



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาคุณวุฒิบัณฑิต (การใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน)

ปริญญา

การใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง

Land Use Allocation of Upper Ping River Basin for Increasing Streamflow
in Dry Season

นามผู้วิจัย

นายคำพระจันทร์ วงศ์ชนะ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งธรรม, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์วิพัทธ์ จินตนา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กาญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง

Land Use Allocation of Upper Ping River Basin
for Increasing Streamflow in Dry Season

โดย

นายคำพระจันทร์ วงศ์ชนะ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (การใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำพระจันทร์ วงศ์ชนะ 2554: การจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (การใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน) สาขาวิชา
การใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ, Ph.D. 162 หน้า

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษยชาติ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับ
การใช้ที่ดินได้ถูกนำมาประเมินหาปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในลุ่มน้ำปิงตอนบน ซึ่งตั้งอยู่ภาคเหนือของประเทศไทย
ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 25,214 ตร.กม. โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา Soil and Water
Assessment Tool (SWAT) ในการจำลองได้แบ่งออกเป็น 3 กรณีศึกษา คือ ศึกษาปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งของ
สถานการณ์การใช้ที่ดินในอดีตปี 2533, ศึกษาปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งของสถานการณ์การใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550
และจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคตเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่า (Streamflow) ในฤดูแล้ง โดยการฟื้นฟูป่าต้นน้ำลำธาร สำ
ในการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคตได้แบ่งออกเป็น 3 แผนคือ แผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 และแผนการ
จัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 ได้จัดสรรบนพื้นฐานหลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ส่วนแผนการจัดสรรการใช้
ที่ดินแผนที่ 3 ได้จัดสรรบนพื้นฐานนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาทรัพยากรน้ำ

การศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง ใน 5 สถานีวัดน้ำท่า โดยเปรียบเทียบ
แบบจำลองในช่วงปี 2543 ถึง 2546 และทดสอบแบบจำลองในช่วงปี 2547 ถึง 2550 ผลการเปรียบเทียบ
แบบจำลองพบว่า ค่า coefficient of determination; R^2 อยู่ระหว่าง 0.53 ถึง 0.64 และ Nash-Sutcliffe
efficiency coefficient; E_{ns} มีค่า 0.50 ถึง 0.63 ส่วนผลการทดสอบแบบจำลอง ค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.53 ถึง
0.67 และ E_{ns} มีค่า 0.53 ถึง 0.66 สำหรับค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ ระหว่าง simulated และ observed ของ
ปริมาณน้ำท่ารวม (total streamflow) มีความแตกต่างน้อยมากอยู่ระหว่างร้อยละ 0.77 ถึง 4.48 แสดงให้เห็นว่า
ชุด parameter ที่ใช้ในการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง มีความเหมาะสมกับลุ่มน้ำ และสามารถประยุกต์ใช้
ในการศึกษาครั้งนี้ได้

ผลการศึกษาได้พิสูจน์ให้เห็นว่า 1) การใช้ที่ดินในปัจจุบันทำให้พื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารลดลงร้อยละ 4.04
ในทางกลับกัน พื้นที่การเกษตร ป่าเสื่อมโทรม และพื้นที่ชุมชนได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.11 1.23 และ 0.55 ตามลำดับ
พร้อมกันนั้น ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในปัจจุบันก็ได้ลดลง 112.84 ล้าน ลบ.ม. หรือประมาณร้อยละ 5.37
เมื่อเปรียบเทียบกับอดีต สรุปได้ว่า เมื่อพื้นที่ป่าลดลงปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งก็ลดลงตามไปด้วย 2) การจัดสรรการใช้
ที่ดินในอนาคตแผนที่ 1 แผนที่ 2 และแผนที่ 3 ได้มีพื้นที่ป่าไม่เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.56 9.52 และ 3.45 ตามลำดับ
เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจุบัน ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งของแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1
แผนที่ 2 และแผนที่ 3 เท่ากับ 2,023.39 2,021.75 และ 2,029.89 ล้าน ลบ.ม. เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่า
ฤดูแล้งในปีปัจจุบันพบว่า ทั้งสามแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินสามารถเพิ่มปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งได้ จากผลการ
วิเคราะห์ได้ชี้ให้เห็นว่า แผนการจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดในอนาคตสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน คือ แผนการ
จัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ที่มีปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 40.58 ล้าน ลบ.ม. โดยแผนจัดสรรการใช้
ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดของลุ่มน้ำปิงตอนบนมีสัดส่วนพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่การเกษตร พื้นที่ชุมชน แหล่งน้ำและอื่นๆ
ร้อยละ 75.64 : 13.11 : 2.28 : 0.80 : 8.16 ตามลำดับ

Khamphachanh Vongsana 2011: Land Use Allocation of Upper Ping River Basin for Increasing Streamflow in Dry Season. Doctor of Philosophy (Sustainable Land Use and Natural Resource Management), Major Field: Sustainable Land Use and Natural Resource Management, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Kobkiat Pongput, Ph.D. 162 pages.

Water is an essentially important natural resource for humanity life. The relation between water and land use were used to investigate the dry seasonal streamflow in the Upper Ping River Basin which is located in the Northern part of Thailand, covers an area of about 25,214 sq. km. The hydrological model namely Soil and Water Assessment Tool; SWAT is applied. The model simulation are divided into three case studies i.e., to investigate the dry seasonal streamflow of different situation land use in the past year-1990 and present year-2007 respectively, and to allocate land use in the future for increasing streamflow in dry season by restoration of watershed forests. For the land use allocation were splitted into three land use plans as the first plan and second plan are allocated on the basis of criterion of watershed classification, and for the third plan is allocated basing on the policy and strategy of water resources development

In this study, the SWAT model were calibrated and validated with observed data from five hydrologic runoff stations by splitting into two periods i.e., from 2000 to 2003 for calibration and 2004 to 2007 for validation. The result of calibration indicates the coefficient of determination (R^2) varies from 0.53 to 0.64 and Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (E_{ns}) ranges from 0.50 to 0.63, for the validation result, the R^2 varies from 0.53 to 0.67 and E_{ns} ranges from 0.53 to 0.66, and for the percentage of relative difference between simulated and observed daily streamflow is very little difference between 0.77% to 4.48%. These results assure that, the set of model parameter calibration are suitable for the studied in watershed area, and can be applied in this study.

The result indicates that i) The present land use of the forest land was decreased at about 4.04%, on the other hand, the agricultural land, disturbed forest and urban area were increased by 3.11%, 1.23%, and 0.55%, respectively. Besides, the dry seasonal streamflow in present land use has decreased at about 112.84 million cubic meters (MCM) or decreased 5.37% when compared to past land use. This leads to conclude that, when the forest area decline the streamflow in dry season has been also decreasing. ii) Regarding to land use allocation in the future, the forest land of first plan, second plan, and third plan in which is given to increase by 5.56%, 9.52% and 3.45%, respectively comparing to present land use. The simulated results indicate that, the dry seasonal streamflow of land use allocation in the first plan, second plan, and third plan are 2,023.39 MCM, 2,021.75 MCM, and 2,029.89 MCM, respectively. All of land use allocation plans can be enhance the streamflow in dry season, and the suitability land use allocation plan for the future in the Upper Ping River Basin is the third plan that increases streamflow in dry season of about 40.58 MCM when compare to dry seasonal streamflow in the present land use. The optimal land use allocation in the Upper Ping River Basin should be in the proportion of forest land, agricultural land, urban area, water resource and other at 75.64 : 13.11 : 2.28 : 0.80 : 8.16 percents, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ตั้งธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจแก้วิทยานิพนธ์ดุขฎิบัณทิตจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี พร้อมกันนี้ก็ขอกราบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เรื่อโร โตกฤษณะ ประธานการสอบปากเปล่าชั้นสุดท้าย และ ดร.วันชัย วิจารณ์ที่ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้การแนะนำที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างมากต่อการทำวิทยานิพนธ์ดุขฎิบัณทิตในครั้งนี้

ขอบพระคุณอย่างล้นเหลือมายัง รัฐบาลสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยเฉพาะกรมชลประทาน กระทรวงกลุอิกรรมและป่าไม้ และสถานเอกอัครราชทูตลาวประจำราชอาณาจักรไทย ที่ได้ให้โอกาสและให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีทั้งในทางตรงและทางอ้อม และขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งมายังรัฐบาลราชอาณาจักรไทย โดยเฉพาะ กรมวิเทศสการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์การศึกษานานาชาติ และโครงการบัณฑิตศึกษาการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ อย่างยั่งยืน ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา ให้การแนะนำ และให้ความร่วมมือด้วยดีตลอดมา

ขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน และคณาจารย์ทุกๆ ท่าน ทั้งภายนอกและภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ตลอดถึงเพื่อนนิสิต เพื่อนร่วมงานที่ได้ให้ข้อมูล และให้การช่วยเหลือในระยะผ่านมา พร้อมกันนี้ก็ขอขอบพระคุณ มายังสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ กรมทรัพยากรน้ำ กรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย ที่ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในแต่ละองค์กรที่ได้ให้ความร่วมมือมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คุณความดีของวิทยานิพนธ์ดุขฎิบัณทิตเล่มนี้ ขอมอบแด่ ประเทศชาติ บิดา มารดา ภรรยา (วินทอง วงศ์ชนะ) และบุตรสาว (เพ็ญพร วงศ์ชนะ และ อาภัสสร วงศ์ชนะ) พร้อมด้วยญาติพี่น้องที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา ทำให้ข้าพเจ้าประสบผลสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้

คำพระจันทร์ วงศ์ชนะ

สิงหาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	45
อุปกรณ์	45
วิธีการวิจัย	45
ผลการศึกษา	71
สรุปและข้อเสนอแนะ	95
สรุป	95
ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	105
ภาคผนวก	114
ภาคผนวก ก ข้อมูลพื้นฐานในการนำเข้าแบบจำลอง SWAT	115
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาการจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปึงตอนบน เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำทำในฤดูแล้ง	129

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลุ่มน้ำสาขาในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	7
2	ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณการไหล	33
3	เกณฑ์ในการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลอง (model calibration and validation)	37
4	เกณฑ์ในการใช้ค่า R^2 และ r ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงเส้น	37
5	แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	46
6	แสดงตำแหน่งสถานีวัดปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	46
7	แสดงตำแหน่งสถานีวัดปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	48
8	แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (satellite images) ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	54
9	การใช้ที่ดินปี 2533 และปี 2550 ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	59
10	แผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 และ 2 ของพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	61
11	แผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	64
12	ผลการปรับเทียบ และทดสอบแบบจำลองในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	73
13	แสดงค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ของอัตราการไหลในพื้นที่การปรับเทียบ	76
14	การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินปัจจุบัน 2550 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในอดีต 2533	77
15	ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งสำหรับการใช้ที่ดินในอดีตปี 2533 และการใช้ที่ดินปัจจุบันปี 2550	78
16	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในปัจจุบันปี 2550 เปรียบเทียบกับอดีตปี 2533	79
17	ผลการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปีปัจจุบัน 2550	82
18	ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1	82
19	ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 เปรียบเทียบกับปีปัจจุบัน 2550	83
20	ผลการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปีปัจจุบัน 2550	84
21	ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของแผนจัดสรรการใช้ที่ดิน แผนที่ 2 เปรียบเทียบกับปีปัจจุบัน 2550	86
23	ผลการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดิน ในปีปัจจุบัน 2550	87
24	ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3	88
25	ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของแผนจัดสรรการใช้ที่ดิน แผนที่ 3 เปรียบเทียบกับปีปัจจุบัน 2550	89
26	ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของแผนจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต และการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550	90
27	การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าฤดูแล้ง ของแผนจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต กับการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550	91
28	แผนจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	93
ตารางผนวกที่		
1	สมบัติทางอุทกวิทยาของชุดดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	119
2	ลุ่มน้ำย่อยและหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) ของลุ่มน้ำปึงตอนบน	130
3	ผลการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1, แผนที่ 2 และแผนที่ 3 ในแต่ละลุ่มน้ำย่อย ของลุ่มน้ำปึงตอนบน	136
4	ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งของแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1, แผนที่ 2 และแผนที่ 3 ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปึงตอนบน	151

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวความคิดในการศึกษาวิจัย	4
2	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	6
3	วัฏจักรของน้ำ	10
4	การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของประเทศไทย	15
5	แผนภูมิของวงจรรูทวิทยาในแบบจำลอง SWAT	27
6	กระบวนการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำของแบบจำลอง SWAT	31
7	กระบวนการเปรียบเทียบและทดสอบความมั่นใจของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	35
8	แผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM)	51
9	แสดงกระบวนการแปลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา	55
10	แผนที่การใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน ปี 2533	57
11	แผนที่การใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน ปี 2550	58
12	โครงสร้างการจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนในอนาคต	60
13	แผนที่การจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน แผนที่ 1	62
14	แผนที่การจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน แผนที่ 2	63
15	แผนที่การจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน แผนที่ 3	65
16	แผนที่แสดงพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน	71
17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-21	73
18	กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-21	74
19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับผลการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-21	74
20	กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-21	75
21	กราฟแสดงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ของการจัดสรรการใช้ที่ดิน ในอนาคต และการใช้ที่ดินปัจจุบันปี 2550	90
22	แผนที่การจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
1	แสดงตำแหน่งของสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีตรวจวัดน้ำฝน และ สถานีตรวจวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	116
2	แผนที่แสดงเส้นลำน้ำ ของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	117
3	แผนที่แสดงกลุ่มชุดดินของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	118
4	แผนที่การใช้ที่ดินปี 2543 ของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	128
5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-20	132
6	กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-20	132
7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-65A	132
8	กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-65A	133
9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-4A	133
10	กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-4A	133
11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-4A	134
12	กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-4A	134
13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-24A	134

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
14	กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-24A	135
15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-24A	135
16	กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-24A	135

การจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง

Land Use Allocation of Upper Ping River Basin for Increasing Streamflow in Dry Season

คำนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษยชาติ และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการรักษาสมดุลของธรรมชาติบนโลก ประเทศไทยยังประสบปัญหาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำในหลายด้านที่ส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ และวิถีชีวิตของประชาชนเป็นอย่างมาก พื้นที่ลุ่มน้ำในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 25 ลุ่มน้ำหลัก 254 ลุ่มน้ำสาขา โดยมีปริมาณน้ำท่าหmundเวียนรายปีประมาณ 213,423 ล้าน ลบ.ม. แต่เก็บกักได้เพียง 51,100 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี เท่านั้น วิกฤตการขาดแคลนน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการใช้น้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพ ตลอดจนการสูญเสียพื้นที่ป่าต้นน้ำอย่างต่อเนื่อง (กรมทรัพยากรน้ำ, 2549) ในขณะเดียวกัน การบุกรุกพื้นที่แหล่งต้นน้ำลำธารเพื่อขยายพื้นที่การเกษตรก็เพิ่มมากขึ้น ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดลดลงอย่างน่าเป็นห่วง ในระยะผ่านมาการพัฒนาการเกษตรยังไม่คำนึงถึงศักยภาพ และวิธีการที่เหมาะสมในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ทำให้คุณภาพดินเสื่อมโทรม ป่าไม้ถูกบุกรุกทำลาย และเกิดการขาดแคลนน้ำตามมา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2530) ซึ่งจะเห็นได้ว่าประเทศไทยประสบกับปัญหาภัยแล้งทุก ๆ ปี ในช่วงปี 2533 ถึง ปี 2548 พื้นที่การเกษตรได้รับผลกระทบรวมทั้งสิ้น 61.98 ล้านไร่ คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียประมาณ 12,231 ล้านบาท (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2548) ในอีกมุมหนึ่งการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติก็มากเกินไปกว่าศักยภาพที่มีอยู่ และขาดการจัดการที่ถูกต้อง ทำให้ทรัพยากรบางประเภทอยู่ในขั้นภาวะวิกฤต อาทิ ทรัพยากรป่าไม้ ในปี 2504 ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้ร้อยละ 53 ของพื้นที่ประเทศ มาถึงปี 2541 เหลือเพียงร้อยละ 25 ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรป่าไม้เป็นต้นเหตุสำคัญของปัญหาภัยแล้ง น้ำท่วมฉับพลัน และการพังทลายของดิน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2549) นอกจากนี้ ผืนดินของประเทศ ร้อยละ 34 มีปัญหาการชะล้างพังทลายของดินและสูญเสียหน้าดินประมาณ 1,243 ล้านตันต่อปี โดยร้อยละ 90 ของพื้นที่ที่มีปัญหาเกิดขึ้นในภาคเหนือ อันเนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่า การทำไร่เลื่อนลอย อีกทั้งเกิดจากการเพาะปลูกที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างถูกวิธี ทำให้ดินเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย ลำน้ำต้นเขิน เกิดปัญหาน้ำหลากในฤดูฝน และขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง (สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี, 2549)

ลุ่มน้ำปิงเป็นลุ่มน้ำหนึ่งที่มีสภาพวิกฤตมาก มีการบุกรุกทำลายป่าไม้ในพื้นที่ต้นน้ำลำธารสูง ส่งผลต่อการเกิดภาวะน้ำท่วมแทบทุก ๆ ปี ขณะเดียวกันก็มีการขาดแคลนน้ำทั้งในภาคการเกษตร และการรักษาสมดุลระบบนิเวศท้ายน้ำ ซึ่งขาดแคลนน้ำในภาคการเกษตรสูงถึง 648.2 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี และขาดแคลนน้ำในการรักษาสมดุลระบบนิเวศท้ายน้ำ 21.2 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี ปัญหาการขาดแคลนน้ำส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน ถึง เมษายน) ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจและวิถีชีวิตของประชาชนเป็นอย่างมาก (กรมทรัพยากรน้ำ, 2546; สำนักฟื้นฟูและพัฒนาพื้นที่อนุรักษ์, 2550) การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ การบุกรุกพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารเพื่อขยายพื้นที่การเกษตรทำให้คุณภาพดินเสื่อมโทรม และป่าไม้ถูกบุกรุกทำลาย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2530) สอดคล้องกับ Guo *et al.* (2008) กล่าวว่า การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ทำให้ระดับความรุนแรงของน้ำหลากเพิ่มขึ้น และส่งผลกระทบต่อภาวะแห้งแล้งมากยิ่งขึ้น ในทางกลับกัน การเพิ่มขึ้นของป่าไม้จากการฟื้นคืนสภาพพื้นที่การเกษตรมาเป็นพื้นที่ป่าทำให้ปริมาณและอัตราการไหลของน้ำในลำธารลดลงในช่วงฤดูฝน และเพิ่มปริมาณและอัตราการไหลของน้ำในลำธารในฤดูแล้ง การศึกษาที่ได้รายงานถึงผลกระทบของการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า เช่น Costa *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2007; Xiaobo *et al.*, 2008; Ouyang *et al.*, 2008; Cao *et al.*, 2009; Mueller *et al.*, 2009; Mao and Cherkauer, 2009; Mohammad and Adam, 2010; Schilling *et al.*, 2010.

ด้วยตระหนักถึงปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และเห็นความสำคัญของน้ำที่คอยหล่อเลี้ยงสิ่งที่มีชีวิต เป็นสิ่งที่จุดประกายให้ทำการศึกษา การจัดการการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง (dry seasonal streamflow) ภายใต้ความเกี่ยวเนื่องเชื่อมโยงของดิน น้ำ และป่าไม้ โดยการประยุกต์ใช้หลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ (watershed classification) ภาพถ่ายดาวเทียม (satellite images) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System; GIS) และแบบจำลองทางอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นเครื่องมือในการศึกษา ซึ่งจะนำไปสู่ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการจัดการการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ต่อไป

วัตถุประสงค์

การวิจัยมุ่งเน้นศึกษาปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้งของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน บนพื้นฐานการใช้ที่ดินแต่ละระยะ โดยให้ความสำคัญในการจัดสรรทรัพยากรธรรมชาติที่เกี่ยวข้อง ด้วยการรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานด้านกายภาพของกลุ่มน้ำ เพื่อการใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดความยั่งยืน โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

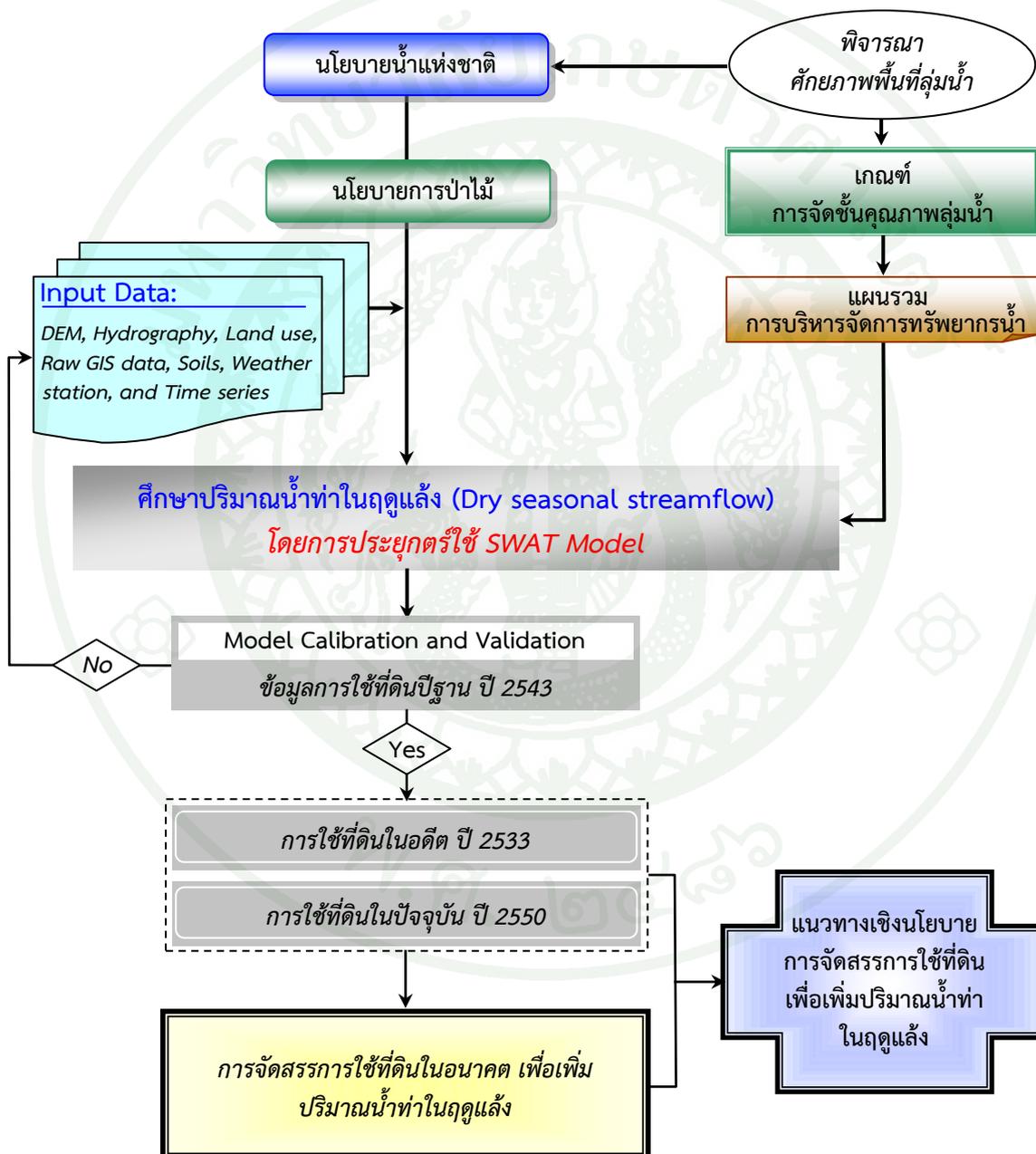
1. ศึกษาปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน บนพื้นฐานการจำลองการใช้ที่ดินในอดีตปี 2533 และปัจจุบันปี 2550
2. จัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง โดยทำการจำลองแผนการใช้ที่ดินในอนาคต
3. เสนอแนวทางเชิงนโยบายในการจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง

ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน (Upper Ping River Basin) ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน ในการทำการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิเป็นหลัก
2. วิเคราะห์ข้อมูลการใช้ที่ดินปี 2533 และปี 2550 จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5 ระบบ thematic mapper รายละเอียดภาพ 30 เมตร โดยใช้วิธีการแปลภาพถ่ายด้วยสายตา (visual interpretation) ในการจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน และใช้เทคนิคระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Geographic Information System; GIS ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล
3. ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool; SWAT เป็นเครื่องมือในการศึกษาปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง บนพื้นฐานการจำลองการใช้ที่ดินในอดีตปี 2533 และปัจจุบันปี 2550 และทำการจำลองการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคตของกลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ภายใต้หลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ และนโยบาย ยุทธศาสตร์การพัฒนาทรัพยากรน้ำของโครงการจัดทำแผนรวม (integrated plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง
4. เสนอแนวทางเชิงนโยบายในการจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง

กรอบความคิด

เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการศึกษาการจัดการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ และมีความชัดเจนถูกต้องมากยิ่งขึ้น จึงได้ทำการกำหนดกรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย ดังภาพแสดงที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย

การตรวจเอกสาร

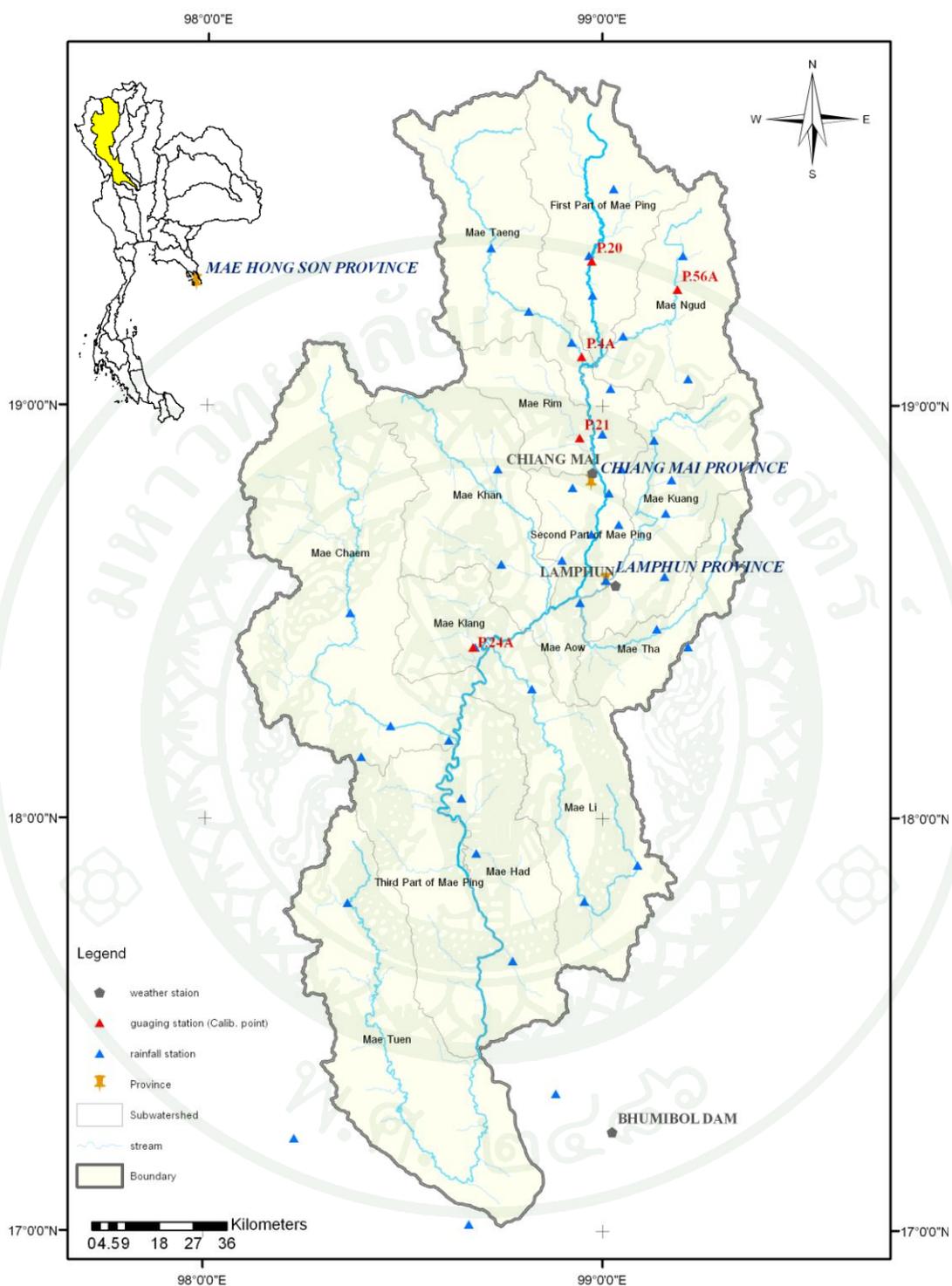
เพื่อทำให้งานวิจัยประสบผลสำเร็จผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งแนวความคิด หลักการ งานวิจัยต่าง ๆ มาประมวลเป็นแนวทางในการศึกษา และประยุกต์ใช้ ดังต่อไปนี้

พื้นที่ศึกษา

1. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำปิงตอนบนตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทยอยู่ระหว่างเส้นละติจูด $17^{\circ}4'30''$ ถึง $19^{\circ}74'52''$ N และระหว่างเส้นลองจิจูด $98^{\circ}4'30''$ ถึง $99^{\circ}22'30''$ E ครอบคลุมพื้นที่ 2 จังหวัด คือ จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน มีเนื้อที่ประมาณ 25,342 ตร.กม. โดยทิศเหนือติดกับลุ่มน้ำกก ทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำสาละวิน ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำวัง และทิศใต้ติดกับลุ่มน้ำปิงตอนล่าง สภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนปกคลุมด้วยป่าไม้ แม่น้ำปิงเป็นแม่น้ำสายหลักของลุ่มน้ำปิงตอนบน ที่มีต้นกำเนิดจากทิวเขาผีปันน้ำ ในเขตอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ แล้วไหลผ่านหุบเขา ลงมาสู่ที่ราบลุ่มกว้างใหญ่ในจังหวัดเชียงใหม่ ผ่านจังหวัดลำพูน จากนั้นได้ไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ผ่านอำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ แล้วไหลลงทิศใต้ผ่านอำเภอฮอด ก่อนจะลงสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล ซึ่งมีความยาวของลำน้ำจากเทือกเขาผีปันน้ำจรดเขื่อนภูมิพลประมาณ 514 กม. สำนักงานคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (สทช.) ได้แบ่งการบริหารจัดการลุ่มน้ำปิงตอนบนออกเป็น 15 ลุ่มน้ำสาขา โดยขอบเขตสำหรับการบริหารจัดการลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้แสดงในภาพที่ 2 (กรมทรัพยากรน้ำ, 2546)

ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่ของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนเป็นภูเขาสูง และตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลของลมมรสุมจึงทำให้มีฤดูกาลที่เด่นชัด 2 ฤดู คือ ฤดูแล้งกับฤดูฝน (dry and wet seasons) สลับกัน ซึ่งฤดูแล้งจะเริ่มจากเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน ถ้าจะพิจารณาให้ละเอียดลงไปสามารถแยกเป็นฤดูร้อนกับฤดูหนาวได้ สำหรับฤดูฝนจะเริ่มจากเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม สภาพภูมิอากาศทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นแล้ว ในแต่ละปีจะได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีฝนตกชุกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,087.40 มม. อุณหภูมิเฉลี่ย 26.7 องศาเซลเซียส ความเร็วลมเฉลี่ย 1.9 นอต และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีร้อยละ 71 (กรมทรัพยากรน้ำ, 2546)



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรน้ำ (2546)

1.1 ขอบเขตและลักษณะลุ่มน้ำสาขา

การแบ่งลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขาของประเทศไทย โดยสำนักงานคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (สทช.) ได้แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนออกเป็น 15 ลุ่มน้ำสาขา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลุ่มน้ำสาขาในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับที่	ชื่อลุ่มน้ำสาขา	พื้นที่ลุ่มน้ำสาขา	
		พื้นที่ (ตร.กม.)	(ร้อยละ)
1	แม่ปิง ส่วนที่ 1	1,838	7.25
2	แม่แตง	2,025	7.99
3	แม่จืด	1,427	5.63
4	แม่ริม	746	2.94
5	แม่ปิง ส่วนที่ 2	1,021	4.03
6	แม่กวาง	1,662	6.56
7	แม่แจ่ม	4,114	16.23
8	แม่ขาน	1,877	7.41
9	แม่กลาง	691	2.73
10	แม่ปิง ส่วนที่ 3	1,648	6.50
11	แม่หาด	1,731	6.83
12	แม่ลี	2,248	8.87
13	แม่่อว	254	1.00
14	แม่ทา	893	3.52
15	แม่ตื่น	3,167	12.50
	รวม	25,342	100

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

1.2 ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ

ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของลุ่มน้ำปิงตอนบนได้จำแนกออกเป็น 5 ระดับชั้น ตามลำดับความสำคัญในการควบคุมระบบนิเวศลุ่มน้ำ โดยมีมติคณะรัฐมนตรีเห็นชอบในหลักเกณฑ์การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและมาตรการการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำปิง ในปี 2528 และพระราชบัญญัติสิ่งแวดล้อมปี 2535 ได้มีข้อกำหนดการใช้ที่ดินอย่างถูกต้องตามหลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำเพื่อคุณภาพ

ชีวิตและสิ่งแวดล้อม โดยพื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 1A จะไม่อนุญาตให้มีการใช้พื้นที่ทุกกรณี เพื่อรักษาไว้เป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธาร หากมีความจำเป็นต้องใช้จะต้องได้รับการอนุมัติโดยคณะรัฐมนตรีก่อน ส่วนพื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 1B นั้นเป็นพื้นที่ที่ถูกเปลี่ยนสภาพไปแล้ว แต่ต้องมีการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินตามมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างเข้มงวด พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นอื่น ๆ มีข้อกำหนดการใช้ที่ดินที่ควบคุมวิธีการปฏิบัติผ่อนคลายเป็นความเข้มงวดลงไปตามลำดับ ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1A มีพื้นที่มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 43.08 รองลงมาคือ ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 2 ชั้นที่ 5 ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 คิดเป็นร้อยละ 17.00 12.46 11.75 และ 11.13 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดตามลำดับ ส่วนชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1B มีพื้นที่น้อยที่สุดคือร้อยละ 3.33 และพื้นที่อื่น ๆ อีกประมาณร้อยละ 1.25 (กรมทรัพยากรน้ำ, 2546)

2. อุตุณิยมวิทยา

2.1 สภาพภูมิอากาศ

สภาพอากาศโดยทั่วไปของกลุ่มน้ำปิงตอนบน อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นแล้วในแต่ละปีจะได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันที่มาจากทะเลจีนใต้ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน จากสถิติช่วงปี 2514 ถึง 2543 ลุ่มน้ำปิงตอนบน มีค่าเฉลี่ยรายปีของอุณหภูมิ 26.7 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.9 นอต และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 71 (กรมทรัพยากรน้ำ, 2546)

2.2 ปริมาณน้ำฝน

ลุ่มน้ำปิงตอนบนตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย ในแต่ละปีได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันที่มาจากทะเลจีนใต้ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีฝนตกชุกเริ่มจากกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม จากสถิติช่วงปี 2503 ถึง 2543 มีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 1,087.40 มม. เป็นปริมาณฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน ถึง เมษายน) 132.50 มม. หรือร้อยละ 12.19 ของปริมาณฝนรายปี (กรมทรัพยากรน้ำ, 2546)

3. ทรัพยากรดิน และการใช้ที่ดิน

3.1 ทรัพยากรดิน

ลุ่มน้ำปิงตอนบนประกอบด้วย 36 กลุ่มชุดดิน เมื่อนำมาพิจารณาตามคุณสมบัติของชั้นความเหมาะสมของดินในด้านการปลูกพืช สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทคือ (1) ดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว (รวมถึงดินที่เหมาะสมสำหรับพืชชนิดอื่นด้วย) ประมาณร้อยละ 12.71 (2) ดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชไร่ พืชผัก และไม้ผลไม้ยืนต้น (ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว) ประมาณร้อยละ 3.65 (3) ดินที่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชโดยทั่วไป แต่เมื่อมีการปรับปรุงอาจปลูกพืชได้เป็นบางชนิด ประมาณร้อยละ 1.63 ซึ่งเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เป็นพื้นที่ป่าไม้ จึงไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช (4) ดินที่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชชนิดใดๆ เลยประมาณร้อยละ 78.16 คือดินที่เป็นพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่ลาดชันสลับซับซ้อน และอื่น ๆ อีก ประมาณร้อยละ 3.84 (กรมทรัพยากรน้ำ, 2546)

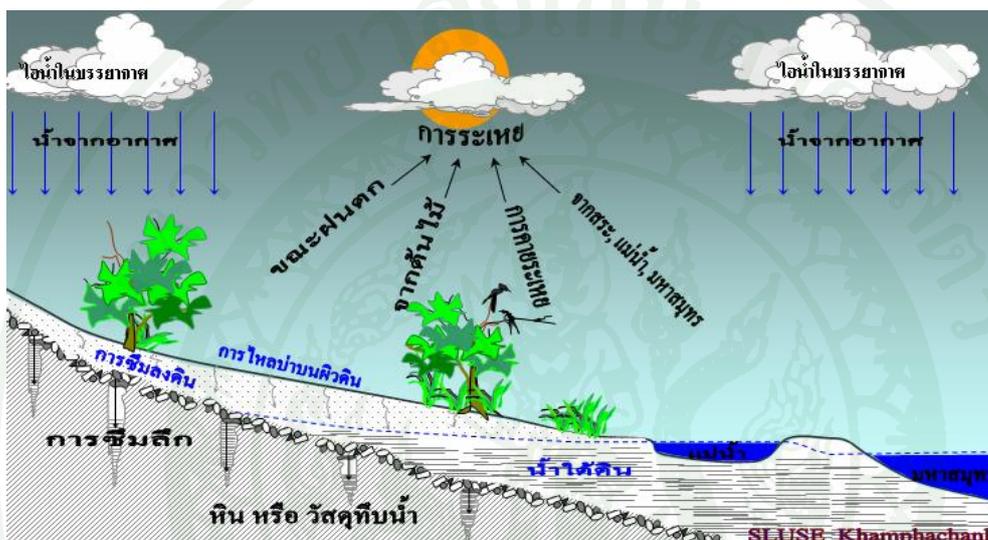
3.2 การใช้ที่ดิน

การใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภทการใช้ที่ดินหลัก คือ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อยู่อาศัย โดยพื้นที่ป่าไม้มีสัดส่วนมากที่สุดถึงร้อยละ 77 รองลงมาคือพื้นที่การเกษตรร้อยละ 13 ส่วนพื้นที่ที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำ และอื่น ๆ รวมกันมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมด จากข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินปี 2543 พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้มีการบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารและใช้ที่ดินผิดประเภท โดยเฉพาะการใช้ที่ดินในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1A และชั้น 1B เพื่อทำการเกษตรและการตั้งถิ่นฐานชุมชนต่างๆ รวมทั้งสิ้น 338,364 ไร่ ลุ่มน้ำย่อยที่มีการบุกรุกพื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1A เพื่อทำการเกษตรสูง คือ ลุ่มน้ำแม่แตงมีการบุกรุกพื้นที่ 87,200 ไร่ ลุ่มน้ำแม่แจ่มได้บุกรุกพื้นที่ 70,200 ไร่ ลุ่มน้ำแม่ขานมีการบุกรุกพื้นที่ 43,988 ไร่ ลุ่มน้ำแม่ต้นไต้มีการบุกรุกพื้นที่ 45,681 ไร่ และลุ่มน้ำอื่น ๆ อีก ซึ่งจะต้องจัดทำแผนในการฟื้นฟูสภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1A และชั้น 1B ที่มีการใช้ที่ดินผิดประเภทให้มีการฟื้นฟูสภาพป่ากลับคืนมา (กรมทรัพยากรน้ำ, 2546)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. วัฏจักรของน้ำ

วัฏจักรของน้ำ (hydrologic cycle) คือการเกิด และการหมุนเวียนของน้ำที่มีอยู่ในโลก จะเปลี่ยนรูปอยู่ในสภาพ ต่าง ๆ ไม่มีจุดเริ่มต้น และไม่มีจุดสิ้นสุด ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วัฏจักรของน้ำ

ไอน้ำในบรรยากาศ (atmospheric moisture) บางส่วนอาจมองเห็นได้ในรูปของเมฆ หรือ หมอก เมื่อปริมาณไอน้ำมากขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวหรือมีความแปรปรวนทางอุณหภูมิจนถึงจุดเยือกแข็งของบรรยากาศ ทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นละอองน้ำแล้วตกลงสู่ผิวโลกเรียกว่าน้ำฝน (precipitation) ในขณะที่ฝนตกน้ำ บางส่วนจะระเหยกลับขึ้นไปในบรรยากาศ บางส่วนก็จะถูกพืชเก็บกักไว้ (interception) บางส่วนจะ ซึมลงไปในดิน (infiltration) แล้วกลายเป็นน้ำที่ไหลในดิน (subsurface runoff) ในกรณีที่ดินแห้ง อัตราการซึมลงดินก็จะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อดินอิ่มตัวน้ำจะถูกแรงดึงดูดของโลกดูดซึมลง (percolation) และจะซึมต่อไปจนถึงระดับน้ำใต้ดิน (groundwater) น้ำที่ไหลไปเจอชั้นที่น้ำจะไหลไปตามความลาดเท (interflow) จากนั้นก็ไหลออกสู่พื้นดินอีกครั้งหนึ่ง น้ำบางส่วนอาจถูกพืชดูดไปใช้แล้วคาย ระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ (transpiration) น้ำฝนส่วนที่เหลือจากการซึมลงดินก็จะขังนองตามพื้นดินแล้ว ไหลลงสู่ที่ต่ำเรียกว่า overland flow บางส่วนจะไหลไปรวมกันอยู่ที่ลุ่ม (surface storage) เมื่อ ปริมาณมากขึ้นก็มีแรงกัดเซาะดินให้เป็นร่องน้ำใหญ่ขึ้น จนกลายเป็นลำธารและแม่น้ำ ตามลำดับ เรียกว่าน้ำท่า (surface runoff) และจะไหลตามความลาดชันของพื้นที่ลงสู่ทะเลหรือมหาสมุทรต่อไป

น้ำแต่ละชั้นตอนก็จะมีการระเหยกลับขึ้นไปเป็นไอน้ำในบรรยากาศ และหมุนเวียนอยู่ในวัฏจักรของน้ำเช่นนี้ตลอดไป (วีรพล, 2538)

2. ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของประเทศไทย

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548) รายงานไว้ว่า ประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่อุดมไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติ และมีศักยภาพที่เอื้อต่อการดำรงชีวิตและการพัฒนาประเทศ แต่การใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สัมพันธ์กับการอนุรักษ์ ก่อให้เกิดผลกระทบและความไม่ยั่งยืน ดังนั้น การกำหนดกรอบการใช้ที่ดิน และการพัฒนาโดยอิงตามหลักเกณฑ์การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญอย่างยิ่ง การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำก็เพื่อเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำให้มีปริมาณมากและคุณภาพที่เหมาะสมต่อการอุปโภค บริโภค เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันอุทกภัยและการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง ตลอดจนการวางแผนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในพื้นที่ต้นน้ำลำธารให้ถูกต้องเหมาะสมมากยิ่งขึ้น (เกษม และคณะ, 2529) ในทำนองเดียวกัน นิพนธ์ และสามัคคี (2531) ได้ให้เหตุผลว่า ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ (Watershed Classification) หมายถึงชั้นความสำคัญของพื้นที่ในลุ่มน้ำที่กำหนดขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ในแต่ละเขตพื้นที่ให้เป็นไปตามหลักการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำเป็นการจำแนกพื้นที่สำหรับการวางแผนการใช้ที่ดิน โดยอาศัยศักยภาพของที่ดินที่จะเอื้อผลประโยชน์ด้านความสมดุลของธรรมชาติ และการให้ผลผลิตที่ยั่งยืน

ในระยะผ่านมาการพัฒนาทำให้เกิดความเจริญทางวัตถุ ในขณะเดียวกัน กลับส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติ (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2533) ยิ่งไปกว่านั้น การใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่มีประสิทธิภาพและขาดการอนุรักษ์ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมแก่พื้นที่ลุ่มน้ำที่สำคัญเป็นอย่างมาก และส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เช่น การเกิดอุทกภัยอย่างฉับพลันในฤดูฝน และภาวะแห้งแล้งอย่างรุนแรงในฤดูแล้ง ด้วยเหตุดังกล่าว คณะรัฐมนตรีจึงได้มีมติให้ดำเนินการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่สำคัญของประเทศขึ้น เพื่อลดความรุนแรงของปัญหาและป้องกันผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

2.1 กระบวนการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของประเทศไทย

คณะรัฐมนตรีได้มีมติเมื่อวันที่ 14 มกราคม 2518 และวันที่ 13 กรกฎาคม 2520 ในการกำหนดชั้นและอาณาเขตของป่าต้นน้ำลำธารบริเวณลุ่มน้ำ โดยมีข้อกำหนดว่าการดำเนินการใดๆ ในขอบเขต บริเวณป่าต้นน้ำลำธารชั้นต่าง ๆ จะต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในเขตป่าต้นน้ำลำ

ธารชั้นที่ 1 ห้ามมิให้มีการใช้ประโยชน์อย่างเด็ดขาด ซึ่งมีมติคณะรัฐมนตรีได้ก่อให้เกิดปัญหา ระหว่าง กรมป่าไม้และกรมทรัพยากรธรณี คณะรัฐมนตรีจึงได้มีมติเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2520 แต่งตั้ง คณะกรรมการพิจารณาทบทวนมติดังกล่าว จากการพิจารณาเห็นว่า ควรมีการปรับปรุงและกำหนด ชั้นอาณาเขตป่าต้นน้ำลำธารให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ และมีมติให้แต่งตั้งคณะกรรมการกำหนดชั้น คุณภาพลุ่มน้ำ ซึ่งได้อนุมัติโครงการในวันที่ 27 กรกฎาคม 2525 โดยมอบหมายให้สำนักงานนโยบาย และแผนสิ่งแวดล้อม สรรหาหน่วยงานกลางเพื่อศึกษากำหนดขอบเขต แบ่งชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่สำคัญ ของประเทศ ด้วยการสร้างกฎเกณฑ์ และแนวทางในการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติ และ สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ลุ่มน้ำ ตลอดจนส่งเสริมให้มีการวางแผนการใช้ที่ดินและควบคุมการไหลของน้ำให้ เป็นไปด้วยดี ซึ่งได้มอบหมายให้มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ดำเนินการศึกษาวิจัย โดยให้ความสำคัญ กับพื้นที่ลุ่มน้ำทางภาคเหนือเป็นลุ่มน้ำอันดับแรก (นิพนธ์, 2550) ในการปฏิบัติได้มีมติคณะรัฐมนตรี เห็นชอบครอบคลุมทั้งประเทศ ตามลำดับดังนี้

