc View ข้อมูลใช้ต้องเป็นข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

ข้อมูลระดับชั้นความสูงของกลุ่มน้ำเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) มีขนาดกริดเท่ากับ 90 เมตร สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จากหน่วยงาน CGIAR – CSI GeoPorta [22] ซึ่งเป็นหน่วยงานที่จัดทำ SRTM 90 m Digital Elevation Data ทั่วโลก

ข้อมูลขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำประธานทั้ง 25 ลุ่มน้ำ จากรายงาน “มาตรฐานลุ่มน้ำและลุ่มน้ำสาขา” ของคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ และข้อมูลโครงข่ายเส้นลำน้ำ จากระบบสารสนเทศของกรมชลประทาน

3.7.2 ข้อมูลอุตุ – อุตกวิทยา

ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาเป็นข้อมูลทางด้านสภาพอากาศที่สำคัญ คือ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเร็วลม การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ และข้อมูลสถิติสภาพอากาศคาบ 30 ปี ซึ่งแบบจำลองต้องการข้อมูลแบบรายวัน ได้แก่ สถานี 48327 ตรวจวัดอากาศเชียงใหม่ สถานี 48329 ตรวจวัดอากาศลำพูน และ สถานี 48376 ตรวจวัดอากาศตาก โดยข้อมูลดังกล่าวได้จากหลายหน่วยงาน คือ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ

ทางด้านข้อมูลอุทกวิทยาที่สำคัญ คือ ปริมาณน้ำท่า และข้อมูลบริหารจัดการเขื่อนในลุ่มน้ำ เขื่อนที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ เขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล เขื่อนแม่กวงอุดมธารา และ เขื่อนภูมิพล นอกจากนี้ได้พิจารณาที่จุดทางออกของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่สถานี P.1 สถานี P.14 สถานี P.20 และ สถานี P.21 เนื่องจากแบบจำลอง SWAT สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยได้ โดยข้อมูลดังกล่าวได้จากกรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ตารางที่ 3.8 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจากหน่วยงานต่างๆ

ลำดับ	ข้อมูล	แหล่งที่มา	ลักษณะข้อมูล
ข้อมูลภูมิประเทศ			
1	ระดับชั้นความสูงของกลุ่มน้ำ	SRTM 90 m Digital Elevation Data	ข้อมูล GIS
2	ขอบเขตลุ่มน้ำ	กรมชลประทาน	ข้อมูล GIS
3	โครงข่ายเส้นลำน้ำ	กรมชลประทาน	ข้อมูล GIS
ข้อมูลอุตุ - อุตกวิทยา			
1	ข้อมูลฝน	กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ	ข้อมูลรายวัน ข้อมูลรายวัน ข้อมูลรายวัน
2	ข้อมูลสภาพอากาศ	กรมอุตุนิยมวิทยา	ข้อมูลรายวัน
3	ปริมาณน้ำท่า	กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ	ข้อมูลรายวัน ข้อมูลรายวัน
4	ตำแหน่งสถานีสภาพอากาศ	กรมอุตุนิยมวิทยา	ข้อมูล GIS
5	ตำแหน่งสถานีฝน	กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ	ข้อมูล GIS
6	ตำแหน่งสถานีน้ำท่า	กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ	ข้อมูล GIS
7	การจัดการน้ำในเขื่อน	กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิต	ข้อมูลรายวัน ข้อมูลรายเดือน
ข้อมูลสภาพดินและการใช้ที่ดิน			
1	ข้อมูลชนิดของดิน และแผนที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	ข้อมูล GIS
2	ข้อมูลชนิดของดิน และแผนที่ดิน	FAO	ข้อมูล GIS
3	ลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	ข้อมูล GIS ข้อมูล GIS ข้อมูล GIS

3.7.3 ข้อมูลสภาพดิน

ข้อมูลสภาพดินเป็นข้อมูลที่บอกถึงลักษณะของดิน คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินในพื้นที่ศึกษา ข้อมูลจะอยู่รูปแบบระบบสารสนเทศ (GIS) ได้จากกรมพัฒนาที่ดิน แผนที่หน่วยดินมีการสำรวจปี พ.ศ. 2533 – 2535 มีมาตราส่วน 1:50,000 และหน่วยงาน Food and Agriculture Organization (FAO) [23] ซึ่งได้ทำการสำรวจและจัดทำข้อมูลสภาพดินทั่วโลก Digital Soil Map of the World

แบบจำลอง SWAT ต้องการข้อมูลคุณสมบัติของแต่ละหน่วยดิน ประกอบด้วยปริมาณร้อยละของหิน ดินเหนียว ทราย และกรวด ค่า Bulk density ค่าการนำน้ำได้อิ่มตัวสำหรับชั้นดิน และ ค่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินที่สามารถเก็บกักไว้ได้ แต่จากข้อมูลที่ได้จากหน่วยแผนที่สภาพดิน กรมพัฒนาที่ดิน เป็นหน่วยของกลุ่มชุดดิน ซึ่งไม่ได้จัดประเภทของคุณสมบัติดังกล่าวไว้ ดังนั้นจำเป็นที่ต้องหาลักษณะของประเภทของดินในด้านอื่นที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับหน่วยดินแบบกลุ่มชุดดิน เพื่อเป็นข้อมูลสภาพดินให้กับแบบจำลอง

จากการศึกษาการจัดประเภทของดินในประเทศไทยพบว่า การจัดประเภทดินในประเทศไทยมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ กลุ่มชุดดิน และ ชุดดินที่จัดตั้ง ในลักษณะของชุดดินจัดตั้งมีการศึกษาคุณสมบัติของแต่ละชุดดินจัดตั้ง ซึ่งจากเอกสารวิชาการการกำหนดลักษณะของชุดดินที่จัดตั้งในภาคเหนือ และที่สูงตอนกลางของประเทศไทย [1] ระบุกลุ่มชุดดินที่สอดคล้องกับชุดดินจัดตั้ง จึงนำข้อมูลคุณสมบัติดินของชุดดินจัดตั้งที่สอดคล้องกับกลุ่มชุดดินมาเป็นคุณสมบัติดินของกลุ่มชุดดินนั้นๆ นอกจากนี้ยังพบปัญหาที่ 2 ส่วน คือ ข้อมูลคุณสมบัติดินของชุดดินจัดตั้งไม่ได้ศึกษาค่า Bulk density ค่าการนำน้ำได้อิ่มตัวสำหรับชั้นดิน และค่าปริมาณน้ำที่มีในดินที่สามารถเก็บกักไว้ได้ ซึ่งแก้ปัญหาโดยศึกษาจาก Soil Texture Triangle Bulk Density Calculator [24] ที่ใช้ค่าปริมาณร้อยละของทราย ดินเหนียวและดินเหนียวปนทรายในการคำนวณค่า Bulk density และ Soil Texture Triangle Hydraulic Properties Calculator [25] ที่ใช้ค่าปริมาณร้อยละของทรายและดินเหนียวในการคำนวณค่าการนำน้ำได้อิ่มตัวสำหรับชั้นดิน และค่าปริมาณน้ำที่มีในดินที่สามารถเก็บกักไว้ได้ ปัญหาต่อมาคือ กลุ่มชุดดินตั้งแต่ 59 – 62 ไม่ได้ทำการแบ่งประเภทไว้หรือไม่มีคุณสมบัติดินตามชุดดินจัดตั้ง ทำให้ต้องนำแผนที่สภาพดินทั่วโลกจากหน่วยงาน FAO มาซ้อนทับในตำแหน่งของกลุ่มชุดดินที่ 59 – 62 และใช้ข้อมูลคุณสมบัติตามข้อมูลแผนที่สภาพดินทั่วโลกจากหน่วยงาน FAO แทน เมื่อแปลงหน่วยดินจนครบแล้วจะได้ข้อมูลกลุ่มชุดดินที่มีข้อมูลคุณสมบัติดินในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

นอกจากนี้จำเป็นต้องสร้างฐานข้อมูลดินประเทศไทยให้กับแบบจำลอง โดยนำข้อมูลกลุ่มชุดดินและคุณสมบัติดินที่ได้ศึกษาในข้างต้น เป็นฐานข้อมูลดินในการคำนวณของแบบจำลอง เนื่องจากฐานข้อมูลสภาพดินของแบบจำลองใช้ฐานข้อมูลสภาพดินของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งไม่สามารถใช้ฐานข้อมูลเดียวกันได้ในนำแบบจำลอง SWAT มาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย

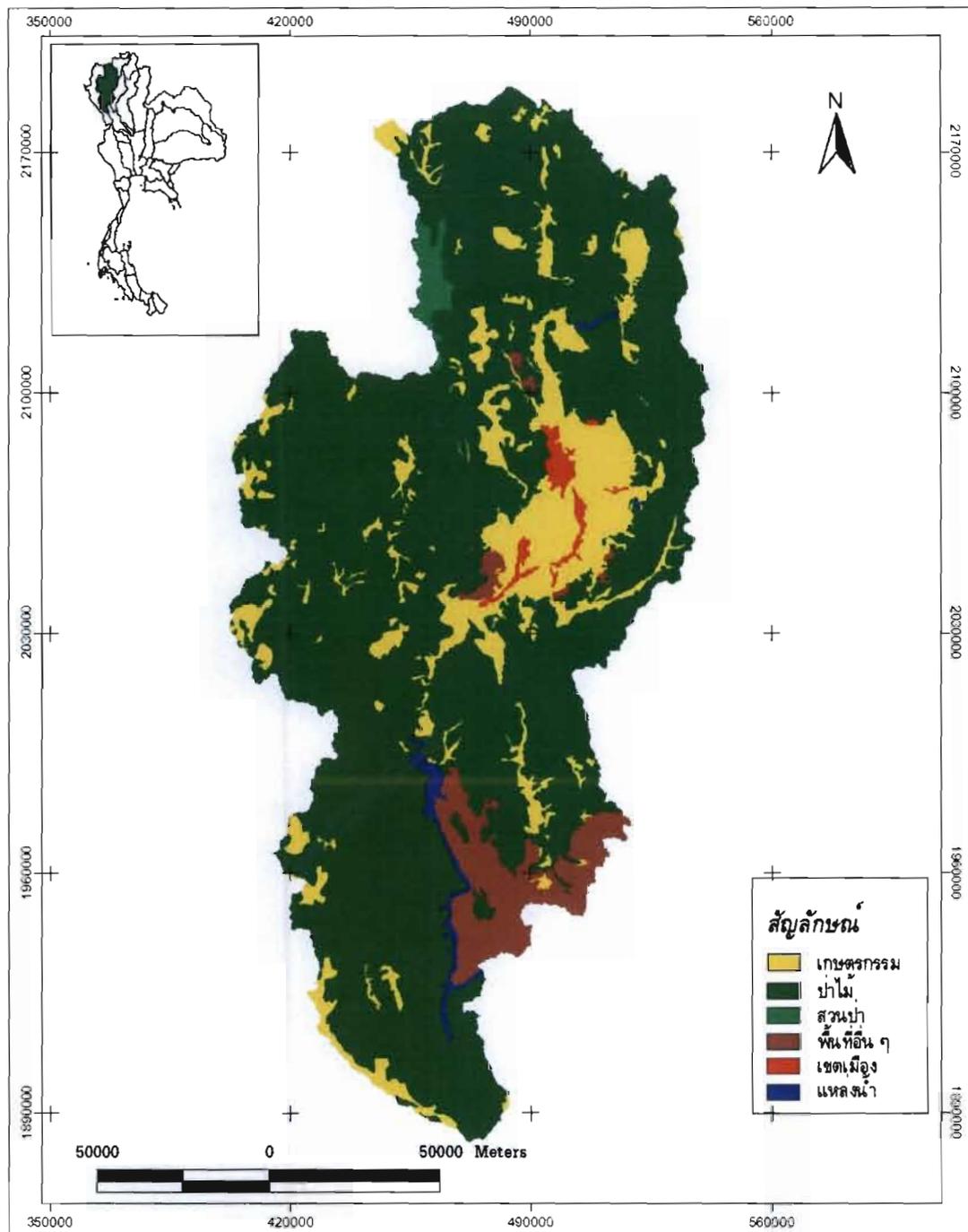
3.7.4 ข้อมูลสภาพการใช้ที่ดิน

ข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินเป็นข้อมูลที่บอกลักษณะของสภาพพื้นที่ การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ ป่าไม้ และแหล่งน้ำ ข้อมูลจะอยู่รูปแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยลักษณะแผนที่สภาพการใช้ที่ดินในแต่ละปีมีลักษณะดังนี้

- แผนที่สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 ทำการสำรวจโดยกรมพัฒนาที่ดิน มีมาตราส่วน 1:50,000
- แผนที่สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 ทำการสำรวจโดยกรมพัฒนาที่ดิน มีมาตราส่วน 1:50,000
- แผนที่สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 ทำการสำรวจโดยกรมพัฒนาที่ดิน มีมาตราส่วน 1:25,000

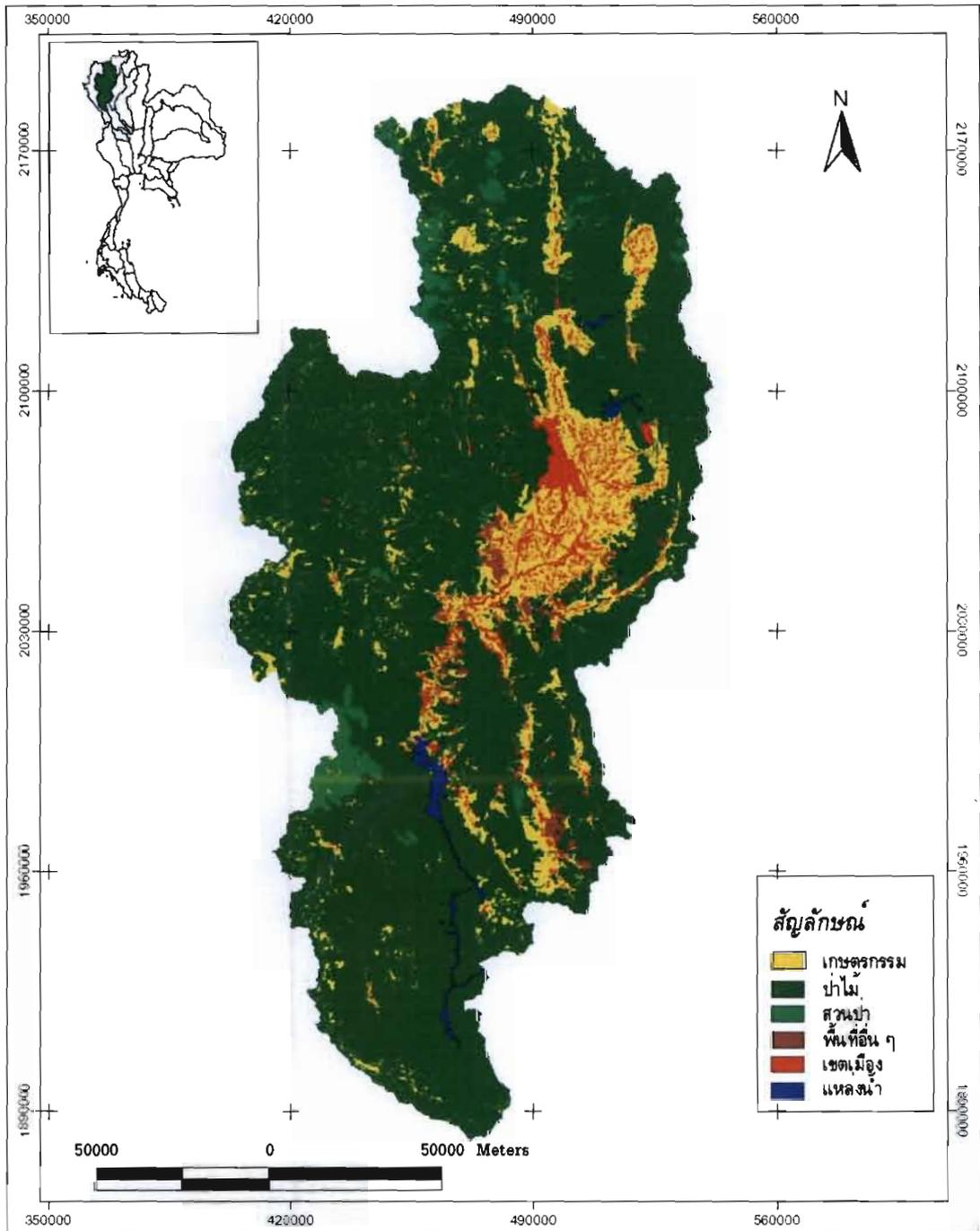
จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินในช่วงระยะเวลาประมาณ 10 – 20 ปี พบว่ามีปัญหาในการวิเคราะห์ คือ ขนาดความละเอียดของแผนที่สภาพการใช้ที่ดินที่ทำการสำรวจแต่ละปีนั้นมีขนาดไม่เท่ากัน แผนที่สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 และ 2544 มีความละเอียดอยู่ที่ 1 : 50,000 และแผนที่สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 มีความละเอียดอยู่ที่มาตราส่วน 1 : 25,000 ปัญหาต่อมาคือ ขอบเขตของแผนที่สภาพการใช้ที่ดินในแต่ละปีต่างกัน ขอบเขตไม่ทับกันสนิท ซึ่งเป็นผลทำให้ขนาดของพื้นที่ของกลุ่มน้ำทั้งหมดมีค่าต่างกัน โดยมีขนาดต่างไม่เกินร้อยละ 1 ของพื้นที่ศึกษา ถือว่ายอมรับได้ในการนำข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินทั้ง 3 ปี มาเปรียบเทียบความแตกต่าง เนื่องจากมีขนาดพื้นที่ของแผนที่สภาพการใช้ที่ดินทั้งหมดต่างกันน้อยมากน้อยมาก

เมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดสภาพการใช้ที่ดินของพื้นที่จากข้อมูลที่สำรวจและจัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน พบว่า ลักษณะสภาพการใช้ที่ดินถูกแบ่งตามหมวดหมู่หลัก คือ พื้นที่เขตเมือง เกษตรกรรม ป่าไม้ แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (พื้นที่อื่นๆ) ลักษณะประเภทของแต่ละหมวดหมู่หลักของสภาพการใช้ที่ดินแสดงในภาคผนวก ง จากการนำข้อมูลหมวดหมู่ของสภาพการใช้ที่ดินแต่ละหมวดหมู่หลัก พบว่า ในหมวดหมู่หลักป่าไม้ของปี พ.ศ. 2533 และ 2544 มีการจำแนกป่าออกเป็นหลายประเภท ได้แก่ ป่าดิบเขา ป่าผลัดใบ ป่าไม้ผลัดใบ ป่าเบญจพรรณ เป็นต้น และประเภทของสวนป่าที่ได้จัดกลุ่มไว้ ได้แก่ สวนป่าผสม ป่าสน ป่าสัก ป่ายูคาลิปตัส เป็นต้น ซึ่งต่างจากหมวดหมู่หลักป่าไม้ของปี พ.ศ. 2549 ที่ได้จำแนกป่าออกเป็น ป่าสมบูรณ์ และป่าเสื่อมโทรม นอกจากนี้ยังพบว่า พื้นที่ของป่าไม้ของพื้นที่ศึกษาในปี พ.ศ. 2544 มีขนาดพื้นที่สูงกว่าป่าไม้ของปี พ.ศ. 2533 และ 2549 แผนที่สภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 แสดงในรูปที่ 3.18 – 3.20 ตามลำดับ ส่วนลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทั้ง 3 ปี แสดงในตารางที่ 3.9 และกราฟแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินทั้ง 3 ปี แสดงในรูปที่ 3.21 – 3.24



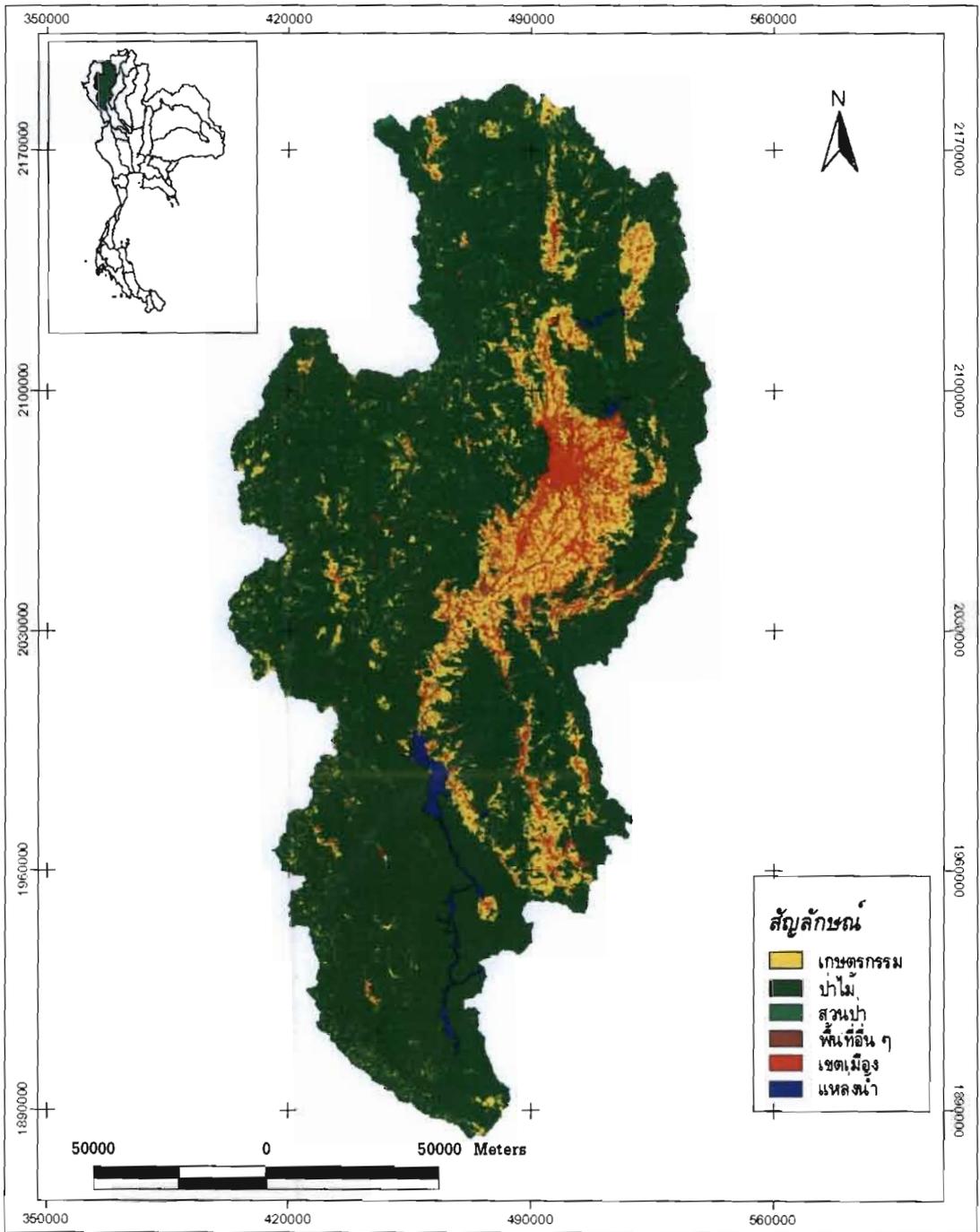
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

รูปที่ 3.18 แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนปี พ.ศ. 2533



ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

รูปที่ 3.19 แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนปี พ.ศ. 2544



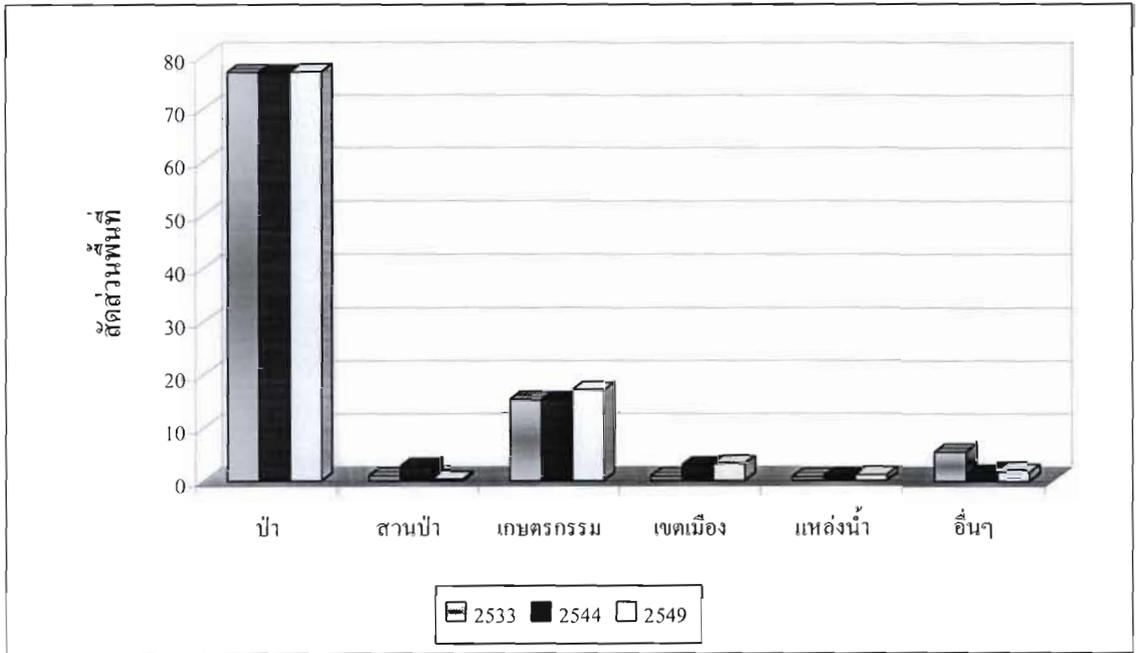
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

รูปที่ 3.20 แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนปี พ.ศ. 2549

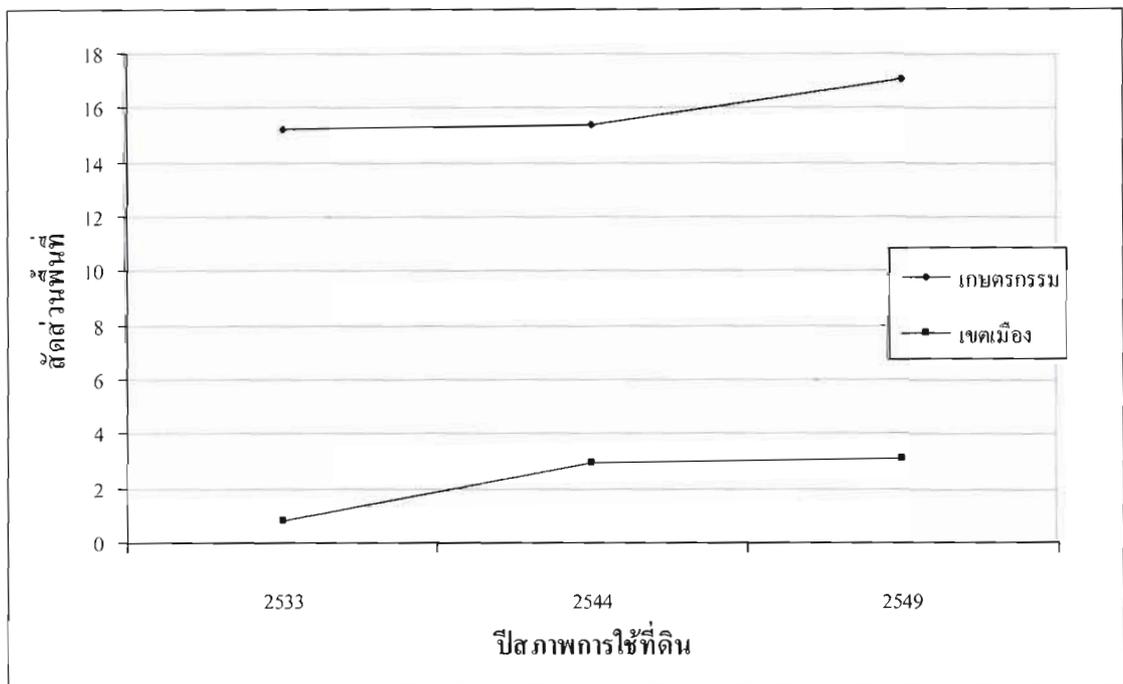
ตารางที่ 3.9 ขนาดพื้นที่สภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำโขงตอนบนในแต่ละปี

ปีสภาพการใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)										สัดส่วนพื้นที่			
	ป่า	สวนป่า	ป่า+สวนป่า	เกษตรกรรม	เขตเมือง	แหล่งน้ำ	อื่นๆ	ป่า	สวนป่า	ป่า+สวนป่า	เกษตรกรรม	เขตเมือง	แหล่งน้ำ	อื่นๆ
2533	19508	233	19741	3864	203	166	1362	76.99	0.92	77.91	15.25	0.8	0.6	5.3
2544	19447	692	20139	3892	735	195	377	76.75	2.73	79.48	15.36	2.9	0.7	1.4
2549	19480	66	19546	4328	780	269	414	76.88	0.26	77.14	17.08	3.08	1	1.6

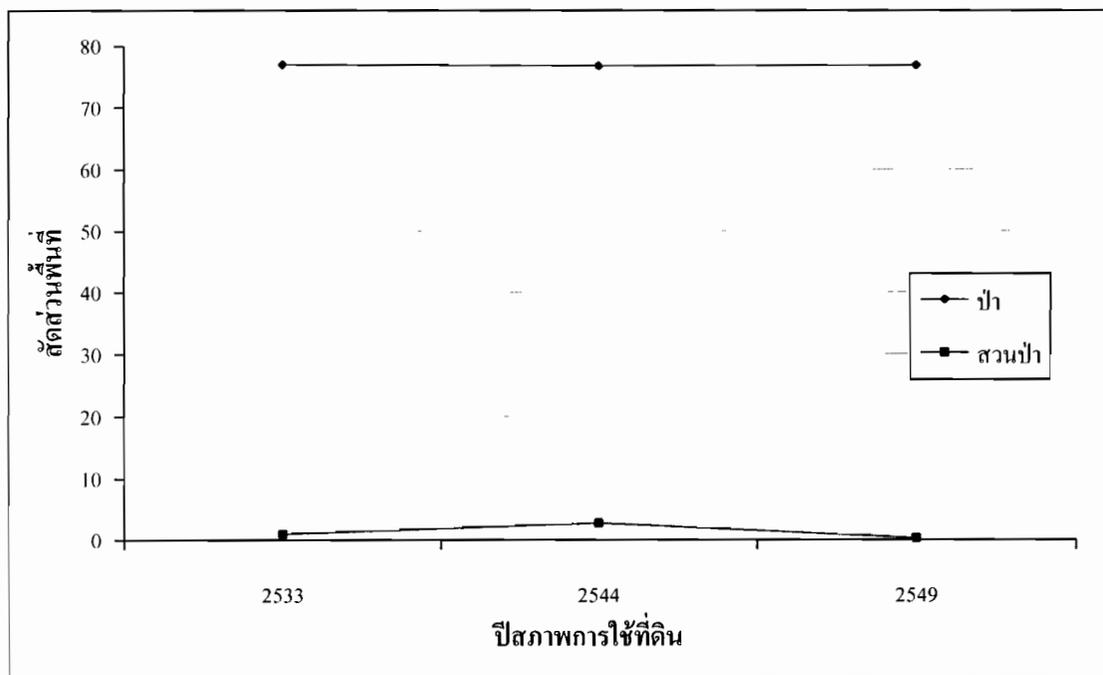
หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า สวนป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำโขงตอนบนในปี พ.ศ. 2544 ไปยังปี พ.ศ. 2549 หายไป 626 ตร.กม. เมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลพื้นที่สวนป่าที่หายไปกับแผนที่สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 พบว่า เป็นพื้นที่ป่าไม้ประมาณ 590 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 94.24 ของพื้นที่ที่เหลือประมาณร้อยละ 6 ของพื้นที่สวนป่าที่หายไปนั้น เป็นพื้นที่นาข้าว ข้าวไร่ พืชไร่ผสม ข้าวโพด กล้วย ไม้ยืนต้นผสม ไม้ผลผสม ถั่วฝัก ถั่วฝัก หมูบ้าน และ สถานที่ราชการ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าสวนป่าที่ได้ให้นิยามว่าเป็นป่าปลูกไม่ได้หายไป แต่เกิดจากการจัดประเภทสภาพการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินที่ต่างกันไปในแต่ละปี



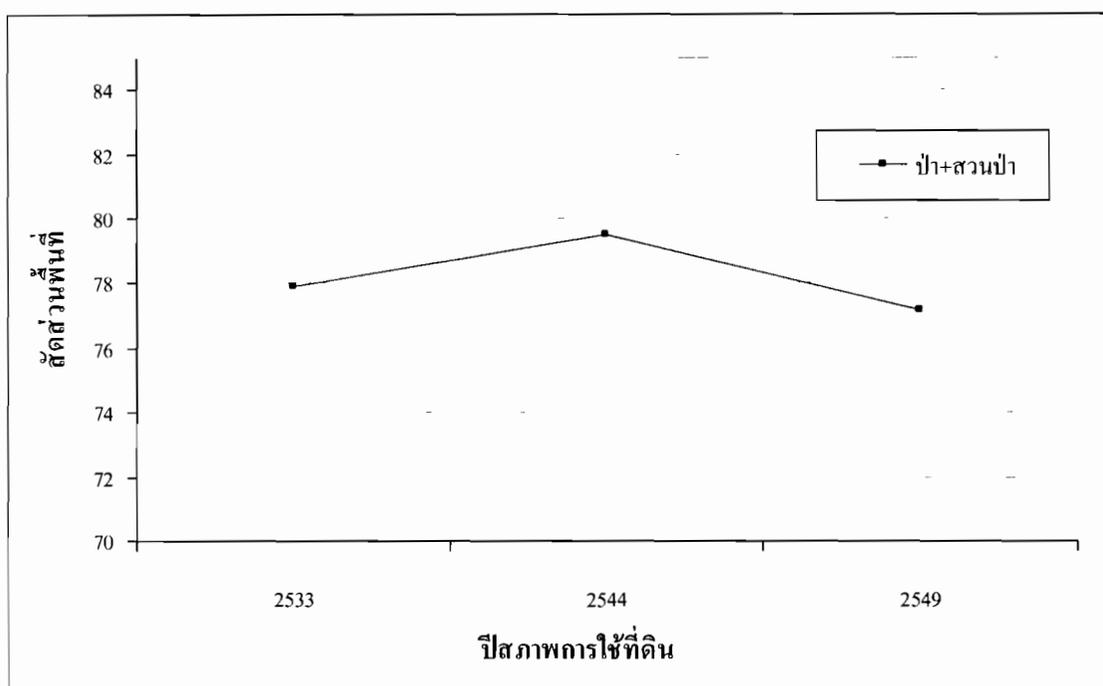
รูปที่ 3.21 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนโดยรวม



รูปที่ 3.22 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนของพื้นที่ เกษตรกรรมและเขตเมือง

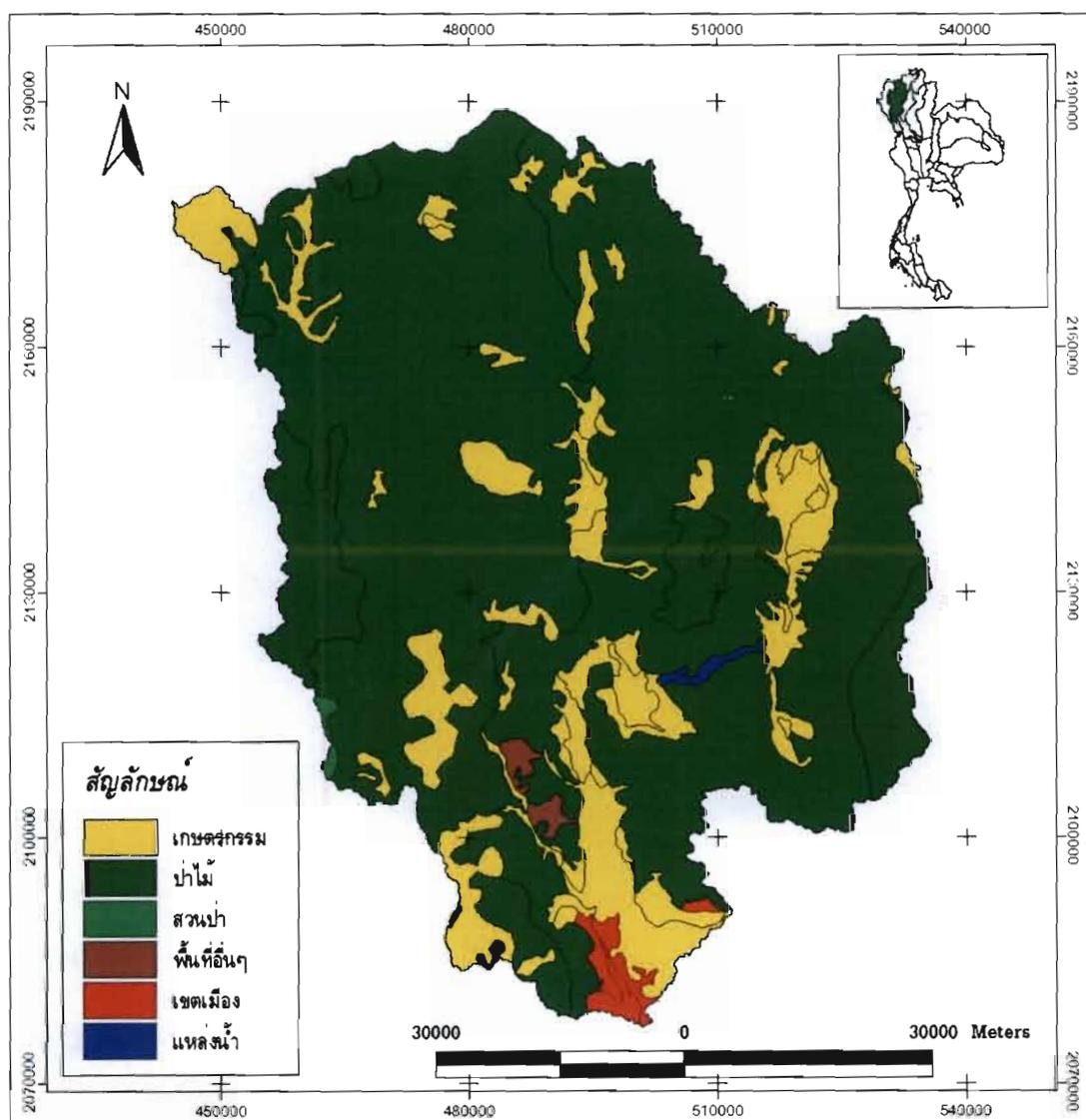


รูปที่ 3.23 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนของพื้นที่ป่าและสวนป่า



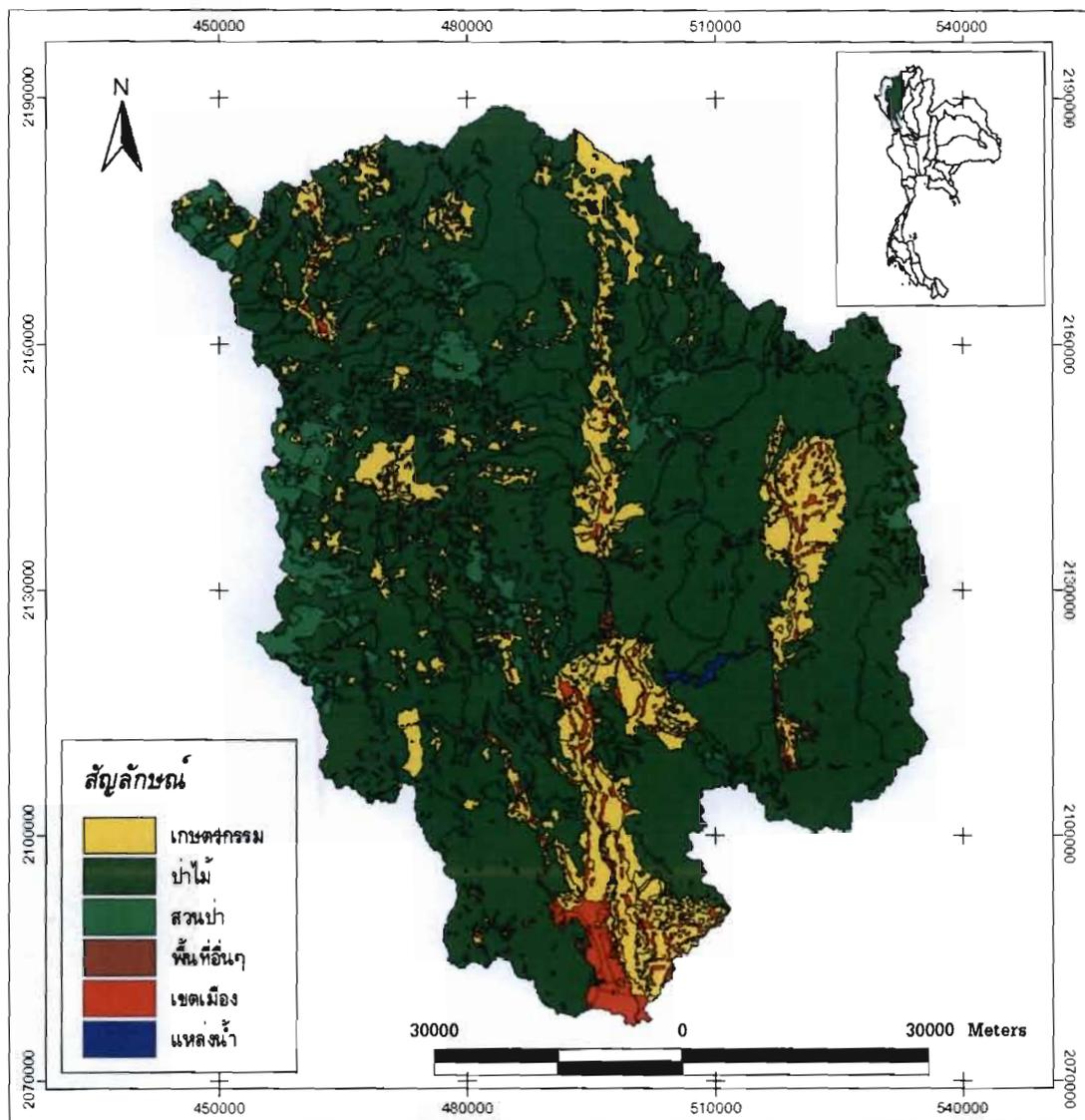
รูปที่ 3.24 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนของพื้นที่ป่าและสวนป่ารวมกัน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาถึงพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย คือ พื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 เพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำย่อย ทำให้สามารถเห็นผลการศึกษาได้ชัดเจนมากขึ้น แผนที่สภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 ปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 แสดงในรูปที่ 3.25 – 3.27 ตามลำดับ ส่วนลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทั้ง 3 ปี แสดงในตารางที่ 3.10 และกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินทั้ง 3 ปี แสดงในรูปที่ 3.28 – 3.31



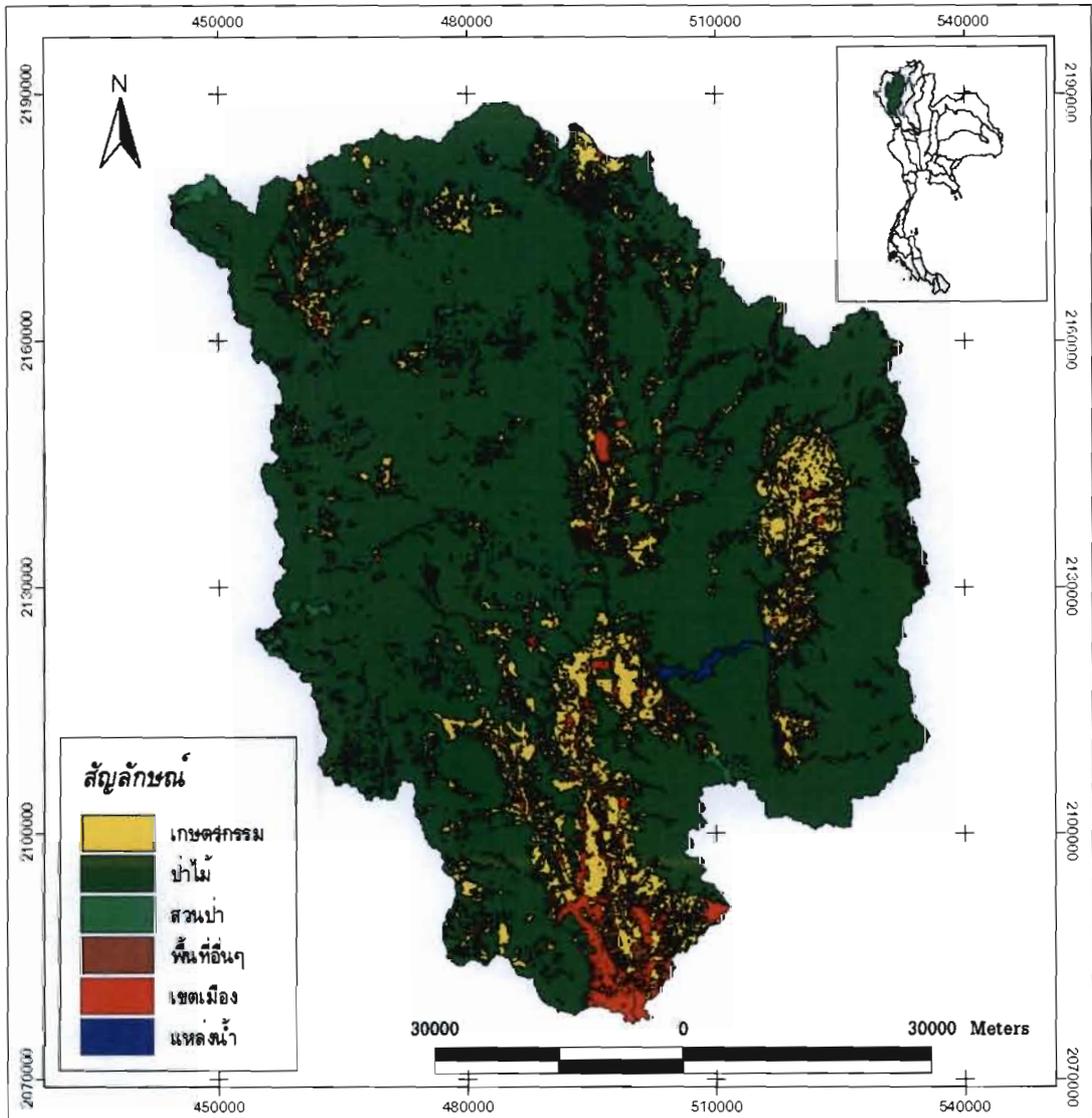
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

รูปที่ 3.25 แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 ปี พ.ศ. 2533



ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

รูปที่ 3.26 แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 ปี พ.ศ. 2544

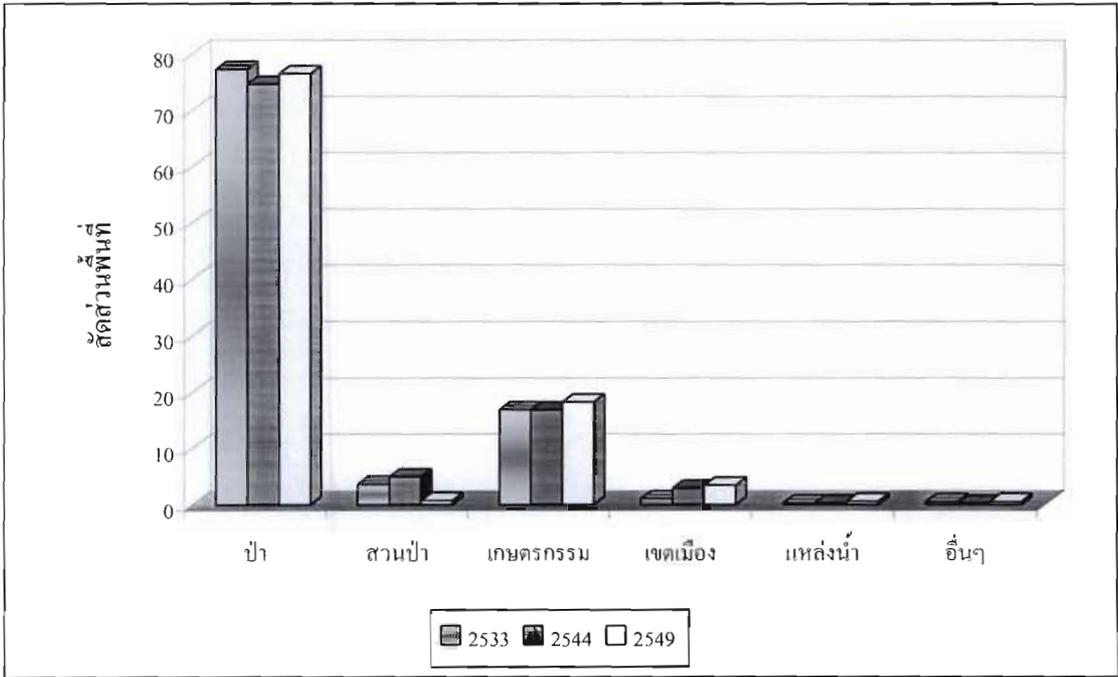


ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

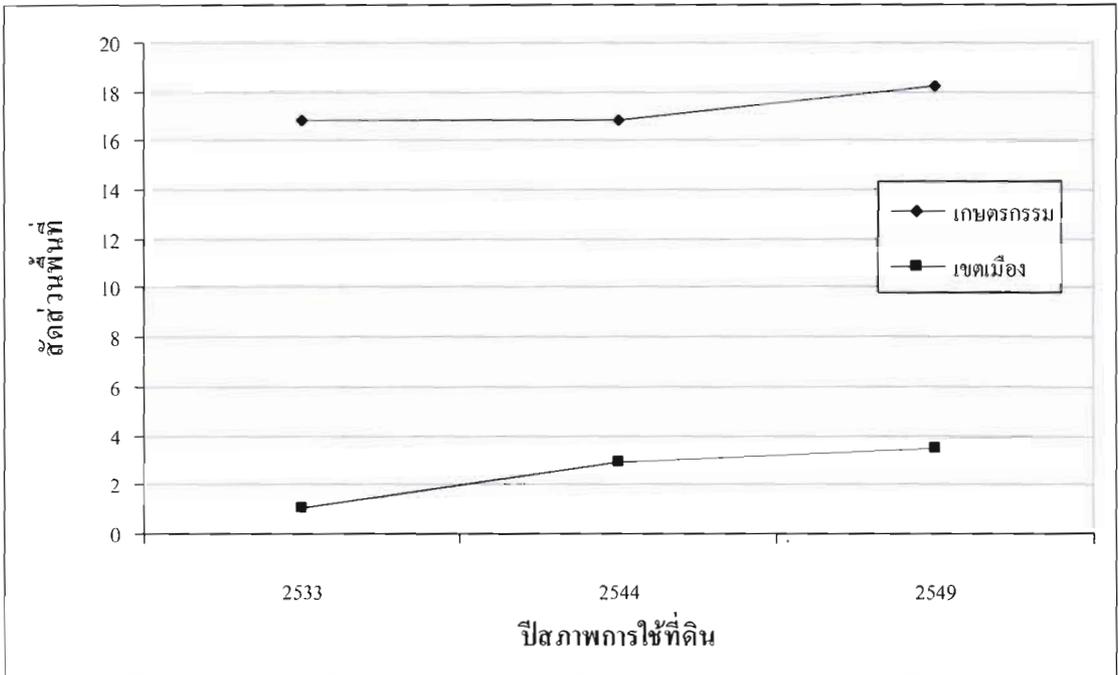
รูปที่ 3.27 แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 ปี พ.ศ. 2549

ตารางที่ 3.10 ขนาดพื้นที่สภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำ P.I ในแต่ละปี