2.1.1	ลุ่มน้ำปิง-วัง	วันที่	28 พฤษภาคม 2528
2.1.2	ลุ่มน้ำยม-น่าน	วันที่	21 ตุลาคม 2529
2.1.3	ลุ่มน้ำมูล-ชี	วันที่	12 กรกฎาคม 2531
2.1.4	ลุ่มน้ำภาคใต้	วันที่	7 พฤศจิกายน 2532
2.1.5	ลุ่มน้ำภาคตะวันออก	วันที่	19 พฤศจิกายน 2534
2.1.6	ลุ่มน้ำภาคตะวันตก ภาคกลาง ลุ่มน้ำป่าสัก ลุ่มน้ำภาคเหนือ และลุ่มน้ำภาค ตะวันออกเฉียงเหนือส่วนอื่น ๆ	วันที่	21 กุมภาพันธ์ 2538

2.2 หลักเกณฑ์ในการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ

เกษม (2529) ได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการแบ่งชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ จากปัจจัยทาง กายภาพที่มีผลต่อกระบวนการทางอุทกวิทยา และมีลักษณะเปลี่ยนแปลงได้ยากรวม 6 ประการ เช่น สัณฐานลุ่มน้ำ (landform) ความลาดชัน (slope) ความสูง (elevation) ลักษณะหิน (geology) ชนิด ดิน (soil) และสภาพป่าไม้ (forest) สมการที่ใช้ในแต่ละลุ่มน้ำจะมีค่าคงที่ของสมการแปรผันตาม สภาพพื้นที่ ซึ่งสมการที่ใช้กำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำปิง คือ

$$Y(WSC) = 1.93 - 0.048(Slope) - 0.004(Elev) + 0.107(Landfm) + 0.116(Geol) + 0.193(Soil) + (FOR.) \quad (1)$$

$Y(WSC)$: ดัชนีชั้นคุณภาพของลุ่มน้ำ

Slope : ความลาดเทเฉลี่ย (%)

Elev : ความสูงจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (m/10)

Landfm : ดัชนีแทนลักษณะแผ่นดิน
 Geol : ดัชนีแทนลักษณะทางธรณีวิทยา
 Soil : ดัชนีแทนลักษณะทางปฐพีวิทยา
 FOR : ตัวแปรแทนสภาพการมีหรือไม่มีป่าไม้ ซึ่งมีผลกับการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1
 ตัวเลข : ค่าคงที่ของสมการ

ค่าที่ใช้ในสมการได้กำหนดจากความลาดชัน ความสูง สัณฐานลุ่มน้ำ ลักษณะหิน และ ชนิดดิน จากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ในแต่ละตาราง grid 1 กม. x 1 กม. ค่าที่กำหนดจะไม่มี หน่วย ซึ่งดัชนีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ (WSC) ที่คำนวณได้จะเป็นตัวชี้บอกระดับชั้นคุณภาพลุ่มน้ำนั้น ๆ ใน 5 ระดับชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ตามช่วงของคะแนนดังนี้

- 2.2.1 ลุ่มน้ำชั้นที่ 1 มีค่า WSC < 1.50
- 2.2.2 ลุ่มน้ำชั้นที่ 2 มีค่าระหว่าง $1.50 < WSC < 2.21$
- 2.2.3 ลุ่มน้ำชั้นที่ 3 มีค่าระหว่าง $2.21 < WSC < 3.20$
- 2.2.4 ลุ่มน้ำชั้นที่ 4 มีค่าระหว่าง $3.20 < WSC < 3.99$
- 2.2.5 ลุ่มน้ำชั้นที่ 5 มีค่า WSC > 3.99

2.3 การแบ่งชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ และมาตรการควบคุมการใช้ที่ดิน

การแบ่งชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและมาตรการการใช้ที่ดินเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ให้เกิดความยั่งยืน โดยการกำหนดขอบเขต และรูปแบบของการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติแบบ ผสมผสาน มีมาตรการในการควบคุมการใช้ที่ดินที่เหมาะสม ดังภาพที่ 4 การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ จำแนกเป็นสองส่วนคือ ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ และมาตรการใช้ที่ดินในเขตลุ่มน้ำ (นิพนธ์, 2550)

2.3.1 ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548) ได้แบ่ง ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำออกเป็น 5 ชั้นดังนี้

1) พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 1 เป็นพื้นที่ที่จะต้องสงวนรักษาไว้ให้เป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธาร เนื่องจาก ลักษณะและสมบัติที่อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ง่าย และรุนแรง โดยค่าดัชนีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่คำนวณได้จากสมการน้อยกว่า 1.50 พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 ระดับชั้นย่อย คือ (1) พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1A เป็นพื้นที่ที่ยังคงมีสภาพป่าสมบูรณ์ปรากฏ

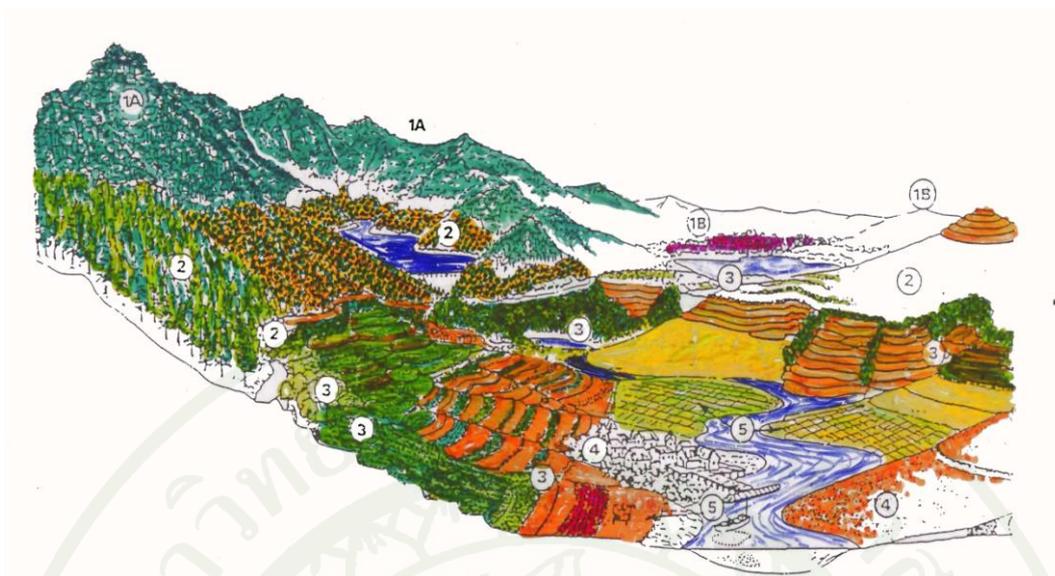
อยู่ในปี 2525 ซึ่งจำเป็นต้องสงวนรักษาไว้เป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธาร และเป็นทรัพยากรป่าไม้ของประเทศ และ (2) พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1B เป็นพื้นที่ที่สภาพป่าส่วนใหญ่ได้ถูกทำลาย หรือเปลี่ยนแปลงไปเพื่อการใช้ที่ดินในรูปแบบอื่นก่อนหน้าปี 2525 และการใช้ที่ดินหรือการพัฒนาในรูปแบบต่าง ๆ ที่ดำเนินการไปแล้วจะต้องมีมาตรการควบคุมเป็นพิเศษ

2) พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 2 หมายถึงพื้นที่ที่มีค่าดัชนีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่คำนวณได้จากสมการอยู่ระหว่าง 1.5 ถึงน้อยกว่า 2.21 ลักษณะทั่วไปเหมาะสมต่อการเป็นต้นน้ำลำธารในระดับรองลงมา และสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อกิจการที่สำคัญได้ เช่น การทำเหมืองแร่ เป็นต้น

3) พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 3 หมายถึงพื้นที่ที่มีค่าดัชนีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่คำนวณได้จากสมการอยู่ระหว่าง 2.21 ถึงน้อยกว่า 3.20 และพื้นที่โดยทั่วไปสามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งกิจการทำไม้ เหมืองแร่ และปลูกพืชกสิกรรมประเภทไม้ยืนต้น

4) พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 4 หมายถึงพื้นที่ที่มีค่าดัชนีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่คำนวณได้จากสมการอยู่ระหว่าง 3.20 ถึงน้อยกว่า 3.99 และสภาพป่าไม้ถูกบุกรุกแผ้วถางใช้ประโยชน์เพื่อกิจการพืชไร่เป็นส่วนมาก

5) พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 5 หมายถึงพื้นที่ที่มีค่าดัชนีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำมากกว่า 3.99 ลักษณะโดยทั่วไปเป็นที่ราบ หรือ ที่ลุ่ม หรือ เนินลาดเอียงเล็กน้อย ซึ่งส่วนใหญ่ป่าไม้ได้ถูกบุกรุกแผ้วถางเพื่อประโยชน์ด้านเกษตรกรรม โดยเฉพาะทำนา และกิจการอื่น ๆ ไปแล้ว



ภาพที่ 4 การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของประเทศไทย

ที่มา: นิพนธ์ (2550)

2.3.2 มาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2548) ได้กำหนดมาตรการ การใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำดังนี้

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1A ห้ามมิให้เปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ป่าไม้เป็นรูปแบบอื่น เด็ดขาดให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องของบำรุงรักษาป่าธรรมชาติที่มีอยู่และระงับการอนุญาตทำไม้โดยเด็ดขาด พร้อมทั้งดำเนินการป้องกันการลักลอบตัดไม้ทำลายป่าอย่างเข้มงวด บริเวณที่เป็นที่รกร้างว่างเปล่า หรือป่าเสื่อมโทรมให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องดำเนินการปลูกป่าทดแทน และบริเวณใดที่มีราษฎรอาศัยอยู่ดั้งเดิมอย่างถาวรแล้ว ให้ดำเนินการจัดที่ทำกินเพื่อมิให้มีการโยกย้ายขยายขอบเขตออกไปอีก

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1B ในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ เพื่อประกอบการดำเนินกิจกรรมรูปแบบต่าง ๆ ไปแล้ว ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องร่วมกันวางแผนการใช้ที่ดินให้สอดคล้องกับนโยบายของรัฐทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ส่วนบริเวณใดที่พัฒนาเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจหากจะมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง จะต้องดำเนินการวางแผนการใช้ที่ดินให้สอดคล้องกับสภาพธรรมชาติที่เอื้ออำนวยต่อคุณภาพของนิเวศวิทยา และการอนุรักษ์ธรรมชาติ บริเวณใดที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตรหรือการพัฒนาในรูปแบบอื่น ๆ ให้ดำเนินการฟื้นฟูสภาพป่าต้นน้ำลำธารอย่างรีบด่วน ในกรณีการสร้างถนนตัดผ่านหรือการทำเหมืองแร่ หน่วยงานที่รับผิดชอบจะต้องควบคุมการ

ชะล้างพังทลายของดินที่เกิดขึ้นในบริเวณโครงการมิให้ไหลลงสู่แหล่งน้ำ หากส่วนราชการใดมีความจำเป็นต้องใช้ที่ดินอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในโครงการที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ และความมั่นคงของชาติ เจ้าของโครงการจะต้องนำเสนอโครงการดังกล่าวต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเสนอต่อคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติเพื่อพิจารณาต่อไป

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 2 การใช้พื้นที่ในการทำกิจการป่าไม้ และเหมืองแร่ควรอนุญาตให้ได้ แต่จะต้องมีการควบคุมวิธีการปฏิบัติการใช้ที่ดินอย่างเข้มงวดและเป็นไปตามระเบียบการ เพื่อมิให้เกิดความเสียหายต่อต้นน้ำลำธารและพื้นที่ตอนล่างอย่างเด็ดขาด ส่วนการใช้ที่ดินเพื่อกิจกรรมทางด้านการเกษตร ควรหลีกเลี่ยงอย่างเด็ดขาด และให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องดำเนินการปลูกป่าบริเวณที่ถูกทำลายโดยด่วน

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 3 การใช้พื้นที่ในการทำกิจการป่าไม้ เหมืองแร่ กสิกรรม หรือกิจกรรมอื่น ๆ อนุญาตให้ได้แต่ต้องมีการควบคุมวิธีการปฏิบัติอย่างเข้มงวดให้เป็นไปตามหลักการอนุรักษ์ดินและน้ำ เฉพาะการใช้ที่ดินเพื่อการกสิกรรม บริเวณใดที่มีดินลึกมากกว่า 50 ซม. ให้ใช้เป็นพื้นที่ปลูกไม้ผล ไม้เศรษฐกิจ และพืชเศรษฐกิจที่ยืนต้นอื่น ๆ ตามความเหมาะสม ส่วนบริเวณที่ดินมีความลึกน้อยกว่า 50 ซม. ที่ไม่เหมาะสมกับกิจการทางการกสิกรรม ควรใช้เป็นพื้นที่ป่าไม้ หรือ หุ่น้ำเลี้ยงสัตว์

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 4 การใช้พื้นที่เพื่อทำเหมืองแร่ ป่าไม้ และกิจกรรมอื่น ๆ ให้อนุญาตได้ตามปกติ โดยปฏิบัติตามระเบียบทางราชการอย่างเคร่งครัด การใช้ที่ดินเพื่อการกสิกรรมในบริเวณที่มีความลาดชันระหว่างร้อยละ 18 ถึง 25 และดินมีความลึกน้อยกว่า 50 ซม. ควรใช้เป็นพื้นที่ป่าไม้และไม้ผลโดยมีการวางแผนการใช้ที่ดินตามมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ ส่วนพื้นที่ที่มีความลาดชันระหว่างร้อยละ 6 ถึง 18 ควรใช้เพาะปลูกพืชไร่โดยมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำเช่นกัน

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 5 การใช้พื้นที่ทำกิจการเหมืองแร่ การเกษตร ป่าไม้ และกิจการอื่น ๆ ให้อนุญาตได้ตามปกติ เฉพาะการใช้ที่ดินเพื่อการกสิกรรมในบริเวณที่มีดินลึกน้อยกว่า 50 ซม. ควรใช้เป็นพื้นที่ปลูกพืชไร่ ป่าเอกชน ไม้ผล และห่น้ำเลี้ยงสัตว์หรือไม่ก็ใช้เป็นพื้นที่พักผ่อนหย่อนใจ ส่วนพื้นที่ที่มีดินลึกมากกว่า 50 ซม. ควรใช้เป็นพื้นที่ปลูกข้าวและพืชไร่ พร้อมกับการดูแลรักษาอย่างสม่ำเสมอ ควรหลีกเลี่ยงการใช้พื้นที่ที่มีศักยภาพทางการเกษตรสูงไปเป็นพื้นที่อุตสาหกรรม

3. ความต้องการใช้น้ำ

การประเมินความต้องการใช้น้ำเป็นการประเมินปริมาณน้ำทั้งหมดไป ซึ่งสามารถแจกแจงความต้องการน้ำได้หลายชนิดดังนี้

3.1 ความต้องการใช้น้ำของพืช

3.1.1 ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ตามทฤษฎี สามารถคำนวณได้จากปริมาณการคายระเหยของพืช (evapotranspiration; ET) โดยเป็นการรวมกันของสองกระบวนการ คือ การระเหยและการคายน้ำของพืช (Allen *et al.*, 1998)

$$ET = K_c \times ET_o \quad (2)$$

เมื่อ ET = ปริมาณการคายระเหยของพืช
 K_c = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช
 ET_o = ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง

3.1.2 การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) คณะผู้เชี่ยวชาญ FAO ได้ยอมรับวิธีของ Penman-monteith เป็นมาตรฐานใหม่ในการหาค่า ET_o ซึ่งในการพัฒนาสมการได้กำหนดให้พืชอ้างอิงมีความสูงสม่ำเสมอเท่ากับ 0.12 ม. ใช้ค่าการสะท้อนของรังสี (albedo) เท่ากับ 0.23 ค่าความต้านทานพื้นผิวหน้าของพืช (surface resistance) เท่ากับ 70 วินาทีต่อเมตร ซึ่งจะคล้ายคลึงกับหญ้าที่แผ่คลุมดิน เจริญเติบโตได้ดี และได้รับน้ำอย่างเพียงพอ (Allen *et al.*, 1998)

$$Et_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma(900/(T + 273))u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (3)$$

เมื่อ ET_o = ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง (มม./วัน)
 R_n = รังสีแสงอาทิตย์สุทธิที่ระดับผิวหน้าของพืชอ้างอิง (MJ/ตร.ม/วัน)
 G = soil heat flux density (MJ/ตร.ม/วัน)
 T = อุณหภูมิเฉลี่ยที่ความสูง 2 ม. จากพื้นดิน (องศาเซลเซียส)
 u_2 = ความเร็วลมที่ความสูง 2 ม. จากพื้นดิน (ม./วินาที)
 e_s = saturation vapor pressure (kPa)
 e_a = actual vapor pressure (kPa)

Δ = slope vapor pressure curve (kPa/องศาเซลเซียส)

γ = psychometric constant (kPa/องศาเซลเซียส)

3.1.3 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c) เป็นค่าการคายระเหยของพืชเปรียบเทียบกับพืชอ้างอิง ซึ่งค่า K_c นี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 4 อย่าง คือ ชนิดของพืช (crop type) สภาพอากาศ (climate) การระเหยของน้ำจากผิวดิน (soil evaporation) และช่วงเติบโตของพืช (crop growth stage) การคำนวณหาค่า K_c สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ ดังสมการของ Allen *et al.* (1998) ดังต่อไปนี้

$$K_c = \frac{ET}{ET_o} \quad (4)$$

เมื่อ K_c = สัมประสิทธิ์การคายระเหยของพืช
 ET = ปริมาณการคายระเหยของพืช
 ET_o = ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง

นอกจากปัจจัยที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อค่า K_c เช่น การจัดการน้ำในสภาวะที่ดินเปียกชื้น การคายระเหยของพืชก็จะอยู่ในสภาวะปกติ ในทางตรงกันข้าม ในสภาวะที่ดินแห้งพืชจะพยายามรักษาน้ำเอาไว้โดยการหุบปากใบให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดการคายน้ำ ซึ่งจะทำให้ค่า K_c ลดลงไปด้วย ฉะนั้น การหาค่าปริมาณการคายระเหยของพืชภายใต้สภาวะการจัดการน้ำต่าง ๆ จะต้องคูณสัมประสิทธิ์การจัดการน้ำ (water stress coefficient: K_s) ซึ่ง K_s จะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ ดังสมการที่ Allen *et al.* (1998) ได้ให้ไว้ดังนี้

$$ET_{adj} = K_s \times K_c \times ET_o \quad (5)$$

เมื่อ ET_{adj} = ปริมาณการคายระเหยของพืชภายใต้สภาวะการจัดการน้ำ
 K_s = สัมประสิทธิ์การจัดการน้ำ (water stress coefficient)
 K_c = สัมประสิทธิ์การคายระเหยของพืช
 ET_o = ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง

3.2 ความต้องการใช้น้ำของป่าไม้

ป่าไม้เป็นทรัพยากรที่จัดอยู่ในประเภทที่สามารถเกิดทดแทนขึ้นใหม่ได้ ในความหมายทางวิชาการป่าไม้คือสังคมของต้นไม้และสัตว์ใหญ่น้อยนา ๆ ชนิดที่มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน มีการใช้ประโยชน์จากน้ำ อากาศ และวัตถุธาตุต่าง ๆ ในดิน เพื่อการเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ของตนเอง อีกทั้งอำนวยความสะดวกทุกด้านแก่สังคมของมนุษย์ (นิวัต, 2531)

3.2.1 ชนิดของป่าไม้

อุทิศ (2550) ให้ความเห็นไว้ในวิชา biodiversity in sustainable Land use and natural resource management ว่า ประเทศไทยมีสังคมแห่งชีวิต (biotic community) หรือระบบนิเวศ (ecosystem) อยู่มากมายหลายรูปแบบที่มีความแตกต่างกันไปทั้งโครงสร้างและองค์ประกอบของชนิดพันธุ์ อย่างไรก็ตาม ระบบการจำแนกสังคมแห่งชีวิตในทางนิเวศวิทยาป่าไม้ ได้มีการจำแนกสังคมพืชคลุมดินเอาไว้ เป็น 2 สังคม คือ 1) สังคมป่าไม้ผลัดใบ (evergreen forests) ประกอบด้วย ป่าดงดิบเขา (hill evergreen forest) ป่าสน (pine forest) ป่าดงดิบแล้ง (dry evergreen forest) ป่าดงดิบชื้น (tropical moist evergreen Forest) ป่าชายหาด (beach forest) และป่าพรุ (swamp forest) ป่าชายเลน (mangrove forest) และ 2) สังคมป่าผลัดใบ (deciduous forests) ประกอบด้วย ป่าเบญจพรรณ (mixed deciduous forest) ป่าเต็งรัง (deciduous dipterocarp forest) ป่าทุ่ง (tropical savanna) และทุ่งหญ้าเขตร้อน (tropical grassland) ซึ่งสอดคล้องกับ (นิวัต, 2548) ได้กล่าวว่าป่าไม้ในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักคือ ป่าไม้ผลัดใบ และ ป่าผลัดใบ 1) ป่าไม้ผลัดใบส่วนใหญ่มีใบเขียวชอุ่มตลอดปี ถึงแม้ว่าใบจะร่วงหล่นไปก็จะมีใบอ่อนแตกใหม่มาแทนที่โดยไม่ทิ้งใบหมดพร้อม ๆ กันทั้งต้น 2) ป่าผลัดใบเป็นป่าที่ขึ้นบนพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 1,000 เมตร มีสภาพอากาศค่อนข้างแห้งแล้ง พันธุ์ไม้ส่วนใหญ่จะทิ้งใบในฤดูแล้งและเริ่มแตกใบใหม่ในช่วงฤดูฝน

3.2.2 กระบวนการสูญเสียน้ำของป่าไม้

ป่าไม้ประกอบด้วยพืชหลากหลายชนิดปะปนกัน ซึ่งสามารถแยกออกเป็นไม้ชั้นบนสุด ไม้ชั้นกลาง และไม้ชั้นล่าง การสูญเสียน้ำของป่าไม้มี 2 ลักษณะคือ การระเหย (evaporation) และการคายน้ำ (transpiration) ฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ป่า ส่วนหนึ่งจะตกค้างและถูกดูดซับโดยพุ่มเรือนยอด (interception) ก่อนที่จะไหลหยด (canopy drip) หรือไหลตามกิ่งก้านและลำต้น (stem flow) ลงสู่พื้นดิน และบางส่วนจะตกลงสู่พื้นดินโดยตรง (through fall) ปริมาณน้ำที่ตกลงสู่พื้นดินจะถูกดูดซับโดยเศษไม้ใบหญ้าที่ปกคลุมผิวหน้าดิน และบางส่วนจะระเหยกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ ส่วนที่

เหลือจะไหลบ่าเป็นน้ำท่าไปสู่ลำธารตามแรงโน้มถ่วง สำหรับน้ำที่ไหลลงสู่ผิวดิน ส่วนหนึ่งจะถูกอุ้มน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งจะถูกพืชนำกลับมาใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต ที่เหลือจากการอุ้มน้ำของดินก็จะซึมลงไปเติมในชั้นน้ำใต้ดิน และไหลไปสู่ลำธารตามแรงโน้มถ่วงต่อไป (Bruijnzeel, 1990)

3.2.3 การใช้น้ำของป่าไม้

การใช้น้ำของป่าไม้โดยรวมหมายถึง การสูญเสียน้ำจากการตกค้าง และการระเหยจากผิวใบหรือพุ่มเรือนยอด โดยทั่วไปแล้วการใช้น้ำของป่าไม้จะประเมินจากปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำเปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ หรือ สามารถหาได้จากค่าการคายระเหยน้ำของป่าไม้ (Bruijnzeel, 1990)

1) การใช้น้ำของป่าดิบและป่าดิบเขา

Bruijnzeel (1990) ได้รวบรวมข้อมูลการสูญเสียน้ำจากป่าดิบเขาเขตในร้อนตามภูมิภาคต่างๆ ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่าการสูญเสียน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 55 ของปริมาณฝนที่ตก แต่สำหรับพื้นที่ป่าบริเวณที่อยู่ในตำแหน่งละติจูดที่ใกล้เคียงกับประเทศไทย และสภาพภูมิอากาศที่ใกล้เคียงกัน เช่นประเทศฟิลิปปินส์ มีการสูญเสียน้ำของป่าดิบร้อยละ 38 ส่วนป่าดิบในที่สูงมีอัตราการสูญเสียน้ำน้อยกว่าป่าดิบในที่ต่ำ และป่าดิบที่อยู่สูงกว่าระดับ 1,800 เมตร ขึ้นไปจะสูญเสียน้ำน้อยที่สุดประมาณร้อยละ 23 ของปริมาณฝน เพราะบรรยากาศในที่สูงมีลักษณะความชื้นอิ่มตัวการระเหยจึงมีน้อย ดังนั้นละอองน้ำที่อยู่ตามพุ่มเรือนยอดและลำต้นก็จะกลั่นตัวไหลลงสู่พื้นดิน และปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงดินก็จะมากขึ้นด้วย

เรณู (2524) ได้ศึกษาสมดุลน้ำในป่าดิบเขาธรรมชาติที่ห้วยคอกม้า ดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่เพื่อหาค่าการคายระเหยรายเดือน พบว่า การคายระเหยที่มีมากที่สุดคือเดือนกันยายนซึ่งเป็นเดือนที่มีฝนตกมากที่สุด ในการศึกษาได้นำปัจจัยน้ำฝน น้ำท่า และปริมาณความชื้นของดินมาพิจารณา โดยใช้สมการสมดุลน้ำ ดังนี้

$$Et = P - Q \pm \Delta S \quad (6)$$

เมื่อ	Et	=	ปริมาณการคายระเหยจริง (มม.)
	P	=	ปริมาณน้ำฝน (มม.)
	Q	=	ปริมาณน้ำท่า (มม.)
	ΔS	=	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน (มม.)

2) การใช้น้ำของป่าดิบแล้ง

กิตติพงษ์ (2545) ได้ศึกษาการใช้น้ำของป่าดิบแล้ง บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำลำตะคอง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยทำการศึกษาสมมูลน้ำของพื้นที่เพื่อหาค่าปริมาณการคายระเหย ผลจากการศึกษาสมมูลน้ำ พบว่า ปริมาณการคายระเหยน้ำของป่าไม้เท่ากับร้อยละ 40.2 ของปริมาณฝนรายปี โดยใช้สมการดังนี้

$$ET = P - Q - LE \pm \Delta S \quad (7)$$

เมื่อ	ET	=	ปริมาณการคายระเหยจริงรายเดือน (มม.)
	P	=	ปริมาณฝนรายเดือน (มม.)
	Q	=	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (คิดเป็นความสูงของน้ำ, มม.)
	LE	=	ปริมาณการรั่วซึมของน้ำรายเดือน (มม.)
	ΔS	=	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในดินรายเดือน (มม.)

3) การคายระเหยของป่าเบญจพรรณผสมไม้และป่าปลูกผสม

ทรงธรรม และคณะ (2545) ได้ศึกษาการใช้น้ำของป่าเบญจพรรณผสมไม้และป่าปลูกผสมบริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ปรากฏว่าพื้นที่ป่าปลูกผสมมีปริมาณการคายระเหยน้ำรายปีเฉลี่ยในช่วงเวลา 6 ปี สูงกว่าป่าเบญจพรรณผสมไม้ เนื่องจากว่าป่าปลูกผสมมีพื้นที่ผิวใบมากกว่าหรือมีพุ่มเรือนยอดที่ทึบกว่า จากผลการศึกษาปริมาณการคายระเหยของป่าเบญจพรรณผสมไม้ และป่าปลูกผสม เท่ากับ 1,255 มม. ต่อปี และ 1,161 มม. ต่อปี ตามลำดับ โดยทำการศึกษาดูการทำสมมูลน้ำรายเดือนสะสม ดังสมการต่อไปนี้

$$cEt = cP - cQ - cL \pm \Delta S \quad (8)$$

เมื่อ	cEt	=	ค่าสะสมการคายระเหยน้ำตามจำนวนเดือนที่สะสม (มม.)
	cP	=	ปริมาณน้ำฝนสะสมตามจำนวนเดือน (มม.)
	cQ	=	ปริมาณน้ำท่าสะสมตามจำนวนเดือน (มม.)
	cL	=	ปริมาณการรั่วซึมสะสมตามจำนวนเดือน (มม.)
	ΔS	=	ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนไปตามจำนวนเดือนสะสม (มม.)

4) การคายระเหยของป่ากร้าง และไม้ผล

พงษ์ศักดิ์ และคณะ (2533) ได้ศึกษาการใช้น้ำจากพื้นที่ป่ากร้างและไม้ผล เช่น เงาะ ทุเรียน ยางพารา มันสำปะหลัง มะม่วง ขนุน และกระท้อน ซึ่งแต่ละพื้นที่เป็นพื้นที่ขนาดเล็ก ปริมาณน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดิน ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ป่ากร้างมีค่าการคายระเหยสูงสุด 1,502 มม. ต่อปี รองลงมาได้แก่กระท้อน ยางพารา ขนุน มันสำปะหลัง เงาะ ทุเรียน และมะม่วง 1,499 1,497 1,495 1,487 1,476 1,474 และ 1,471 มม. ต่อปี ตามลำดับ โดยใช้สมการสมดุลน้ำดังต่อไปนี้

$$E_t = P - P_e \pm \Delta S \quad (9)$$

- เมื่อ E_t = ปริมาณการคายระเหยน้ำรายเดือน (มม.)
 P = ปริมาณน้ำฝน (มม.)
 P_e = ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านชั้นดิน รากพืช ลงสู่ดินชั้นล่าง (มม.)
 ΔS = การเปลี่ยนแปลงของน้ำในดิน (มม.)

5) การคายระเหยของป่าสน

ธรรมบุญ และอาทร (2545) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมดุลน้ำในพื้นที่กลุ่มน้ำห้วยแม่ป่อง ซึ่งเป็นป่าสนสามใบอายุ 9 ปี มีพื้นที่ 0.96 ตร.กม. และห้วยน้ำกาด ซึ่งเป็นป่าสนสามใบอายุ 22 ปี มีพื้นที่ 1.96 ตร.กม. ที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษาสมดุลน้ำ พบว่าการคายระเหยน้ำของสวนสนสามใบอายุ 9 ปี และสวนสนสามใบอายุ 22 ปี มีค่าการคายระเหยร้อยละ 20.7 และ 17.9 ของปริมาณฝน ตามลำดับ โดยใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

$$E_t = P - L_e \pm \Delta S \quad (10)$$

- เมื่อ E_t = ปริมาณการคายระเหยน้ำรายเดือน (มม.)
 P = ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มม.)
 L_e = ปริมาณการรั่วซึมของน้ำรายเดือน (มม.)
 ΔS = การเปลี่ยนแปลงของน้ำในดินรายเดือน (มม.)

3.3 ความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ

กรมทรัพยากรน้ำ (2546) กล่าวว่า การประเมินความต้องการน้ำเพื่อรักษาสมดุลนิเวศวิทยาท้ายน้ำ โดยทั่วไปจะกำหนดจากปริมาณน้ำต่ำสุดที่ไหลในฤดูแล้งของลำน้ำนั้น ๆ ในอดีต

4. ลุ่มน้ำ

เกษม (2551) ให้นิยามลุ่มน้ำไว้ว่า ลุ่มน้ำอาจเป็นสภาพอะไรก็ได้ เช่น ลุ่มน้ำป่าไม้ ลุ่มน้ำภูเขา ลุ่มน้ำที่ราบ และอื่น ๆ พื้นที่ลุ่มน้ำในธรรมชาตินั้นมีความหลากหลายของ patch หรือสรรพสิ่งคละกันเป็น landscape คือ มีทั้งพืช สัตว์ ดิน น้ำ ถนน เมือง อุตสาหกรรม ป่าไม้ มนุษย์ โบราณสถาน วัดวาอาราม และอื่น ๆ อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม

4.1 การจัดการลุ่มน้ำ

นิพนธ์ (2539) ได้กล่าวว่า การจัดการลุ่มน้ำคือการจัดการทรัพยากรในพื้นที่ลุ่มน้ำเพื่อให้ได้น้ำที่มีปริมาณมากพอ คุณภาพดี และมีการไหลสม่ำเสมอ พร้อมทั้งควบคุมเสถียรภาพของดินและทรัพยากรอื่น ๆ ให้เกิดประโยชน์ต่อผู้อยู่อาศัยทั้งในพื้นที่ และตอนล่างของลุ่มน้ำอย่างยั่งยืน การพิจารณาการจัดการพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งมักจะมองเป็นระบบ การจัดการลุ่มน้ำจึงมักมีความหมายไปในทำนองการจัดระบบนิเวศ เพื่อให้ได้ทรัพยากรน้ำตามต้องการ สอดคล้องกับ เกษม (2551) ได้ให้คำจำกัดความในการจัดการลุ่มน้ำว่า การจัดการลุ่มน้ำหมายถึงการจัดการพื้นที่เพื่อให้ได้น้ำที่มีปริมาณมากพอ คุณภาพดี การไหลสม่ำเสมอ พร้อมทั้งควบคุมเสถียรภาพของดิน ลดความเสียหายจากน้ำท่วม และใช้ทรัพยากรในลุ่มน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ และ นิพนธ์ (2539) ยังกล่าวอีกว่า แนวคิดการจัดการลุ่มน้ำตามหลักการทางนิเวศวิทยา ก็เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากการมุ่งแก้ไขปัญหาค้นหาอันใดอันหนึ่งเพียงประเด็นเดียว เพราะจุดมุ่งหมายของการจัดการลุ่มน้ำ ต้องการให้เกิดสมดุลของทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ขณะเดียวกันต้องมีผลดีต่อชุมชนทั้งที่อยู่อาศัยในเขตลุ่มน้ำ และอยู่นอกเขตได้พื้นที่ลุ่มน้ำลงมาด้วย ดังนั้นเป้าหมายสูงสุดของการจัดการลุ่มน้ำที่เกิดจากมโนทัศน์ทางนิเวศวิทยา จึงเป็นการเพิ่ม และรักษาไว้ซึ่งความมั่นคงของระบบนิเวศของพื้นที่ อันจะมีผลตอบสนองไปถึงความมั่นคง และความเป็นสุขในการดำรงชีพของมนุษย์ พร้อมกับผลผลิตที่ยั่งยืนจากทรัพยากรธรรมชาติทุกอย่างในพื้นที่ลุ่มน้ำนั่นเอง

4.2 ความสัมพันธ์ของทรัพยากรดิน น้ำ และป่าไม้

เกษม (2539) กล่าวว่า ดิน น้ำ และป่าไม้ เป็นทรัพยากรที่สัมพันธ์กันอย่างแน่นแฟ้นยากที่จะแยกออกจากกันได้ เมื่อมีดินก็ต้องมีน้ำและมีต้นไม้ การทำลายดินเท่ากับเป็นการทำลายน้ำและต้นไม้ หรือการทำลายน้ำก็เท่ากับทำลายดินและต้นไม้ ในทำนองเดียวกันเมื่อทำลายป่าหรือพืชคลุมดินแล้วจะทำให้สมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะการซึมน้ำผ่านผิวดินและการไหลซึมลงสู่ดินชั้นล่างรวมไปถึงสมรรถนะการอุ้มน้ำก็ลดน้อยลงไปด้วย การมีสัดส่วนที่เหมาะสมของดิน น้ำ ป่าไม้นั้น ทำให้ระบบลุ่มน้ำนอกจากจะรักษาลักษณะการไหลของน้ำในลำห้วยลำธารอย่างสม่ำเสมอแล้ว ยังเป็นการรักษาสมดุลของสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

กรมพัฒนาที่ดิน (2534) ได้รายงานถึงปัญหาการทำเกษตรกรรมบนที่สูงที่พบในภาคเหนือของประเทศ คือ ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ เกิดการชะล้างพังทลายของดิน เกิดการขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตร และปัญหาน้ำท่วมในบางพื้นที่ ทั้งนี้เป็นเพราะการใช้ที่ดินในการเพาะปลูกพืชไม่ถูกวิธี ไม่เหมาะสมกับสภาพของพื้นที่ การทำไร่เลื่อนลอยก่อให้เกิดความเสียหายใหญ่หลวงป่าไม้ซึ่งเป็นแหล่งต้นน้ำลำธารถูกบุกรุกทำลาย ทำให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำลดน้อยลง จนไม่เพียงพอต่อการทำการเกษตรในพื้นที่ราบในฤดูแล้ง พร้อมกันนั้นก็ทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันในฤดูฝน เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้ง่าย ทำให้ดินเสื่อมคุณภาพทั้งทางด้านเคมีและกายภาพของดิน ส่งผลกระทบต่อความสมดุลทางธรรมชาติ และระบบนิเวศโดยรวม

สมาน (2523) กล่าวว่า บริเวณที่มีต้นไม้ขึ้นปกคลุมหนาแน่น น้ำฝนส่วนใหญ่จะซึมลงไปเป็นน้ำใต้ดินเป็นส่วนมาก หรืออาจมีบางส่วนกลายเป็นน้ำไหลใต้ผิวดิน ทำให้น้ำที่ไหลบ่าหน้าผิวดินมีน้อย น้ำในลำธารจะค่อยเพิ่มขึ้นและลดลงหลังจากฝนตก ตลอดจนทำให้ลำธารมีน้ำไหลต่อเนื่องตลอดปี นอกจากนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุใต้พื้นที่ป่า เช่น ซากพืช เศษใบไม้ กิ่งไม้ ยังมีบทบาทต่อการอุ้มน้ำอีกด้วย

Downes (1963) กล่าวถึงอิทธิพลของการใช้ที่ดินที่มีความแตกต่างกัน เช่น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ไร่ร้าง พื้นที่ชุมชนหรือเมือง จะทำให้ลักษณะการไหลของน้ำทำแตกต่างกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจะมีผลทำให้การไหลของน้ำในลำธาร การสะสมของน้ำในดิน และการคายระเหยของน้ำเปลี่ยนแปลงไป และชี้ให้เห็นว่า ความสมดุลของน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างเด่นชัดเมื่อมนุษย์เข้าไปทำกิจกรรมต่างๆในแหล่งต้นน้ำลำธาร ทั้งนี้ เพราะป่าไม้และพืชคลุมดินมีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำในลำธาร และส่งผลทำให้ขบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วย

Nemec (1964) กล่าวว่า พีชพรรณที่ปกคลุมดินมีบทบาทต่อปริมาณน้ำในลำธารเนื่องจากพีชพรรณดังกล่าวจะช่วยยับยั้งการไหลบ่าผิวดิน และการไหลของน้ำใต้ดินทำให้น้ำมีโอกาสซึมลงไปในดินได้มาก ช่วยลดอัตราการไหลของน้ำในลำธาร จึงทำให้ปริมาณน้ำในลำธารมีอย่างสม่ำเสมอตลอดปี

Hewlett (1961) กล่าวว่า น้ำที่ถูกกักเก็บในดินจนถึงระดับอิ่มตัว จะสามารถระบายลงสู่ลำธารได้อย่างรวดเร็ว และน้ำในดินที่มีปริมาณความชื้นในระดับสนามจะระบายน้ำสู่ลำธารอย่างช้าๆ นอกจากนี้ การไหลของน้ำในลำธาร และการไหลบ่าของน้ำเหนือผิวดินจะได้รับอิทธิพลอย่างมากจากสมบัติของดิน ความชื้นในดิน และลักษณะการใช้ที่ดิน

5. แบบจำลองทางอุทกวิทยา

การจัดการทรัพยากรในพื้นที่ลุ่มน้ำให้มีผลตอบสนอง ต่อความต้องการในเรื่องของน้ำใต้ดินนั้น จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย ทั้งนี้นอกจากจะเป็นเครื่องมือช่วยชี้แนวทางการจัดการในเบื้องต้นแล้ว ยังทำให้ทราบถึงกระบวนการและกลไกต่าง ๆ ทางอุทกวิทยาที่จะสามารถกำหนดรูปแบบ และวิธีการจัดการได้ละเอียดถี่ถ้วนอีกด้วย (นิพนธ์, 2549)

5.1 แบบจำลองอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นแบบจำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาในระดับลุ่มน้ำ ซึ่งได้พัฒนาขึ้นโดย Jeff Arnold เพื่อทำนายผลกระทบของการบริหารจัดการการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำ ตะกอน และสารเคมีจากพื้นที่ทำการเกษตร ในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ และสลับซับซ้อน ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของดิน การใช้ที่ดิน และการจัดการ เป็นต้น SWAT model ได้พัฒนาขึ้นภายใต้การสนับสนุนของ The United States Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service (ARS) at Grassland, Soil and Water Research Laboratory, และ Texas Agricultural Experiment Station at Blackland Research Center in Temple, Texas (Neitsch *et al.* 2005) SWAT เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่สามารถใช้ติดต่อกับข้อมูลระบบ GIS ได้ มีการคำนวณผลลัพธ์ที่ต่อเนื่องบนพื้นฐานทางกายภาพลุ่มน้ำ สามารถทำการจำลองเป็นรายวัน รายเดือน และรายปีได้ แบบจำลอง SWAT ใช้ชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ในส่วนของคุณสูง สิ่งคลุมดิน และลักษณะของดิน โดยมีความเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลภูมิอากาศ คุณลักษณะของดิน พีชพรรณ และข้อมูลการจัดการที่ดิน (Bingner, 1996; Brown *et al.*, 1996; Arnold *et al.*, 1998; Zhang *et al.*, 2003; สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2547; Bouraoui *et al.*, 2005; Neitsch *et al.*, 2005; Easton *et al.*, 2008)

5.2 หลักการคำนวณ และองค์ประกอบของแบบจำลอง SWAT

การวิเคราะห์ทางด้านอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำด้วยแบบจำลอง SWAT สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนพื้นดิน (land phase) จะเป็นการศึกษาวงจรอุทกวิทยา เพื่อประเมินหาปริมาณน้ำท่า ตะกอน ไนโตรเจน และสารเคมีจากการเกษตรที่ไหลลงสู่ลำน้ำหลักของแต่ละลุ่มน้ำย่อย และ 2) ส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (water routing phase) จะคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำ ตะกอน ไนโตรเจน และอื่นๆ (Neitsch *et al.*, 2005)

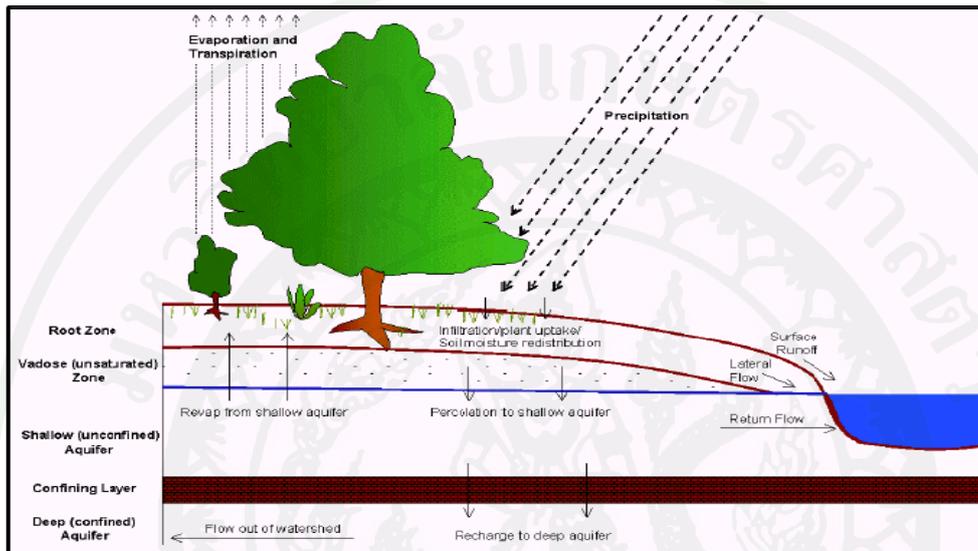
5.2.1 ส่วนพื้นดิน หรือส่วนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (land phase)

เป็นส่วนของการควบคุมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของแบบจำลอง SWAT สามารถแบ่งออกเป็น 8 ส่วน คือ อุทกวิทยา (hydrology) สภาพอากาศ (weather conditions) การตกตะกอน (sedimentation) อุณหภูมิของดิน (soil temperature) การเติบโตของพืช (crop growth) สารอาหาร (nutrients) ยาฆ่าแมลง (pesticides) และการจัดการทางการเกษตร (agricultural management) (Neitsch *et al.*, 2005) ในการศึกษาครั้งนี้จะเกี่ยวข้องกับงานด้านอุทกวิทยาเท่านั้น ดังภาพที่ 5 ซึ่งการศึกษาวงจรอุทกวิทยาในการวิเคราะห์ส่วนพื้นดินใช้สมการสมดุลน้ำ ดังนี้

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (11)$$

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

ขั้นตอนการจำลองกระบวนการของวงจรรูทวิทยา จะกำหนดให้ปริมาณฝนที่จะตกลงสู่พื้นดินถูกพืชกักไว้เป็นบางส่วน ปริมาณฝนส่วนที่เหลือก็จะไหลซึมลงสู่ผิวดินหรือซังนองอยู่ตามผิวดินแล้วรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำ สำหรับปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงสู่ผิวดินส่วนหนึ่งจะถูกเก็บกักไว้ในเนื้อดินซึ่งต่อมาจะระเหยคืนสู่บรรยากาศโดยพืช และอีกส่วนหนึ่งก็จะไหลซึมลงไปยังชั้นน้ำใต้ดิน และจะไหลกลับสู่แม่น้ำลำธารเมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งด้วยการไหลไปทางด้านข้างของน้ำใต้ดิน



ภาพที่ 5 แผนภูมิของวงจรรูทวิทยาในแบบจำลอง SWAT

ที่มา: Neitsch *et al.* (2005)

1) น้ำท่าผิวดิน (surface runoff)

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

$$Q = \frac{(R - 0.2s)^2}{R + 0.8s}, \quad R > 0.2s \quad (12)$$

$$Q = 0.0, \quad R \leq 0.2s \quad (13)$$

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

$$s = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (14)$$

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า CN (curve number) คือ คุณสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน (hydrologic soil group) สิ่งคลุมดิน (land cover) สภาพทางอุทกวิทยา (hydrologic condition) การจำแนกการใช้ที่ดิน (land use classification) และเงื่อนไขความชื้นในดินเริ่มต้น (antecedent moisture content: AMC)

2) อัตราการไหลสูงสุด (peak runoff rate)

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

$$q_{peak} = \frac{C \cdot i \cdot Area}{3.6} \quad (15)$$

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

3) ปริมาณการไหลด้านข้างใต้ผิวดิน (lateral subsurface flow)

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

$$Q_{lat} = 0.024 \cdot \left[\frac{2 \cdot SW_{ly,excess} \cdot K_{sat} \cdot slp}{\phi_d L_{hill}} \right] \quad (16)$$

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

4) ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน (groundwater flow)

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

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + w_{rchrg} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{deep} - w_{pump,sh} \quad (17)$$

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

สำหรับสมดุลของน้ำของเขต deep aquifer แสดงได้ดังสมการ

$$aq_{dp,i} = aq_{dp,i-1} + w_{deep} - w_{pump,dp} \quad (18)$$

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

W_{deep} = ปริมาณน้ำที่ไหลจาก sh ลงสู่ dp ในวันที่ i (มม.)

$W_{\text{pump,dp}}$ = ปริมาณน้ำที่ถูกสูบออกจาก dp ในวันที่ i (มม.)

5) อัตราการคายระเหยน้ำของพืช (evapotranspiration)

ในแบบจำลอง SWAT ได้มีทางเลือกสำหรับการประมาณค่าอัตราการคายระเหยอยู่ 3 วิธี คือ Penman-Monteith, Priestley-Taylor และ Hargreaves and Samani (Neitsch *et al.*, 2005) ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธีของ Penman-Monteith ซึ่งต้องใช้ข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์

$$\lambda E_t = \frac{\Delta \cdot (H_{\text{net}} - G) + \gamma \cdot K_1 \cdot (0.622 \cdot \lambda \cdot \rho_{\text{air}} / P) \cdot [e_z^0 - e_z] / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)} \quad (19)$$

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

E_t = อัตราการคายระเหยสูงสุด (มม./วัน)

K_1 = 8.64×10^4

P = ความดันบรรยากาศ (kPa)

Δ = ความดันไอน้ำอิ่มตัว หรืออุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว (kPa/องศาเซลเซียส)

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

G = พลังงานความร้อนที่พื้นดิน (MJ/ตร.ม./วัน)

ρ_{air} = ความหนาแน่นอากาศ (กก./ลบ.ม.)

e_z^0 = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ความสูง z (kPa)

e_z = ความดันไอน้ำที่ความสูง z (kPa)

r_c = Plant canopy resistance (วินาที/ม.)

r_a = Aerodynamic resistance (วินาที/ม.)

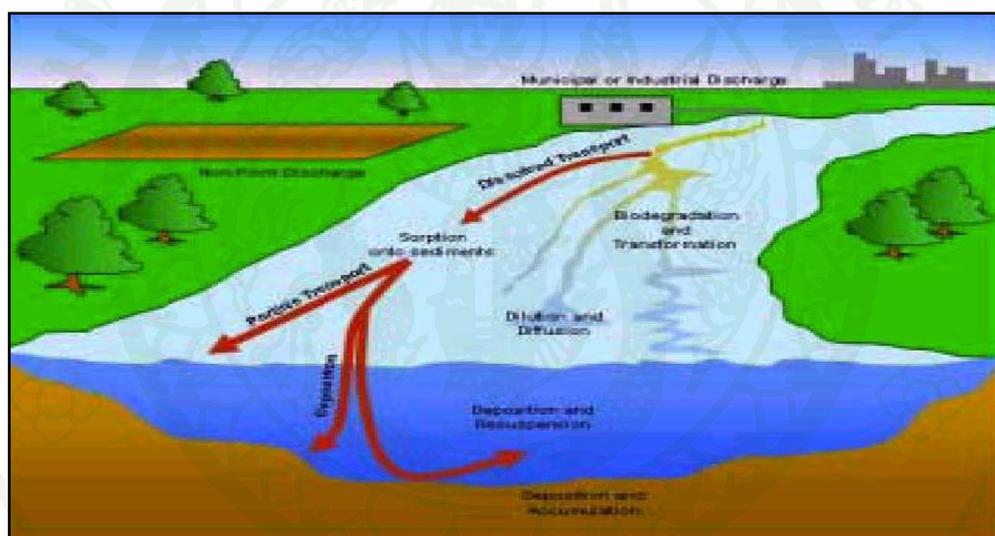
γ = Psychrometrics constant (kPa/องศาเซลเซียส)

5.2.2 ส่วนการเคลื่อนตัวของน้ำ (routing component)

Neitsch *et al.* (2005) กล่าวว่าแบบจำลอง SWAT นั้นนอกจากสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำ ตะกอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสารเคมี ที่เคลื่อนที่ไปตามระบบลำน้ำของกลุ่มน้ำแล้ว ยังสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างลำน้ำและท้องน้ำด้วย โดย

แบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน ได้แก่ การเคลื่อนตัวในลำน้ำ (routing in main channel or reach) และการเคลื่อนตัวในอ่างเก็บน้ำ (routing in the reservoir) ดังภาพแสดงที่ 6

แบบจำลอง SWAT ใช้การเคลื่อนตัวของน้ำด้วยวิธีทางอุทกวิทยา (hydrologic flow routing) และคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านลำน้ำเป็นรายวัน (daily time step) ไม่มีการคำนวณซ้ำ (iteration) ทำให้สามารถทำการจำลองแบบได้ในช่วงเวลาที่ยาวนานบนพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ และสลับซับซ้อนได้ โดยลดข้อมูลที่เป็นรายละเอียดของหน้าตัดทางขวางของทางน้ำ ด้วยการสมมติให้ขนาดของลำน้ำสายหลักมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ความลาดเทด้านข้าง (channel side slope) เป็น 2:1 สำหรับบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง (floodplain) แบบจำลองจะทำการสร้างขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในทางน้ำมีความลึกมากกว่าความลึกทั้งหมด โดยจะกำหนดให้ความกว้างบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงกว้างเป็น 5 เท่าของความกว้างด้านบนของทางน้ำ และความลาดเทด้านข้างเป็น 4:1



ภาพที่ 6 กระบวนการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำของแบบจำลอง SWAT

ที่มา: Neitsch *et al.* (2005)

ข้อมูลนำเข้าของลำน้ำในแบบจำลอง soil and water assessment tool; SWAT ประกอบด้วย ความยาวของช่วงของลำน้ำ ความลาดชันลำน้ำ ความลึกลำน้ำ ความกว้างลำน้ำ ด้านบน ความลาดเทของทุ่งน้ำท่วม ค่าสัมประสิทธิ์ manning's n ของลำน้ำและทุ่งน้ำท่วม โดยแบบจำลอง SWAT สามารถทำการเตรียมข้อมูลนำเข้าพื้นฐาน เช่น ความยาวของลำน้ำ และความลาดเทของท้องน้ำ เป็นต้น

ปริมาณน้ำไหลออก (outflow) จากช่วงของลำน้ำหาค่าได้จากสมการดังนี้

$$O_i = SC (I_i + S_{i-1}) \quad (20)$$

เมื่อ O_i = ปริมาณน้ำไหลออกของวันที่ i (ลบ.ม.)

I_i = ปริมาณน้ำไหลเข้าของวันที่ i (ลบ.ม.)

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

SC = ค่า Storage coefficient, สามารถประมาณค่าโดยใช้สมการดังนี้

$$SC = \frac{2 \cdot \Delta t}{2 \cdot TT + \Delta t} \quad (21)$$

เมื่อ TT = Travel time (ชั่วโมง)

อัตราการไหล (q_{ch}) และความเร็ว (v_c) ของน้ำเฉลี่ย จะคำนวณโดยใช้สมการ manning's equation ดังนี้

$$q_{ch} = \frac{A_{ch} \cdot R_{ch}^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{\eta} \quad (22)$$

$$v_c = \frac{R_{ch}^{2/3} \cdot slp_{ch}^{1/2}}{\eta} \quad (23)$$

เมื่อ A_{ch} = พื้นที่หน้าตัดการไหล (ตร.ม.)

R_{ch} = รัศมีชลศาสตร์ (ม.)

slp_{ch} = ความลาดชันของลำน้ำ (ม./ม.)

η = สัมประสิทธิ์แมนนิง

6. การปรับเทียบและทดสอบแบบจำลอง

6.1 การปรับเทียบปริมาณการไหล

Neitsch *et al.* (2005) กล่าวว่า การปรับเทียบแบบจำลองในโปรแกรม SWAT มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดความแตกต่าง ระหว่าง ข้อมูลจากการวัดกับข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลองให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องปรับเทียบทุกพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ศึกษา โดยทำการปรับเทียบลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ด้านตอนบนก่อน จากนั้นจึงค่อย ๆ ปรับเทียบลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ถัดลงไปทางด้านท้ายน้ำ จนถึงจุดปลายสุดของลุ่มน้ำหลัก

ในการปรับเทียบปริมาณการไหล จำเป็นต้องมีข้อมูลตรวจวัดปริมาณการไหลที่จุดออก ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษา โดยเริ่มปรับเทียบจากปริมาณน้ำท่ารายปี เมื่อผลการคำนวณจากแบบจำลองสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดดีแล้ว จึงค่อยทำการปรับเทียบปริมาณการไหลรายเดือน และรายวันต่อไป การปรับเทียบแบบจำลองเป็นการปรับเทียบค่าปริมาณการไหลในแบบจำลอง โดยปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการคำนวณปริมาณการไหลของแบบจำลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการคำนวณปริมาณการไหล

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

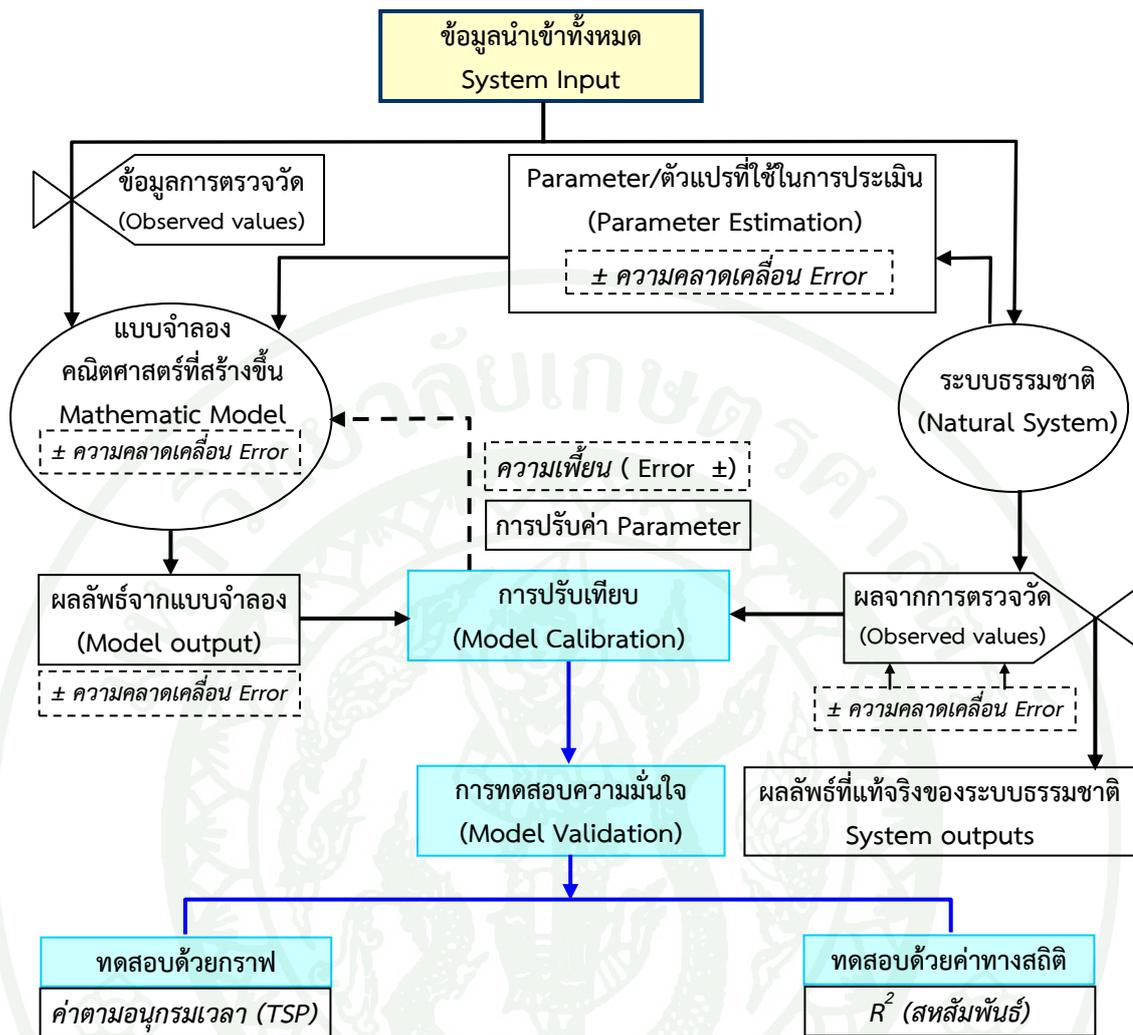
โดยที่

CN	SCS runoff curve number
SOL_AWC	ปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บไว้ได้
ESCO	factor ชดเชยการระเหยในดิน
GW_REVAP	ค่าสัมประสิทธิ์น้ำใต้ดินที่ไหลออกจากชั้น shallow aquifer ไปสู่ชั้นดินเขตรากพืช

REVAPMN	ปริมาณน้ำที่น้อยสุดในชั้น shallow aquifer ที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำใต้ดินจาก shallow aquifer ขึ้นสู่ชั้นดินเขตรากพืช หรือไหลซึมลึกลงสู่ชั้น deep aquifer
GWQMN	ปริมาณน้ำที่น้อยสุดในชั้น shallow aquifer ที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำใต้ดินจาก shallow aquifer เป็นปริมาณน้ำไหลกลับ

นิพนธ์ (2549) กล่าวว่า การปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) คือการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยข้อมูลหรือสารสนเทศที่มีการตรวจวัดไว้แล้ว ทั้งที่เป็นข้อมูลหรือสารสนเทศนำเข้า (input information) และข้อมูลหรือสารสนเทศที่เป็นผลลัพธ์ (output information) เพื่อเป็นการปรับ (adjust) หรือประมาณค่าปัจจัยในกรณีที่ยังไม่มีข้อมูลปรากฏ ส่วนการทดสอบเพื่อความมั่นใจ (validation) เป็นการเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ตรวจวัดจากระบบสิ่งแวดล้อมจริง อันที่จริงแล้วการทดสอบความมั่นใจ ก็เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่ได้ปรับเทียบ (calibrated) ไปแล้ว สามารถประเมินผลในทุกกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรและสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ดีมากน้อยเพียงไร

การตรวจสอบความมั่นใจในแบบจำลองมีหลายวิธีด้วยกัน โดยหลักการมักจะใช้ข้อมูลช่วงแรก ๆ (อย่างน้อย 3 ถึง 5 ปี) ที่ใช้ในการปรับเทียบเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ผลที่ได้สอดคล้องกับการตรวจวัด ในทางปฏิบัติแล้วกระบวนการปรับเทียบ และการตรวจสอบความมั่นใจแบบจำลอง สามารถดำเนินไปได้อย่างเป็นระบบ ดังภาพที่ 7 แสดงกระบวนการปรับเทียบและทดสอบความมั่นใจของแบบจำลอง



ภาพที่ 7 กระบวนการปรับเทียบ และทดสอบความมั่นใจของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ที่มา: นิพนธ์ (2549) ดัดแปลงจาก Donigian (2002)

6.2 ปรัชญาในการปรับเทียบและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

แบบจำลองที่ประยุกต์ใช้ในการจัดการลุ่มน้ำนั้น เป็นแบบจำลองที่ใช้แทนกระบวนการและปฏิสัมพันธ์อันซับซ้อนของระบบนิเวศ และพลวัตประชากร จึงเป็นการยากที่จะจำลองแบบให้ได้ผลลัพธ์ร้อยละร้อย แบบจำลองทุกแบบย่อมให้ผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อน (error) ไปจากความเป็นจริงที่เกิดขึ้น ฉะนั้น ปรัชญาของการปรับเทียบแบบจำลองก็คือ “ให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้” (นิพนธ์, 2549)

6.3 การทดสอบการประยุกต์ใช้ได้ของแบบจำลอง

นิพนธ์ (2549) กล่าวว่าวิธีการที่ควรใช้วัดความถูกต้องของการเปรียบเทียบ และความถูกต้องของแบบจำลองนั้น ประกอบด้วย

6.3.1 ใช้การสร้างกราฟเปรียบเทียบ ระหว่าง ค่าที่ได้จากแบบจำลองกับการตรวจวัดจริง (graphical comparisons) โดยมี 3 วิธี เช่น 1) พล็อตกราฟเปลี่ยนแปลงตามเวลา ของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าตรวจวัดจริงของพารามิเตอร์เดียวกันในเวลาเดียวกัน 2) ใช้กราฟเส้นทะแยงมุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส 45 องศา ตัดสินความสอดคล้องระหว่างค่าตรวจวัดจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง และ 3) ใช้กราฟค่าการแจกกระจายสะสมของค่าตรวจวัดจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองตามอนุกรมเวลาที่กำหนดเป็นตัวเปรียบเทียบ

6.3.2 ใช้วิธีการทดสอบทางสถิติ (statistical tests) ซึ่งดำเนินการได้ด้วยวิธีต่าง ๆ คือ 1) หาความคลาดเคลื่อนทางสถิติ เช่น หาค่าสัมประสิทธิ์ความผันผวน (CV) หาค่าดัชนีการลดความคลาดเคลื่อนของค่าประมาณ (REE) หรือหาค่าโมเมนต์ที่สอง (M^2) 2) การเปรียบเทียบแบบจำลองด้วยเทคนิคความเหมาะสมที่สุด เช่น การหาค่าสหสัมพันธ์ทางสถิติ (coefficient of determination, R^2) 3) ทดสอบด้วยค่าความแตกต่างของค่าการแจกกระจายสะสม

6.4 เกณฑ์ในการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง

นิพนธ์ (2549) กล่าวว่า ในความเป็นจริงแล้วการตรวจวัดเครื่องมือ และแบบจำลองที่สร้างขึ้นคงไม่สามารถแทนความเป็นจริงของธรรมชาติได้อย่างถูกต้องร้อยละร้อย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องกำหนดหลักเกณฑ์ในการยอมรับประสิทธิภาพในการทำนาย (predict) ค่าแบบจำลองที่สร้างขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ภาพและการยอมรับความผิดพลาดคลาดเคลื่อนในระดับใด ซึ่ง Donigian (2000) ได้สร้างตารางหลักเกณฑ์กำหนดระดับความสามารถของแบบจำลองอุทกวิทยา เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทั้งในเชิงปริมาณ และคุณภาพ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์ในการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลอง (model calibration and validation)

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

ที่มา: นิพนธ์ (2549) ดัดแปลงจาก Donigian (2002)

อย่างไรก็ตาม เกณฑ์เป็นเพียงแนวทางทั่ว ๆ ไป (general guidance) เท่านั้น ผู้ใช้สามารถกำหนดเกณฑ์เชิงคุณภาพตามเหตุผลตามผลที่เป็นจริงในขณะนั้น ๆ ก็ย่อมได้ นอกเหนือจากเกณฑ์ดังกล่าวแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient of determination; R^2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) ก็เป็นที่นิยมใช้ในการประเมินศักยภาพ หรือประสิทธิภาพในการทำนายผลของแบบจำลอง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เกณฑ์ในการใช้ค่า R^2 และ r ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงเส้น

พารามิเตอร์ทางสถิติ	สัมประสิทธิ์ยอมรับในระดับต่าง ๆ				
r	← 0.75	0.80	0.85	0.90	0.96
R^2	←	0.60	0.70	0.80	0.90
Daily flows	ไม่ดี	พอใช้	ดี	ดีมาก	
Monthly flows	ไม่ดี	พอใช้	ดี	ดีมาก	

ที่มา: นิพนธ์ (2549) ดัดแปลงจาก Donigian (2002)

7. ระบบภูมิสารสนเทศ

การพัฒนาที่ก่อให้เกิดถาวรภาพแบบยั่งยืน จำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้น มีความชัดเจน และทันสมัยต่อเหตุการณ์ การนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo - Informatics) มาช่วยในการตัดสินใจด้านการวางแผนการจัดการทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมให้เกิดความยั่งยืนเป็นวิธีการที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนายุคใหม่ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบและสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

สุเพชร (2551) กล่าวว่า ระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์เป็นศาสตร์และศิลป์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นผิวโลก (geospatial data) โดยใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องคือ การรับรู้ระยะไกล (remote sensing; RS) ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (global positioning system; GPS) และระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System; GIS) ในการบริหารจัดการฐานข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่ ที่สามารถนำไปใช้ในการประกอบการวางแผน และการตัดสินใจในการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ ระบบภูมิสารสนเทศ (GIS) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับในการประยุกต์ใช้จัดเตรียมข้อมูลที่ทันเหตุการณ์ เพื่อรองรับการแก้ไขปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น ได้นำระบบภูมิสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในหลายสาขา เช่น ทางธุรกิจ การขนส่ง สาธารณสุข การเกษตร การปกครอง และที่สำคัญคือการนำมาใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การวางแผนการใช้ที่ดิน และการประเมินสิ่งแวดล้อม เป็นต้น นอกจากนี้ ระบบภูมิสารสนเทศจัดได้ว่าเป็นเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ไขปัญหาต่าง ๆ สามารถที่จะประมวลผลข้อมูลจากหลายแหล่ง และนำมาเสนอให้เข้าใจและค้นหาปัญหา ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาได้

George (1997) กล่าวว่า ระบบภูมิสารสนเทศ (GIS) ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อการจัดเก็บ วิเคราะห์ข้อมูลที่แสดงให้เห็นภาพการกระจายของข้อมูลรายละเอียดเชิงซ้อน (visualize spatially distributed data) ซึ่งข้อมูลอาจอยู่ในรูปของแผนที่ที่แสดงถึงระดับความสูง ข้อมูลดิน หรือข้อมูล output จากแบบจำลองทางสิ่งแวดล้อม (environmental models) โดยโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศ สามารถวางซ้อน (overlay) แผนที่ข้อมูลได้หลายๆ ชั้น การแสดงผลและทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนที่ที่สามารถมองเห็นภาพ และวิเคราะห์ได้ถูกต้องทำให้ระบบภูมิสารสนเทศ กลายมาเป็นที่นิยมใช้กับงานหลาย ๆ ด้าน ในปัจจุบันได้นำมาใช้อย่างแพร่หลายในการประเมินทรัพยากรธรรมชาติ (natural resources assessment) และการจำลองแบบทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมขนส่ง การประเมินความเสี่ยง และประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ ตลอดจนสามารถใช้ร่วมกับข้อมูลระยะไกล เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียมได้อีกด้วย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arnold *et al.* (1999) ได้ใช้ระบบภูมิสารสนเทศ GIS (ArcView) และแบบจำลอง SWAT ในการจำลองปริมาณน้ำท่า และสารอาหารในน้ำ (nutrient) ในประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง SWAT สามารถทำการจำลองปริมาณน้ำท่าได้ดี สำหรับระบบการติดต่อผู้ใช้งาน (interface) ที่เป็น GIS จะทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำได้อย่างอัตโนมัติ และทำการดึงข้อมูลจากแผนที่ได้พร้อมกันนั้น ก็ยังสามารถใช้ระบบฐานข้อมูลมาช่วยในส่วนของข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยการแสดงผลของข้อมูลอยู่ในรูปกราฟของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยนั้น ๆ

Srinivasan *et al.* (1996) ได้พัฒนาระบบ SWAT-GIS ขึ้น เพื่อใช้ในการจำลองแบบทางด้านอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำของประเทศสหรัฐอเมริกา เรียกว่า Hydrologic Unit Model for the United States (HUMUS) โดยใช้แบบจำลอง SWAT ร่วมกับ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Geographical Resources Analysis Support System (GRASS-GIS) และระบบจัดการฐานข้อมูล โดยได้ทำการประยุกต์ใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำ Texas Gulf ซึ่งข้อมูลนำเข้าประกอบด้วย ชั้นของข้อมูลดิน, การใช้ที่ดิน และระดับพื้นดิน ซึ่งมีมาตราส่วน 1:250,000 เพื่อทำการจำลองการไหลของน้ำเฉลี่ยรายเดือน

Zhang *et al.* (2003) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในลุ่มน้ำ Luohe ตอนบน ซึ่งเป็นสาขาที่ใหญ่ที่สุดของลุ่มน้ำ Huanghe ที่ประสบกับปัญหาการพังทลายของดิน ซึ่งการจำลองผลผลิตน้ำท่าและตะกอนในอดีตยังไม่นำ GIS และแบบจำลองทางอุทกวิทยามาใช้ในการศึกษาอย่างจริงจัง แบบจำลอง SWAT/GIS ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการจำลองน้ำท่าและตะกอนในลุ่มน้ำ เพื่อทดสอบความสามารถของแบบจำลองในลุ่มน้ำขนาดใหญ่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ตะกอนไหลมากกับน้ำในระดับสูงถึง 770 ตันต่อ ตร.กม ต่อปี ในการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลองได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ coefficient of determination; R^2 และ Nash-Sutcliffe efficiency coefficient; Ens เป็นเกณฑ์ในการประเมินผลคาดการณ์ของแบบจำลอง ผลการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่ได้จากแบบจำลอง และปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่ได้จากการตรวจวัดมีค่ามากกว่า 0.7 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง SWAT เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ได้ และเป็นประโยชน์ในการวางแผนอนุรักษ์ดินและน้ำในลุ่มน้ำ Huanghe

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2547) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT บนพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยทำการศึกษาและประเมินสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมของ SWAT/GIS ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบนและลุ่มน้ำป่าสัก สำหรับการไหลที่มีการควบคุม (regulated flow) และไม่มีการควบคุม (unregulated flow) และเปรียบเทียบผลการศึกษาการใช้แบบจำลอง พบว่า จำนวนสถานีวัดน้ำฝน

มากจะทำให้ข้อมูลปริมาณฝนสามารถเป็นตัวแทนของปริมาณน้ำที่เกิดในพื้นที่ และมีผลทำให้ค่า R^2 มีค่าสูงขึ้นด้วย จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลอง SWAT/GIS ให้ผลลัพธ์ในระดับที่ดีมาก เหมาะกับการจำลองแบบในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ และให้ผลลัพธ์ในระดับปานกลางในการจำลองกับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก และเหมาะสมกับการจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบที่มีผลมาจากการจัดการพื้นที่

กิตติพงษ์ (2546) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT/GIS เพื่อประเมินสัมพันธภาพในลำน้ำย่อย ที่ อ. อมก๋อย จ. เชียงใหม่ โดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็น 7 ลุ่มน้ำย่อย และ 10 HRUs (Hydrologic Response Units) ในการศึกษาได้ทำการแยก baseflow ด้วยวิธี sliding interval ซึ่งทำการพัฒนาด้วยภาษา access basic และ SQL ซึ่งผลของปรับเทียบแบบจำลองโดยการปรับเทียบค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำ ณ. P64 มีค่าความแตกต่างร้อยละ 0.67 -1.16 และ 1.14 ส่วน NP.8 มีค่าความแตกต่างร้อยละ 0.77 0.58 และ -4.33 สำหรับค่าน้ำท่ารวม (total flow) น้ำท่าผิวดิน (surface runoff) และการไหลใต้ดิน (baseflow) ตามลำดับ และแบบจำลอง SWAT/GIS เป็นแบบจำลองที่มีศักยภาพในการจัดเตรียมข้อมูลนำเข้า (input data) ที่มีจำนวนมากให้สามารถใช้งานได้ง่าย

Guo *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาปริมาณน้ำท่ารายปี และรายฤดูกาลที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำ Xinjiang, Poyang lake ประเทศจีน โดยใช้แบบจำลอง SWAT เป็นเครื่องมือในการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่ารายปี ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน หรือสิ่งคลุมดินได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่ารายปีในระดับปานกลาง แต่มีอิทธิพลมากต่อปริมาณน้ำท่ารายฤดูกาล การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ทำให้ระดับความรุนแรงของน้ำหลากเพิ่มขึ้น และส่งผลกระทบต่อภาวะแห้งแล้งมากยิ่งขึ้นเช่นกัน ในทางกลับกัน การเพิ่มขึ้นของป่าไม้จากการฟื้นคืนสภาพพื้นที่การเกษตรมาเป็นพื้นที่ป่าทำให้ปริมาณและอัตราการไหลของน้ำในลำธารลดลงในช่วงฤดูฝน และสามารถเพิ่มปริมาณและอัตราการไหลของน้ำในลำธารในช่วงฤดูแล้งได้ ซึ่งเป็นการลดสถานะน้ำท่วมในฤดูฝน และบรรเทาความแห้งแล้งในฤดูแล้ง

Ouyang *et al.* (2008) ได้ทำการจำลองการปรับเปลี่ยนพื้นที่การเกษตรให้เป็นป่าตามนโยบายพิทักษ์สิ่งแวดล้อม นโยบายการปรับเปลี่ยนพื้นที่การเกษตรให้เป็นป่าที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า CCFP ได้ถูกนำใช้ทั่วประเทศจีน โดยเฉพาะในตอนกลาง และตอนบนของลุ่มน้ำ Yangtze แบบจำลอง SWAT ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินผลกระทบระยะยาวของการปฏิบัตินโยบาย CCFP ต่อปริมาณการไหลของน้ำท่า ตะกอน และสารที่เป็นมลพิษ โดยสร้างแผนการที่เป็นตัวแทนรูปแบบของการปรับเปลี่ยนพื้นที่การเกษตรให้เป็นป่า เช่น scenario A เป็นตัวแทนการใช้ที่ดินที่มีทั้งพื้นที่เกษตรและพื้นที่ป่าไม้อยู่รวมกันก่อนการนำใช้นโยบายพิทักษ์สิ่งแวดล้อม scenario B เป็นการ

ปรับเปลี่ยนพื้นที่การเพาะปลูกตามไหล่เขาที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 25 ให้กลายเป็นป่า ส่วน scenario C และ D เป็นการปรับเปลี่ยนพื้นที่การเพาะปลูกตามไหล่เขาที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 15 และ 7.5 ให้กลายเป็นป่า ตามลำดับ จากผลการศึกษาผลกระทบการใช้นโยบาย CCFP ต่อปริมาณน้ำท่า พบว่า scenario C มีปริมาณน้ำท่าสูงสุด และ scenario B มีปริมาณน้ำท่าต่ำสุด ส่วน scenario A และ D มีปริมาณน้ำท่าใกล้เคียงกันแม้ว่าการใช้ที่ดินจะแตกต่างกัน

Steven *et al.* (1998) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการจำลองผลของการถางป่า ละมေးต่อผลผลิตน้ำท่าใน 8 พื้นที่ลุ่มน้ำในรัฐ Texas ในช่วงปี 1960 ถึง 1998 โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-7 จำแนกการใช้ที่ดิน และได้ใช้ DEM-scale 1:24,000 เป็นข้อมูลสำหรับการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำหลักและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ภายหลังจากปรับเทียบแบบจำลองแล้ว ได้ทำการจำลองการเปลี่ยนพื้นที่ป่าละมေးที่หนาแน่นและปานกลางไปเป็นทุ่งหญ้า พบว่า ในแต่ละลุ่มน้ำย่อย ปริมาณน้ำท่ามีการเปลี่ยนแปลงโดยลุ่มน้ำย่อยทั้งหมดมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกัน การเอาป่าละมေးออกได้ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ และที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า

Xiaobo *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งคลุมดินต่อปริมาณน้ำท่า และตะกอนในลุ่มน้ำ Cedar Creek แม่น้ำ ST. Joseph ที่ Indiana ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้แบบจำลอง SWAT เป็นเครื่องมือในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่า ตะกอน และสิ่งปกคลุมดิน ในลุ่มน้ำ Cedar Creek ซึ่งลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ เป็นพื้นที่เกษตร ป่าไม้ และทุ่งหญ้าหรือพื้นที่โครงการอนุรักษ์ (CRP) มีประมาณร้อยละ 90 ของพื้นที่ในภูมิภาค ยิ่งไปกว่านั้น การใช้ที่ดินได้มีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงปี 2000 ถึง 2004 ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าและตะกอนมีความเชื่อมโยงกับพื้นที่การเพาะปลูก โดยเฉพาะข้าวโพดและถั่วเหลือง ตะกอนมีความอ่อนไหวมากกว่าปริมาณน้ำท่ากรณีมีการเปลี่ยนแปลงสิ่งคลุมดิน การที่มีปริมาณฝนมากไม่ได้หมายความว่าปริมาณน้ำท่ามากตามไปด้วย เพราะว่า สิ่งคลุมดินที่มีความแตกต่างกัน ทำให้สัมประสิทธิ์น้ำท่าเปลี่ยนแปลงไป และสิ่งคลุมดินประเภทข้าวไร้ ถั่ว และข้าวโพดที่เป็นการใช้ที่ดินหลัก ได้ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าและตะกอนในลุ่มน้ำ Cedar Creek

Cao *et al.* (2009) ได้จำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสิ่งคลุมดินต่อวิกฤตการทรัพยากรแหล่งน้ำในลุ่มน้ำ Motueka ประเทศนิวซีแลนด์ โดยใช้แบบจำลอง SWAT เป็นเครื่องมือในการศึกษา หลังจากทำการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลองแล้ว ได้เพิ่ม 2 แผนการศึกษา (scenario) คือ การจำลองสิ่งคลุมดินในอดีต และการจำลองการปลูกต้นไม้เพิ่มเติมศักยภาพของพื้นที่ ทั้ง 2 scenarios ได้ใช้เพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อผลผลิตน้ำท่ารวม การไหลของน้ำใต้ดิน และการไหลของน้ำท่าผิวดิน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ผลผลิตน้ำท่ารวม น้ำท่าผิวดิน และน้ำใต้ดินรายปี มีปริมาณลดลงพอประมาณทั้ง 2 scenarios เมื่อเปรียบเทียบกับ

ใช้ที่ดินจริงในปัจจุบัน สมดุลน้ำรายปีทั้งลุ่มน้ำสำหรับการจำลองการปลูกต้นสนเต็มศักยภาพของพื้นที่ ไม่มีความแตกต่างจากการจำลองสิ่งคลุมดินในอดีตเท่าไรนัก อย่างไรก็ตาม ก็มีความแตกต่างที่เห็นได้ชัดในแต่ละลุ่มน้ำสาขาที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสิ่งคลุมดินของพื้นที่นั้น ๆ ปริมาณการไหลของน้ำต่ำสุดทั้ง 2 scenarios ต่ำกว่าปริมาณไหลต่ำสุดของการใช้ที่ดินปัจจุบัน

Graiprab *et al.* (2010) ได้ทำการการประเมินทางด้านอุทกวิทยา และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เป็นเครื่องมือในการประเมินความยั่งยืนการจัดการทรัพยากรแหล่งน้ำในลุ่มน้ำอาจสามารถ ซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชี ในการศึกษาได้แบ่งลุ่มน้ำออกเป็น 3 ส่วนหลัก และประกอบด้วย 11 ลุ่มน้ำย่อย ผลการศึกษาพบว่า ถ้าหากอุณหภูมิของภูมิภาคเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.8 องศาเซลเซียส และมีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ในช่วงปี 2010 ถึง 2050 จะทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำท่า (water yields) ในลุ่มน้ำอาจสามารถเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ถึง 5 เปรียบเทียบกับผลผลิตน้ำท่าทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำในปัจจุบัน ถึงอย่างไรก็ตาม แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของผลผลิตน้ำท่ายังมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นสองเท่าตัวของการแจกจ่ายน้ำในเวลานั้น

Mueller *et al.* (2009) ได้ทำการจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อผลผลิตน้ำท่า และตะกอน ที่ meso-scale ในลุ่มน้ำ Canalda ประเทศสเปน โดยใช้แบบจำลอง WASA-SED เป็นเครื่องมือในการศึกษา โดยการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินปัจจุบัน ซึ่งการใช้ที่ดินปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำร้อยละ 62 โดยพื้นที่การเกษตร พืชหญ้า และที่ว่างเปล่ามีสัดส่วนที่ลดลง สำหรับพื้นที่ป่าไม้ได้เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในอดีต ผลจากการศึกษาพบว่า การใช้ที่ดินปัจจุบันมีปริมาณตะกอนลดลงถึงร้อยละ 76 ส่วนปริมาณน้ำท่าในฤดูฝนเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5

Tangtham (1991) ได้ศึกษาบทบาทของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ต่อการเอื้ออำนวยทางด้านอุทกวิทยาโดยใช้ข้อมูลฝน น้ำท่า และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ในช่วงปี 1964 ถึง 1986 จากพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 13 ลุ่มน้ำย่อย ผลการศึกษาพบว่า ขณะที่อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ยังมีป่าปกคลุมอยู่ร้อยละ 89 จะให้น้ำท่าต่อลุ่มน้ำตอนล่างรอบเขาใหญ่ประมาณ 0.87 ล้าน ลบ.ม. ต่อ ตร.กม. ต่อปี ลุ่มน้ำที่มีป่าปกคลุมมากกว่าร้อยละ 70 จะมีคุณภาพทางกายภาพที่ดีกว่าลุ่มน้ำที่มีป่าเหลือน้อย ลุ่มน้ำที่มีป่าเหลือน้อยจะมีน้ำไหลในช่วงฤดูแล้งน้อยกว่าลุ่มน้ำที่มีป่าเหลืออยู่มากเนื่องจากน้ำส่วนใหญ่ได้ไหลหลากลงไปในช่วงฤดูฝน การเปลี่ยนแปลงสภาพป่าเพื่อทำการเกษตรและพัฒนาารูปแบบต่าง ๆ ในบริเวณรอบอุทยานผ่านมา ทำให้น้ำท่าลดน้อยลงประมาณ 47 ล้าน ลบ.ม.

นิตยา และสุพจน์ (2542) ได้วิจัยค้นหาผลกระทบจากการทำลายป่า และใช้ที่ดินทำการเกษตรชนิดต่าง ๆ ตลอดจนการฟื้นฟูพื้นที่ด้วยการปลูกสร้างสวนสัก โดยได้ทำการศึกษาปริมาณการสูญเสียดินและน้ำในบริเวณพื้นที่ป่าเบญจพรรณ พื้นที่ปลูกข้าวไร่ ข้าวโพด ถั่วเหลือง พื้นที่ไร่ร้าง และสวนสัก ที่สถานีวิจัยลุ่มน้ำนานจากปี 2534 ถึงปี 2540 พบว่า การทำการเกษตรอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดการสูญเสียดินและน้ำที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงข้าม ถ้าปล่อยให้พื้นที่ทำการเกษตรเหล่านี้เป็นไร่ร้าง เพื่อให้มีการทดแทนของสังคมพืชตามธรรมชาติ หรือเร่งรัดการฟื้นตัวของพื้นที่ด้วยการปลูกสวนสัก จะทำให้การสูญเสียดินและน้ำมีแนวโน้มลดลง

สุพจน์ (2545) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบน้ำท่าของกลุ่มน้ำป่าปลูกกับกลุ่มน้ำที่มีการทดแทนตามธรรมชาติที่ลุ่มน้ำห้วยวังปอ ซึ่งเป็นพื้นที่สวนป่าประจักษ์รอยละ 35 และป่ารุ่นที่สองร้อยละ 65 และ ลุ่มน้ำห้วยเสียงตายที่เป็นพื้นที่ป่ารุ่นที่สองร้อยละ 100 ของสถานีวิจัยลุ่มน้ำนาน อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน เริ่มบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำในลำธาร ตั้งแต่ปี 2525 ถึง ปี 2543 พบว่าปริมาณน้ำท่ารายปีของกลุ่มน้ำห้วยเสียงตายและห้วยวังปอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ และมีช่วงระยะเวลาการไหลของน้ำในลำธารยาวนานขึ้น สรุปได้ว่า กลุ่มน้ำป่าปลูกและกลุ่มน้ำป่าธรรมชาติจะช่วยลดการไหลของน้ำในฤดูน้ำหลาก และเพิ่มระยะเวลาการไหลของน้ำในฤดูแล้งได้

Mohammad and Adam (2010) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของพืชคลุมดินต่อน้ำท่าและการกัดเซาะดินที่ภาคใต้ของ West Bank ซึ่งประกอบด้วย 5 กรณีศึกษา คือ 1) ปลูกป่า *P. halepensis* 2) ปกคลุมโดยพืชพันธุ์ธรรมชาติ *S. spinosum* 3) ปกคลุมโดยพืชพันธุ์ธรรมชาติ โดยปราศจาก *S. spinosum* 4) พื้นที่เพาะปลูก และ 5) ป่าถูกทำลาย พบว่า มีนัยและความสำคัญที่แตกต่างกันในการให้ผลผลิตน้ำท่าและตะกอน เช่น กรณีศึกษาเป็นพื้นที่ป่าปลูกและพื้นที่ปกคลุมโดยพืชพันธุ์ธรรมชาติ *S. spinosum* มีปริมาณน้ำท่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาอื่น ๆ กรณีศึกษาเป็นพื้นที่ปกคลุมโดยพืชพันธุ์ธรรมชาติโดยปราศจาก *S. spinosum* มีนัยสำคัญในการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำท่าและตะกอน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่เป็นพื้นที่ป่าปลูกและพื้นที่ปกคลุมโดยพืชพันธุ์ธรรมชาติ *S. spinosum* ยิ่งไปกว่านั้น กรณีศึกษาที่เป็นพื้นที่ป่าถูกทำลายมีนัยสำคัญในการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำท่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ป่าไม้ ส่วนปริมาณตะกอนที่มากที่สุดเกิดขึ้นในพื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่ป่าที่ถูกทำลาย ผลของกรณีศึกษาที่เป็นพื้นที่ป่าและพื้นที่ปกคลุมโดยพืชพันธุ์ธรรมชาติ *S. spinosum* จะช่วยลดความเสี่ยงและอันตรายจากน้ำท่าและตะกอนได้

Chaweewong and Pongput (2008) ได้วิเคราะห์บัญชีน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อประเมินองค์ประกอบในการจัดทำบัญชีน้ำรายเดือน ผลการศึกษาพบว่า ในลุ่มน้ำปิงตอนบน มีปริมาณน้ำฝน 27,292 ล้าน ลบ.ม. ในพื้นที่ที่มีปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชที่เกิดขึ้นทั้งหมด ร้อยละ 85.35 ปริมาณการสูบน้ำใต้ดินร้อยละ 0.35 ปริมาณน้ำเก็บกักร้อยละ 13.85 และปริมาณ

น้ำท่าผิวดินที่ไหลออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำร้อยละ 0.45 การวิเคราะห์บัญชีน้ำได้แสดงให้เห็นว่า ในช่วงฤดูแล้งมีการใช้น้ำมากกว่าปริมาณน้ำไหลเข้าโดยมีการนำน้ำจากส่วนที่เก็บกักมาใช้ ในพื้นที่ที่มีการใช้น้ำอย่างเต็มความสามารถ ($DF_{AW} = 0.96$) และเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยดัชนี BU มีค่า 0.94 แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์บัญชีน้ำสามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการได้

Kosa and Pongput (2006) ได้ศึกษาการคายระเหยของพืช (ET) การคายระเหยของพืชอ้างอิง (ET_o) และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c) ในพื้นที่ปลูกข้าว ข้าวโพด และอ้อย โดยแบ่งการคำนวณออกเป็น 3 ส่วนคือ. 1) ใช้สมการ FAO Penman-Monteith คำนวณค่า ET_o โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันของ 33 สถานีตรวจวัดอากาศที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา 2) ค่า ET คำนวณโดย SEBAL โดยใช้ 27 MODIS images ในการคำนวณ 3) เลือกพื้นที่ปลูกข้าว ข้าวโพด และอ้อย ที่อยู่ใกล้คลองสายหลักและอ่างเก็บน้ำเป็นพื้นที่ศึกษา โดยค่า ET และค่า ET_o ของพื้นที่ดังกล่าวได้ใช้เพื่อการคำนวณสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c) ผลการคำนวณพบว่า ค่า K_{c,ini} K_{c,mid} และ K_{c,late} สำหรับข้าว มีค่า 0.96 1.19 และ 0.93 มม. ข้าวโพดมีค่า 0.97 1.18 และ 0.89 มม. และอ้อยมีค่า 0.81 1.26 และ 1.01 ตามลำดับ พร้อมกันนี้ ก็ได้ค่าเฉลี่ย ET_o รายเดือนในพื้นที่ปลูกข้าว ข้าวโพด และอ้อยเท่ากับ 113.93 114.67 และ 116.21 มม. ส่วนค่าเฉลี่ย ET รายเดือนของข้าว ข้าวโพด และอ้อย จากการตรวจวัดเท่ากับ 128.66 122.98 และ 127.70 มม. ตามลำดับ

Mao and Cherkauer (2009) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อการตอบสนองทางอุทกวิทยา ที่ Great Lakes ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ VIC model ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณการคายระเหยน้ำรายเดือนและรายปีของพืช (ET) และปริมาณน้ำท่ารวม พบว่า ในจุดศูนย์กลางของพื้นที่ศึกษา ป่าผลัดใบ 5 ล้านเฮกเตอร์ได้ถูกเปลี่ยนเป็นทุ่งหญ้า และพื้นที่การเกษตร ส่งผลให้การคายระเหย (ET) ลดลงร้อยละ 5 ถึง 15 และปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ถึง 30 ส่วนทางทิศเหนือของพื้นที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบเป็นพื้นที่ป่าผลัดใบได้ส่งผลให้การคายระเหยลดลงร้อยละ 5 ถึง 15 และปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ถึง 40 และในพื้นที่ทางทิศใต้และทางทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาได้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ทุ่งหญ้าเป็นพื้นที่การเกษตรส่งผลให้การคายระเหยเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ถึง 15 และปริมาณน้ำท่าลดลงร้อยละ 10 ถึง 30

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์

1. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000
2. แผนที่การใช้ที่ดิน digital file-grid/polygon
3. แผนที่กลุ่มดิน digital file-grid/polygon
4. ภาพถ่ายดาวเทียมปี 2533 และ 2550 (satellite images)
5. แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM)
6. โปรแกรมภูมิศาสตร์สารสนเทศ (Geographic Information System; GIS)
7. แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool; SWAT-Version 2005
8. ArcView Extension
9. ข้อมูลสมบัติของดิน ภูมิอากาศ น้ำฝน และน้ำท่า
10. เครื่องคอมพิวเตอร์ notebook พร้อมเครื่องพิมพ์

วิธีการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิเป็นหลัก และใช้ข้อมูลปฐมภูมิเป็นข้อมูลประกอบ โดยได้กำหนดวิธีการในการวิจัยดังนี้

การรวบรวมข้อมูล

1. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

1.1 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

สภาพอากาศโดยทั่วไปของกลุ่มน้ำปึงตอนบน อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้น ในแต่ละปีจะได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันที่มาจากทะเลจีนใต้ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ทำให้พื้นที่มีฝนตกชุกเริ่มจากกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ในการรวบรวมข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีดวงอาทิตย์ และความเร็วมติได้ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา (time series) ที่ตรวจวัดเป็นรายวัน ในช่วงสถิติข้อมูล 23 ปี ในรอบ period 2528 ถึง 2550 โดยทำการรวบรวมจาก 3 สถานี

หลักของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน และเชียงใหม่พล ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 และแสดงในภาพผนวกที่ 1

ตารางที่ 5 แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับ ที่	รหัสสถานี	ตำแหน่งสถานี			ช่วงปี สถิติข้อมูล	หน่วยงาน
		ที่ตั้ง	ละติจูด	ลองจิจูด		
1	327501	จ. เชียงใหม่	18-47-24	98-58-37	2528-2550	กรมอุตุนิยมวิทยา
2	329201	จ. ลำพูน	18-34-00	99-02-00	2528-2550	กรมอุตุนิยมวิทยา
3	376203	เชียงใหม่พล	17-14-00	99-03-00	2528-2550	กรมอุตุนิยมวิทยา

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (ม.ป.ท.)