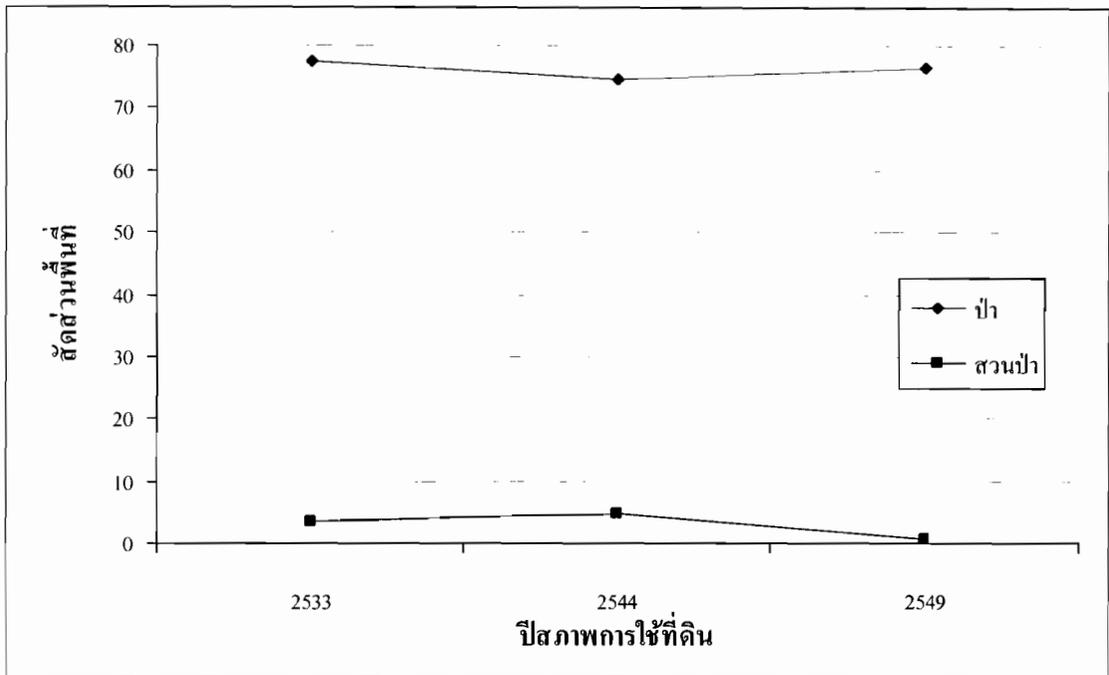
ปีสภาพการ ใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)							%พื้นที่						
	ป่า	สวนป่า	ป่า+สวนป่า	เกษตรกรรม	เขตเมือง	แหล่งน้ำ	อื่นๆ	ป่า	สวนป่า	ป่า+สวนป่า	เกษตรกรรม	เขตเมือง	แหล่งน้ำ	อื่นๆ
2533	4912	231	5143	1072	68	16	33	77.30	3.63	80.93	16.87	1.07	0.25	0.51
2544	4743	314	5057	1073	187	18	14	74.64	4.94	79.58	16.88	2.94	0.29	0.21
2549	4863	47	4911	1160	219	35	34	76.53	0.75	77.27	18.26	3.44	0.56	0.53



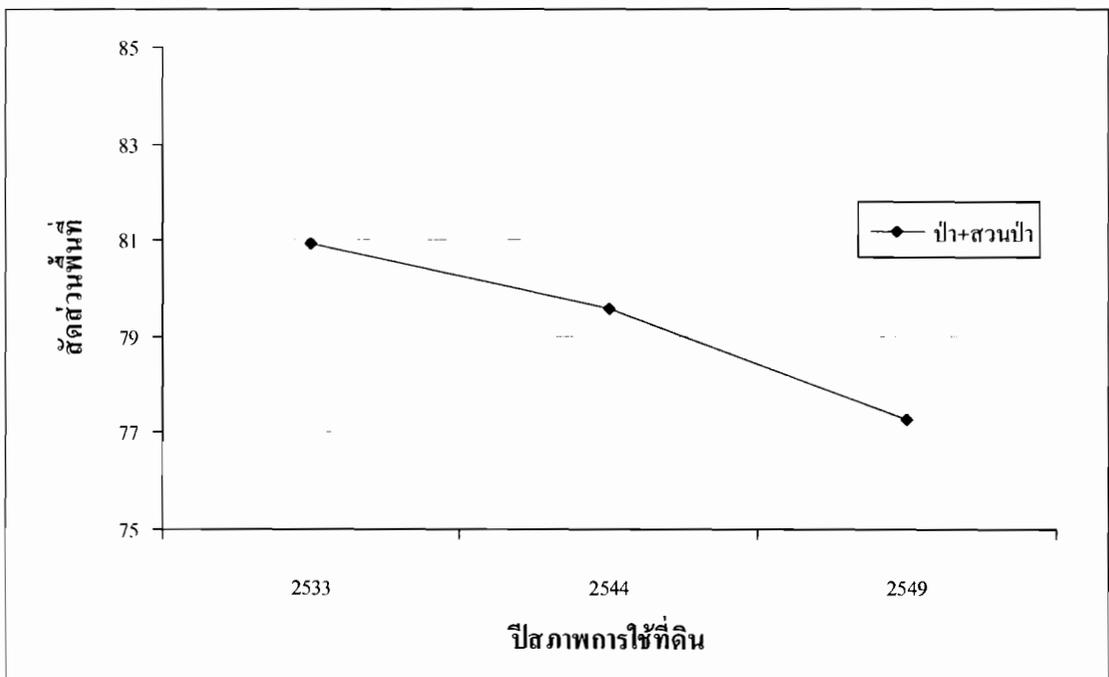
รูปที่ 3.28 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่ม P.1 โดยรวม



รูปที่ 3.29 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ลุ่ม P.1 ของพื้นที่เกษตรกรรมและเขตเมือง



รูปที่ 3.30 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่กลุ่ม P.1 ของพื้นที่ป่าและสวนป่า

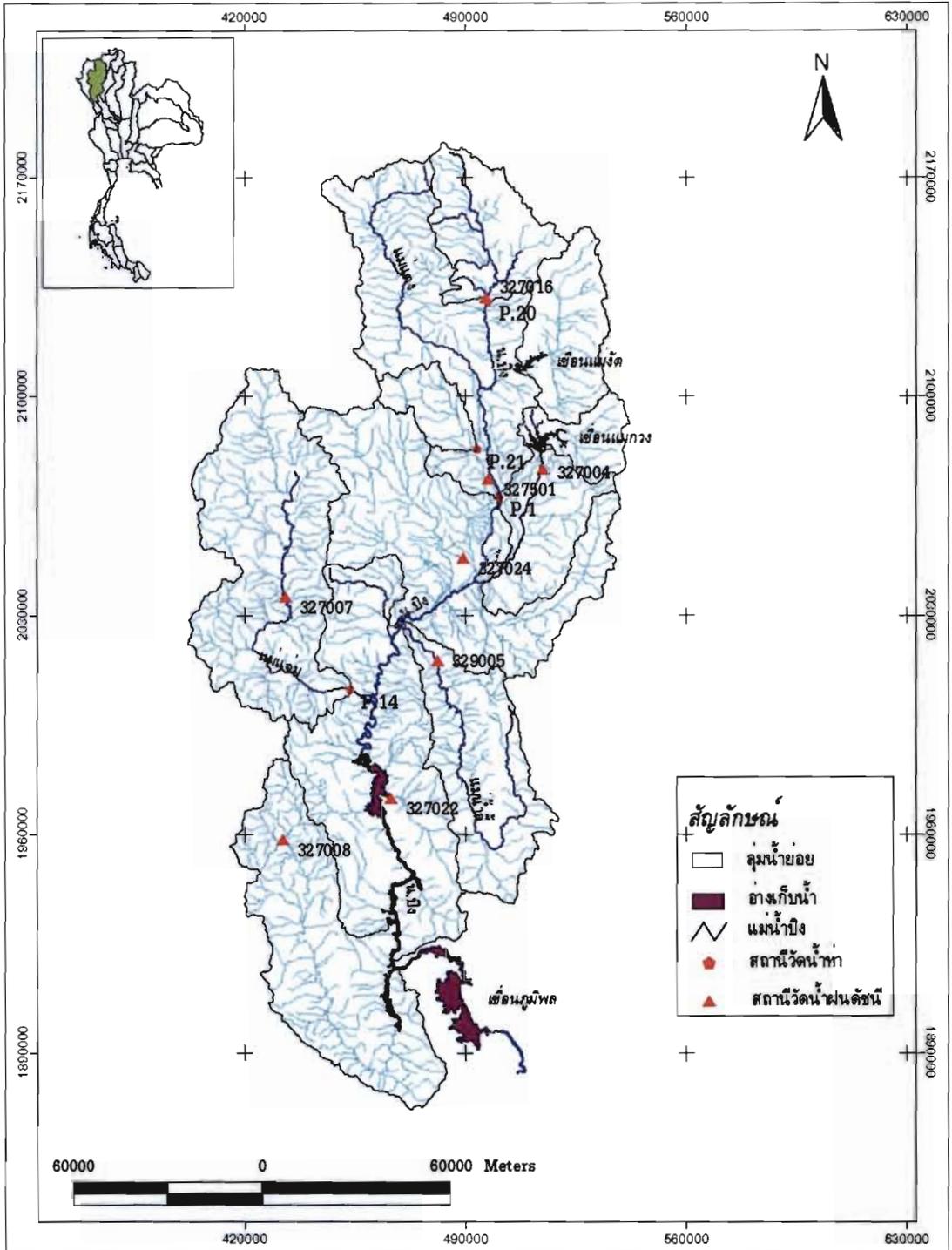


รูปที่ 3.31 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่กลุ่ม P.1 ของพื้นที่ป่าและสวนป่ารวมกัน

บทที่ 4 การจำลองพื้นที่ศึกษาให้กับแบบจำลอง

4.1 การสร้างลักษณะสภาพภูมิประเทศจากแบบจำลอง

พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด 14 ลุ่มน้ำย่อย โดยที่จุดทางออก (Outlet) ของลุ่มน้ำย่อยนั้นส่วนใหญ่ไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำท่า จึงไม่สามารถประเมินปริมาณน้ำท่าจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในสภาพจริงได้ การคำนวณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองจึงต้องกำหนดจุดทางออกของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย เพื่อให้แบบจำลองคำนวณหาขอบเขตสันปันน้ำจากจุดทางออกในแต่ละจุดที่ได้พิจารณา และในการแบ่งขอบเขตลุ่มน้ำย่อยยังพิจารณาถึงการแบ่งขอบเขตพื้นที่รับน้ำฝนเฉลี่ย และจุดที่จะทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลอง จุดทางออกที่กำหนด คือ สถานีวัดน้ำท่า P.1 P.14 P.20 P.21 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา และปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล สถานีวัดน้ำท่าและจุดที่ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนที่ขอบเขตสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการปรับเทียบแบบจำลองและสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติ

4.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์แบบจำลอง

พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการคำนวณมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

พารามิเตอร์	ช่วง	นิยาม
1. พารามิเตอร์เกี่ยวกับดิน (.Sol)		
SOL_AWC	0.00 – 1.00	ค่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินที่สามารถเก็บน้ำไว้ได้ เพื่อที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์
2. ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับลุ่มน้ำ (.Sub)		
CH_K(1)	0.000 – 150.0 มม./ชม.	ค่าประสิทธิผลในการนำน้ำได้ของตะกอนในลำน้ำสาขา เป็นค่าที่ควบคุมการสูญเสียการเคลื่อนตัวจากการไหลผิวดินสู่ลำน้ำหลัก
CH_N(1)	0.0100 - 30	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning) ของลำน้ำสาขา
3. ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา (.Hru)		
SLSUBBSN	10.000 – 150.000	ค่า Slope Length ของพื้นที่ลุ่มน้ำ
SLOPE	0.000 – 0.600	ค่า Average Slope Steepness ของพื้นที่ลุ่มน้ำ
OV_N	0.01 – 30.000	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning) สำหรับการไหลบนผิวดิน
ESCO	0.001 – 1.000	ค่าแฟกเตอร์ชดเชยการระเหยในดิน ใช้ปรับแก้การกระจายความลึกน้ำที่พบในดิน หรือความต้องการการระเหยของดินที่ส่งผลต่อการดึงคืนน้ำในดิน
CANMX	0.00 – 100.00 มม.	ค่าพื้นที่ปกคลุมสูงสุดของพุ่มไม้ เมื่อฝนตก พุ่มไม้จะดักปริมาณน้ำบางส่วนของฝน เป็นการลดพลังการกัดเซาะของฝนที่ตก ความสามารถในการดักขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพืชที่ปกคลุมและชนิดของพืช

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ (ต่อ)

พารามิเตอร์	ช่วง	นิยาม
4. ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับลำน้ำ (.Rte)		
CH_K(2)	(-0.01) – 150.00 มม./ ชม.	ค่าประสิทธิผลในการนำน้ำได้ของตะกอนในลำน้ำสายหลัก
CH_N(2)	(-0.01) – 0.30	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิง (Manning) ของลำน้ำสายหลัก
5. ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับน้ำใต้ดิน (.Gw)		
SHALLST	0.00 – 1000.00 มม.	ชั้นแหล่งน้ำตื้น สามารถเพิ่มการไหลย้อนกลับไปที่ลำน้ำภายในลุ่มน้ำ
DEEPST	0.00 – 3000.00 มม.	ชั้นแหล่งน้ำลึก น้ำใต้ดินจะไหลคืนสู่ลำน้ำที่ภายนอกลุ่มน้ำ
GW_DELA Y	0 – 500 วัน	เวลาที่การไหลย้อนกลับของน้ำใต้ดิน
ALPHA_BF	0 – 1 วัน	ค่าแฟกเตอร์การไหลลดลงของปริมาณการไหลพื้นฐาน
GWQMN	0.00 – 5000 มม.	ค่าปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดในชั้นแหล่งน้ำตื้นที่ต้องการเพื่อทำให้เกิดการไหลของน้ำใต้ดินที่ไหลจากชั้นแหล่งน้ำตื้นเป็นปริมาณน้ำไหลกลับ (Return Flow) สู่ลำน้ำ
GW_REVEP	0.02 – 0.20	ค่าสัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำใต้ดิน คือ การเคลื่อนย้ายน้ำจากชั้นแหล่งน้ำตื้นไปสู่ชั้นดินที่ยังไม่อิ่มตัว อาจรวมถึงการเคลื่อนย้ายน้ำจากชั้นที่ลึกลงไปอีกมาสู่ชั้นเขตรากพืชจากการควบแน่นของพืช
REVAPMN	0.00 – 500 มม.	ค่าปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดในชั้นแหล่งน้ำตื้นที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำใต้ดินจากชั้นแหล่งน้ำตื้นซึมสู่ชั้นน้ำใต้ดินที่ลึกลงไป
RCHRG_DP	0.00 – 1.00	ค่าแฟกเตอร์การไหลของน้ำจากชั้นเขตรากพืชลงสู่ชั้นแหล่งน้ำลึก

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ (ต่อ)

6. ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับการจัดการที่ดิน (.Mgt)		
CN2	35 - 98	ค่าเริ่มต้นของการหาค่าด้วยวิธี SCS Curve Number สำหรับเงื่อนไขความชื้นที่ 2 โดยที่ค่า CN เป็นฟังก์ชันของการซึมได้ในดินและสภาพการใช้ที่ดิน
7. ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับพื้นที่ลุ่มน้ำ (.Bsn)		
FFCB	0.000 – 1.000	ค่าสัดส่วนเริ่มต้นของปริมาณน้ำที่เก็บกักในดิน
MSK_CO1	0.000 – 10.000	ค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบที่ใช้ในการควบคุมผลกระทบของค่าคงที่ช่วงเวลาเก็บกักน้ำ (K_m) สำหรับการไหลปกติ (ระดับน้ำไหลเต็มตลิ่งแม่น้ำ) โดยที่ค่า K_m ใช้คำนวณในลำน้ำ
MSK_CO2	0.000 – 10.000	ค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบที่ใช้ในการควบคุมผลกระทบของค่าคงที่ช่วงเวลาเก็บกักน้ำ (K_m) สำหรับการไหลต่ำ (ระดับน้ำไหลเป็น 0.1 เท่าของระดับตลิ่งแม่น้ำ)
MSK_X	0.0 – 0.5	ค่าสัดส่วนน้ำหนักในการควบคุมความสัมพันธ์ของการไหลเข้า และไหลที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาตรในลำน้ำ

4.3 การจัดเตรียมข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าแบบจำลอง

4.3.1 ข้อมูลอุตุวิทยวิทยา

ข้อมูลอุตุวิทยวิทยาในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำปึงตอนบนที่จำเป็นต่อแบบจำลอง มีดังนี้

4.3.1.1 ปริมาณน้ำฝน

ข้อมูลที่ต้องเตรียมในการนำเข้าแบบจำลองมีอยู่สองส่วน คือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวัน และ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำฝน จากการศึกษาแบบจำลองพบว่า การคำนวณของแบบจำลองจะนำข้อมูล สถานีตรวจวัดน้ำฝนที่อยู่ใกล้ที่สุดของแต่ละลุ่มน้ำย่อยมาใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำท่า ดังนั้น จำเป็นต้องสร้างสถานีน้ำฝนเฉลี่ยให้กับแบบจำลอง หลังจากคำนวณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยที่ตำแหน่งของสถานีน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

4.3.1.2 อุณหภูมิ

ข้อมูลที่ต้องเตรียมในการนำเข้าแบบจำลองมีอยู่สองส่วน คือ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวัน และ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดอุณหภูมิ

4.3.1.3 สภาพภูมิอากาศ

จากหัวข้อ 3.7.2 ได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งแบบจำลองสามารถนำข้อมูลสภาพภูมิอากาศได้ 2 ลักษณะ คือ ข้อมูลแต่ละประเภทของสภาพภูมิอากาศ (ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์) ที่มีการตรวจวัดรายวัน และตำแหน่งสถานีตรวจวัดเข้าแบบจำลอง อีกลักษณะหนึ่ง คือ นำเข้าข้อมูลในลักษณะสถิติสภาพอากาศ โดยค่าการตรวจวัดสถิติอย่างน้อย 20 ปี การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลสถิติสภาพอากาศในคาบ 30 ปี แต่ขาดข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่มีการตรวจวัดในประเทศไทยมีการเก็บข้อมูลเพียงกรมทรัพยากรน้ำเท่านั้น ซึ่งข้อมูลสถิติสภาพอากาศที่นำมาใช้เป็นข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา จากพื้นที่ศึกษามีเพียงสถานีตรวจวัดของกรมทรัพยากรน้ำเพียงสถานีเดียวที่มีข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ คือ สถานีตรวจวัด 060601 ดังนั้นจึงถือว่าข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากสถานีตรวจวัด 060601 เป็นค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ตลอดพื้นที่ศึกษา และทำการคำนวณข้อมูลเป็นสถิติสภาพอากาศตลอดช่วงข้อมูลที่มีการตรวจวัดไว้ เพื่อนำข้อมูลเข้าเป็นฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศให้แบบจำลอง ในการใช้แบบจำลองเพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าในขั้นตอนนี้จะให้กำหนดตำแหน่งสถานีสถิติตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ได้เพิ่มเข้าในฐานข้อมูลแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองนำข้อมูลไปคำนวณ

4.3.2 ข้อมูลแผนที่ระบบสารสนเทศ

การทำงานของแบบจำลอง SWAT จะทำงานร่วมกับโปรแกรมระบบสารสนเทศ หรือโปรแกรม ArcView ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ version 3.3 และ SWAT 2005

ในการเตรียมข้อมูลแผนที่ระดับชั้นความสูงของกลุ่มน้ำ (DEM) มีอยู่ 2 วิธี ดังนี้

- 1) ทำการตัดข้อมูลแผนที่ DEM ตามพื้นที่ลุ่มน้ำที่จะทำการศึกษา โดยโปรแกรม ArcView
- 2) เตรียมข้อมูลแผนที่ DEM ให้มีขนาดพื้นที่ใหญ่กว่าพื้นที่ศึกษา เนื่องจากการกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ แบบจำลองจะให้กำหนดจุดทางออกของกลุ่มน้ำย่อยและลุ่มน้ำทั้งหมด และคำนวณขอบเขตสันปันน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งถ้านำข้อมูลแผนที่ DEM ที่มีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่จริงไปใช้งาน จะไม่ทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำที่ได้จากแบบจำลองบางส่วนหายไปและขนาดพื้นที่น้อยกว่าสภาพจริง และยังสามารทำการปรับแก้โดยปรับตำแหน่งของจุดทางออกเพื่อให้ได้ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดใกล้เคียงกับสภาพจริงได้ ดังนั้นในการศึกษานี้ได้เลือกวิธีนี้ในการสร้างขอบเขตลุ่มน้ำ

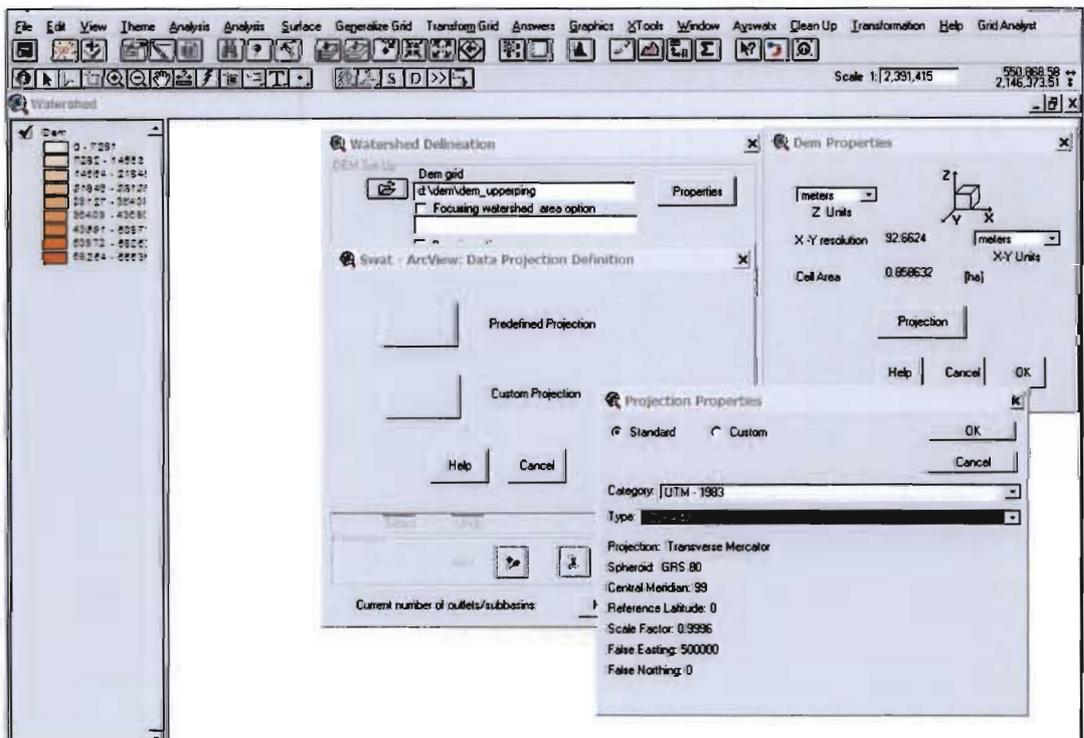
ส่วนข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินและสภาพดิน จัดเตรียมได้เหมือนกับข้อมูลแผนที่ DEM แต่ต่างกันที่สามารถจัดเตรียมข้อมูลในรูปแบบทั้ง Shape File และ Grid File โดยจัดทำตารางประเภทของสภาพการใช้ที่ดินและสภาพดิน ในประเทศไทยสภาพดินจะไม่เหมือนกับฐานข้อมูลของแบบจำลอง SWAT ซึ่งเป็นข้อมูลสภาพของประเทศสหรัฐอเมริกา จึงจำเป็นต้องเพิ่มคุณสมบัติของกลุ่มชุดดินของประเทศไทยเข้าไปในฐานข้อมูลของแบบจำลอง ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.7.3 แล้ว

4.4 การสังคายนวณแบบจำลอง SWAT

การใช้แบบจำลอง SWAT ควรนำข้อมูลทั้งหมดที่ต้องใช้นำเข้าแบบจำลองไว้ในข้อมูลชุดเดียวกัน และตั้งค่าเริ่มต้นของแบบจำลองให้ทำการดึงข้อมูลในชุดข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง ขั้นตอนมีดังนี้

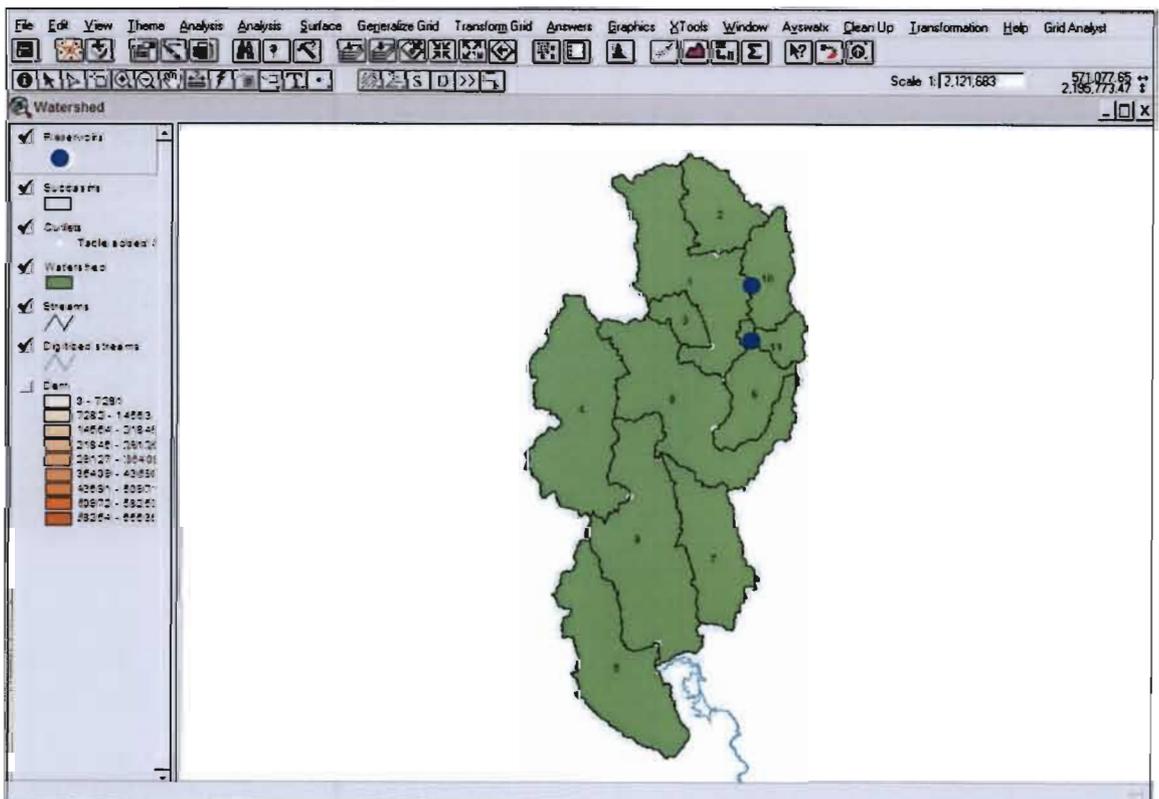
4.4.1 กำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ

1) ทำการกำหนดแผนที่ DEM ก่อน เพื่อระบุตำแหน่งของแผนที่ นำเข้าแผนที่ DEM จากนั้นกำหนด projection โดยกำหนดให้เป็นระบบ UTM – 1983 zone 47 จากนั้นทำการกำหนดพิกัด (Digitize) เส้นลำนํ้าให้กับแผนที่ เพื่อที่แบบจำลองจะคำนวณเส้นลำนํ้าตามที่กำหนดไว้ แต่ขั้นตอนนี้อาจจะไม่ต้องกำหนดก็ได้ ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน



รูปที่ 4.2 การกำหนด Projection ให้กับแผนที่ DEM

- 2) กำหนดขนาดพื้นที่จุดทางเข้าลุ่มน้ำ (Threshold Area) ให้กับแผนที่ DEM ซึ่งแบบจำลองจะให้ค่าที่เหมาะสมมาจากขั้นตอนที่ 1 โดยสามารถปรับค่าให้ต่ำสุดหรือสูงสุดได้ ในกรณีศึกษานี้เลือกใช้ขนาดพื้นที่เท่ากับ 5,000 เฮกตาร์ (50 ตร.กม.)
- 3) กำหนดจุดทางออกให้พื้นที่ลุ่มน้ำและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยจะทำการลบจุดทางออกที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง ในที่นี้ได้กำหนดจุดทางออกของสถานีวัดน้ำท่า P.1 P.14 P.20 P.21 เชื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล เชื่อนแม่กวงอุดมธารา เชื่อนภูมิพล และจุดทางออกที่ไม่มีสถานีตรวจอีก 5 จุด ซึ่งจุดที่น้ำไหลเข้าเชื่อนภูมิพลเป็นจุดทางออกของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด แบบจำลองจะสร้างขอบเขตลุ่มน้ำจากแผนที่ DEM ผลที่ได้อาจจะทำให้ขนาดพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำปึงตอนบนน้อยกว่าหรือมากกว่าขนาดพื้นที่จริงเล็กน้อย ซึ่งสามารถทำการปรับแก้ได้โดยปรับตำแหน่งของจุดทางออกของลุ่มน้ำ จากนั้นนำขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำที่ได้จากแบบจำลองจากจุดทางออกที่กำหนดมาเปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำจริง จากนั้นให้แบบจำลองกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด ซึ่งในที่นี้มี 11 ลุ่มน้ำย่อย
- 4) กำหนดอ่างเก็บน้ำให้กับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของเชื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลและเชื่อนแม่กวงอุดมธารา (ลุ่มน้ำย่อยที่ 10 และ 11 ตามลำดับ)



รูปที่ 4.3 แผนที่ลุ่มน้ำที่ได้กำหนดขั้นต้นของแบบจำลอง SWAT

4.4.2 กำหนดสภาพการใช้ที่ดินและสภาพดิน

- 1) นำเข้าแผนที่สภาพการใช้ที่ดินที่อยู่ในรูปแบบ Grid File จากนั้นทำการจัดกลุ่มประเภทสภาพการใช้ที่ดิน
- 2) นำเข้าแผนที่สภาพดินที่อยู่ในรูปแบบ Grid File จากนั้นทำการจัดกลุ่มประเภทสภาพดิน
- 3) ทำการซ้อนทับข้อมูลแผนที่ DEM สภาพการใช้ที่ดินและสภาพดินเข้าด้วยกัน

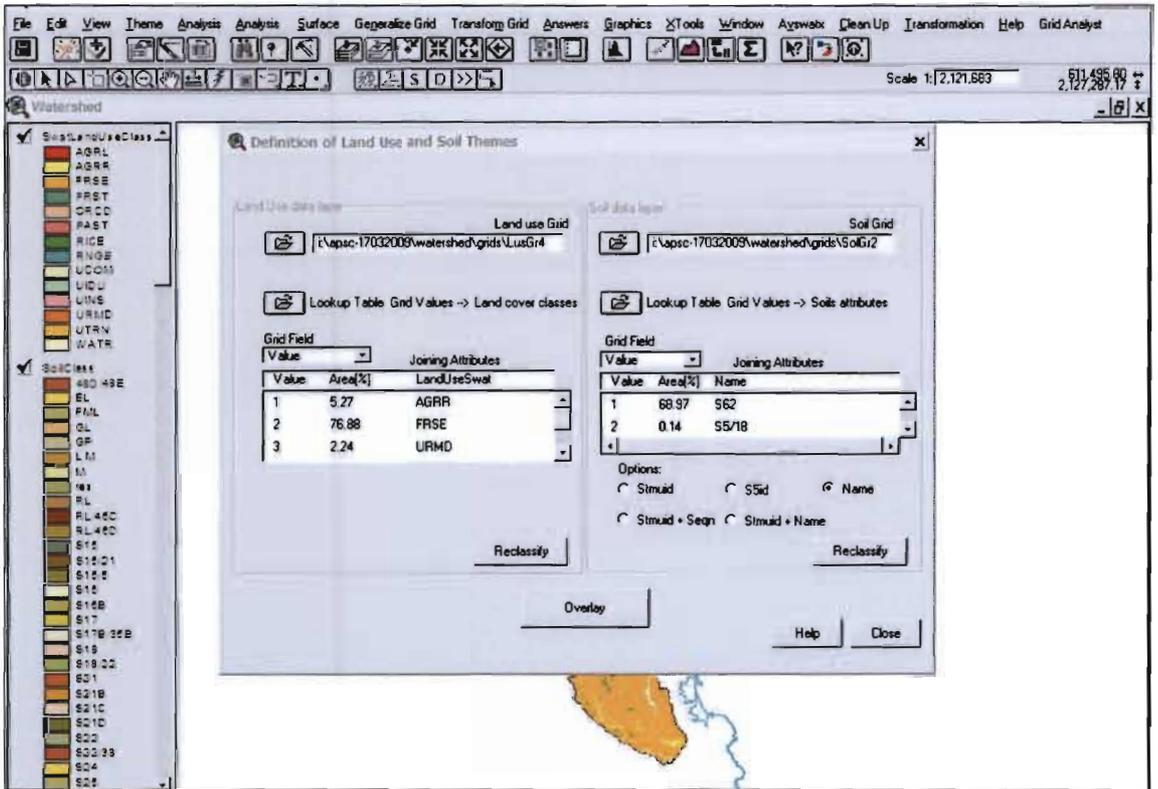
ในขั้นตอนนี้ แบบจำลองจะให้กำหนดประเภทของสภาพดินและสภาพการใช้ที่ดินที่มีอยู่ในแผนที่ที่ได้นำเข้าแบบจำลอง จากการจัดกลุ่มสภาพดินให้กำหนดเป็นชื่อของสภาพดิน (Name) ซึ่งได้เพิ่มเข้าไปในฐานข้อมูลสภาพดินของแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว แต่การจัดกลุ่มประเภทสภาพการใช้ที่ดินไม่จำเป็นต้องทำฐานข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินใหม่ให้กับแบบจำลอง เนื่องจากประเภทสภาพการใช้ที่ดินของแบบจำลองมีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพการใช้ที่ดินที่ได้จัดประเภทสภาพการใช้ที่ดินของประเทศไทย ในการจัดประเภทสภาพการใช้ที่ดินของแบบจำลองจะทำการกำหนดในรูปแบบของรหัสสภาพการใช้ที่ดิน (Code) เท่านั้น รหัสและลักษณะของประเภทสภาพการใช้ที่ดินแสดงในตารางที่ 4.2 และลักษณะในการจัดกลุ่มดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 รหัสและลักษณะของประเภทสภาพการใช้ที่ดิน

รหัสของแบบจำลอง	ลักษณะการใช้ที่ดิน	รายละเอียด
RICE	นาข้าว	นาร้าง,นาข้าว,นาดำ
AGRR	พืชไร่	ไร่อ้อย,พืชไร่ผสม,ข้าวโพด,ถั่วลิสง,ถั่วดำ,งา,ข้าวไร่,ฝ้าย,...,ไร่มวนเวียน
ORCD	ไม้ผล	ไม้ผลผสม,กล้วย,ชมพู่อ,ลำไย,...
AGRL	พืชสวน	พืชผัก, ไม้ดอก, พืชผักผสม
PAST	พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์	โรงเรือนเลี้ยงสัตว์,สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
FRSE	ป่า	ป่าผลัดใบ,ป่าไม่ผลัดใบ,ป่าดิบเขา
FRST	สวนป่า	สวนป่า,สวนป่าผสม,ป่าสน,ป่าสัก,ป่ายูคาลิปตัส
RNGE	ทุ่งหญ้า	ทุ่งหญ้า, ไม้ตะเภา, ไม้พุ่ม
UCOM	ตัวเมืองและย่านการค้า	ตัวเมืองและย่านการค้า
URMD	หมู่บ้าน	หมู่บ้านร้าง,โครงการจัดสรรที่ดิน,หมู่บ้านจัดสรร

ตารางที่ 4.2 รหัสและลักษณะของประเภทสภาพการใช้ที่ดิน (ต่อ)

รหัสของแบบจำลอง	ลักษณะการใช้ที่ดิน	รายละเอียด
UINS	สถานที่ราชการและ สถาบันต่างๆ	สถานที่ราชการและสถาบันต่างๆ
UTRN	สถานที่คมนาคม	ถนน, สถานีขนส่ง, รถไฟ
UIDU	พื้นที่อุตสาหกรรม	โรงงานอุตสาหกรรม, สนามกอล์ฟ, สถานที่ พักผ่อน
WATR	แหล่งน้ำ	แม่น้ำ, คลอง, อ่างเก็บน้ำ, บ่อ, บึง

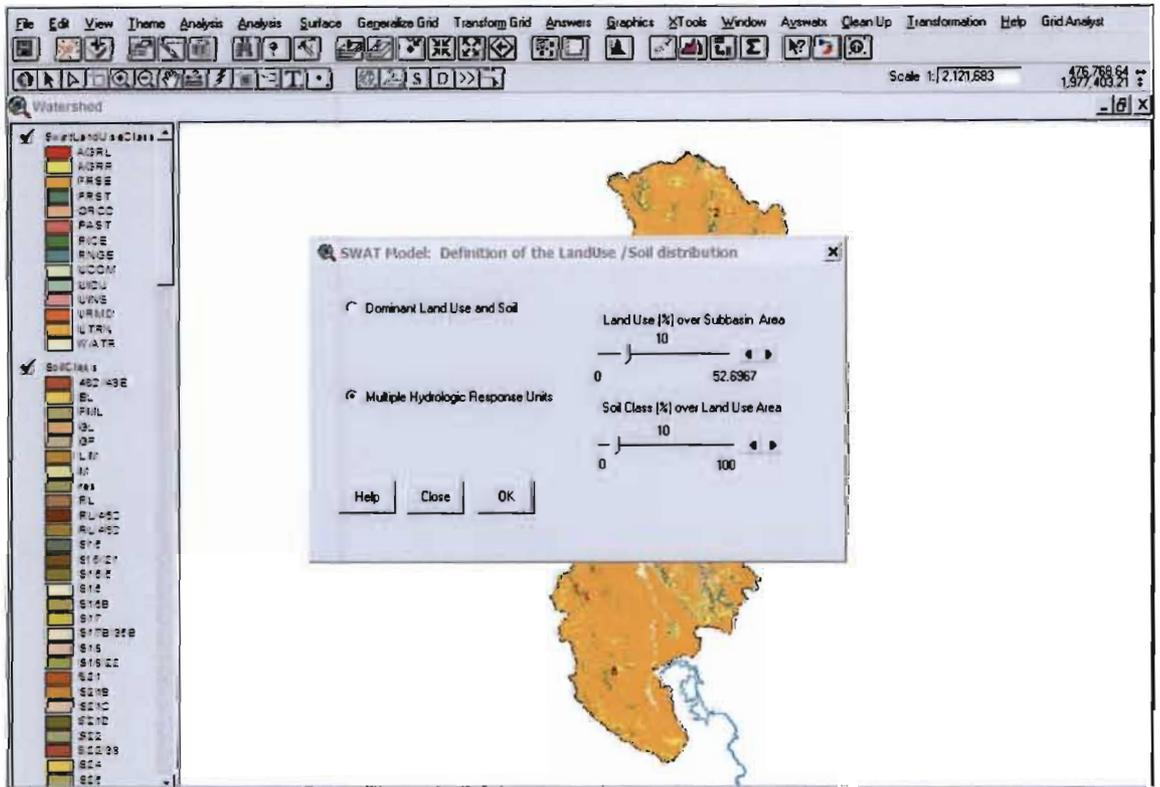


รูปที่ 4.4 แสดงการนำเข้าแผนที่สภาพการใช้ที่ดินและสภาพดิน

4.4.3 กำหนดหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs)

หน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา เป็นตัวกำหนดถึงความสำคัญหรือผลกระทบการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนมาเป็นปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งสิ่งที่ส่งผลกระทบมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ สภาพการใช้ที่ดิน และสภาพดิน โดยความหมายของการกำหนดค่าหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา คือ สภาพการใช้ที่ดินและสภาพดินที่มีขนาดพื้นที่ที่คิดเป็นร้อยละของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ได้กำหนดให้ จะส่งผลกระทบต่อระบบอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ เช่น กำหนดให้หน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา

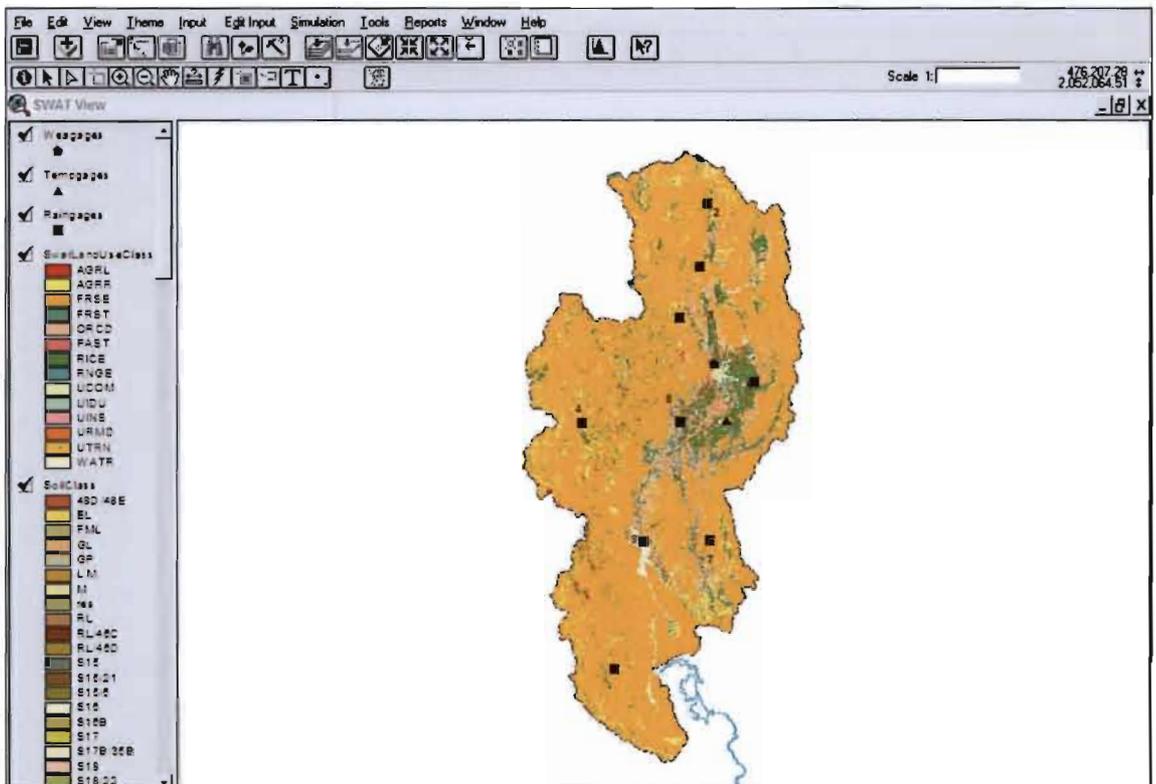
ที่สภาพการใช้ที่ดินที่ขนาดพื้นที่ร้อยละ 20 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และสภาพดินที่ขนาดพื้นที่ร้อยละ 20 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ หมายถึง ที่ขนาดพื้นที่สภาพการใช้ที่ดินและสภาพดินมีพื้นที่ตั้งแต่ร้อยละ 20 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ตามลำดับ จะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำมาเป็นปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยที่หน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาไม่ใช่พารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง แต่เป็นชุดของพารามิเตอร์ที่เกิดจากการคำนวณของแบบจำลองในขั้นตอนถัดไป ซึ่งหนึ่งหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาจะมีพารามิเตอร์ดังหัวข้อ 4.2 ดังนั้นในการกำหนดค่าร้อยละของพื้นที่ให้กับหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาไม่ควรกำหนดให้มีขนาดใหญ่เกินไป เพราะอาจทำให้หน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาหรือชุดพารามิเตอร์มีน้อยเกินไป แต่ถ้ากำหนดให้มีขนาดพื้นที่เล็กมากเกินไป อาจทำให้ได้หน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยามาก นั่นคือ จะได้จำนวนชุดพารามิเตอร์ที่มากตามไปด้วย จากคู่มือของแบบจำลองแนะนำให้กำหนดขนาดพื้นที่สภาพการใช้ที่ดินร้อยละ 20 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และขนาดพื้นที่สภาพดินร้อยละ 10 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ แต่ในการศึกษานี้ได้เลือกกำหนดขนาดพื้นที่สภาพการใช้ที่ดินและสภาพดินที่ร้อยละ 10 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ เนื่องจากให้หน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาครอบคลุมสภาพการใช้ที่ดินที่ได้ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ลักษณะการกำหนดหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการกำหนดหน่วยการตอบสนองของพื้นที่

4.4.4 การนำเข้าสู่ข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยา

การกำหนดสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ จะต้องเตรียมข้อมูลรายวันของสถานีที่จะกำหนดเข้าไปในแบบจำลอง ขั้นแรกให้กำหนดสถานีตรวจวัดสภาพอากาศก่อน จากนั้นกำหนดสถานีน้ำฝนเฉลี่ย โดยข้อมูลฝนรายวันของแต่ละสถานีนั้น แบบจำลองสามารถเตรียมข้อมูลนำเข้าได้ 2 วิธี คือ นำเข้าข้อมูลที่ตรวจวัดจากแต่ละสถานีหรือนำเข้าข้อมูลฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีให้สมมติสถานีตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของพื้นที่ลุ่มน้ำ เมื่อกำหนดสถานีน้ำฝนเฉลี่ยแล้ว จากนั้นกำหนดสถานีตรวจวัดอุณหภูมิจากแบบจำลองสามารถกำหนดสถานีตรวจวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ แต่ในการศึกษานี้จะใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ ซึ่งเป็นข้อมูลสถิติสภาพอากาศคาบ 30 ปี โดยเหตุผลที่เลือกการนำเข้าสู่ลักษณะที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3.1.3 แล้ว



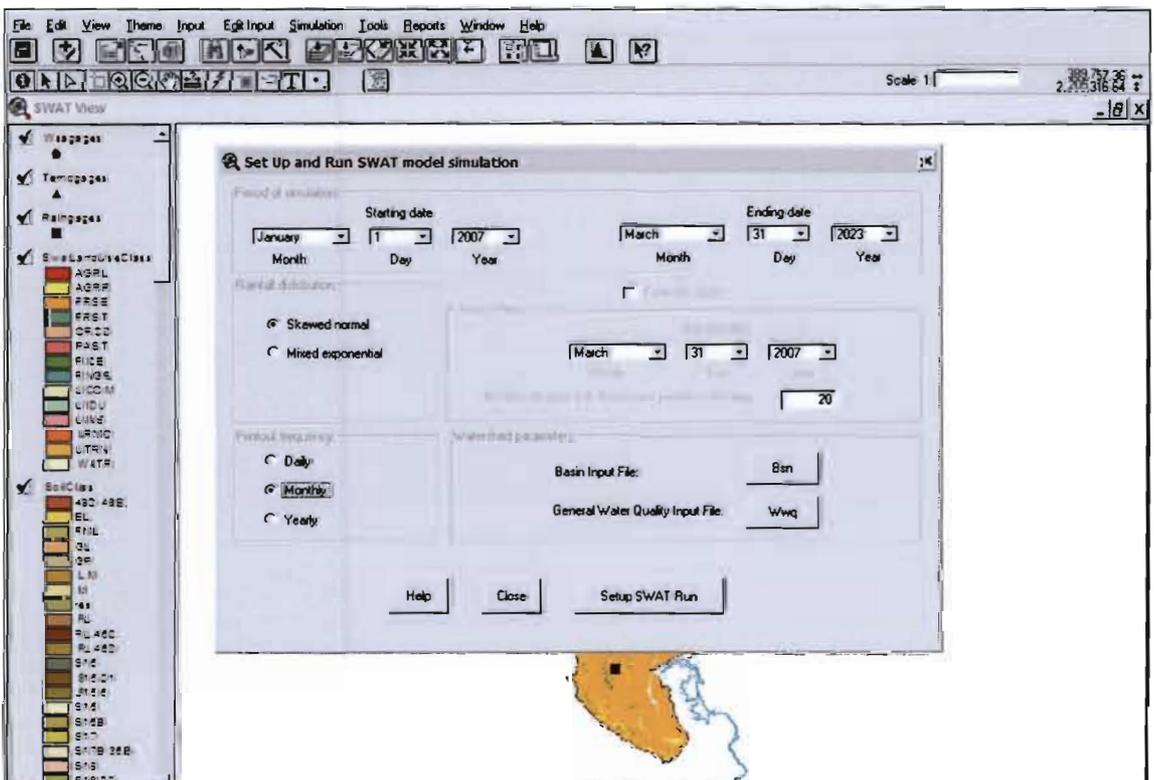
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะข้อมูลเมื่อจบขั้นตอนการกำหนดสถานีอุตุนิยมวิทยา

4.4.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

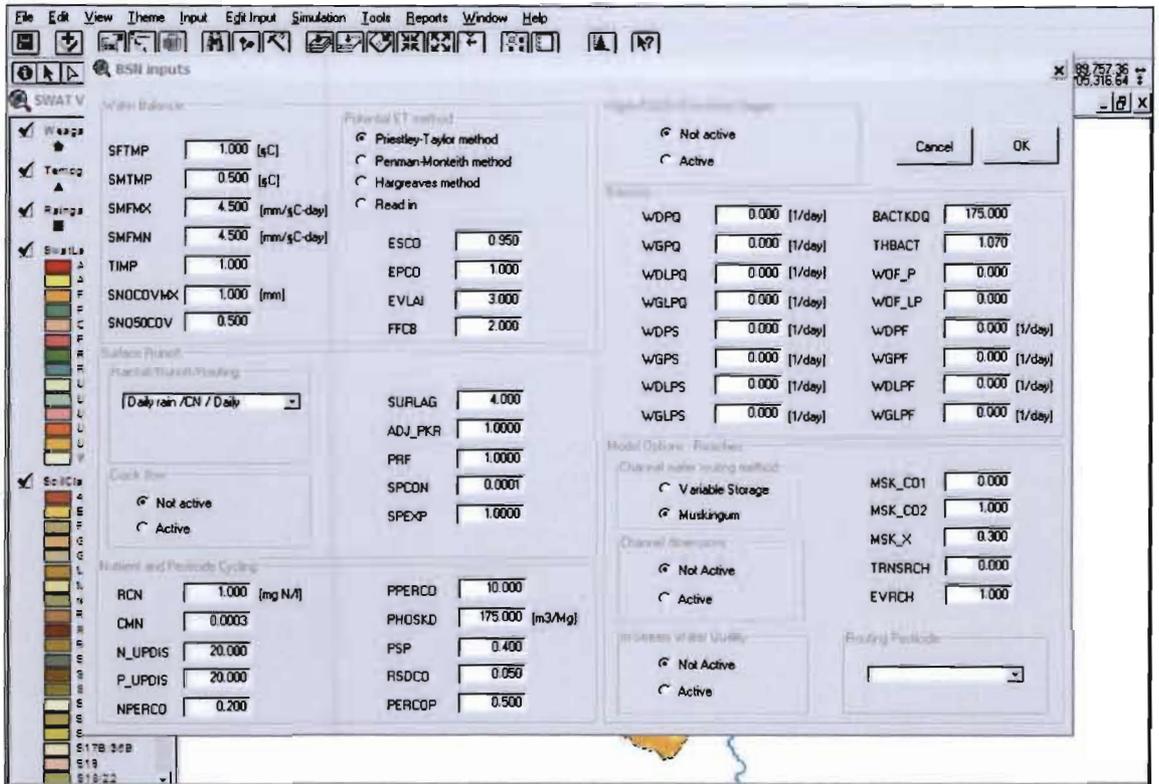
การกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับแบบจำลอง SWAT จะกำหนดให้ใช้ค่าตั้งต้นของแบบจำลองไปก่อน ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งค่าที่จะให้กำหนดมีอยู่ 2 ค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเมanning ของลำน้ำหลัก และลำน้ำสาขา โดยมีค่าเท่ากับ 0.014 เนื่องจากในขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองจะทำการปรับค่าอีกครั้ง

4.4.6 การตั้งค่าและกำหนดการคำนวณของแบบจำลอง

ในการศึกษานี้เลือกช่วงเวลาที่ จะคำนวณ และกำหนดข้อมูลนำเข้าเป็นแบบข้อมูลรายเดือน เนื่องจากแบบจำลองมีลักษณะในการคำนวณแบบช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน (Long Term) และจากงานวิจัยที่ผ่านมาคำนวณปริมาณน้ำทำในรูปแบบรายเดือน นอกจากนี้การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ที่ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลต่อโครงการอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ศึกษาและโครงการอื่น ๆ จากนั้นเข้าไปกำหนดวิธีการคำนวณการคายระเหยของพื้นที่ศึกษา โดยใช้วิธี Priestley – Taylor เนื่องจากลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณเหมาะสมกับข้อมูลการตรวจวัดในประเทศไทย และคำนวณลักษณะการเคลื่อนตัวในลำน้ำในพารามิเตอร์ของกลุ่มน้ำ โดยใช้วิธี Muskingum เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาเลือกใช้วิธีนี้ [2, 8] ลักษณะการตั้งค่าและกำหนดวิธีการคำนวณของแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 แสดงการตั้งค่าและกำหนดวิธีการคำนวณของแบบจำลอง



รูปที่ 4.8 แสดงการตั้งค่าและการกำหนดวิธีการคำนวณของพื้นที่ลุ่มน้ำ

4.5 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

การเปรียบเทียบแบบจำลองมี 2 ขั้นตอน ดังนี้

4.5.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ (Sensitivity Analysis)

ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง ไม่ว่าจะ เป็นแบบจำลองใดก็ตามต้องวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ เพราะทำให้ทราบถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณ รูปแบบการกระจายตัว และกราฟของปริมาณน้ำทำอย่างไร และมีผลกระทบมากหรือน้อยเพียงใด ส่งผลให้ขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบจำลองเป็นรูปแบบมากขึ้น

หลักการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ คือ การแปรผันพารามิเตอร์ที่กำลังวิเคราะห์ในช่วงที่แบบจำลองกำหนด (ต่ำสุด – สูงสุด) ทีละตัวแปร โดยที่กำหนดพารามิเตอร์ที่ไม่ได้พิจารณาให้มีค่าคงที่ตลอดการวิเคราะห์ ในการแปรผันค่าพารามิเตอร์ให้กำหนดค่าที่เพิ่มขึ้นและลดลงในสัดส่วนที่เท่า ๆ กัน จากนั้นพิจารณาถึงผลที่ได้ว่าปริมาณน้ำทำเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะอย่างไร

4.5.2 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

จากการคัดเลือกสถานีวัดน้ำท่ามีทั้งหมด 5 จุด คือ สถานี P.1 P.14 P.20 P.21 และ จุดไหลเข้าเขื่อนภูมิพล ได้ขนาดพื้นที่รับน้ำแต่ละจุดดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ขนาดของพื้นที่รับน้ำที่จุดสถานีเปรียบเทียบแบบจำลอง

จุดเปรียบเทียบแบบจำลอง	ขนาดพื้นที่รับน้ำ (ตร.ม.)
สถานีวัดน้ำท่า P.1	6,355
สถานีวัดน้ำท่า P.14	3,853
สถานีวัดน้ำท่า P.20	1,355
สถานีวัดน้ำท่า P.21	515
ไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	1,281
ไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา	569
ไหลเข้าเขื่อนภูมิพล	23,370

การเปรียบเทียบแบบจำลองได้เลือกช่วงการเปรียบเทียบแบบจำลองตามข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลสภาพอุตุ - อุตกวิทยาช่วงเวลาตามปีแผนที่สภาพการใช้ที่ดินที่เป็นช่วงเวลาเดียวกัน และช่วงข้อมูลที่ใช้เป็นช่วงข้อมูลของปีน้ำ (เม.ย. - มี.ค. ของปีถัดไป) ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 4.4 การพิจารณาผลการเปรียบเทียบแบบจำลองพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณจากแบบจำลองโดยใช้ค่าฟังก์ชันทางสถิติ R^2 และ NS ซึ่งได้กล่าวในหัวข้อ 2.3 ไว้เรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลและช่วงเวลาที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ลำดับ	ข้อมูล	ช่วงข้อมูลอุตุ - อุตกวิทยา
1	สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533	เม.ย. 2530 - มี.ค. 2534
2	สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544	เม.ย. 2541 - มี.ค. 2545
3	สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549	เม.ย. 2546 - มี.ค. 2550

ในการศึกษานี้พิจารณาในรูปแบบของปริมาณน้ำท่ารายเดือน โดยมีหน่วยปริมาณน้ำเป็นล้านลูกบาศก์เมตร ขั้นตอนการเปรียบเทียบมีดังนี้

- 1) ขั้นแรกให้กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับน้ำใต้ดินและพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งจากการกำหนดค่าที่ได้ศึกษาด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ [2] ค่าที่กำหนดมีดังนี้

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
SHALLST	100 มม.
DEEPST	2,000 มม.
REVAPMN	250 มม.
FFCB	2.00

2) พิจารณาปริมาณน้ำไหลผิวดิน โดยทำการปรับค่า CN2 โดยสังเกตลักษณะการเพิ่มและลดของปริมาณน้ำ แต่ถ้าผลยังไม่เข้ากับสภาพการไหลจริงให้ปรับค่า SOL_AWC และ ESCO เพื่อให้ปริมาณน้ำไหลผิวดินใกล้เคียงกับการไหลในสภาพจริง

3) พิจารณาการไหลของน้ำใต้ดิน ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณการไหลพื้นฐาน ถ้าช่วงการไหลพื้นฐานสูงให้ปรับค่า GWQMN และ GW_REVEP สูงขึ้น ถ้าช่วงการไหลพื้นฐานต่ำให้ปรับค่า GWQMN และ GW_REVEP ลดลง ในกรณีที่ปรับค่าทั้งสองต่ำสุดแล้วยังคงปริมาณการไหลพื้นฐานต่ำอยู่ให้ปรับค่า REVAPMN และ RCHRG_DP ลดลง

4) พิจารณากราฟการไหลของปริมาณน้ำ ในขั้นตอนนี้มีพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่ออยู่หลายพารามิเตอร์ ถ้าเส้นกราฟของปริมาณน้ำทำช่วงต้นจนถึงจุดปริมาณน้ำไหลสูงสุด ต่ำกว่าสภาพการไหลจริง ให้ปรับค่าของ GW_DELAY เพิ่มขึ้น และ GWQMN ลดลง ถ้าจุดปริมาณน้ำไหลสูงสุดที่ได้ไม่ตรงกับสภาพการไหลจริง ให้ปรับค่า SLUBBSN SLOPE OV_N และ CH_N

5) ในกรณีที่กราฟการไหลของปริมาณน้ำสูงสุดเข้ากับสภาพการไหลจริง แต่ช่วงการไหลลดลงของเส้นกราฟลดลงเร็วกว่า และต่ำกว่าสภาพการไหลจริง ให้ปรับค่า CH_K เพิ่มขึ้น และ GW_DELAY เพิ่มขึ้น และกรณีที่เส้นกราฟการไหลของปริมาณน้ำในช่วงลดลงไม่ราบเรียบ ให้ปรับค่า ALPHA_BF

4.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในขั้นตอนข้างต้น จะได้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำท่าซึ่งได้มา 3 ชุดตามสภาพการใช้ที่ดิน และสภาพอุตุ - อุทกวิทยาที่แตกต่างกัน ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีเขื่อนที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าที่ได้จากพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยที่เขื่อนแม่จันคสมบูรณ์ชลเริ่มใช้งานปี พ.ศ. 2528 ซึ่งการบริหารจัดการเขื่อนได้เริ่มต้นก่อนที่จะทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองคือ ช่วงปี พ.ศ. 2530 – 2549 แต่เขื่อนแม่กวงอุดมธาราเริ่มใช้งานที่ปี พ.ศ. 2537 ดังนั้น สภาพการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2533 ที่เปรียบเทียบในเบื้องต้นจะไม่รวมผลกระทบของเขื่อนแม่กวงอุดมธารา แต่ในสภาพความเป็น ปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 มีผลกระทบของเขื่อนทั้ง 2 เขื่อนเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น จึงจำเป็นพิจารณาสภาพการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2533 โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ คำนวณปริมาณน้ำท่าในช่วง 20 ปีย้อนหลัง โดยสมมติให้มีเขื่อนแม่จันคสมบูรณ์ชลเพียงเขื่อนเดียวตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา และอีกกรณี คือ แบ่งช่วงในการคำนวณเป็นช่วงก่อนมีเขื่อนแม่กวงอุดมธารา และหลังเริ่มใช้งานเขื่อนอุดมธารา จากนั้นถึงจะเริ่มนำไปใช้งานต่อไป

การประยุกต์ใช้แบบจำลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- 1) พิจารณช่วงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 นำเข้าแบบจำลอง เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากแผนที่สภาพการใช้ที่ดินที่แตกต่างกันทั้ง 3 ปี เพื่อตรวจสอบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินเพียงอย่างเดียวหรือไม่
- 2) นำแบบจำลองมาคำนวณปริมาณน้ำท่าภายใต้สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 แต่ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาย้อนหลัง 20 ปี แล้วนำผลการประเมินไปเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงเวลา 20 ปีที่ผ่านมา ซึ่งผลการเปรียบเทียบจะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณและรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณน้ำท่า ถ้าสภาพการใช้ที่ดินเป็นดังปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 ตลอดในช่วง 20 ปี และสภาพภูมิอากาศเป็นแบบเดียวกับที่เคยเกิดขึ้นในอดีต

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง แสดงอยู่ในบทที่ 5

บทที่ 5 ผลการศึกษา

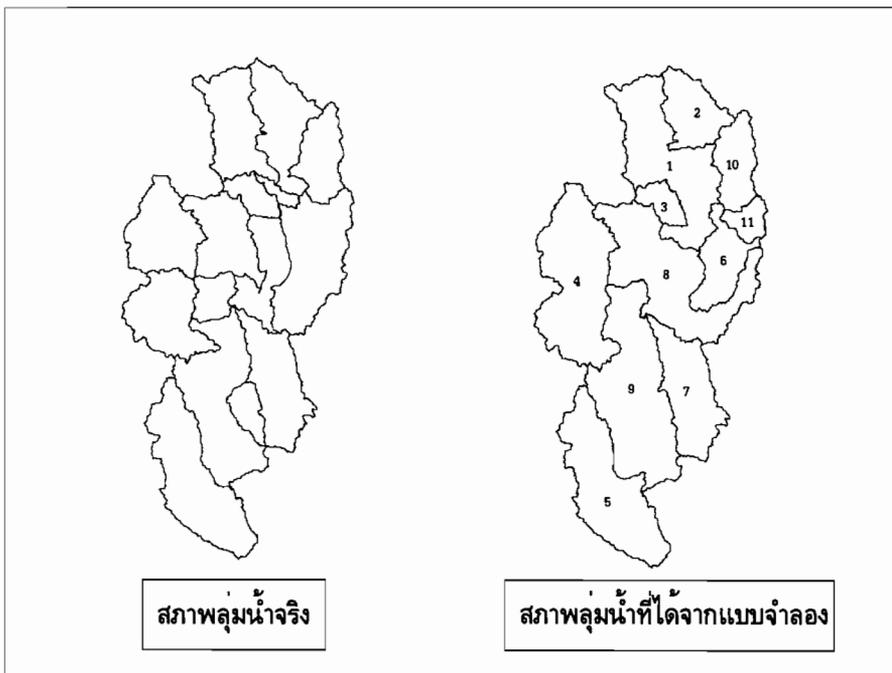
5.1 ผลการจำลองสภาพทางกายภาพ

ผลการคำนวณขอบเขตลุ่มน้ำจากแบบจำลอง ขนาดพื้นที่รับน้ำแสดงในตารางที่ 5.1 และลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยรวมไปถึงตำแหน่งสถานีน้ำฝนเฉลี่ยแสดงดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 ตามลำดับ

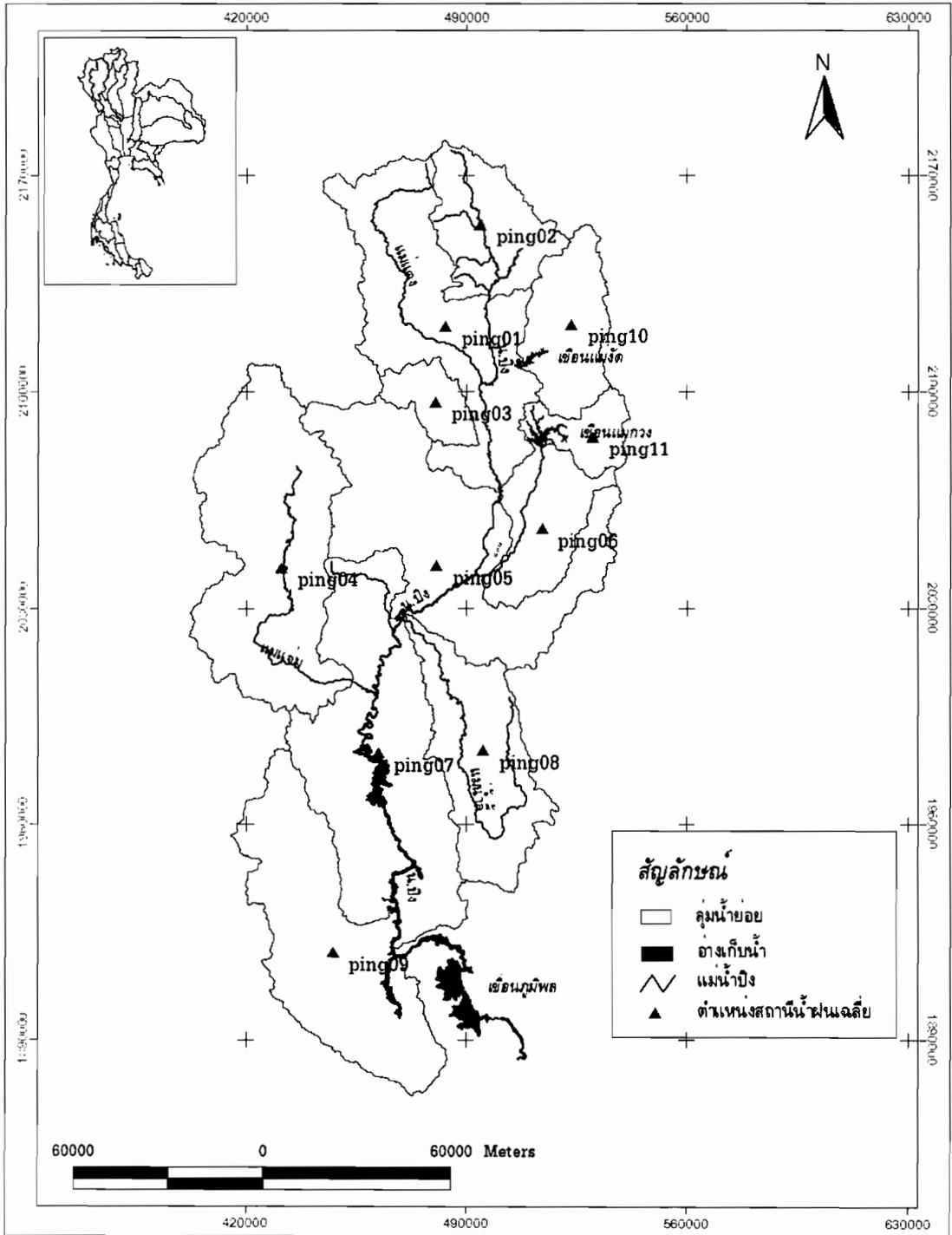
ตารางที่ 5.1 ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ได้จากแบบจำลอง

ลุ่มน้ำย่อย	ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)
1	4511.61
2	1360.39
3	511.17
4	3833.05
5	3290.52
6	1636.61

ลุ่มน้ำย่อย	ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)
7	2081.83
8	3773.42
9	4239.99
10	1173.13
11	546.72



รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำจากสภาพลุ่มน้ำจริงและจากแบบจำลอง



รูปที่ 5.2 ตำแหน่งสถานีน้ำฝนเฉลี่ยและลักษณะขอบเขตลุ่มน้ำย่อยในการคำนวณ

5.2 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว

จากการศึกษาลักษณะสภาพพื้นที่ของพื้นที่ศึกษาและข้อมูลที่นำเข้ามาแบบจำลอง ได้ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตารางการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	การปรับค่าพารามิเตอร์	
	ปรับลดลง	ปรับเพิ่มขึ้น
SOL_AWC (.Sol)	ไม่ควรลดเกิน 0.04 จากค่าเริ่มต้น เมื่อลดค่าลงจะส่งผลทำให้ Base Flow เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	ไม่ควรลดเกิน 0.04 จากค่าเริ่มต้น เมื่อลดค่าลงจะส่งผลทำให้ การไหลที่ผิวดินลดลงเล็กน้อย
CN2 (.Mgt)	ปริมาณน้ำทั้งหมด โดยเฉพาะช่วงน้ำหลากลดลงมาก	ปริมาณน้ำทั้งหมด โดยเฉพาะช่วงน้ำหลากเพิ่มขึ้นมาก
ESCO (.Hru)	ปริมาณน้ำท่าลดลง	ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น
CANMX (.Hru)	ปริมาณน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้น	ปริมาณน้ำทั้งหมดลดลง แต่ช่วงน้ำหลากจะเพิ่มขึ้น
OV_N (.Hru)	ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย	ปริมาณน้ำลดลงเล็กน้อย
GWQMN (.Gw)	การไหลพื้นฐานเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง	การไหลพื้นฐานลดลงเล็กน้อยหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง
GW_REVAP (.Gw)	Base Flow เพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง	Base Flow ลดลงเล็กน้อยหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง
CH_K(1) (.Sub)	ปริมาณน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้น	ปริมาณน้ำทั้งหมดลดลง
CH_N(1) (.Sub)	ปริมาณน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย	ปริมาณน้ำทั้งหมดลดลงเล็กน้อย
CH_N(2) (.Rte)	ปริมาณน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้น น้ำท่าช่วงน้ำแล้งเพิ่มขึ้น แต่ในช่วงน้ำหลากลดลง	ปริมาณน้ำทั้งหมดลดลง น้ำท่าช่วงน้ำแล้งลดลง แต่ในช่วงน้ำหลากเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.2 ตารางการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ (ต่อ)

พารามิเตอร์	การปรับค่าพารามิเตอร์	
	ปรับลดลง	ปรับเพิ่มขึ้น
CH_K(2) (.Rte)	Base Flow ลดลงมาก	Base Flow เพิ่มขึ้นมาก
ALPHA_BF (.Gw)	กราฟน้ำท่าช่วงการไหล ลดลงเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	กราฟน้ำท่าช่วงการไหลลดลง เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

5.3 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ก่อนทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต้องพิจารณาขนาดพื้นที่รับน้ำที่คำนวณจากแบบจำลอง ซึ่งพบว่า ขนาดพื้นที่รับน้ำที่คำนวณจากแบบจำลองโดยกำหนดให้ที่จุดทางออกเป็นตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่า มีค่าความแตกต่างจากพื้นที่รับน้ำจริงน้อยกว่าร้อยละ 1.00 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ถือว่าใกล้เคียงกันมาก แต่ในกรณีที่ขนาดพื้นที่รับน้ำจากแบบจำลองที่จุดทางออกเป็นตำแหน่งของเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ ซึ่งไม่ทราบตำแหน่งที่แน่นอน ทำให้ได้เพียงกำหนดจุดทางออกบริเวณที่ตั้งเขื่อนให้มีขนาดพื้นที่รับน้ำจากแบบจำลองใกล้เคียงกับขนาดพื้นที่รับน้ำจริง ซึ่งในที่นี้ได้ค่าร้อยละความแตกต่างต่ำกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ถือว่ายอมรับได้ ค่าร้อยละความแตกต่างของพื้นที่รับน้ำแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ขนาดและร้อยละความแตกต่างของพื้นที่รับน้ำที่จุดทางออกของกลุ่มน้ำ

จุดเปรียบเทียบแบบจำลอง	ขนาดพื้นที่รับน้ำจริง (ตร.กม.)	ขนาดพื้นที่รับน้ำจาก แบบจำลอง (ตร.กม.)	ร้อยละความ แตกต่าง *
สถานีวัดน้ำท่า P.1	6,355	6,383.17	0.44
สถานีวัดน้ำท่า P.14	3,853	3833.05	0.51
สถานีวัดน้ำท่า P.20	1,355	1360.39	0.39
สถานีวัดน้ำท่า P.21	515	511.17	0.74
ไหลเข้าเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล	1,281	1173.13	8.42
ไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา	569	546.72	3.91
ไหลเข้าเขื่อนภูมิพล	23,370	25338.72	8.42

* ร้อยละความแตกต่าง = $\{ | \text{ขนาดพื้นที่รับน้ำจริง} - \text{ขนาดพื้นที่รับน้ำจากแบบจำลอง} | \} / \text{ขนาดพื้นที่รับน้ำจริง} \times 100$

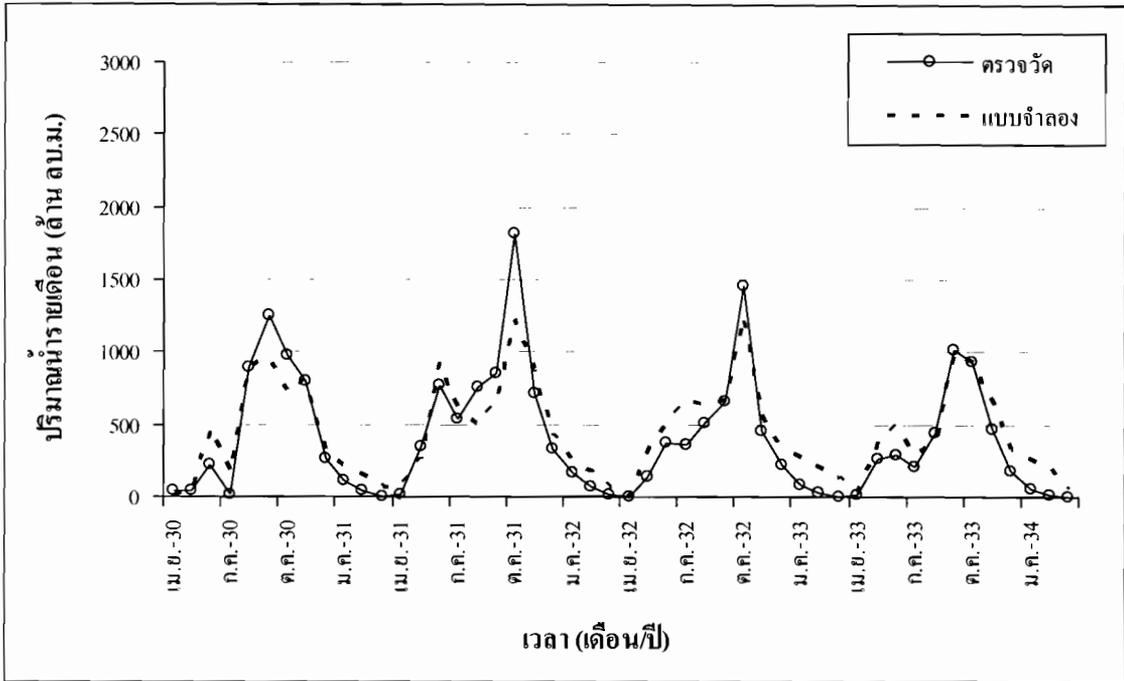
จากการเปรียบเทียบแบบจำลองที่สภาพการไใช้ที่ดินทั้ง 3 ปี ได้แก่ สภาพการไใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 2544 2549 และ จุดที่พิจารณาทั้ง 5 จุด ได้แก่ P.1 P.14 P.20 P.20 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่กวอดุมชารา และ ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองแสดงในภาคผนวก จ ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองมีดังต่อไปนี้

5.3.1 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล

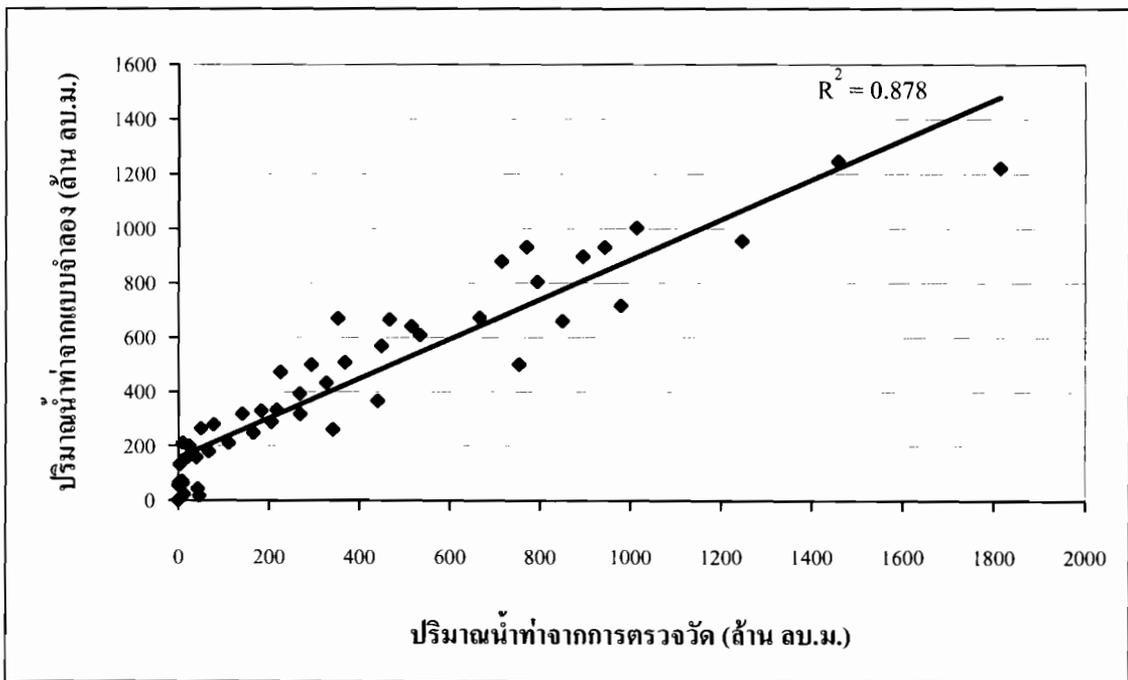
เขื่อนภูมิพลเป็นจุดที่แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำปิงเป็นสองส่วน คือ ลุ่มน้ำปิงตอนบน และลุ่มน้ำปิงตอนล่าง และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพลเป็นปริมาณน้ำจากพื้นที่เหนือเขื่อน หรือพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน สภาพการไใช้ที่ดินและสภาพอุตุ – อุกทวิทยา ปี พ.ศ. 2533 มีปริมาณน้ำทำรายปีเฉลี่ยประมาณ 4,787.45 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำทำรายปีเฉลี่ยประมาณ 5,370.97 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.87 และ 0.91 ตามลำดับ สภาพการไใช้ที่ดินและสภาพอุตุ – อุกทวิทยา ปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณน้ำทำรายปีเฉลี่ยประมาณ 4,535.27 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำทำรายปีเฉลี่ยประมาณ 4,743.09 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.82 และ 0.92 ตามลำดับ และ สภาพการไใช้ที่ดินและสภาพอุตุ – อุกทวิทยา ปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำทำรายปีเฉลี่ยประมาณ 5,917.78 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำทำรายปีเฉลี่ยประมาณ 6,256.00 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.93 และ 0.95 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.3 – 5.8

ตารางที่ 5.4 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล

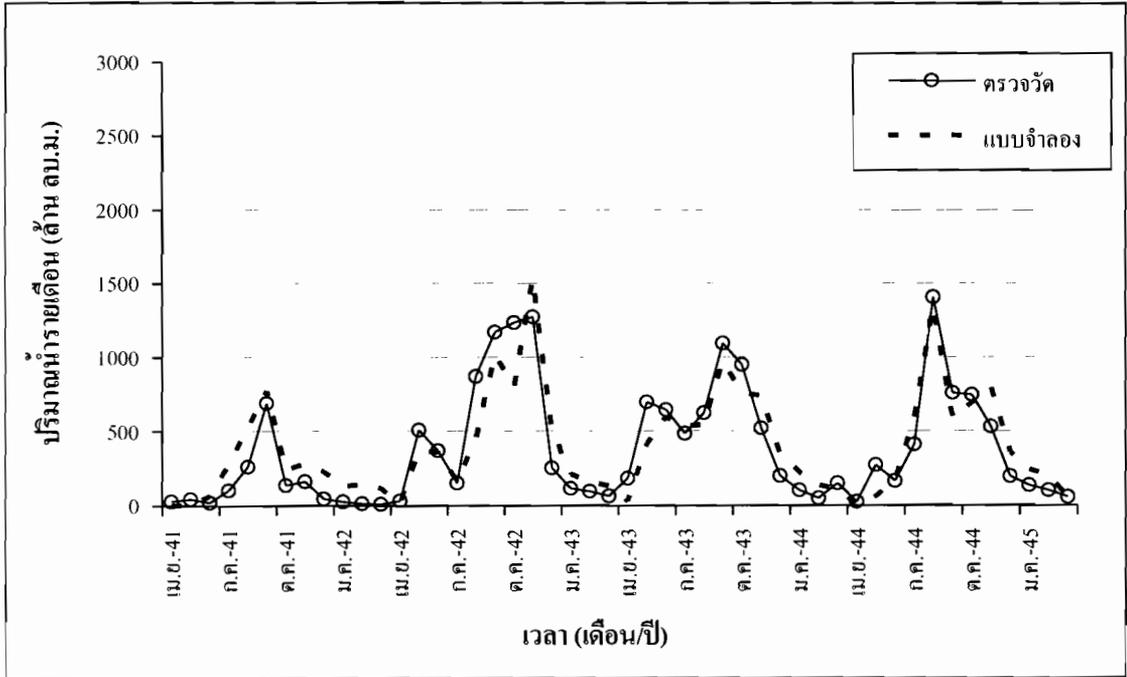
ปีสภาพการ ไใช้ที่ดิน	ร้อยละความแตกต่าง ของปริมาณน้ำทำรายปี	ค่าความคลาดเคลื่อน	
		R^2	NS
2533	12.18	0.87	0.91
2544	4.58	0.82	0.91
2549	5.71	0.93	0.95



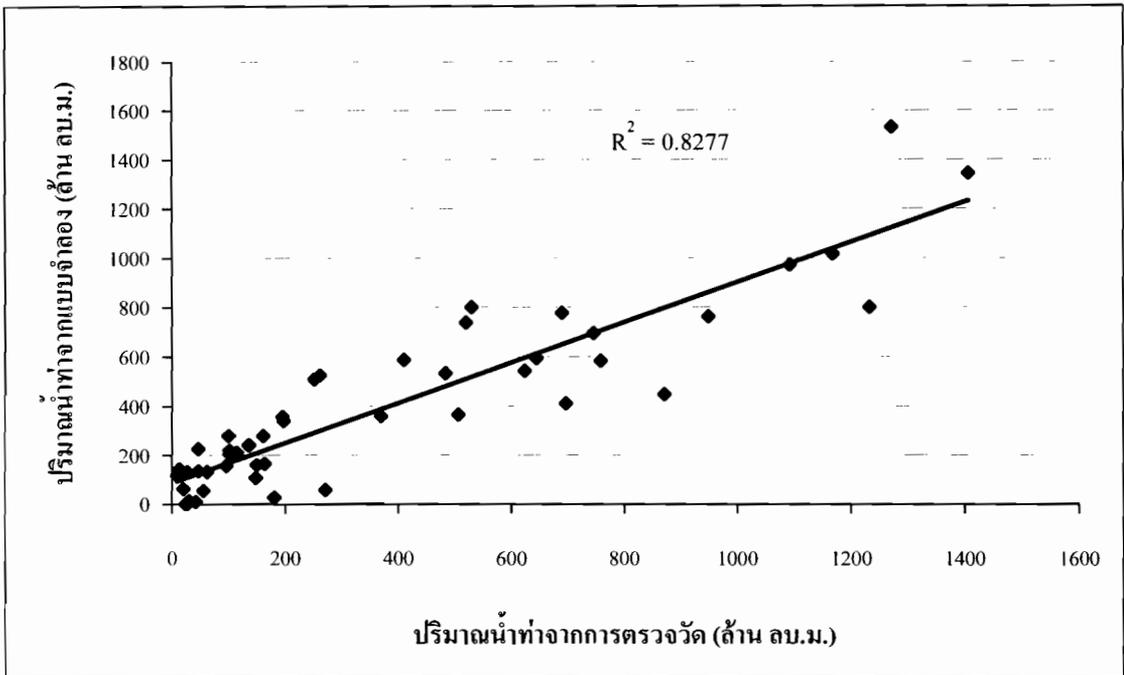
รูปที่ 5.3 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 ณ จุดน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล



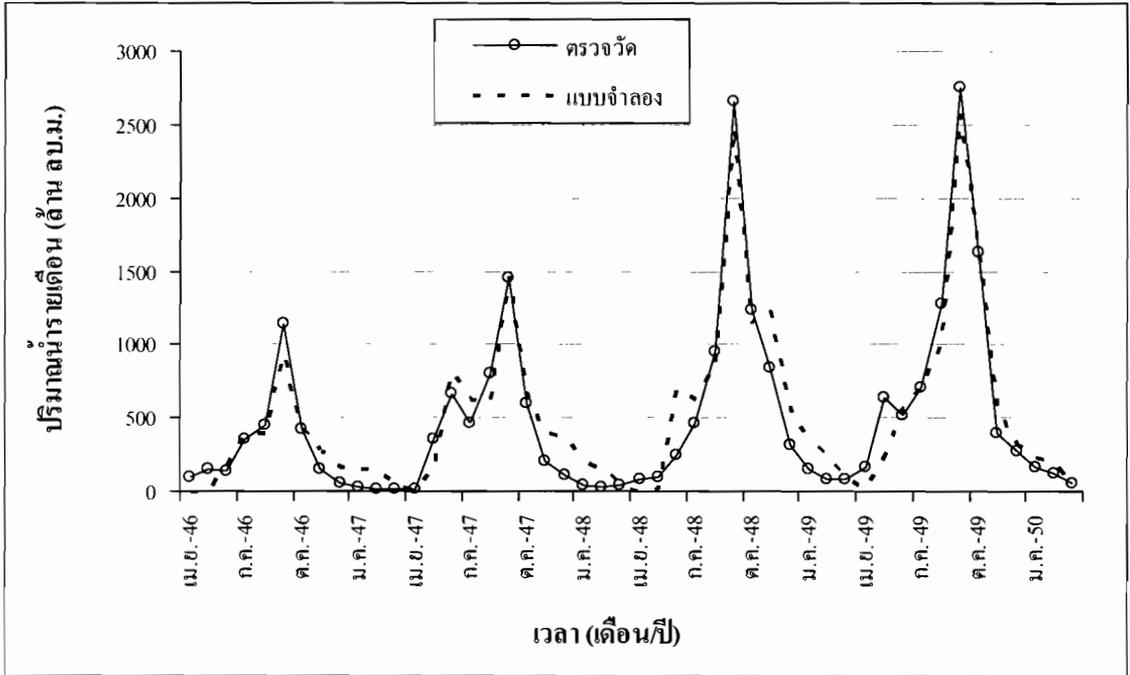
รูปที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 ณ จุดน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล



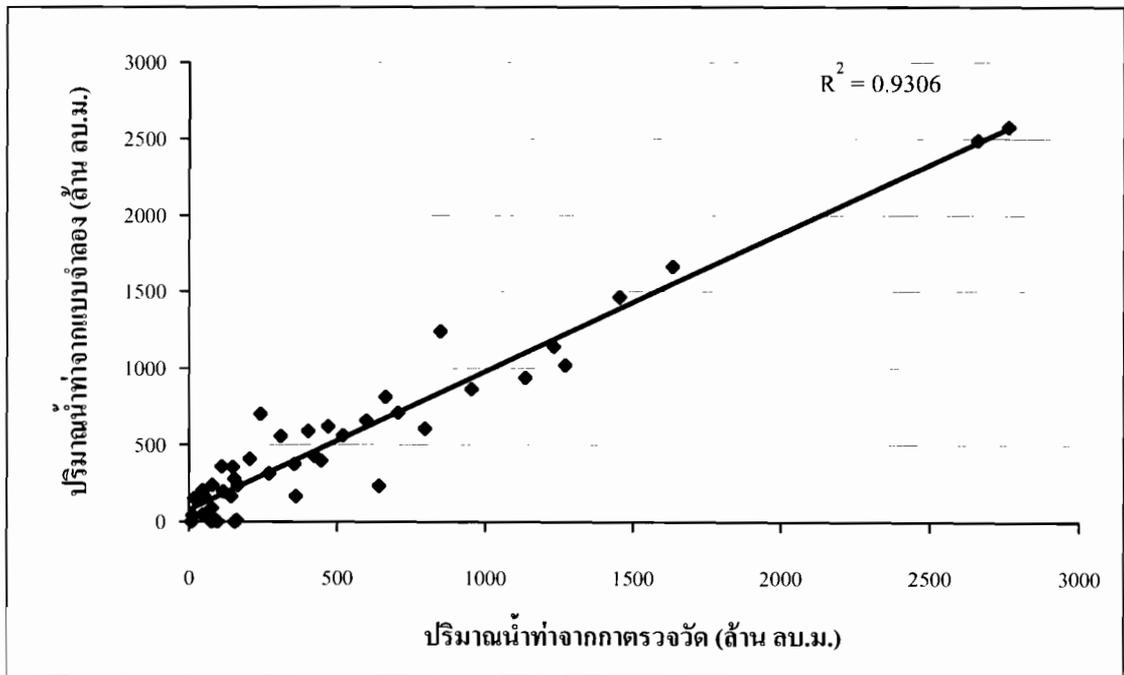
รูปที่ 5.5 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่คืนปี พ.ศ. 2544 ณ จุดน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล



รูปที่ 5.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่คืนปี พ.ศ. 2544 ณ จุดน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล



รูปที่ 5.7 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2549 ณ จุดน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล



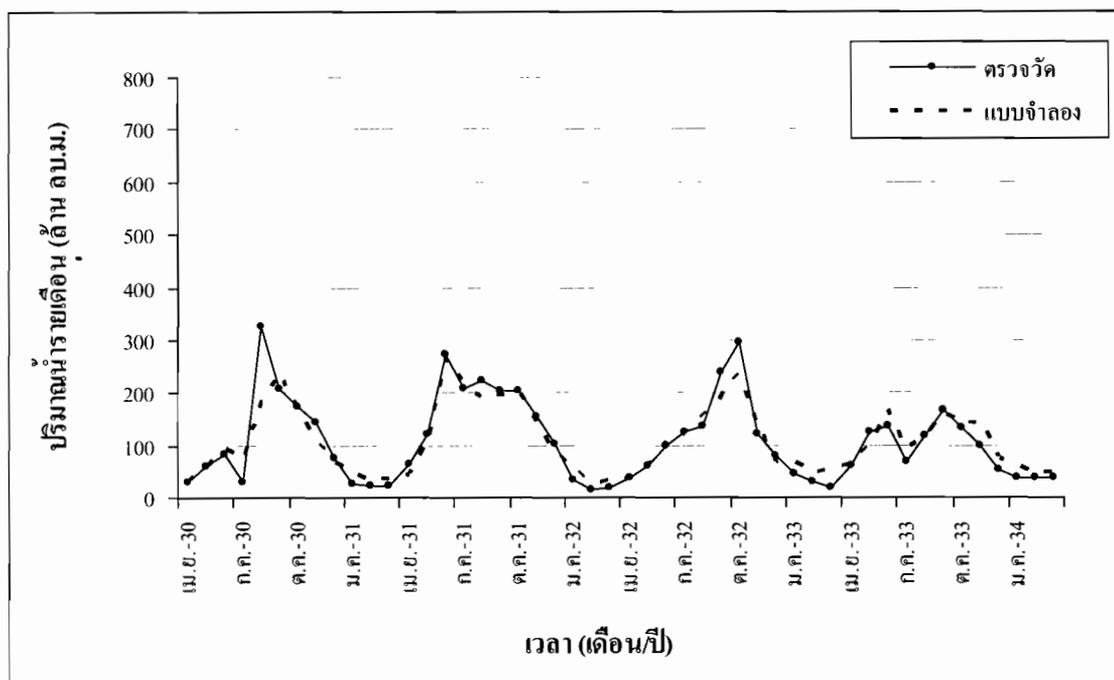
รูปที่ 5.8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2549 ณ จุดน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล

5.3.2 ปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1

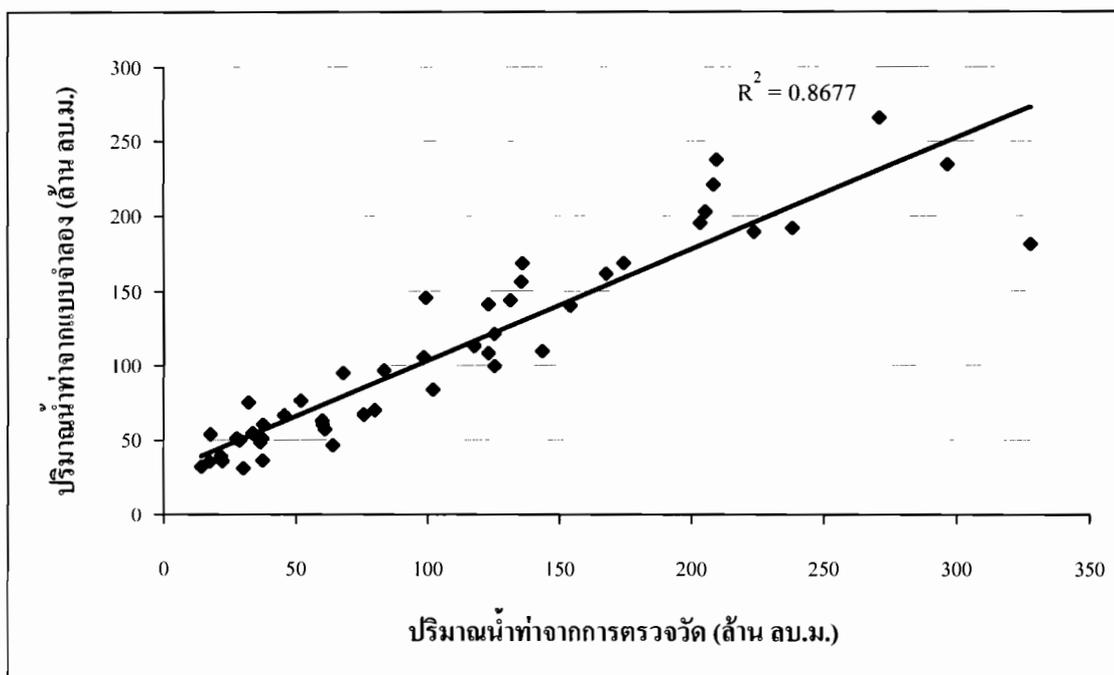
สถานี P.1 ตั้งอยู่ในเขตตัวเมือง จังหวัดเชียงใหม่ สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2533 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 1,296.15 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 1,308.90 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.86 และ 0.94 สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 1,018.64 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 1,039.50 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.83 และ 0.91 และ สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 1,922.23 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 1,829.25 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.91 และ 0.95 ผลการปรับเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 5.5 และ รูปที่ 5.9-5.14

ตารางที่ 5.5 ผลการปรับเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1

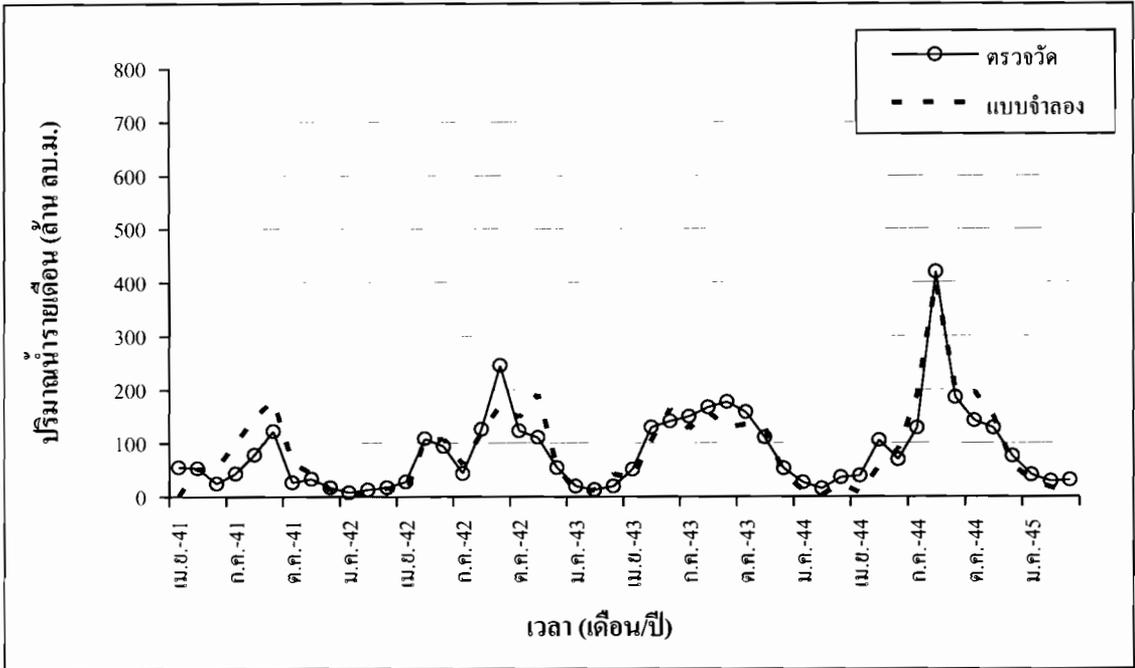
ปีสภาพการ ใช้ที่ดิน	ร้อยละความแตกต่าง ของปริมาณน้ำท่ารายปี	ค่าความคลาดเคลื่อน	
		R^2	NS
2533	0.98	0.86	0.94
2544	2.04	0.83	0.91
2549	4.83	0.91	0.95



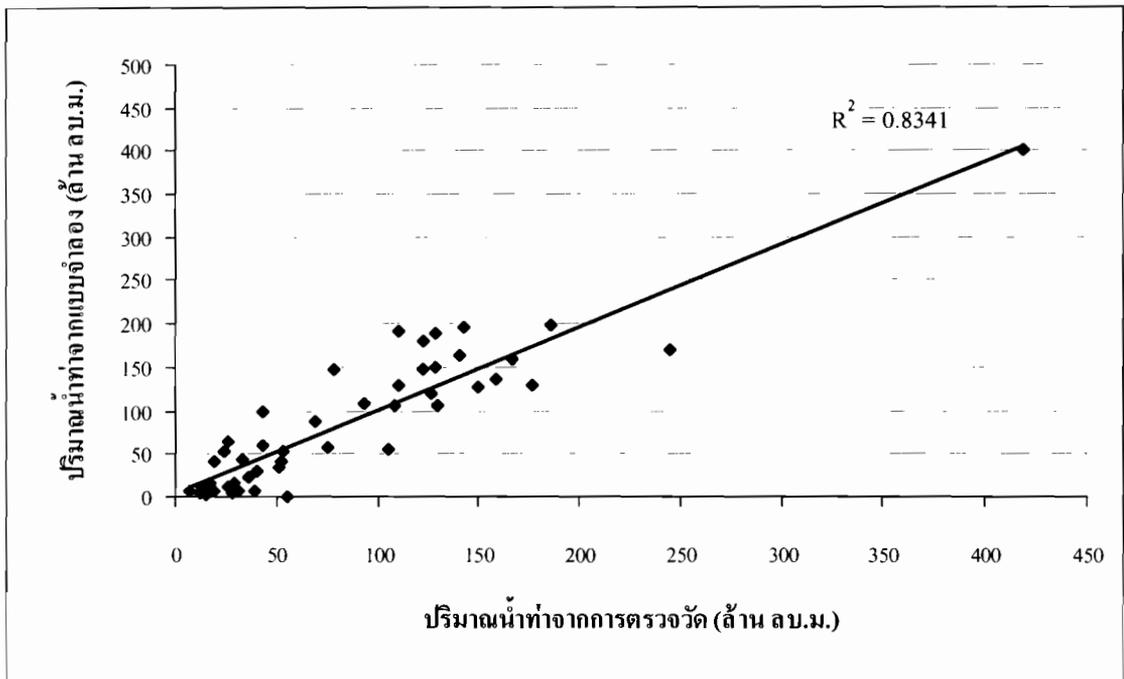
รูปที่ 5.9 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 สถานี P.1



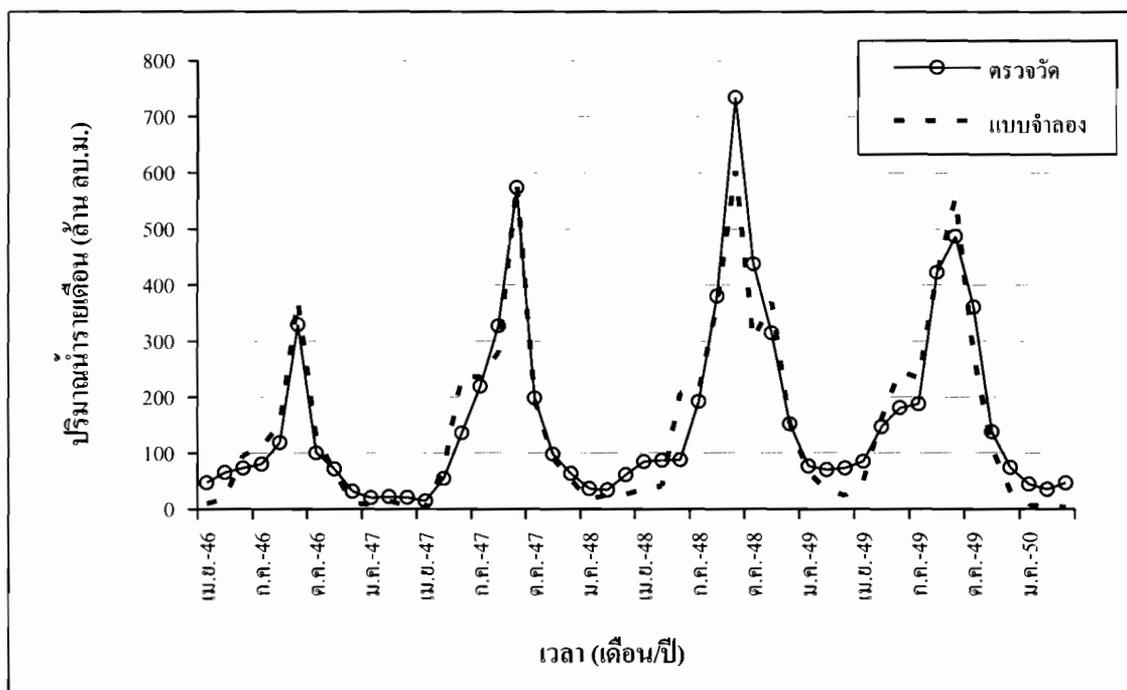
รูปที่ 5.10 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 สถานี P.1



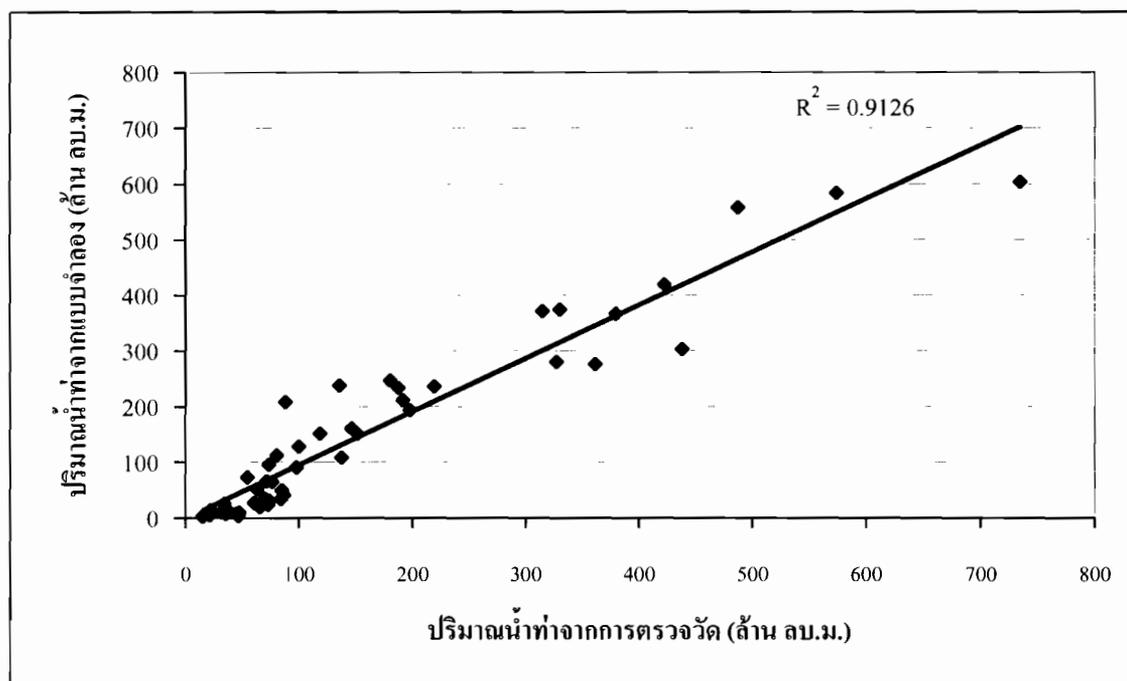
รูปที่ 5.11 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2544 สถานี P.1



รูปที่ 5.12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2544 สถานี P.1



รูปที่ 5.13 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 สถานี P.1



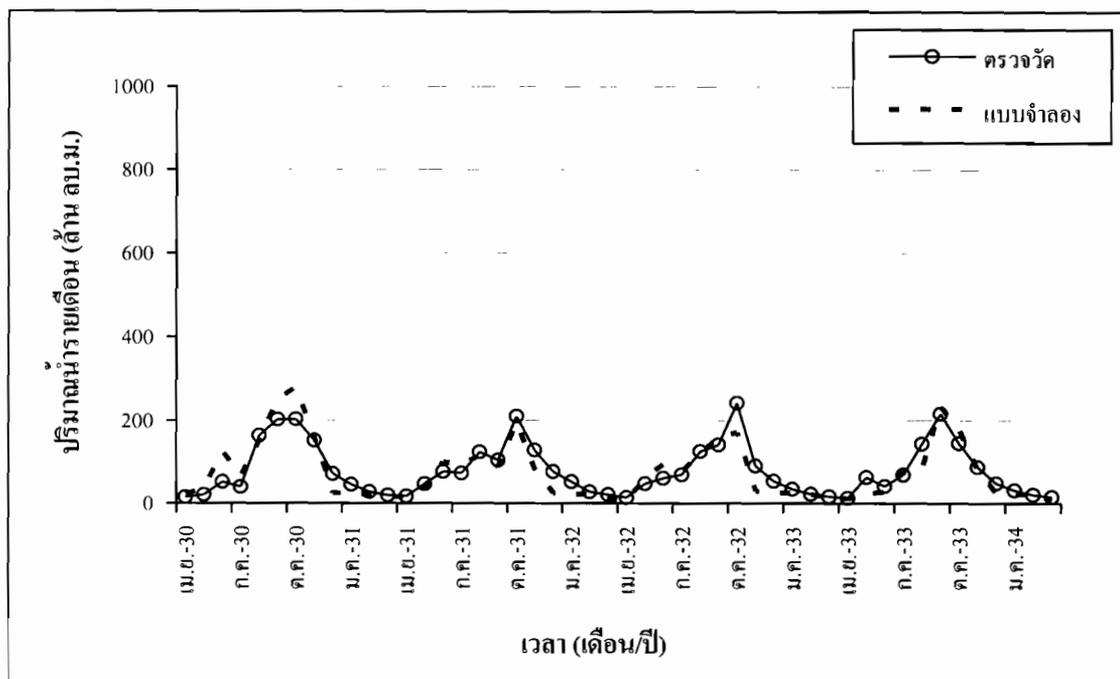
รูปที่ 5.14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 สถานี P.1