1.2 ข้อมูลฝน

ข้อมูลฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้ทำการรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลฝนจากข้อมูลอนุกรมเวลา (time series) เป็นรายวัน โดยทำการเก็บรวบรวมจากสถานีตรวจวัดที่กระจายอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ช่วงสถิติข้อมูล 23 ปี ตั้งแต่ปี 2528 ถึง 2550 จาก 43 สถานีตรวจวัดของกรมชลประทาน ดังแสดงในตารางที่ 6 และแสดงในภาพผนวกที่ 1

ตารางที่ 6 แสดงตำแหน่งสถานีวัดปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รหัส สถานี	ตำแหน่งสถานี			ช่วงปี สถิติข้อมูล	หน่วยงาน รับผิดชอบ	
	อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด			
7013	อ.เมือง	เชียงใหม่	18-83-97	98-97-56	2528-2550	กรมชลประทาน
7022	อ.สารภี	เชียงใหม่	18-71-33	99-04-14	2528-2550	กรมชลประทาน
7042	อ.สันทราย	เชียงใหม่	18-84-75	99-04-83	2528-2550	กรมชลประทาน
7082	อ.สันป่าตอง	เชียงใหม่	18-62-69	98-89-89	2528-2550	กรมชลประทาน
7092	อ.ฮอด	เชียงใหม่	18-19-06	98-61-44	2528-2550	กรมชลประทาน
7122	อ.พร้าว	เชียงใหม่	19-36-44	99-20-47	2528-2550	กรมชลประทาน
7132	อ.เชียงดาว	เชียงใหม่	19-36-47	98-96-67	2528-2550	กรมชลประทาน
7142	อ.สะเมิง	เชียงใหม่	18-84-78	98-73-58	2528-2550	กรมชลประทาน
7152	อ.แม่แจ่ม	เชียงใหม่	18-49-83	98-36-50	2528-2550	กรมชลประทาน
7162	อ.อมก๋อย	เชียงใหม่	17-79-58	98-36-00	2528-2550	กรมชลประทาน

ตารางที่ 6 (ต่อ)

รหัส สถานี	ตำแหน่งสถานี			ช่วงปี สถิติข้อมูล	หน่วยงาน รับผิดชอบ
	อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด ลองติจูด		
7182	อ.จอมทอง	เชียงใหม่	18-41-58 98-67-97	2528-2550	กรมชลประทาน
7192	อ.ดอยเต่า	เชียงใหม่	18-05-00 98-64-53	2528-2550	กรมชลประทาน
7242	ดอยสุเทพ	เชียงใหม่	18-80-28 98-92-50	2528-2550	กรมชลประทาน
7252	ดอยเชียงดาว	เชียงใหม่	19-26-86 98-97-56	2528-2550	กรมชลประทาน
7282	อ.ฮอด	เชียงใหม่	18-15-03 98-39-31	2528-2550	กรมชลประทาน
7341	อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	18-91-78 99-13-06	2528-2550	กรมชลประทาน
7391	อ.เมือง	เชียงใหม่	18-78-92 99-01-69	2528-2550	กรมชลประทาน
7440	อ.สันทราย	เชียงใหม่	19-04-25 98-98-11	2528-2550	กรมชลประทาน
7450	ห้วยแม่เตาไห	เชียงใหม่	18-93-25 99-00-06	2528-2550	กรมชลประทาน
7472	เขื่อนภูมิพล	เชียงใหม่	17-91-67 98-68-33	2528-2550	กรมชลประทาน
7502	อ. แม่แตง	เชียงใหม่	19-06-67 99-21-67	2528-2550	กรมชลประทาน
7510	คก. แม่ปิงเก่า	เชียงใหม่	18-68-94 98-97-22	2528-2550	กรมชลประทาน
7520	แม่แตง	เชียงใหม่	19-15-44 98-92-28	2528-2550	กรมชลประทาน
7540	อ.ดอนสะเก็ด	เชียงใหม่	18-82-14 99-17-56	2528-2550	กรมชลประทาน
7550	อ.สันกำแพง	เชียงใหม่	18-74-06 99-16-03	2528-2550	กรมชลประทาน
7591	อ.สันป่าตอง	เชียงใหม่	18-61-67 98-74-53	2528-2550	กรมชลประทาน
7605	อ.เชียงดาว	เชียงใหม่	19-38-33 98-71-83	2528-2550	กรมชลประทาน
7614	อ. แม่แตง	เชียงใหม่	19-23-00 98-81-33	2528-2550	กรมชลประทาน
7645	อ. แม่แจ่ม	เชียงใหม่	18-22-50 98-4-667	2528-2550	กรมชลประทาน
7670	เขื่อนแม่งัด	เชียงใหม่	19-16-94 99-05-25	2528-2550	กรมชลประทาน
8252	อ. ป่าแดด	เชียงใหม่	19-52-69 99-02-89	2528-2550	กรมชลประทาน
16062	อ. ห้างฉัตร	เชียงใหม่	18-41-67 99-21-67	2528-2550	กรมชลประทาน
17012	อ.เมือง	ลำพูน	18-57-72 99-00-94	2528-2550	กรมชลประทาน
17022	อ.ลี้	ลำพูน	17-80-03 98-95-47	2528-2550	กรมชลประทาน
17032	อ.ป่าซาง	ลำพูน	18-52-36 98-94-39	2528-2550	กรมชลประทาน
17042	อ. แม่ทา	ลำพูน	18-45-97 99-13-72	2528-2550	กรมชลประทาน
17052	อ.บ้านโฮ่ง	ลำพูน	18-31-44 98-82-25	2528-2550	กรมชลประทาน
17062	อ.ลี้	ลำพูน	17-65-56 98-77-50	2528-2550	กรมชลประทาน
17081	อ. หุ่นช้าง	ลำพูน	17-88-78 99-08-89	2528-2550	กรมชลประทาน
17101	อ.เมือง	ลำพูน	18-58-67 99-15-75	2528-2550	กรมชลประทาน
63092	อ. ท่าสองยาง	ลำพูน	17-22-44 98-22-81	2528-2550	กรมชลประทาน

ตารางที่ 6 (ต่อ)

รหัส สถานี	ตำแหน่งสถานี			ช่วงปี สถิติข้อมูล	หน่วยงาน รับผิดชอบ
	อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด ลองจิจูด		
63162	อ.สามเงา	ลำพูน	17-33-33 98-88-33	2528-2550	กรมชลประทาน
63172	อ.สามเงา	ลำพูน	17-01-67 98-66-67	2528-2550	กรมชลประทาน

ที่มา: กรมชลประทาน (ม.ป.ป.)

1.3 ข้อมูลปริมาณน้ำท่า

ข้อมูลน้ำท่า (runoff) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันจากสถานีตรวจวัดของกรมชลประทาน จำนวน 5 สถานี เช่น สถานี P-20, P-65A, P-4A, P-21, และ P-24A ที่กระจายอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ซึ่งมีข้อมูลเหมาะสมกับช่วงเวลาในการศึกษา คือ ในช่วงปี 2543 ถึง 2550 เพื่อใช้สำหรับการปรับเทียบ และทดสอบแบบจำลอง (model calibration and validation) ดังแสดงในตารางที่ 7 และแสดงในภาพผนวกที่ 1

ตารางที่ 7 แสดงตำแหน่งสถานีวัดปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รหัส สถานี	ตำแหน่งสถานี			ช่วงปี สถิติข้อมูล	หน่วยงาน รับผิดชอบ
	อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด ลองจิจูด		
P.20	เชียงดาว	เชียงใหม่	19-35-25 98-97-36	1979-2007	กรมชลประทาน
P.56A	พร้าว	เชียงใหม่	19-28-39 99-19-03	1999-2007	กรมชลประทาน
P.4A	แม่แตง	เชียงใหม่	19-12-08 98-94-75	1955-2007	กรมชลประทาน
P.21	แม่ริม	เชียงใหม่	18-92-47 98-94-28	1954-2007	กรมชลประทาน
P.24A	จอมทอง	เชียงใหม่	18-41-69 98-67-47	1973-2007	กรมชลประทาน

ที่มา: กรมชลประทาน (ม.ป.ป.)

1.4 ข้อมูลเส้นลำน้ำ

เส้นลำน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสำคัญต่อการประมวลผลของแบบจำลอง โดยปกติแล้วแบบจำลอง SWAT สามารถกำหนดเส้นลำน้ำด้วยตัวของโปรแกรมเองจากข้อมูล DEM ที่มีอยู่ แต่เพื่อให้การคำนวณใช้เวลาน้อยลง และมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นจึงได้นำเข้าข้อมูลเส้นแนวลำน้ำของกลุ่มน้ำก่อนที่จะทำการในขั้นตอนต่อไป ซึ่งข้อมูลแผนที่เส้นลำน้ำสามารถสร้างขึ้นได้ โดยการ digitize จากแผนที่ 1:50,000 หรือสร้างจากแผนที่ DEM ในการลากเส้น (delineation) แนวลำน้ำโดยการใช้ spatial analysis tool ของ GIS software ในการศึกษาครั้งนี้ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลเส้นลำน้ำจากกรมทรัพยากรน้ำ และได้ทำการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลอีกครั้ง โดยการนำ ชั้นข้อมูล (layer) ของเส้นลำน้ำไปซ้อนทับ (overlay) กับชั้นข้อมูล contour line ที่ใช้ในการ create DEM เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากเส้นลำน้ำจริง จากนั้นได้ทำการ digitize เส้นลำน้ำที่ขาดหายหรือคลาดเคลื่อนจากเส้นลำน้ำจริง เพื่อให้ข้อมูลแผนที่เส้นลำน้ำ (stream line) มีความละเอียด และถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพผนวกที่ 2

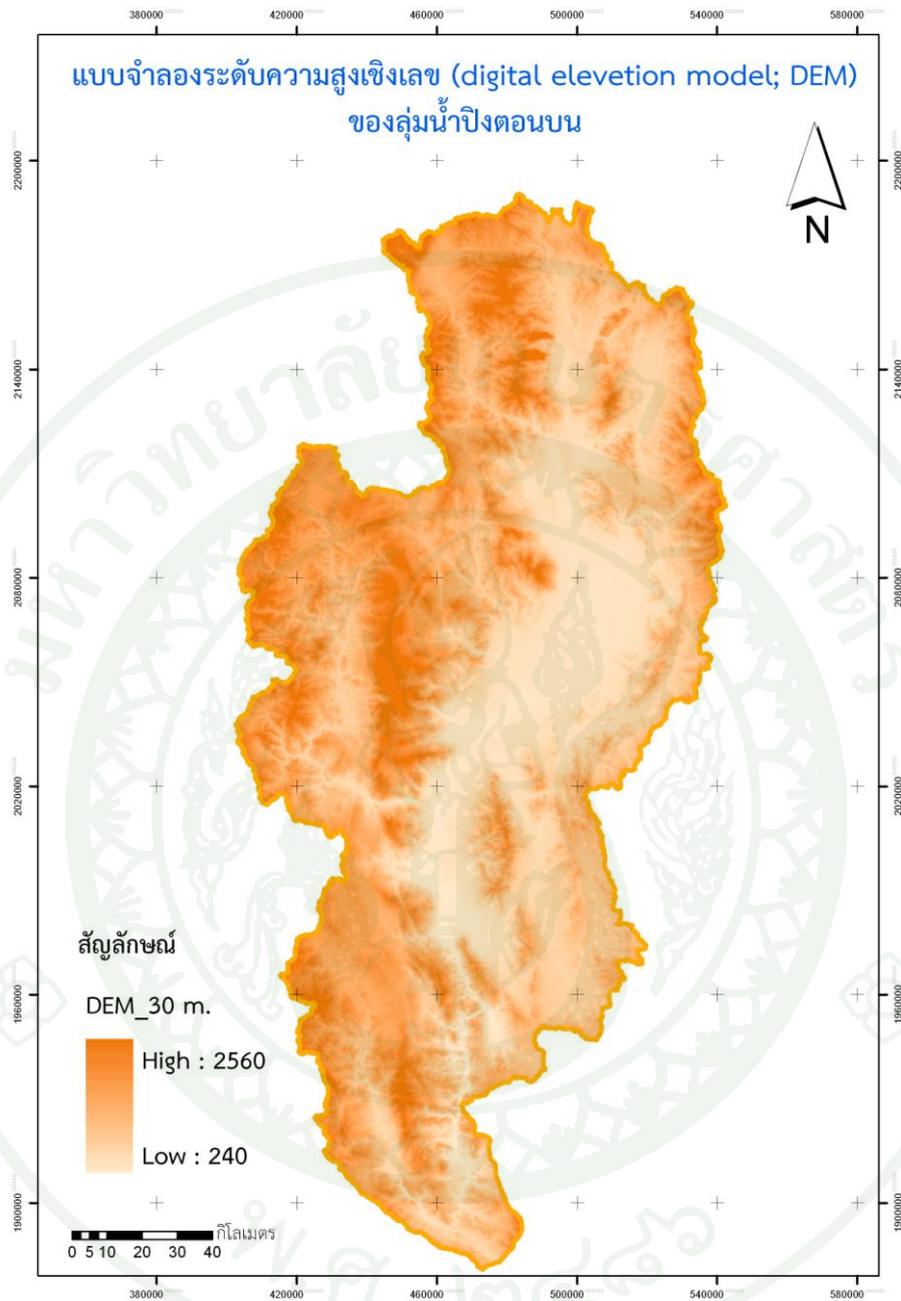
2. ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข

หรรษา (2545) กล่าวว่า Digital Elevation Model; DEM หมายถึงแบบจำลองพื้นที่ผิวของสภาพภูมิประเทศพัฒนาโดย The United States Geological Survey (USGS) ให้เป็นฐานข้อมูลที่บอกถึงลักษณะพื้นผิวของพื้นที่ลุ่มน้ำ DEM สามารถบอกรายละเอียดของเส้นแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำได้ เช่นเดียวกับ สิริพร (ม.ป.ป.) กล่าวว่า DEM เป็นฐานข้อมูลที่บอกถึงลักษณะพื้นผิวของพื้นที่ลุ่มน้ำ และบอกรายละเอียดของเส้นแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย DEM มีลักษณะเป็นกริดเซลล์ขนาดเท่ากันเรียงต่อเนื่องกันและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ DEM เป็นข้อมูลประเภทแรสเตอร์ (raster) ซึ่งสามารถอ้างอิงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้ ในทำนองเดียวกัน สุเพชร (2551) ได้กล่าวว่า ระบบข้อมูลสารสนเทศในแบบ raster เป็นข้อมูลอยู่บนพิกัดของตารางแนวนอน และแนวตั้ง ซึ่งแต่ละช่องพิกัดเป็นช่องตารางรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เรียกว่า grid หรือ cell ในรูปแบบ raster

Ardiansyah and Yokoyama (2002) ได้สร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข digital elevation model; DEM จาก contour line โดยใช้วิธีการกำหนดทิศทาง 16 ทิศ กระบวนการสร้าง DEM ประกอบด้วยปฏิบัติทั้งในรูปแบบข้อมูล vector และ raster ขั้นตอนของ vector ได้ใช้เพื่อระบุ slope grid points ในขั้นแรก และ raster ได้ใช้เพื่อระบุ slope grid points ในขั้นตอนที่สอง การสร้าง DEM จาก contour line ยังเป็นแหล่งข้อมูลที่มีราคาถูก และ Taud *et al.* (1999) กล่าวว่า การสร้าง DEM จาก contour line เป็นวิธีการที่มีความถูกต้องแม่นยำง่ายในการปฏิบัติ และเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับ ยิ่งไปกว่านั้น ก็ยังเป็นวิธีการสร้าง DEM ที่มีต้นทุนต่ำ ในขณะที่

เดียวกัน Wise *et al.* (2000) ได้กล่าวว่า DEM กลายเป็นเครื่องมือที่สำคัญมากในงานวิจัยทางอุทกวิทยา และการจัดการแหล่งน้ำ ดังนั้น คุณภาพของ DEM ต้องเน้นไปที่ความถูกต้อง มีความน่าเชื่อถือ และตรวจสอบผลที่ได้ให้มั่นใจถึงความสมเหตุสมผลของ DEM

ในการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) ของพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน ได้สร้างจากข้อมูล contour line ระยะห่าง 20 ม. ที่สร้างจากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 โดยใช้โปรแกรม ArcView 3.3 ผลจากการ create อยู่ในรูปแผนที่โครงข่ายรูปสามเหลี่ยม (triangulation irregular network; TIN) ที่แสดงโครงสร้างข้อมูลแบบ vector จากนั้นได้ทำการ convert แผนที่โครงข่ายรูปสามเหลี่ยม (TIN) ไปเป็นแผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) ที่แสดงโครงสร้างข้อมูลแบบ raster โดยได้กำหนดขนาด grid cell size ของ DEM เท่ากับ 30 ม. x 30 ม. ซึ่งเป็นตัวแทนพื้นที่ผิวสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM)

3. ข้อมูลทรัพยากรดิน

แบบจำลอง SWAT สามารถติดต่อเชื่อมโยงฐานข้อมูลดินได้ 2 ประเภท คือ (1) ฐานข้อมูลดินสำหรับภายในประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. soils data only) ซึ่งสามารถ download แผนที่ข้อมูลดินได้จาก USGS ฐานข้อมูล STATSGO (state soil survey geographic database) และ (2) ฐานข้อมูลดินสำหรับผู้กำหนดเอง (user soils database) ซึ่งแบบจำลอง SWAT สามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลที่ใช้กำหนดขึ้น หรือดัดแปลงมาใช้กับประเทศไทยได้ โดยใช้ชื่อหน่วยดิน (soil series)

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. (2547) ได้ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างดินชั้นใหม่ระหว่างปี 2539 ถึง 2547 เพื่อเป็นการปรับปรุง จัดทำข้อมูลรายละเอียดชุดดิน ตลอดจนแผนที่กลุ่มชุดดินให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยได้แบ่งกลุ่มชุดดินของประเทศไทย ออกเป็น 62 ชุดดินตามลักษณะและสมบัติต่าง ๆ ของดิน

ได้ทำการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน จากข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดิน (soil series map) และสมบัติของดิน (soil properties) ของกรมพัฒนาที่ดิน นอกจากนี้ ยังได้รวบรวมข้อมูลสมบัติทางกายภาพของดินจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้แสดงไว้ในภาพผนวกที่ 3 สำหรับรายละเอียดการจำแนกกลุ่มชุดดิน และข้อมูลลักษณะและสมบัติของดินที่จำเป็นของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้แสดงในตารางผนวกที่ 1 โดยพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนประกอบด้วย 38 กลุ่มชุดดิน กลุ่มชุดดินหลักได้แก่ slope complex, Tha Yang และ Pak Chong: PC กลุ่มชุดดินดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 69 10 และ 3 ตามลำดับ สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน (2547) ได้ให้ความหมายของลักษณะกลุ่มชุดดินและศักยภาพในการใช้ประโยชน์ที่ดิน คือ (1) ชุดดิน slope complex: SC หรือ กลุ่มชุดดินที่ 62 เป็นชุดดินผสมของดินบริเวณพื้นที่สูงชันที่อยู่ตามพื้นที่ภูเขาและเทือกเขา มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 ลักษณะและสมบัติของดินไม่แน่นอน มีทั้งดินลึกและดินตื้น ระบายน้ำได้ดีจนถึงดีมาก พื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยป่าไม้หลายประเภท หลายแห่งมีการทำไร่เลื่อนลอยโดยปราศจากมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน กลุ่มดินนี้ควรสงวนไว้เป็นป่าธรรมชาติเพื่อรักษาแหล่งต้นน้ำลำธาร (2) ชุดดิน Tha Yang: TY หรือ กลุ่มชุดดินที่ 48 เป็นชุดดินที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือการสลายตัวผุพังของวัสดุเนื้อค่อนข้างหยาบที่มาจากหินตะกอน พบได้ในที่ดอนที่มีสภาพเป็นลูกคลื่นลอนลาดจนถึงเนินเขา เป็นดินตื้น ระบายน้ำดี เนื้อดินบนจะเป็นดินร่วนปนทรายส่วนดินล่างเป็นดินปนเศษหิน บริเวณที่มีความลาดชันสูงจะพังทลายได้ง่าย (3) ชุดดิน Pak Chong: PC หรือ กลุ่มชุดดินที่ 29 เป็นชุดดินที่เกิดจากการสลายตัวผุพังของวัสดุหลายชนิดที่มีเนื้อละเอียด ทั้งที่มาจากหินตะกอน หินภูเขาไฟ และดินตะกอนลำน้ำ พบได้ในที่ดอนที่มีสภาพเป็นลูก

คลื่นจนถึงเนินเขา เป็นดินสีกรมก ระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียว บริเวณที่มีความลาดชันสูง จะมีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดิน

4. ข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดิน

ข้อมูลการใช้ที่ดิน เป็นปัจจัยนำเข้าหลักที่ได้นำมาพิจารณาในการศึกษาการจัดสรรการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ซึ่งข้อมูลการใช้ที่ดินได้ทำการเก็บรวบรวมและสร้างแผนที่การใช้ที่ดิน บนพื้นฐานการใช้ที่ดินจริงในแต่ละช่วงระยะเวลาของการศึกษา ตลอดจนแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต สำหรับกลุ่มน้ำปิงตอนบนประกอบด้วย 6 แผนที่การใช้ที่ดินใน 3 กรณีศึกษา ดังต่อไปนี้

4.1 แผนที่การใช้ที่ดินปี 2543

แผนที่การใช้ที่ดินปี 2543 ได้รวบรวมจากโครงการจัดทำแผนรวม (integrated plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ของกรมทรัพยากรน้ำ ประกอบด้วย 12 ประเภทการใช้ที่ดินดังแสดงไว้ในภาพผนวกที่ 4 ในการศึกษาได้กำหนดการใช้ที่ดินปี 2543 เป็นปีฐาน (baseline year or control run) เพื่อใช้สำหรับการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง ก่อนที่จะทำการจำลองแบบในแต่ละกรณีศึกษา

4.2 แผนที่การใช้ที่ดินปี 2533 และปี 2550

แผนที่การใช้ที่ดินปี 2533 และ 2550 ได้ทำการวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5 ระบบ Thematic Mapper (TM) รายละเอียดภาพ 30 ม. ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ โดยใช้วิธีการแปลภาพถ่ายด้วยสายตา (visual interpretation)

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป่าไม้ ร่วมกับส่วนวิจัยเศรษฐกิจและพัฒนากิจการจัดการป่าไม้ (2542) ได้ทำการประเมินป่าอนุรักษ์ ที่อุทยานแห่งชาติเอราวัณ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5 ระบบ TM รายละเอียดภาพ 30 ม. ในการวิเคราะห์สังคมพืชเพื่อแบ่งประเภท/ชนิดป่า โดยใช้วิธีการแปลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา (visual interpretation) ในการแปลภาพถ่ายดาวเทียมได้ทำตามขั้นตอนการแปลภาพ และได้นำภาพถ่ายทางอากาศมาช่วยในการแปลตีความ พร้อมกับการตรวจสอบภาคสนาม (field checking) เพิ่มเติม

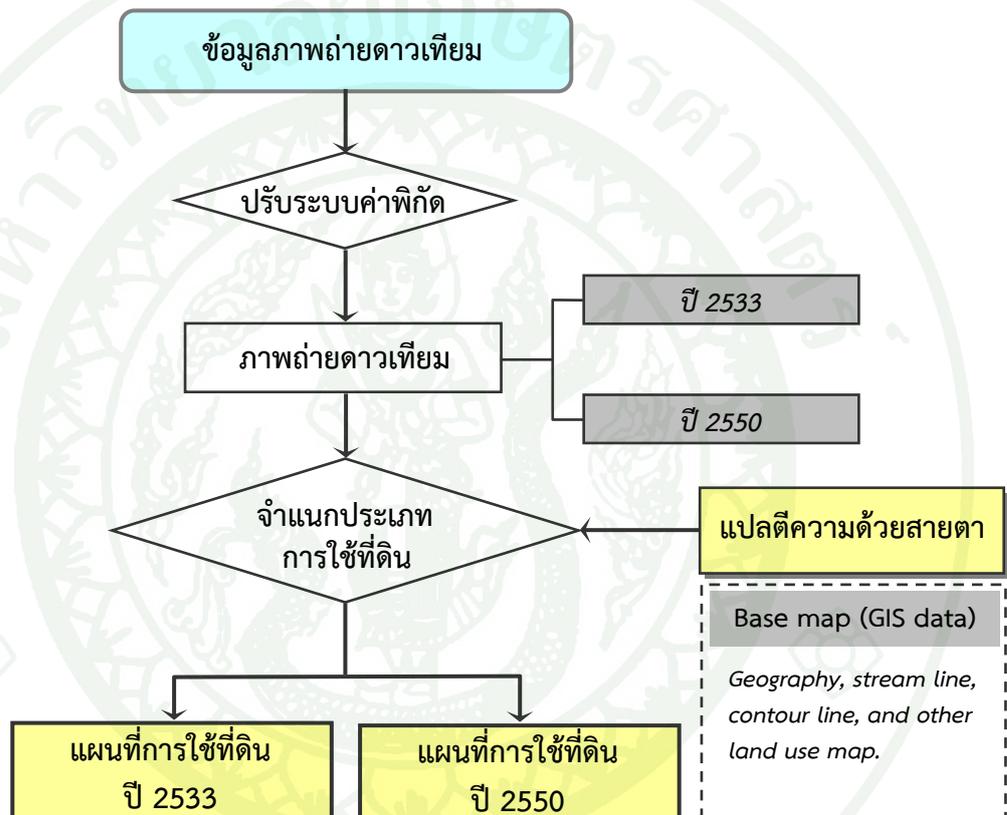
สุรชัย (2546) กล่าวว่า การสำรวจข้อมูลระยะไกล (remote sensing) เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์ จากเครื่องมือบันทึกข้อมูลโดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นสื่อในการได้มาซึ่งข้อมูลช่วงคลื่น (spectral) รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นผิวโลก (spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (temporal) ปัจจุบันมีระบบวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้งานด้าน remote sensing ทำให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น การนำเอาข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-TM ไปใช้ประโยชน์ในด้านการใช้ที่ดินสำหรับการจัดทำแผนที่ ทำให้แผนที่การใช้ที่ดินมีความทันสมัยและต่อเนื่อง เป็นฐานข้อมูลในการวางแผนการจัดการการใช้ที่ดินได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกัน สุเพชร (2551) กล่าวว่า ในการดำเนินการจัดทำแผนที่เกี่ยวกับพื้นผิวโลกหรือสิ่งปกคลุมผิวโลก มนุษย์ได้นำเทคโนโลยีการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติระยะไกล เช่น รูปถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ ทำให้สามารถสร้างแผนที่ที่มีรูปทรงและขนาดของพื้นที่ที่มีความถูกต้อง และใช้เวลารวดเร็วมากกว่าในอดีต ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกในปัจจุบันได้มีการพัฒนารายละเอียดของภาพมากขึ้น

การวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ การแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา และการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อจำแนกประเภท (classification) ของวัตถุประเภทต่างๆ หรือการวินิจฉัย (identification) หรือพิสูจน์สิ่งที่ปรากฏอยู่ในภาพนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5 ระบบ Thematic Mapper (TM) แบนด์ 4 5 3 (RGB) สำหรับการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา (visual interpretation) ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (satellite images data source) ในการแปลตีความจำนวน 6 scenes ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (satellite images) ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน

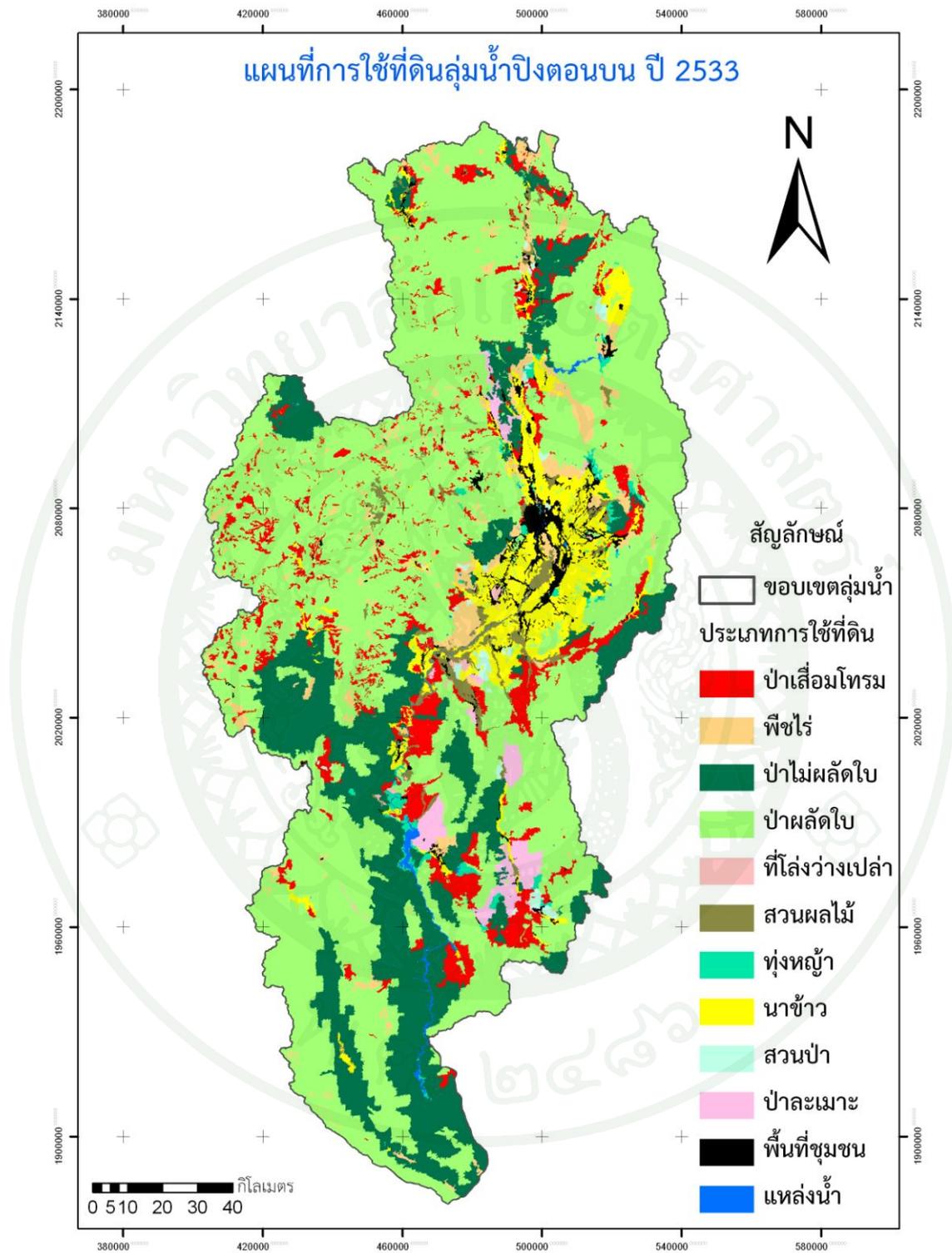
ลำดับที่	วันที่บันทึกภาพ	path	row	พิกัดจุดกึ่งกลางภาพ	
				ละติจูด	ลองจิจูด
1. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 2533					
scene 1	วันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533	130	46	19-75-00	99-70-80
scene 2	วันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533	131	47	18-79-20	98-57-20
scene 3	วันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533	131	48	17-35-70	98-24-60
2. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 2550					
scene 1	วันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550	130	46	19-75-00	99-70-80
scene 2	วันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550	131	47	18-79-90	98-53-80
scene 3	วันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550	131	48	17-36-10	98-21-10

การแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมได้ใช้ฟังก์ชันของ GIS software ในการแสดงภาพ และสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ภาพด้วยสายตา แล้วลากเส้น (digitize) สร้างข้อมูล ในรูปวงรอบปิดกันขอบเขตเพื่อจำแนกประเภทของข้อมูลในภาพที่เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ควบคู่ไปกับการสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ ได้ทำการสร้างฐานข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (attribute data) ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ชั้นข้อมูลแผนที่ในระบบ GIS ที่ได้จัดทำเป็นแผนที่การใช้ที่ดิน ดังภาพแสดง กระบวนการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา ภาพที่ 9

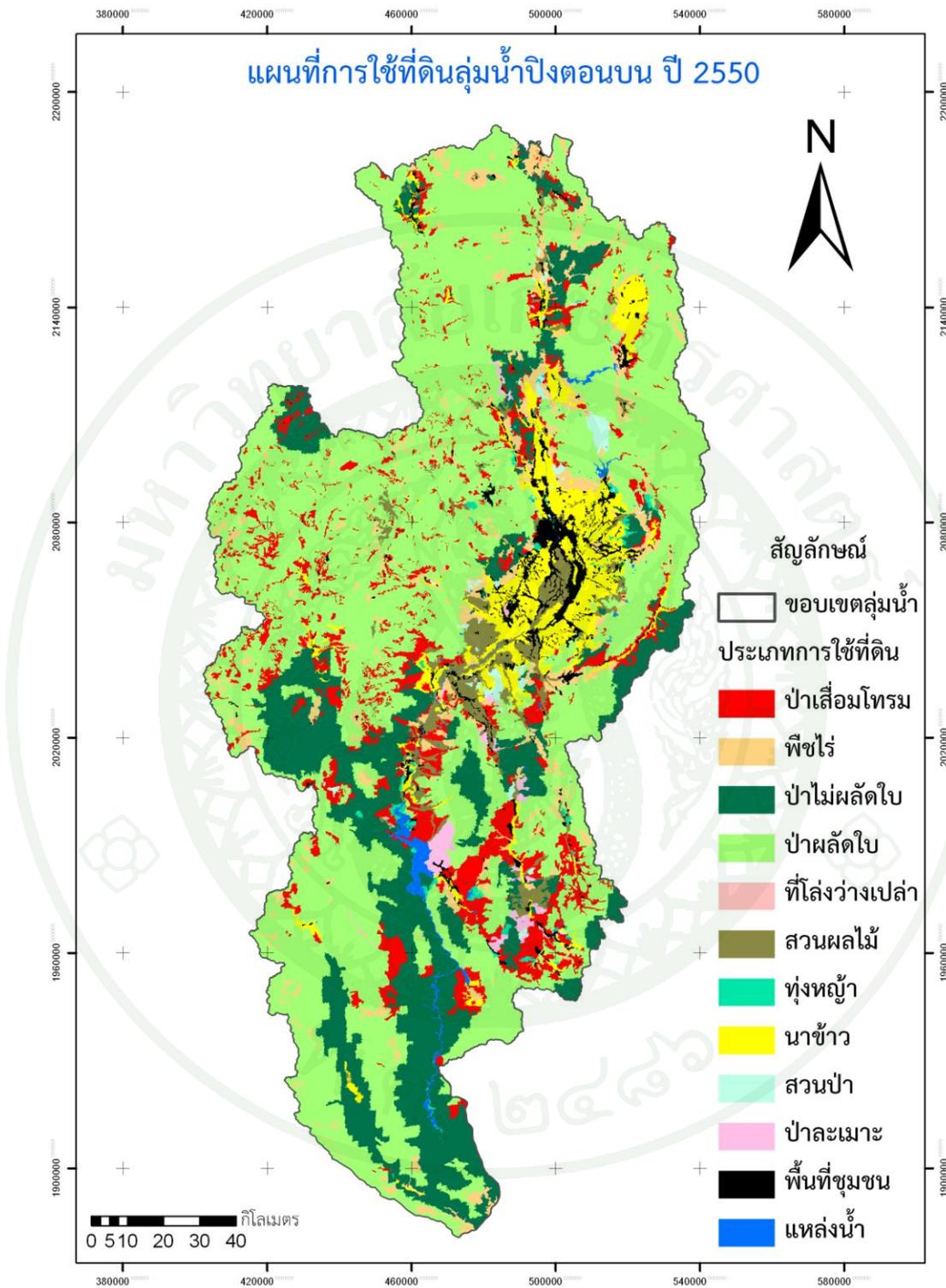


ภาพที่ 9 แสดงกระบวนการแปลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา

ในการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมของกลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้มุ่งเน้นที่การตีความหมายของกลุ่มจุดภาพ (group of pixel) ที่รวมกันอยู่ ซึ่งแสดงรูปร่างที่มีขนาด (size and shape) ระดับสีหรือโทนสี (tone or color) ลักษณะเนื้อภาพ (texture) รูปแบบการจัดเรียงตัวของวัตถุ (pattern or structure) และความแน่นทึบที่ต่างกัน โดยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมได้ดำเนินการแปลตีความ คือ 1) แปลตีความจากสิ่งที่เห็นได้ชัดเจน และทำการวินิจฉัยจากง่ายไปหายาก (easy to difficulty) 2) แปลตีความจากสิ่งที่คุ้นเคยหรือสิ่งที่อยู่ใกล้ตัวก่อน 3) แปลตีความจากกลุ่มใหญ่แล้วจึงพิจารณาแยกรายละเอียดแต่ละประเภทโดยจำแนกการใช้ที่ดินตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา 4) แปลตีความเรียงตามลำดับในแต่ละประเภท 5) ใช้ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันในพื้นที่ร่วมด้วย นอกจากนี้ ยังได้ใช้ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ (topographic maps) แผนที่การใช้ที่ดิน (land use map) ของกลุ่มน้ำปิงตอนบนในปีที่ใกล้เคียง แผนที่ป่าไม้ และอื่น ๆ เพื่อให้การแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมมีความรวดเร็วทั้งเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการแปลไปพร้อม ๆ กัน ผลจากการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา (visual interpretation) สามารถได้ฐานข้อมูลการใช้ที่ดินในรูปแบบ GIS file และสร้างเป็นแผนที่การใช้ที่ดินปี 2533 และ 2550 ได้ ดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11 โดยแบ่งประเภทการใช้ที่ดินออกเป็น 12 ชนิด ดังตารางที่ 9



ภาพที่ 10 แผนที่การใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนปี 2533



ภาพที่ 11 แผนที่การใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนปี 2550

ตารางที่ 9 การใช้ที่ดินปี 2533 และปี 2550 ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ประเภทการใช้ที่ดิน	การใช้ที่ดินในอดีตปี 2533		การใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550	
	(ตร.กม.)	(ร้อยละ)	(ตร.กม.)	(ร้อยละ)
1. ป่าไม่ผลัดใบ	4,519	17.92	4,172	16.55
2. ป่าผลัดใบ	14,703	58.31	14,031	55.65
3. ป่าละเมาะ	386	1.53	170	0.67
4. ป่าเสื่อมโทรม	1,872	7.42	2,181	8.65
5. สวนป่า	135	0.54	161	0.64
6. แหล่งน้ำ	117	0.46	201	0.80
7. พื้นที่ชุมชน	439	1.74	577	2.29
8. นาข้าว	1,516	6.01	1,508	5.98
9. พืชไร่	848	3.36	1,258	4.99
10. สวนผลไม้	442	1.75	824	3.27
11. ทุ่งหญ้า	185	0.73	113	0.45
12. ที่โล่งว่างเปล่า	52	0.21	18	0.07
รวม	25,214	100	25,214	100

4.3 แผนที่การจัลดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต

แผนที่การจัลดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต ใช้ข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินปัจจุบันปี 2550 เป็นฐานของการพิจารณาในการวางแผนกำหนดพื้นที่การใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ภายใต้กรอบแนวคิดของหลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ และมาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ที่คณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2528 และภายใต้นโยบายและยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ บนพื้นฐานแผนฟื้นฟูป่าไม้ในพื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1A และ 1B ของโครงการจัดทำแผนรวม (integrated plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงปี 2546 การศึกษาการจัลดสรรการใช้ที่ดินในอนาคตได้แบ่งออกเป็น 3 แผนการศึกษา เพื่อสร้างเป็นแผนที่การจัลดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต ดังภาพที่ 12 แสดงโครงสร้างแผนการจัลดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน

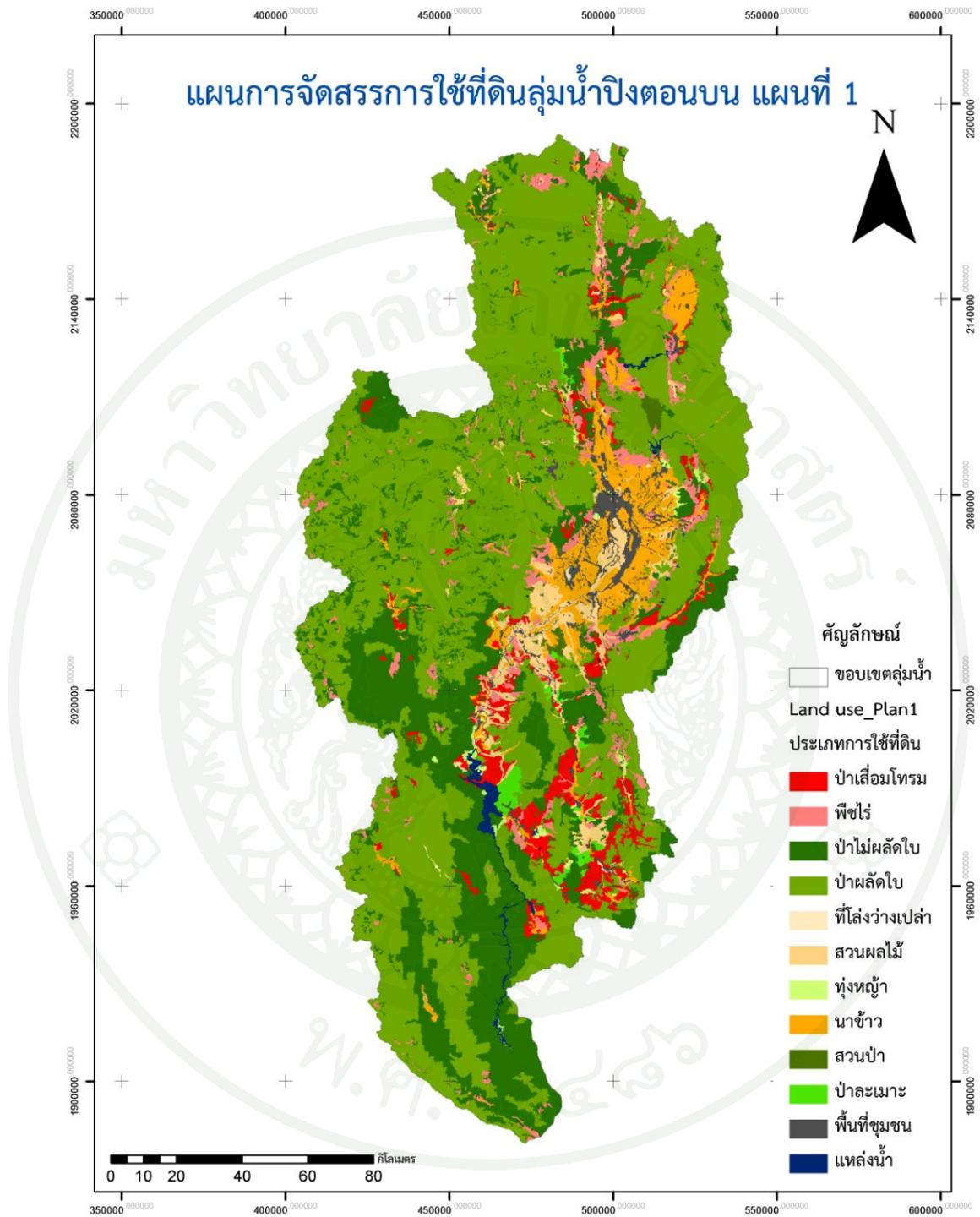


ภาพที่ 12 โครงสร้างการจัดการสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนในอนาคต

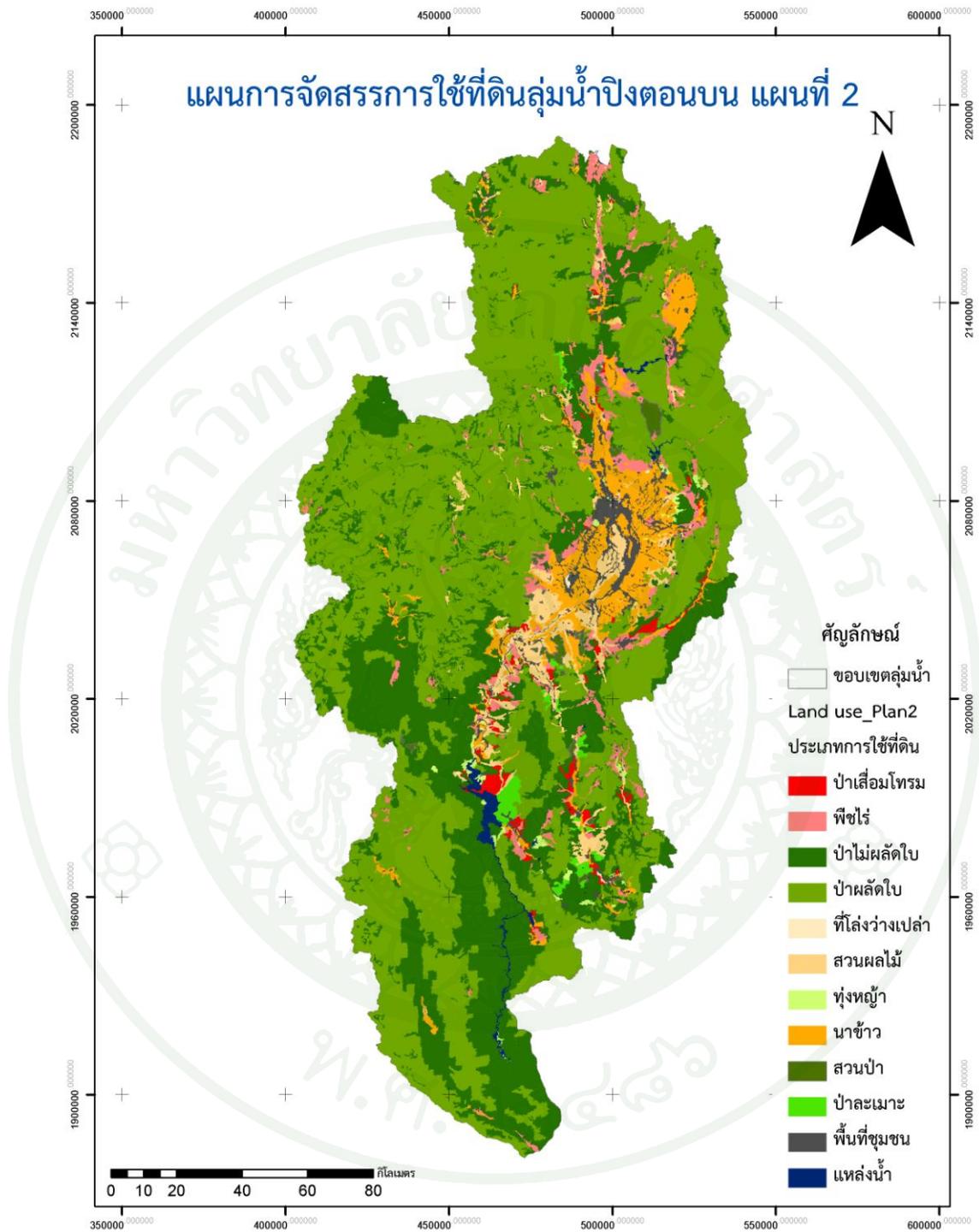
4.3.1 การสร้างฐานข้อมูลแผนการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 1 และแผนที่ 2 เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับการศึกษาศักยภาพน้ำท่าในฤดูแล้ง ได้ใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบภูมิสารสนเทศ โดยใช้ computer assistance approach ในการจัดทำฐานข้อมูล geographic database การสร้างฐานข้อมูลได้ใช้วิธีการซ้อนทับ (overlay) แผนที่การใช้ที่ดินปี 2550 กับแผนที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โดยการประยุกต์ใช้หลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ และมาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปี 2548 เป็นบรรทัดฐานในการวิเคราะห์และจัดทำแผนที่การใช้ที่ดิน เพื่อกำหนดประเภทการใช้ที่ดินในแต่ละชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและในพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด ดังแสดงแผนการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 1 และแผนการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 2 ในตารางที่ 10 และแผนที่การจัดการใช้ที่ดินในรูปแบบ GIS file ดังแสดงในภาพที่ 13 และภาพที่ 14

ตารางที่ 10 แผนการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 1 และแผนที่ 2 ของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 1		การจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 2	
	(ตร.กม.)	(ร้อยละ)	(ตร.กม.)	(ร้อยละ)
1. ป่าไม่ผลัดใบ	5,573	22.10	6,571	26.06
2. ป่าผลัดใบ	14,033	55.66	14,033	55.66
3. ป่าละเมาะ	170	0.67	170	0.67
4. ป่าเสื่อมโทรม	1,032	4.09	234	0.93
5. สวนป่า	159	0.63	159	0.63
6. แหล่งน้ำ	201	0.80	201	0.80
7. พื้นที่ชุมชน	577	2.29	573	2.27
8. นาข้าว	1,508	5.98	1,508	5.98
9. พืชไร่	1,028	4.08	837	3.32
10. สวนผลไม้	810	3.21	810	3.21
11. ทุ่งหญ้า	106	0.42	106	0.42
12. ที่โล่งว่างเปล่า	17	0.07	12	0.05
รวม	25,214	100	25,214	100



ภาพที่ 13 แผนการจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน แผนที่ 1

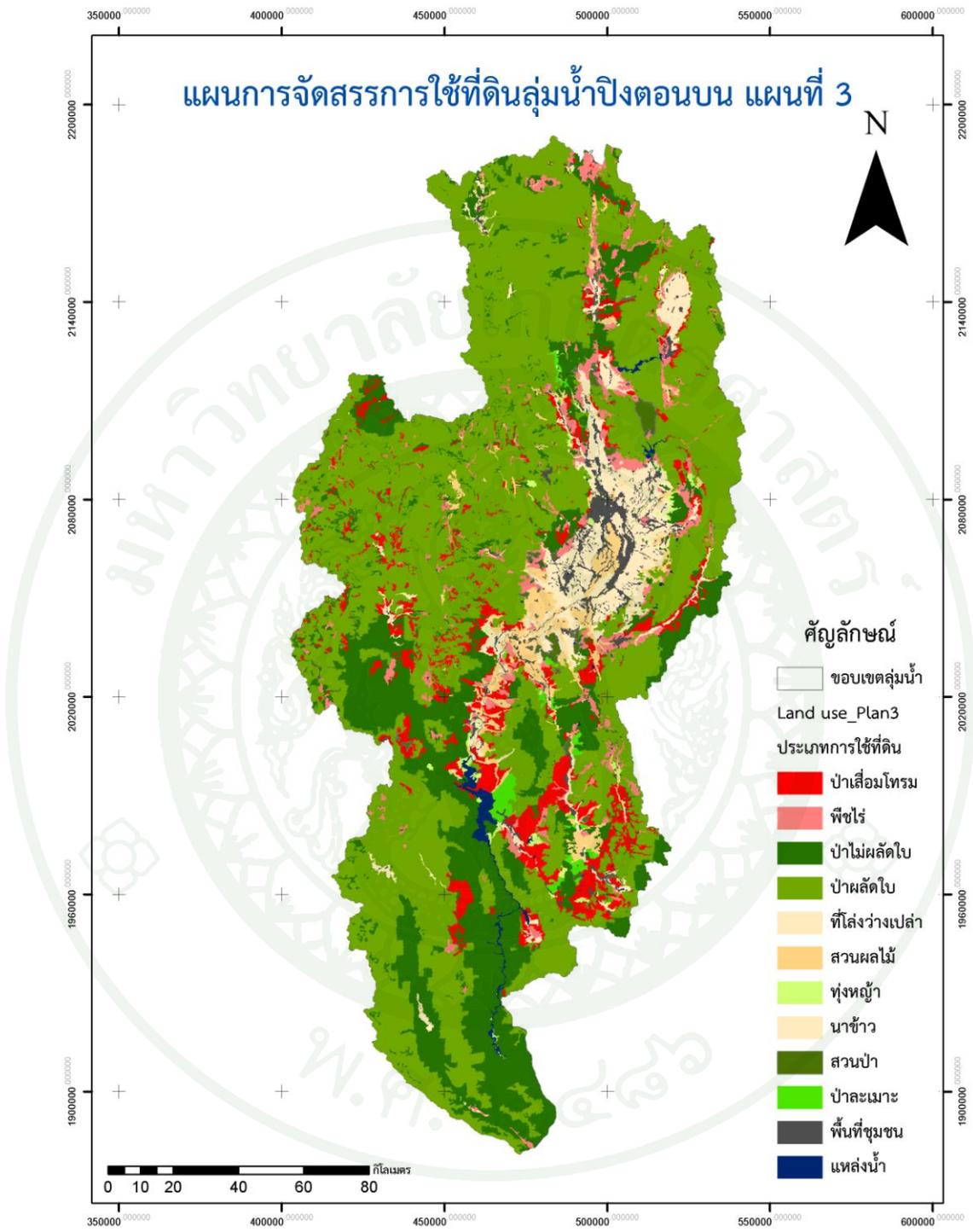


ภาพที่ 14 แผนที่การจัดการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน แผนที่ 2

4.3.2 การสร้างฐานข้อมูลแผนการจัดการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 3 เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาปริมาณน้ำท่าฤดูแล้ง ได้นำนโยบายและยุทธศาสตร์ของกรมทรัพยากรน้ำ เกี่ยวกับแผนกลยุทธ์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำภายใต้โครงการจัดทำแผนรวม (integrated plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ปี 2546 ซึ่งได้กำหนดมาตรการในการฟื้นฟูและอนุรักษ์ป่าไม้ เข้าเป็นส่วนหนึ่งของแผนงานในการวางแผนฟื้นฟูป่าต้นน้ำลำธาร ที่ถูกบุกรุกจากราษฎรเพื่อทำการเกษตร และตั้งถิ่นฐาน และทำการฟื้นฟูป่าเสื่อมสภาพในลุ่มน้ำชั้น 1A และ 1B ของลุ่มน้ำปิงตอนบน ตามแผนฟื้นฟูระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว ในการศึกษาการจัดทำแผนที่การจัดการจัดการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้ใช้แผนที่การใช้ที่ดินปี 2550 เป็นฐานข้อมูลในการปรับแก้และเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ที่ดินที่ถูกบุกรุกและพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมกลับคืนมาเป็นป่าที่สมบูรณ์เหมือนเดิมตามศักยภาพของป่าที่มีอยู่ในแต่ละลุ่มน้ำย่อย และในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำนั้น ๆ ดังแสดงในแผนการจัดการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ตารางที่ 11 และแผนที่การจัดการจัดการใช้ที่ดินในรูปแบบ GIS file ดังแสดงในภาพที่ 15

ตารางที่ 11 แผนการจัดการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 3	
	(ตร.กม.)	(ร้อยละ)
1. ป่าไม่ผลัดใบ	4,910	19.47
2. ป่าผลัดใบ	14,163	56.17
3. ป่าละเมาะ	170	0.67
4. ป่าเสื่อมโทรม	1,596	6.33
5. สวนป่า	161	0.64
6. แหล่งน้ำ	201	0.80
7. พื้นที่ชุมชน	576	2.28
8. นาข้าว	1,503	5.96
9. พืชไร่	994	3.94
10. สวนผลไม้	809	3.21
11. ทุ่งหญ้า	113	0.45
12. ที่โล่งว่างเปล่า	18	0.07
รวม	25,214	100



ภาพที่ 15 แผนที่การจัดการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน แผนที่ 3

การจำลองแบบการใช้ที่ดินเพื่อศึกษาปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool; SWAT และโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นเครื่องมือในการจำลองการใช้ที่ดินในอดีต ปี 2533 การใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550 และแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคตแผนที่ 1 แผนที่ 2 และแผนที่ 3 เพื่อศึกษาปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้งของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

1. การแยกประเภทการไหลของน้ำ

การแยกประเภทการไหลของน้ำมีความจำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับการปรับเทียบอัตราการไหลของน้ำเพื่อให้เกิดความถูกต้องและแม่นยำในการจำลองแบบ การแยก baseflow เป็นวิธีการที่ทำให้เข้าใจถึงพลวัตของการไหลของน้ำเพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการลุ่มน้ำ ซึ่ง Sloto, R.A. and M.Y. Crouse. (1996) กล่าวว่า การแยกกราฟการไหลของน้ำในลำธาร ออกเป็น baseflow และ surface runoff ก็เพื่อประเมินปริมาณน้ำในชั้นน้ำใต้ดินที่ปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ baseflow คือน้ำที่ไหลออกมาจากชั้นน้ำใต้ดิน ส่วน surface runoff เป็นน้ำที่ได้จากฝน น้ำทั้งสองส่วนนี้จะไหลไปรวมกันในลำธาร เรียกว่าน้ำท่าผิวดิน (streamflow หรือ total flow) การใช้วิธีการทางคอมพิวเตอร์ในการแยก hydrograph เปรียบเทียบกับ manual มีค่าใกล้เคียงกัน ในอีกทางหนึ่ง Arnold, J. R. *et al.* (1995) ชี้ให้เห็นว่า baseflow สามารถประเมินจากข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำในลำธารโดยใช้เทคนิคการแยก baseflow แบบอัตโนมัติที่ใช้วิธีทางเลขคณิต (digital filter) ซึ่งได้ผ่านการทดสอบและเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานกับวิธีการทาง graphic และ manual พบว่า digital filter เป็นวิธีการที่ง่ายและทันสมัยในการแยก streamflow เป็น baseflow และ surface runoff ดังสมการที่ 24 ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้เทคนิค automate baseflow program ในการแยก baseflow เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการ calibrate and validate model ซึ่ง automate baseflow program ได้ใช้วิธีการ recursive digital filter ในการ simulate และส่งผลออกในรูปแบบเลขคณิต ในการศึกษาได้ใช้ Bflow pass 2 ที่เป็นค่ากลางของผลการ separate baseflow

$$\text{Total streamflow} = \text{Surface runoff} + \text{Baseflow} \quad (24)$$

2. การเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง

2.1 หลักการและเหตุผล

การเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง ได้พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองกับค่าจากการตรวจวัดให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ (Donigian, 2002; นิพนธ์, 2549) ในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดการใช้ที่ดินปี 2543 เป็นปีฐานสำหรับการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง โดยกำหนดช่วงปี 2543 ถึง 2546 สำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลอง (calibration) และทดสอบแบบจำลอง (validation) ในช่วงปี 2547 ถึง 2550 ใน 5 สถานีตรวจวัดน้ำท่า เช่น P-20, P-65A, P-4A, P-21, และ P-24A ที่กระจายอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศและข้อมูลฝนรายวัน (time series) ในช่วงสถิติข้อมูล 23 ปี ระหว่าง 2528 ถึง 2550 การเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลองในลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้ใช้หลักการ multi-variables และ multi-sites approach พร้อมด้วยกันนี้ก็ได้ใช้ ค่า coefficient of determination (R^2), Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (E_{ns}) และ ค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ (relative difference) เป็นเกณฑ์วัดความถูกต้องของปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลอง (simulated) กับปริมาณการไหลที่ได้จากการตรวจวัด (observed) ในการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลองได้ใช้กระบวนการ trial and error เพื่อปรับเทียบอัตราการไหลทั้ง total streamflow, surface runoff และ baseflow ไปพร้อม ๆ กัน โดย conceptual idea สำหรับการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง คือ ค่า baseflow และ total streamflow ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (simulated) จะต้องมีค่าและสัดส่วนใกล้เคียงหรือเท่ากับ baseflow และ total streamflow ที่ผ่านการทำ automate baseflow ซึ่งได้มาจากค่าการตรวจวัดจริง (observed) ส่วน surface runoff เป็นค่าส่วนต่างของ baseflow กับ total streamflow การทำการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีนี้ทำให้มีตัวแปรเพิ่มขึ้น 1 ตัว คือ baseflow ซึ่งทำให้การเปรียบเทียบมีความยุ่งยากมากขึ้นอาจทำให้ค่า R^2 และ E_{ns} มีค่าลดลง แต่ปริมาณการไหลของน้ำที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงในระบบธรรมชาติมากยิ่งขึ้น

2.2 เกณฑ์การวัดความถูกต้อง

ในการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลองได้ใช้ coefficient of determination (R^2), Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (E_{ns}) และ relative difference เป็นเกณฑ์การวัดความถูกต้อง ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลสองกลุ่มเข้าด้วยกันและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน สำหรับ R^2 และ E_{ns} มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองเข้ากันได้ดี เมื่อค่าเข้าใกล้ 0 กลุ่มข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อย ส่วน relative difference เมื่อร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ มีค่าน้อยกว่า 10

แสดงว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองเข้ากันได้ดีมาก ถ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 กลุ่มข้อมูลทั้งสองเข้ากันได้ดี และ เมื่อค่าอยู่ระหว่าง 15 ถึง 20 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ตั้งสมการ

2.2.1 Coefficient of determination (R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (25)$$

โดย $SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ (26)

$$SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (27)$$

เมื่อ R^2 = สัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ

Y_i = ค่าจากการตรวจวัด

\hat{Y}_i = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

\bar{Y} = ค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด

2.2.2 Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (E_{ns})

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum(Q_o - Q_s)^2}{\sum(Q_o - Q_{avg})^2} \quad (28)$$

เมื่อ E_{ns} = Nush-sutcliffe efficiency coefficient

Q_o = ปริมาณการไหลที่ได้จากการตรวจวัด

Q_s = ปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลอง

Q_{avg} = ค่าเฉลี่ยปริมาณการไหลที่ได้จากการตรวจวัด

2.2.3 Relative difference (%)

$$relative\ difference = \left[\frac{(Q_o - Q_s)}{Q_o} \right] \times 100 \quad (29)$$

เมื่อ relative difference = ความแตกต่างสัมพัทธ์ (%)

Q_o = ปริมาณการไหลที่ได้จากการตรวจวัด

Q_s = ปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลอง

3. การจำลองแบบการใช้ที่ดินเพื่อศึกษาปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง

ในการจำลองแบบการใช้ที่ดินเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาได้ทำการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง และดำเนินการใช้งานแบบจำลองในแต่ละขั้นตอน เช่น การกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ (watershed delineation) การกำหนดลักษณะการใช้ที่ดินและชนิดดิน (land use and soil definition) การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs distribution) การนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (input the weather station) และวิเคราะห์ผล (simulation/run SWAT) โดยได้ทำการจำลองแบบบนฐานข้อมูลรายวัน ในรอบ 23 ปี จากปี 2528 ถึง 2550

3.1 การจำลองแบบการใช้ที่ดินในอดีตปี 2533

ทำการจำลองแบบการใช้ที่ดินในอดีตปี 2533 เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า (streamflow) ซึ่งเป็นตัวแทนสถานการณ์การใช้ที่ดินจริงในอดีตของลุ่มน้ำปิงตอนบน ที่ยังไม่มีมีการบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารมากนัก เป็นปีที่ใกล้เคียงกับการบังคับใช้หลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ และมาตรการการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำปิง ที่ได้รับการเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2528 และเป็นปีแห่งการเริ่มต้นของกระบวนการสร้างแนวความคิดในการอนุรักษ์ และเห็นความสำคัญของทรัพยากรป่าไม้ โดยรัฐบาลได้ประกาศยกเลิกสัมปทานการทำไม้ในป่าทั้งหมดในปี พ.ศ. 2532

3.2 การจำลองแบบการใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550

ทำการจำลองแบบการใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550 เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า ซึ่งเป็นตัวแทนสถานการณ์การใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันของลุ่มน้ำปิงตอนบน ที่มีการบุกรุกและเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลการศึกษาจะได้นำไปเปรียบเทียบกับสถานการณ์การจำลองแบบการใช้ที่ดินในอดีต เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า

3.3 การจำลองแบบการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต

ทำการจำลองแบบแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต ภายใต้หลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและมาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ที่คณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบ เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2528 เพื่อศึกษาปริมาณน้ำท่า (streamflow) โดยทำการจำลองแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 และแผนที่ 2 ในขณะเดียวกัน ก็ทำการจำลองแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินภายใต้

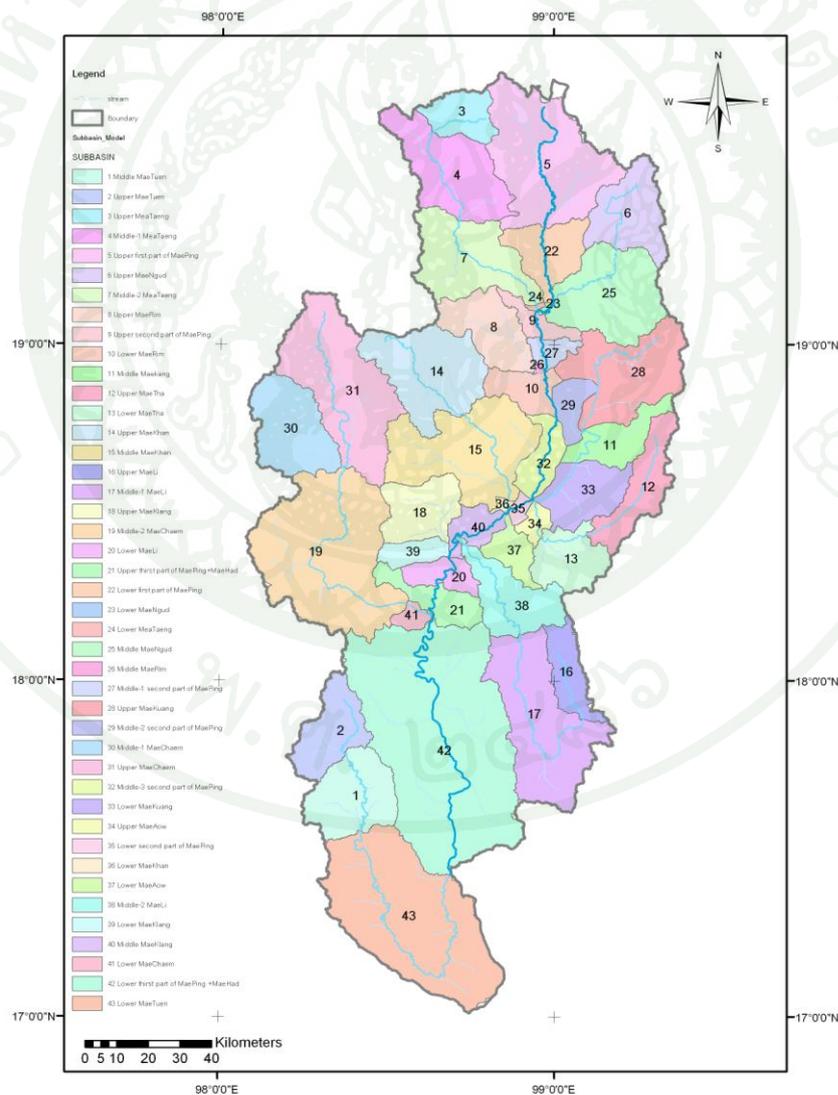
นโยบายและยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ บนพื้นฐานแผนฟื้นฟูสภาพป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1A และ 1B ของโครงการจัดทำแผนรวม (integrated plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำปี 2546 เพื่อศึกษาปริมาณน้ำท่า (streamflow) โดยทำการจำลองแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ที่ได้กำหนดไว้ในโครงสร้างการจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน (ภาพที่ 11) ผลการศึกษาจะได้นำไปเปรียบเทียบ/วิเคราะห์ผล/ประมวลผลร่วมกับปีปัจจุบัน เกี่ยวกับผลกระทบการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง เพื่อเป็นแนวทางเชิงนโยบายในการวางแผนจัดสรรการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง และเป็นการปลูกจิตสำนึกในการฟื้นฟู และรักษาป่าต้นน้ำลำธารที่มีอยู่อย่างจำกัดให้คงอยู่อย่างยั่งยืนต่อไป



ผลการศึกษา

1. การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำย่อย (watershed delineation)

การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำย่อยได้ใช้แผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) เส้นลำน้ำ (stream line) และได้กำหนดจุดทางน้ำออก (outlet) ให้มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งสถานีวัดน้ำจริง เพื่อช่วยให้แบบจำลอง SWAT สามารถกำหนดตำแหน่งของเส้นลำน้ำได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น ในการศึกษานี้ ได้กำหนดค่า threshold area ในการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเป็น 50 ตร.กม. ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ของแบบจำลอง สามารถแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนออกเป็น 43 ลุ่มน้ำย่อย ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 25, 214 ตร.กม. (model area) ดังภาพที่ 16 และแสดงในตารางผนวกที่ 2



ภาพที่ 16 แผนที่แสดงพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน

2. การแผ่กระจายของหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา

ระบบการแบ่งลำดับชั้น (hierarchy) ของแบบจำลอง SWAT ประกอบด้วยส่วนที่เป็นลุ่มน้ำ (watershed) ลุ่มน้ำย่อย (sub watershed) และหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (hydrologic response unit; HRU) ซึ่งในการคำนวณปริมาณน้ำท่าจะคำนวณจาก HRU เป็นอันดับแรก จากนั้นผลของแต่ละ HRU จะรวมเข้าเป็นของลุ่มน้ำย่อย และผลรวมของลุ่มน้ำย่อยจะรวมเข้าเป็นของทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ตามลำดับ (Xiaobo *et al.*, 2008) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย แบบจำลอง SWAT จะทำการแบ่งย่อยออกเป็นหลายหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) บนพื้นฐานการใช้ที่ดินและชนิดของดินในลุ่มน้ำย่อยนั้น ๆ ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดใช้หลักเกณฑ์ multiple hydrologic response unit และกำหนดค่า land use (%) over subbasin area = 15 และ soil class (%) over land use area = 15 ผลจากการวิเคราะห์ของแบบจำลองสามารถแบ่ง 43 ลุ่มน้ำย่อยออกเป็น 119 หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) โดยค่าเฉลี่ยพื้นที่ต่อหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาเท่ากับ 211.88 ตร.กม. ดังแสดงในตารางผนวกที่ 2

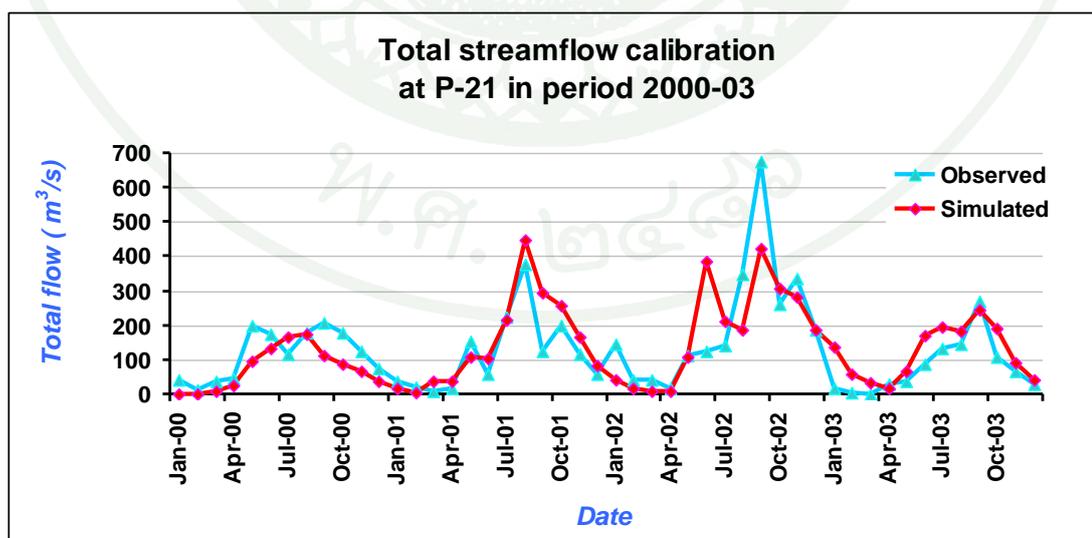
3. ผลการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง

การเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง ได้พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองกับค่าจากการตรวจวัดให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ (Donigian, 2002; นิพนธ์, 2549) ในการศึกษาได้กำหนดช่วงปี 2543 ถึง 2546 สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) และทดสอบแบบจำลอง (validation) ในช่วงปี 2547 ถึง 2550 การปรับเทียบและทดสอบแบบจำลองในลุ่มน้ำปึงตอนบนได้ใช้หลักการ multi-variables และ multi-sites approach ในขณะเดียวกัน ก็ได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ parameters และใช้ค่า coefficient of determination (R^2), Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (E_{ns}) และ relative difference เป็นเกณฑ์การวัดความถูกต้องของปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลอง (simulated) กับปริมาณการไหลที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ (observed) ทั้งในส่วนของ surface runoff, baseflow และ streamflow ซึ่งผลการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลองในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน แสดงให้เห็นว่า ชุด parameter ที่ใช้ในการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลองมีความเหมาะสมกับลุ่มน้ำ และแบบจำลอง SWAT สามารถประยุกต์ใช้ในการศึกษาผลผลิตน้ำท่าในลุ่มน้ำปึงตอนบนได้ โดยผลการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลองทั้งหมด ลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนที่ได้ทำการสอบเทียบมีค่า R^2 และ $E_{ns} \geq 0.53$ ยกเว้น ค่า E_{ns} ในสถานีตรวจวัดน้ำ P24-A (ลุ่มน้ำแม่กลาง) ซึ่งผลของการปรับเทียบแบบจำลอง (model calibration) ค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.53 ถึง 0.64 และ E_{ns} มีค่า 0.50 ถึง 0.63 สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (model validation) ค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.53 ถึง 0.67 และ E_{ns} มีค่า 0.53 ถึง 0.66

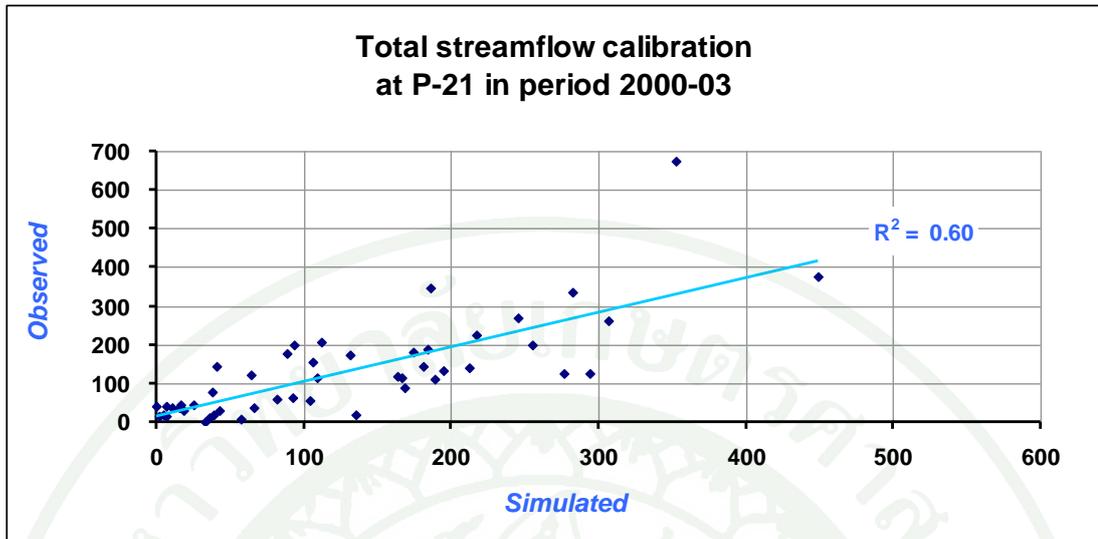
ดังแสดงในตารางที่ 12 และแสดงในกราฟตัวอย่าง การปรับเทียบแบบจำลอง (model calibration) ที่แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ณ สถานีวัดน้ำ P-21 ในลุ่มน้ำย่อยแม่ริม ดังภาพแสดงที่ 17, กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed ณ สถานีวัดน้ำ P-21 ในลุ่มน้ำย่อยแม่ริม ดังภาพแสดงที่ 18 และกราฟตัวอย่างการทดสอบแบบจำลอง (model validation) ที่แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ณ สถานีวัดน้ำ P-21 ในลุ่มน้ำย่อยแม่ริม ดังภาพแสดงที่ 19, กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed ณ สถานีวัดน้ำ P-21 ในลุ่มน้ำย่อยแม่ริม ดังภาพแสดงที่ 20 ส่วนกราฟแสดงผลการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลอง ในสถานีวัดน้ำ P-20, P-65A, P-4A และ P-24A ได้แสดงในภาพผนวกที่ 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 และ 16 ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ผลการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลองในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

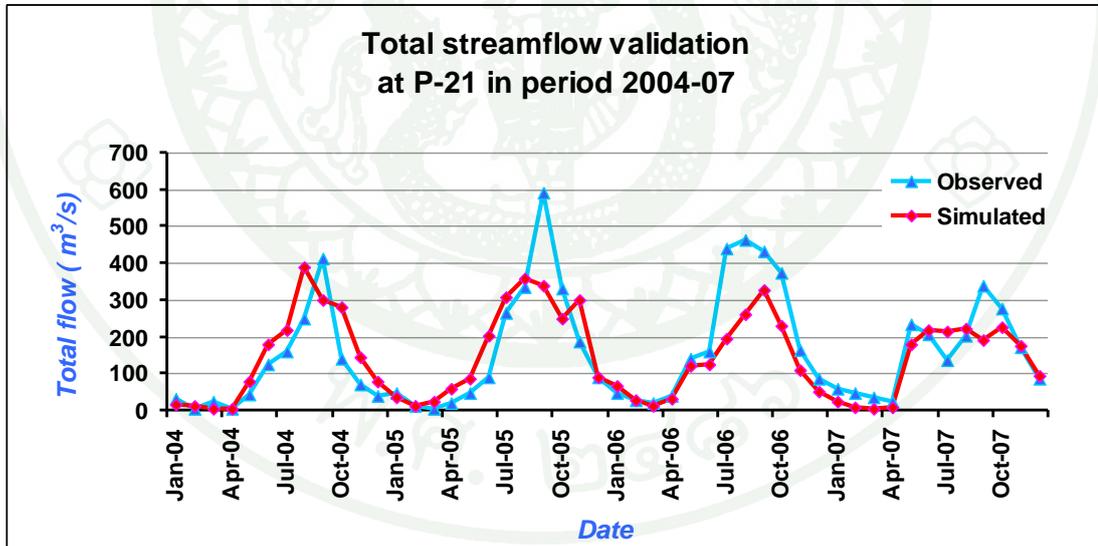
ลำดับที่	ลุ่มน้ำย่อย	สถานีวัดน้ำ	Calibration		Validation	
			R^2	E_{ns}	R^2	E_{ns}
1	ลุ่มน้ำปิงส่วนที่ 1	P-20	0.57	0.57	ข้อมูลไม่เพียงพอ	
2	ลุ่มน้ำแม่จืด	P-56A	0.64	0.63	ข้อมูลไม่เพียงพอ	
3	ลุ่มน้ำแม่แตง	P-4A	0.54	0.51	0.53	0.53
4	ลุ่มน้ำแม่ริม	P-21	0.60	0.59	0.67	0.66
5	ลุ่มน้ำแม่กลาง	P-24A	0.53	0.50	0.56	0.56



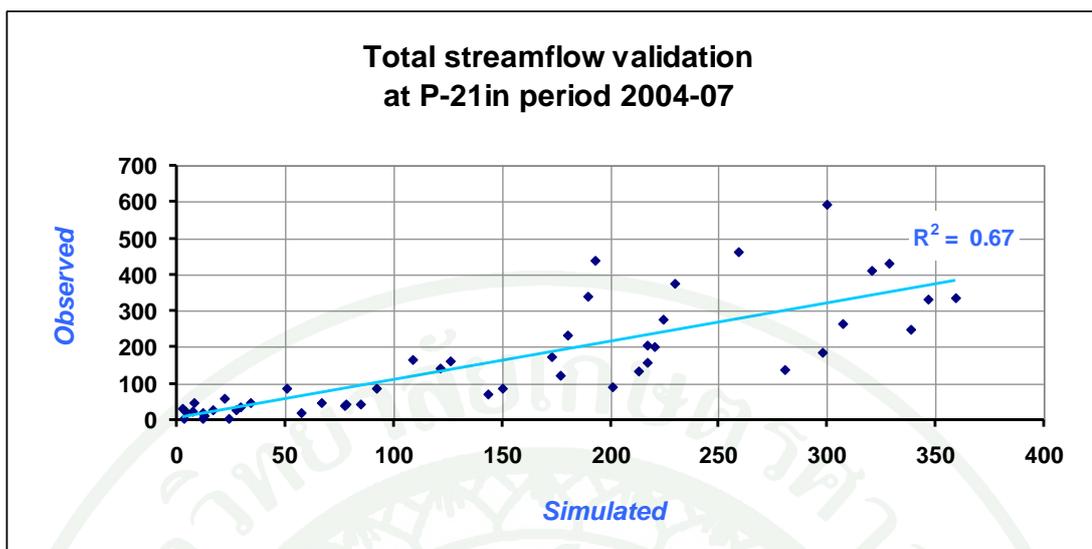
ภาพที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-21



ภาพที่ 18 กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-21



ภาพที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับผลการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-21



ภาพที่ 20 กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-21

ผลของการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง เห็นว่า ปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลอง มีความสัมพันธ์กับปริมาณการไหลที่ได้จากการตรวจวัดจริงทั้งในส่วนของ surface runoff, baseflow และ total streamflow ความแตกต่างสัมพัทธ์ ระหว่าง simulated และ observed ของ total streamflow ซึ่งเป็นปริมาณน้ำรวมที่ไหลในลำธารมีความแตกต่างน้อยมากอยู่ระหว่างร้อยละ 0.77 ถึง 4.48 สำหรับ baseflow และ surface runoff มีความแตกต่างเล็กน้อยไม่ถึงร้อยละ 7 ยกเว้น ค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ของ baseflow ในสถานีตรวจวัดน้ำ P56-A และ surface runoff ในสถานีตรวจวัดน้ำ P4-A และ P24-A ร้อยละของความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณน้ำจากการตรวจวัดจริงในสนามอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำถึงดีมากโดยพิจารณาตามเกณฑ์ของ Donigian (2002) และ นิพนธ์ (2549) ดังแสดงในตารางความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่าง simulated และ observed ตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงค่าความแตกต่างสัมพัทธ์ของอัตราการไหลในพื้นที่การเปรียบเทียบ

สถานีวัดน้ำ	Periods	ร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์		
		Surface runoff	Baseflow	Total streamflow
P-20	2000 ถึง 2003	- 4.84	3.67	1.31
P-56A	2000 ถึง 2003	- 3.08	8.84	4.48
P-4A	2000 ถึง 2003	15.54	- 6.64	2.52
P-21	2000 ถึง 2003	- 5.78	1.89	- 0.77
P-24A	2000 ถึง 2003	- 18.42	5.99	- 2.40

4. ผลการศึกษาปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน บนพื้นฐานการจำลองการใช้ที่ดินในอดีต และปัจจุบัน

สถานการณ์การใช้ที่ดินปี 2533 ได้กำหนดให้เป็นตัวแทนสถานะการใช้ที่ดินจริงของกลุ่มน้ำปิงตอนบนในอดีตที่มีการบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารไม่มากนัก ขณะที่ สถานการณ์การใช้ที่ดินปี 2550 เป็นตัวแทนสถานะการใช้ที่ดินจริงของกลุ่มน้ำปิงตอนบนในปัจจุบัน ซึ่งมีการบุกรุก และเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเพิ่มมากขึ้น

4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในอดีตปี 2533

ข้อมูลการใช้ที่ดินจริงในอดีตปี 2533 และการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550 ของลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ได้ทำการวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5 ระบบ Thematic Mapper (TM) รายละเอียดภาพ 30 ม. ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ พบว่า การใช้ที่ดินหลักในอดีต มีพื้นที่ป่าไม้ (ป่าไม่ผลัดใบและป่าผลัดใบ) ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 76.24 รองลงมาคือพื้นที่เกษตร (นาข้าว พืชไร่ และไม้ผล) ร้อยละ 11.13 พื้นที่ป่าเสื่อมโทมร้อยละ 7.42 และพื้นที่ชุมชนร้อยละ 1.74 ส่วนการใช้ที่ดินหลักในปัจจุบัน พื้นที่ป่าไม้ยังคงครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดคือร้อยละ 72.19 รองลงมาเป็นพื้นที่เกษตรร้อยละ 14.24 พื้นที่ป่าเสื่อมโทม ร้อยละ 8.65 และพื้นที่ชุมชนร้อยละ 2.29 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 9 ในการวิเคราะห์การใช้ที่ดินได้พิจารณาจากภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นสำคัญ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์การใช้ที่ดินปัจจุบันเปรียบเทียบกับ การใช้ที่ดินในอดีต แสดงให้เห็นว่า การใช้ที่ดินหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงเวลา 18 ปี พื้นที่ป่าไม้ (ป่าไม่ผลัดใบ + ป่าผลัดใบ) ลดลงประมาณ 1,019 ตร.กม. หรือประมาณร้อยละ 4.04 ในทางกลับกัน พื้นที่การเกษตร (นาข้าว พืชไร่ และไม้ผล) ป่าเสื่อมโทม และพื้นที่ชุมชนเพิ่มมากขึ้นประมาณร้อยละ 3.11 1.23 และ 0.55 ตามลำดับ อันเนื่องมาจาก การเพิ่มขึ้น

ของประชากร นโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ขาดมาตรการควบคุมอย่างจริงจัง ทำให้เกิดการบุกรุกพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธาร ดังตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนในปัจจุบันเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในอดีตตารางที่ 14 อย่างไรก็ตาม ยังคงเห็นความสำคัญของทรัพยากรป่าไม้ต่อระบบนิเวศอยู่บ้าง โดยได้มีพระราชบัญญัติ กฎหมาย และนโยบาย ตลอดจนมาตรการต่าง ๆ ในการรักษาและฟื้นฟูป่าต้นน้ำลำธารให้คงอยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 14 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินปัจจุบัน 2550 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในอดีต 2533

ลำดับที่	ประเภทการใช้ที่ดิน	การเปลี่ยนแปลงจากอดีตถึงปัจจุบัน	
		พื้นที่ (ตร.กม.)	(ร้อยละ)
1	ป่าไม่ผลัดใบ	- 347	- 1.38
2	ป่าผลัดใบ	- 672	- 2.67
3	ป่าละเมาะ	- 216	- 0.86
4	ป่าเสื่อมโทรม	309	1.23
5	สวนป่า	26	0.10
6	แหล่งน้ำ	84	0.33
7	พื้นที่ชุมชน	138	0.55
8	นาข้าว	- 8	- 0.03
9	พืชไร่	410	1.63
10	สวนผลไม้	382	1.52
11	ทุ่งหญ้า	- 72	- 0.29
12	ที่โล่งว่างเปล่า	- 34	- 0.13

หมายเหตุ ค่าที่มีเครื่องหมายติด (-) แสดงถึงการลดลงของพื้นที่การใช้ที่ดิน

4.2 ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง ของสถานการณ์การใช้ที่ดินในอดีตปี 2533 และการใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550

ในการศึกษาปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยแบบจำลอง SWAT ได้ใช้ข้อมูลภูมิอากาศและข้อมูลฝนรายวันในช่วงสถิติข้อมูล 23 ปี (ระหว่างปี 2528 ถึง 2550) และใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินจริงในปี 2543 เป็นปีฐานในการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลอง โดยใช้ค่า coefficient of determination, Nash-Sutcliffe efficiency coefficient และ relative difference เป็นเกณฑ์การวัดความถูกต้องของปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลอง (simulated) กับปริมาณการไหลที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ (observed) พบว่า ทั้ง 2 ชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์กันอยู่ใน

เกณฑ์ที่ดี จึงได้นำแบบจำลอง SWAT มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง บนพื้นฐานการจำลองการใช้ที่ดินในอดีต และปัจจุบัน โดยได้พิจารณาภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นสำคัญ

ผลจากการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของกลุ่มน้ำปีงตอนบนสำหรับสถานการณ์การใช้ที่ดินในอดีตปี 2533 เท่ากับ 2,102.15 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนประมาณร้อยละ 45.07 ต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์มีปริมาณน้ำท่าประมาณร้อยละ 3.43 และปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งสำหรับสถานการณ์การใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550 เท่ากับ 1,989.31 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนประมาณร้อยละ 45.11 ต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์มีปริมาณน้ำท่าประมาณร้อยละ 3.42 ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งสำหรับการใช้ที่ดินในอดีตปี 2533 และการใช้ที่ดินปัจจุบันปี 2550

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ล้าน ลบ.ม.)			
	การใช้ที่ดินในอดีตปี 2533		การใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550	
	ปริมาณน้ำท่า	ร้อยละ	ปริมาณน้ำท่า	ร้อยละ
พฤศจิกายน	947.40	45.07	897.32	45.11
ธันวาคม	419.92	19.98	392.00	19.71
มกราคม	154.70	7.36	145.83	7.33
กุมภาพันธ์	72.18	3.43	68.13	3.42
มีนาคม	140.94	6.70	132.08	6.64
เมษายน	367.01	17.46	353.96	17.79
ปริมาณน้ำท่ารวม	2,102.15	100	1,989.31	100

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าฤดูแล้ง ในสภาวะการใช้ที่ดินปัจจุบันเปรียบเทียบกับอดีต ชี้ให้เห็นว่า ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในปีปัจจุบันลดลง 112.84 ล้าน ลบ.ม. หรือประมาณร้อยละ 5.37 และที่สำคัญคือปริมาณน้ำท่ารายเดือนในฤดูแล้งได้ลดลงทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 16 ซึ่งมีนัยสำคัญต่อความเกี่ยวเนื่องเชื่อมโยงของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ตารางที่ 16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในปัจจุบันปี 2550 เปรียบเทียบกับอดีตปี 2533

เดือน	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าฤดูแล้ง ในปีปัจจุบันเปรียบเทียบกับอดีต	
	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละ
พฤศจิกายน	- 50.07	- 5.29
ธันวาคม	- 27.92	- 6.65
มกราคม	- 8.87	- 5.73
กุมภาพันธ์	- 4.06	- 5.62
มีนาคม	- 8.86	- 6.29
เมษายน	- 13.06	- 3.56
การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ารวม	- 112.84	- 5.37

หมายเหตุ ค่าที่มีเครื่องหมายติด (-) แสดงถึงการลดลงของปริมาณน้ำท่า

ผลการวิเคราะห์การใช้ที่ดินในอดีตเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินปัจจุบันพบว่า ปัจจุบันพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารได้ลดลง ในทางกลับกัน พื้นที่เกษตร ป่าเสื่อมโทรม และพื้นที่ชุมชนเพิ่มมากขึ้น สรุปได้ว่า เมื่อพื้นที่ป่าลดลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งก็ลดลงตามไปด้วย วิฤตกาลเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเหล่านี้ได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยสอดคล้องกับข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำ (2546) และสำนักฟื้นฟูและพัฒนาพื้นที่อนุรักษ์ (2550) ที่กล่าวว่า พื้นที่ลุ่มน้ำปิงเป็นลุ่มน้ำที่มีการบุกรุกทำลายป่าไม้ในพื้นที่ต้นน้ำลำธารสูง เป็นสาเหตุในการเกิดภาวะน้ำท่วมแทบทุกๆ ปี และเกิดการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง และยังสอดคล้องกับ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2549) ได้กล่าวว่า ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรป่าไม้เป็นต้นเหตุสำคัญของปัญหาภัยแล้ง น้ำท่วมฉับพลัน และการพังทลายของดิน พร้อมกันนี้ สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี (2549) และกรมพัฒนาที่ดิน (2530 และ 2534) ได้ชี้ให้เห็นว่า การตัดไม้ทำลายป่า การทำไร่เลื่อนลอย และการเพาะปลูกที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ป่าต้นน้ำ ทำให้ดินเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย คุณภาพดินเสื่อมโทรม ลำน้ำต้นเขินเกิดปัญหาน้ำหลากในฤดูฝน ในทางกลับกันก็ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งลดน้อยลง การลดลงของปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในปีปัจจุบันยังสอดคล้องกับ เกษม (2539) ที่ได้กล่าวว่า ดิน น้ำ และป่าไม้ เป็นทรัพยากรที่มีความสัมพันธ์กันอย่างแน่นแฟ้นยากที่จะแยกออกจากกันได้ การทำลายป่าหรือพืชคลุมดินจะทำให้สมบัติของดินเปลี่ยนไป โดยเฉพาะการซึมน้ำผ่านผิวดินและการไหลซึมลงสู่ดินชั้นล่าง รวมถึงสมรรถนะการอุ้มน้ำของดินก็ลดน้อยลงไปด้วย ในทำนองเดียวกัน นิตยา และสุพจน์ (2542) ได้พิสูจน์ให้เห็นว่า การทำการเกษตรอย่างต่อเนื่องทำให้การสูญเสียดินและน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น Tangtham (1990) ได้กล่าวอีกว่า ลุ่มน้ำที่มีป่าปกคลุมมากกว่าร้อยละ 70 จะมีคุณภาพ