5.3.3 ปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.14

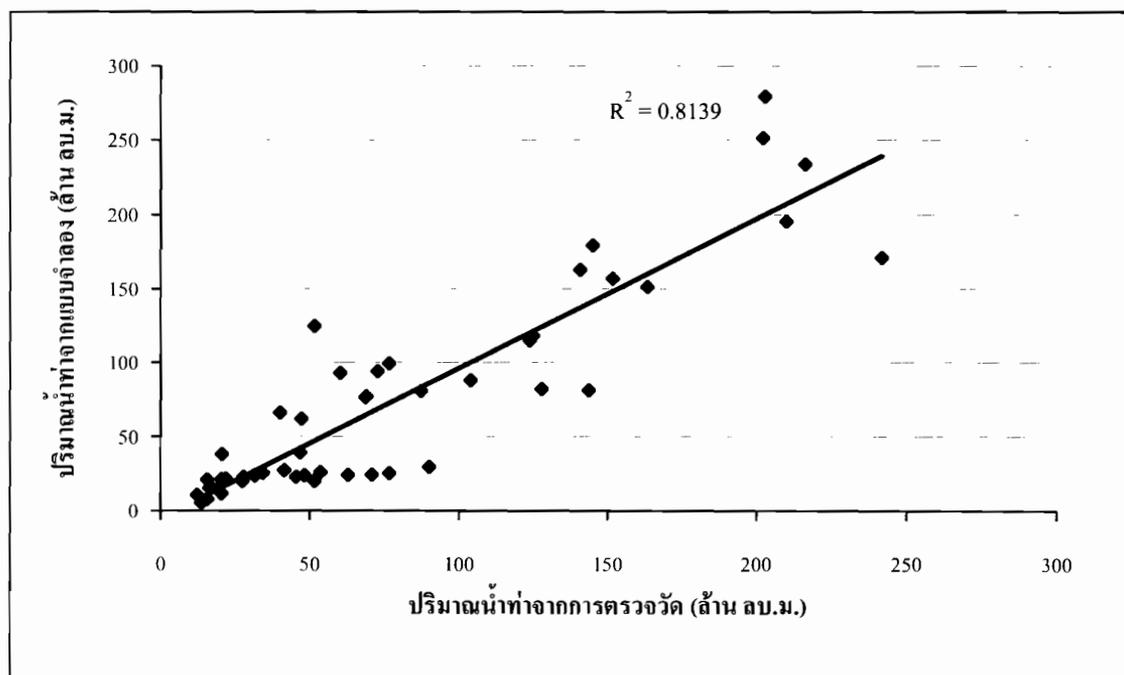
สถานี P.14 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำแม่แจ่ม อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2533 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 942.47 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 892.96 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.81 และ 0.90 สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตสาหกรรม – อุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 960.98 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 921.61 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.83 และ 0.89 และ สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตสาหกรรม – อุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 1,150.17 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 1,119.86 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.92 และ 0.87 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 5.6 และ รูปที่ 5.15 – 5.20

ตารางที่ 5.6 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.14

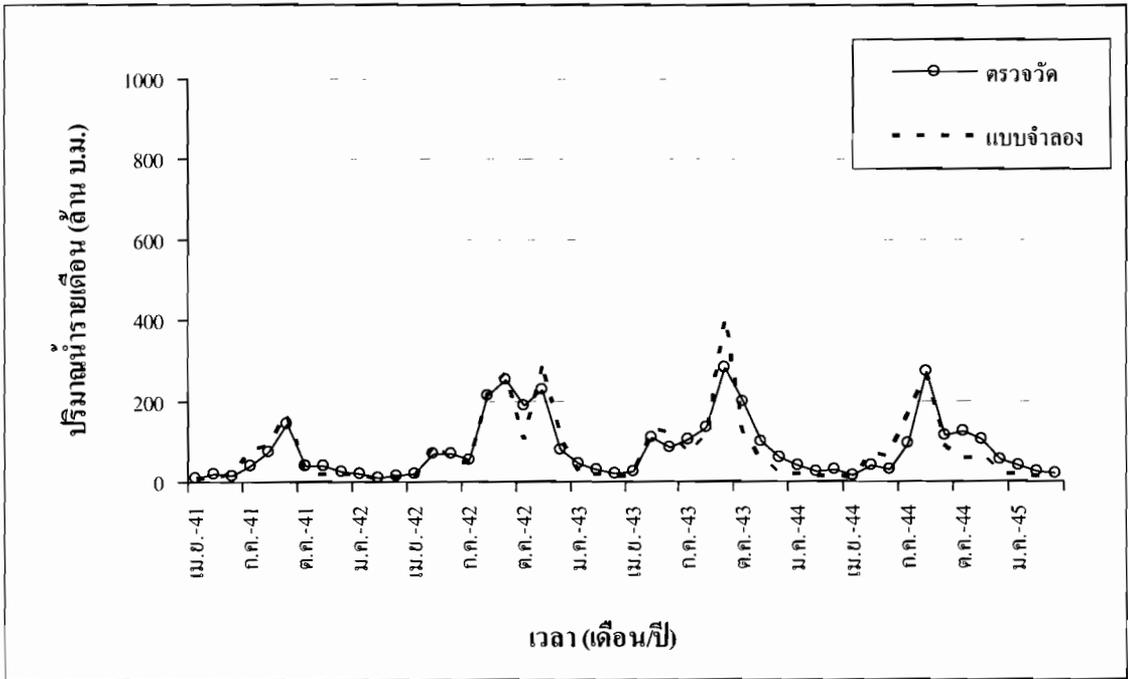
ปีสภาพการ ใช้ที่ดิน	ร้อยละความแตกต่าง ของปริมาณน้ำท่ารายปี	ค่าความคลาดเคลื่อน	
		R^2	NS
2533	5.25	0.81	0.90
2544	4.09	0.83	0.89
2549	2.63	0.92	0.87



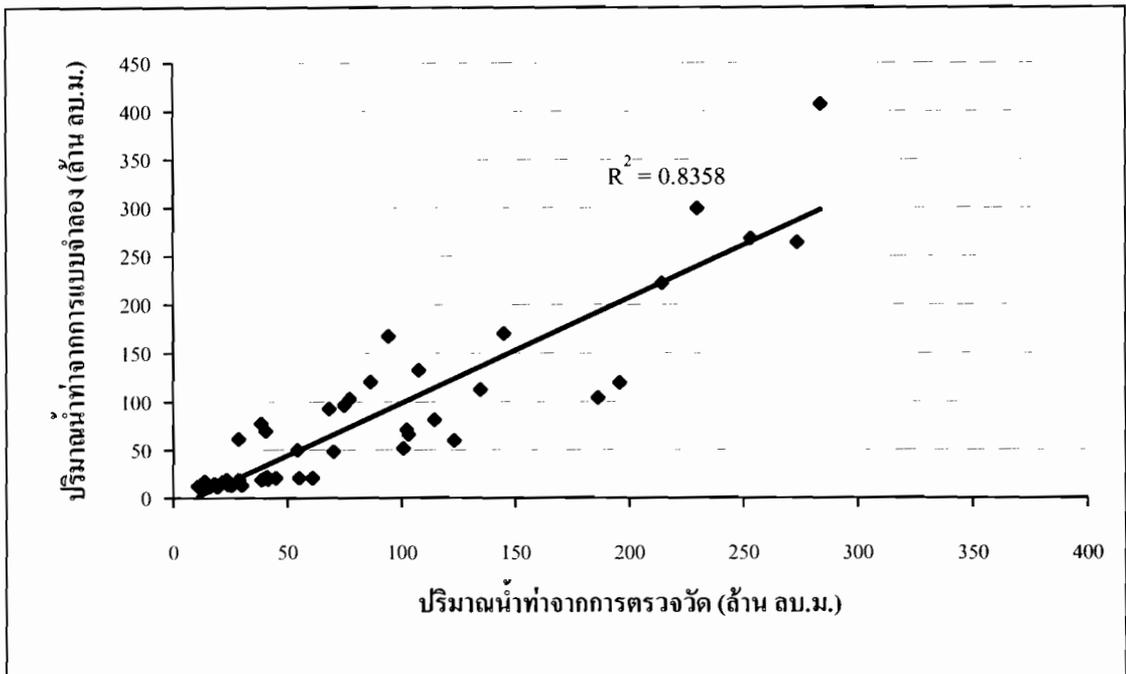
รูปที่ 5.15 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 สถานี P.14



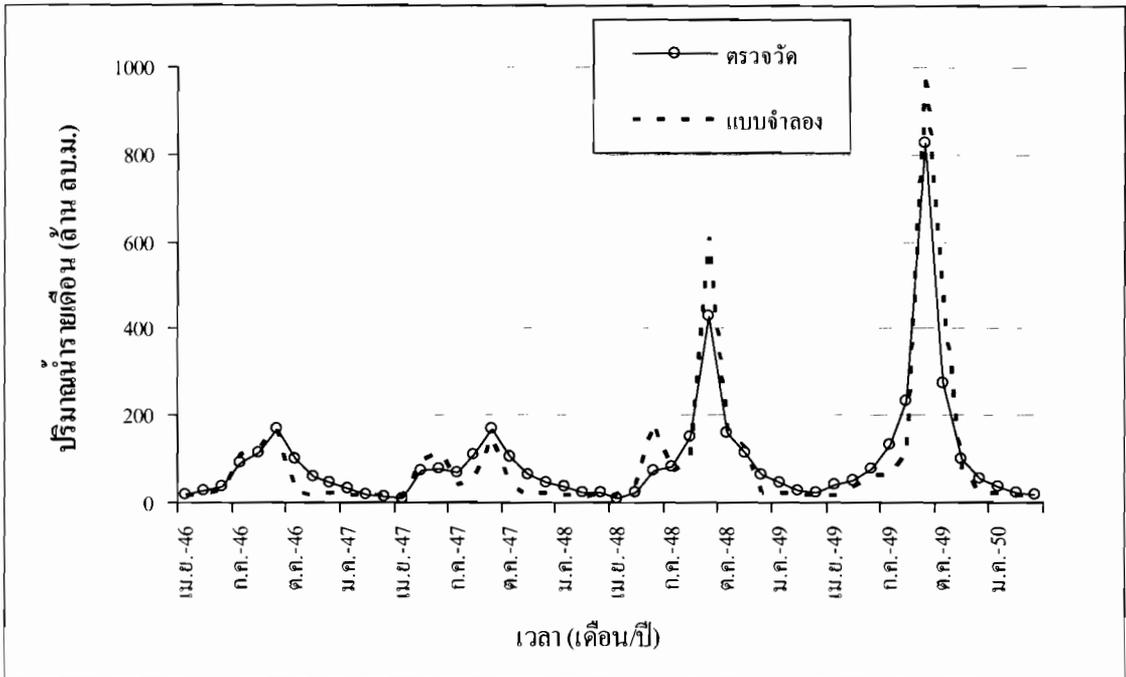
รูปที่ 5.16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดิน
ปี พ.ศ. 2533 สถานี P.14



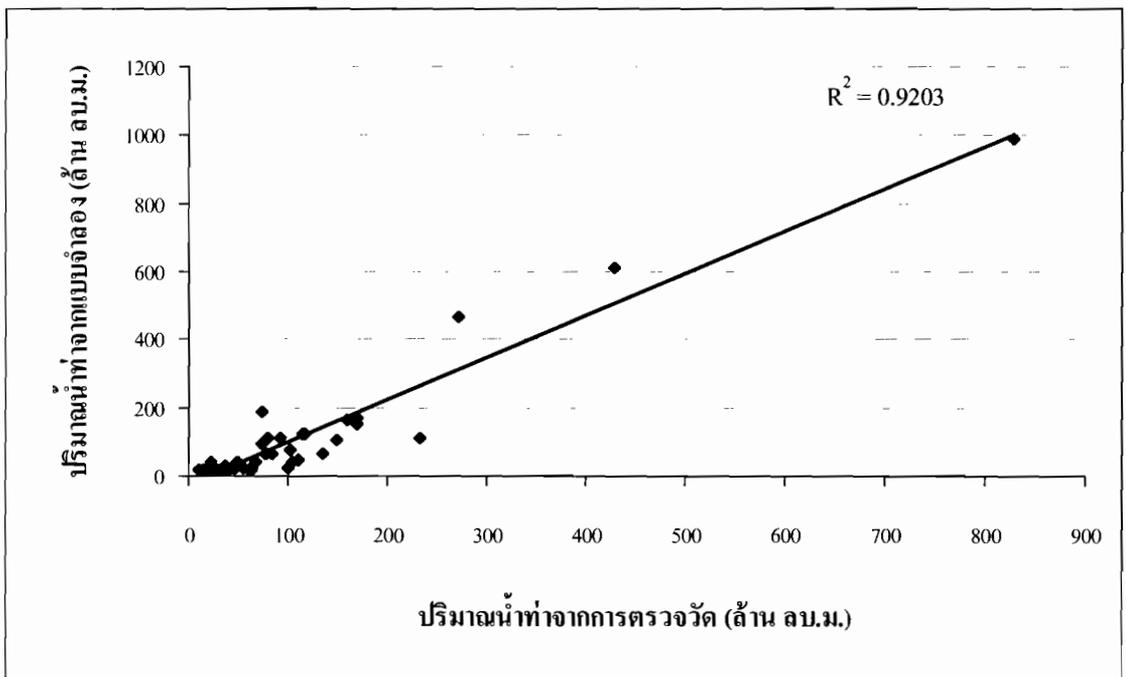
รูปที่ 5.17 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 สถานี P.14



รูปที่ 5.18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 สถานี P.14



รูปที่ 5.19 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 สถานี P.14



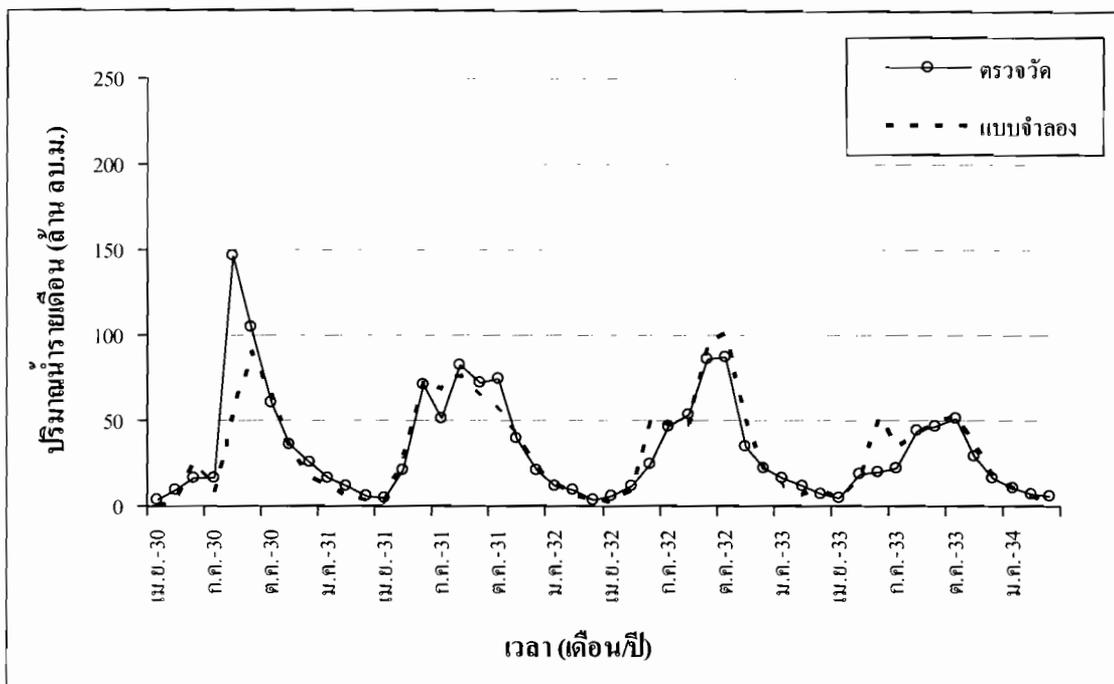
รูปที่ 5.20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 สถานี P.14

5.3.4 ปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.20

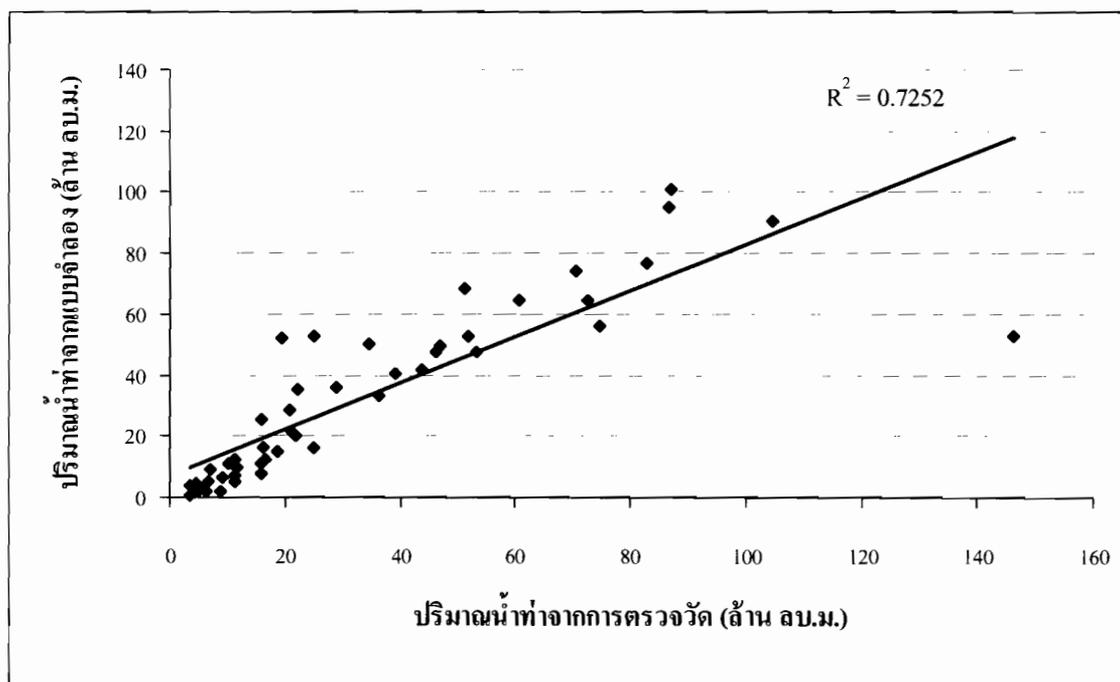
สถานี P.20 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2533 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 398.47 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 386.29 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.72 และ 0.87 สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 252.54 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 280.01 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.71 และ 0.83 และ สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 598.09 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 583.39 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.71 และ 0.83 ผลการปรับเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 5.7 และ รูปที่ 5.21 – 5.26

ตารางที่ 5.7 ผลการปรับเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.20

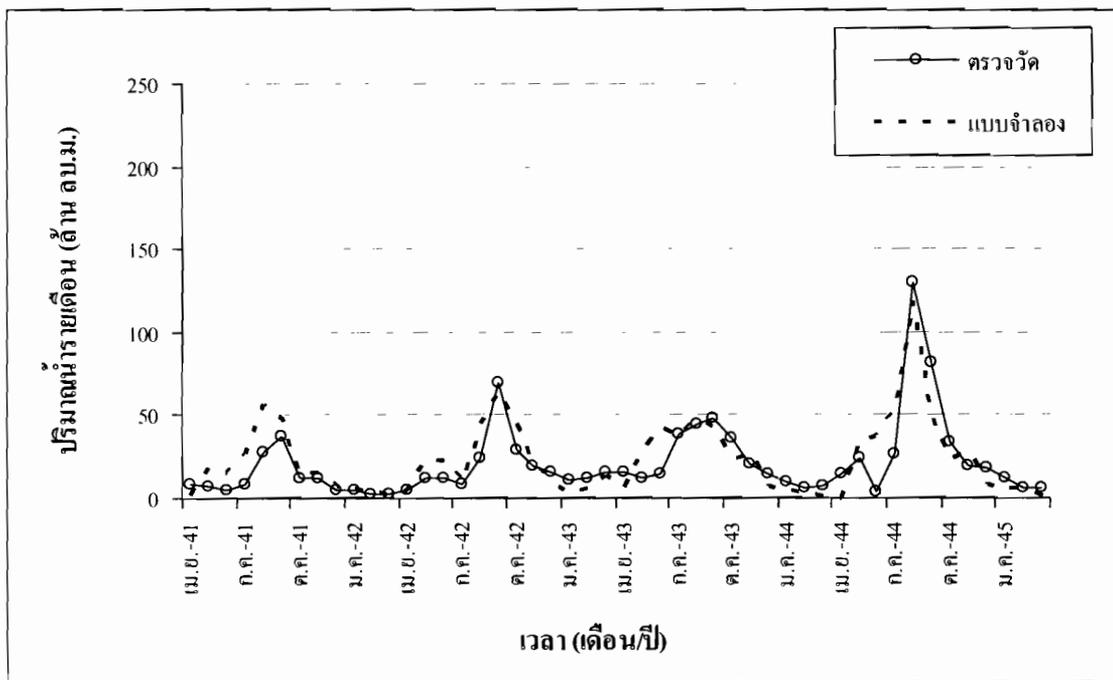
ปีสภาพการ ใช้ที่ดิน	ร้อยละความแตกต่าง ของปริมาณน้ำท่ารายปี	ค่าความคลาดเคลื่อน	
		R^2	NS
2533	3.05	0.72	0.87
2544	10.87	0.71	0.83
2549	2.45	0.71	0.83



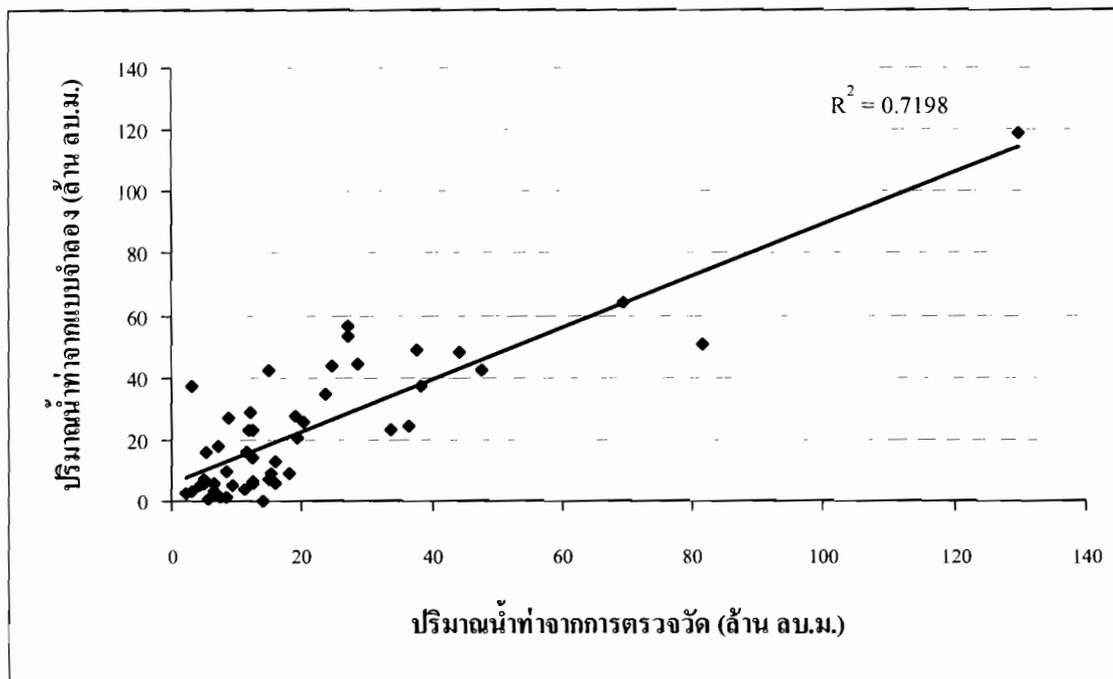
รูปที่ 5.21 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 สถานี P.20



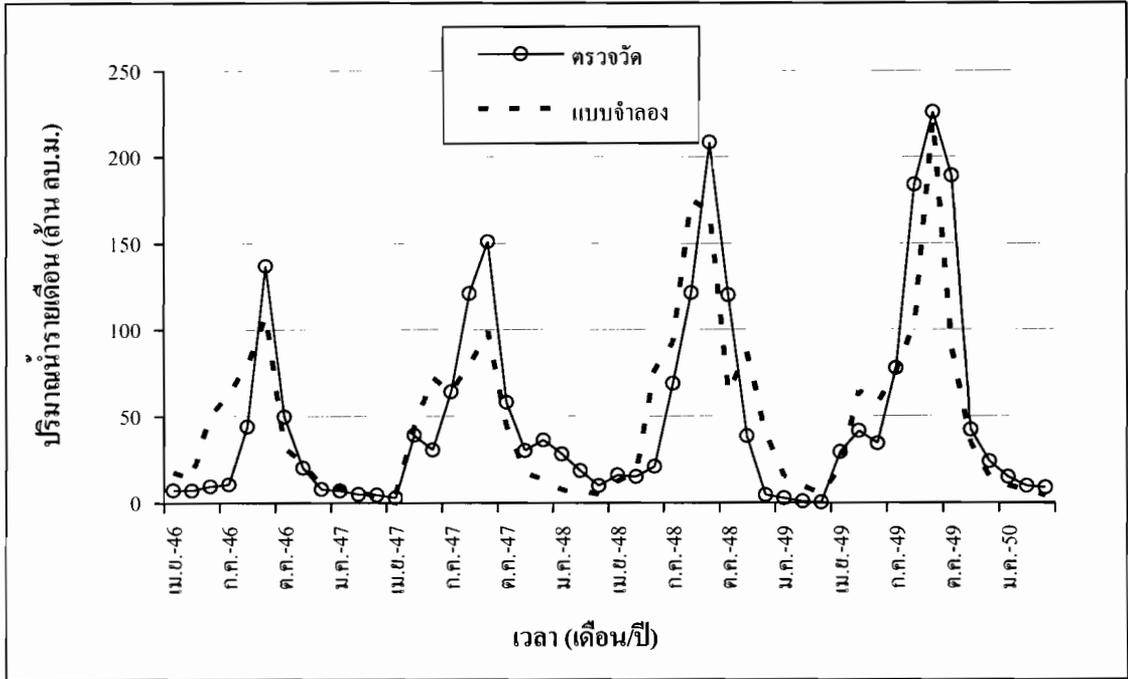
รูปที่ 5.22 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 สถานี P.20



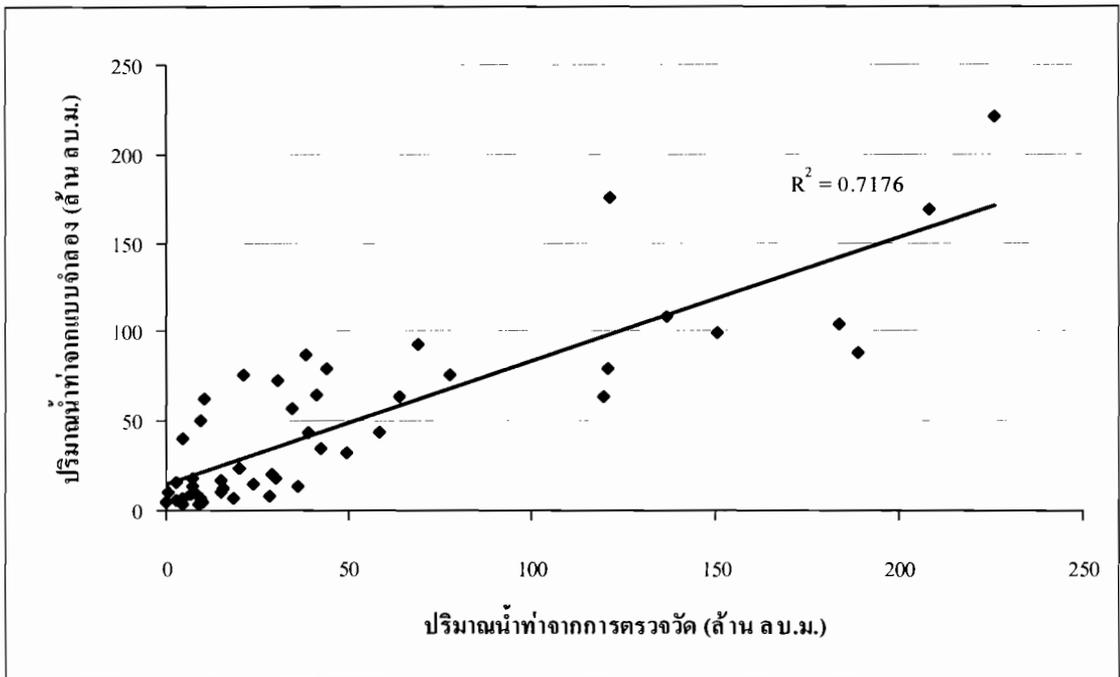
รูปที่ 5.23 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 สถานี P.20



รูปที่ 5.24 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 สถานี P.20



รูปที่ 5.25 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 สถานี P.20



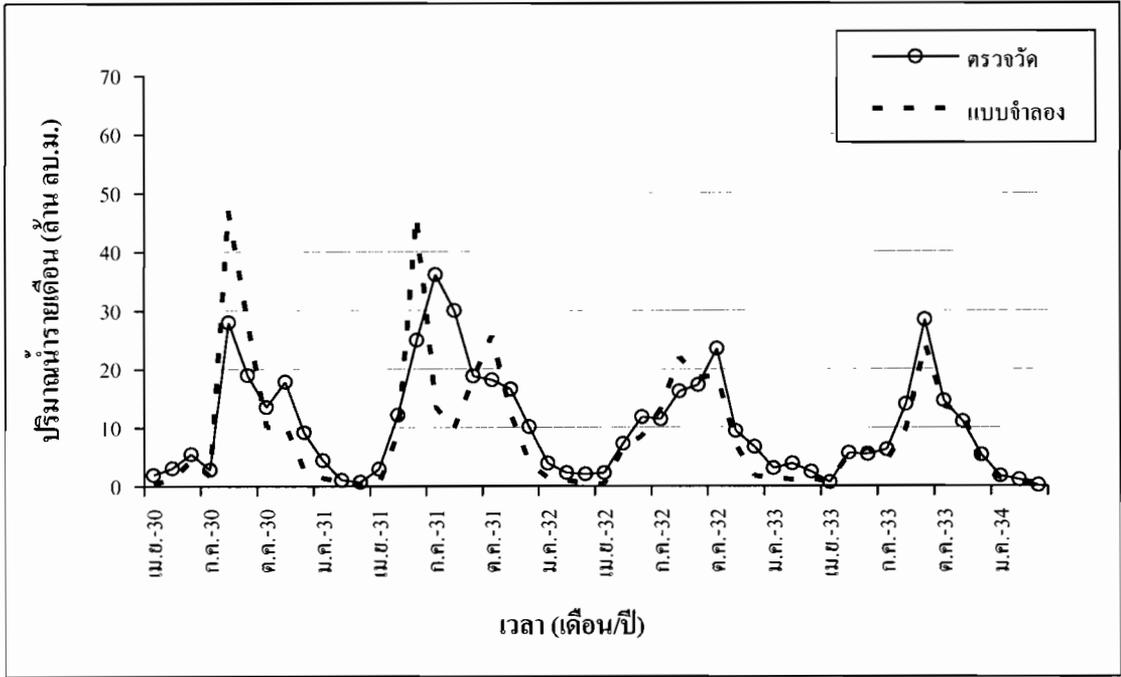
รูปที่ 5.26 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 สถานี P.20

5.3.5 ปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.21

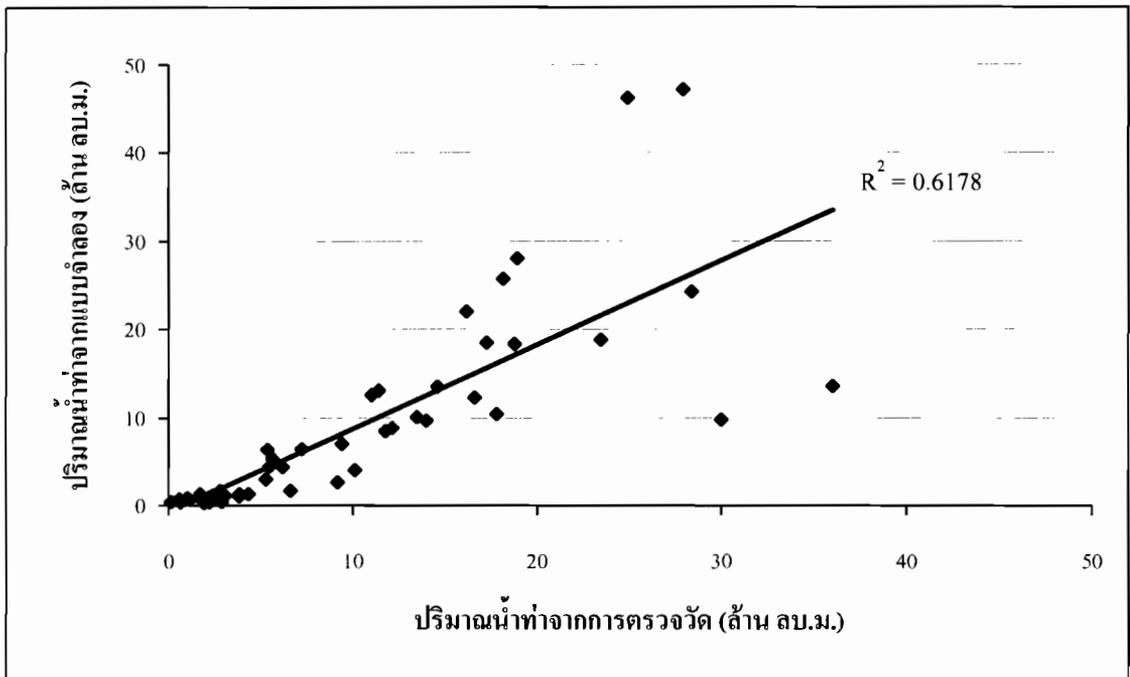
สถานี P.21 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำแม่ริม อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2533 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 123.13 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 107.93 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.61 และ 0.74 สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 100.50 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 98.50 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.68 และ 0.82 และ สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 143.12 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 153.79 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.76 และ 0.80 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.27 – 5.32

ตารางที่ 5.8 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.21

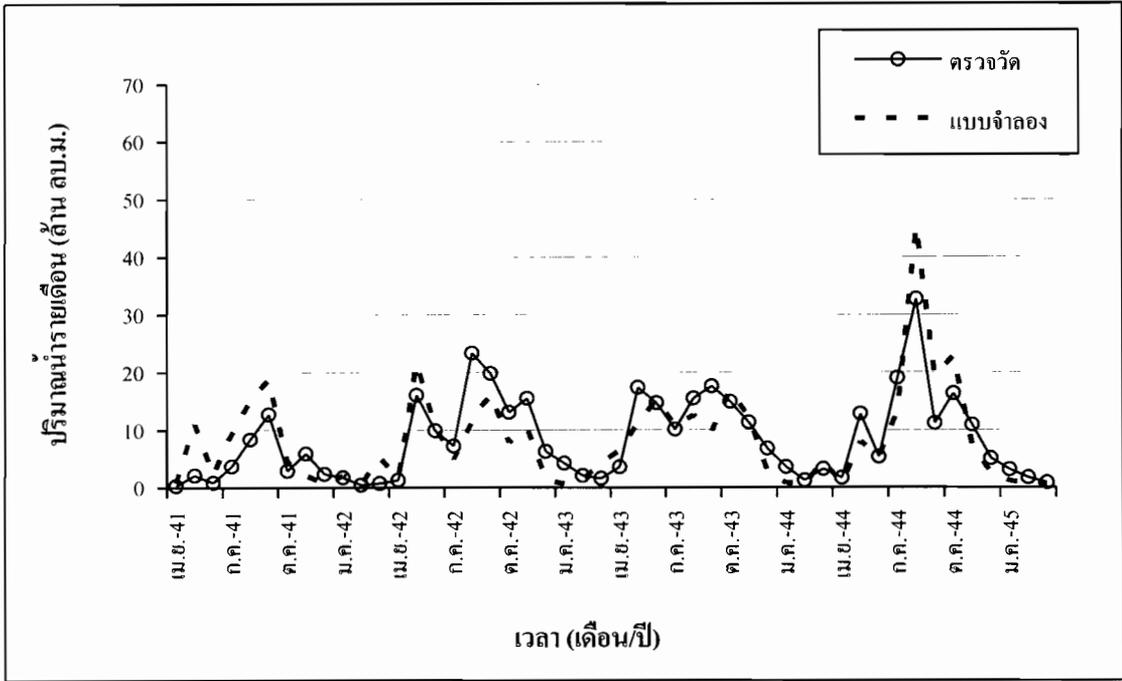
ปีสภาพการ ใช้ที่ดิน	ร้อยละความแตกต่าง ของปริมาณน้ำท่ารายปี	ค่าความคลาดเคลื่อน	
		R^2	NS
2533	12.33	0.61	0.74
2544	1.98	0.68	0.82
2549	7.45	0.76	0.80



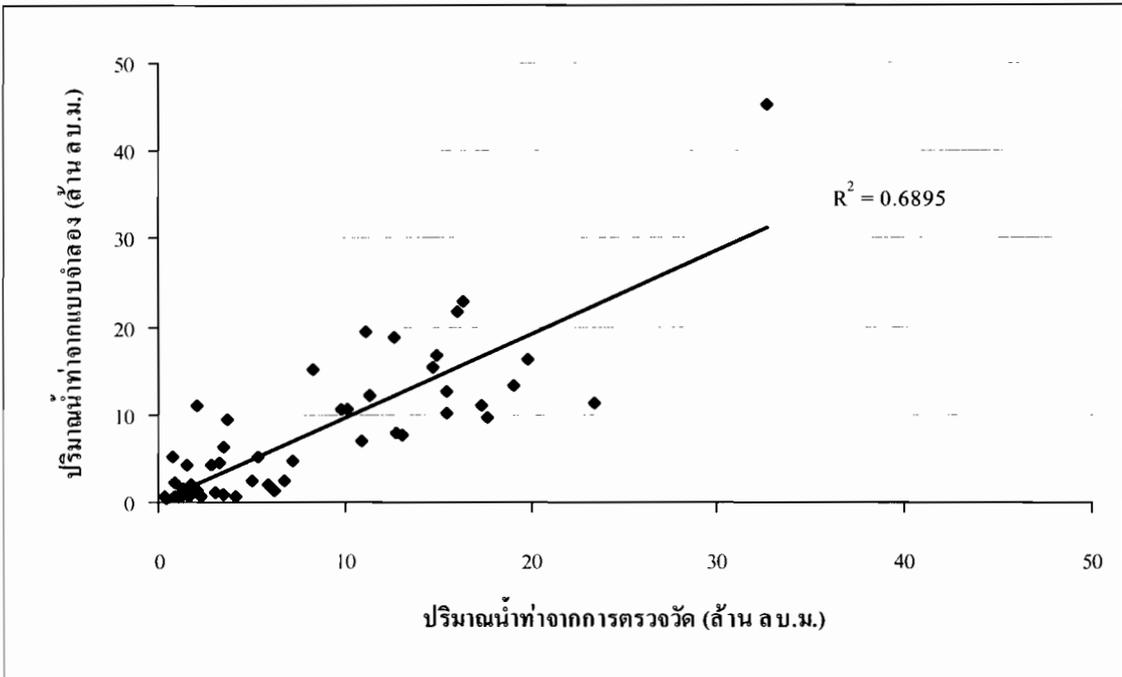
รูปที่ 5.27 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 สถานี P.21



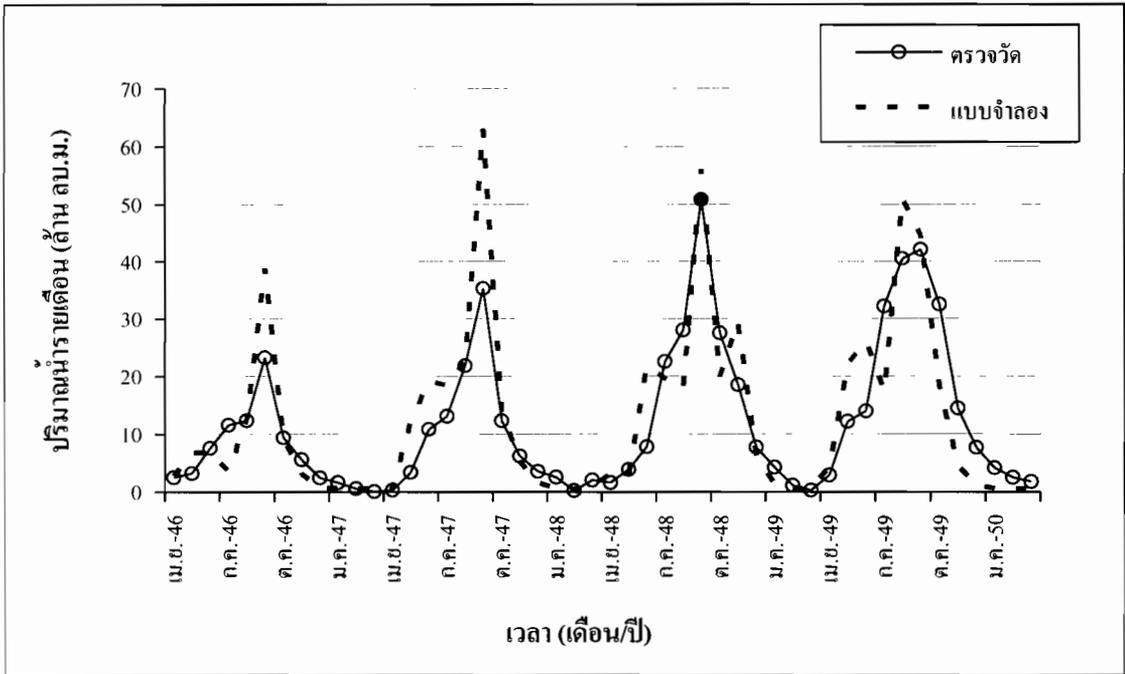
รูปที่ 5.28 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 สถานี P.21



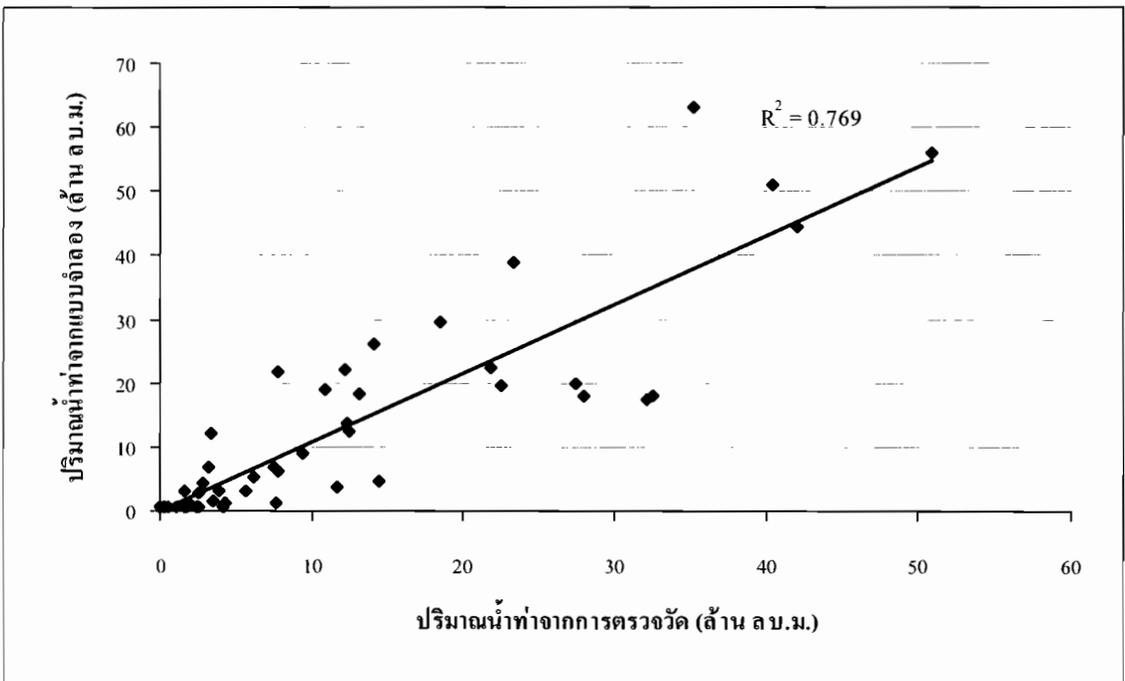
รูปที่ 5.29 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 สถานี P.21



รูปที่ 5.30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 สถานี P.21



รูปที่ 5.31 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 สถานี P.21



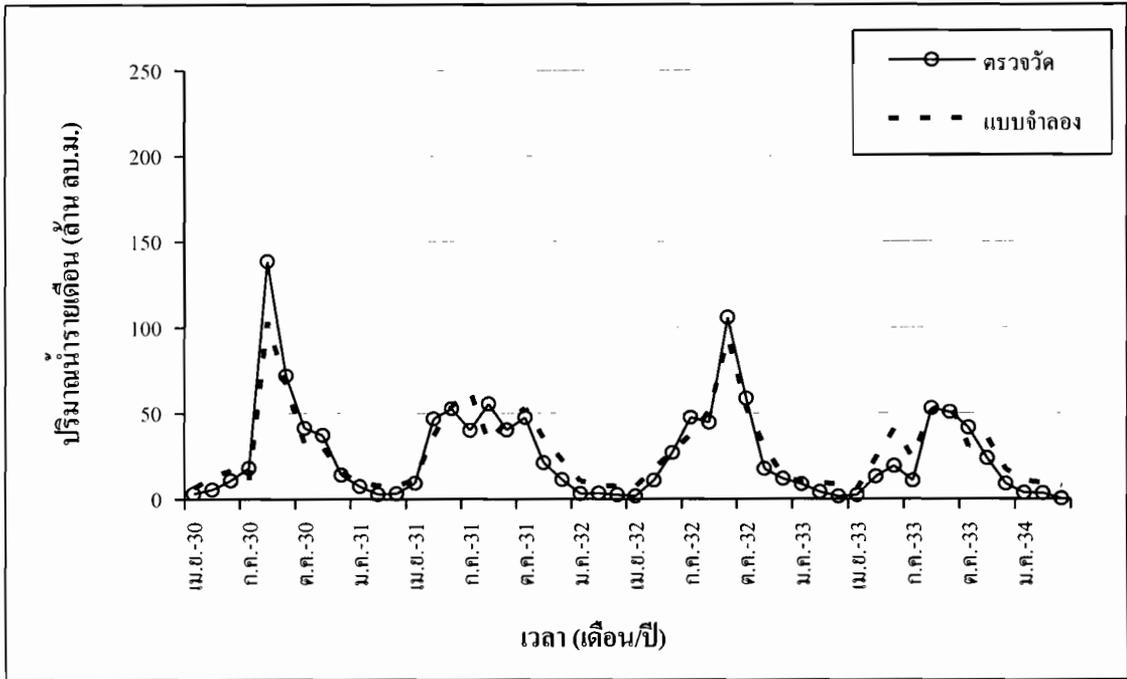
รูปที่ 5.32 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 สถานี P.21

5.3.6 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล

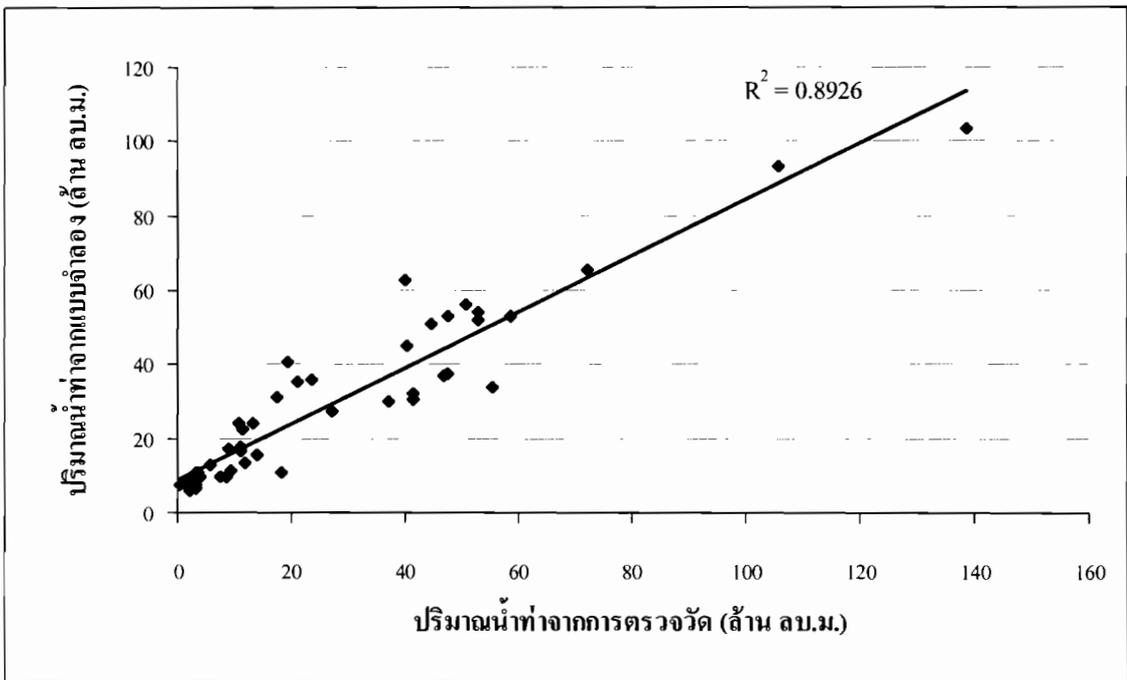
เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำแม่งัด สภาพการไใช้ที่ดินและสภาพอุตุ – อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2533 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 314.47 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 343.44 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.89 และ 0.92 สภาพการไใช้ที่ดินและสภาพอุตุ – อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 267.80 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 276.15 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.81 และ 0.88 และ สภาพการไใช้ที่ดินและสภาพอุตุ – อุทกวิทยา ปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 437.84 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 436.70 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.81 และ 0.88 ผลการปรับเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 5.9 และ รูปที่ 5.33 – 5.38

ตารางที่ 5.9 ผลการปรับเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล

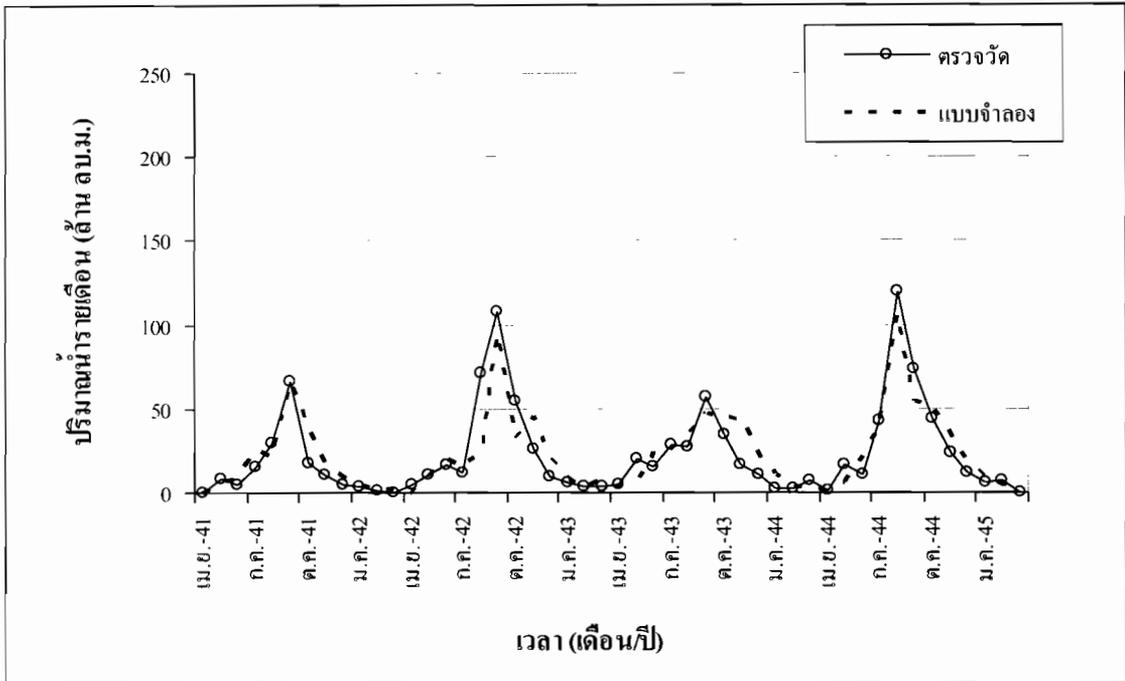
ปีสภาพการ ไใช้ที่ดิน	ร้อยละความแตกต่าง ของปริมาณน้ำท่ารายปี	ค่าความคลาดเคลื่อน	
		R^2	NS
2533	9.21	0.89	0.92
2544	3.11	0.81	0.88
2549	0.25	0.81	0.88



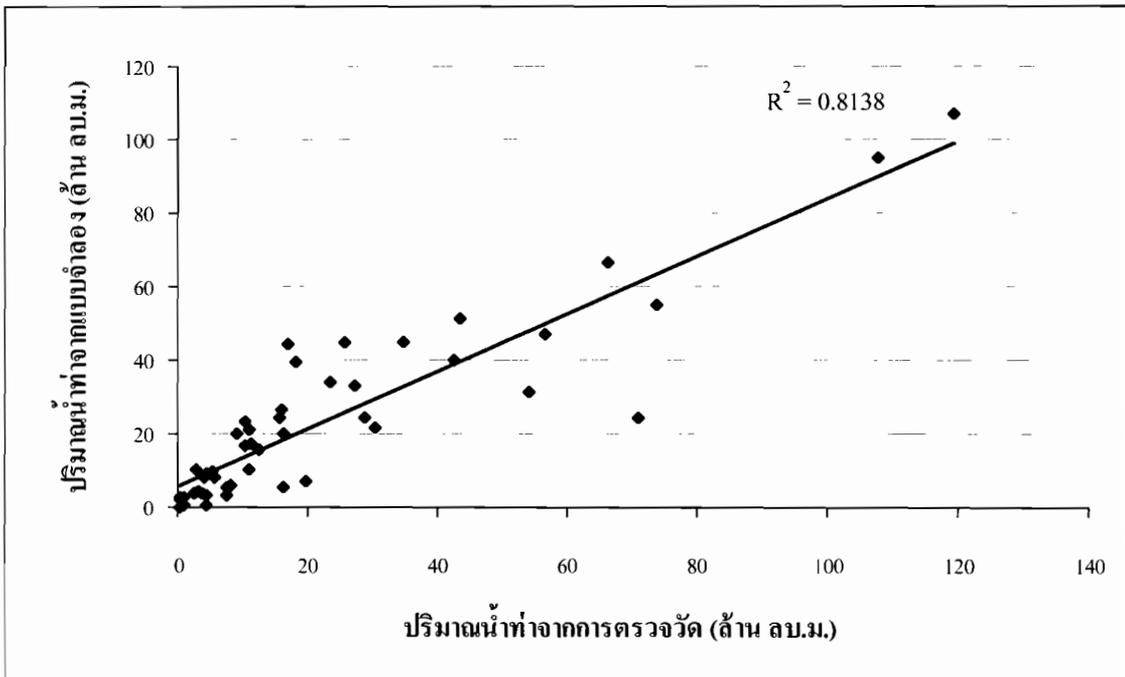
รูปที่ 5.33 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่คืนปี พ.ศ. 2533 ไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล



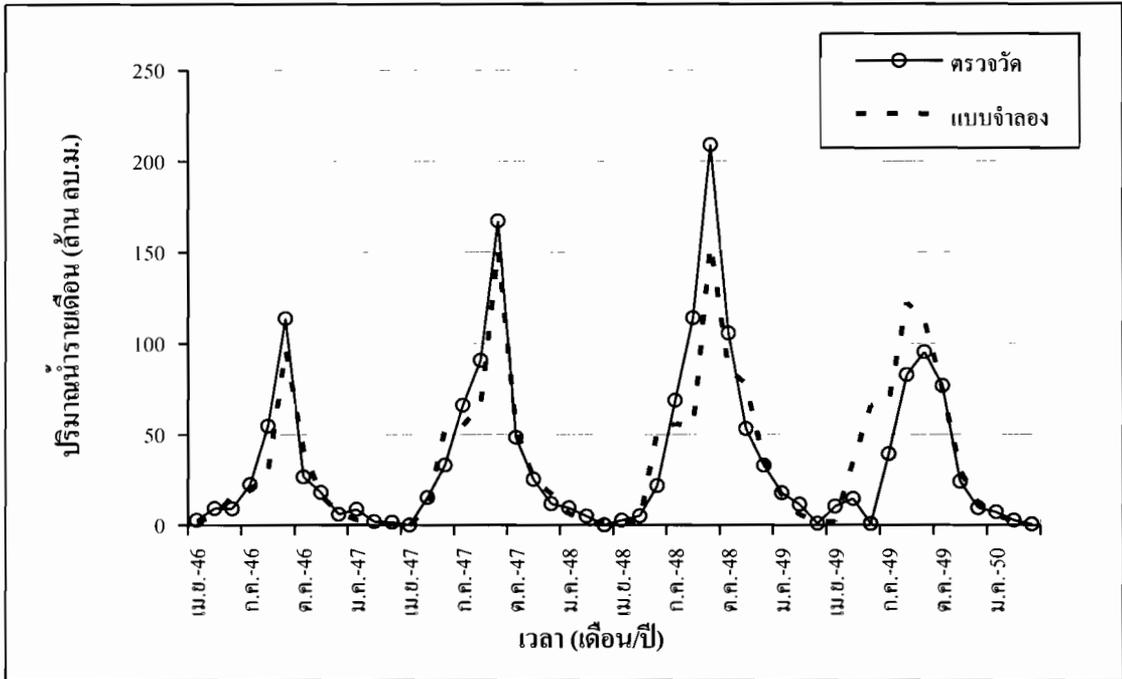
รูปที่ 5.34 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่คืนปี พ.ศ. 2533 ไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล



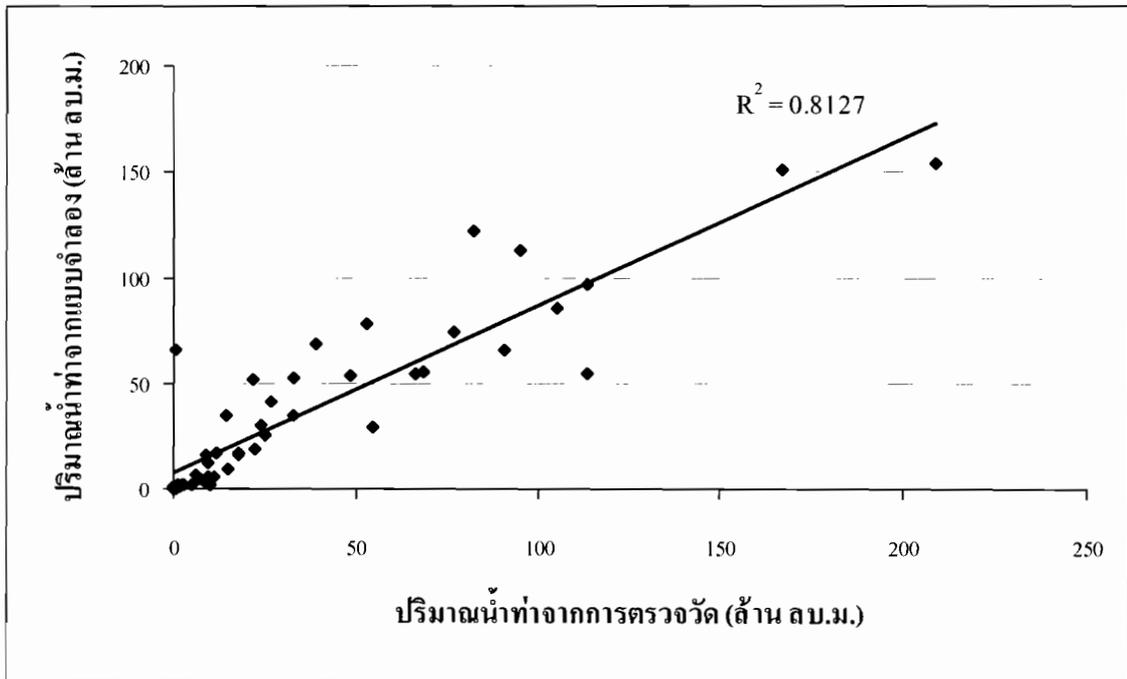
รูปที่ 5.35 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2544 ไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล



รูปที่ 5.36 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2544 ไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล



รูปที่ 5.37 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2549 ไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล



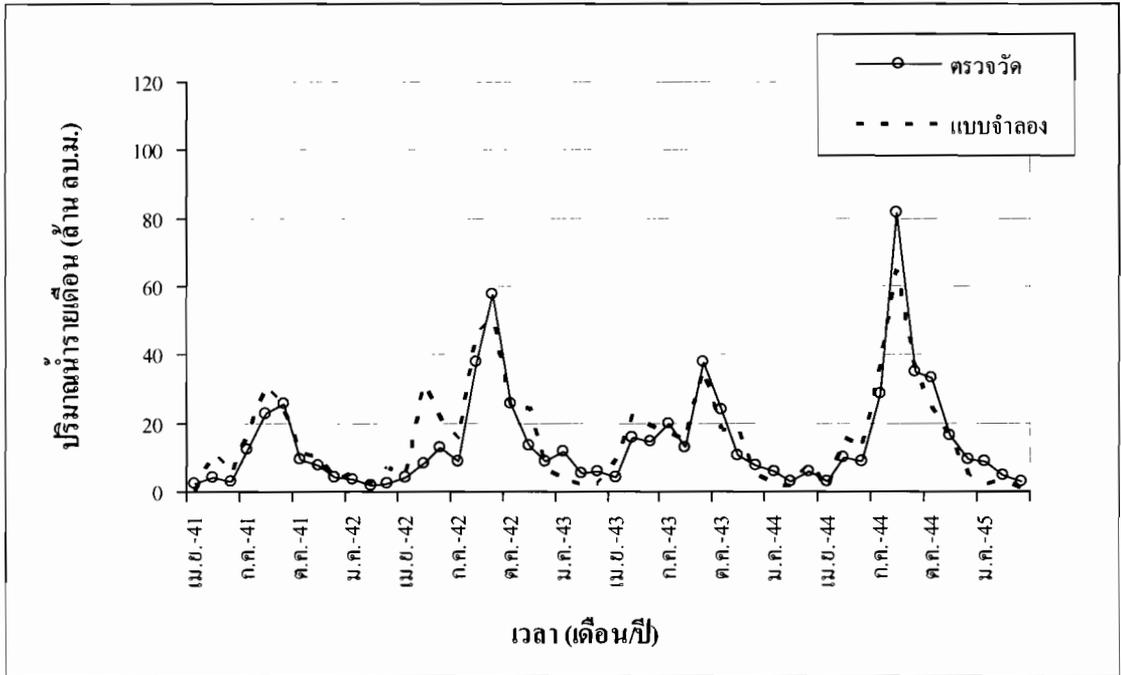
รูปที่ 5.38 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2549 ไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล

5.3.6 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา

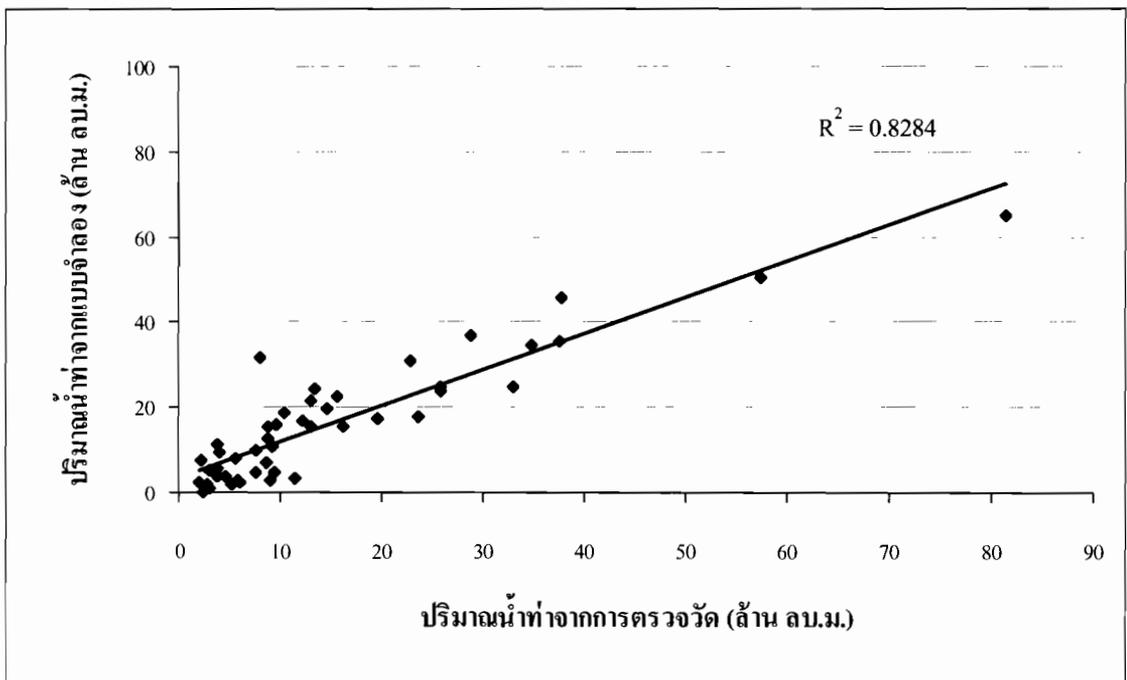
เขื่อนแม่กวงอุดมธารา ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำแม่กวง สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตสาหกรรม – อุตสาหกรรม สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตสาหกรรม – อุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 174.81 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 188.14 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.82 และ 0.90 และ สภาพการใช้ที่ดินและสภาพอุตสาหกรรม – อุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 222.39 ล้าน ลบ.ม. ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 206.55 ล้าน ลบ.ม. และ ค่าความคลาดเคลื่อน R^2 และ NS เท่ากับ 0.77 และ 0.86 ผลการปรับเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 10 และ รูปที่ 5.39 – 5.42

ตารางที่ 5.10 ผลการปรับเทียบแบบจำลองของปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา

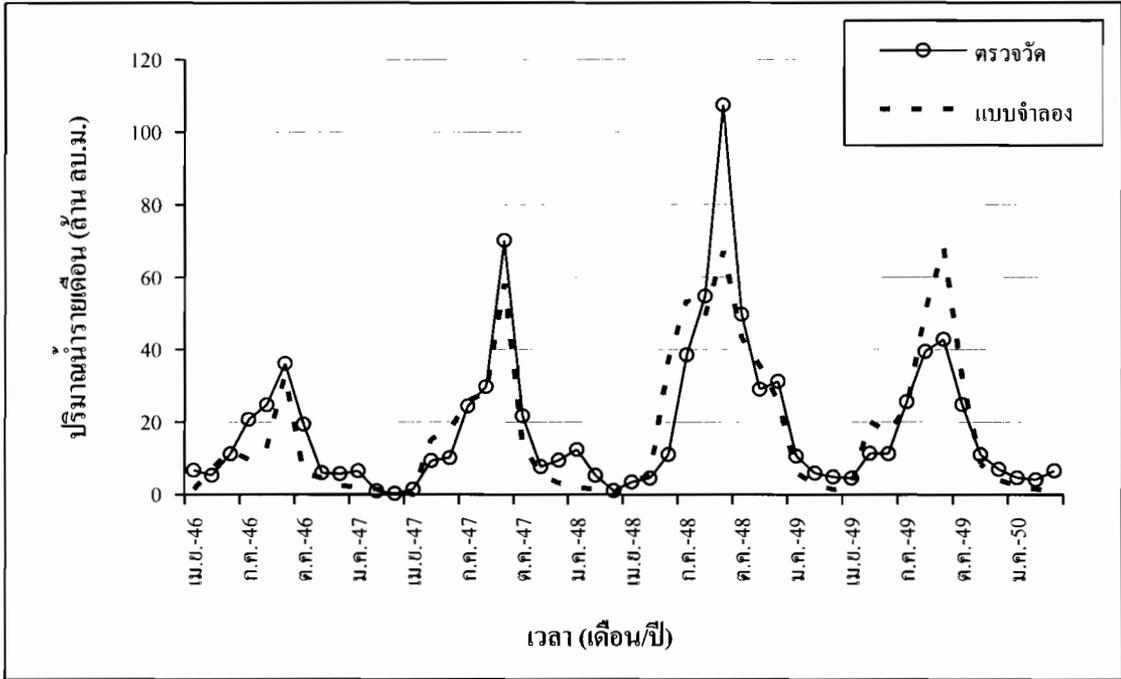
ปีสภาพการ ใช้ที่ดิน	ร้อยละความแตกต่าง ของปริมาณน้ำท่ารายปี	ค่าความคลาดเคลื่อน	
		R^2	NS
2544	7.62	0.82	0.90
2549	7.12	0.77	0.87



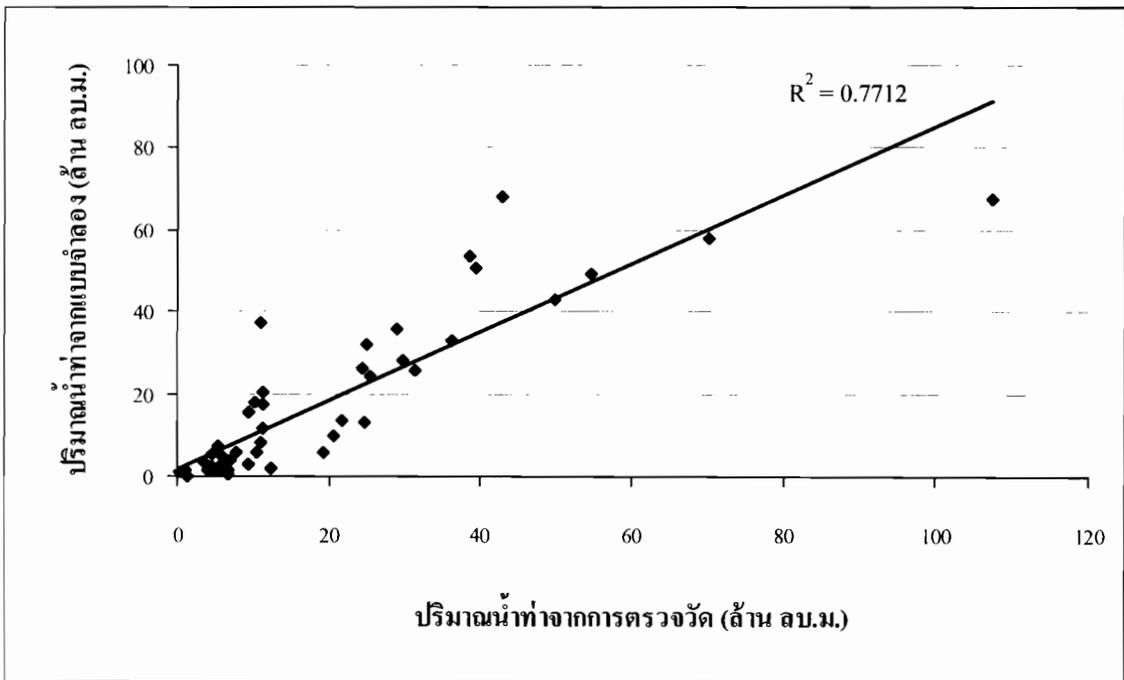
รูปที่ 5.39 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 ไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา



รูปที่ 5.40 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 ไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา



รูปที่ 5.41 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 ไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา



รูปที่ 5.42 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบแบบจำลองลักษณะสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 ไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา

ตารางที่ 5.11 สรุปผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง

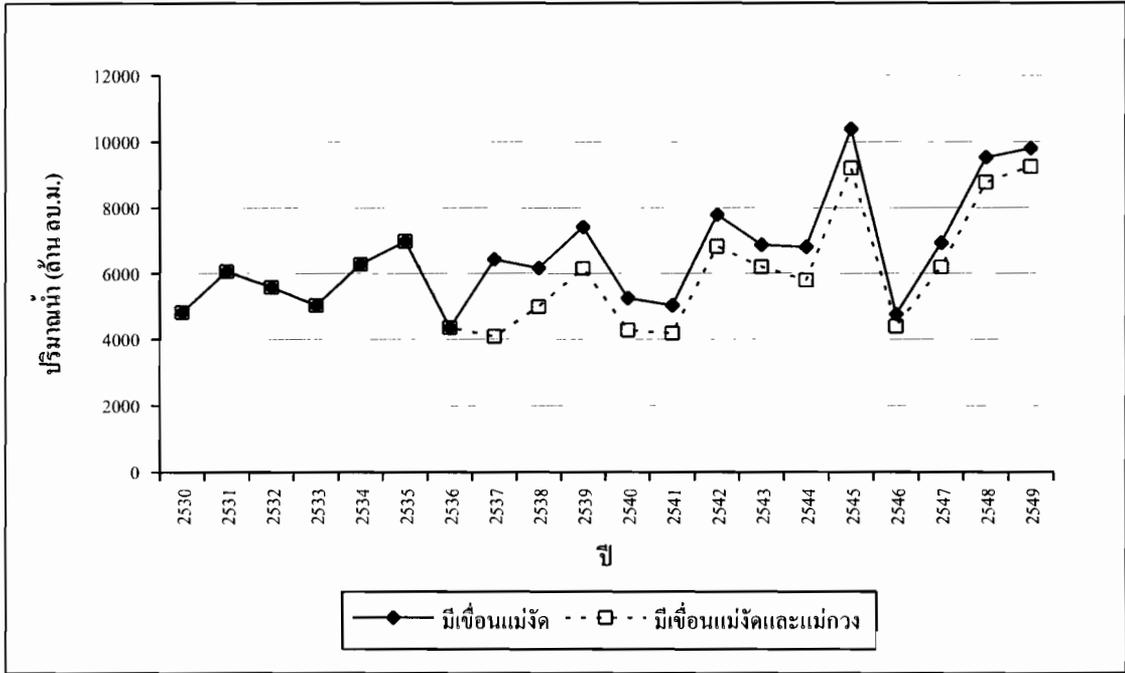
ปีสภาพการ ใช้ที่ดิน	จุดเปรียบเทียบแบบจำลอง	ร้อยละความแตกต่าง ของปริมาณน้ำท่ารายปี	ค่าความคลาดเคลื่อน	
			R ²	NS
2533	ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล	12.18	0.87	0.91
	P.1	0.98	0.86	0.94
	P14	5.25	0.81	0.90
	P.20	3.05	0.72	0.87
	P.21	12.33	0.61	0.74
	ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัด สมบูรณ์ชล	9.21	0.89	0.92
2544	ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล	4.58	0.82	0.91
	P.1	2.04	0.83	0.91
	P14	4.09	0.83	0.89
	P.20	10.87	0.71	0.83
	P.21	1.98	0.68	0.82
	ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัด สมบูรณ์ชล	3.11	0.81	0.88
	ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งวง อุดมธารา	7.62	0.82	0.90
2549	ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล	5.71	0.93	0.95
	P.1	4.83	0.91	0.95
	P14	2.63	0.92	0.87
	P.20	2.45	0.71	0.83
	P.21	7.45	0.76	0.80
	ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัด สมบูรณ์ชล	0.25	0.81	0.88
	ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งวง อุดมธารา	7.12	0.77	0.87

5.4 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองและกรณีศึกษา

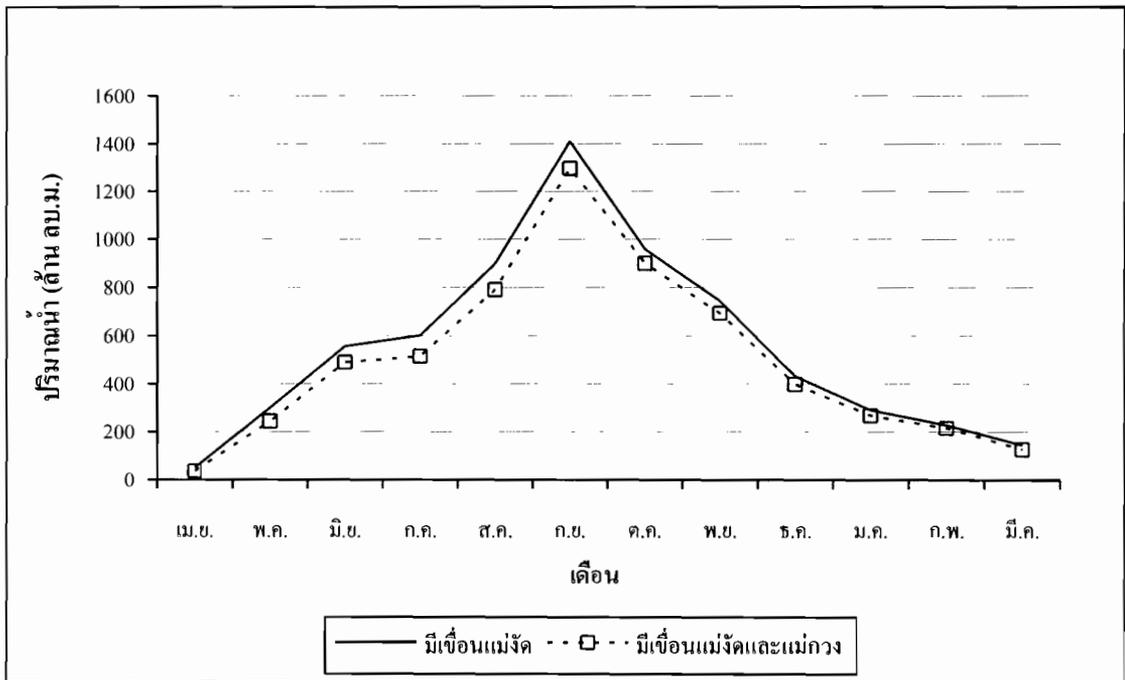
5.4.1 พิจารณาผลกระทบของเขื่อนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งทางด้านชลประทานเพื่อเกษตรกรรม การป้องกันน้ำท่วม หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า ในปี พ.ศ. 2528 ได้เริ่มใช้งานเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล โดยรับน้ำจากลุ่มน้ำแม่จัด และถัดมาในปี พ.ศ. 2537 ได้เริ่มใช้งานเขื่อนแม่กวองอุมธรา โดยรับน้ำจากลุ่มน้ำแม่กวองตอนบน เมื่อพิจารณาถึงการเปรียบเทียบแบบจำลองจากสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 ซึ่งพิจารณาในช่วงข้อมูลปี พ.ศ. 2530 – 2533 เป็นช่วงเวลาที่ไม่มีเขื่อนแม่กวองอุมธราในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับแบบจำลองจะมีอิทธิพลของเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลเท่านั้น

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองศึกษาช่วงปี พ.ศ. 2530 – 2549 พิจารณาถึงผลกระทบของเขื่อนในพื้นที่ศึกษาต่อปริมาณน้ำท่าในช่วงปี พ.ศ. 2530 – 2549 ที่มีเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลเพียงเขื่อนเดียว และมีเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลและเขื่อนแม่กวองอุมธราในสภาพการใช้ที่ปี พ.ศ. 2533 การศึกษาผลกระทบของเขื่อนในพื้นที่ศึกษา พบว่า เมื่อคิดผลกระทบของเขื่อนแม่กวองอุมธราเรียบร้อยแล้ว จะทำให้ปริมาณน้ำท่ารายปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 ลดลง โดยมีค่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มใช้เขื่อนแม่กวองอุมธราประมาณ 6,179.45 ล้าน ลบ.ม. แต่ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยในช่วงเดียวกัน (กรณีไม่มีเขื่อนแม่กวองอุมธรา) มีค่าประมาณ 7,168.45 ล้าน ลบ.ม. ดังนั้นเพื่อให้การประยุกต์ใช้แบบจำลองเหมือนสภาพจริง จะต้องแบ่งช่วงพิจารณาการประยุกต์ใช้แบบจำลองออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงปี พ.ศ. 2530 – 2537 ที่มีเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์เพียงเขื่อนเดียว และ ช่วงปี พ.ศ. 2537 – 2549 ที่มีเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลและเขื่อนแม่กวองอุมธรา ผลการเปรียบเทียบผลกระทบของเขื่อนในพื้นที่ศึกษาในสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 แสดงในรูปที่ 5.43 และ 5.44



รูปที่ 5.43 ปริมาณน้ำรายปีไหลเข้าเขื่อนภูมิพลจากการพิจารณาผลกระทบของเขื่อนในพื้นที่ศึกษา ในสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533



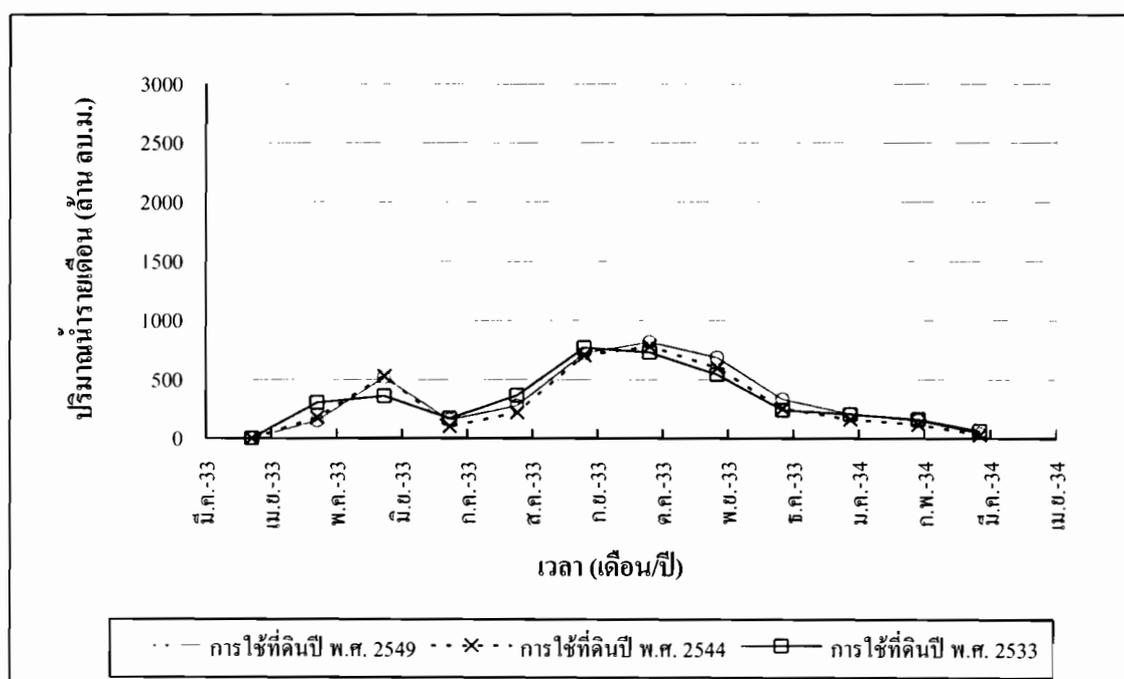
รูปที่ 5.44 ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยไหลเข้าเขื่อนภูมิพลจากการพิจารณาผลกระทบของเขื่อนในพื้นที่ศึกษา ในสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533

5.4.2 ผลการคำนวณในกรณีที่ข้อมูลสภาพอุตุ – อุทกวิทยาช่วงเดียวกัน แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน

มีการคำนึงถึงเมื่อสภาพการใช้ที่ดินเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำในอดีตจนถึงปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนอย่างต่อเนื่อง โดยมีการขยายพื้นที่เกษตรกรรมและเขตเมืองสูงขึ้น และจากการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ารายปีของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่สูงขึ้น

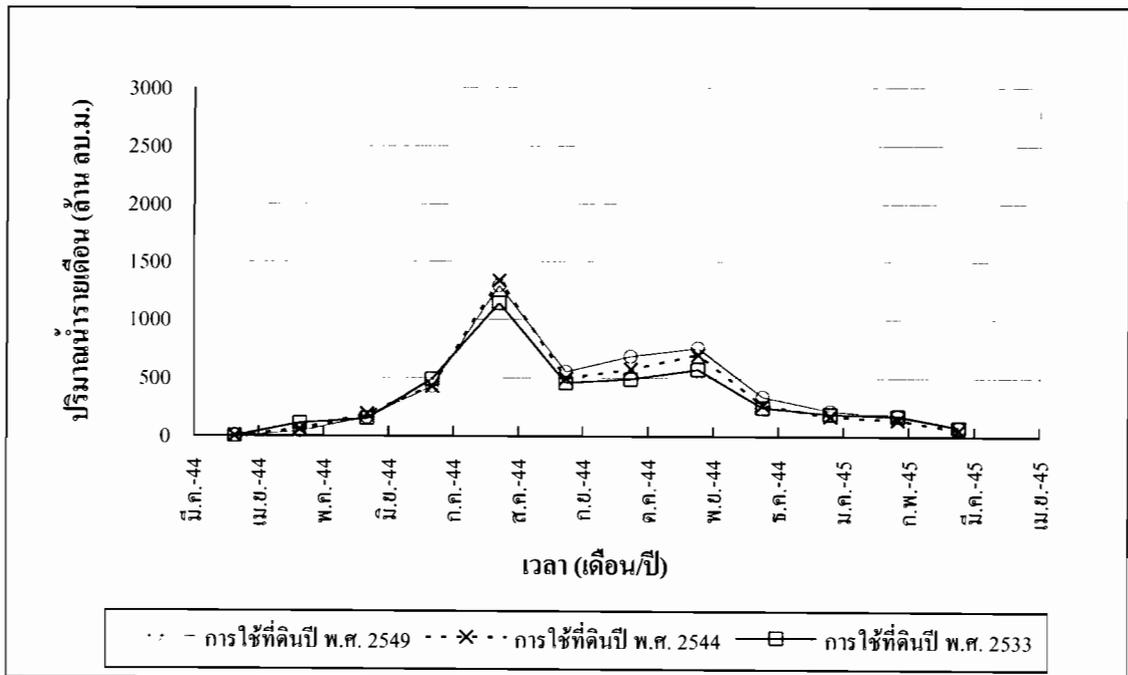
กรณีศึกษานี้จะพิจารณาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินว่า ทำให้ปริมาณน้ำท่าและรูปแบบการกระจายปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากสภาพการใช้ที่ดินทั้ง 3 ปี มีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร โดยพิจารณาช่วงสภาพอุตุนิยมหาวิทยาลัยในเวลาเดียวกันกับข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินที่ใช้ในการศึกษา คือ ปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 การนำเข้าสู่ข้อมูลสภาพอุตุนิยมหาวิทยาลัยจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังกล่าว และสภาพการใช้ที่ดินที่แตกต่างกันทั้ง 3 ปี จากการศึกษาประยุกต์ใช้แบบจำลองได้พิจารณาปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพล โดยนำมาเปรียบเทียบกับผลคำนวณจากช่วงปีข้อมูลและสภาพการใช้ที่ดินปีเดียวกัน ได้แก่ ช่วงปีข้อมูล พ.ศ. 2533 จะนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับผลคำนวณปริมาณน้ำท่าที่ได้จากสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 (ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพลในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่าประมาณ 3,251.23 และ 679.03 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ) ช่วงปีข้อมูล พ.ศ. 2544 จะนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับผลคำนวณปริมาณน้ำท่าที่ได้จากสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 (ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพลในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่าประมาณ 3,779.13 และ 635.51 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ) สุดท้ายช่วงปีข้อมูล พ.ศ. 2549 จะนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับผลคำนวณปริมาณน้ำท่าที่ได้จากสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 (ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพลในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่าประมาณ 6,871.64 และ 591.23 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ)

ผลการศึกษาจากข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2533 พบว่า เมื่อสภาพการไ้ที่เปลี่ยนไปเช่นเดียวกับสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2544 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 3,251.23 และ 679.03 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2549 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 3,343.30 และ 746.46 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ นั่นคือ มีปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนลดลงในข้อมูลสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2544 และเพิ่มสูงขึ้นในข้อมูลสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2549 ประมาณร้อยละ 4.11 และ 2.83 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณลดลงในข้อมูลสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2544 และเพิ่มสูงขึ้นในข้อมูลสภาพการไ้ที่คืนในปี พ.ศ. 2549 ประมาณร้อยละ 16.24 และ 9.93 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำท่าแสดงในรูปที่ 5.45



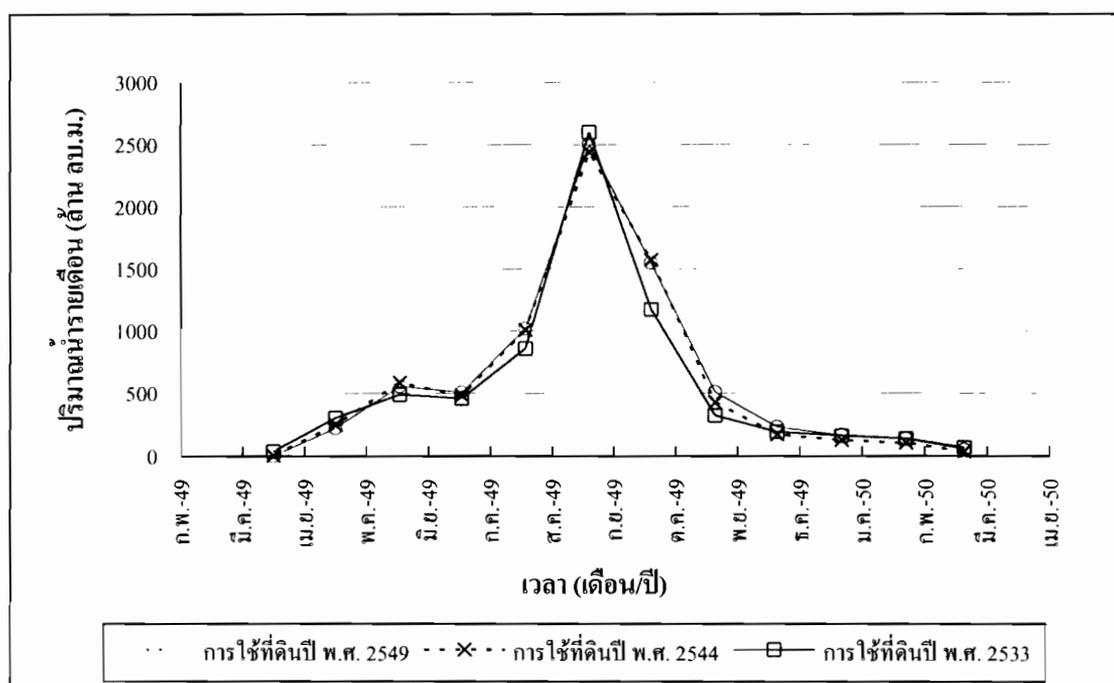
รูปที่ 5.45 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำลุ่มน้ำปึงตอนบนที่จุดทางเข้าเขื่อนภูมิพลช่วงปี พ.ศ. 2533 ในสภาพการไ้ที่คืนต่างกัน

และผลการศึกษาจากข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2544 พบว่า เมื่อสภาพการใช้น้ำที่เปลี่ยนไปเช่นเดียวกับสภาพการใช้น้ำที่คืนปี พ.ศ. 2533 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 3,416.09 และ 689.54 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และสภาพการใช้น้ำที่คืนปี พ.ศ. 2549 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 3,912.98 และ 811.48 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ นั่นคือ มีปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนลดลงในข้อมูลสภาพการใช้น้ำที่คืนปี พ.ศ. 2533 และเพิ่มสูงขึ้นในข้อมูลสภาพการใช้น้ำที่คืนปี พ.ศ. 2549 ประมาณร้อยละ 9.60 และ 3.54 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในข้อมูลสภาพการใช้น้ำที่คืนปี พ.ศ. 2533 และในข้อมูลสภาพการใช้น้ำที่คืนในปี พ.ศ. 2549 ประมาณร้อยละ 8.50 และ 27.68 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำท่าแสดงในรูปที่ 5.46



รูปที่ 5.46 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่จุดทางเข้าเขื่อนภูมิพล ช่วงปี พ.ศ. 2544 ในสภาพการใช้น้ำที่คืนต่างกัน

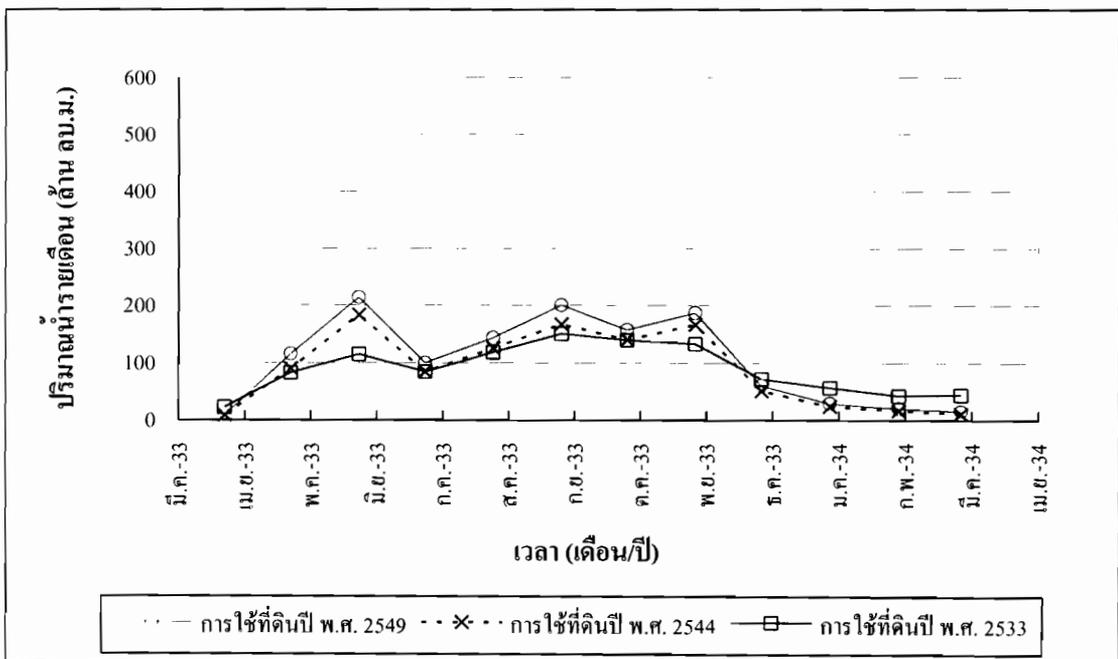
ส่วนผลการศึกษาจากข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2549 พบว่า เมื่อสภาพการใช้ที่เปลี่ยนไปเช่นเดียวกับสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 6,210.39 และ 603.41 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 6,765.79 และ 450.35 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ นั่นคือ มีปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนลดลงในข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 และในข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 ประมาณร้อยละ 9.62 และ 1.54 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณเพิ่มขึ้นในข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 และลดลงในข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2544 ประมาณร้อยละ 2.06 และ 23.82 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำท่าแสดงในรูปที่ 5.47



รูปที่ 5.47 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำลุ่มน้ำปึงตอนบนที่จุดทางเข้าเขื่อนภูมิพล ช่วงปี พ.ศ. 2549 ในสภาพการใช้ที่ดินต่างกัน

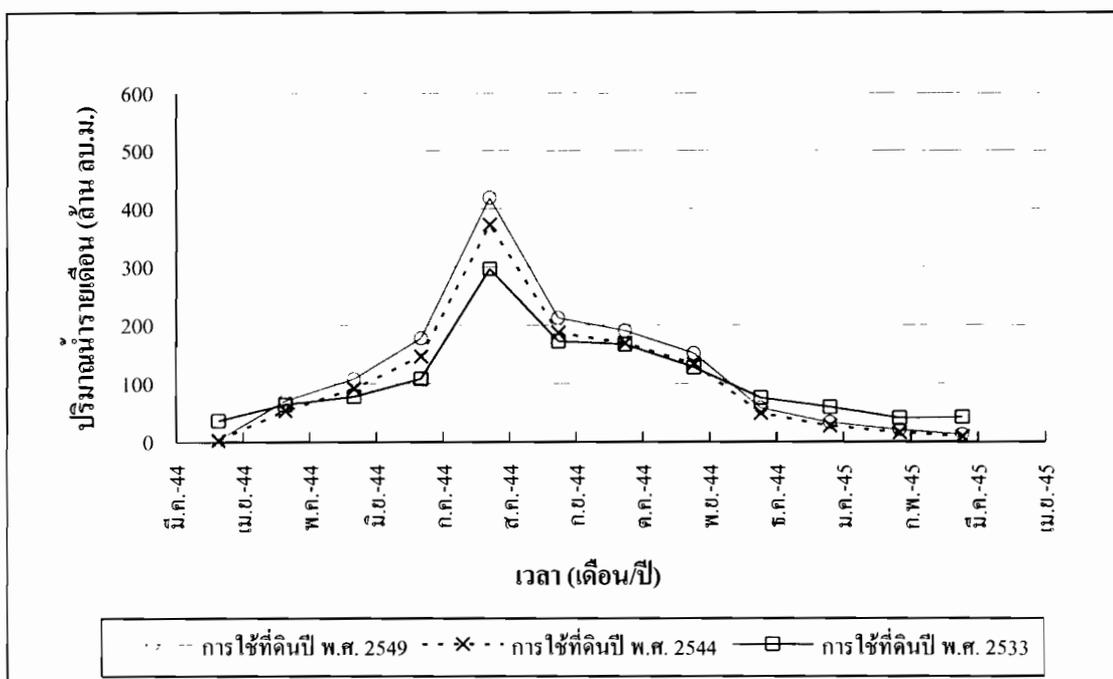
นอกจากนี้ยังได้พิจารณาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้น้ำต่อปริมาณน้ำท่าในตัวเมืองเชียงใหม่ นั่นคือ สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.1 โดยพิจารณาจากช่วงปีข้อมูล พ.ศ. 2533 จะนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าที่ได้จากสภาพการใช้น้ำปี พ.ศ. 2533 (ปริมาณน้ำท่าที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.1 ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่าประมาณ 825.34 และ 241.11 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ) ช่วงปีข้อมูล พ.ศ. 2544 จะนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าที่ได้จากสภาพการใช้น้ำปี พ.ศ. 2544 (ปริมาณน้ำท่าที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.1 ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่าประมาณ 1,153.61 และ 101.96 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ) และสุดท้ายช่วงปีข้อมูล พ.ศ. 2549 จะนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าที่ได้จากสภาพการใช้น้ำปี พ.ศ. 2549 (ปริมาณน้ำท่าที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.1 ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่าประมาณ 1,905.13 และ 76.88 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ)

ผลการศึกษาจากข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2533 พบว่า เมื่อสภาพการใช้น้ำที่เปลี่ยนไปเช่นเดียวกับสภาพการใช้น้ำปี พ.ศ. 2544 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 958.44 และ 114.06 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และสภาพการใช้น้ำปี พ.ศ. 2549 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 1,120.07 และ 135.92 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ นั่นคือ มีปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนเพิ่มสูงขึ้นในข้อมูลสภาพการใช้น้ำปี พ.ศ. 2544 และในข้อมูลสภาพการใช้น้ำปี พ.ศ. 2549 ประมาณร้อยละ 16.13 และ 35.71 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณลดลงในข้อมูลสภาพการใช้น้ำปี พ.ศ. 2544 และในข้อมูลสภาพการใช้น้ำปี พ.ศ. 2549 ประมาณร้อยละ 52.69 และ 43.63 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำท่าแสดงในรูปที่ 5.48



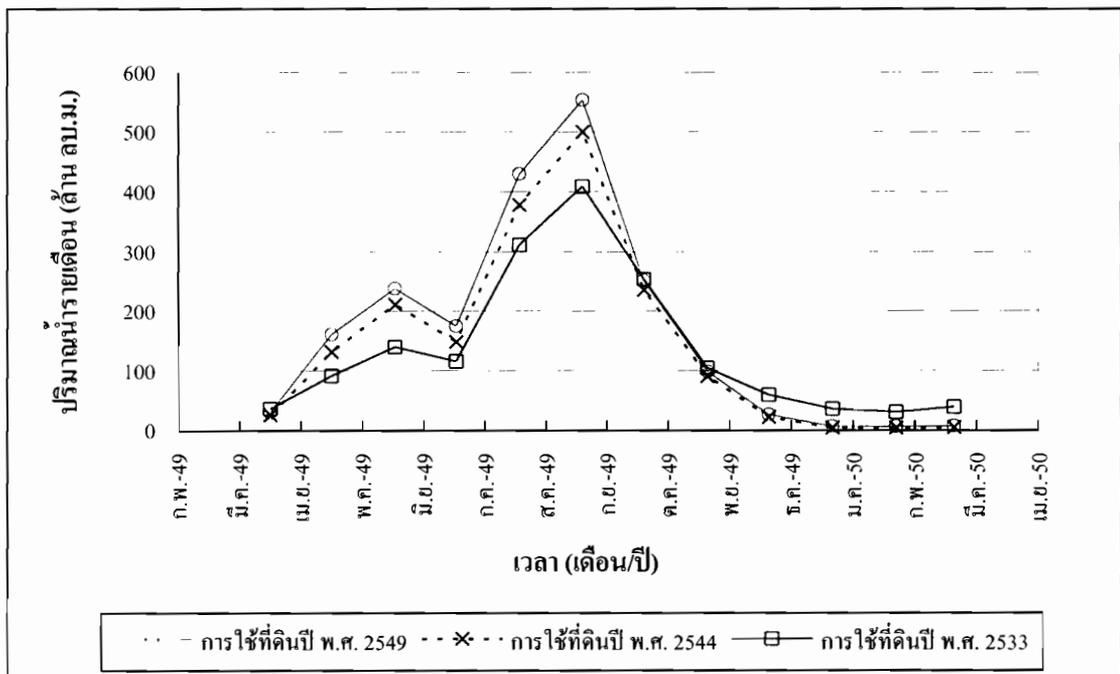
รูปที่ 5.48 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า P.1 ช่วงปี พ.ศ. 2533 ในสภาพการใช้น้ำต่างกัน

และผลการศึกษาจากข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2544 พบว่า เมื่อสภาพการใช้น้ำที่เปลี่ยนไปเช่นเดียวกับสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2533 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 1,013.59 และ 253.51 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2549 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 1,329.30 และ 125.87 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ นั่นคือ มีปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนลดลงในข้อมูลสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2533 และเพิ่มสูงขึ้นในข้อมูลสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2549 ประมาณร้อยละ 12.13 และ 15.22 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในข้อมูลสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2533 และในข้อมูลสภาพการใช้น้ำที่ดินในปี พ.ศ. 2549 ประมาณร้อยละ 148.63 (ประมาณ 1.5 เท่าของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากสภาพการใช้น้ำที่ดินปี พ.ศ. 2544) และ 23.45 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำท่าแสดงในรูปที่ 5.49



รูปที่ 5.49 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ากลุ่ม P.1 ช่วงปี พ.ศ. 2544 ในสภาพการใช้น้ำที่ดินต่างกัน

ส่วนผลการศึกษาจากข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2549 พบว่า เมื่อสภาพการไ้ที่เปลี่ยนไปเช่นเดียวกับสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2533 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 1,423.93 และ 200.74 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2544 จะให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าประมาณ 1,692.04 และ 60.66 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ นั่นคือ มีปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนลดลงในข้อมูลสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2533 และในข้อมูลสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2544 ประมาณร้อยละ 25.25 และ 11.18 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณเพิ่มขึ้นในข้อมูลสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2533 และลดลงในข้อมูลสภาพการไ้ที่คืนในปี พ.ศ. 2544 ประมาณร้อยละ 161.10 (ประมาณ 1.6 เท่าของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากสภาพการไ้ที่คืนปี พ.ศ. 2549) และ 21.09 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำท่าแสดงในรูปที่ 5.50



รูปที่ 5.50 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำลุ่ม P.1 ช่วงปี พ.ศ. 2549 ในสภาพการไ้ที่คืนต่างกัน

ตารางที่ 5.12 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าแต่ละช่วงเวลาข้อมูล

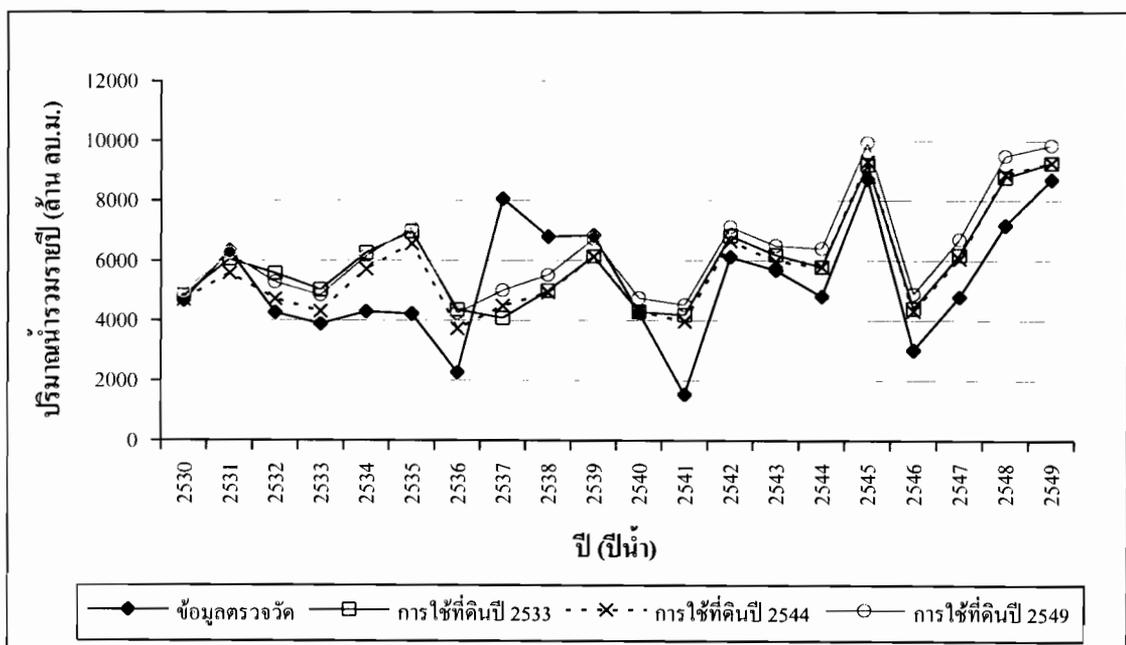
ปีการใช้ที่ดิน	ปีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่าของ ช่วงเวลา (ล้าน ลบ.ม.)		ร้อยละความ แตกต่าง	
		ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
เขื่อนภูมิพล					
2533	2533	3,251.22	679.03	-	-
2544		3,117.73	568.78	-4.11	-16.24
2549		3,343.30	746.46	2.83	9.93
2544	2544	3,779.13	635.51	-	-
2533		3,416.09	689.54	-9.60	8.50
2549		3,912.98	811.48	3.54	27.68
2549	2549	6,871.64	591.23	-	-
2533		6,210.39	603.41	-9.62	2.06
2544		6,765.79	450.35	-1.54	-23.82
สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.1					
2533	2533	825.34	241.11	-	-
2544		958.44	114.06	16.13	-52.69
2549		1120.07	135.92	35.71	-43.63
2544	2544	1,153.61	101.96	-	-
2533		1,013.59	253.51	-12.13	148.63
2549		1,329.30	125.87	15.22	23.45
2549	2549	1,905.13	76.88	-	-
2533		1,423.93	200.74	-25.25	161.10
2544		1,692.04	60.66	-11.18	-21.09

*เทียบกับสภาพการใช้ที่ดินปีเดียวกันกับช่วงเวลาของข้อมูล

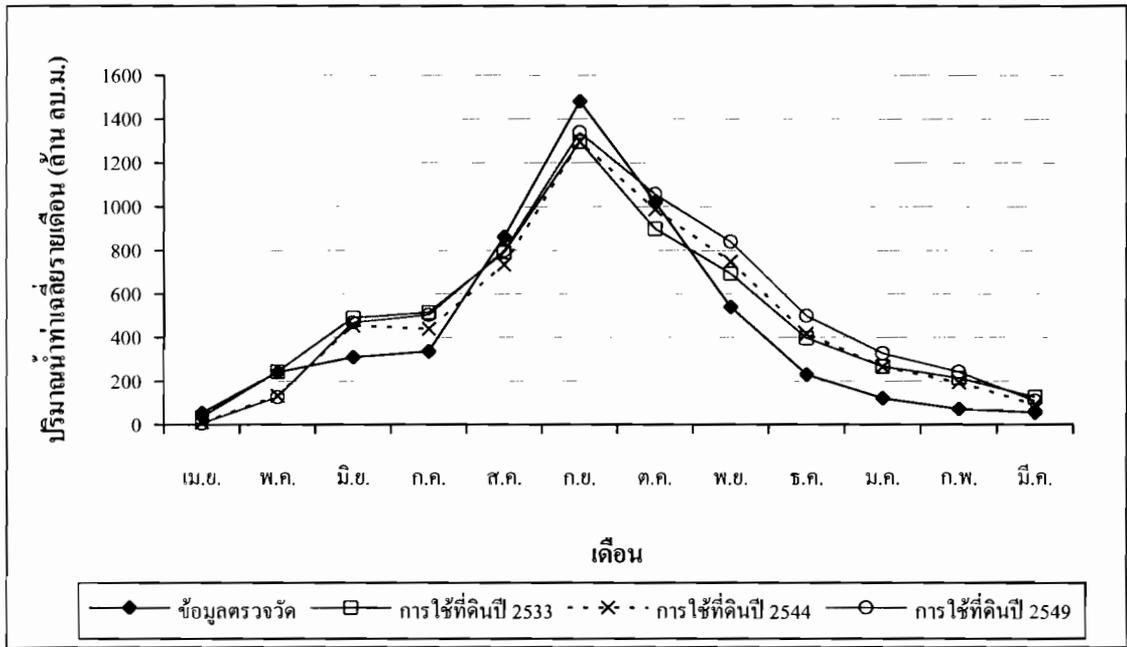
5.4.3 ผลการคำนวณในกรณีที่ข้อมูลสภาพอุตุ – อุทกวิทยา 20 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2530 – 2549) แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน

จากกรณีศึกษาในข้างต้นที่ศึกษาผลกระทบสภาพการใช้ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาณและรูปแบบการกระจายปริมาณน้ำท่า ซึ่งไม่ได้พิจารณาถึงสภาพอุตุนิยมวิทยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเป็นข้อมูลช่วงเดียวกันในการพิจารณาแต่กรณีศึกษา แต่ในที่นี้ได้พิจารณาสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เปลี่ยนแปลงร่วมกับสภาพการใช้ที่ดินทั้ง 3 ปี ข้อมูลที่ใช้การศึกษาเป็นช่วงข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยาย้อนหลัง 20 ปี (พ.ศ. 2533 - 2549) ผลการศึกษาจะนำปริมาณน้ำท่ารายปีและปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนตลอดช่วงที่พิจารณามาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นตามสภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาที่ยกมา (ข้อมูลตรวจวัด) โดยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพลตลอดช่วง 20 ปีย้อนหลัง มีค่าประมาณ 5,321.73 ล้าน ลบ.ม. ส่วนข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.1 มีค่าประมาณ 1,389.49 ล้าน ลบ.ม.