ทางกายภาพที่ดีกว่าลุ่มน้ำที่มีป่าเหลือน้อย ลุ่มน้ำที่มีป่าเหลือน้อยจะมีน้ำไหลในช่วงฤดูแล้งน้อยกว่าลุ่มน้ำที่มีป่าเหลือน้อยมาก เนื่องจากน้ำส่วนใหญ่ได้ไหลหลากลงไปในช่วงฤดูฝน การเปลี่ยนแปลงสภาพป่าเพื่อทำการเกษตรและพัฒนาารูปแบบต่าง ๆ ทำให้น้ำท่าลดน้อยลง และที่สำคัญ Guo *et al.* (2008) ได้ชี้ให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่ารายปีในระดับปานกลาง แต่มีอิทธิพลมากต่อปริมาณน้ำท่ารายฤดูกาล การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ทำให้ระดับความรุนแรงของน้ำหลากเพิ่มขึ้น และส่งผลกระทบต่อภาวะแห้งแล้งมากยิ่งขึ้น

5. ผลการจำลองการจ้ดสรรการใช้ที่ดินในอนาคตของลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง

จากผลสรุปของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากอดีตถึงปัจจุบัน ชี้ให้เห็นว่า การลดลงของพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธาร ได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งมากพอสมควร ทำให้ผลผลิตน้ำท่าในฤดูแล้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ฉะนั้น การจ้ดสรรการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ได้ตระหนักถึงหลักแนวคิดในการฟื้นฟูรักษาป่าต้นน้ำลำธารเพื่อรักษาสมดุลของระบบนิเวศลุ่มน้ำ และได้ร่นำเอาแนวพระราชดำรินการป่าไม้ ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว พ่อหลวงของปวงชาวไทย ในการอนุรักษ์ป่าและสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้พระราชทานแนวพระราชดำริตอนหนึ่งไว้ว่า “เมื่อมีป่าก็มีน้ำ มีดินอันอุดมสมบูรณ์ มีความชุ่มชื้นของอากาศ และเกื้อกูลต่อการดำรงชีวิตของคน” (สำนักประชาสัมพันธ์เขต 3 (ม.ป.ป.) โดยการนำเอาหลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและมาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ที่มีมติเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2528 และ นโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาทรัพยากรน้ำ ในโครงการจัดทำแผนรวม (integrated plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ปี 2546 มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแผนการจ้ดสรรที่ดินในอนาคต

5.1 การจ้ดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต แผนที่ 1

5.1.1 ผลการจ้ดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปัจจุบัน ปี 2550

ผลการจ้ดสรรที่ดินในอนาคตแผนที่ 1 สำหรับการฟื้นฟูป่าต้นน้ำลำธารเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าบนพื้นฐานหลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและมาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงที่มีมติเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2528 ชี้ให้เห็นว่า การใช้ที่ดินหลัก เช่น พื้นที่ป่าไม้ (ป่าไม่ผลัดใบและป่าผลัดใบ) ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 77.76 รองลงมาคือพื้นที่การเกษตร (นาข้าว พืชไร่ และไม้ผล) ร้อยละ 13.27 พื้นที่ป่าเสื่อมโทรมร้อยละ 4.09 และพื้นที่

ชุมชนร้อยละ 2.29 ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 10 สำหรับการจัดการสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบนได้แสดงในตารางผนวกที่ 3 ในการวิเคราะห์แผนการจัดการสรรการใช้ที่ดินได้พิจารณาภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นสำคัญ เมื่อนำแผนการจัดการสรรการใช้ที่ดิน แผนที่ 1 มาทำการเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550 พบว่า การใช้ที่ดินหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้รับการฟื้นฟูหรือมีพื้นที่ป่าไม้ (ป่าไม้ผลัดใบ + ป่าผลัดใบ) เพิ่มขึ้นประมาณ 1,403 ตร.กม. หรือประมาณร้อยละ 5.56 ในทางกลับกัน ป่าเสื่อมโทรม และพื้นที่การเกษตร (นาข้าว พืชไร่ และไม้ผล) ได้ถูกจำกัดและลดพื้นที่ลงประมาณร้อยละ 4.56 และ 0.97 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ชุมชนยังคงไว้เหมือนเดิม ดังแสดงในตารางที่ 17

5.1.2 ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับการจัดการสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 เปรียบเทียบกับปัจจุบันปี 2550

ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool; SWAT ในการศึกษาปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดการสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 ได้พิจารณาภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า แผนจัดการสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 ของลุ่มน้ำปิงตอนบน มีปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง 2,023.39 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนประมาณร้อยละ 45.30 และต่ำสุดเกิดขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์มีปริมาณน้ำท่าประมาณร้อยละ 3.20 ดังแสดงในตารางที่ 18 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งสำหรับการใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550 พบว่า ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเพิ่มขึ้นถึง 34.09 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งในช่วงต้นฤดูแล้งถึงกลางฤดูแล้ง (พฤศจิกายน ถึง มกราคม) ระบบลุ่มน้ำที่ใต้เก็บน้ำไว้ในดินและชั้นน้ำใต้ดินได้ปล่อยน้ำออกสู่แหล่งน้ำ (interflow) ตามกระบวนการทางอุทกวิทยา ทำให้น้ำในลำธารในช่วงนี้มีปริมาณมากกว่าปี 2550 จำนวน 63.37 ล้าน ลบ.ม. แต่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงกลางถึงปลายฤดูแล้งนั้นน้ำในลำธารจะน้อยกว่าปี 2550 ประมาณ 29.28 ล้าน ลบ.ม. เนื่องจากว่าในพื้นที่ที่มีต้นไม้มากจึงนำน้ำไปใช้มากขึ้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรน้ำที่มีการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงไปตามระบบนิเวศนั้น ๆ ทำให้ช่องว่างการไหลของน้ำในดิน (subsurface runoff) และช่องว่างระดับเก็บกักน้ำใต้ดิน (groundwater) มีมากขึ้น ในขณะที่ฝนตกในช่วงต้นฤดูฝนนอกจากการดักเก็บน้ำของพืชและต้นไม้แล้ว (interception) แล้ว ดินที่แห้งจะมีอัตราการซึมน้ำลงในดิน (infiltration) เร็วขึ้น และซึมลึก (percolation) ลงไปในชั้นน้ำใต้ดินมากขึ้น ประกอบกับแหล่งเก็บกักน้ำใต้ดิน (groundwater) ที่มีช่องว่างจะช่วยดูดซึมน้ำฝนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นการลดการเกิดน้ำป่าไหลหลากและน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ลุ่มน้ำและท้ายน้ำในช่วงฤดูฝนได้ ดังแสดงในตารางที่ 19 สำหรับปริมาณน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้การจัดการสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 ได้แสดงในตารางผนวกที่ 4

ตารางที่ 17 ผลการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปีปัจจุบัน 2550

ลำดับที่	ประเภทการใช้ที่ดิน	การเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบัน สู่แผนจัดสรรที่ 1	
		พื้นที่ (ตร.กม.)	(ร้อยละ)
1	ป่าไม่ผลัดใบ	1,401	5.56
2	ป่าผลัดใบ	2	0.01
3	ป่าละเมาะ	0	0.00
4	ป่าเสื่อมโทรม	- 1,149	- 4.56
5	สวนป่า	- 2	- 0.01
6	แหล่งน้ำ	0	0.00
7	พื้นที่ชุมชน	0	0.00
8	นาข้าว	0	0.00
9	พืชไร่	- 230	- 0.91
10	สวนผลไม้	- 14	- 0.06
11	ทุ่งหญ้า	- 7	- 0.03
12	ที่โล่งว่างเปล่า	- 1	- 0.00

หมายเหตุ ค่าที่มีเครื่องหมายติด (-) แสดงถึงการลดลงของพื้นที่การใช้ที่ดิน

ตารางที่ 18 ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1	
	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละ
พฤศจิกายน	916.64	45.30
ธันวาคม	427.93	21.15
มกราคม	153.94	7.61
กุมภาพันธ์	64.70	3.20
มีนาคม	125.31	6.19
เมษายน	334.88	16.55
ปริมาณน้ำท่ารวม	2,023.39	100

ตารางที่ 19 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของแผนจัดสรรการใช้ที่ดิน
แผนที่ 1 เปรียบเทียบกับปีปัจจุบัน 2550

เดือน	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง จากปัจจุบัน สู่วางแผนการจัดสรรแผนที่ 1	
	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละ
พฤศจิกายน	19.32	2.15
ธันวาคม	35.93	9.16
มกราคม	8.12	5.75
กุมภาพันธ์	- 3.43	- 5.03
มีนาคม	- 6.76	- 5.12
เมษายน	- 19.09	- 5.39
การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ารวม	34.09	1.71

หมายเหตุ ค่าที่มีเครื่องหมายติด (-) แสดงถึงการลดลงของปริมาณน้ำท่า

5.2 การจัดการการใช้ที่ดินในอนาคต แผนที่ 2

5.2.1 ผลการจัดการจัดการการใช้ที่ดินแผนที่ 2 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปัจจุบัน ปี 2550

ผลการจัดการที่ดินในอนาคตแผนที่ 2 สำหรับการฟื้นฟูป่าต้นน้ำลำธารเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าได้ทำการจัดสรรบนพื้นฐานหลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและมาตรการการใช้ที่ดินเหมือนกับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 แต่ได้ใช้มาตรการและความเข้มข้นของการจัดการการใช้ที่ดินเพิ่มมากขึ้น โดยผลการจัดสรรชี้ให้เห็นว่า การใช้ที่ดินหลัก เช่น พื้นที่ป่าไม้ (ป่าไม่ผลัดใบและป่าผลัดใบ) ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 81.72 รองลงมาคือพื้นที่เกษตร (นาข้าว พืชไร่ และไม้ผล) ร้อยละ 12.51 พื้นที่ป่าเสื่อมโทมร้อยละ 0.93 และพื้นที่ชุมชนร้อยละ 2.27 ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 10 สำหรับการจัดการการใช้ที่ดินแผนที่ 2 ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนได้แสดงในตารางผนวกที่ 3 ในการวิเคราะห์แผนการจัดการการใช้ที่ดินโดยได้พิจารณาภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นสำคัญ เมื่อนำแผนการจัดการการใช้ที่ดินแผนที่ 2 มาทำการเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550 พบว่า การใช้ที่ดินหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้รับการฟื้นฟูหรือมีพื้นที่ป่าไม้ (ป่าไม่ผลัดใบ + ป่าผลัดใบ) เพิ่มสูงมากขึ้นประมาณ 2,401 ตร.กม. หรือประมาณร้อยละ 9.52 ในทางกลับกัน ป่าเสื่อมโทม พื้นที่การเกษตร (นาข้าว พืชไร่ และไม้ผล) และ พื้นที่ชุมชน ได้ถูกจำกัดและลดพื้นที่ลงประมาณร้อยละ 7.72 1.73 และ 0.02 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ผลการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปีปัจจุบัน 2550

ลำดับที่	ประเภทการใช้ที่ดิน	การเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบัน สู่แผนจัดสรรที่ 2	
		พื้นที่ (ตร.กม.)	(ร้อยละ)
1	ป่าไม่ผลัดใบ	2,399	9.51
2	ป่าผลัดใบ	2	0.01
3	ป่าละเมาะ	0	0.00
4	ป่าเสื่อมโทรม	- 1,947	- 7.72
5	สวนป่า	- 2	- 0.01
6	แหล่งน้ำ	0	0.00
7	พื้นที่ชุมชน	- 4	- 0.02
8	นาข้าว	0	0.00
9	พืชไร่	- 421	- 1.67
10	สวนผลไม้	- 14	- 0.06
11	ทุ่งหญ้า	- 7	- 0.03
12	ที่โล่งว่างเปล่า	- 6	- 0.02

หมายเหตุ ค่าที่มีเครื่องหมายติด (-) แสดงถึงการลดลงของพื้นที่การใช้ที่ดิน

5.2.2 ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 เปรียบเทียบกับปัจจุบันปี 2550

ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา soil and water assessment tool; SWAT ในการศึกษาปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 ได้พิจารณาภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า แผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 ของลุ่มน้ำปิงตอนบนมีปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง 2,021.75 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนประมาณร้อยละ 45.01 และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์มีปริมาณน้ำท่าประมาณร้อยละ 3.23 ดังแสดงในตารางที่ 21 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปัจจุบันปี 2550 พบว่า ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น 32.44 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งในช่วงต้นฤดูแล้งถึงกลางฤดูแล้ง (พฤศจิกายน ถึง มกราคม) ระบบลุ่มน้ำที่เก็บน้ำไว้ในดินและชั้นน้ำใต้ดินได้ทำการปล่อยน้ำออกสู่แหล่งน้ำ (interflow) ทำให้น้ำในลำธารมีมากกว่าปี 2550 ประมาณ 53.47 ล้าน ลบ.ม. แต่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงกลางถึงปลายฤดูแล้งนั้นน้ำในลำธารจะน้อยกว่าปี 2550 ประมาณ 21.03 ล้าน ลบ.ม. เนื่องจากว่าในพื้นที่มีต้นไม้มากจึงนำน้ำไปใช้มากขึ้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงวัฏจักรน้ำทำให้ช่องว่างการไหลของน้ำ

ในดิน (subsurface runoff) และช่องว่างระดับเก็บกักน้ำใต้ดิน (groundwater) มีมากขึ้น ขณะที่ฝนตกในช่วงต้นฤดูฝน เรือนยอดของต้นไม้และพืชพันธุ์ที่ครอบคลุมพื้นที่มากจะทำการดักหรือเก็บน้ำ (interception) และดินที่แห้งจะมีอัตราการซึมน้ำลงในดิน (infiltration) เร็วขึ้น และซึมลึก (percolation) ลงไปในชั้นน้ำใต้ดินได้มากขึ้น ประกอบกับแหล่งเก็บกักน้ำใต้ดิน (groundwater) มีช่องว่างจะช่วยดูดซึมน้ำฝนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้มาก ซึ่งจะเป็นการลดการเกิดน้ำป่าไหลหลากและน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ลุ่มน้ำและท้ายน้ำในช่วงต้นฤดูฝน ดังแสดงในตารางที่ 22 สำหรับปริมาณน้ำท่า ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้การจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 ได้แสดงในตารางผนวกที่ 4

ตารางที่ 21 ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2	
	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละ
พฤศจิกายน	910.08	45.01
ธันวาคม	423.37	20.94
มกราคม	155.18	7.68
กุมภาพันธ์	65.32	3.23
มีนาคม	129.78	6.42
เมษายน	338.02	16.72
ปริมาณน้ำท่ารวม	2,021.75	100

ตารางที่ 22 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของแผนจัดสรรการใช้ที่ดิน
แผนที่ 2 เปรียบเทียบกับปีปัจจุบัน 2550

เดือน	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง จากปัจจุบัน สู่วางแผนการจัดสรรแผนที่ 2	
	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละ
พฤศจิกายน	12.76	1.42
ธันวาคม	31.37	8.00
มกราคม	9.34	6.41
กุมภาพันธ์	- 2.80	- 4.11
มีนาคม	- 2.29	- 1.74
เมษายน	- 15.94	- 4.50
การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ารวม	32.44	1.63

หมายเหตุ ค่าที่มีเครื่องหมายติด (-) แสดงถึงการลดลงของปริมาณน้ำท่า

5.3 การจัดการการใช้ที่ดินในอนาคต แผนที่ 3

5.3.1 ผลการการจัดการการใช้ที่ดินแผนที่ 3 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปัจจุบัน ปี 2550

ผลการจัดสรรที่ดินในอนาคตแผนที่ 3 บนพื้นฐานนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาทรัพยากรน้ำ ในโครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ปี 2546 ซึ่งให้เห็นว่า การใช้ที่ดินหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน เช่น พื้นที่ป่าไม้ (ป่าไม่ผลัดใบและป่าผลัดใบ) ได้ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 75.64 รองลงมาคือพื้นที่เกษตร (นาข้าว พืชไร่ และไม้ผล) ร้อยละ 13.11 พื้นที่ป่าเสื่อมโทมร้อยละ 6.33 และพื้นที่ชุมชนร้อยละ 2.28 ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 11 สำหรับการจัดการการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนได้แสดงในตารางผนวกที่ 3 ในการวิเคราะห์แผนการการจัดการที่ดินได้พิจารณาภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นสำคัญ เมื่อนำแผนการจัดการการใช้ที่ดินแผนที่ 3 มาทำการเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550 พบว่า การใช้ที่ดินหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้รับการฟื้นฟูหรือมีพื้นที่ป่าไม้ (ป่าไม่ผลัดใบ + ป่าผลัดใบ) เพิ่มขึ้นประมาณ 870 ตร.กม. หรือประมาณร้อยละ 3.45 ในทางกลับกัน ป่าเสื่อมโทม พื้นที่การเกษตร (นาข้าว พืชไร่ และไม้ผล) และ พื้นที่ชุมชน ได้ถูกจำกัดและลดพื้นที่ลงประมาณร้อยละ 2.32 1.13 และ 0.004 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปีปัจจุบัน 2550

ลำดับที่	ประเภทการใช้ที่ดิน	การเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบัน สู่แผนจัดสรรที่ 3	
		พื้นที่ (ตร.กม.)	(ร้อยละ)
1	ป่าไม่ผลัดใบ	738	2.93
2	ป่าผลัดใบ	132	0.52
3	ป่าละเมาะ	0	0.00
4	ป่าเสื่อมโทรม	- 585	- 2.32
5	สวนป่า	0	0.00
6	แหล่งน้ำ	0	0.00
7	พื้นที่ชุมชน	- 1	- 0.004
8	นาข้าว	- 5	- 0.02
9	พืชไร่	- 264	- 1.05
10	สวนผลไม้	- 15	- 0.06
11	ทุ่งหญ้า	0	0.00
12	ที่โล่งว่างเปล่า	0	0.00

หมายเหตุ ค่าที่มีเครื่องหมายติด (-) แสดงถึงการลดลงของพื้นที่การใช้ที่ดิน

5.3.2 ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับการจัดการใช้ที่ดิน แผนที่ 3 เปรียบเทียบกับปัจจุบันปี 2550

ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT ในการศึกษาปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ได้พิจารณาภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า มีปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งทั้งหมด 2,029.89 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนประมาณร้อยละ 45.30 และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ประมาณร้อยละ 3.21 ดังแสดงในตารางที่ 24 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของการใช้ที่ดินปัจจุบันปี 2550 พบว่า ปริมาณน้ำท่า ในฤดูแล้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งได้เพิ่มขึ้น 40.58 ล้าน ลบ.ม. โดยในช่วงต้นฤดูแล้งถึงกลางฤดูแล้ง ระบบลุ่มน้ำที่ได้เก็บน้ำไว้ในดิน และชั้นน้ำใต้ดินได้ทำการปล่อยน้ำออกสู่แหล่งน้ำ (interflow) ตามกระบวนการทางอุทกวิทยา ทำให้ปริมาณน้ำในลำธารมีมากกว่าปี 2550 จำนวน 67.64 ล้าน ลบ.ม. แต่ในช่วงกลางถึงปลายฤดูแล้งนั้นน้ำในลำธารจะมีน้อยกว่าปี 2550 ประมาณ 27.05 ล้าน ลบ.ม. เนื่องจากว่าในพื้นที่มีต้นไม้มากจึงนำน้ำไปใช้มากขึ้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงของน้ำในวัฏจักรน้ำตามระบบนิเวศ ทำให้ช่องว่างการไหลของน้ำในดิน (subsurface runoff) และช่องว่างระดับเก็บกักน้ำใต้

ดิน (ground-water) มีมากขึ้น ในขณะที่ฝนตกในช่วงต้นฤดูฝน พืชพันธุ์และต้นไม้ที่มีจำนวนมากจะทำการการดักและเก็บน้ำ (interception) พร้อมกันนั้น ดินที่แห้งจะมีอัตราการซึมน้ำลงในดิน (infiltration) ได้เร็วขึ้น และสามารถซึมลึก (percolation) ลงไปในชั้นน้ำใต้ดินมากขึ้นเช่นกัน ประกอบกับแหล่งเก็บกักน้ำใต้ดิน (groundwater) มีช่องว่างมากจะช่วยดูดซึมน้ำฝนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นการลดการเกิดน้ำป่าไหลหลากและน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ลุ่มน้ำและท้ายน้ำในช่วงฤดูฝนได้ ดังแสดงในตารางที่ 25 สำหรับปริมาณผลผลิตน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้การจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ได้แสดงในตารางผนวกที่ 4

ตารางที่ 24 ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3	
	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละ
พฤศจิกายน	919.53	45.30
ธันวาคม	428.76	21.12
มกราคม	154.50	7.61
กุมภาพันธ์	65.15	3.21
มีนาคม	125.89	6.20
เมษายน	336.06	16.56
ปริมาณน้ำท่ารวม	2,029.89	100

ตารางที่ 25 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของแผนจัดสรรการใช้ที่ดิน
แผนที่ 3 เปรียบเทียบกับปีปัจจุบัน 2550

เดือน	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง จากปัจจุบัน สู่วางแผนการจัดสรรแผนที่ 3	
	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละ
พฤศจิกายน	22.20	2.47
ธันวาคม	36.76	9.38
มกราคม	8.67	5.95
กุมภาพันธ์	- 2.98	- 4.37
มีนาคม	- 6.18	- 4.68
เมษายน	- 17.89	- 5.05
การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ารวม	40.58	2.04

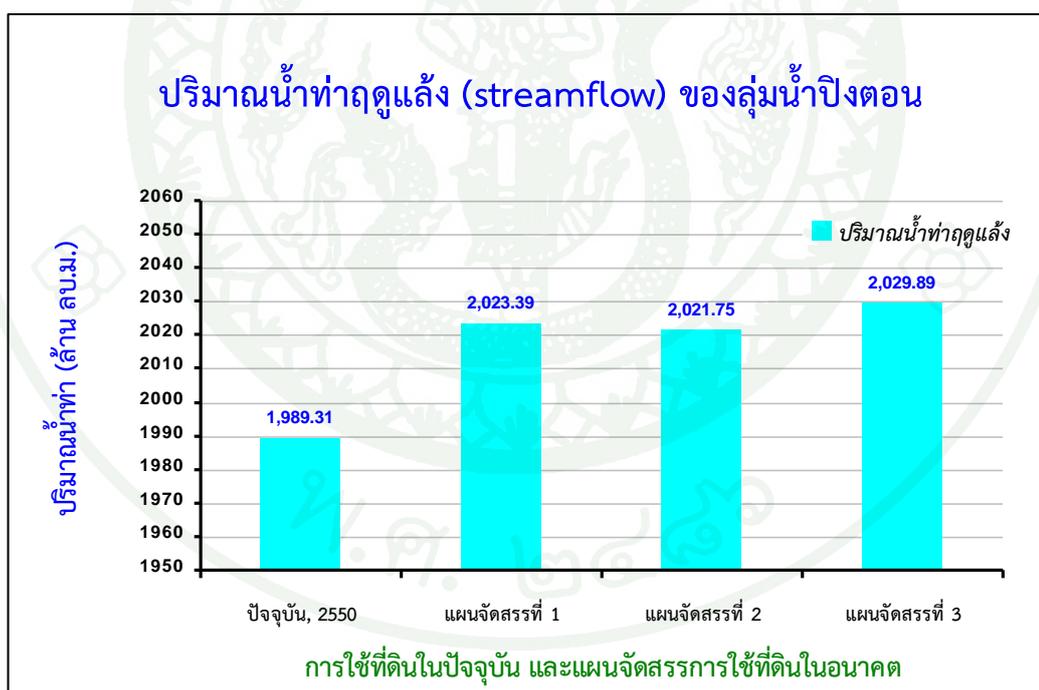
หมายเหตุ: ค่าที่มีเครื่องหมายติด (-) แสดงถึงการลดลงของปริมาณน้ำท่า

5.4 ผลสรุปการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคตแผนที่ 1 แผนที่ 2 และแผนที่ 3

จุดมุ่งหมายของการจัดการลุ่มน้ำ คือ ต้องการให้เกิดสมดุลของทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มหรือรักษาไว้ซึ่งความมั่นคงของระบบนิเวศลุ่มน้ำ พร้อมกับผลผลิตที่ยั่งยืนจากทรัพยากรธรรมชาติทุกอย่างในพื้นที่ลุ่มน้ำนั่นเอง (นิพนธ์, 2539) ในทำนองเดียวกัน การจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มศักยภาพน้ำท่าในฤดูแล้งของลุ่มน้ำปิงตอนบน ก็เพื่อให้เกิดความสมดุลต่อระบบนิเวศลุ่มน้ำ และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้อยู่อาศัยทั้งในพื้นที่ลุ่มน้ำและตอนล่างของลุ่มน้ำ โดยผลของการศึกษาปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง บนแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 แผนที่ 2 และแผนที่ 3 ได้นำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของการใช้ที่ดินปัจจุบันปี 2550 ด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT เพื่อกำหนดทางเลือกในการตัดสินใจรับรองแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินที่ดีที่สุดในอนาคตสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน จากผลการวิเคราะห์พบว่า แผนการจัดสรรการใช้ที่ดินสามารถเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งได้ซึ่งแตกต่างกันไปบนพื้นฐานการจัดสรรการใช้ที่ดินนั้น ๆ ดังแสดงในผลสรุปปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของแผนจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต และการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550 ดังแสดงในตารางที่ 26 และภาพที่ 21 ตามลำดับ และผลสรุปการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของแผนจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต และการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550 แสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 26 ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของแผนจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต
และการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ล้าน ลบ.ม.)			
	การใช้ที่ดินปัจจุบัน	แผนจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต		
		Scenario B	แผนที่ 1	แผนที่ 2
พฤศจิกายน	897.32	916.64	910.08	919.53
ธันวาคม	392.00	427.93	423.37	428.76
มกราคม	145.83	153.94	155.18	154.50
กุมภาพันธ์	68.13	64.70	65.32	65.15
มีนาคม	132.08	125.31	129.78	125.89
เมษายน	353.96	334.88	338.02	336.06
ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้ง	1,989.31	2,023.39	2,021.75	2,029.89



ภาพที่ 21 กราฟแสดงปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ของแผนจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต
และการใช้ที่ดินปัจจุบันปี 2550

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าฤดูแล้ง ของแผนจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต
กับการใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550

เดือน	การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง (ล้าน ลบ.ม.)			
	การใช้ที่ดินปัจจุบัน	แผนจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
พฤศจิกายน		19.31	12.76	22.20
ธันวาคม	ปี	35.93	31.37	36.76
มกราคม	เปรียบ	8.12	9.35	8.67
กุมภาพันธ์	เทียบ	- 3.43	- 2.80	- 2.98
มีนาคม		- 6.77	- 2.29	- 6.18
เมษายน		- 19.09	- 15.94	- 17.89
การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า		34.09	32.44	40.58

หมายเหตุ ค่าที่มีเครื่องหมายติด (-) แสดงถึงการลดลงของปริมาณน้ำท่า

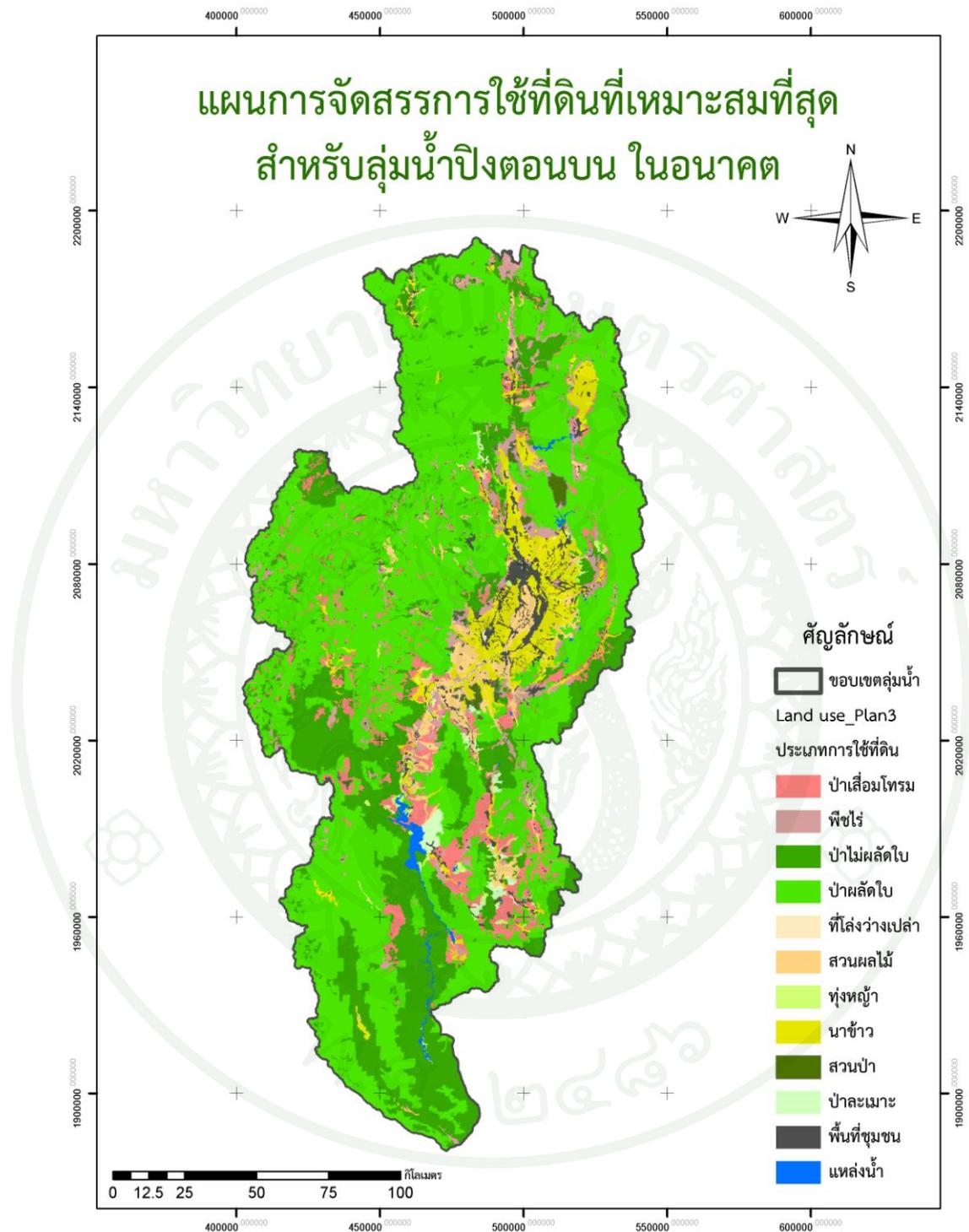
จากผลสรุปปริมาณน้ำท่าฤดูแล้ง สำหรับการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 แผนที่ 2 ที่อยู่ภายใต้หลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและมาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ และการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ที่อยู่ภายใต้แผนนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาศูนย์พัฒนาทรัพยากรน้ำ โดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งให้เห็นว่า การจัดสรรการใช้ที่ดินโดยการฟื้นฟูพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารเพิ่มมากขึ้น พร้อมกับการลดและเปลี่ยนพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมและพื้นที่การเกษตรกลับไปเป็นพื้นที่ป่าได้ส่งผลดีต่อปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง โดยทำให้ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550 โดยสอดคล้องกับ เกษม (2539) กล่าวว่า การมีสัดส่วนที่เหมาะสมของดิน น้ำ และป่าไม้ ทำให้ลักษณะการไหลของน้ำในลำธารเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและยังเป็นการรักษาสมดุลของสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ในทำนองเดียวกัน Tangtham (1990) กล่าวว่า ลุ่มน้ำที่มีป่าปกคลุมมากกว่าร้อยละ 70 จะมีคุณภาพทางกายภาพที่ดีกว่าลุ่มน้ำที่มีป่าเหลือน้อยพร้อมกันนี้ นิตยา และสุพจน์ (2542) ได้ชี้ให้เห็นว่า การปล่อยให้พื้นที่ทำการเกษตรมีการทดแทนของสังคมพืชตามธรรมชาติ หรือเร่งรัดการฟื้นตัวของพื้นที่ด้วยการปลูกสวนสักจะทำให้การสูญเสียดินและน้ำมีแนวโน้มลดลง และสุพจน์ (2545) ยังกล่าวอีกว่า ลุ่มน้ำป่าปลูกและลุ่มน้ำป่าธรรมชาติจะช่วยลดการไหลของน้ำในฤดูน้ำหลาก และเพิ่มระยะเวลาการไหลของน้ำในฤดูแล้ง ซึ่ง สมาน (2523) ได้ชี้ให้เห็นว่า บริเวณที่มีต้นไม้อุดมแน่น น้ำฝนส่วนใหญ่จะซึมลงไปสู่ชั้นน้ำใต้ดินทำให้น้ำไหลบ่าผิวดินลดน้อยลง และมีน้ำไหลในลำธารต่อเนื่องตลอดปี ในทำนองเดียวกัน Nemeč (1964) กล่าวว่า พืชพรรณที่ปกคลุมดินมีบทบาทต่อปริมาณน้ำในลำธาร ทำให้น้ำมีโอกาสซึมลงไปในดินได้มาก และทำให้ปริมาณน้ำในลำธารมีอย่างสม่ำเสมอตลอดปี และที่สำคัญ Guo *et al.* (2008) ได้พิสูจน์ให้เห็น

ว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินหรือสิ่งคลุมดินได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่ารายปีในระดับปานกลาง แต่มีอิทธิพลมากต่อปริมาณน้ำท่ารายฤดูกาล การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ป่าไม้จากการฟื้นฟูพื้นที่เกษตรมาเป็นพื้นที่ป่า ทำให้ปริมาณและอัตราการไหลของน้ำในลำธารในช่วงฤดูฝนลดลง และเพิ่มปริมาณและอัตราการไหลของน้ำในลำธารในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งเป็นการลดสภาวะน้ำท่วมในฤดูฝนและบรรเทาความแห้งแล้งในฤดูแล้งได้

จากผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า แผนการจัดสรรการใช้ที่ดินที่เพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งได้มากที่สุดคือแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ซึ่งเป็นการจัดสรรการใช้ที่ดินภายใต้แผนนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาทรัพยากรน้ำของโครงการจัดทำแผนรวม (integrated plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ปี 2546 โดยสามารถเพิ่มปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งได้ เป็นผลดีต่อระบบนิเวศลุ่มน้ำเพื่อช่วยบรรเทาการขาดแคลนน้ำในช่วงต้นฤดูแล้งได้ในระดับหนึ่ง และเป็นประโยชน์ต่อแผนงานการจัดสรรการใช้ที่ดินในแต่ละด้าน ไม่ว่าจะเป็นการจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตร อุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม การท่องเที่ยว การรักษาสมดุลของธรรมชาติ โดยเฉพาะระบบนิเวศที่ยั่งยืน และอื่น ๆ สำหรับช่วงปลายฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน) แม้ว่าจะมีปริมาณน้ำท่าน้อยกว่ากรณีการใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550 อันเนื่องมาจากการคายระเหยน้ำของป่าไม้ (evapotranspiration) เพิ่มมากขึ้น แต่จะเป็นผลดีต่อลุ่มน้ำในการเตรียมการดูดซึมน้ำฝนลงสู่ชั้นดินและแหล่งน้ำใต้ดินในช่วงต้นฤดูฝนที่จะมาถึงได้มากขึ้น เป็นการลดการเกิดน้ำป่าไหลหลากและน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ลุ่มน้ำ และทำให้น้ำได้ ฉะนั้น แผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 จึงเป็นแผนจัดสรรที่เหมาะสมที่สุดในการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคตอันใกล้ โดยสัดส่วนการใช้ที่ดินหลักระหว่าง พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่การเกษตร พื้นที่ชุมชน และ แหล่งน้ำ เท่ากับร้อยละ 75.64 : 13.11 : 2.28 : 0.80 และอื่น ๆ อีก ร้อยละ 8.16 ดังแสดงแผนจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดของกลุ่มน้ำปิงตอนบน ตารางแสดงที่ 28 และแผนที่การจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดของกลุ่มน้ำปิงตอนบน ภาพที่ 22

ตารางที่ 28 แผนจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับที่	ประเภทการใช้ที่ดิน	แผนจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุด	
		(ตร.กม.)	(ร้อยละ)
1	ป่าไม้ผลัดใบ	4,910	19.47
2	ป่าผลัดใบ	14,163	56.17
3	ป่าละเมาะ	170	0.67
4	ป่าเสื่อมโทรม	1,596	6.33
5	สวนป่า	161	0.64
6	แหล่งน้ำ	201	0.80
7	พื้นที่ชุมชน	576	2.28
8	นาข้าว	1,503	5.96
9	พืชไร่	994	3.94
10	สวนผลไม้	809	3.21
11	ทุ่งหญ้า	113	0.45
12	ที่โล่งว่างเปล่า	18	0.07
พื้นที่การใช้ที่ดินรวม		25,214	100



ภาพที่ 22 แผนที่การจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากผลการศึกษาการจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool; SWAT และระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ (geographic information system; GIS) เป็นเครื่องมือในการศึกษาภายใต้เงื่อนไขของระเบียบและกฎหมาย ที่มีการบังคับใช้ในการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติในปัจจุบัน โดยเฉพาะ หลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ มาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำนโยบาย และยุทธศาสตร์การพัฒนาทรัพยากรน้ำเป็นต้น สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำย่อย และหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

จากผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT พบว่า แบบจำลองสามารถแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงของพื้นที่ โดยพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้แบ่งออกเป็น 43 ลุ่มน้ำย่อย และ 119 หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา

ผลการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง

ในการศึกษาปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ได้ใช้ข้อมูลรายวันในช่วงปี 2528 ถึง 2550 และใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินจริงในปี 2543 เป็นปีฐานในการปรับเทียบ (calibration) และทดสอบ (validation) แบบจำลอง ซึ่งได้ทำการปรับเทียบ และทดสอบแบบจำลองกับ 5 สถานี เช่น สถานีวัดน้ำ P-20, P-65A, P-4A, P-21 และ P-24A โดยได้กำหนดปี 2543 ถึง 2546 เป็นช่วงปีในการปรับเทียบแบบจำลอง และทดสอบแบบจำลองในช่วงปี 2547 ถึง 2550 พร้อมกันนี้ ก็ได้ใช้ค่า coefficient of determination (R^2), Nash-sutcliffe efficiency coefficient (E_{ns}) และ relative difference เป็นเกณฑ์วัดความถูกต้องของปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลอง (simulated) กับปริมาณการไหลที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ (observed)

ผลการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลองได้ค่า $R^2 \geq 0.53$ สำหรับผลการปรับเทียบแบบจำลอง ค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.53 ถึง 0.64 และ E_{ns} มีค่า 0.50 ถึง 0.63 ส่วนการทดสอบแบบจำลอง ค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.53 ถึง 0.67 และ E_{ns} มีค่า 0.53 ถึง 0.66 ที่สำคัญคือค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ ระหว่าง simulated และ observed ของ total streamflow ซึ่งเป็นปริมาณน้ำรวมที่ไหลในลำธาร มีความแตกต่างน้อยมากอยู่ระหว่างร้อยละ 0.77 ถึง 4.48 แสดงให้เห็นว่า

ชุด parameter ที่ใช้ในการเปรียบเทียบและทดสอบแบบจำลอง มีความเหมาะสมกับสภาพลุ่มน้ำ ทำให้ปริมาณการไหลจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับปริมาณการไหลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ซึ่งข้อมูล ทั้ง 2 ชุดข้อมูล (simulated และ opserved) ได้มีความสัมพันธ์กันอยู่ในเกณฑ์ที่ดีถึงดีมาก สามารถสรุปได้ว่า แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจำลองการจัดการสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปึงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าได้

ผลการศึกษาปริมาณน้ำท่าบนพื้นฐานการจำลองการใช้ที่ดินในอดีตปี 2533 และการใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550

การใช้ที่ดินปี 2533 ได้กำหนดให้เป็นตัวแทนสถานะการใช้ที่ดินจริงของลุ่มน้ำในอดีต ขณะที่การใช้ที่ดินปี 2550 ได้กำหนดให้เป็นตัวแทนสถานะการใช้ที่ดินจริงของลุ่มน้ำในปัจจุบัน ซึ่งได้ถูกนำมาจำลองในแบบจำลอง SWAT เพื่อศึกษาปริมาณน้ำท่าที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการใช้ที่ดินในแต่ละระยะ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในอดีตปี 2533

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ที่ดินจริงในอดีตปี 2533 และในปัจจุบันปี 2550 จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมโดยการแปลตีความด้วยสายตา (visual interpretation) แสดงให้เห็นว่า การใช้ที่ดินหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนมีการเปลี่ยนแปลงมากพอสมควรจากอดีตถึงปัจจุบัน ซึ่งอยู่ในช่วงเวลา 18 ปี พื้นที่ป่าไม้ (ป่าไม่ผลัดใบและป่าผลัดใบ) ลดลงประมาณ 1,019 ตร.กม. หรือประมาณร้อยละ 4.04 ในทางกลับกัน พื้นที่การเกษตร (นาข้าว พืชไร่ และไม้ผล) ป่าเสื่อมโทรม และพื้นที่ชุมชนกลับเพิ่มมากขึ้นประมาณร้อยละ 3.11 1.23 และ 0.55 ตามลำดับ อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากร นโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ขาดมาตรการควบคุมที่จริงจัง ทำให้เกิดการบุกรุกพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังคงเห็นความสำคัญของทรัพยากรป่าไม้ต่อระบบนิเวศลุ่มน้ำอยู่บ้าง โดยได้ออกพระราชบัญญัติ กฎหมาย และนโยบาย ตลอดจนมาตรการต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการรักษาและฟื้นฟูป่าต้นน้ำลำธาร

2. ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง ของสถานการณ์การใช้ที่ดินในอดีตปี 2533 และการใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550

ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของลุ่มน้ำปึงตอนบน สำหรับสถานการณ์การใช้ที่ดินในอดีตปี 2533 เท่ากับ **2,102.15 ล้าน ลบ.ม.** โดยปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนร้อยละ

45.07 และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ร้อยละ 3.43 สำหรับปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งของสถานการณ์การใช้ที่ดินในปัจจุบันปี 2550 เท่ากับ **1,989.31 ล้าน ลบ.ม.** โดยปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนร้อยละ 45.11 และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ร้อยละ 3.42 จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในสภาวะการใช้ที่ดินปัจจุบันเปรียบเทียบกับอดีต ชี้ให้เห็นว่าปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งในปัจจุบันได้ลดลง **112.84 ล้าน ลบ.ม. หรือประมาณร้อยละ 5.37**

ผลการวิเคราะห์การใช้ที่ดินในอดีตเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินปัจจุบัน พบว่า ในปีปัจจุบันพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารได้ลดลงร้อยละ 4.04 ในทางตรงกันข้าม พื้นที่เกษตร ป่าเสื่อมโทรม และพื้นที่ชุมชนกลับเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.11 1.23 และ 0.55 ตามลำดับ สำหรับผลผลิตน้ำท่าฤดูแล้งในปีปัจจุบันได้ลดลงร้อยละ 5.37 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า เมื่อพื้นที่ป่าต้นน้ำลำธารลดลง ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งก็ลดลงตามไปด้วย ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าทั้งทางตรงและทางอ้อม การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินหรือสิ่งคลุมดินได้มีอิทธิพลมากต่อปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ทำให้ระดับความรุนแรงของน้ำหลากเพิ่มมากขึ้นในฤดูฝน และได้ส่งผลกระทบต่อภาวะแห้งแล้งในฤดูแล้งมากยิ่งขึ้น ฉะนั้น การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคตของกลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ได้ตระหนักถึงแนวความคิดในการฟื้นฟูรักษาป่าต้นน้ำลำธาร เพื่อรักษาสมดุลของระบบนิเวศกลุ่มน้ำให้คงอยู่อย่างยั่งยืน ดังพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวพอลวงของปวงชาวไทยได้มีพระราชดำริ ไว้ว่า **“เมื่อมีป่าก็มีน้ำ มีดินอันอุดมสมบูรณ์ มีความชุ่มชื้นของอากาศ และเกื้อกูลต่อการดำรงชีวิตของคน”**

ผลการจำลองการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคตของกลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าฤดูแล้ง

การจัดสรรการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ได้ตระหนักถึงหลักแนวความคิดในการฟื้นฟูรักษาป่าต้นน้ำลำธารเพื่อรักษาสมดุลของระบบนิเวศกลุ่มน้ำ โดยการนำเอาหลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและมาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ที่มีมติเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2528 และนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาทรัพยากรน้ำของโครงการจัดทำแผนรวม (integrated plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงปี 2546 มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแผนการจัดสรรที่ดินในอนาคต

1. ผลการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต แผนที่ 1

ผลการจัดสรรที่ดินในอนาคตแผนที่ 1 เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าได้ทำการจัดสรรบนพื้นฐานหลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและมาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ที่มีมติเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2528 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1.1 ผลการการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปัจจุบัน ปี 2550

ผลการจัดสรรที่ดินในอนาคตแผนที่ 1 ชี้ให้เห็นว่า การใช้ที่ดินหลัก เช่น พื้นที่ป่าไม้ ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 77.76 รองลงมาคือพื้นที่การเกษตรร้อยละ 13.27 พื้นที่ป่าเสื่อมโทมร้อยละ 4.09 และพื้นที่ชุมชนร้อยละ 2.29 ในการวิเคราะห์แผนการจัดสรรการใช้ที่ดิน ได้พิจารณาภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนเป็นสำคัญ เมื่อนำแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 มาเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550 พบว่า ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่ป่าไม้เพิ่มขึ้นประมาณ 1,403 ตร.กม. หรือประมาณร้อยละ 5.56 ในทางกลับกัน ป่าเสื่อมโทม และพื้นที่การเกษตร ได้ลดลงประมาณร้อยละ 4.56 และ 0.97 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ชุมชนยังคงไว้เหมือนเดิม

1.2 ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับแผนการจัดสรรการใช้ที่ดิน แผนที่ 1 เปรียบเทียบกับปัจจุบัน ปี 2550

ผลจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT ในการศึกษาปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 พบว่า มีปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง **2,023.39 ล้าน ลบ.ม.** โดยปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งในปัจจุบันปี 2550 พบว่า ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น **34.09 ล้าน ลบ.ม.** ซึ่งในช่วงต้นฤดูแล้งถึงกลางฤดูแล้งมีปริมาณน้ำท่ามากกว่าปี 2550 จำนวน 63.37 ล้าน ลบ.ม. แต่ในช่วงกลางถึงปลายฤดูแล้งมีปริมาณน้ำท้าน้อยกว่าปี 2550 ประมาณ 29.28 ล้าน ลบ.ม.

2. ผลการจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต แผนที่ 2

ผลการจัดสรรที่ดินในอนาคตแผนที่ 2 เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าได้ทำการจัดสรรบนพื้นฐานหลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ และมาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงที่มีมติเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2528 เหมือนกับแผนจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1 แต่ได้ใช้มาตรการและความเข้มข้นของการจัดสรรการใช้ที่ดินเพิ่มมากขึ้น สรุปผลได้ดังนี้

2.1 ผลการการจัจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปัจจุบัน ปี 2550

ผลการจัดสรรที่ดินในอนาคตแผนที่ 2 ชี้ให้เห็นว่า การใช้ที่ดินหลัก เช่น พื้นที่ป่าไม้ ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 81.72 รองลงมาคือพื้นที่เกษตรร้อยละ 12.51 พื้นที่ป่าเสื่อมโทรมร้อยละ 0.93 และพื้นที่ชุมชนร้อยละ 2.27 เมื่อนำแผนการจัจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 มาเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550 พบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนมีพื้นที่ป่าไม้เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 2,401 ตร.กม. หรือประมาณร้อยละ 9.52 ในทางกลับกัน ป่าเสื่อมโทรม พื้นที่การเกษตร และพื้นที่ชุมชนได้ลดลงประมาณร้อยละ 7.72 1.73 และ 0.02 ตามลำดับ

2.2 ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับแผนการจัจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 เปรียบเทียบกับปัจจุบัน ปี 2550

ผลการวิเคราะห์จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT ในการศึกษาปริมาณน้ำท่า (streamflow) ฤดูแล้ง สำหรับแผนจัจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 พบว่า แผนจัจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 2 มีปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งทั้งหมด **2,021.75 ล้าน ลบ.ม.** โดยปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน และต่ำสุดเกิดขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปัจจุบันปี 2550 พบว่า ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งเพิ่มขึ้น **32.44 ล้าน ลบ.ม.** ซึ่งในช่วงต้นฤดูแล้งถึงกลางฤดูแล้งมีปริมาณน้ำท่ามากกว่าปี 2550 ประมาณ 53.47 ล้าน ลบ.ม. แต่ในช่วงกลางถึงปลายฤดูแล้งนั้น ปริมาณน้ำท่ามีน้อยกว่าปี 2550 ประมาณ 21.03 ล้าน ลบ.ม.

3. ผลการจัจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต แผนที่ 3

ผลการจัดสรรที่ดินในอนาคตแผนที่ 3 เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าได้ทำการจัจัดสรรบนพื้นฐานนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาทรัพยากรน้ำของโครงการจัจัดทำแผนรวม (integrated plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงปี 2546 ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

3.1 ผลการการจัจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 เปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินในปัจจุบัน ปี 2550

ผลการจัดสรรที่ดินในอนาคตแผนที่ 3 ชี้ให้เห็นว่า การใช้ที่ดินหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน เช่น พื้นที่ป่าไม้ได้ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 75.64 รองลงมาคือพื้นที่เกษตรร้อยละ 13.11 พื้นที่ป่าเสื่อมโทรมร้อยละ 6.33 และพื้นที่ชุมชนร้อยละ 2.28 เมื่อนำแผนการจัจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 3 มาเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินจริงในปัจจุบันปี 2550 พบว่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึง

ตอนบนมีพื้นที่ป่าไม้เพิ่มขึ้นประมาณ 870 ตร.กม. หรือประมาณร้อยละ 3.45 ในทางกลับกัน พื้นที่ป่าเสื่อมโทรม พื้นที่การเกษตร และพื้นที่ชุมชน ได้ลดลงประมาณร้อยละ 2.32 1.13 และ 0.004 ตามลำดับ

3.2 ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับแผนการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 3 เปรียบเทียบกับปัจจุบัน ปี 2550

ผลการวิเคราะห์จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา soil and water assessment tool; SWAT ในการศึกษาปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง สำหรับแผนจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 3 พบว่า แผนจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ของลุ่มน้ำปิงตอนบน มีปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งทั้งหมด **2,029.89 ล้าน ลบ.ม.** โดยปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน และต่ำสุดเกิดขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปัจจุบันปี 2550 พบว่า ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งได้เพิ่มขึ้น **40.58 ล้าน ลบ.ม.** โดยในช่วงต้นฤดูแล้งถึงกลางฤดูแล้ง ปริมาณน้ำท่ามีมากกว่าปี 2550 จำนวน 67.64 ล้าน ลบ.ม. แต่ในช่วงกลางถึงปลายฤดูแล้งนั้น ปริมาณผลผลิตน้ำท่ามีน้อยกว่าปี 2550 ประมาณ 27.05 ล้าน ลบ.ม.

4. ผลสรุปการจัดการใช้ที่ดินในอนาคต แผนที่ 1 แผนที่ 2 และแผนที่ 3

ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งสำหรับการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 1 แผนที่ 2 ที่อยู่ภายใต้หลักเกณฑ์การจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและมาตรการการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง และการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 3 ภายใต้แผนนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาทรัพยากรน้ำ โดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา soil and water assessment tool; SWAT ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งให้เห็นว่า แผนจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 1 แผนที่ 2 และแผนที่ 3 สามารถเพิ่มปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งได้ ซึ่งแตกต่างกันไปบนพื้นฐานสัดส่วนการจัดการใช้ที่ดินนั้น ๆ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินหรือสิ่งคลุมดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าฤดูแล้ง การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ป่าไม้จากการจัดสรรพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม พื้นที่ป่าเสื่อมโทรม และอื่น ๆ มาเป็นพื้นที่ป่า ทำให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถบรรเทาความแห้งแล้งในฤดูแล้งได้

จากผลสรุปได้พิสูจน์ให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ป่าไม้จากการฟื้นฟูป่าเสื่อมโทรมและเปลี่ยนพื้นที่การเกษตรในพื้นที่ต้นน้ำลำธารมาเป็นป่า สามารถเพิ่มปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้งของลุ่มน้ำปิงตอนบนได้ โดย **แผนการจัดการใช้ที่ดินที่ดีที่สุดในอนาคตสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน คือ แผนการจัดการใช้ที่ดินแผนที่ 3** ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งได้ทั้งในส่วนของปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งรวม และปริมาณน้ำท่าในช่วงต้นถึงกลางฤดูแล้งจากเดือนพฤศจิกายนไป

สิ้นสุดในเดือนมกราคม เป็นผลดีต่อระบบนิเวศลุ่มน้ำที่มีปริมาณน้ำเติมเข้าในระบบเพิ่มมากขึ้น และเป็นประโยชน์อย่างมากต่อแผนงานการจัดสรรการใช้น้ำในแต่ละด้านในช่วงต้นฤดูแล้ง ซึ่งสามารถบรรเทาการขาดแคลนน้ำได้ในระดับหนึ่ง สำหรับช่วงกลางถึงปลายฤดูแล้งระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน แม้ว่ามีปริมาณน้ำทำน้อยกว่ากรณีการใช้ที่ดินในปีปัจจุบัน แต่ก็เป็นผลดีสำหรับลุ่มน้ำในการเตรียมการดูดซึมน้ำฝนลงสู่ชั้นดิน และแหล่งน้ำใต้ดินในช่วงต้นฤดูฝนที่จะมาถึงให้ได้มากขึ้น เพื่อเป็นการลดการเกิดน้ำป่าไหลหลากและน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ลุ่มน้ำตลอดจนพื้นที่ทำน้ำได้ โดย **แผนการจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดของลุ่มน้ำปิงตอนบน** มีสัดส่วนการใช้ที่ดินหลักระหว่างพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่การเกษตร พื้นที่ชุมชน และพื้นที่แหล่งน้ำ เท่ากับร้อยละ 75.64 : 13.11 : 2.28 : 0.80 และอื่น ๆ อีกร้อยละ 8.16 ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 28 และแผนที่การจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดของลุ่มน้ำปิงตอนบน ภาพที่ 21

ข้อเสนอแนะ

แนวทางเชิงนโยบายในการจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง

เพื่อให้ผลของการศึกษาการจัดสรรการใช้ที่ดินเกิดประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น และสามารถเพิ่มปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งได้ตามแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินที่เหมาะสมที่สุดของลุ่มน้ำปิงตอนบน ในขณะที่นำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้นั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้ปฏิบัติควบคู่ไปกับนโยบาย และยุทธศาสตร์ของการพัฒนาด้านอื่น ๆ ไปพร้อม ๆ กัน ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะ 9 แนวทางเชิงนโยบายในการจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ดังนี้

1. การจัดสรรการใช้ที่ดินโดยการฟื้นฟูพื้นที่ป่าไม้ และเปลี่ยนพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม พื้นที่การเกษตรและอื่น ๆ ในพื้นที่ต้นน้ำลำธารในชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ 1A และ 1B ให้เป็นป่าเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งนั้น ควรจะทำควบคู่ไปกับมิติของการจัดหาแหล่งน้ำในเชิงวิศวกรรมศาสตร์ด้วย
2. การจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ควรจะมองอย่างเป็นระบบทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยนำเอาศาสตร์ และศิลป์ดั่งกลิ้งไปในแต่ละด้าน ไม่ว่าจะเป็นมิติด้านทรัพยากร มิติด้านเศรษฐกิจ มิติด้านสังคม ตลอดจนมิติด้านความเชื่อและศาสนา แล้วโยงศาสตร์ และศิลป์เหล่านั้นมาเป็นองค์รวมในการดำเนินการปฏิบัติ
3. ควรจะมีนโยบายแห่งชาติ เกี่ยวกับจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง เพื่อคงไว้ซึ่งความสมดุลของธรรมชาติ และค่อยๆ ลดการก่อสร้างเขื่อน หรืออ่างเก็บน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว อย่างเป็นขั้นเป็นตอน

4. ภาครัฐควรจะสนับสนุนงบประมาณสำหรับแผนปฏิบัติการ ในมิติของการจัดสรรการใช้ที่ดินในเชิงอนุรักษ์และฟื้นฟูป่าไม้เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งอย่างจริงจัง โดยเฉพาะการจัดสรรการใช้ที่ดินในพื้นที่ต้นน้ำลำธาร รวมทั้งการวิจัย การประชาสัมพันธ์ การสร้างฐานข้อมูล ข้าราชการ และการถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อสาธารณชนอย่างเพียงพอและต่อเนื่อง

5. การจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ควรจะมีระบบการบริหารจัดการแบบมีส่วนร่วมของประชาชน โดยจัดให้มีและเพิ่มบทบาทขององค์การบริหารจัดการทั้งในระดับชาติ ระดับลุ่มน้ำและในระดับท้องถิ่นที่มีกฎหมายรองรับ ตลอดจนการมีส่วนร่วมรับผิดชอบในการอนุรักษ์ป่าไม้ ดิน และแหล่งน้ำ เพื่อให้เกิดความเป็นธรรม และยั่งยืน

6. การจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ควรจะสนับสนุนและส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน องค์กรเอกชน และหน่วยงานของรัฐ ในการบริหารจัดการการใช้ที่ดินให้เกิดความชัดเจน โดยสามารถเข้าถึงแหล่งทรัพยากร ทั้งมิติการใช้และการอนุรักษ์ดิน น้ำ และป่าไม้ ตามกลไกการพัฒนาเศรษฐกิจของชาติ

7. การจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าฤดูแล้ง ภาครัฐควรมีการกำหนดทิศทางที่ชัดเจน และสอดคล้องกับแผนพัฒนาจัดหาแหล่งน้ำต้นทุน โดยคำนึงถึงการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

8. การจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง ควรดำเนินการฟื้นฟูสภาพป่าไม้ อย่างจริงจังและเร่งด่วน โดยนำเอานโยบายด้านการจัดการป่าไม้ เช่น การกำหนดเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าไม้ การอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ การจัดการที่ดินทำกินให้แก่ราษฎร และการพัฒนาป่าไม้ มาเป็นแนวทางในการจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อให้เกิดความสมดุลของธรรมชาติและมีการพัฒนาป่าไม้อย่างยั่งยืนตลอดไปในอนาคต

9. เคียงคู่กับการจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งนั้น ภาครัฐควรมีนโยบายรองรับและแรงจูงใจให้เกิดการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างประหยัดไปพร้อม ๆ กับ การดำเนินร่างระเบียบกฎหมายในการนำทรัพยากรน้ำเข้าสู่กลไกการตลาดอย่างเป็นธรรม เพื่อนำไปสู่การปฏิบัติในอนาคตเมื่อสถานการณ์เหมาะสม

จากเหตุและผลสู่แนวทางการจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งนั้น การจัดสรรการใช้ที่ดินควรทำควบคู่ไปกับมิติของการจัดหาแหล่งน้ำในเชิงวิศวกรรมศาสตร์ด้วยการมองอย่างเป็นระบบทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยการโยกศาสตร์และศิลป์ในมิติต่าง ๆ มาเป็นองค์รวมในการปฏิบัติ ในขณะเดียวกัน ควรมีนโยบายระดับชาติหรือวาระแห่งชาติในการจัดสรรการใช้ที่ดิน

เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง และสนับสนุนงบประมาณในมิติของการจัดสรรการใช้ที่ดินในเชิงอนุรักษ์และฟื้นฟูป่าต้นน้ำลำธารอย่างจริงจัง ประเด็นสำคัญ ควรจะมีระบบการบริหารจัดการแบบมีส่วนร่วมของประชาชน โดยจัดให้มีและเพิ่มบทบาทขององค์การบริหารจัดการทั้งในระดับชาติ ระดับลุ่มน้ำ และในระดับท้องถิ่น เพื่อให้ประชาชน องค์กรเอกชน หรือหน่วยงานของรัฐ สามารถเข้าถึงแหล่งทรัพยากรทั้งมิติการใช้และการอนุรักษ์ ด้วยเหตุนี้ ภาครัฐควรมีการกำหนดทิศทางการจัดสรรการใช้ที่ดินที่ชัดเจนและสอดคล้องกับแผนพัฒนาจัดหาน้ำต้นทุน ไปพร้อม ๆ กับ การฟื้นฟูป่าอย่างเร่งด่วนเพื่อให้เกิดความสมดุลของธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการจัดหาและพัฒนาแหล่งน้ำจะเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่งแต่ปัญหาการใช้น้ำก็สำคัญมากเช่นกัน ฉะนั้น ภาครัฐควรมีนโยบายรองรับและรณรงค์ให้เกิดการใช้น้ำอย่างประหยัดควบคู่กับกลไกการเพิ่มมูลค่าของน้ำ ซึ่งจะนำไปสู่ผลสำเร็จที่แท้จริงของการจัดสรรการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งอย่างยั่งยืน และก่อให้เกิดความสมดุลของระบบนิเวศลุ่มน้ำตลอดไป

วิจารณ์ผล

การศึกษาการจัดสรรการใช้ที่ดินลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้ง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา soil and water assessment tool; SWAT ได้ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินเป็นข้อมูลนำเข้าหลักที่มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาและการศึกษานั้น ๆ ส่วนข้อมูลนำเข้าอื่น โดยเฉพาะข้อมูลกลุ่มชุดดินมิได้เปลี่ยนแปลงตามแผนศึกษาการจำลองแบบการใช้ที่ดิน ในความเป็นจริงแล้วข้อมูลกลุ่มชุดดินจะมีความสัมพันธ์ในทางตรงและทางอ้อมกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งในหลักการกำหนดกลุ่มชุดดินได้กำหนดกลุ่มชุดดินจากการใช้ที่ดิน ความชื้นในดิน เนื้อดิน การระบายน้ำในดิน สารอินทรีย์ในดิน ความลึกของชั้นดิน วัตถุกำเนิดดิน และความลาดชันเพื่อเป็นตัวแทนลักษณะและสมบัติของดิน

ลักษณะทางอุทกวิทยาของดินจะเป็นตัวกำหนดให้น้ำ สามารถระบายผ่านดินได้เร็วหรือช้าพร้อมกันนั้น ความลึกของชั้นดินและเนื้อดินจะเป็นตัวบ่งชี้ในการเก็บกักน้ำไว้ในดินตามศักยภาพของดิน ซึ่งจะสัมพันธ์กับการใช้ที่ดิน นอกจากนี้ อินทรีย์วัตถุในดินจะทำให้โครงสร้างของดินมีความพรุน (porosities หรือค่า ϕ) มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการไหลและการซึมของน้ำในดินลงไปเก็บกักในชั้นใต้ดิน (shallow aquifer และ deep aquifer) ก่อนที่จะไหลย้อนกับสู่ลำธารตามกระบวนการทางอุทกวิทยา

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจะมีความสัมพันธ์กับกลุ่มชุดดิน ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน (hydrologic soil group) โดยเฉพาะ initial SCS runoff curve number, available water capacity of the soil layer, soil evaporation compensation factor, biological mixing efficiency, saturated hydraulic conductivity, moist soil albedo และอื่น ๆ แต่ในการจำลองแบบการจัตุสรการใช้ที่ดินในครั้งนี้ มิได้เปลี่ยนแปลงกลุ่มชุดดินตามแผนการศึกษานั้น ๆ ซึ่งได้ใช้กลุ่มชุดดินเดิมของกรมพัฒนาที่ดินที่ได้สำรวจไว้ ทำให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งของกลุ่มน้ำปีงตอนบนที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งจากผลการจำลองแบบการจัตุสรการใช้ที่ดินในอนาคตเปรียบเทียบกับการใช้ที่ดินปัจจุบันมีปริมาณน้ำท่าในช่วงต้นฤดูแล้งเพิ่มขึ้น แต่ในช่วงปลายฤดูแล้งกลับลดลง อาจเป็นเพราะความคลาดเคลื่อนของข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินที่ไม่สัมพันธ์กับแผนการจัตุสรการใช้ที่ดินเท่าที่ควร แต่ผลการศึกษาก็ยังสอดคล้องกับความเป็นจริงของระบบนิเวศธรรมชาติ ระหว่าง ดิน น้ำ และป่าไม้ ที่ส่งผลต่อกันและกัน อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยเห็นว่า การจัตุสรการใช้ที่ดินเพื่อศึกษาปริมาณน้ำท่าครั้งต่อไปนั้น ควรจะสร้างแผนที่กลุ่มชุดดินให้สัมพันธ์กับการใช้ที่ดิน หรือกำหนดกลุ่มชุดดินและสมบัติดินเป็นปัจจัยหลักร่วมกับปัจจัยการใช้ที่ดิน ซึ่งจะทำได้ผลการวิเคราะห์มีความชัดเจนและถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำ. 2546. **โครงการจัดทำแผนรวม (Integrated Plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- _____. 2549. **กรมทรัพยากรน้ำกับการบริหารจัดการน้ำของประเทศไทย.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2530. **แผนการใช้ที่ดินภาคเหนือ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2534. **การจัดการพื้นที่ลาดชันเพื่อการเกษตรแบบยั่งยืนในภาคเหนือของประเทศไทย.** เอกสารรายงานสรุปผลโครงการวิจัยทดลองในปี 2532.
- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. 2548. **สรุปสถานการณ์ความแห้งแล้งของประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2532 – 2548.** ศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย, กรุงเทพฯ.
- กิตติพงษ์ ธนาศิริกุล. 2546. **การประเมินสัมพันธภาพลำน้ำย่อยของประเทศไทยด้วยข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ และแบบจำลองสารสนเทศ SWAT/GIS: กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนบน อ. อมก๋อย จ. เชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กิตติพงษ์ พงษ์บุญ. 2545. **สมดุลน้ำจากลุ่มน้ำป่าธรรมชาติ บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำลำตะคอง อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา. ส่วนวิจัยต้นน้ำ สำนักอนุรักษ์ และจัดการต้นน้ำ. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.**
- เกษม จันท์แก้ว. 2529. **รายงานการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่สำคัญของประเทศไทย ครั้งที่ 3. โครงการศึกษาเพื่อกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่สำคัญของประเทศไทย ‘ลุ่มน้ำม-น่าน’, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.**
- เกษม จันท์แก้ว. 2539. **หลักการจัดการลุ่มน้ำ.** ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2551. **หลักการจัดการลุ่มน้ำ.** วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทรงธรรม สุขสว่าง, นิพนธ์ ตั้งธรรม และสำเร็จ ปานอุทัย. 2545. สมดุลน้ำในลุ่มน้ำป่าธรรมชาติ และป่าปลูกผสมบริเวณพื้นที่ต้นน้ำแม่กลอง จ. กาญจนบุรี. ส่วนวิจัยต้นน้ำ สำนักอนุรักษ์ และจัดการต้นน้ำ. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ธรรมบุญ แก้วอำพท และอาทร บุญเสนอ. 2545. การเปรียบเทียบสมดุลน้ำในบริเวณปลูกป่า พื้นฟู ลุ่มน้ำห้วยแม่ป้อง และลุ่มน้ำห้วยน้ำกาด ที่สถานีวิจัยลุ่มน้ำขุนคอง อ. เชียงดาว จ. เชียงใหม่. ส่วนวิจัยต้นน้ำ สำนักอนุรักษ์ และจัดการต้นน้ำ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

นิวัติ เรืองพานิช. 2531. รวมบทความและเอกสารทางวิชาการ พ. ศ. 2525-2531.

ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. 2548. ป่าและการป่าไม้ในประเทศไทย. โครงการตำราชุดการจัดการ และอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ เล่มที่ 5. ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิตยา ภูรีวิโรจน์กุล และสุพจน์ เจริญสุข. 2542. การสูญเสียดิน และน้ำภายหลังการทำลายป่า เบญจพรรณเพื่อเพาะปลูกพืชเกษตรและสร้างสวนสักปรับปรุงพื้นที่บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำน่าน จ.น่าน. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2539. การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ลุ่มน้ำ, น. 1-67. ใน รายงานการศึกษาฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิจัยรูปแบบองค์การบริหารการจัดการ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม ในพื้นที่ลุ่มน้ำของประเทศไทย 'ลุ่มน้ำยม-น่าน' (ภาคผนวก). คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เสนอต่อสำนักนโยบายและแผน สิ่งแวดล้อม, กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

_____. 2549. การจำลองแบบการจัดการลุ่มน้ำ และระบบสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. การวางแผนการใช้ที่ดิน และการออกแบบการใช้ที่ดิน และเทคนิคเชิงบูรณาการ. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการวิเคราะห์ระบบ และเทคนิคเชิงบูรณาการในการจัดการการใช้ที่ดินอย่างยั่งยืน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- นิพนธ์ ตั้งธรรม และสามัคคี บุญยะวัฒน์. 2531. การพัฒนารูปแบบสมการเพื่อใช้กำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ, กำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศไทย เล่ม 2. โครงการจัดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่สำคัญของประเทศไทย. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ และโครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุตินกุล และวาริน จิระสุขทวีกุล. 2533. น้ำและสัดส่วนการใช้ของพื้นที่ป่า ไร่ มันและสวนผลไม้ ที่ตะพง ระยอง. สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำห้วยหินลาด ฝ่ายวิจัย กองอนุรักษ์ต้นน้ำ, กรมป่าไม้.
- เรณู สุวรรณรัตน์. 2524. สมดุลน้ำในป่าดิบเขาธรรมชาติ ดอยปู่ย เชียงใหม่. ภาควิชาการจัดการลุ่มน้ำคณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีรพล แต่สมบัติ. 2538. หลักอุทกวิทยา. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป่าไม้ และส่วนวิจัยเศรษฐกิจและพัฒนากิจการจัดการป่าไม้. 2542. โครงการประเมินคุณค่าทรัพยากรในพื้นที่ป่าอนุรักษ์กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติเอราวัณ จ. กาญจนบุรี. สำนักวิชาการ กรมป่าไม้ และคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สมาน รวยสูงเนิน. 2523. ต้นไม้กับการอนุรักษ์ดินและน้ำ. ฝ่ายวิจัย กองอนุรักษ์ต้นน้ำ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- สิริพร กมลธรรม. ม.ป.ป. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เบื้องต้น. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ, กรุงเทพฯ.
- สุพจน์ เจริญสุข. 2545. ปริมาณน้ำท่าจากป่าธรรมชาติและป่าปลูกในลุ่มน้ำแม่สาคร อ. เวียง จ.น่าน. กลุ่มวิจัยต้นน้ำ สำนักงานอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์. 2546. ความก้าวหน้าเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. ศูนย์ภูมิสารสนเทศ, สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.

- สุเพชร จิรขจรกุล. 2551. **เรียนรู้ระบบภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS Destop 9.2.** ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ศูนย์รังสิต.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2547. **การพัฒนาแบบจำลองเพื่อบริหารและบูรณาการจัดการลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยใช้ข้อมูลจากโครงการวิจัย GAME-T.** โครงการวิจัยความร่วมมือกับต่างประเทศ ไทย-WMO-ICSU-IOC ประจำปี 2545. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2533. **มติคณะรัฐมนตรี “การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ”.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. **มติคณะรัฐมนตรี “การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ”.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2549. **สถานการณ์ทรัพยากรธรรมชาติในพื้นที่ลุ่มน้ำ ในช่วง 10 ปี.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- สำนักประชาสัมพันธ์เขต 3. ม.ป.ป. **แนวพระราชดำริด้านการป่าไม้, การอนุรักษ์ป่า และสิ่งแวดล้อม.** ศูนย์สารสนเทศ, จ. เชียงใหม่. แหล่งข้อมูล: http://www.prdnorth.in.th/King/king_forest_02.php, 18 มิถุนายน 2553
- สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี. 2549. **การใช้ประโยชน์พื้นที่สูงลาดชันอย่างยั่งยืน.** กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สำนักฟื้นฟูและพัฒนาพื้นที่อนุรักษ์. 2550. **โครงการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ด้านกำลังผลิตและการถูกบุกรุกทำลายป่า เพื่อประเมินความเสี่ยงและต่อแหล่งมรดกการบุกรุกทำลายป่า.** กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2547. **ลักษณะ และสมบัติของดินที่เป็นตัวแทนกลุ่มชุดดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจ.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 526. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ

- หรรษา วัฒนานุกิจ. 2545. **ระบบข้อมูลสารสนเทศประเภทแผนที่/ระบบภูมิสารสนเทศ.** ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.
- อุทิศ กุณอินทร์. 2550. **ความหลากหลายทางชีวภาพของประเทศไทย.** เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชา Biodiversity in sustainable land use and natural resource management. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Reas, and M. Smit. 1998. **Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements.** Irrigation and drainage paper No.56, FAO, Italy.
- Ardiansyah, P.O.D., and R. Yokoyama. 2002. DEM generation method from contour lines based on the steepest slope segment chain and a monotone interpolation function. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing** 57: 86-101.
- Arnold J. G., P.M. Allen, R. Muttiah, and G. Bernhardt. 1995. **Automated Base Flow Separation and Recession Analysis Techniques.** Ground water. 33.
- Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah, and J.R. Williams. 1998. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment. **Part I: Model Development. J. American Water Resources Association.** 34: 73-89.
- Arnold, J.G., R. Srinivansan, R.S. Muttiah, and P.M. Allen. 1999. Continental Scale Simulation of the Hydrologic Balance. **JAWRA journal of American Water resources Assosiation.** 35: 1037-1051.
- Bingner, R.L. 1996. Runoff Simulated from Goodwin Creek Watershed Using SWAT. **Transactions of the ASAE.** 39: 85-90.
- Bouraoui, F., S. Benabdallah, A. Jrad, and G. Bidoglio. 2005. Application of the SWAT model on the Medjerda river basin, Tunisia. **Physics and Chemistry of the Earth** 30: 497-507.

- Brown, C.D., and J.M. Hollis. 1996. SWAT—A Semi-Empirical Model to Predict Concentrations of Pesticides Entering Surface Waters from Agricultural Land. **Pesticide Science**. 47: 41-50.
- Bruijnzeel, L.A. 1990. **Hydrology of Moist Tropical Forest and Effect of Conversion: A State of Knowledge Review**. Netherland IHP Committee UNESCO.
- Cao, W., W.B. Bowden, T. Davie, and A. Fenemor. 2009. Modeling Impacts of Land Cover Change on Critical Water Resources in the Motueka River Catchments, New Zealand. **Water Resources Management**. 23: 137-151.
- Chaweewong, P. and K. Pongput. 2008. Water Accounting in the Upper Ping River Basin: Evaluation of Groundwater. **Kamphaengsean Acad. J.** Vol. 6, No. 2.
- Chen, L., Z. Huang, J. Gong, B. Fu, and Y. Huang. 2007. **The Effect of Land Cover / Vegetation on Soil Water Dynamic in the Hilly Area of the Loess Plateau, China**. *Catena*. 70: 200-208.
- Costa, M.H., A.I. Botta, and J.A. Cardille. 2003. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**. 283: 206-217.
- Donigain, A. S. Jr. 2002. **Watershed Model Calibration and Validation-The HSPF Experience**. AQUA TERRA Consultants, 2685 Marine Way, Suite 1314, Mountain View, CA 94043.
- Downes, R.G. 1963. **The water balance and water resources use and management**, pp. 101-108. In Proceeding of a Symposium Held at Canberra by the Australian Academy of Science. Melbourne University Press, Melbourne.

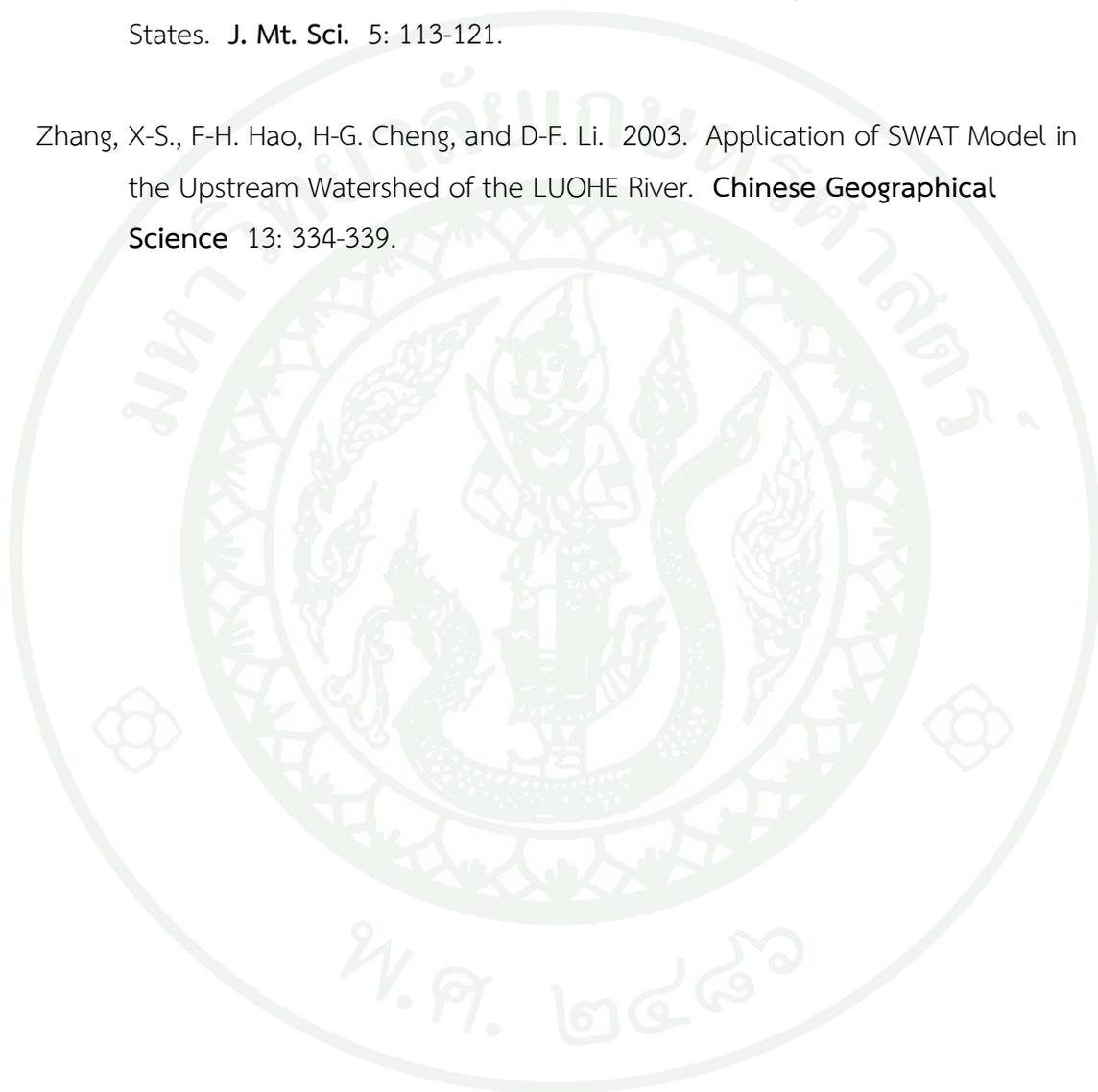
- Easton, Z.M., D.R. Fuka, M.T. Walter, D.M. Cowan, E.M. Schneiderman, and T.S. Steenhuis. 2008. Re-conceptualizing the soil and water assessment tool (SWAT) model to predict runoff from variable source areas. **Journal of Hydrology** 348: 279-291.
- George, B.K. 1997. **The GIS book: Understanding the value and implementation of geographic information systems.** OnWord Press, USA.
- Graiprab, P., K. Pongput, N. Tangtham, and P. W. Gassman. 2010. Hydrologic evaluation and effect of climate change on the At Samat watershed, Northeastern Region, Thailand. **International Agricultural Engineering Journal.** 2: 12-21.
- Guo H., Q. Hu, and T. Jaing. 2008. Annual and seasonal streamflow responses to climate and land-cover changes in the Poyang Lake basin, China. **Journal of Hydrology.** 355: 106-122.
- Hewlett, J.D. 1961. Soil Moisture as a Source of Base Flow from Steep Mountain Watersheds. Southeast Forest Experiment Station Research Paper SE 132. U.S. Forest Service.
- Kosa, P. and K. Pongput. 2006. The Estimation of Crop Coefficient using MODIS and Weather Data. **Thai Journal of Agricultural Science** 39 (1-2): 75-81.
- Mao, D. and K. A. Cherkauer. 2009. Impacts of land-use change on hydrologic responses in the Great Lakes region. **Journal of Hydrology.** 374: 71-82.
- Mohammad, A.G. and M.A. Adam. 2010. The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. **Catena.** 81: 97-103.
- Mueller, E.N., T. Francke, R.J. Batalla, and A. Bronstert. 2009. Modelling the effects of land-use change on runoff and sediment yield for a meso-scale catchment in the Southern Pyrenees. **Catena.** 79: 288-296.

- Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, and J.R. Williams. 2005. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation**, Version 2005.
- Nemec, J. 1964. **Engineering Hydrology**. Tada McGraw-Hill Publishing Co., Ltd, New Delhi.
- Ouyang, W., F-H. Hao, X-L. Wang, and H-G. Cheng. 2008. Nonpoint Source Pollution Responses Simulation for Conversion Cropland to Forest in Mountains by SWAT in China. **Environmental Management**. 41: 79-89.
- Schilling, K.E., K-S. Chan, H. Liu, and Y-K. Zhang. 2010. **Quantifying the effect of land use land cover change on increasing discharge in the Upper Mississippi River**. *J. Hydrol.*
- Sloto, R.A. and M.Y. Crouse. 1996. **HYSEP: A Computer program for streamflow hydrograph Separation and analysis**. U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 96-4040, USA.
- Srinivasan, R., J.G. Arnold, W. Rosenthal, and R.S. Muttiah. 1996. **Hydrologic Modeling of Texas Gulf Basin Using GIS**, pp. 213 – 216. In Michael F.Goodchild. GIS and environmental modeling. Fort Collins GIS World Books, USA.
- Steven, T.B., T. Dybala, C. Amonett, R.S. Muttiah, W. Rosenthal, W.A. Dugas, and J.G. Arnold. 1998. **Brush/Water yield feasibility studies II**. Available Source: <http://www.brc.tamus.edu/blackland/dugas/chapter1.pdf>, March 31, 2009.
- Tangtham, N. 1991. Khao Yai Ecosystems: The Hydrological Role of Khao Yai National Park. **Thailand Journal of forestry**, Vol. 9: 172 – 195.
- Tauda, H., J-F. Parrotb and R. Alvareza. 1999. DEM generation by contour line dilation. **Computers & Geosciences**. 25: 775-783.

Wise, S. 2000. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. **Hydrological Processes** 14: 1909-1929.

Xiaobo, J., C-H. Huang and F. Ruan. 2008. Impacts of Land Cover Changes on Runoff and Sediment in the Cedar Creek Watershed, St. Joseph River, Indiana, United States. **J. Mt. Sci.** 5: 113-121.

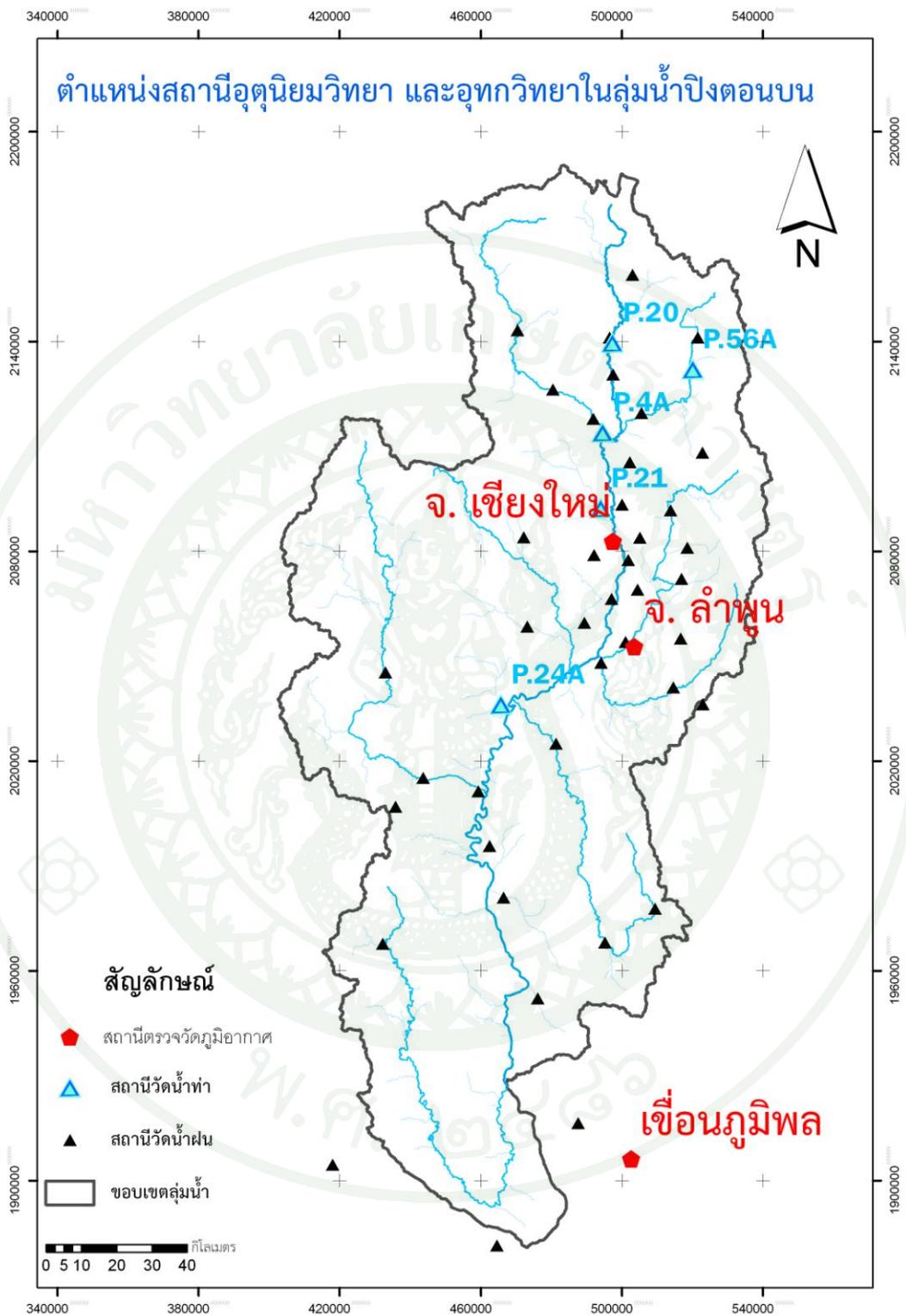
Zhang, X-S., F-H. Hao, H-G. Cheng, and D-F. Li. 2003. Application of SWAT Model in the Upstream Watershed of the LUOHE River. **Chinese Geographical Science** 13: 334-339.