จากการศึกษาประยุกต์ใช้แบบจำลองพิจารณาที่เขื่อนภูมิพล พบว่า สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 ให้ค่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยตลอด 20 ปี ประมาณ 5,971.09 5,766.24 และ 6,314.31 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ โดยมีค่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยที่เกิดขึ้นสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยในช่วงที่ผ่านมาเป็นร้อยละ 12.20 8.35 และ 18.65 ตามลำดับ ปริมาณน้ำท่ารายปีและรายเดือนเฉลี่ยที่เขื่อนภูมิพลตลอดช่วงพิจารณาแสดงในรูปที่ 5.51 และ 5.52 ตามลำดับ

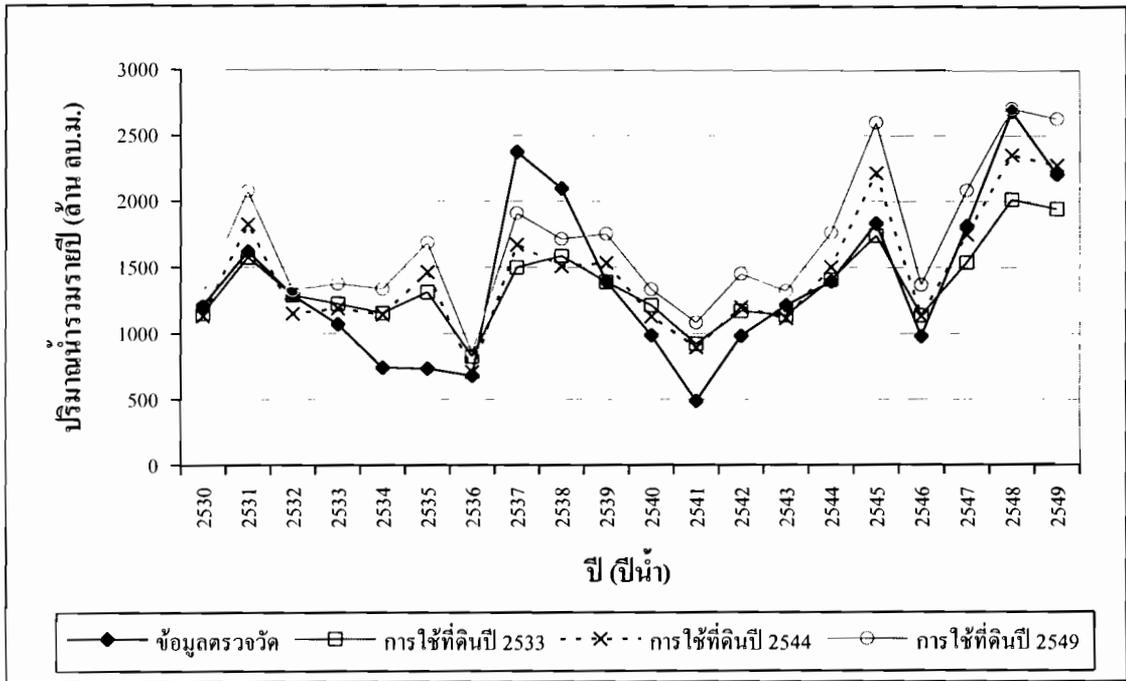


รูปที่ 5.51 ปริมาณน้ำรายปีไหลเข้าเขื่อนภูมิพลในช่วงข้อมูลอุตุ – อุทกวิทยา 20 ปีย้อนหลัง แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน

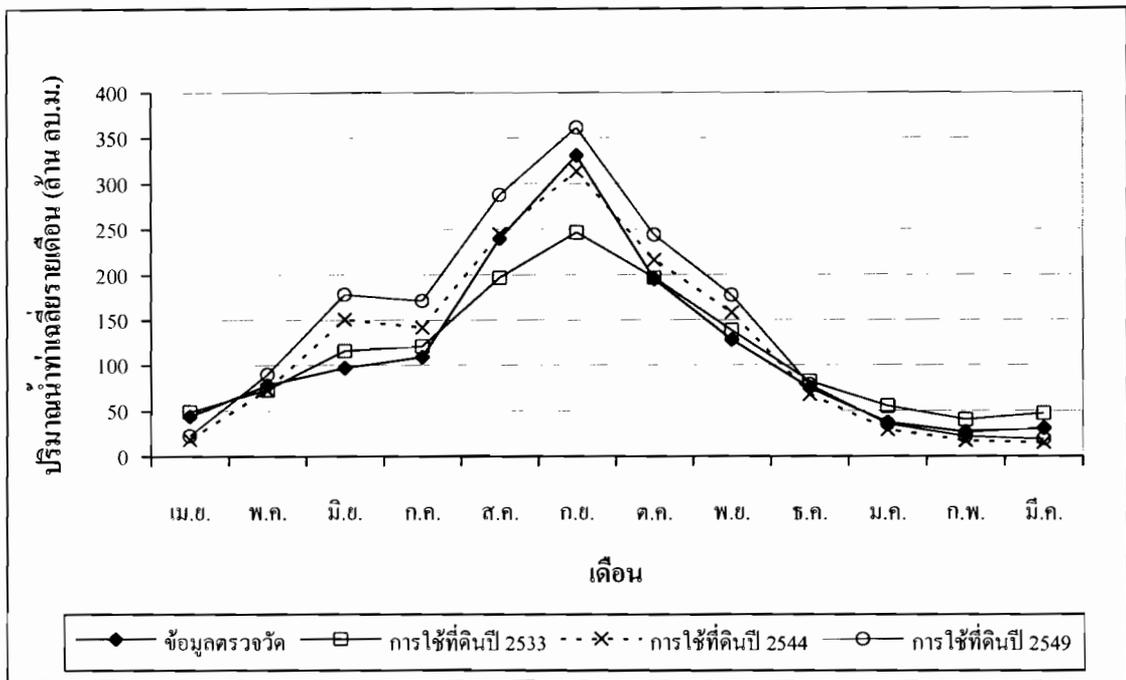


รูปที่ 5.52 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนไหลเข้าเขื่อนภูมิพลในช่วงข้อมูลฤดู – อุทกวิทยา 20 ปี ย้อนหลัง แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน

ส่วนที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.1 จากการศึกษาประยุกต์ใช้แบบจำลอง พบว่า สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 ให้ค่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยตลอด 20 ปี ประมาณ 1,361.49 1,444.01 และ 1,685.07 โดยมีค่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยที่เกิดขึ้นสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 มีปริมาณลดลงจากปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยในช่วงที่ผ่านมาเป็นร้อยละ 2.01 แต่ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยที่เกิดขึ้นสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 และ 2549 มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยในช่วงที่ผ่านมาเป็นร้อยละ 3.92 และ 21.27 ตามลำดับ ปริมาณน้ำท่ารายปีและรายเดือนเฉลี่ยที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.1 ตลอดช่วงพิจารณาแสดงในรูปที่ 5.53 และ 5.54 ตามลำดับ



รูปที่ 5.53 ปริมาณน้ำทั้งหมดรายปีที่สถานี P.1 ในช่วงข้อมูลอุตุ - อุทกวิทยา 20 ปีย้อนหลัง แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน



รูปที่ 5.54 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานี P.1 ในช่วงข้อมูลอุตุ - อุทกวิทยา 20 ปีย้อนหลัง แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน

ตารางที่ 5.13 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองกรณีที่ข้อมูลสภาพอุตุ – อุตกวิทยา 20 ปีย้อนหลัง

จุดที่ พิจารณา	ปีสภาพการใช้ที่ดิน	ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละความแตกต่าง*
ปริมาณน้ำ ไหลเข้า เขื่อนภูมิพล	ข้อมูลตรวจวัด	5,321.73	-
	2533	5,971.09	12.20
	2544	5,766.24	8.35
	2549	6,314.31	18.65
สถานี ตรวจวัด P.1	ข้อมูลตรวจวัด	1,389.49	-
	2533	1,361.45	-2.01
	2544	1,444.01	3.92
	2549	1,685.07	21.27

*เทียบกับสภาพการใช้ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วง 20 ปีย้อนหลัง

บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการใช้น้ำที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า และรูปแบบการกระจายปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากพื้นที่ลุ่มน้ำ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อประเมินผลกระทบต่อน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้น้ำที่ดิน โดยได้นำแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT เป็นเครื่องมือในการศึกษา และได้ศึกษาความเหมาะสมและความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา ซึ่งได้ใช้ความรู้ด้านต่างๆ ได้แก่ การเตรียมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การนำข้อมูลที่มีอยู่ในประเทศมาปรับเข้ากับฐานข้อมูลของแบบจำลองใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ของประเทศไทย เพื่อประเมินพารามิเตอร์ต่างๆ ได้อย่างสมเหตุสมผลกับสภาพความเป็นจริง การศึกษานี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบสภาพการใช้น้ำที่ดินที่แปรเปลี่ยนไป แนวโน้มของสภาพอุตุ-อุทกวิทยาในช่วงอดีตจนถึงปัจจุบัน การวิเคราะห์ความอ่อนไหวพารามิเตอร์ของแบบจำลอง การปรับเทียบแบบจำลอง รวมไปถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองในลักษณะของกรณีศึกษาต่างๆ ซึ่งสามารถกล่าวสรุปผลการศึกษาดังนี้

6.1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุ-อุทกวิทยาของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาดังอยู่ในตอนเหนือของประเทศไทย สภาพพื้นที่มีภูเขาสลับซับซ้อน ทำให้ในการประเมินปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่ให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนของสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดช่วงการศึกษามีจำนวนสถานีค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดถึง 23,370 ตร.กม. จากการศึกษาได้เลือกใช้วิธีเส้นชั้นน้ำฝนในการประเมินปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย โดยคิดสัดส่วนพื้นที่ระหว่างเส้นชั้นน้ำฝน และคัดเลือกสถานีวัดน้ำฝนดัชนีเป็นตัวแทน โดยสถานีวัดน้ำฝนดัชนีจะต้องมีข้อมูลตรวจวัดน้ำฝนตลอดช่วงที่พิจารณา ซึ่งผลที่ได้มีความละเอียดและใกล้เคียงกับสภาพจริงมากขึ้น

แนวโน้มของสภาพอุตุ-อุทกวิทยาของพื้นที่ศึกษาในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2530-2549) มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเฉพาะปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพลมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ทางด้านปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยและอุณหภูมิมีความผันแปรอยู่ ซึ่งแนวโน้มของความผันแปรมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเล็กน้อย ส่วนรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ประเมินทุกๆ 4 ปี ยังคงเป็นรูปแบบเดียวกัน คือ ช่วงหน้าฝนและช่วงหน้าแล้งยังคงเป็นเช่นเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

6.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินของพื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้เลือกสภาพการใช้ที่ดินของปี พ.ศ. 2533, 2544 และ 2549 ตามปีที่ได้มีการสำรวจจากกรมพัฒนาที่ดิน การประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินได้ประเมินตามกลุ่มการใช้ที่ดินหลักของกรมพัฒนาที่ดิน นั่นคือ ป่าไม้ เกษตรกรรม พื้นที่เมือง แหล่งน้ำ และ พื้นที่อื่นๆ (พื้นที่เบ็ดเตล็ด) พบว่า สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533, 2544 และ 2549 พื้นที่ป่าไม้ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีแนวโน้มของสูงขึ้นจากสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 ไปยังปี พ.ศ. 2544 และมีพื้นที่ป่าไม้ลดลงจากสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 ไปยังปี พ.ศ. 2549 และสัดส่วนพื้นที่ป่าไม้จากสภาพการใช้ที่ดินทั้ง 3 ปีสำรวจมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก อยู่ที่ระหว่างร้อยละ 77.30 – 79.61 แต่เมื่อพิจารณาถึงพื้นที่สวนป่า สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 มีสูงถึงร้อยละ 2.73 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2533 และ 2549 ซึ่งมีอยู่เพียงร้อยละ 0.91 และ 0.26 ตามลำดับ โดยสวนป่าที่ทางกรมพัฒนาที่ดินจัดประเภทไว้ นั่นคือ สวนป่าผสม ป่าสน ป่าสัก ป่ายูคาลิปตัส เป็นต้น จากการตรวจสอบข้อมูลการปลูกป่าจากโครงการปลูกป่าเฉลิมพระเกียรติฯ ระยะที่ 1 (ปี พ.ศ. 2537 - 2539) พื้นที่ที่ได้ปลูกป่าทั้ง 4 ภาคของประเทศไทย คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 5,616,080.32 ไร่ โดยภาคเหนือมีเนื้อที่ถึง 3,560,948.02 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 63.41 ของพื้นที่ปลูกป่าทั้งหมด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า มีการปลูกป่าในพื้นที่ศึกษาเพิ่มขึ้น เป็นผลให้พื้นที่ป่าไม้ในปี พ.ศ. 2544 มีมากกว่า ปี พ.ศ. 2533 และ 2549 ส่วนพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เมืองมีแนวโน้มสูงขึ้นจากในอดีต ในปี พ.ศ. 2533 มีพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เมืองอยู่ร้อยละ 15.22 และ 0.80 ของพื้นที่ ตามลำดับ แต่ในปี พ.ศ. 2549 พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เมืองเพิ่มเป็นร้อยละ 17.06 และ 3.07 ของพื้นที่ ตามลำดับ นอกจากนี้ลักษณะการจัดประเภทสภาพการใช้ที่ดินในแต่ละปีจากกรมพัฒนาที่ดินนั้นมีรูปแบบเปลี่ยนไป นั่นคือ สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 และ 2544 ประเภทของป่าไม้ได้แบ่งตามประเภทของป่า เช่น ป่าดิบเขา ป่าไม้พลัดใบ และสวนป่าได้แบ่งที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 ประเภทของป่าไม้ได้แบ่งเป็นลักษณะของป่าไม้สมบูรณ์และป่าไม้เสื่อมโทรม ส่วนสวนป่าที่จัดประเภทไว้ คือ สวนป่า สวนป่าผสม และ ป่าสน นอกจากนี้ยังพบว่าประเภทของป่าสักและป่ายูคาลิปตัส ถูกจัดให้ประเภทพื้นที่เกษตรกรรมแทน

การศึกษานี้ยังพิจารณาไปถึงลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน และได้เลือกพื้นที่ที่ส่งผลกระทบต่อตัวเมืองเชียงใหม่ คือ พื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 ซึ่งปริมาณของพื้นที่ป่าไม้มีแนวโน้มลดลงจากในอดีต โดยปี พ.ศ. 2533 มีพื้นที่ป่าไม้อยู่ร้อยละ 80.93 แต่ในปี พ.ศ. 2549 เหลืออยู่ร้อยละ 77.27 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ P.1 ส่วนพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เมืองมีแนวโน้มสูงขึ้นจากในอดีต ในปี พ.ศ. 2533 มีพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เมืองอยู่ร้อยละ 16.87 และ 1.07 ของพื้นที่ ตามลำดับ แต่ในปี พ.ศ. 2549 พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เมืองเพิ่มเป็นร้อยละ 18.26 และ 3.44 ของพื้นที่ ตามลำดับ

6.3 การจำลองสภาพพื้นที่ศึกษาให้กับแบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองเชิงกายภาพกึ่งกระจายพารามิเตอร์ (Semi - Distributed Model) ในการสร้างแบบจำลองให้กับพื้นที่ศึกษาจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในเชิงระบบสารสนเทศ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การนำเข้าข้อมูลสภาพทางกายภาพ และการนำเข้าข้อมูลสภาพอุตุ - อุตกวิทยา

การนำเข้าข้อมูลสภาพทางกายภาพเข้าแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองคำนวณลักษณะสภาพพื้นที่ศึกษา ทั้งความสูง แนวเส้นลำน้ำ ความลาดชันของพื้นที่และในแนวลำน้ำ เป็นต้น โดยใช้ข้อมูลแผนที่ DEM เมื่อได้สภาพพื้นที่ จึงกำหนดจุดทางออกของกลุ่มน้ำย่อยและกลุ่มน้ำทั้งหมด หรือจุดที่มีข้อมูลในการเปรียบเทียบแบบจำลอง จึงทำให้สภาพกลุ่มน้ำย่อยที่ได้จากแบบจำลองต่างจากสภาพกลุ่มน้ำย่อยจริงที่ได้แบ่งขอบเขตกลุ่มน้ำย่อยตามกรมชลประทาน จากนั้นนำเข้าข้อมูลแผนที่สภาพดินและแผนที่สภาพการใช้ที่ดิน และกำหนดหน่วยการตอบสนองของพื้นที่ทางด้านสภาพการใช้ที่ดินและสภาพดิน เพื่อนำพารามิเตอร์ไปใช้ในการคำนวณต่อไป

ส่วนการนำเข้าข้อมูลสภาพอุตุ - อุตกวิทยา จะนำเข้าข้อมูลเป ให้นำเข้าเป็นสถานีวัดที่ตำแหน่งศูนย์กลางของกลุ่มน้ำย่อย ทางด้านข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลสถิติสภาพอากาศ 30 ปี ได้คัดเลือกสถานีจังหวัด เนื่องจากข้อมูลที่มีการตรวจวัดจริงในพื้นที่มีเพียงสถานีจังหวัดเท่านั้น จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยยังคงมีความแตกต่างจากเป็นอยู่ เนื่องจากลักษณะพื้นที่เป็นเทือกเขาสูง ซึ่งอาจมีพื้นที่ฝนตกหนัก ในขณะที่พื้นที่ข้างเคียงฝนตกน้อยถึงฝนไม่ตกเลย อย่างไรก็ตามการจัดทำข้อมูลที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ลุ่มน้ำ สามารถยอมรับได้และเป็นการทำงานบนพื้นฐานของข้อมูลที่มีอยู่ในประเทศไทย

6.4 การประเมินค่าพารามิเตอร์และการเปรียบเทียบแบบจำลอง

การประเมินความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองที่มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่า ได้ศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง พบว่า ค่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินที่สามารถเก็บน้ำไว้ได้ (SOL_AWC) ค่าเริ่มต้นของการหว่านน้ำทำด้วยวิธี SCS Curve Number สำหรับเงื่อนไขความชื้นที่ 2 CN2 และค่าแฟกเตอร์ชดเชยการระเหยในดิน ESCO มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าสูง หรือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวที่ร้อยละ 10 -20 ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าทั้งปี ช่วงหน้าฝน และช่วงหน้าแล้ง เปลี่ยนแปลงเกินร้อยละ 20 จากการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำท่าที่ไหลในลำน้ำขึ้นกับอยู่สภาพดิน ซึ่งดินต่างชนิดกันก็จะให้น้ำออกมาในลำน้ำต่างกัน และที่สำคัญสภาพดินและสภาพการใช้ที่ดินที่เป็นการกำหนดค่าตัวเลขของ curve number ก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า

สำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยพิจารณาจากผลการคำนวณปริมาณน้ำท่า ใช้ข้อมูลสภาพการ
ใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533, 2544 และ 2549 เป็นตัวแทนการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน และสามารถ
จำแนกหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) ของแบบจำลองในแต่ละช่วงเวลา การ
เปรียบเทียบข้อมูลน้ำท่าที่ตรวจวัดจริงรายเดือนที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.1, P.14, P.20, P.21 ปริมาณ
น้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งวดมหารา และปริมาณน้ำไหลเข้า
เขื่อนภูมิพล ของแต่ละช่วงการเปลี่ยนแปลงพบว่า

ค่าร้อยละของความแตกต่างของผลรวมปริมาณน้ำท่ารายปีของการเปรียบเทียบแบบจำลองในแต่ละ
ช่วงเวลากการเปลี่ยนแปลง ส่วนใหญ่มีความใกล้เคียงกันมาก คือไม่เกินร้อยละ 10 แต่มีอยู่ 3
เหตุการณ์ ที่มีค่าความแตกต่างเกินร้อยละ 10 คือ ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนภูมิพล ปี พ.ศ. 2533
สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.21 ปี พ.ศ. 233 และ สถานีตรวจวัดน้ำท่า P.21 ปี พ.ศ. 2544 มีความ
แตกต่างของปริมาณน้ำท่าที่ร้อยละ 12.18, 12.33 และ 10.87 ตามลำดับ

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากข้อมูล
ตรวจวัดจริงกับข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลองในแต่ละช่วงเวลากการเปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ
0.61 – 0.93

ค่าสัมประสิทธิ์ Nash and Sutcliffe (NS) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนจาก
ข้อมูลตรวจวัดจริงกับข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลองในแต่ละช่วงเวลากการเปลี่ยนแปลงมี
ค่าประมาณ 0.74 – 0.95

สรุปได้ว่า แบบจำลอง SWAT ที่มีระบบฐานข้อมูลของประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถนำมาปรับใช้
ในการหาปริมาณน้ำท่าจากน้ำฝน สภาพอากาศ สภาพดิน และสภาพการใช้ที่ดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง
ตอนบนได้อย่างเหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลฝนยังคงมีความต้องการข้อมูลฝนในพื้นที่ศึกษา
และบริเวณข้างเคียงเพิ่มเติม เนื่องจากข้อมูลน้ำฝนที่ใช้เป็นตัวแทนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่
จะส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าให้มีค่าสูงหรือต่ำโดยตรง

6.5 การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพการไ้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา ต่อปริมาณน้ำท่า

จากการเปลี่ยนแปลงสภาพการไ้ที่ดินทั้ง 3 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ. 2533 2544 และ 2549 ได้นำมาวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาของสภาพอุตุนิยมวิทยาเดียวกัน แต่สภาพการไ้ที่ดินต่างกัน พบว่า ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทั้งที่ข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ข้อมูลอุณหภูมิจ และข้อมูลสถิติสภาพอากาศ เป็นชุดเดียวกัน แต่ที่ต่างกันคือ สภาพการไ้ที่ดิน และพารามิเตอร์ของสภาพการไ้ที่ดิน โดยพิจารณาที่ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนภูมิพล และสถานีวัดน้ำท่า P.1 บ่งชี้ได้ว่า เมื่อสภาพการไ้ที่ดินเปลี่ยนแปลงไปโดยที่ข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยายังคงเหมือนเดิม ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลงมากขึ้นหรือลดน้อยลง ซึ่งในที่นี้ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน แต่ลักษณะสำคัญที่สรุปได้ คือ สภาพการไ้ที่ดินส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่า แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณน้ำท่า

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาประเมินในลักษณะข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยาที่แปรเปลี่ยนตลอดช่วง 20 ปี ย้อนหลัง (พ.ศ. 2530 – 2549) พิจารณาอยู่ 2 ส่วน คือ ปริมาณน้ำท่ารายปีและเฉลี่ยรายเดือนตลอดช่วง 20 ปีย้อนหลัง ของปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนภูมิพล และสถานีวัดน้ำท่า P.1 สามารถสรุปได้ดังนี้

ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนภูมิพลรายปี ในสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 มีปริมาณน้ำท่าต่ำกว่าสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 และ 2549 ในทางกลับกัน สภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำท่ารายปีสูงสุด โดยเมื่อเปรียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนภูมิพลรายปี มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อปีใดที่สภาพจริงมีปริมาณน้ำท่ารายปีต่ำ ผลที่ได้จากสภาพการไ้ที่ดินทั้ง 3 ปี ก็จะมีค่าปริมาณน้ำท่ารายปีต่ำด้วยเช่นกัน และได้ศึกษาถึงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนตลอดช่วง 20 ปีย้อนหลัง พบว่า รูปแบบการกระจายตัวแต่ละเดือนมีรูปร่างกระจายตัวเหมือนกัน ซึ่งให้ค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนสูงไปต่ำของสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 2533 และ 2544 ตามลำดับ จากผลดังกล่าวที่สภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 มีค่าปริมาณน้ำท่าต่ำกว่าสภาพการไ้ที่ดินปีอื่น พบว่า พื้นที่ป่าไม้ของสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ป่าไม้ของสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 และ 2549 คือ มีพื้นที่ 20,171 ตร.กม. คิดเป็นสัดส่วนพื้นที่ร้อยละ 79.61 ของพื้นที่ทั้งหมด

ปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 ในสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 มีปริมาณน้ำท่าต่ำกว่าสภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 และ 2549 ในทางกลับกัน สภาพการไ้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณน้ำท่ารายปีสูงสุด โดยเมื่อเปรียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อปีใดที่สภาพจริงมีปริมาณน้ำท่ารายปีต่ำ ผลที่ได้จากสภาพการไ้ที่ดินทั้ง 3 ปี ก็จะ

มีค่าปริมาณน้ำท่ารายปีต่ำด้วยเช่นกัน และได้ศึกษาถึงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนตลอดช่วง 20 ปี ย้อนหลัง พบว่า รูปแบบการกระจายตัวแต่ละเดือนมีรูปกระจายตัวเหมือนกัน ซึ่งให้ค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนสูงไปต่ำของสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2549 2544 และ 2533 ตามลำดับ จากผลดังกล่าวที่สภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 มีค่าปริมาณน้ำท่าต่ำกว่าสภาพการใช้ที่ดินปีอื่น พบว่า พื้นที่ป่าไม้ของสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2533 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ป่าไม้ของสภาพการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2544 และ 2549 คือ มีพื้นที่ 5,143 ตร.กม. คิดเป็นสัดส่วนพื้นที่ร้อยละ 80.93 ของพื้นที่ทั้งหมด

ดังนั้น จากที่สรุปว่าสภาพการใช้ที่ดินส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า และยังสามารถบอกได้ว่าพื้นที่ป่าไม้ทำให้เกิดปริมาณน้ำท่าลดลง ดังนั้นจากผลการศึกษาทั้งหมด ถ้าสภาพการใช้ที่ดินยังคงมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงแบบนี้ต่อไป และแนวโน้มสภาพอุทกนิยวิทยาเป็นเช่นนี้ จะส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากพื้นที่ลุ่มน้ำสูงขึ้นจากเดิม เป็นผลทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของแต่ละเดือนสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาการเก็บกักน้ำและการปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพที่เปลี่ยนแปลงไป

6.6 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาเป็นการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุ – อุทกวิทยา และสภาพการใช้ที่ดิน ต่อปริมาณน้ำของพื้นที่ศึกษา โดยมีเครื่องมือในการศึกษาคือ แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT ซึ่งต้องการข้อมูลนำเข้าแบบจำลองค่อนข้างมาก ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ข้อมูลแผนที่สภาพภูมิประเทศ หรือแผนที่ DEM แผนที่สภาพดิน แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน และลักษณะประเภทรายละเอียดของข้อมูลแผนที่สภาพดินและการใช้ที่ดิน จากที่กล่าวมาทำให้การศึกษามีปัญหาอยู่หลายด้าน จึงอยากให้เสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1) แบบจำลอง SWAT มีระบบฐานข้อมูลสภาพดินและสภาพการใช้ที่ดินของระบบประเทศสหรัฐอเมริกา ในการนำแบบจำลองมาใช้กับประเทศไทยต้องทำการปรับฐานข้อมูลให้เข้ากับข้อมูลที่ได้เก็บข้อมูลไว้ ลักษณะดังกล่าวเป็นข้อจำกัดของทุกแบบจำลองที่นำมาใช้ในประเทศไทย แต่ที่เพิ่มขึ้นมา คือ แผนที่สภาพดินจากกรมพัฒนาที่ดินได้จัดทำในรูปแบบประเภทหน่วยกลุ่มชุดดิน ซึ่งไม่มีการให้ข้อมูลคุณสมบัติของกลุ่มชุดดินไว้ ข้อมูลคุณสมบัติของสภาพดินเป็นข้อมูลที่แบบจำลองต้องการ และนอกจากนี้ประเภทของการใช้ที่ดินที่กรมพัฒนาที่ดินได้จัดไว้ อาจจะไม่ตรงกับฐานข้อมูลของแบบจำลองทั้งหมด ดังนั้นในการจัดประเภทกลุ่มสภาพการใช้ที่ดินขึ้นอยู่กับผู้ทำการศึกษาและข้อมูลที่นำมาใช้ในแบบจำลอง

2) ข้อมูลที่ได้มีการจัดเก็บในประเทศยังไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้กับแบบจำลอง SWAT เนื่องจากข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่แบบจำลองต้องการ คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ข้อมูลทั้งหมดต้องการเป็นแบบรายวัน ซึ่งประเทศไทยข้อมูลทางด้านความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ยังไม่มีการเก็บข้อมูลมากนักและข้อมูลที่มีการเก็บไว้ก็เป็นเพียงข้อมูลที่ตรวจวัดในตัวจังหวัด นอกจากนี้ข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทยมีเพียงกรมทรัพยากรน้ำที่จัดเก็บข้อมูลเท่านั้น จึงเป็นอยากให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดเก็บข้อมูลได้เข้ามามีส่วนร่วมในการศึกษาด้านต่างๆ เพื่อที่จะได้ทราบถึงข้อมูลที่ต้องนำไปใช้ในการศึกษากับแบบจำลองต่างๆต้องการข้อมูลประเภทใดและลักษณะข้อมูลแบบใดบ้าง

3) แผนที่สภาพการใช้ที่ดินที่นำมาเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินที่เวลาเปลี่ยนแปลงไป ควรที่จะเป็นแผนที่ที่มีมาตราส่วนและฐานในการจัดเก็บจัดทำประเภทเดียวกัน เพราะในการศึกษานี้แผนที่สภาพการใช้ที่ดินมีระบบจัดประเภทต่างกัน ที่มีระบบจัดประเภทเหมือนกันนั้นได้แก่ ปี พ.ศ. 2533 และ 2544 แต่ในปี พ.ศ. 2549 มีมาตราส่วน 1 : 25,000 และประเภทของป่าไม้ที่แบ่งประเภทไว้ได้แก่ ป่าสมบูรณ์ ป่าไม้เสื่อมโทรม และสวนป่า ดังนั้นในการนำข้อมูลไปใช้ในพื้นที่อื่นๆต้องมีการตรวจสอบข้อมูลสภาพการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริงควบคู่กับข้อมูลที่ใช้ในการนำเข้าแบบจำลอง เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล

4) ในการศึกษาแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่าในการเลือกพื้นที่ศึกษา ควรเลือกพื้นที่ศึกษาที่ไม่มีโครงสร้างในพื้นที่ที่จะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่า เนื่องจากในการศึกษานี้ มีผลกระทบของเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลและเขื่อนแม่กวงอุดมธารา โดยที่เขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลเริ่มใช้งานก่อนข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินทั้ง 3 ปี พารามิเตอร์ที่ได้จากปรับเทียบแบบจำลองจึงมีผลกระทบของเขื่อนร่วมด้วยเหมือนกับลักษณะสภาพจริง แต่เขื่อนแม่กวงอุดมธาราเริ่มใช้งานระหว่างสภาพการใช้ที่ดินทั้ง 3 ปี ดังนั้น พารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองในส่วนของพื้นที่เหนือเขื่อนแม่กวงอุดมธาราทั้ง 3 ปี จะมีบางปีที่มีผลกระทบและไม่มีผลกระทบของเขื่อน

5) จากการศึกษาพบว่า ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำมีผลกระทบสูงต่อปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ถึงแม้ว่าแบบจำลอง SWAT จะต้องการข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณจำนวนมาก ได้แก่ ข้อมูลฝน อุณหภูมิ สภาพการใช้ที่ดิน และสภาพดิน เป็นต้น ซึ่งเป็นปัญหาหลักของการศึกษาแบบจำลองการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า เนื่องจากข้อมูลน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษามีข้อมูลที่ขาดหายไปหลายสถานี นอกจากนี้ ในการคำนวณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยด้วยการแปลงปริมาณน้ำจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนด้วยสมการความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากการคำนวณด้วยวิธีเส้นชั้นน้ำฝน พบว่า เป็นการลดปริมาณน้ำฝนสูงสุดลงจากข้อมูลตรวจวัดจากสถานี

ตรวจวัดน้ำฝนดัชนี ซึ่งผลให้การคำนวณปริมาณน้ำท่ารายเดือนช่วงสูงสุดจากแบบจำลองต่ำกว่า ข้อมูลตรวจวัดน้ำท่า

6) ในปัจจุบันได้มีการศึกษาทางด้านสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปหรือที่เรียกว่า Climate Changes ซึ่งได้มีการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ โดยศึกษาถึงแนวโน้มปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ในโลกอนาคตที่สมมติขึ้น ถ้าสามารถนำผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง SWAT ที่ให้ค่าพารามิเตอร์ของสภาพการใช้ที่ดินปัจจุบันในพื้นที่ศึกษา และนำข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ในอนาคตที่ได้จากการศึกษาทางด้าน Climate Changes นำเข้าแบบจำลอง SWAT เพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จะเป็นการคาดการณ์ล่วงหน้าได้ว่า ปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาที่จะเกิดขึ้นนั้นมีมากหรือน้อยเพียง ซึ่งสามารถดำเนินการวางแผนบริหารจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำได้ล่วงหน้า และแม่นยำกว่าที่จะนำข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ในช่วงอดีตไปคำนวณปริมาณน้ำท่าในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาที่ดิน, 2547, การกำหนดลักษณะของชุดดินที่จัดตั้งในภาคเหนือและที่สูงตอนกลางของประเทศไทย จำแนกใหม่ตามระบบอนุกรมวิธานดิน, สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน.
2. กิตติพงษ์ ธนาสิริยะกุล, 2546, การประเมินสัมพันธภาพลำนํ้าย่อยของประเทศไทยข้อมูลระบบสารสนเทศและแบบจำลองสารสนเทศ SWAT/GIS : กรณีศึกษาพื้นที่ลุ่มนํ้าแม่ตื่นตอนบน อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรนํ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 117 หน้า.
3. วีระพล แต่สมบัติ, 2533, หลักอุทกวิทยา, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ, หน้า 47 – 48.
4. วิษุวัฒน์ แต่สมบัติ, 2549, การประเมินประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลองด้านอุทกพลศาสตร์ในการศึกษาตรวจสอบการเคลื่อนตัวของนํ้าหลากของกลุ่มนํ้าปิงตอนบน, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ, ครั้งที่ 11, 20 – 22 เม.ย. 2549, เมอร์ลิน บีช รีสอร์ท ป่าตอง จ.ภูเก็ต, WRE-049, หน้า 345.
5. วิโรจน์ ชัยธรรม, 2546, อุทกวิทยา, หน่วยสารบัญ งานบริหารและธุรการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, พิมพ์ครั้งที่ 5, หน้า (3-1) – (3-10).
6. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, รายงานฉบับสมบูรณ์ งานศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาลุ่มนํ้าปิง, บ. ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด, กันยายน 2537.
7. อมราพร จิตประไพ, 2541, การวิเคราะห์ความไม่คงตัวของข้อมูลอุทกวิทยา, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรนํ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 263 หน้า.
8. โอฬาร เวศอุไร, 2548, ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อนํ้าท่าในพื้นที่ลุ่มนํ้าน่านตอนบนโดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งนํ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 225 หน้า.

9. Cao W., Bowden W. and Davie T., 2008, “Modelling Impacts of Land cover Change on Critical Water resources in Motueka River Catchment, Newzeland”, **Water Resource Manage**, DOI 10.1007/s11269 – 008 – 9268 – 2.
10. Gikas, G., Yiannakopoulou, T. and Tsihritzis, V., 2006, “Modeling of non – point source pollution in a Mediterranean drainage basin” **Environmental Modeling and Assessment**, Vol. 11, pp. 219 – 233.
11. Hernandez, M., Miller, S. and Goodrich, D., 2000, “Modeling Runoff Response to Land Cover and Rainfall Spatial in Semi – Arid Watersheds”, **Environmental Monitoring and Assessment**, Vol. 64 , pp. 285 – 298.
12. Holvoet, K., Griensven, A., Gevaert, V., Seuntjens, P. and Vanrolleghem, P.A. , 2008, “Modifications to SWAT code for modeling direct pesticide losses”, **Environmental Modelling & Software**, Vol. 23 , pp. 72 – 81.
13. McCuen, H.R., K.Z., Cutter, A.G., 2006, “Evaluation of the Nash – Sutcliffe Efficiency Index”, **Journal Of Hydrologic Engineering (ASCE)**, pp. 597 – 602.
14. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R., 2005, **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2005**, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service. Texas.
15. Ouyang, W., Hao, F.H., Wang, X.L. and Cheng, H.G., 2008, “Nonpoint Source Pollution Responses Simulation for Conversion Cropland to Forest in Mountains by SWAT in China”, **Environmental Management**, Vol. 41, pp. 79 – 89.
16. Schulz, E.F., 1976, **Problems In Applied Hydrology**, Fourth Printing, Water Resources Publications Fort Collins, Colorado, U.S.A., pp. 45 – 58
17. Zhang Xue – Song., Fang – gua, H. and Hong – guang, C., 2003, “Application of SWAT Model in the Upstream Watershed of the Luohe River”, **China. Chinese Geographical Science**, Vol. 13, pp. 334 – 339.
18. ข้อมูลด้านวิชาการและองค์ความรู้, **โครงการชลประทานเชียงใหม่** [Online], Available : <http://irricm.wordpress.com/category/> [11 มิถุนายน 2552].

19. สำนักชลประทานที่ 1 กรมชลประทาน, **โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่กวง** [Online], Available : <http://www.maekuang.net/index.php> [31 มีนาคม 2552].
20. สำนักชลประทานที่ 1 กรมชลประทาน, **โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่แฝก – แม่จัด** [Online], Available : <http://www.kingofthailand.net/msnking/Preview.aspx?ProjectID=48> [27 มีนาคม 2552].
21. หน่วยงานวิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, **ระบบพยากรณ์และเตือนภัยน้ำท่วมเขตเมืองเชียงใหม่** [Online], Available : http://www.cendru.eng.cmu.ac.th/flooding/?name=/chapter1/cp1_1/artical1 [31 มีนาคม 2551].
22. DEM CGIAR – CSI GeoPorta, **Digital Elevation Model** [Online], Available : <http://srtm.csi.cgiar.org/> [2 มีนาคม 2551]
23. FAO Food and Agriculture Organization, **Digital Soil Map of the World** [Online], Available : <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116> [15 มิถุนายน 2551].
24. Soil Science, **Sexton Texture Triangle Bulk Density Calculator** [Online], Available : <http://www.pedoshere.com/resources/bulkdensity/index.html> [20 มิถุนายน 2551].
25. Soil Texture Triangle, **Sexton Texture Triangle Hydraulic Properties Calculator** [Online], Available : <http://www.staffweb.wilkes.edu/brian.oram/soilwatr.htm> [20 มิถุนายน 2551].

ภาคผนวก ก

ค่า Curve Number (CN2)

สำหรับเงื่อนไขความชื้นในดินเริ่มต้นแบบ AMC II

ตารางที่ ก.1 ค่า Curve Number (CN2) สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมแบบหว่าน (cultivated agricultural lands) [14]

Cover			Hydrologic Soil Group			
Land Use	Treatment or practice	Hydrologic condition	A	B	C	D
Fallow	Bare soil		77	86	91	94
	Crop residue cover	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	Straight row w/ residue	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	Contoured w/ residue	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
	Contoured & terraced w/ residue	Poor	65	73	79	81
		Good	61	70	77	80
Small grains	Straight row	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	Straight row w/ residue	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	Contoured	Poor	63	74	82	85

ตารางที่ ก.1 ค่า Curve Number (CN2) สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมแบบหว่าน (cultivated agricultural lands) [14] (ต่อ)

Cover			Hydrologic Soil Group			
Land Use	Treatment or practice	Hydrologic condition	A	B	C	D
	Contoured & terraced	Good	60	72	80	83
		Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	Contoured & terraced w/ residue	Poor	60	71	78	81
		Good	58	69	77	80
Close-seeded or broadcast legumes or rotation	Straight row	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	Contoured & terraced	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

ตารางที่ ก.2 ค่า Curve Numbers (CN2) สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมแบบอื่นๆ [14]

Cover		Hydrologic Soil Group			
Cover Type	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range-continuous forage for grazing	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow-continuous grass, protected from and generally mowed for hay	-	30	58	71	78
Brush-brush-weed-grass mixture with brush the major element	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30	48	65	73
Woods-grass combination (orchard or farm)	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30	55	70	77
Farmsteads-buildings, lanes, driveways, and surrounding lots	-	59	74	82	86

ตารางที่ ก.3 ค่า Curve Numbers (CN2) สำหรับพื้นที่ในเขตเมือง [14]

Cover			Hydrologic Soil Group			
Cover Type	Hydrologic condition	Average % impervious area	A	B	C	D
Fully developed urban areas:						
Open spaces (lawns, parks, golf course, cemeteries, etc.)	Poor		68	79	86	89
	Fair		49	69	79	84
	Good		39	61	74	80
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excl. Right-of-way)	-		98	98	98	98
Paved streets and roads; open ditches (incl. right-of-way)	-		83	89	92	93
Gravel streets and roads (including right-of-way)	-		76	85	89	91
Dirt streets and roads (including right-of-way)	-		72	82	87	89
Commercial and business		85%	89	92	94	95
Industrial		72%	81	88	91	93
Residential Districts by average lot size:						
1/8 acre (0.05 ha) or less (town houses)		65%	77	85	90	92
1/4 acre (0.10 ha)		38%	61	75	83	87
1/3 acre (0.13 ha)		30%	57	72	81	86
1/2 acre (0.20 ha)		25%	54	70	80	85
1 acre (0.40 ha)		20%	51	68	79	84
2 acre (0.81 ha)		12%	46	65	77	82
Developing urban areas:						
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)			77	86	91	94

ภาคผนวก ข

ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศ

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศเชียงใหม่คาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

สถานีตรวจวัดอากาศ	เชียงใหม่	ความสูงของสถานีเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	312	เมตร
รหัสสถานี	48327	ความสูงของบาโรมิเตอร์เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	314	เมตร
เส้นรุ้ง	18 47N	ความสูงของทอร์โมมิเตอร์เหนือระดับผิวดิน	1.20	เมตร
เส้นแวง	98 59E	ความสูงของเครื่องวัดลมเหนือระดับผิวดิน	8.90	เมตร
		ความสูงของที่วัดน้ำฝน	0.80	เมตร

ข้อมูลภูมิอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รายปี
ความกดอากาศ (เฮกโตปาสกาล)													
เฉลี่ย	1013.6	1011.4	1009.1	1007.2	1006.1	1004.7	1004.8	1005.2	1007.6	1010.6	1013.3	1015.1	1009.1
เฉลี่ยสูงสุด	1025.8	1023.7	1025.1	1018.5	1014.3	1012.2	1012.1	1014.5	1015.4	1020.4	1024.9	1025.8	1025.8
เฉลี่ยต่ำสุด	1002.9	1000.9	999.3	996.9	996.9	995.5	995.8	995.1	998.2	1001.0	1003.8	1003.9	995.1
พิสัยรายวันเฉลี่ย	6.4	6.8	6.9	6.6	5.5	4.5	4.3	4.4	5.0	5.3	5.4	5.9	5.6
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	20.9	23.3	26.7	28.8	28.1	27.6	27.1	26.7	26.6	25.9	23.8	21.1	25.6
เฉลี่ยสูงสุด	29.3	32.2	34.9	36.0	34.1	32.6	31.8	31.3	31.5	31.2	29.8	28.3	31.9
เฉลี่ยต่ำสุด	14.1	15.5	19.0	22.3	23.6	23.9	23.7	23.5	23.1	22.0	19.1	15.2	20.4
สูงสุด	34.1	37.7	39.2	41.4	40.1	39.3	37.5	36.5	36.1	37.9	34.5	33.4	41.4
ต่ำสุด	3.7	7.3	12.2	15.8	19.2	20.0	20.5	20.7	16.8	13.3	6.0	3.8	3.7
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)													
เฉลี่ย	69	60	54	58	71	77	78	81	81	78	75	73	71
เฉลี่ยสูงสุด	91	84	78	80	88	91	91	93	93	93	92	92	89
เฉลี่ยต่ำสุด	39	32	31	37	51	58	61	63	62	57	52	45	49
ต่ำสุด	3	5	3	11		21	40	41	34	29	30	14	3
จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	14.3	13.9	15.5	18.9	21.8	22.8	22.7	22.8	22.7	21.5	18.7	15.4	19.3
ปริมาณการกายระเหยจากภาค (มม.)													
เฉลี่ย-ภาค	108.1	128.7	171.7	189.4	178.6	143.7	129.6	126.3	128.8	129.0	106.8	98.3	1639.0
เมฆปกคลุม (0-10)													
เฉลี่ย	2.2	2.0	2.2	3.7	6.2	7.7	8.4	8.5	7.5	5.9	4.5	3.2	5.2
ชั่วโมงที่มีแสงแดด (ชม.)													
เฉลี่ย	274.9	264.7	271.7	260.2	256.3	171.1	142.1	129.2	165.8	212.8	222.1	245.5	2616.4
ทัศนวิสัย (กม.)													
เวลา 07.00 น.	5.9	6.2	5.3	7.5	11.0	12.1	11.9	11.7	10.5	8.7	7.5	6.2	8.7
เฉลี่ย	8.2	8.0	7.2	8.9	11.5	12.2	12.0	11.8	11.3	10.5	9.9	9.1	10.1

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศเชียงใหม่คาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) (ต่อ)

ข้อมูลภูมิอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รายปี
ลม (มอด)													
ความเร็วลมเฉลี่ย	1.3	2.0	2.6	3.3	3.3	3.1	2.7	2.5	2.3	2.2	1.8	1.6	-
ทิศทาง	S	S	S	S	S	S.SW	S.SW	S	S	N	N	N	-
ความเร็วลมสูงสุด	39	44	45	60	64	43	47	56	41	40	45	43	64
ฝน (มม.)													
เฉลี่ย	7.7	9.2	17.3	54.5	155.4	119.4	157.6	224.4	202.4	116.6	51.4	18.1	1134.0
จำนวนวันที่ฝนตก	0.7	1.0	2.0	6.4	14.7	16.1	18.6	21.0	17.2	11.5	5.2	1.7	116.1
ฝนสูงที่สุดใน 24 ชม.	27.9	65.2	99.0	119.1	96.0	72.0	115.5	123.0	93.3	79.3	86.5	92.9	123.0
จำนวนวันที่เกิด													
เมฆหมอก	25.8	27.0	29.9	21.2	2.2	0.0	0.1	0.2	1.9	5.3	9.7	17.4	140.7
หมอก	1.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.8	1.8	3.4	7.9
ลูกท้อบ	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
ฟ้าคะนอง	0.1	0.3	2.1	7.0	11.1	6.4	5.3	8.0	9.8	5.8	0.8	0.2	56.9
พายุฝน	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศลำพูนคาบ 20 ปี (พ.ศ. 2524-2543)

สถานีตรวจวัดอากาศ	ลำพูน	ความสูงของสถานีเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	296	เมตร
รหัสสถานี	48329	ความสูงของบารอมิเตอร์เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	298	เมตร
เส้นรุ้ง	18 34N	ความสูงของเทอร์โมมิเตอร์เหนือระดับผิวดิน	1.50	เมตร
เส้นแวง	99 02E	ความสูงของเครื่องวัดลมเหนือระดับผิวดิน	12.00	เมตร
		ความสูงของที่วัดน้ำฝน	0.94	เมตร

ข้อมูลภูมิอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รายปี
ความกดอากาศ (เฮกโตปาสกาล)													
เฉลี่ย	1013.6	1011.2	1008.6	1006.8	1006.0	1004.7	1004.8	1005.2	1007.6	1010.6	1013.3	1015.2	1009.0
เฉลี่ยสูงสุด	1025.4	1023.4	1025.4	1018.6	1014.0	1011.8	1012.6	1013.2	1015.9	1020.4	1025.3	1026.6	1026.6
เฉลี่ยต่ำสุด	1002.7	1000.4	998.6	996.2	997.1	995.8	995.8	995.8	998.2	1000.2	1003.6	1005.4	995.8
พิสัยรายวันเฉลี่ย	6.5	6.8	6.8	6.4	5.3	4.4	4.3	4.5	5.1	5.5	5.6	6.2	5.6
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	21.6	24.2	27.9	29.9	28.9	28.2	27.8	27.3	26.9	26.0	23.9	21.1	26.1
เฉลี่ยสูงสุด	30.6	33.6	36.8	37.7	35.3	33.3	32.8	32.3	32.0	31.3	30.2	28.9	32.9
เฉลี่ยต่ำสุด	14.0	15.4	19.2	22.9	23.8	24.2	23.9	23.7	23.3	22.2	19.0	14.7	20.5
สูงสุด	35.2	38.4	41.7	42.6	42.3	40.8	38.1	37.7	35.1	35.3	34.7	34.7	42.6
ต่ำสุด	7.8	9.2	12.5	17.0	18.2	21.1	21.5	20.8	19.1	13.8	9.3	3.5	3.5
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)													
เฉลี่ย	69	58	51	56	70	75	76	79	83	83	81	75	71
เฉลี่ยสูงสุด	93	87	80	80	88	90	91	94	96	96	96	95	91
เฉลี่ยต่ำสุด	38	29	26	32	48	56	57	60	63	62	56	46	48
ต่ำสุด	17	12	10	12	17	27	31	39	45	38	32	19	10
จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	14.8	13.9	15.3	18.8	22.1	22.8	22.7	23.0	23.5	22.7	20.0	16.1	19.6
ปริมาณการคายระเหยจากผิวดิน (มม.)													
เฉลี่ย-ขาด	109.5	142.2	205.0	216.8	197.0	162.1	149.3	136.7	118.1	107.5	94.4	95.8	1734.4
เมฆปกคลุม (0-10)													
เฉลี่ย	2.4	2.0	2.1	3.8	6.6	8.0	8.4	8.6	7.7	6.2	4.7	3.0	5.3
ชั่วโมงที่มีแสงแดด (ชม.)													
เฉลี่ย	ไม่มีข้อมูลตรวจวัด												
ทัศนวิสัย (กม.)													
เวลา 07.00 น.	3.7	4.0	3.8	6.1	10.9	12.3	12.1	11.2	8.9	5.8	4.9	4.0	7.3
เฉลี่ย	6.6	6.5	5.9	7.7	11.7	12.6	12.4	11.7	10.4	8.8	8.3	7.2	9.2

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศลำพูนคาบ 20 ปี (พ.ศ. 2524-2543) (ต่อ)

ข้อมูลภูมิอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รายปี
ลม (มม.)													
ความเร็วลมเฉลี่ย	0.7	1.3	1.9	2.2	2.0	2.4	2.1	1.7	0.9	0.6	0.5	0.5	-
ทิศทาง	SE	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	N	N,SE	-
ความเร็วลมสูงสุด	27	30	36	50	43	35	40	40	40	32	26	20	50
ฝน (มม.)													
เฉลี่ย	2.4	5.9	13.1	42.8	146.4	123.2	118.3	153.2	191.3	110.5	48.1	7.2	962.4
จำนวนวันที่ฝนตก	0.6	1.2	1.4	6.0	13.7	14.9	16.6	17.9	17.4	11.5	5.0	1.1	107.3
ฝนสูงที่สุดใน 24ชม.	18.3	19.2	41.6	58.7	79.8	89.5	82.6	67.3	68.9	63.6	64.5	45.9	89.5
จำนวนวันที่เกิด													
เมฆหมอก	29.0	26.7	29.8	23.2	2.9	0.1	0.0	0.3	2.7	9.0	15.3	24.1	163.1
หิมอก	2.8	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	2.8	6.1	5.7	18.8
ลูกเห็บ	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
ฟ้าคะนอง	0.2	0.8	2.5	6.5	11.5	7.9	4.9	10.5	12.9	8.1	1.4	0.2	67.4
พายุฝน	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศตากถาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543)

สถานีตรวจวัดอากาศ	ตาก	ความสูงของสถานีเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	124	เมตร
รหัสสถานี	48376	ความสูงของบาริเมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	126	เมตร
เส้นรุ้ง	16 53N	ความสูงของเทอร์โมมิเตอร์เหนือระดับผิวดิน	1.50	เมตร
เส้นแวง	99 07E	ความสูงของเครื่องวัดลมเหนือระดับผิวดิน	12.70	เมตร
		ความสูงของที่วัดน้ำฝน	0.93	เมตร

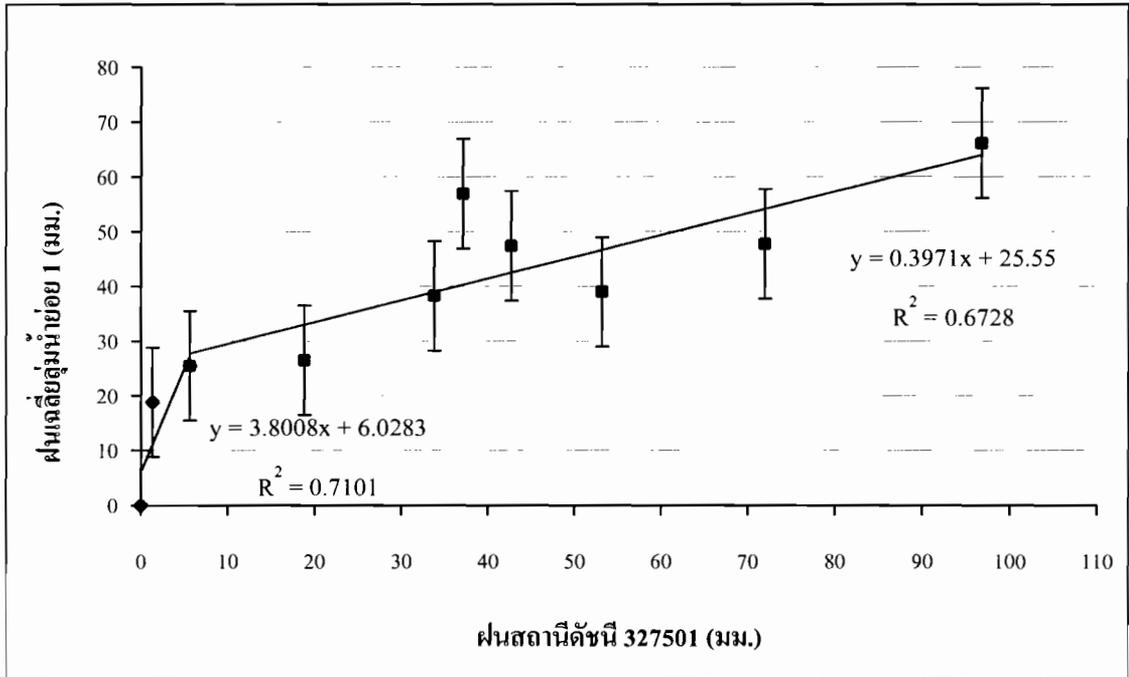
ข้อมูลภูมิอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รายปี
ความกดอากาศ (เฮกโตปาสกาล)													
เฉลี่ย	1013.2	1011.1	1009.1	1007.5	1006.5	1005.6	1005.7	1006.0	1007.9	1010.6	1013.1	1014.7	1009.3
เฉลี่ยสูงสุด	1025.4	1023.1	1025.0	1018.0	1014.8	1013.0	1012.7	1012.8	1015.7	1019.6	1023.9	1025.9	1025.9
เฉลี่ยต่ำสุด	1004.1	1001.9	999.7	998.5	998.8	997.0	996.4	994.7	998.6	1001.0	1003.4	1003.9	994.7
พิสัยรายวันเฉลี่ย	5.9	6.2	6.3	6.1	5.2	4.0	3.8	4.1	4.9	5.2	5.1	5.5	5.2
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	23.6	26.9	30.1	31.4	29.6	28.3	28.0	27.6	27.4	26.5	24.7	22.6	27.2
เฉลี่ยสูงสุด	32.0	35.0	37.5	38.4	35.4	32.9	32.4	32.1	32.3	31.5	30.5	30.2	33.4
เฉลี่ยต่ำสุด	16.3	19.3	23.6	26.0	25.5	25.1	24.9	24.5	23.9	22.7	20.0	16.4	22.4
สูงสุด	37.8	40.6	42.7	43.7	42.9	40.3	38.4	37.8	36.7	36.0	36.5	36.6	43.7
ต่ำสุด	5.7	10.5	11.0	19.2	20.6	21.7	20.5	20.2	19.5	14.6	9.3	5.8	5.7
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)													
เฉลี่ย	66	53	49	53	68	74	72	75	78	83	79	73	69
เฉลี่ยสูงสุด	89	77	69	71	83	85	84	86	91	95	94	92	85
เฉลี่ยต่ำสุด	37	30	29	34	50	59	60	61	63	64	56	45	49
ต่ำสุด	12	4	9	12	20	34	37	37	37	36	29	18	4
จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	15.7	15.3	16.8	19.7	22.5	22.9	22.5	22.6	23.2	23.0	20.4	16.8	20.1
ปริมาณการคายระเหยจากผิวดิน (มม.)													
เฉลี่ย-ภาค	124.4	168.9	241.0	251.9	204.3	152.8	150.4	141.1	126.4	107.6	99.6	102.8	1871.2
เมฆปกคลุม (0-10)													
เฉลี่ย	2.7	2.7	3.1	4.2	6.9	8.3	8.7	8.9	8.3	7.0	5.0	3.4	5.8

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลสถิติตรวจวัดสภาพอากาศตากคาน 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) (ต่อ)

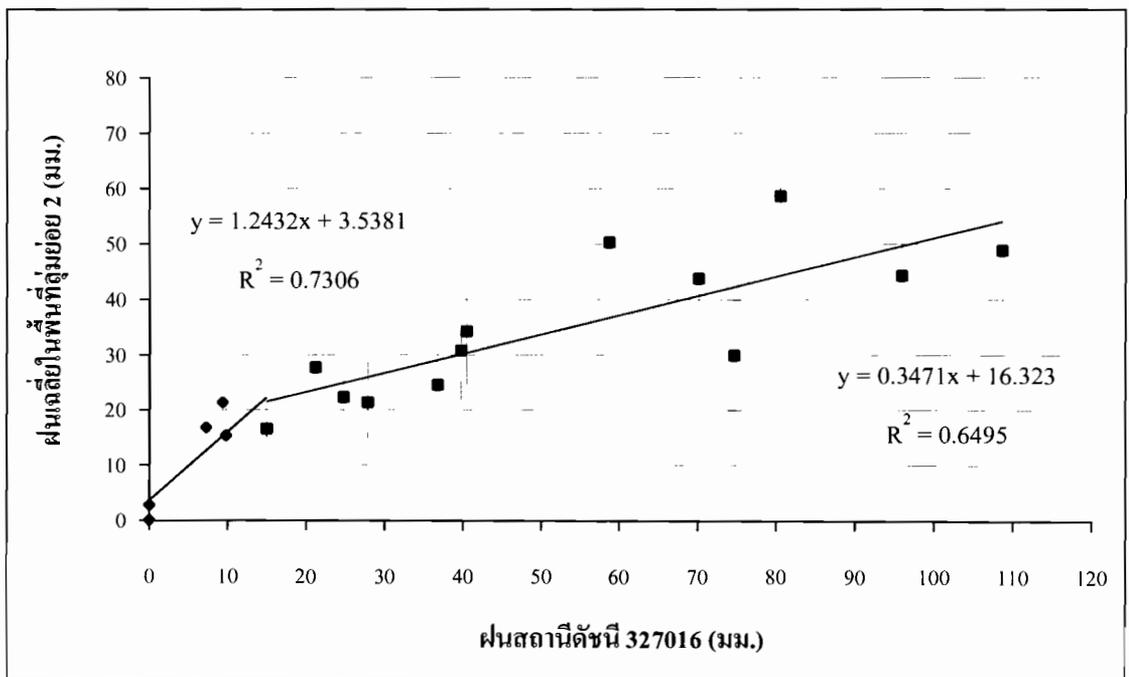
ข้อมูลภูมิอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รายปี
ชั่วโมงที่มีแสงแดด (ชม.)													
เฉลี่ย													
	ไม่มีข้อมูลตรวจวัด												
ทัศนวิสัย (กม.)													
เวลา 07.00 น.	4.2	4.4	5.1	6.6	9.0	9.8	9.7	9.3	8.4	6.4	5.4	4.8	6.9
เฉลี่ย	5.5	5.3	5.5	6.9	9.5	10.2	10.4	10.0	9.5	8.1	7.1	6.3	7.9
ลม (มอด)													
ความเร็วลมเฉลี่ย	0.9	1.8	2.6	3.4	2.7	2.4	3.3	3.1	1.5	0.6	0.5	0.6	-
ทิศทาง	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	E	E	-
ความเร็วลมสูงสุด	25	32	35	45	40	35	35	43	40	31	31	25	45
ฝน (มม.)													
เฉลี่ย	4.2	8.4	13.4	42.0	161.2	124.2	93.7	127.9	208.9	203.9	60.8	5.2	1053.8
จำนวนวันที่ฝนตก	0.8	0.8	1.7	4.7	12.4	15.1	14.2	16.3	16.9	13.9	5.1	0.8	102.7
ฝนสูงที่สุดใน 24 ชม.	39.7	85.0	55.0	94.3	175.7	110.8	72.9	128.0	145.0	124.0	95.9	50.6	175.7
จำนวนวันที่เกิด													
เมฆหมอก	29.7	27.7	28.8	25.5	10.5	4.3	3.9	3.9	4.5	10.1	19.5	27.8	196.2
หมอก	1.0	0.9	0.7	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.5	1.3	1.7	1.7	8.1
ลูกเห็บ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ฟ้าคะนอง	0.0	0.7	2.8	6.8	10.4	6.2	3.5	4.2	9.1	7.3	1.2	0.0	52.2
พายุฝน	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา

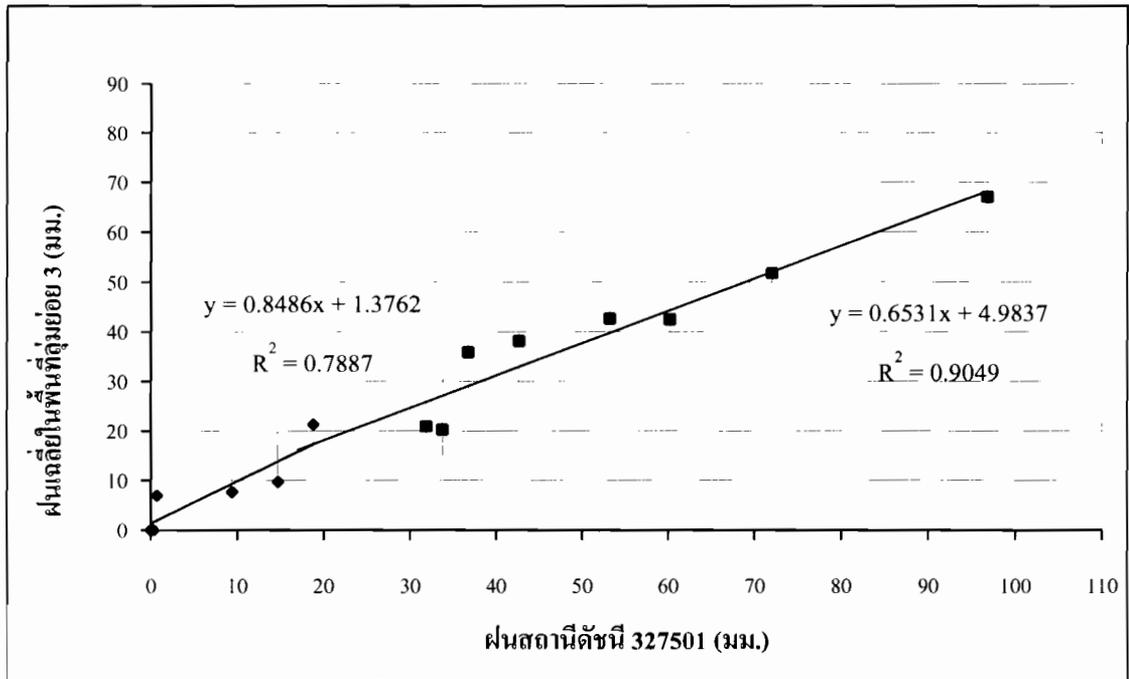
ภาคผนวก ค
ข้อมูลน้ำฝน-น้ำท่า



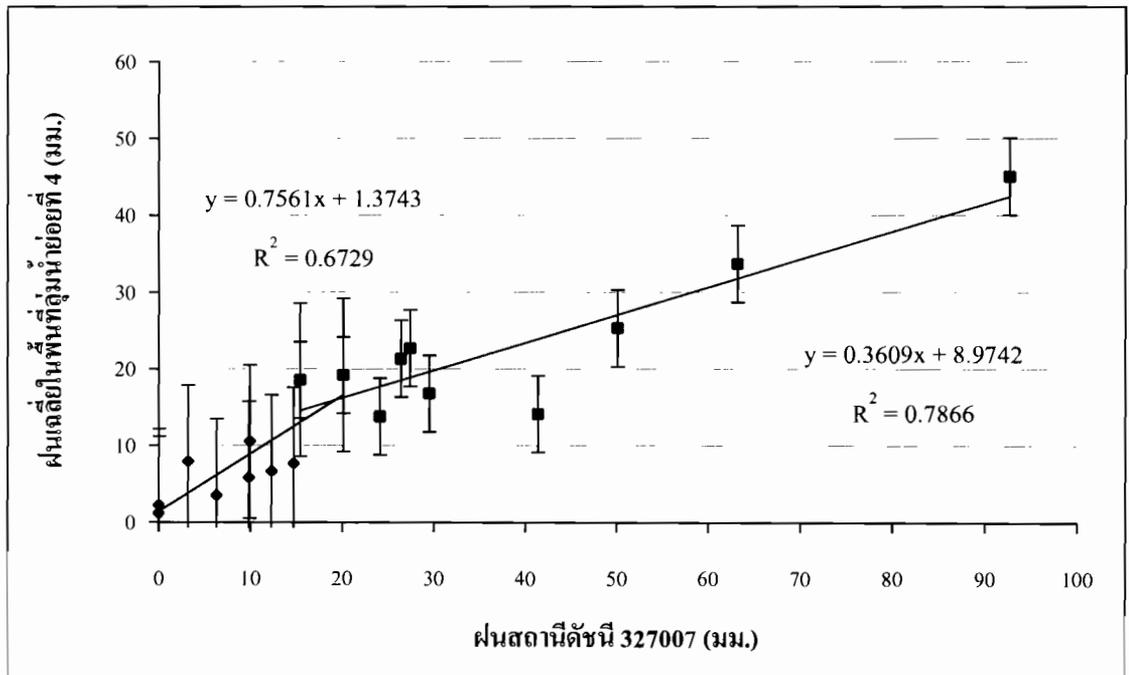
รูปที่ ค.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลเฉลี่ยในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย 1 กับสถานีผลดัชนี 327501



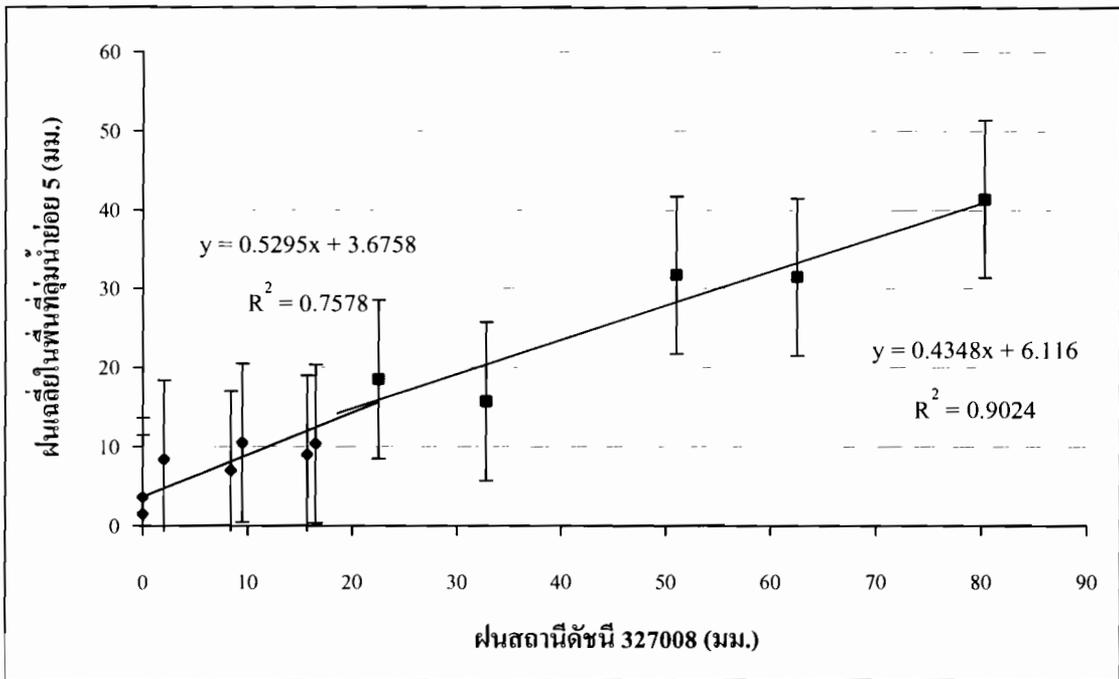
รูปที่ ค.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลเฉลี่ยในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย 2 กับสถานีผลดัชนี 327016



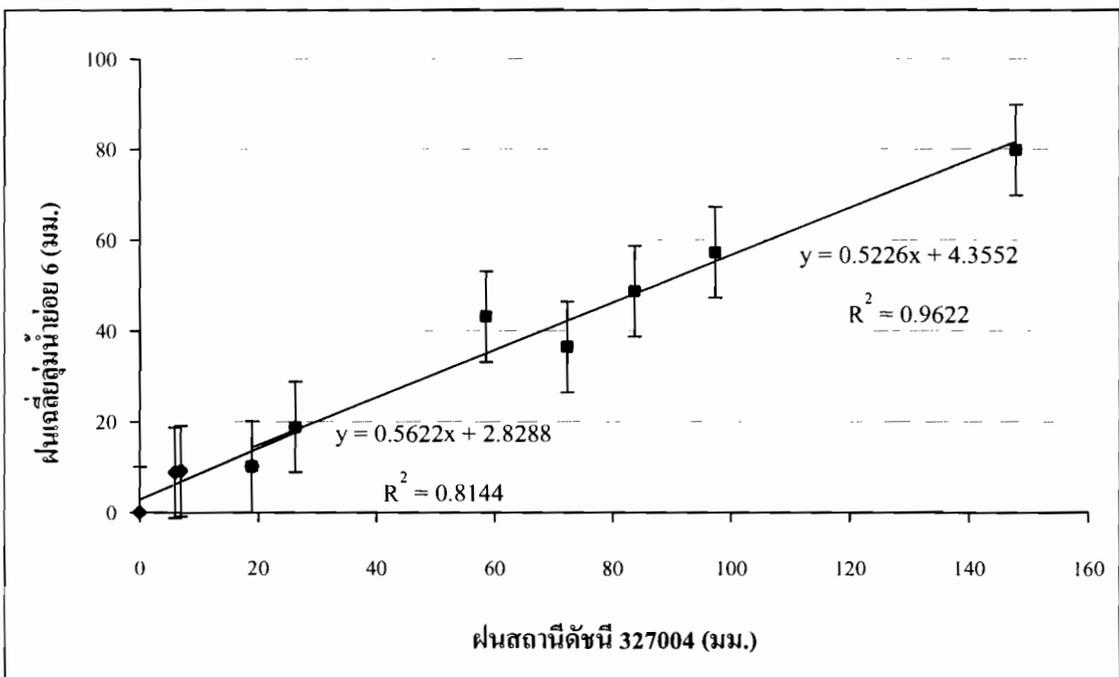
รูปที่ ๓.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย 3 กับสถานีฝนดัชนี 327501



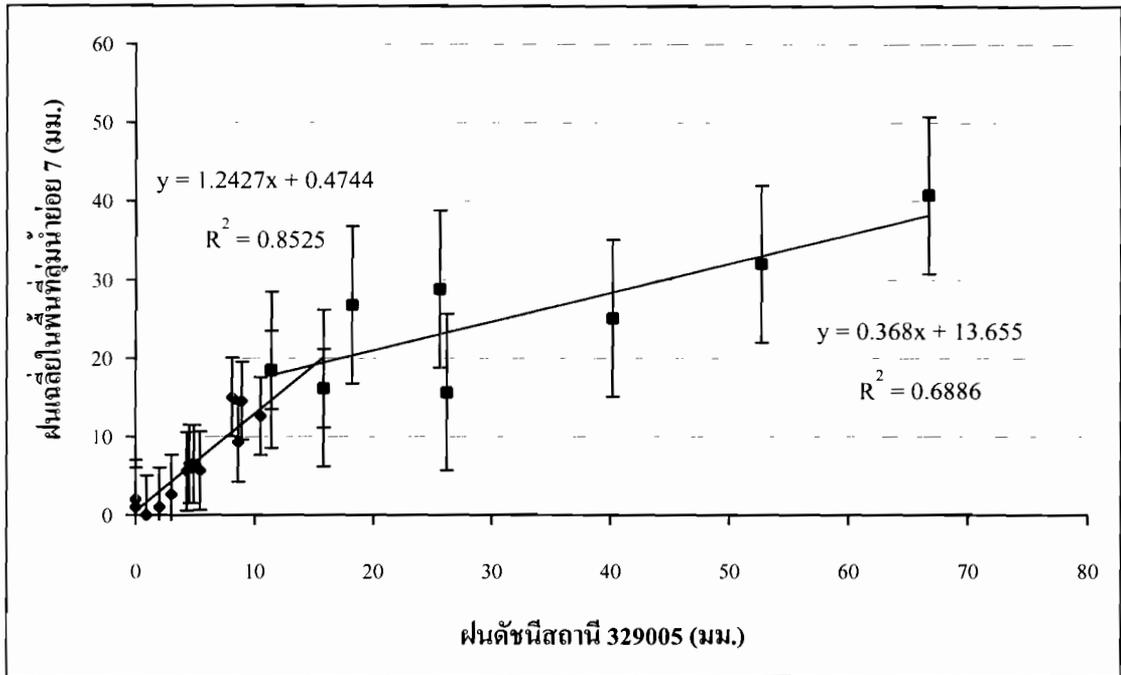
รูปที่ ๓.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย 4 กับสถานีฝนดัชนี 327007



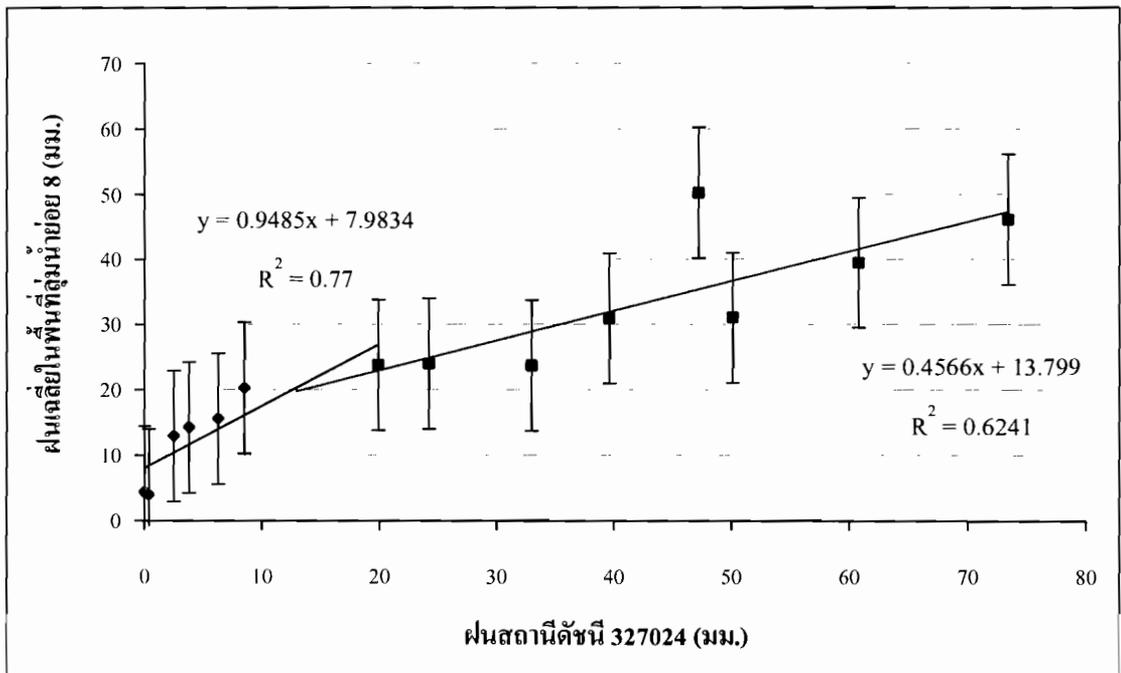
รูปที่ ค.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลเฉลี่ยในพื้นที่กลุ่มนำย่อย 5 กับสถานีฝนดัชนี 327008



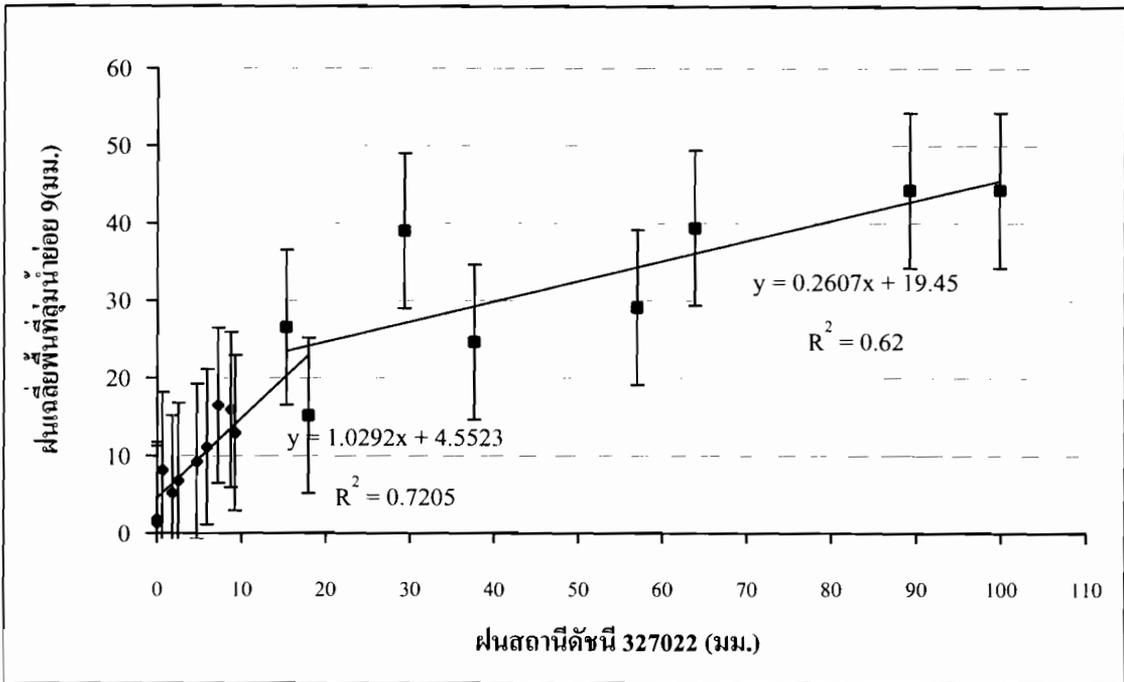
รูปที่ ค.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลเฉลี่ยในพื้นที่กลุ่มนำย่อย 6 กับสถานีฝนดัชนี 327004



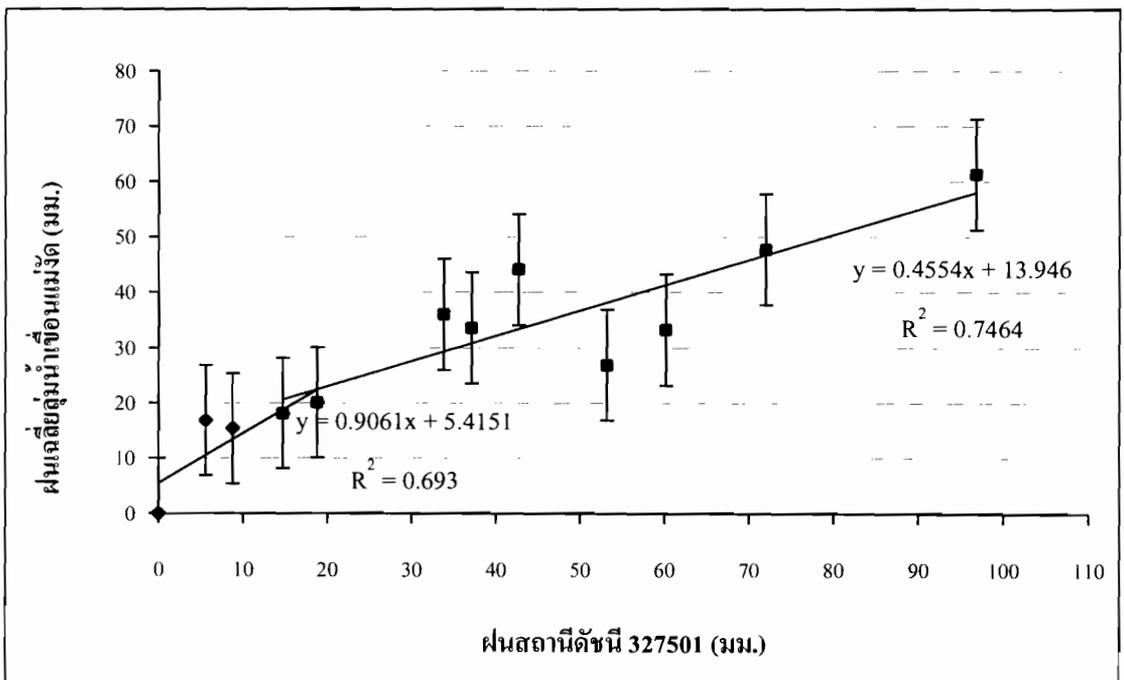
รูปที่ ค.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลเฉลี่ยในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย 7 กับสถานีฝนดัชนี 329005



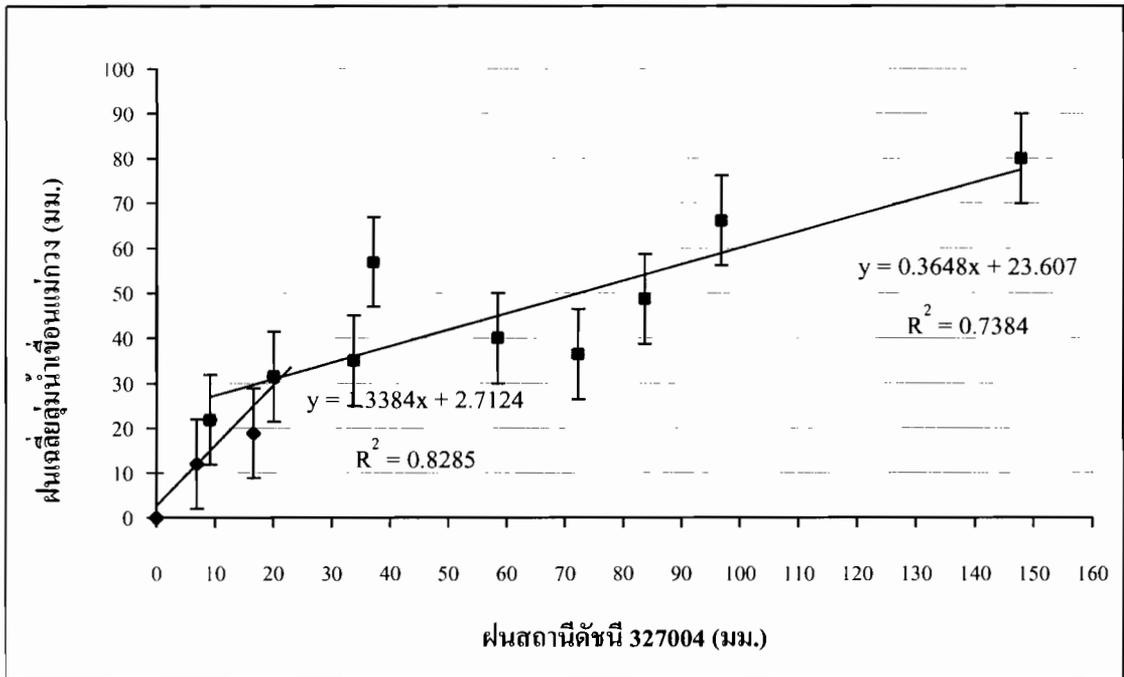
รูปที่ ค.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลเฉลี่ยในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย 8 กับสถานีฝนดัชนี 327024



รูปที่ ค.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 9 กับสถานีฝนดัชนี 327022



รูปที่ ค.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำเขื่อนแม่งัด (ลุ่มย่อยที่ 10) กับสถานีฝนดัชนี 327501



รูปที่ ค.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยในพื้นที่กลุ่มน้ำเชื่อมแม่กวง (กลุ่มย่อยที่ 11) กับ สถานีฝนต้นนี้ 327004

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลนำฝนเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของสถานีวัดน้ำฝนดังนี้

ลำดับ	ชื่อสถานี	รหัสสถานี	ช่วงปีสถิติข้อมูล	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ย (มม.)												ปริมาณน้ำฝน (มม.)		
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ทั้งปี
1	แม่แตง	327005	1976-2006	40.73	139.62	139.21	206.24	222.39	184.45	78.75	48.47	9.16	6.21	5.08	18.30	1019.13	79.48	1098.61
2	แม่แจ่ม	327007	1976-2006	26.91	119.46	129.92	133.40	158.22	168.29	70.52	18.16	4.28	0.86	1.50	5.56	797.97	39.11	837.08
3	เชียงดาว	327016	1982-2006	65.88	188.86	144.94	180.81	232.06	215.60	86.36	37.75	19.37	6.88	8.21	35.80	1086.38	136.14	1222.52
4	อมก๋อย	327008	1977-2006	63.20	172.40	114.21	104.35	134.21	208.17	142.21	40.49	10.20	3.11	10.85	14.12	916.04	101.48	1017.52
5	นิคมสร้างตนเอง เขื่อนภูมิพล อ.คอยต้า	327022	1976-2006	45.19	134.60	95.00	116.78	130.66	186.15	131.03	45.20	8.75	7.73	6.69	17.80	839.42	86.16	925.58
6	สถานีทดลองข้าว สันป่าตอง	327024	1976-2006	52.38	130.42	98.60	119.09	149.03	194.00	123.44	50.06	13.90	3.86	6.85	13.11	864.64	90.1	954.74
7	ศูนย์อำนวยการ ภาคเหนือ	327501	1971-2006	54.83	160.31	123.87	158.12	224.66	217.46	114.81	54.28	19.57	7.20	8.06	19.31	999.23	163.24	1162.47

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการทำผลดีรายเดือนและรายปีของสถานีวิทยุที่ปรับเทียบแบบจำลอง

ลำดับ	ชื่อสถานี	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.ม.)	ช่วงปีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้านลบ.ม.)												ปริมาณน้ำท่ารายปี (ล้านลบ.ม.)		
					เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ก.ค.	ก.ย.	รวมทั้งปี
1	แม่น้ำปิง สะพานนารัฐ อ.เมือง จ.เชียงใหม่	P.1	6355	1921-2006	38.06	77.99	112.49	145.93	307.92	419.39	282.29	170.23	118.18	70.48	43.89	38.14	1556.43	268.57	1825.00
2	น้ำแม่แจ่ม อ.ฮอด จ.เชียงใหม่	P.14	3853	1954-2006	20.75	44.86	58.34	85.61	178.92	257.92	176.08	102.70	63.32	44.73	27.80	21.94	923.16	165.94	1089.10
3	แม่น้ำปิง บ้านเชิงดาว อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	P.20	1355	1979-2006	8.40	14.50	19.27	31.46	77.45	102.52	62.68	33.55	20.27	14.39	9.49	7.28	347.19	54.06	401.25
4	น้ำแม่ริม บ้านริมใต้ อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	P.21	515	1977-2006	1.74	6.60	9.27	12.42	22.09	28.49	18.44	13.09	7.26	3.92	1.87	1.28	111.04	15.40	126.44

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของสถานีวัดอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง

ลำดับ	ชื่อสถานี	รหัสสถานี	ช่วงปีข้อมูล	อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (องศาเซลเซียส)												อุณหภูมิรายปี (องศาเซลเซียส)		
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ต่ำสุด	สูงสุด	ทั้งปี
1	ศูนย์อุตุวิทยามหา ภาคเหนือ	327501	2514-2550	29.46	28.86	28.27	27.73	27.43	27.31	26.66	24.5	22.04	22.23	24.16	27.18	3.7	42.4	32.09
2	สตอ.ลำพูน	329201	2524-2550	30.43	29.51	28.82	28.36	27.98	27.63	26.83	24.57	22.07	22.58	24.68	28.06	3.5	42.6	33.11
3	สตอ.ตาก	376201	2514-2550	32.36	30.51	29.27	28.82	28.65	28.45	27.43	25.90	23.84	25.13	27.46	30.82	7.8	40.8	33.63
4	ศูนย์สำรวจ อุทกวิทยาเชียงใหม่	060601	2518-2547	30.42	29.91	28.91	28.33	27.98	27.79	26.23	25.31	22.89	22.30	24.15	28.04	14.4	35.16	27.08

ภาคผนวก ง
สภาพดินและการใช้ที่ดิน
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

ลักษณะของกลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษา

กลุ่มชุดดินที่ 4

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำนํ้า พบบริเวณที่ราบตะกอนลำนํ้าพา พื้นที่เป็นที่ราบลุ่มหรือราบเรียบ เป็นดินลึกมีการระบายน้ำเลวหรือค่อนข้างเลว เนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวจัด สีดำ หรือสีเทาเข้ม ดินล่างสีเทา น้ำตาล น้ำตาลอ่อน หรือเทาปนเขียวมะกอก มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง เหลือง หรือแดง อาจพบก้อนปูน หรือก้อนเคมีสะสมของเหล็กและแมงกานีสในดินล่าง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง pH ประมาณ 5.5-6.5 แต่ถ้ามีก้อนปูนปะปน pH จะอยู่ในช่วง 7.0-8.0

การใช้ประโยชน์ : ทำนา

ปัญหา : บริเวณที่ลุ่มมากๆ จะมีปัญหาน้ำท่วมในฤดูฝน

ชุดดิน : ราชบุรี สระบุรี ชุมแสง พิมาย สิงห์บุรี ท่าเรือ บางมูลนาก บางปะอิน ชัยนาท ศรีสงคราม ท่าพล หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 5

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำนํ้า ในบริเวณพื้นที่ราบตะกอนลำนํ้าพา พื้นที่เป็นที่ราบลุ่มหรือราบเรียบ เป็นดินลึกมีการระบายน้ำเลว ดินบนเป็นดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียว สีเทาแก่ ดินล่างเป็นดินเหนียว สีน้ำตาลอ่อนหรือเทา มีจุดประสีน้ำตาล เหลือง หรือแดงตลอดชั้นดิน มักพบก้อนเคมีสะสมของเหล็กและแมงกานีสปะปนอยู่ และในดินล่างลึกๆ อาจพบก้อนปูน ความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ-ปานกลาง pH ประมาณ 5.5-6.5 แต่ถ้ามีก้อนปูนปะปน pH จะอยู่ในช่วง 7.0-8.0

การใช้ประโยชน์ : ใช้ทำนา หรือหากมีแหล่งน้ำอาจปลูกพืชไร่พืชผัก ยาสูบ ในฤดูแล้ง

ชุดดิน : หางดง พาน ละงู หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 6

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำนํ้า ในบริเวณพื้นที่ราบตะกอนลำนํ้าพา พื้นที่เป็นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ เป็นดินลึกมีการระบายน้ำเลวหรือค่อนข้างเลว ดินบนเป็นดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียว สีเทาแก่ ดินล่างเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลอ่อนหรือเทา มีจุดประสีน้ำตาล เหลือง หรือแดงตลอดชั้นดิน บางแห่งมีศิลาแลงอ่อน หรือ ก้อนเคมีสะสมของเหล็กและแมงกานีส ความอุดมสมบูรณ์ต่ำหรือค่อนข้างต่ำ pH 4.5-5.5

การใช้ประโยชน์ : ใช้ทำนา หรือหากมีแหล่งน้ำอาจปลูกพืชไร่พืชผัก ยาสูบ ในฤดูแล้ง

ปัญหา : ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ชุดดิน : บางนารา เชียงราย สุโขทัย โกลก คลองขุด มโนรมย์ นครพนม ปากท่อ พะวง พัทลุง สตูล แกลง ท่าศาลา วังดง หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 7

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำนํ้า ในบริเวณพื้นที่ราบตะกอนลำนํ้าพา พื้นที่เป็นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ เป็นดินลึกมีการระบายน้ำเร็วหรือค่อนข้างเร็ว ดินบนเป็นดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียว สีเทาแก่ ดินล่างเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลอ่อน เทา หรือ น้ำตาลปนเทา มีจุดประสีน้ำตาล เหลือง หรือแดง ตลอดชั้นดิน ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง pH 6.0-7.0

การใช้ประโยชน์ : ไร่ทำนา หรือหากมีแหล่งน้ำอาจปลูกพืชไร่พืชผัก ยาสูบ ในฤดูแล้ง

ปัญหา :

ชุดดิน : นครปฐม อุดรดิตถ์ ท่าชุม เดิมบาง สุโขทัย น่าน ระโนด ผักกาด หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 15

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนน้ำ พบบริเวณที่ราบตะกอนน้ำพา เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็วหรือเร็ว เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินบนสีน้ำตาลปนเทา ดินล่างสีน้ำตาลหรือเทาปนชมพู พบจุดประสีเหลืองหรือน้ำตาลปนเหลืองตลอดหน้าตัดดิน ในดินล่างมักพบก้อนสารเคมีสะสมพวกเหล็กและแมงกานีส ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ –ปานกลาง pH 6.0-7.5

การใช้ประโยชน์ : ไร่ทำนา ในฤดูแล้งอาจใช้ปลูกพืชไร่พวกยาสูบ หรือพืชผัก

ปัญหา : ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ หน้าดินแน่นทึบ

ชุดดิน : แม่สาย หล่มสัก แม่ทะ หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 16

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนน้ำ พบบริเวณที่ราบตะกอนน้ำพา เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็วหรือเร็ว เนื้อดินเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง มีสีน้ำตาลอ่อนหรือสีน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีน้ำตาลเข้ม เหลืองหรือแดงในดินล่าง บางพื้นที่จะพบก้อนสารเคมีสะสมพวกเหล็กและแมงกานีสปะปน ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ –ค่อนข้างต่ำ pH ประมาณ 5.0-6.0

การใช้ประโยชน์ : ไร่ทำนา ในฤดูแล้งอาจใช้ปลูกพืชไร่พวกยาสูบ หรือพืชผัก

ปัญหา : ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ หน้าดินแน่นทึบ

ชุดดิน : หินกอง ศรีเทพ ลำปาง เกาะใหญ่ พานทอง ดากใบ หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 17

ลักษณะดิน : เกิด จากตะกอนลำนํ้า หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ เป็นดินลึกมากมีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ในบางพื้นที่อาจมีเนื้อดินเป็นพวกดินทรายแป้งละเอียด สีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทา มีจุดประสีน้ำตาล เหลือง หรือแดง บาง

แห่งพบศิลาแลงอ่อนหรือก้อนสารเคมีสะสมพวกเหล็กและแมงกานีสในดินล่าง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ pH ประมาณ 4.5-5.5

การใช้ประโยชน์ : ไร่ทำนา บางแห่งปลูกพืชไร่หรือไม้ยืนต้น

ปัญหา : มีน้ำแข็งในฤดูฝน

ชุดดิน : บุนทริก หล่มเก่า เขมราชู สุโขงปาดิ ปากคม ร้อยเอ็ด เรณู สายบุรี โลกเทียน สงขลา วิสัย หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 18

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำนํ้า หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินร่วนเหนียว สีนํ้าตาลอ่อนถึงสีเทา มีจุดประสีนํ้าตาล เหลือง หรือแดง บางแห่งพบศิลาแลงอ่อนหรือก้อนสารเคมีสะสมพวกเหล็กและแมงกานีสในดินล่าง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ชั้นดินบนมักมีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ส่วนดินล่างเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย (pH 6.0-7.5)

การใช้ประโยชน์ : ไร่ทำนา บางแห่งปลูกอ้อย หรือพืชล้มลุก

ปัญหา : มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินบนค่อนข้างเป็นทราย เสี่ยงต่อการขาดน้ำ

ชุดดิน : ชลบุรี เขาย้อย โลกสำโรง ไชยา หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 21

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนน้ำ บริเวณที่ราบตะกอนน้ำพาที่เป็นส่วนต่ำของสันดินริมน้ำ เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างเร็ว เนื้อดินเป็นพวกดินร่วน ดินร่วนเหนียว หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแข็ง สีนํ้าตาลปนเทา นํ้าตาลอ่อน มีจุดประสีเทา นํ้าตาล หรือนํ้าตาลปนเหลือง มักพบแร่ไมกาปะปนอยู่ในเนื้อดิน มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง pH 5.5-7.0

การใช้ประโยชน์ : ไร่ทำนา

ปัญหา : อาจมีปัญหาหน้าท่วมเฉียบพลันในฤดูน้ำหลาก

ชุดดิน : สรรพยา เพชรบุรี หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 22

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำนํ้า หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน ดินล่างเป็นดินร่วนปนทราย สีพื้นเป็นสีเทาหรือนํ้าตาลปนเทา มีจุดประสีนํ้าตาลปนเหลืองหรือเหลืองปนนํ้าตาล อาจพบศิลาแลงอ่อนในชั้นดินล่าง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ pH 4.5-5.5

การใช้ประโยชน์ : ใช้ทำนา

ปัญหา : มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื้อดินเป็นทราย มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ

ชุดดิน : น้ำกระจาย สันทราย สีทน หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 24

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำน้ำ หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว-ดีปานกลาง เนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วน หรือดินทราย สีน้ำตาลปนเทาหรือเทาปนชมพู มีจุดประสีน้ำตาลเหลืองหรือเทา ในชั้นดินล่างบางแห่งอาจพบชั้นที่มีการสะสมอินทรีย์วัตถุ เป็นชั้นบางๆ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก pH 5.5-6.5

การใช้ประโยชน์ : ใช้ทำนา/มันสำปะหลัง อ้อย ปอ

ปัญหา : เนื้อดินเป็นทราย มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ

ชุดดิน : อุบล บ้านบึง ท่าอุเทน หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 25

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำน้ำ หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ วางทับอยู่บนชั้นหินผุ เป็นดินตื้นที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย หรือดินร่วน ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียวหรือร่วนปนดินเหนียวที่มีกรวดหรือลูกรังปนเป็นปริมาณมาก ภายในความลึก 50 ซม. ดินมีสีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทา มีจุดประสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง ได้ชั้นลูกรังอาจพบชั้นดินเหนียวที่มีสีเทาแกมอ่อนปะปน มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก pH 4.5-5.5

การใช้ประโยชน์ : ใช้ทำนา

ปัญหา : เป็นดินตื้น มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีโอกาสขาดน้ำ

ชุดดิน : อ้น เพ็ญ กันตัง พะยอมงาม สะท้อน ทุงค่าย ย่านตาขาว หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 28

ลักษณะดิน : เกิด จากตะกอนลำน้ำ หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัตถุต้นกำเนิดที่มาจากหิน บะซอลต์ แอนดีไซต์ พบบริเวณที่ค่อน ใกล้กับภูเขาหินปูน หรือหินภูเขาไฟ เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี ปานกลาง-ดี เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียวหรือดินเหนียวจัด หน้าดินแตกกระแหว่งเป็นร่องลึกในฤดูแล้ง พบรอยไถลในดิน สีดินเป็นสีดำ เทาเข้มหรือน้ำตาล ดินล่างอาจพบชั้นปูนมาร์มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง-สูง pH 7.0-8.5

การใช้ประโยชน์ : ปลูกพืชไร่ เช่นข้าวโพด ข้าวฟ่าง ฝ้าย ไม้ผล

ปัญหา : เนื้อดินเหนียวจัด ต้องทำการไถพรวนขณะที่ดินมีความชื้นพอเหมาะ ฤดูฝนมีน้ำแช่ขังได้ง่าย

ชุดดิน : ลพบุรี ชัยบาดาล ดงลาน ลพบุรี น้ำเลน วังชมภู หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 29

ลักษณะดิน : เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุหลายชนิดที่มีเนื้อละเอียด ทั้งจากหินตะกอน หินภูเขาไฟ หรือตะกอนน้ำ พบบริเวณที่ดอน เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียว สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง ความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ pH 4.5-5.5

การใช้ประโยชน์ : ปลูกไม้ผล

ปัญหา : ความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ อาจขาดน้ำได้หากฝนทิ้งช่วงนาน

ชุดดิน : บ้านจ้อง หนองมด แม่แดง ปากช่อง โขกชัย เชียงของ สูงเนิน หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 30

ลักษณะดิน : เป็นกลุ่มดินที่พบในบริเวณภูเขาสูง สูงจากระดับน้ำทะเล 500 เมตรขึ้นไป เกิดจากการสลายตัวผุพังของวัตถุต้นกำเนิดพวกหินเนื้อละเอียด เป็นดินลึกมาก มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นดินเหนียว สีแดง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง pH 5.5-6.5

การใช้ประโยชน์ : ไม้ผลเมืองหนาว/ไร่เลื่อนลอย

ปัญหา : อยู่ในที่สูงชัน มีโอกาสเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย

ชุดดิน : คอยปุย เชียงแสน หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 31

ลักษณะดิน : เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อละเอียด หรือเกิดจากตะกอนน้ำ พบบริเวณที่ดอน ที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงเป็นเนินเขา เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี-ดีปานกลาง เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียว สีน้ำตาล เหลือง หรือแดง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง pH 5.5-7.0

การใช้ประโยชน์ : พืชไร่/ไม้ผล

ปัญหา : บริเวณที่ลาดชัน มีโอกาสเกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน และขาดแคลนน้ำในฤดูเพาะปลูก

ชุดดิน : เลย วังไห หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 33

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำน้ำ บริเวณสันดินริมน้ำเก่า เนินตะกอนรูปพัด หรือที่ราบตะกอนน้ำพา เป็นดินลึกมาก มีการระบายน้ำดี-ดีปานกลาง เนื้อดินเป็นพวกดินทรายแป้งหรือดินร่วนละเอียด สี

น้ำตาลหรือน้ำตาลปนแดง ในดินล่างลึกๆ อาจพบจุดประสีเทาและน้ำตาล อาจพบแร่ไมกาหรือก้อนปูนปนอยู่ด้วย ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง pH 7.0-8.5

การใช้ประโยชน์ : ปลูกพืชไร่ ข้าวโพด อ้อย ฝ้าย ยาสูบ

ปัญหา :

ชุดดิน : ดงยางเอน กำแพงแสน กำแพงเพชร ลำสนธิ น้ำคูก ชาติพนม ตะพานหิน หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 35

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำนํ้า หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบที่ส่วนใหญ่มาจากหินตะกอน พบบริเวณที่ดอน เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี-ดีปานกลาง เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนละเอียดที่มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาล เหลือง หรือแดง ดินล่างอาจพบจุดประสีต่างๆ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ pH 4.5-5.5

การใช้ประโยชน์ : ปลูกพืชไร่ มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด ถั่ว

ปัญหา : เนื้อดินเป็นทราย และดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในที่ลาดชันสูงจะมีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดิน

ชุดดิน : มาบบอน โคราช สดึก วาริน ยโสธร คอนไร่ ค่านซ่าย หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 36

ลักษณะดิน : เกิด จากตะกอนลำนํ้า หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ พบบริเวณที่ดอน เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี-ดีปานกลาง เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนละเอียดที่มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน ส่วนดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ดินมีสีน้ำตาล เหลือง หรือแดง ดินล่างอาจพบจุดประสีต่างๆ มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ - ปานกลาง pH ดินบนประมาณ 5.0-6.0 ส่วนดินล่างประมาณ 6.0-7.0

การใช้ประโยชน์ : อ้อย ข้าวโพด ถั่ว

ปัญหา : เนื้อดินเป็นทราย อาจขาดน้ำได้ง่าย ในที่ลาดชันสูงจะมีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดิน

ชุดดิน : สีคิ้ว เพชรบูรณ์ ปรานบุรี หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 38

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำนํ้า มีลักษณะการทับถมเป็นชั้นๆ ของตะกอนในแต่ละช่วงเวลา พบบนสันดินริมน้ำ หรือที่ราบตะกอนน้ำพา เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง เนื้อดินเป็นพวก

ดินร่วนหรือดินร่วนหยาบ สีน้ำตาลอ่อน อาจพบจุดประสีเทาและสีน้ำตาลในชั้นดินล่าง บางบริเวณพบไมกาและก้อนปูนปะปน มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง pH ประมาณ 5.5-7.0

การใช้ประโยชน์ : ปลูกผัก ไม้ผล และยาสูบ

ปัญหา : อาจมีน้ำล้นคั่งในฤดูฝน

ชุดดิน : ท่วม่วง เชียงใหม่ ชุมพลบุรี คอนเจคีย์ ไทรงาม หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 40

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำน้ำ หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ ลักษณะดินเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนหยาบ สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง อาจพบจุดประสีต่างๆ ในชั้นดินล่าง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ pH ประมาณ 4.5-5.5

การใช้ประโยชน์ : มันสำปะหลัง อ้อย ปอ ข้าวโพด

ปัญหา : เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย เสี่ยงต่อการขาดน้ำง่าย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในที่ลาดชันสูงจะมีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดิน

ชุดดิน: สันป่าตอง ชุมพวง หุบกระพง ห้วยแกลง ยางตลาด จักราช หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 41

ลักษณะดิน : เกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ หรือเกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุน้ำพาจาบริเวณที่สูงวางทับอยู่บนบนชั้นดินร่วนหยาบ หรือร่วนละเอียด พบในบริเวณพื้นที่ดอน ลักษณะดินเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี-ดีปานกลาง เนื้อดินช่วง 50-100 ซม. เป็นดินทรายหรือดินทรายปนดินร่วน ส่วนถัดลงไปเป็นดินร่วนปนทราย และดินร่วนเหนียวปนทราย สีดินเป็นสีน้ำตาลอ่อน หรือเหลืองปนน้ำตาล อาจพบจุดประสีต่างๆ ในชั้นดินล่าง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินบนมี pH ประมาณ 5.5-6.5 ส่วนดินล่าง pH ประมาณ 6.0-7.0

การใช้ประโยชน์ : มันสำปะหลัง อ้อย ปอ ข้าวโพด ยาสูบ

ปัญหา : มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก เนื้อดินบนเป็นทรายจัด เสี่ยงต่อการขาดน้ำง่าย ถ้ามีฝนตกมาก ดินบนและ

ชุดดิน: มหาสารคาม บ้านไผ่ กำบัง หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 44

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำน้ำ หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ของวัสดุเนื้อหยาบ ลักษณะดินเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดีมากเกินไป เนื้อดินเป็นพวกดินทราย สีเทา น้ำตาลอ่อน ในดินล่างที่ลึกมากกว่า 150 ซม. อาจพบเนื้อดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทราย อาจพบจุดประสีต่างๆ ในชั้นดินล่าง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ pH ประมาณ 5.5-7.0

การใช้ประโยชน์ : มันสำปะหลัง อ้อย ปอ มะพร้าว มะม่วงหิมพานต์

ปัญหา : เนื้อดินเป็นทรายจัดและหนามาก มีโอกาสขาดน้ำได้ง่าย ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โครงสร้างไม่ดี

ชุดดิน : น้ำพอง จันทึก หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 46

ลักษณะดิน : เกิด จากตะกอนลำนํ้า หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อละเอียดของพวก หินตะกอน หรือหินภูเขาไฟ เป็นดินตื้นมาก มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียวปนกรวด ลูกรั่ง หรือเศษหินที่มีเหล็กเคลือบ พบภายในความลึก 50 ซม. สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ pH ประมาณ 5.0-6.5

การใช้ประโยชน์ : มันสำปะหลัง อ้อย ปอ

ปัญหา : เป็นดินตื้น มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในที่ลาดชันสูงจะมีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดินได้ง่าย

ชุดดิน : เชียงคาน กบินทร์บุรี สุรินทร์ โป่งตอง หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 47

ลักษณะดิน : เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาในระยะทางไม่ไกลนักของวัสดุเนื้อละเอียดที่มาจากทั้งหินตะกอน หรือหินอัคนี เป็นดินตื้น มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนที่มีเศษหินปะปนมาก มักพบชั้นหินพื้นตื้นกว่า 50 ซม. สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ-ปานกลาง pH ประมาณ 5.5-7.0

การใช้ประโยชน์ : ป่าเต็งรัง/ไร่เลื่อนลอย

ปัญหา : เป็นดินตื้น มีเศษหินปนอยู่ในเนื้อดินมาก ในที่ลาดชันสูงจะมีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดินได้ง่าย

ชุดดิน : ลี้ มวกเหล็ก ท่าลี่ นครสวรรค์ โป่งน้ำร้อน สบปราบ หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 48

ลักษณะดิน : เป็น กลุ่มชุดดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำนํ้า หรือจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาในระยะทางไม่ไกลนักของวัสดุเนื้อ ก่อนข้างหยาบ ที่มาจากหินตะกอน หรือหินแปร เป็นดินตื้น มีการระบายน้ำดี เนื้อดินบนส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินปนเศษหินหรือปนกรวด กรวดส่วนใหญ่เป็นหินกลมมน หรือเศษหินต่างๆ ถ้าเป็นดินปนเศษหิน มักพบชั้นหินพื้นตื้นกว่า 50 ซม. สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ-ปานกลาง pH ประมาณ 5.5-6.0

การใช้ประโยชน์ : ป่าเต็งรัง/ปลูกไม้โตเร็ว

ปัญหา : เป็นดินตื้น มีเศษหินปนอยู่ในเนื้อดินมาก ในที่ลาดชันสูงจะมีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดินได้ง่าย

ชุดดิน : ท่ายาง แมริม พะเยา น้ำซุน หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 49

ลักษณะดิน : เป็น กลุ่มชุดดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำน้ำ หรือจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมในระยะทางไม่ไกลนักของวัสดุ เนื้อค่อนข้างหยาบ วางทับอยู่บนชั้นดินที่เกิดจากการสลายตัวผุพังของหินพื้นหรือจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่ต่างชนิดต่างยุคกัน พบบริเวณที่ดอน เป็นดินตื้นถึงตื้นมากถึงชั้นลูกรัง มีการระบายน้ำดีปานกลาง เนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียวปนลูกรังหรือเศษหินทราย พบในความลึกก่อน 50 ซม. สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลืองและก่อนความลึก 100 ซม. จะเป็นชั้นดินเหนียวสีเทา มีจุประสีน้ำตาล สีแดง และมีศิลาแลงอ่อนปนอยู่มาก อาจพบชั้นหินทรายหรือหินดินดานที่ผุพังสลายตัวแล้วในชั้นถัดไป ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ pH ประมาณ 5.0-6.5

การใช้ประโยชน์ : ทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ปลูกพืชไร่

ปัญหา : เป็นดินตื้น ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางแห่งก้อนศิลาแลง โผล่กระจัดกระจาย เป็นอุปสรรคต่อการเกษตรกรรม ในที่ลาดชันสูงจะมีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดินได้ง่าย

ชุดดิน : โพนพิสัย ปรบือ สกล สระแก้ว หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 50

ลักษณะดิน : เป็น กลุ่มชุดดินที่พบในเขตฝนชุก เช่นภาคใต้ ภาคตะวันออก เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาในระยะทางไม่ไกลนักของวัสดุเนื้อ หยาบที่มาจากหินตะกอน หรือจากวัตถุต้นกำเนิดพวกตะกอนลำน้ำ เป็นดินลึกปานกลาง มีการระบายน้ำดี เนื้อดินตอนบน ช่วง 50 ซม. เป็นดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทราย ในระดับความลึก 50-100 ซม. พบชั้นดินปนเศษหินหรือลูกรังปริมาณมาก สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ pH ประมาณ 5.0-5.5

การใช้ประโยชน์ : ยางพารา ไม้ผล สับปะรด

ปัญหา : เนื้อดินเป็นทราย ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในที่ลาดชันสูงจะมีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดิน

ชุดดิน : สวี พะโต๊ะ หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 52

ลักษณะดิน : เกิดจากตะกอนลำน้ำทับอยู่บนชั้นปูนมาร์ล พบบริเวณที่ลาดเชิงเขาหินปูน เป็นดินตื้นถึงตื้นมากถึงชั้นปูนมาร์ล มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นดินเหนียว หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแข็ง ที่มี

ก้อนปูนมาร์ลปะปนอยู่ สีดินเป็นสีดำ สีน้ำตาล หรือสีแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง-สูง pH ประมาณ 7.0-8.5

การใช้ประโยชน์ : พืชไร่ เช่นข้าวโพด ฝ้าย/ ไม้ผลเช่น มะม่วง

ปัญหา : มีปัญหาในการไถพรวนหากว่าชั้นปูนมาร์ลตื้นกว่า 25 ซม.

ชุดดิน : บึงชะงั้ง ดาคลี หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 55

ลักษณะดิน : เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้ว เคลื่อนย้ายมาทับถมในระยะทางไม่ไกลนัก ของวัตถุต้นกำเนิดดินที่มาจากวัสดุเนื้อละเอียดที่มีปูนปน พบบริเวณที่ดอน เป็นดินสีปานกลาง มีการระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง เนื้อดินเป็นดินเหนียว ในชั้นดินล่างที่ระดับความลึกประมาณ 50-100 ซม. พบชั้นหินผุซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินตะกอนเนื้อละเอียด บางแห่งมีก้อนปูนปะปนอยู่ด้วย สีดินเป็นสีน้ำตาล สีเหลือง หรือสีแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง pH ประมาณ 6.0-8.0

การใช้ประโยชน์ :

ปัญหา : ดินมีโครงสร้างแน่นทึบ ยากแก่การไถของของรากพืช

ชุดดิน : วังสะพุง จตุรัส หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 56

ลักษณะดิน : เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้ว เคลื่อนย้ายมาทับถมในระยะทางไม่ไกลนัก ของวัสดุเนื้อหยาบที่มาจากหินตะกอนหรือหินอัคนี พบบริเวณที่ดอน จนถึงลาดเนินเขา เป็นดินสีปานกลาง มีการระบายน้ำดี เนื้อดินตอนบน ช่วง 50 ซม. เป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินปนเศษหิน มักพบชั้นหินพื้นลึกกว่า 100 ซม. สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลือง หรือสีแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ pH ประมาณ 5.0-6.0

การใช้ประโยชน์ : ปลูกพืชไร่ เช่นข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง

ปัญหา : ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในที่ลาดชันสูงจะมีปัญหาการชะล้างพังทลายได้ง่าย

ชุดดิน : ลาดหญ้า โพนงาม ภูสะนา หรือดินคล้ายอื่นๆ

กลุ่มชุดดินที่ 59

ลักษณะดิน : พบบริเวณที่ราบลุ่มหรือ พื้นล่างของเนิน หรือหุบเขา เป็นหน่วยผสมของดินหลายชนิดที่เกิดจากตะกอนลำน้ำพัดพามาทับถมกัน ดินที่พบส่วนใหญ่มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงเร็ว มีลักษณะและคุณสมบัติต่างๆ ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดินบริเวณนั้นๆ ส่วนมากมีก้อนกรวดและเศษหินปนอยู่ในเนื้อดินด้วย

การใช้ประโยชน์ :

ปัญหา : ใช้ทำนา หรือปลูกผักในฤดูแล้ง

ชุดดิน : พวกดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่มีการระบายน้ำแล้ว

กลุ่มชุดดินที่ 60

ลักษณะดิน : พบ บริเวณสันดินริมน้ำ บริเวณพื้นที่เนินตะกอน เป็นหน่วยผสมของดินหลายชนิด ที่เกิดจากตะกอนลำน้ำพัดพามาทับถมกัน ดินที่พบส่วนใหญ่มีการระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง เป็นดินลึก เนื้อดินเป็นพวกดินร่วน บางแห่งมีชั้นดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย หรือมีชั้นกรวด ซึ่งแสดงถึงการตกตะกอนต่างยุคของดินอันเป็นผลมาจากการเกิดน้ำท่วมใหญ่ในอดีต โดยทั่วไปเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง pH ประมาณ 6.0-7.0

การใช้ประโยชน์ :

ปัญหา : ปลูกพืชไร่ ไม้ผล ไม้ยืนต้น

ชุดดิน : พวกดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อน ที่มีการระบายน้ำดี

กลุ่มชุดดินที่ 61

ลักษณะดิน : กลุ่มนี้เป็นหน่วยผสมของดินหลายชนิด ซึ่งเกิดจากการผุพังสลายตัวของหินต้นกำเนิดชนิดต่างๆ แล้วถูกพัดพามาทับถมบริเวณที่ลาดเชิงเขา ดินมีการระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง มีลักษณะและคุณสมบัติต่างๆ ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดินบริเวณนั้นๆ ส่วนใหญ่มักมีเศษหิน ก้อนหิน และหินพื้น โผล่กระจายทั่วไป

การใช้ประโยชน์ : ทำไร่เลื่อนลอย

ปัญหา : มีปัญหาการชะล้างพังทลาย เนื่องจากมีการใช้โดยไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ

ชุดดิน : ดินที่ลาดเชิงเขา

กลุ่มชุดดินที่ 62

ลักษณะดิน : ประกอบด้วยพื้นที่ภูเขาและเทือกเขาซึ่งมีความลาดชันมากกว่า ร้อยละ 35 ลักษณะและสมบัติของดินที่พบไม่แน่นอน มีทั้งดินลึกและดินตื้น มีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของวัตถุต้นกำเนิด มักมีเศษหินหรือก้อนหิน โผล่กระจายจัดกระจายทั่วไป ส่วนใหญ่ยังปกคลุมด้วยป่าไม้ต่าง ๆ

การใช้ประโยชน์ : ไม่ควรใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ควรอนุรักษ์ไว้เป็นพื้นที่ป่า

ปัญหา :

ชุดดิน : พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน

ส่วนพื้นที่ที่เหลือเป็นหน่วยของพื้นที่อื่นๆ 9 ประเภท มีพื้นที่รวมกันคิดเป็นร้อยละ 2.97 ของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยหน่วยพื้นที่ดินที่ถูกชะล้าง (EL) เหมืองไรฟลูออไรด์ (FML) ที่ดินร่องลึก (GL) บ่อก้นกรวด, บ่อลูกรัง (GP) พื้นที่ท่าเหมืองลิกไนต์ (L.M.) พื้นที่ลุ่มน้ำขัง (M) พื้นที่อยู่อาศัย (res) พื้นที่หินพื้นโคลน (RL) และ พื้นที่แหล่งน้ำ (W)

ตารางที่ ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification)

ระดับ /Level 1	ระดับ /Level 2		ระดับ /Level 3		
U พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง Urban and Built-up land	U1	ตัวเมืองและย่านการค้า City, Town , Commercial			
	U2	หมู่บ้าน Village	U200	หมู่บ้านจัดสรรร้าง	Abandon Village
			U201	หมู่บ้าน	Village
			U202	หมู่บ้านชาวไทยภูเขา	Hill tribe village
	U3	สถานที่ราชการ และ สถาบันต่างๆ Institutional land			
	U4	สถานีคมนาคม Transportation , Communication and Utility	U401	สนามบิน	Airport
			U402	สถานีรถไฟ	Railway station
			U403	สถานีขนส่ง	Bus station
			U404	ท่าเรือ	Harbour
			U405	ถนน	Road
			*U406	ทางรถไฟ	Railway
	U5	ย่านอุตสาหกรรม Industrial land	U500	โรงงานอุตสาหกรรม ร้าง	Abandon Factory
			U501	นิคมอุตสาหกรรม	Industrial estate
			U502	โรงงานอุตสาหกรรม	Factory

ตารางที่ ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) (ต่อ)

ระดับ /Level 1	ระดับ /Level 2		ระดับ /Level 3		
	U6	อื่นๆ Other	U503	ลานตากและแหล่ง รับซื้อทางการเกษตร	Agricultural product trading centers
			U600	สถานที่ร้าง	Abandoned area
			U601	สถานที่พักผ่อน หย่อนใจ	Recreation area
			U602	สนามกอล์ฟ	Golf course
			U603	สุสาน,ป่าช้า	Cemetery
			U604	ศูนย์อพยพ	Refugee camp
			*U605	สถานีบริการน้ำมัน	Gassoline Station
A พื้นที่เกษตรกรรม Agricultural land	A1	นาข้าว Paddy field	A100	นาร้าง	Abandoned paddy field
	A2	พืชไร่ Field crop	A101	นา	Rice paddy
			A200	ไร่ร้าง	Abandoned field crop
			A201	พืชไร่ผสม	Mixed field crop
			A202	ข้าวโพด	Corn
			A203	อ้อย	Sugarcane
			A204	มันสำปะหลัง	Cassava
			A205	สับปะรด	Pineapple
			A206	ยาสูบ	Tobacco
			A207	ฝ้าย	Cotton

ตารางที่ ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) (ต่อ)

ระดับ /Level 1	ระดับ /Level 2	ระดับ /Level 3
		A208 ถั่วเขียว Mungbean
		A209 ถั่วเหลือง Soybean
		A210 ถั่วลิสง Peanut
		A211 ปอแก้ว ปอกระเจา Kenaf, Jute
		A212 ถั่วดำ ถั่วแดง Black bean , Red bean
		A213 ข้าวฟ่าง Sorghum
		A214 ละหุ่ง Castor bean
		A215 งา Sesame
		A216 ข้าวไร่ Upland rice
		A217 มันฝรั่ง Potato
		A218 มันแกว Jam potato
		A219 มันเทศ Sweet potato
		A220 แตงโม Watermelon
		A221 ลูกเดือย Millet
		A222 จิง Ginger
		A223 กะหล่ำปลี Cabbage
		A224 มะเขือเทศ Tomato
		A225 ว่านหางจระเข้ Aloe vera
		A226 ป่านศรนารายณ์ Agave
		A227 ปอสา Paper mulberry
		A228 ทานตะวัน Sunflower
		A229 พริก Chili
		A230 ข้าวสาลี Wheat

ตารางที่ ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) (ต่อ)

ระดับ /Level 1	ระดับ /Level 2		ระดับ /Level 3			
	A3	ไม้ยืนต้น Perennial	A231	ข้าวบาร์เลย์	Barley	
			A232	ข้าวไรย์	Rye	
			A233	ฝิ่น	Opium	
			A234	กัญชา	Marihuana	
			A235	กระเจี๊ยบ	Roselle	
			A236	เผือก	Taro	
			A301	ไม้ยืนต้นผสม	Mixed	perennial
			A302	ยางพารา	Para rubber	
			A303	ปาล์มน้ำมัน	Oil palm	
			A304	ยูคาลิปตัส	Eucalyptus	
			A305	สัก	Teak	
			A306	สะเดา	Magosa	
			A307	สนประติพัทธ์	Casuarina	
			A308	กระถิน	Acacia	
			A309	ประดู่	Pterocarpus	sp.
			A310	ชื้อ	Gmelwa sp.	
			A311	ไม้ชายเลน	Mangrove	
			A312	กาแฟ	Coffee	
	A313	ชา	Tea			
	A314	หม่อน	Mulberry			
	A315	ไผ่	Bamboo			
	A316	นุ่น	Kapok			
	A317	หมาก	Betel palm			
	A318	จามจุรี	Rain tree			

ตารางที่ ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) (ต่อ)

ระดับ /Level 1	ระดับ /Level 2		ระดับ /Level 3		
			A319	ดินเปิด	Cerlera sp.
			A320	เปล้า	Croton sp.
			A321	ยมหอม	Indian Mahogany
			A322	กฤษณา	Agalloch
	A4	ไม้ผล	A401	ไม้ผลผสม	Mixed orchard
		Orchard	A402	ส้ม	Orange
			A403	ทุเรียน	Durian
			A404	เงาะ	Rambutan
			A405	มะพร้าว	Coconut
			A406	ลิ้นจี่	Linchi
			A407	มะม่วง	Mango
			A408	มะม่วงหิมพานต์	Cashew
			A409	พุทรา	Jujube
			A410	น้อยหน่า	Custard apple
			A411	กล้วย	Banana
			A412	มะขาม	Tamarind
			A413	ลำไย	Longan
			A414	ฝรั่ง	Guava
			A415	มะละกอ	Papaya
			A416	ขนุน	Jack fruit
			A417	กระท้อน	Santol
			A418	ชมพู	Rose apple
			A419	มังคุด	Mangosteen

ตารางที่ ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) (ต่อ)

ระดับ /Level 1	ระดับ /Level 2	ระดับ /Level 3		
		A420	ยางสด ลองกอง	Langsat
		A421	ระกำ	สละ
				Rakum, Sala
		A422	มะนาว	Lime
		A423	ไม้ผลเมืองหนาว	Sub-tropical fruit
		A424	มะขามเทศ	Manila Tamarind
		A425	มะกอกน้ำ	Olive
		A426	แก้วมังกร	Dragon fruit
		A427	ส้มโอ	Pomelo
		A428	ละมุด	Sapodilla
		A501	พืชสวนผสม	Mixed horticulture
	Horticulture	A502	พืชผัก	Truck crop
		A503	ไม้ดอก	Floricultural
		A504	องุ่น	Vine
		A505	พริกไทย	Pepper
		A506	สตอเบอรี่	Strawberry
		A507	เสาวรส	Passion fruit
		A508	แรสเบอร์รี่	Raspberry
		A509	พืชสมุนไพร	Herbs
		A510	นาหญ้า	Grass plantation
		A511	หวาย	Rattan

ตารางที่ ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) (ต่อ)

ระดับ /Level 1	ระดับ /Level 2		ระดับ /Level 3		
	A7	ไร่หมุนเวียน Swidden cultivation	A600	ไร่ร้าง	Bush fallow <u>รหัสระดับ 3</u> <u>เช่นเดียวกับ</u> <u>A2</u>
	A7	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และ โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ Pasture and farm house	A700	โรงเรือนร้าง	Abandoned farm house
			A701	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	Pasture
			A702	โรงเรือนเลี้ยงโค กระบือ และม้า Cattle farm house	Cattle farm house
			A703	โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ ปีก	Poultry farm house
			A704	โรงเรือนเลี้ยงสุกร	Swine farm house
	A8	พืชน้ำ Aquatic plant	A801	พืชน้ำผสม	Mixed Aquatic plant
			A802	กก	Reed
			A803	บัว	Lotus
			A804	กระเจ็บ	Water chestnut
			A805	แห้ว	Water chestnut
			A806	ผักนึ่ง	Water spinach
			A807	ผักกะเฉด	Watercress

ตารางที่ ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) (ต่อ)

ระดับ /Level 1	ระดับ /Level 2		ระดับ /Level 3		
	A9	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ Aqua cultural land	A900	สถานที่เพาะเลี้ยง สัตว์น้ำร้าง	Abandoned Aqua cultural land
			A901	สถานที่เพาะเลี้ยง สัตว์น้ำผสม	Mixed Aqua cultural land
			A902	สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	Fish farm
			A903	สถานที่เพาะเลี้ยงกุ้ง	Shrimp farm
			A904	สถานที่เพาะเลี้ยงปู หอย	Crab/ Shellfish farm
			A905	ฟาร์มจระเข้	Crocodile farm
	A0	เกษตรผสมผสาน/ไร่นา สวนผสม Integrated farm/ Diversified farm			
F พื้นที่ป่าไม้ Forest land	F1	ป่าดิบ Evergreen forest	F100	ป่าดิบรอสภาพฟื้นฟู	Disturbed evergreen forest
			F101	ป่าดิบสมบูรณ์	Dense evergreen forest

ตารางที่ ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) (ต่อ)

ระดับ /Level 1	ระดับ /Level 2		ระดับ /Level 3		
F2	ป่าผลัดใบ	F200	ป่าผลัดใบรอสภาพ ฟื้นฟู	Disturbed deciduous forest	
	Deciduous forest	F201	ป่าผลัดใบสมบูรณ์	Dense deciduous forest	
F3	ป่าเลน	F300	ป่าเลนรอสภาพฟื้นฟู	Disturbed mangrove forest	
	Mangrove forest	F301	ป่าเลนสมบูรณ์	Dense mangrove forest	
F4	ป่าพรุ	F400	ป่าพรุรอสภาพฟื้นฟู	Disturbed swamp forest	
	Swamp forest	F401	ป่าพรุสมบูรณ์	Dense swamp forest	
F5	สวนป่า Forest Plantation	F500	สวนป่ารอสภาพ ฟื้นฟู	Disturbed forest	
		F501	สวนป่าสมบูรณ์	Plantation Dense forest Plantation	
			พื้นที่ปลูกป่าร่วมกับ การเกษตร		
F6	วนเกษตร Agro - forestry				

ตารางที่ ง.1 การจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) (ต่อ)

ระดับ /Level 1	ระดับ /Level 2		ระดับ /Level 3		
W พื้นที่น้ำ Water Body	W1	แหล่งน้ำธรรมชาติ	W101	แม่น้ำลำคลอง	River, Canal
		Natural water body	W102	ทะเลสาบ บึง	Lake
	W2	แหล่งน้ำที่สร้างขึ้น	W201	อ่างเก็บน้ำ	Reservoir
		Reservoir (Built-up)	W202	บ่อน้ำในไร่นา	Farm pond
			W203	คลองชลประทาน	Irrigation canal
M พื้นที่เบ็ดเตล็ด Miscellaneous land	M1	ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ	M101	ทุ่งหญ้า	Grass
		Rangeland	M102	ไม้ละเมาะ	Scrub
			M103	ไผ่	Bamboo
	M2	พื้นที่ลุ่ม			
		Marsh and Swamp			
	M3	เหมืองแร่ บ่อขุด	M300	เหมืองเก่า บ่อขุดเก่า	Abandoned mine, pit
		Mine, pit	M301	เหมืองแร่	Mine
			M302	บ่อลูกรัง	Laterite pit
			M303	บ่อทราย	Sand pit
			M304	บ่อดิน	Soil pit
		อื่นๆ	M401	นาเกลือ	Salt flat
			M402	หาดทราย	Beach
	M4		M403	ที่หินโผล่	Rock out crop
			M404	ที่ทิ้งขยะ	Garbage dump
			M405	พื้นที่ถม	Landfill

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (ข้อมูล ณ วันที่ 30 มี.ค. 2550)

ภาคผนวก จ

พารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง

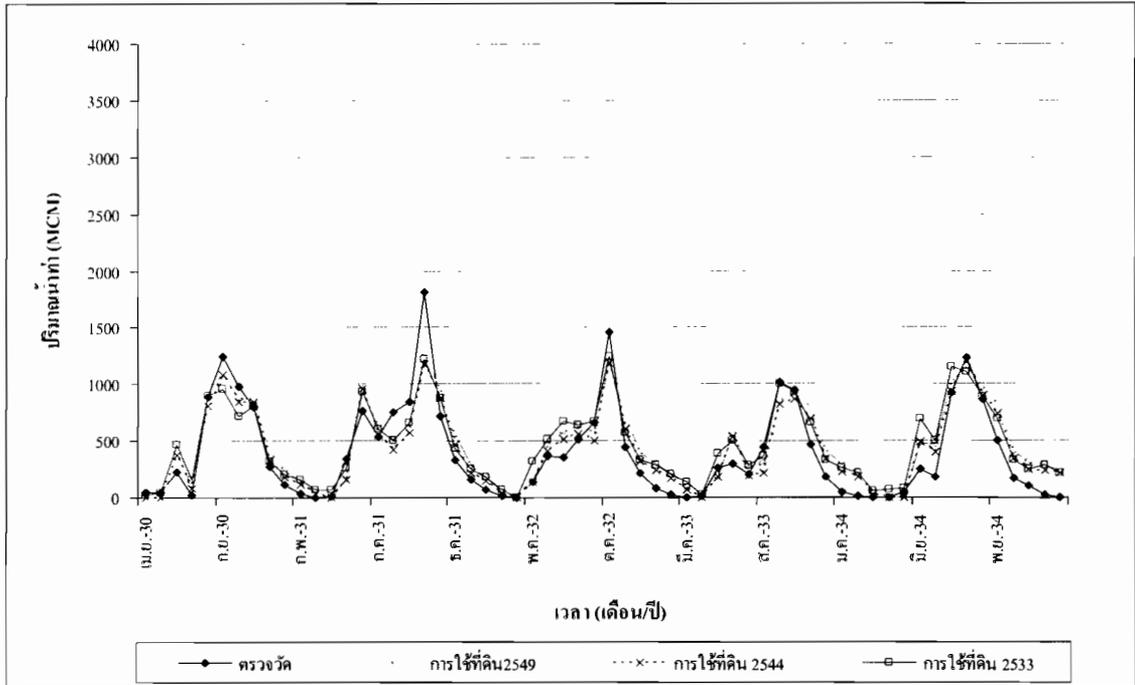
ตารางที่ จ.11 พารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองลุ่มน้ำย่อย 11

พารามิเตอร์	การใช้ที่ดินปี 2533										การใช้ที่ดินปี 2544										การใช้ที่ดินปี 2549									
	AGRR_M2	FINE_SARC	FINE_M2	RICE_N5	RICE_S22	RNGE_SARC	RNGE_SARC/4#	AGRR_S488	AGRR_S48C	AGRR_M2	FINE_SARC	FINE_M2	RICE_S4	RICE_S5	RICE_S7	RICE_S22	RICE_S29	FINE_SARC	FINE_M2	ORCD_S5	ORCD_S488	ORCD_S48C	ORCD_S62	RICE_S5	RICE_S7	RICE_S22				
SOL_AWC	NA	NA	0.010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CN2	NA	NA	6.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	6.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	6.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
SHALLS1(mm)	NA	NA	100.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
DEEPLS1(mm)	NA	NA	2000.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2000.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2000.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
(S1_DELAY)(day)	NA	NA	30.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	30.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	30.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
ALPHA_BF(day)	NA	NA	0.900	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.900	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.900	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
GWQIN(mm)	NA	NA	200.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	200.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	200.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
GW_REVEP	NA	NA	0.020	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.020	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.020	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
REVPAIN(mm)	NA	NA	250.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	250.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	250.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
RCRNG_DP	NA	NA	0.050	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.050	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.050	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
GWHT(mm)	NA	NA	1.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
MSUBBSN	NA	NA	5.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
SLOPE	NA	NA	0.149	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.274	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.274	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
Q3_N	NA	NA	0.100	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.100	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.100	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CANXIV(mm)	NA	NA	0.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
ESCO	NA	NA	0.950	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.950	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.950	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CH_S1	NA	NA	0.024	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.024	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.024	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CH_K1	NA	NA	0.500	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.500	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.500	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CH_N1	NA	NA	0.014	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
FFCB	NA	NA	2.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
MSK_CO1	NA	NA	0.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
MSK_CO2	NA	NA	3.500	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3.500	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3.500	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
MSK_X	NA	NA	0.200	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.200	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.200	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CH_S2	NA	NA	0.010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CH_X2	NA	NA	0.014	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.100	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.100	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
CH_K2	NA	NA	0.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				

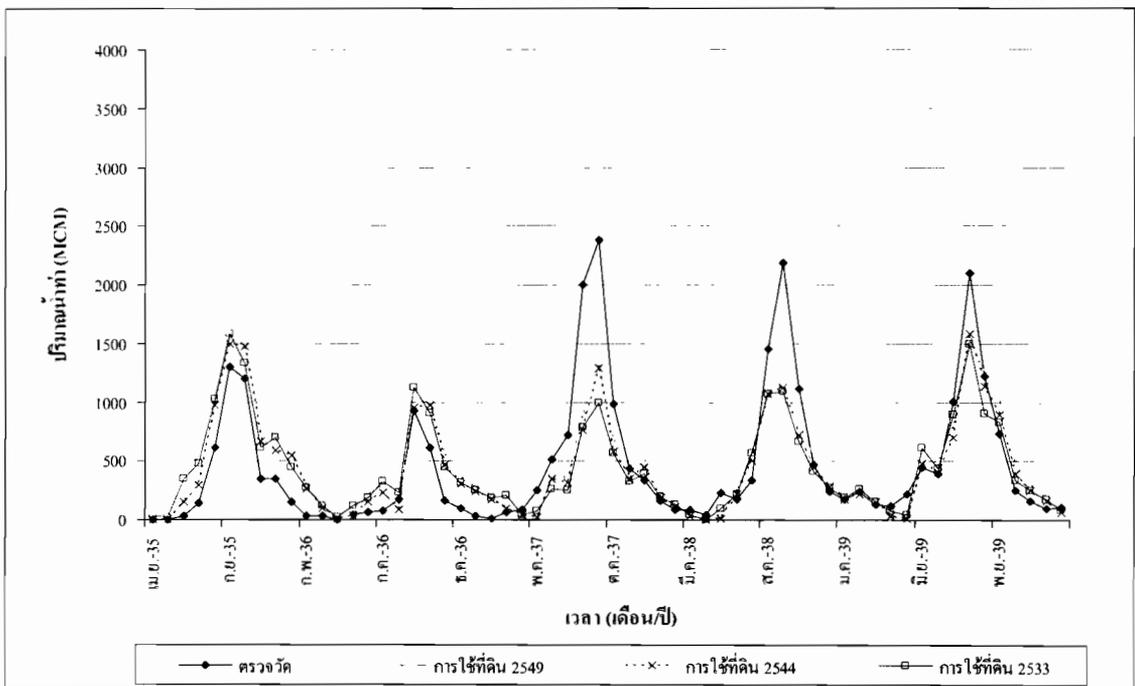
หมายเหตุ : NA (Not Applicable) หมายถึง ไม่เกี่ยวข้อง

ภาคผนวก ฉ

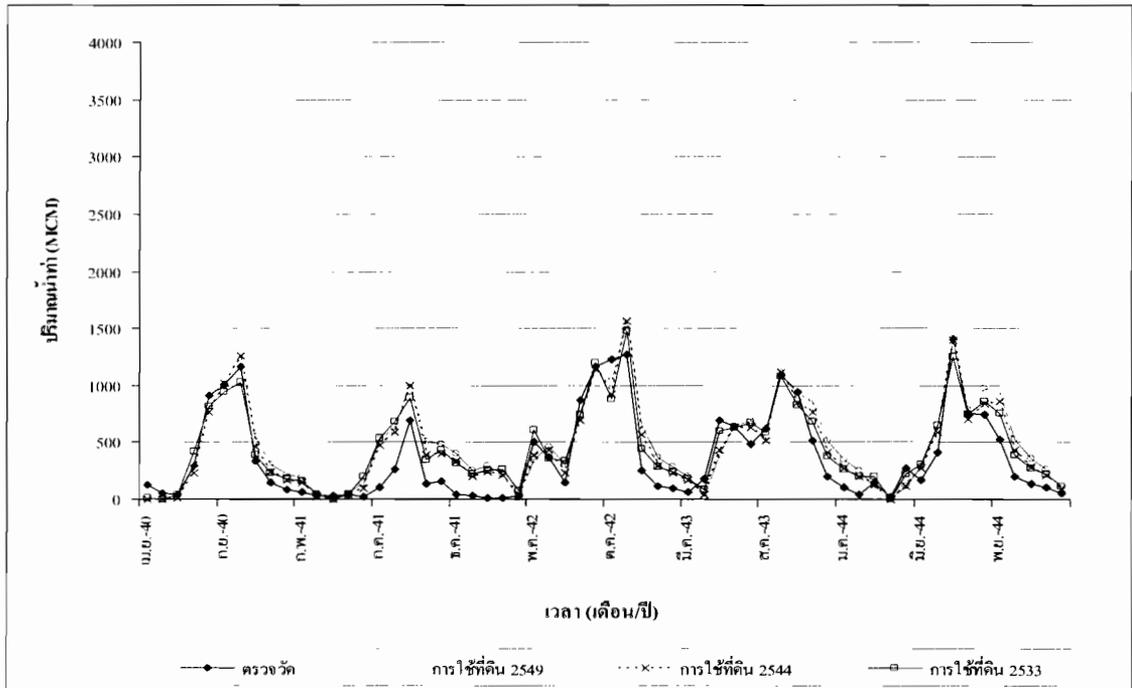
ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง



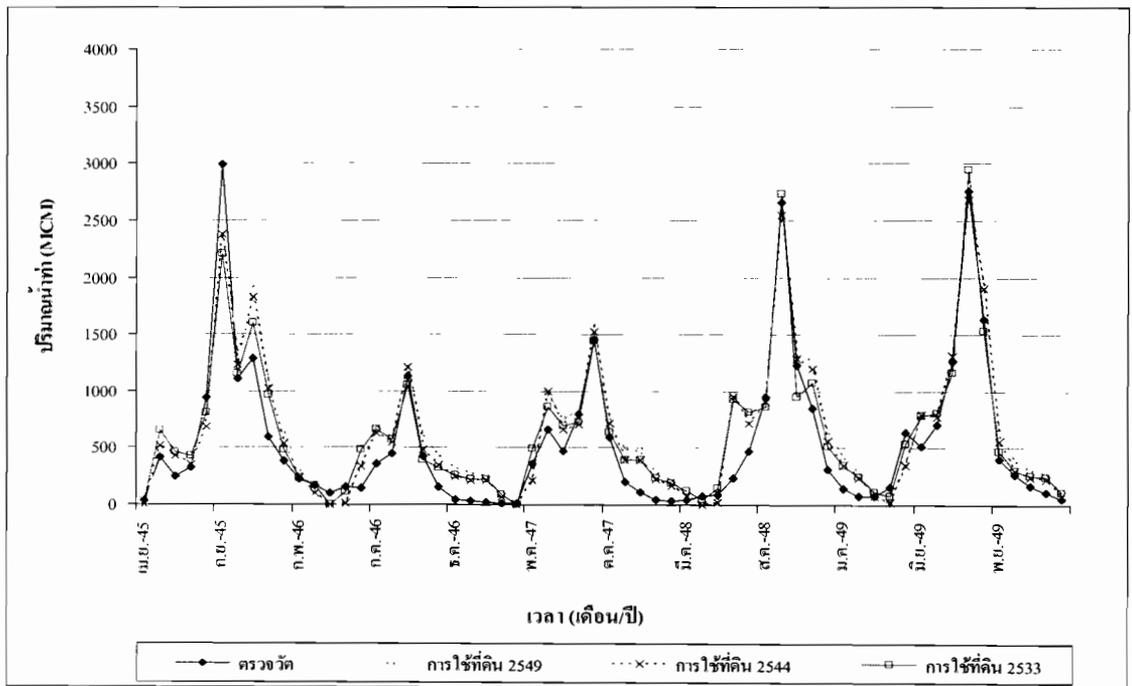
รูปที่ ๓.1 พิจารณาข้อมูลสภาพอุตุ - อุทกวิทยาย้อนหลัง 20 ปี ที่เขื่อนภูมิพล แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน



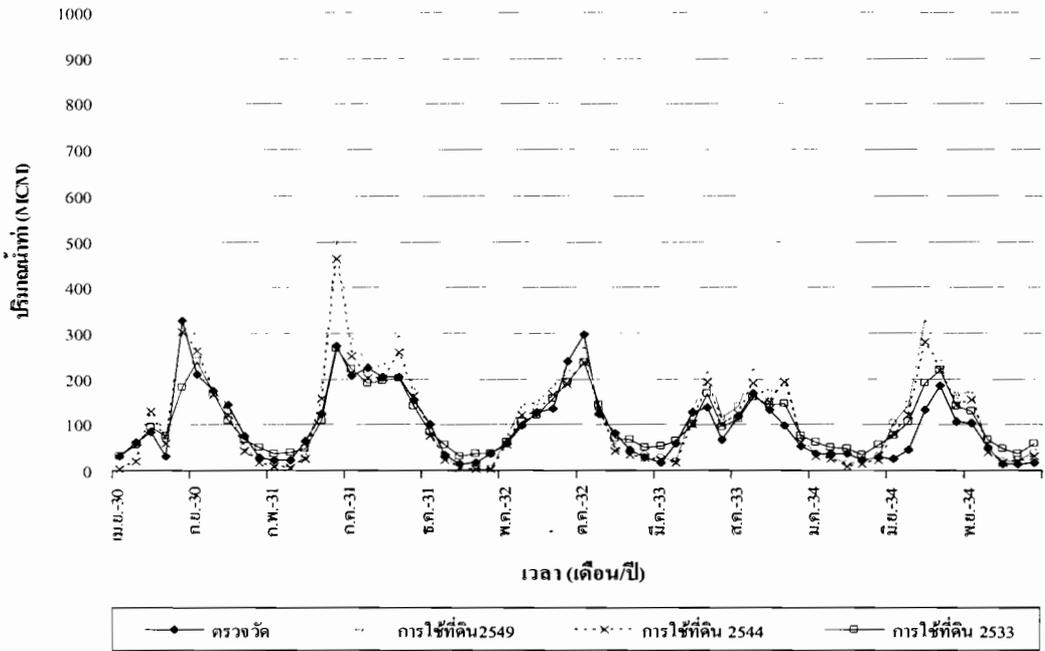
รูปที่ ๓.1 พิจารณาข้อมูลสภาพอุตุ - อุทกวิทยาย้อนหลัง 20 ปี ที่เขื่อนภูมิพล แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน (ต่อ)



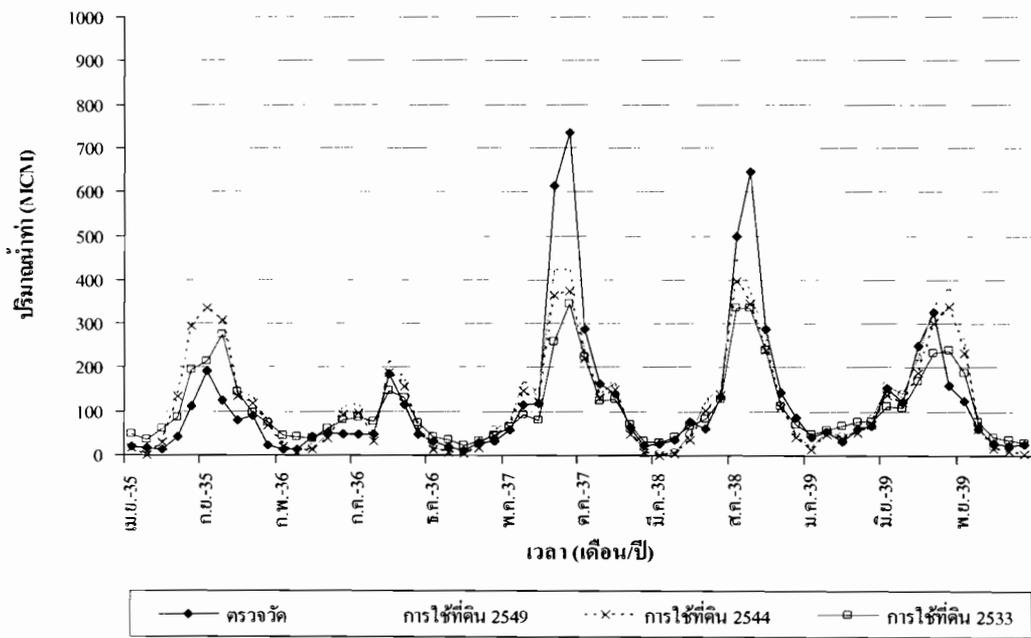
รูปที่ ๑.1 พิจารณาข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยาย้อนหลัง 20 ปี ที่เขื่อนภูมิพล แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน (ต่อ)



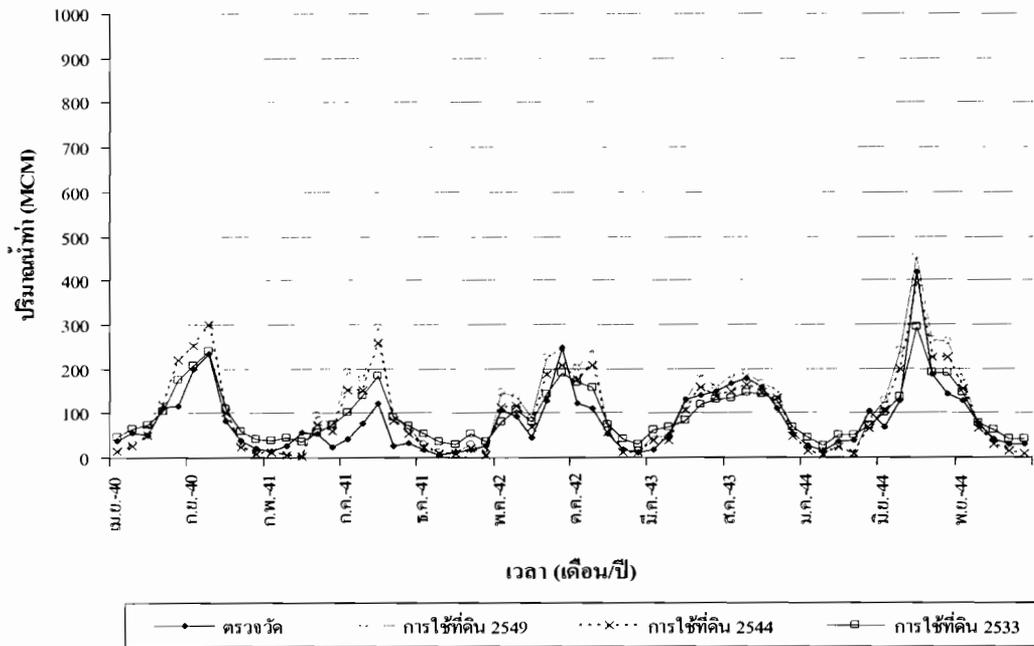
รูปที่ ๑.1 พิจารณาข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยาย้อนหลัง 20 ปี ที่เขื่อนภูมิพล แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน (ต่อ)



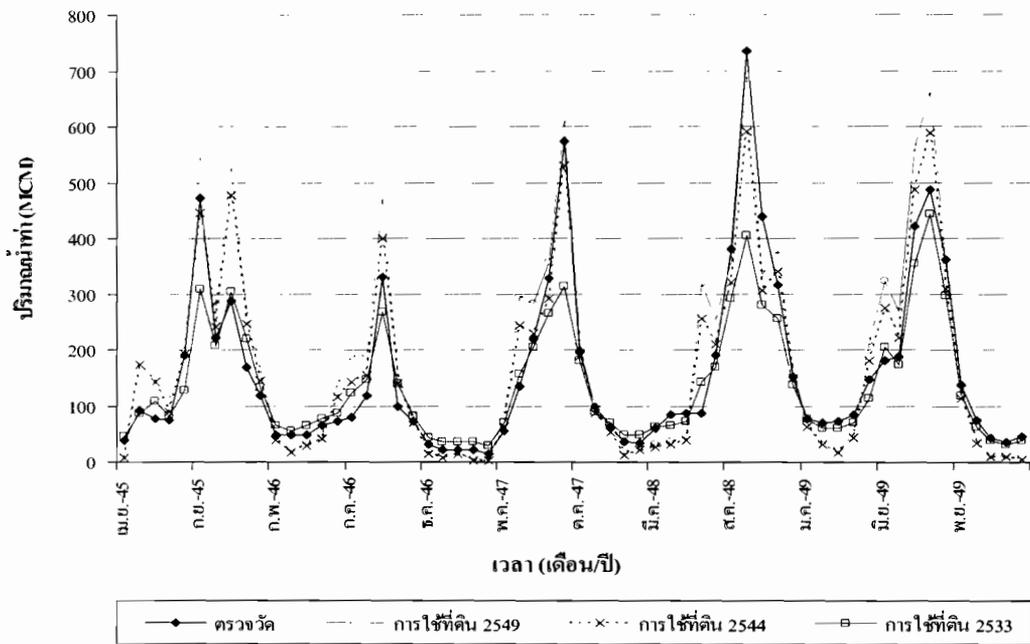
รูปที่ ๑.๒ พิจารณาข้อมูลสภาพอุตุ - อุทกวิทยาย้อนหลัง 20 ปีที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน



รูปที่ ๑.๒ พิจารณาข้อมูลสภาพอุตุ - อุทกวิทยาย้อนหลัง 20 ปีที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน (ต่อ)



รูปที่ ๓.2 พิจารณาข้อมูลสภาพอุตุ-อุทกวิทยาย้อนหลัง 20 ปีที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน (ต่อ)



รูปที่ ๓.2 พิจารณาข้อมูลสภาพอุตุ-อุทกวิทยาย้อนหลัง 20 ปีที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 แต่สภาพการใช้ที่ดินต่างกัน (ต่อ)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายสรารุณี โสภณพัฒนากุล
วัน เดือน ปีเกิด	29 กันยายน 2527
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนทวิธาภิเษก พ.ศ. 2545
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2549
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2551
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	สรารุณี โสภณพัฒนากุล, นิตยา หวังวงศ์วิโรจน์, อุดมศักดิ์ อิศ- รางกูร ณ อยุธยา, 2552, “ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน”, การ ประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14, 13 – 15 พฤษภาคม 2552, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, หน้า 1183 – 1188.

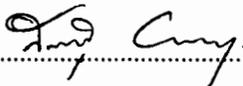
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 14 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2552

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว) **สรารุณี โสภณพัฒนากุล** รหัสประจำตัว 50400702 เป็นนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับ ประกาศนียบัตรบัณฑิต ปริญญาโท ปริญญาเอก หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา คณะ วิศวกรรมศาสตร์ อยู่บ้านเลขที่ ๖๖ ถนน เจริญรัชต์ แขวง คลองตันไทร เขต คลองสาน จังหวัด กรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์ 10600 เป็น "ผู้โอน" ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี **ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์** ตำแหน่ง รองคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทนคณบดี เป็นตัวแทน "ผู้รับโอน" สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การเปลี่ยนแปลงสภาพอุตุ-อุทกวิทยาและการใช้ที่ดิน และผลกระทบที่มีต่อโครงการอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำปึงตอนบน ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ผศ.ดร.นิตยา หวังวงศ์ วิโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.อุดมศักดิ์ อิศรางกูร ณ อยุธยา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย
3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่
4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ก่อน
5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็นสิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามในข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรรผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้นโดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ..........ผู้โอนสิทธิ
(นายสรารุณี โสภณพัฒนานกุล)

ลงชื่อ..........ผู้รับโอนสิทธิ
(รศ.ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์)
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทนคณบดี

ลงชื่อ..........พยาน
(ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล)

ลงชื่อ..........พยาน
(ผศ.ดร.นิตยา หวังวงศ์โรจน์)