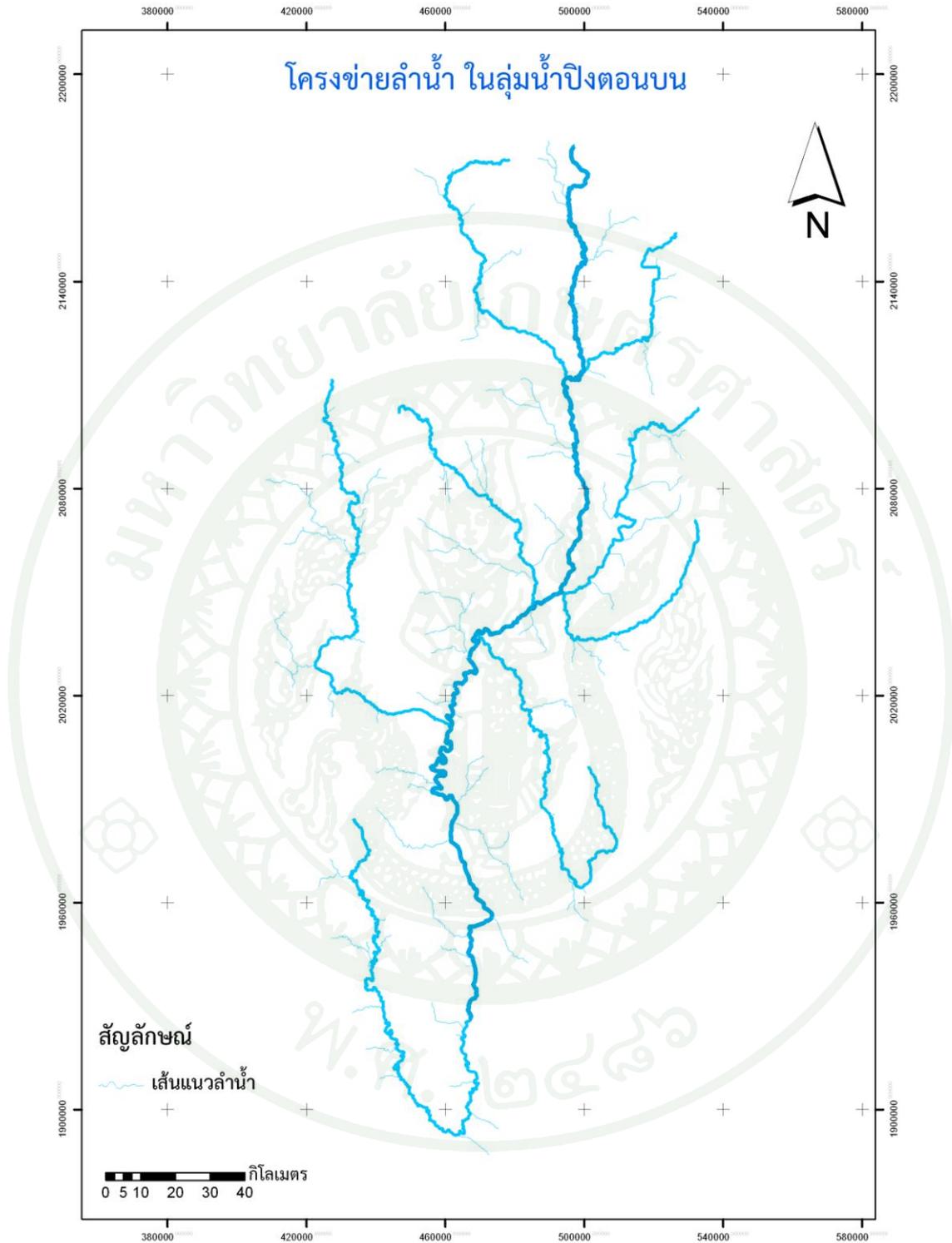




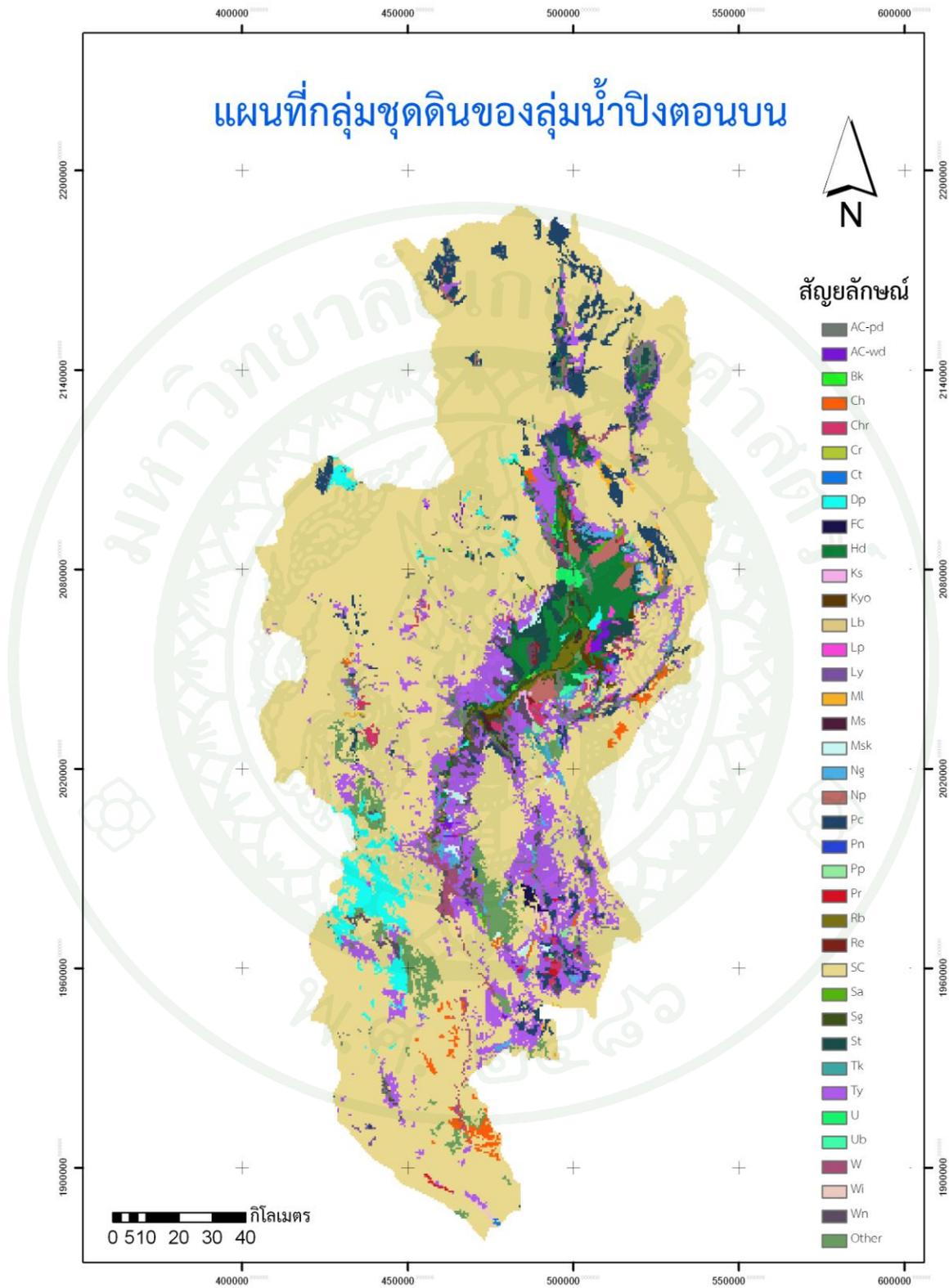
ภาคผนวก ก
ข้อมูลพื้นฐานในการนำเข้าแบบจำลอง SWAT



ภาพผนวกที่ 1 แสดงตำแหน่งของสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีตรวจวัดน้ำฝน และสถานีตรวจวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน



ภาพผนวกที่ 2 แผนที่แสดงเส้นลำน้ำ ของพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน



ภาพผนวกที่ 3 แผนที่แสดงกลุ่มชุดดินของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ตารางผนวกที่ 1 สมบัติทางอุทกวิทยาของชุดดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน

Item	Soil series	Area (km2)	% Area	HYDGRP	SOL_ZMX	NLAYERS	ANION_EXCL	SOL_CRK	TEXTURE
1	Bk	8	0.03	C	2000	8	0.500	0.480	SIC-C-C-C-C-C-C-C
2	Rb	116	0.46	C	2000	6	0.500	0.480	SIC-SIC-SIC-SIC-SIC-SIC
3	Hd	593	2.35	C	1600	6	0.500	0.470	C-SIC-C-CL-L-SICL
4	Cr	9	0.03	C	1200	6	0.500	0.430	SIL-SIL-SICL-SICL-SIC-SIC
5	Np	170	0.67	C	1800	7	0.500	0.470	SICL-SIC-SIC-SIC-SIC-2SIC
6	Ms	25	0.10	C	1650	7	0.500	0.430	SIL-SICL-SIL-SICL-SICL-CL
7	Lp	19	0.08	C	1650	7	0.500	0.430	SIL-L-CL-CL-C-C-C
8	Re	15	0.06	C	1700	6	0.500	0.400	SL-SL-SL-SCL-SCL-SCL
9	Kyo	49	0.19	B	1800	6	0.500	0.400	L-L-SCL-SL-SL-SL
10	Sa	35	0.14	B	2000	8	0.500	0.430	SIL-SICL-SIL-SIL-L-SICL-L-SI
11	St	276	1.10	B	1000	6	0.500	0.400	SL-SIL-SIL-SL-SL-SL
12	Ub	24	0.09	A	2000	6	0.500	0.400	LS-SL-SL-SL-SL-SL-SL
13	Pn	1	0.01	B	1800	5	0.500	0.400	L-CL-CL-CL-CL
14	Lb	19	0.08	C	1500	5	0.500	0.470	C-C-C-CL-SIL
15	Pc	863	3.42	B	1500	4	0.500	0.470	C-C-C-C
16	Dp	533	2.11	B	1800	5	0.500	0.400	CL-C-C-C-C
17	Wi	45	0.18	C	2000	6	0.500	0.400	SCL-CL-C-C-C-CL
18	Ks	17	0.07	B	1800	6	0.500	0.430	SIL-SIL-SIL-SICL-SICL-SICL
19	Wn	350	1.39	C	2000	6	0.500	0.400	SL-SL-SCL-SCL-SCL-SC
20	Pr	17	0.07	B	2100	6	0.500	0.400	SL-L-L-L-L-L
21	Sg	177	0.70	B	1800	5	0.500	0.430	SIL-SL-LS-SL-SL-LS-SL
22	Ckr	167	0.66	B	2000	6	0.500	0.400	SL-SL-SL-SL-SL-SL
23	Msk	70	0.28	A	2000	7	0.500	0.400	S-S-S-SCL-SCL-SCL-SCL
24	Ng	153	0.61	B	1800	8	0.500	0.400	S-S-S-SL-SL-SL-SL-SL
25	Ch	172	0.68	A	1150	5	0.500	0.400	CL-CL-CL-C-C
26	ML	46	0.18	B	880	4	0.500	0.400	SCL-CL-CL-CL
27	Ty	2,482	9.84	A	2000	8	0.500	0.400	SL-SL-SCL-SCL-SCL-LSC-LSC-SC
28	Pp	24	0.09	C	1600	7	0.500	0.400	SL-SCL-C-C-CL-C-C
29	Tk	29	0.12	C	1200	5	0.500	0.400	L-CL-L-SIC-L
30	Ct	2	0.01	C	1200	5	0.500	0.430	SIL-SICL-C-SICL-SICL
31	Ly	23	0.09	B	1300	5	0.500	0.400	LS-SL-SL-SL-SL
32	AC-pd	569	2.26	C	1600	1	0.500	0.470	SICL
33	AC-wd	65	0.26	B	1800	1	0.500	0.400	LS
34	FC	23	0.09	B	880	1	0.500	0.400	CL
35	W	135	0.54	C	2000	1	0.000	0.000	Water
36	U	48	0.19	C	2000	1	1.000	0.000	Urban or Reside
37	SC	17,313	68.67	A	2000	1	1.000	0.000	Slope complex
38	Others	535	2.12	B	1000	1	0.500	0.500	Others (sandy clay; sc)

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Soil series	SOL_Z1	SOL_BD1	SOL_AWC1	SOL_K1	SOL_CBN1	CLAY1	SILT1	SAND1	ROCK1	SOL_ALB1	USLE_K1	SOL_EC1
Bk	150	1.280	0.140	74.400	1.370	52.300	46.300	1.400	0.000	0.200	0.298	0.000
Rb	250	1.500	0.140	18.000	2.010	50.100	44.500	5.400	0.000	0.200	0.206	0.000
Hd	120	1.280	0.110	10.700	1.970	51.100	38.500	10.400	0.000	0.200	0.153	0.000
Cr	110	1.500	0.200	16.200	1.880	17.000	56.000	27.000	0.000	0.200	0.152	0.000
Np	150	1.730	0.160	10.700	1.290	38.030	44.620	17.350	0.000	0.200	0.160	0.000
Ms	180	1.370	0.200	5.800	0.980	25.500	61.900	12.600	0.000	0.200	0.240	0.000
Lp	130	1.460	0.200	9.900	0.750	13.700	50.100	36.200	0.000	0.200	0.182	0.000
Re	100	1.420	0.140	15.200	0.400	4.500	38.900	56.600	0.000	0.200	0.191	0.000
Kyo	150	1.600	0.150	59.800	1.040	21.100	33.600	45.300	0.000	0.200	0.158	0.000
Sa	100	1.500	0.200	16.200	1.290	25.700	50.900	23.400	0.000	0.200	0.163	0.000
St	140	1.600	0.140	179.300	0.290	19.000	30.000	51.000	0.000	0.200	0.172	0.000
Ub	180	1.530	0.140	788.400	0.340	1.000	18.000	81.000	0.000	0.200	0.144	0.000
Pn	140	1.600	0.150	59.800	0.850	15.900	43.300	40.800	0.000	0.200	0.174	0.000
Lb	150	0.870	0.110	140.300	1.750	79.600	17.900	2.500	0.000	0.200	0.177	0.000
Pc	170	1.400	0.110	10.700	1.500	53.200	28.700	18.100	0.000	0.200	0.125	0.000
Dp	170	1.000	0.130	36.400	2.910	39.100	28.900	32.000	0.000	0.200	0.117	0.000
Wi	150	1.410	0.120	47.200	1.320	27.800	26.600	45.600	0.000	0.200	0.137	0.000
Ks	200	1.500	0.200	16.200	1.140	23.500	59.200	17.300	0.000	0.200	0.200	0.000
Wn	150	1.290	0.140	389.200	0.800	19.200	14.700	66.100	0.000	0.200	0.145	0.000
Pr	130	1.600	0.140	179.300	0.600	8.900	33.100	58.000	0.000	0.200	0.182	0.000
Sg	400	1.500	0.200	16.200	1.010	21.900	57.700	20.400	0.000	0.200	0.194	0.000
Ckr	140	1.660	0.140	26.600	0.350	7.100	16.800	76.100	0.000	0.200	0.154	0.000
Msk	150	1.600	0.130	246.000	0.210	2.000	8.500	89.500	0.000	0.200	0.095	0.000
Ng	150	1.520	0.130	0.700	0.210	4.620	4.370	91.010	0.000	0.200	0.078	0.000
Ch	50	1.600	0.130	36.400	1.080	29.200	29.000	41.800	0.000	0.200	0.147	0.000
ML	130	1.210	0.120	282.100	2.990	24.600	26.600	48.800	0.000	0.200	0.123	0.000
Ty	80	1.600	0.140	179.300	1.250	5.600	21.700	72.700	0.000	0.200	0.148	0.000
Pp	200	1.600	0.140	179.300	0.870	8.300	20.900	70.800	0.000	0.200	0.161	0.000
Tk	120	0.990	0.150	52.400	2.800	23.800	48.500	27.700	0.000	0.200	0.138	0.000
Ct	70	1.500	0.200	16.200	1.010	21.900	59.400	18.700	0.000	0.200	0.203	0.000
Ly	100	1.600	0.140	788.400	0.530	6.000	16.200	77.800	0.000	0.200	0.147	0.000
AC-pd	1600	1.480	0.160	10.700	0.370	33.700	48.700	17.600	0.000	0.200	0.195	0.000
AC-wd	1800	1.600	0.140	778.400	0.080	7.000	14.400	78.600	0.000	0.200	0.142	0.000
FC	880	1.600	0.130	36.400	0.440	36.100	26.500	37.400	0.000	0.200	0.153	0.000
W	2000	1.250	0.230	4.190	3.460	27.000	31.000	42.000	0.000	0.200	0.124	0.000
U	2000	1.650	0.170	2.070	1.450	33.000	33.000	34.000	50.000	0.200	0.134	0.000
SC	2000	1.460	0.230	6.500	0.890	21.000	24.000	55.000	12.000	0.200	0.156	0.000
Others	1000	1.600	0.130	12.500	0.870	39.000	5.000	56.000	0.000	0.200	0.098	0.000

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Soil series	SOL_Z2	SOL_BD2	SOL_AWC2	SOL_K2	SOL_CBN2	CLAY2	SILT2	SAND2	ROCK2	SOL_ALB2	USLE_K2	SOL_EC2
Bk	300	1.420	0.110	9.600	0.290	60.400	37.100	2.500	0.000	0.200	0.299	0.000
Rb	700	1.500	0.140	18.000	0.880	57.800	40.500	1.700	0.000	0.200	0.312	0.000
Hd	250	1.570	0.140	18.000	0.570	46.000	43.700	10.300	0.000	0.200	0.212	0.000
Cr	260	1.500	0.200	16.200	0.640	21.500	57.000	21.500	0.000	0.200	0.202	0.000
Np	300	1.730	0.140	18.000	1.040	47.280	40.200	12.520	0.000	0.200	0.176	0.000
Ms	320	1.640	0.160	0.900	0.940	28.800	59.500	11.700	0.000	0.200	0.240	0.000
Lp	240	1.670	0.150	1.600	0.320	16.600	48.400	35.000	0.000	0.200	0.185	0.000
Re	400	1.620	0.140	11.000	0.050	3.500	23.900	72.600	0.000	0.200	0.177	0.000
Kyo	480	1.600	0.150	59.800	0.330	20.500	36.300	43.200	0.000	0.200	0.174	0.000
Sa	260	1.400	0.160	10.700	0.640	28.600	53.700	17.700	0.000	0.200	0.204	0.000
St	270	1.500	0.200	16.200	0.170	17.000	54.500	28.500	0.000	0.200	0.194	0.000
Ub	560	1.510	0.140	788.400	0.060	3.000	10.400	86.600	0.000	0.200	0.107	0.000
Pn	450	1.600	0.130	36.400	0.600	31.400	30.400	38.200	0.000	0.200	0.159	0.000
Lb	400	0.950	0.110	22.200	1.290	87.700	10.000	2.300	0.000	0.200	0.162	0.000
Pc	480	1.400	0.110	10.700	0.640	61.600	25.900	12.500	0.000	0.200	0.155	0.000
Dp	340	1.000	0.110	262.600	1.790	48.000	24.200	27.800	0.000	0.200	0.113	0.000
Wi	350	1.460	0.130	36.400	0.630	32.800	25.300	41.900	0.000	0.200	0.152	0.000
Ks	380	1.500	0.200	16.200	0.700	26.000	59.500	14.500	0.000	0.200	0.232	0.000
Wn	300	1.600	0.140	15.400	0.740	19.700	15.000	65.300	0.000	0.200	0.147	0.000
Pr	530	1.600	0.150	59.800	0.550	20.300	33.200	46.500	0.000	0.200	0.171	0.000
Sg	580	1.600	0.140	179.500	0.300	10.500	32.900	56.600	0.000	0.200	0.183	0.000
Ckr	350	1.740	0.140	6.900	0.120	12.600	16.100	71.300	0.000	0.200	0.157	0.000
Msk	300	1.600	0.130	246.000	0.130	3.500	8.700	87.800	0.000	0.200	0.099	0.000
Ng	300	1.520	0.130	1.200	0.130	3.680	4.810	91.510	0.000	0.200	0.080	0.000
Ch	140	1.600	0.130	36.400	0.890	36.600	27.400	36.000	0.000	0.200	0.146	0.000
ML	320	1.400	0.130	354.200	1.240	32.300	30.200	37.500	0.000	0.200	0.139	0.000
Ty	200	1.450	0.140	384.900	0.890	11.000	26.200	62.800	0.000	0.200	0.168	0.000
Pp	400	1.600	0.120	47.200	0.360	30.500	19.300	50.200	0.000	0.200	0.149	0.000
Tk	300	1.120	0.130	63.700	1.950	28.700	43.600	27.700	0.000	0.200	0.135	0.000
Ct	160	1.400	0.160	10.700	0.610	31.600	51.900	16.500	0.000	0.200	0.203	0.000
Ly	250	1.600	0.140	179.300	0.420	9.600	13.600	76.800	0.000	0.200	0.143	0.000
AC-pd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AC-wd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
W	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Others	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Soil series	SOL_Z3	SOL_BD3	SOL_AWC3	SOL_K3	SOL_CBN3	CLAY3	SILT3	SAND3	ROCK3	SOL_ALB3	USLE_K3	SOL_EC3
Bk	700	1.360	0.110	8.500	0.210	59.700	37.700	2.600	0.000	0.200	0.299	0.000
Rb	1120	1.500	0.140	18.000	0.570	53.400	45.800	0.800	0.000	0.200	0.365	0.000
Hd	500	1.720	0.110	10.700	0.440	45.900	33.200	20.900	0.000	0.200	0.159	0.000
Cr	430	1.400	0.160	10.700	0.340	31.000	49.000	20.000	0.000	0.200	0.191	0.000
Np	550	1.790	0.140	18.000	1.180	49.350	41.790	8.860	0.000	0.200	0.195	0.000
Ms	500	1.690	0.200	16.200	0.390	27.300	59.600	13.100	0.000	0.200	0.246	0.000
Lp	660	1.630	0.130	36.400	0.160	29.700	39.300	31.000	0.000	0.200	0.171	0.000
Re	700	1.490	0.140	50.100	0.040	14.100	21.900	64.000	0.000	0.200	0.169	0.000
Kyo	760	1.600	0.120	47.200	0.140	21.200	24.300	54.500	0.000	0.200	0.165	0.000
Sa	450	1.500	0.200	16.200	0.460	26.000	54.200	19.800	0.000	0.200	0.202	0.000
St	470	1.500	0.200	16.200	0.180	20.000	44.000	36.000	0.000	0.200	0.180	0.000
Ub	940	1.540	0.140	788.400	0.020	0.500	17.600	81.900	0.000	0.200	0.141	0.000
Pn	770	1.600	0.130	36.400	0.480	34.500	40.000	25.500	0.000	0.200	0.169	0.000
Lb	800	1.000	0.110	21.200	0.880	79.100	18.600	2.300	0.000	0.200	0.222	0.000
Pc	1100	1.400	0.110	10.700	0.430	70.600	19.200	10.200	0.000	0.200	0.147	0.000
Dp	700	1.200	0.110	55.000	0.990	55.700	19.100	25.200	0.000	0.200	0.124	0.000
Wi	700	1.420	0.110	10.700	0.550	42.200	24.300	33.500	0.000	0.200	0.146	0.000
Ks	660	1.500	0.200	16.200	0.240	26.700	59.600	13.700	0.000	0.200	0.243	0.000
Wn	500	1.500	0.120	6.900	0.440	32.400	13.300	54.300	0.000	0.200	0.137	0.000
Pr	940	1.600	0.150	59.800	0.380	21.500	33.400	45.100	0.000	0.200	0.171	0.000
Sg	950	1.600	0.140	788.400	0.110	8.000	11.500	80.500	0.000	0.200	0.128	0.000
Ckr	800	1.570	0.140	13.500	0.040	13.600	13.000	73.400	0.000	0.200	0.147	0.000
Msk	600	1.600	0.140	788.400	0.050	5.500	9.600	84.900	0.000	0.200	0.109	0.000
Ng	450	1.530	0.130	0.700	0.050	6.910	3.760	89.330	0.000	0.200	0.075	0.000
Ch	330	1.600	0.130	36.400	0.620	29.200	32.500	38.300	0.000	0.200	0.162	0.000
ML	600	1.400	0.130	349.700	0.660	44.800	22.000	33.200	0.000	0.200	0.140	0.000
Ty	450	1.370	0.120	659.800	0.590	21.200	24.600	54.200	0.000	0.200	0.163	0.000
Pp	600	1.400	0.110	10.700	0.260	53.700	11.200	35.100	0.000	0.200	0.118	0.000
Tk	480	1.410	0.150	59.800	1.260	24.700	46.700	28.600	0.000	0.200	0.156	0.000
Ct	430	1.400	0.110	10.700	0.330	55.500	33.400	11.100	0.000	0.200	0.182	0.000
Ly	550	1.600	0.140	179.300	0.240	12.600	16.900	70.500	0.000	0.200	0.159	0.000
AC-pd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AC-wd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
W	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Others	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Soil series	SOL_Z4	SOL_BD4	SOL_AWC4	SOL_K4	SOL_CBN4	CLAY4	SILT4	SAND4	ROCK4	SOL_ALB4	USLE_K4	SOL_EC4
Bk	900	1.250	0.110	10.700	0.150	58.100	39.400	2.500	0.000	0.200	0.307	0.000
Rb	1400	1.500	0.140	18.000	0.320	45.300	51.900	2.800	0.000	0.200	0.340	0.000
Hd	900	1.530	0.130	36.400	0.320	36.000	36.900	27.100	0.000	0.200	0.165	0.000
Cr	640	1.400	0.160	10.700	0.770	39.500	44.500	16.000	0.000	0.200	0.184	0.000
Np	850	1.890	0.140	18.000	0.830	48.000	44.010	7.990	0.000	0.200	0.226	0.000
Ms	740	1.700	0.160	2.200	0.200	28.000	51.200	20.800	0.000	0.200	0.195	0.000
Lp	840	1.720	0.130	2.600	0.100	38.500	34.300	27.200	0.000	0.200	0.162	0.000
Re	1100	1.670	0.120	33.300	0.030	24.100	17.100	58.800	0.000	0.200	0.153	0.000
Kyo	1080	1.600	0.140	179.300	0.080	15.700	17.500	66.800	0.000	0.200	0.160	0.000
Sa	680	1.500	0.200	16.200	0.360	23.800	53.000	23.200	0.000	0.200	0.194	0.000
St	600	1.600	0.140	179.300	0.040	13.500	30.000	56.500	0.000	0.200	0.178	0.000
Ub	1640	1.710	0.140	788.400	0.040	4.000	16.100	79.900	0.000	0.200	0.144	0.000
Pn	1200	1.600	0.130	36.400	0.310	33.600	42.300	24.100	0.000	0.200	0.174	0.000
Lb	1000	1.240	0.130	36.400	0.370	30.800	49.000	20.200	0.000	0.200	0.190	0.000
Pc	1500	1.400	0.110	10.700	0.270	72.700	18.100	9.200	0.000	0.200	0.150	0.000
Dp	1300	1.250	0.110	14.500	0.690	54.900	21.300	23.800	0.000	0.200	0.134	0.000
Wi	1000	1.470	0.110	10.700	1.420	46.800	25.800	27.400	0.000	0.200	0.122	0.000
Ks	950	1.400	0.160	10.700	0.160	29.300	58.000	12.700	0.000	0.200	0.244	0.000
Wn	950	1.420	0.120	152.900	0.350	34.400	12.200	53.400	0.000	0.200	0.133	0.000
Pr	1250	1.600	0.150	59.800	0.340	19.700	35.800	44.500	0.000	0.200	0.175	0.000
Sg	1330	1.600	0.140	179.300	0.100	7.000	14.900	78.100	0.000	0.200	0.145	0.000
Ckr	1400	1.620	0.140	29.800	0.200	13.600	23.300	63.100	0.000	0.200	0.172	0.000
Msk	800	1.600	0.120	47.200	0.140	28.100	8.500	63.400	0.000	0.200	0.127	0.000
Ng	700	1.600	0.140	788.400	0.140	10.080	3.020	86.900	0.000	0.200	0.073	0.000
Ch	710	1.400	0.110	10.700	0.490	44.500	22.300	33.200	0.000	0.200	0.142	0.000
ML	880	1.600	0.130	36.400	0.440	36.100	26.500	37.400	0.000	0.200	0.153	0.000
Ty	900	1.600	0.120	539.000	0.320	21.100	21.200	57.700	0.000	0.200	0.161	0.000
Pp	830	1.400	0.110	10.700	0.230	53.700	11.700	34.600	0.000	0.200	0.119	0.000
Tk	900	1.500	0.140	18.000	0.340	16.200	55.100	28.700	0.000	0.200	0.194	0.000
Ct	540	1.400	0.160	10.700	0.180	31.600	52.300	16.100	0.000	0.200	0.210	0.000
Ly	850	1.600	0.140	179.300	0.170	13.600	15.400	71.000	0.000	0.200	0.155	0.000
AC-pd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AC-wd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
W	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Others	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Soil series	SOL_Z5	SOL_BD5	SOL_AWC5	SOL_K5	SOL_CBN5	CLAY5	SILT5	SAND5	ROCK5	SOL_ALB5	USLE_K5	SOL_EC5
Bk	1000	1.150	0.110	2.500	0.150	65.400	33.500	1.100	0.000	0.200	0.324	0.000
Rb	1700	1.400	0.160	10.700	0.340	36.000	53.800	10.200	0.000	0.200	0.247	0.000
Hd	1180	1.450	0.150	59.800	0.200	17.900	37.000	45.100	0.000	0.200	0.177	0.000
Cr	1000	1.500	0.140	18.000	0.240	42.000	43.800	14.200	0.000	0.200	0.195	0.000
Np	1150	1.850	0.140	18.000	0.670	44.380	45.760	9.860	0.000	0.200	0.220	0.000
Ms	1150	1.730	0.200	16.200	0.110	27.700	50.300	22.000	0.000	0.200	0.191	0.000
Lp	1000	1.750	0.110	1.900	0.060	42.000	25.900	32.100	0.000	0.200	0.150	0.000
Re	1300	1.680	0.120	4.700	0.030	26.700	18.100	55.200	0.000	0.200	0.152	0.000
Kyo	1400	1.600	0.140	179.300	0.020	12.800	10.700	76.500	0.000	0.200	0.135	0.000
Sa	900	1.600	0.150	59.800	0.300	20.900	47.900	31.200	0.000	0.200	0.183	0.000
St	820	1.600	0.140	179.300	0.020	12.500	21.500	66.000	0.000	0.200	0.170	0.000
Ub	1640	1.540	0.140	179.300	0.060	6.600	16.600	76.800	0.000	0.200	0.153	0.000
Pn	1800	1.600	0.130	36.400	0.600	36.800	37.300	25.900	0.000	0.200	0.163	0.000
Lb	1500	1.370	0.200	204.600	0.390	24.300	52.700	23.000	0.000	0.200	0.194	0.000
Pc	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Dp	1800	1.290	0.110	42.500	0.470	55.600	19.100	25.300	0.000	0.200	0.132	0.000
Wi	1300	1.430	0.110	10.700	0.310	43.500	31.900	24.600	0.000	0.200	0.157	0.000
Ks	1450	1.400	0.160	10.700	0.160	31.300	57.100	11.600	0.000	0.200	0.249	0.000
Wn	1400	1.420	0.120	153.400	0.280	33.300	12.500	54.200	0.000	0.200	0.135	0.000
Pr	1900	1.600	0.150	59.800	0.320	24.400	36.800	38.800	0.000	0.200	0.171	0.000
Sg	1800	1.600	0.140	788.400	0.080	7.000	14.400	78.600	0.000	0.200	0.142	0.000
Ckr	1740	1.660	0.140	25.100	0.080	15.000	13.600	71.400	0.000	0.200	0.150	0.000
Msk	1100	1.600	0.120	47.200	0.110	29.100	10.000	60.900	0.000	0.200	0.132	0.000
Ng	900	1.600	0.140	788.400	0.110	7.970	4.910	87.120	0.000	0.200	0.084	0.000
Ch	1150	1.400	0.110	10.700	0.510	65.900	24.300	9.800	0.000	0.200	0.163	0.000
ML	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ty	1200	1.600	0.120	47.200	0.160	21.100	23.900	55.000	0.000	0.200	0.165	0.000
Pp	1200	1.600	0.130	36.400	0.110	38.900	18.400	42.700	0.000	0.200	0.142	0.000
Tk	1200	1.600	0.150	59.800	0.190	13.900	41.700	44.400	0.000	0.200	0.183	0.000
Ct	1200	1.400	0.160	10.700	0.270	33.500	54.800	11.700	0.000	0.200	0.240	0.000
Ly	1300	1.600	0.140	179.300	0.060	15.700	15.300	69.000	0.000	0.200	0.155	0.000
AC-pd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AC-wd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
W	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Others	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

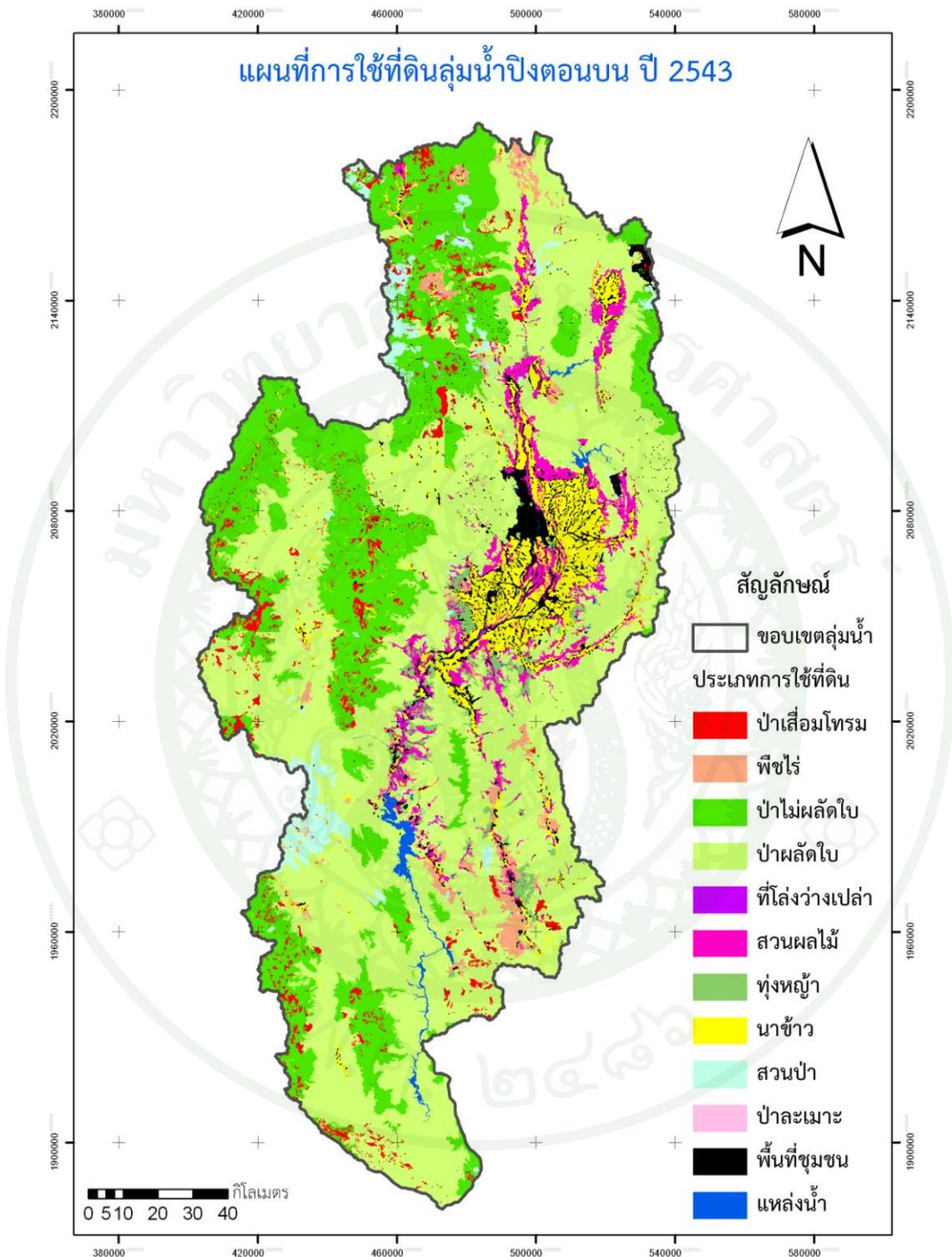
Soil series	SOL_Z6	SOL_BD6	SOL_AWC6	SOL_K6	SOL_CBN6	CLAY6	SILT6	SAND6	ROCK6	SOL_ALB6	USLE_K6	SOL_EC6
Bk	1600	1.010	0.110	1.500	0.240	64.200	35.600	0.200	0.000	0.200	0.359	0.000
Rb	2000	1.500	0.140	18.000	0.250	43.700	52.400	3.900	0.000	0.200	0.321	0.000
Hd	1600	1.480	0.160	10.700	0.370	33.700	48.700	17.600	0.000	0.200	0.195	0.000
Cr	1200	1.500	0.140	18.000	0.220	40.000	41.000	19.000	0.000	0.200	0.176	0.000
Np	1400	1.830	0.140	18.000	0.530	39.750	51.750	8.500	0.000	0.200	0.253	0.000
Ms	1450	1.710	0.160	10.700	0.150	30.600	57.200	12.200	0.000	0.200	0.245	0.000
Lp	1370	1.550	0.110	14.000	0.050	69.200	17.000	13.800	0.000	0.200	0.133	0.000
Re	1700	1.690	0.120	1.200	0.040	22.300	19.700	58.000	0.000	0.200	0.159	0.000
Kyo	1800	1.600	0.140	179.300	0.020	16.100	17.900	66.000	0.000	0.200	0.161	0.000
Sa	1300	1.400	0.160	10.700	0.370	36.000	54.300	9.700	0.000	0.200	0.253	0.000
St	1000	1.600	0.140	179.300	0.020	10.000	22.000	68.000	0.000	0.200	0.173	0.000
Ub	2000	1.580	0.140	179.300	0.140	15.700	18.900	65.400	0.000	0.200	0.163	0.000
Pn	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lb	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pc	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Dp	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wi	2000	1.480	0.130	36.400	0.190	34.100	36.900	29.000	0.000	0.200	0.166	0.000
Ks	1800	1.400	0.160	10.700	0.090	30.900	56.100	13.000	0.000	0.200	0.236	0.000
Wn	2000	1.380	0.130	64.300	0.170	40.300	10.700	49.000	0.000	0.200	0.125	0.000
Pr	2100	1.600	0.150	59.800	0.330	14.400	42.000	43.600	0.000	0.200	0.183	0.000
Sg	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ckr	2000	1.740	0.140	11.000	0.040	10.600	14.300	75.100	0.000	0.200	0.149	0.000
Msk	1600	1.600	0.120	47.200	0.090	25.100	10.100	64.800	0.000	0.200	0.135	0.000
Ng	1300	1.600	0.140	788.400	0.090	8.890	5.990	85.120	0.000	0.200	0.094	0.000
Ch	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ML	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ty	1550	1.600	0.120	47.200	0.130	21.600	27.200	51.200	0.000	0.200	0.167	0.000
Pp	1400	1.400	0.110	10.700	0.070	46.000	19.800	34.200	0.000	0.200	0.140	0.000
Tk	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ct	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ly	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AC-pd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AC-wd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
W	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Others	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Soil series	SOL_Z7	SOL_BD7	SOL_AWC7	SOL_K7	SOL_CBN7	CLAY7	SILT7	SAND7	ROCK7	SOL_ALB7	USLE_K7	SOL_EC7
Bk	1800	1.100	0.110	2.200	0.200	55.300	39.000	5.700	0.000	0.200	0.247	0.000
Rb	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Hd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Np	1800	1.910	0.140	18.000	0.490	40.040	48.220	11.740	0.000	2.000	0.217	0.000
Ms	1650	1.580	0.160	10.700	0.280	34.900	54.100	11.000	0.000	0.200	0.242	0.000
Lp	1650	1.670	0.110	0.300	0.080	56.700	22.900	20.400	0.000	0.200	0.141	0.000
Re	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Kyo	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sa	1600	1.600	0.150	59.800	0.240	24.300	39.500	36.200	0.000	0.200	0.174	0.000
St	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ub	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pn	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lb	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pc	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Dp	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wi	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ks	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wn	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pr	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sg	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ckr	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Msk	2000	1.600	0.120	47.200	0.200	23.000	10.500	66.500	0.000	0.200	0.137	0.000
Ng	1600	1.600	0.140	179.300	0.200	14.990	5.000	79.950	0.000	0.200	0.101	0.000
Ch	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ML	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ty	1850	1.600	0.120	47.200	0.120	24.600	25.700	49.700	0.000	0.200	0.163	0.000
Pp	1600	1.400	0.110	10.700	0.090	67.200	25.300	7.500	0.000	0.200	0.184	0.000
Tk	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ct	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ly	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AC-pd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AC-wd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
W	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Others	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Soil series	SOL_Z8	SOL_BD8	SOL_AWC8	SOL_K8	SOL_CBN8	CLAY8	SILT8	SAND8	ROCK8	SOL_ALB8	USLE_K8	SOL_EC8
Bk	2000	1.010	0.110	2.400	1.370	65.700	33.800	0.500	0.000	0.200	0.288	0.000
Rb	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Hd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Np	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ms	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lp	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Re	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Kyo	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sa	2000	1.400	0.160	10.700	0.260	30.400	50.000	19.600	0.000	0.200	0.194	0.000
St	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ub	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pn	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lb	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pc	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Dp	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wi	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ks	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wn	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pr	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sg	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ckr	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Msk	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ng	1800	1.600	0.140	179.300	0.200	13.210	6.840	79.950	0.000	0.200	0.111	0.000
Ch	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ML	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ty	2000	1.680	0.120	47.200	0.020	21.500	22.800	55.700	0.000	0.200	0.163	0.000
Pp	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tk	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ct	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ly	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AC-pd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AC-wd	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
W	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
U	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SC	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Others	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



ภาพผนวกที่ 4 แผนที่การใช้ที่ดินปี 2543 ของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

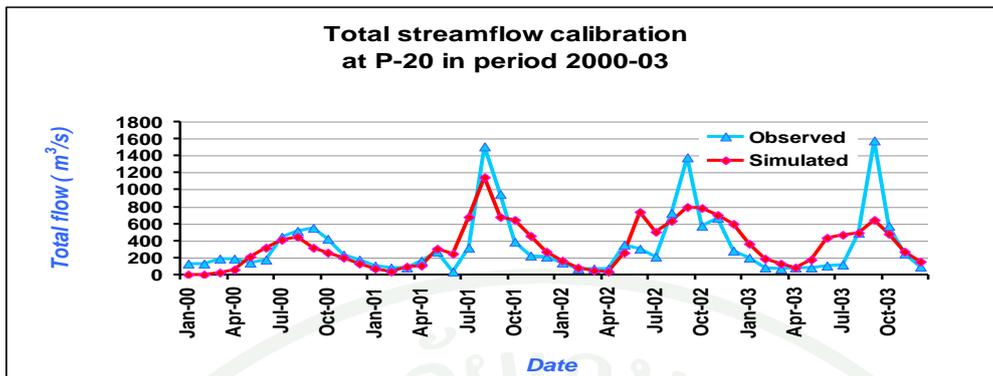


ตารางผนวกที่ 2 กลุ่มน้ำย่อยและหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) ของกลุ่มน้ำปึงตอนบน

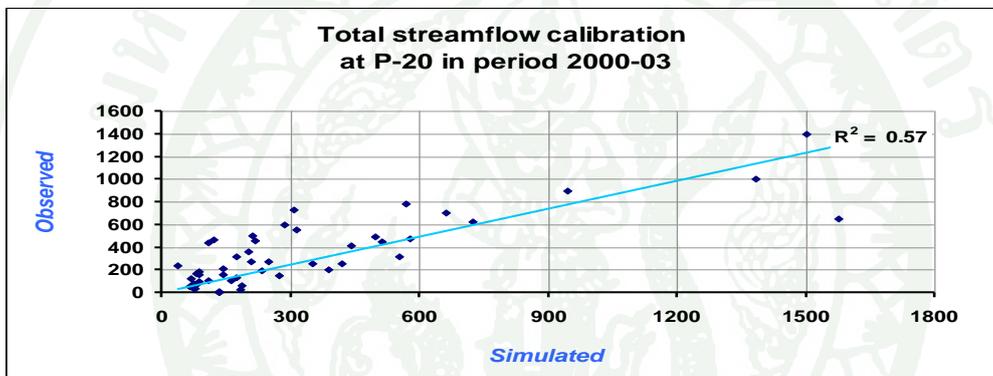
รหัสกลุ่มน้ำ	ชื่อกลุ่มน้ำย่อย	จำนวน HRUs	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
1	กลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนกลาง	3	645
2	กลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนบน	5	486
3	กลุ่มน้ำแม่แตงตอนบน	1	297
4	กลุ่มน้ำแม่แตงตอนกลาง-1	1	832
5	กลุ่มน้ำแม่ปึงส่วนที่ 1 ตอนบน	2	1,328
6	กลุ่มน้ำแม่จัดตอนบน	2	564
7	กลุ่มน้ำแม่แตงตอนกลาง-2	2	813
8	กลุ่มน้ำแม่ริมตอนบน	2	507
9	กลุ่มน้ำแม่ปึงส่วนที่ 2 ตอนบน	4	154
10	กลุ่มน้ำแม่ริมตอนล่าง	3	259
11	กลุ่มน้ำแม่กลางตอนกลาง	2	357
12	กลุ่มน้ำแม่ทาตอนบน	1	480
13	กลุ่มน้ำแม่ทาตอนล่าง	1	414
14	กลุ่มน้ำแม่ขานตอนบน	2	897
15	กลุ่มน้ำแม่ขานตอนกลาง	2	1,156
16	กลุ่มน้ำแม่ลี้นตอนบน	2	310
17	กลุ่มน้ำแม่ลี้นตอนกลาง-1	2	1,219
18	กลุ่มน้ำแม่กลางตอนบน	3	449
19	กลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนกลาง-2	2	1,853
20	กลุ่มน้ำแม่ลี้นตอนล่าง	2	204
21	กลุ่มน้ำแม่ปึงส่วนที่ 3 ตอนบน + แม่หาด	3	297
22	กลุ่มน้ำแม่ปึงส่วนที่ 1 ตอนล่าง	3	424
23	กลุ่มน้ำแม่จัดตอนล่าง	1	0.002
24	กลุ่มน้ำแม่แตงตอนล่าง	7	10
25	กลุ่มน้ำแม่จัดตอนกลาง	2	889
26	กลุ่มน้ำแม่ริมตอนกลาง	4	8
27	กลุ่มน้ำแม่ปึงส่วนที่ 2 ตอนกลาง-1	7	117
28	กลุ่มน้ำแม่กวงตอนบน	1	880
29	กลุ่มน้ำแม่ปึงส่วนที่ 2 ตอนกลาง-2	4	186
30	กลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนกลาง-1	2	677
31	กลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนบน	2	1,275
32	กลุ่มน้ำแม่ปึงส่วนที่ 2 ตอนกลาง-3	6	259
33	กลุ่มน้ำแม่กวงตอนล่าง	3	469

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

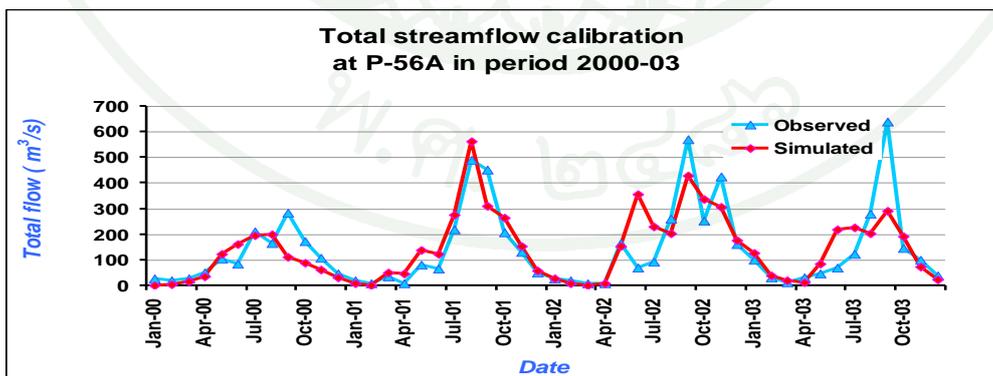
รหัสลุ่มน้ำ	ชื่อลุ่มน้ำย่อย	จำนวน HRUs	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
34	ลุ่มน้ำแม่ยาวตอนบน	4	94
35	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ตอนล่าง	4	50
36	ลุ่มน้ำแม่ขานตอนล่าง	2	21
37	ลุ่มน้ำแม่ยาวตอนล่าง	7	201
38	ลุ่มน้ำแม่ลี้ตอนกลาง-2	2	532
39	ลุ่มน้ำแม่กลางตอนล่าง	2	161
40	ลุ่มน้ำแม่กลางตอนกลาง	4	199
41	ลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนล่าง	1	78
42	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่3 ตอนล่าง + แม่หาด	2	3,194
43	ลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนล่าง	2	1,969
รวมหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา และพื้นที่ลุ่มน้ำ		119	25,214



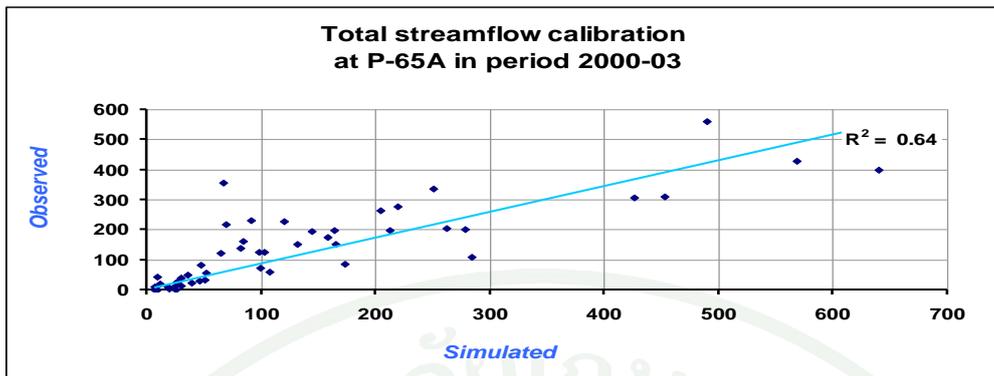
ภาพผนวกที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-20



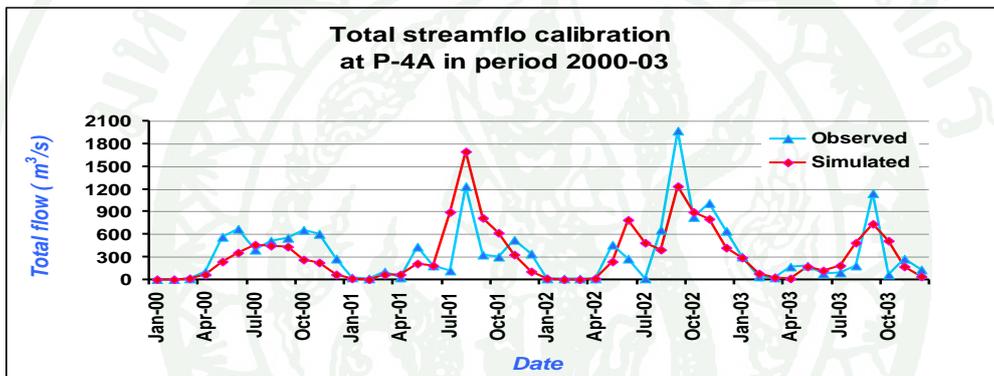
ภาพผนวกที่ 6 กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-20



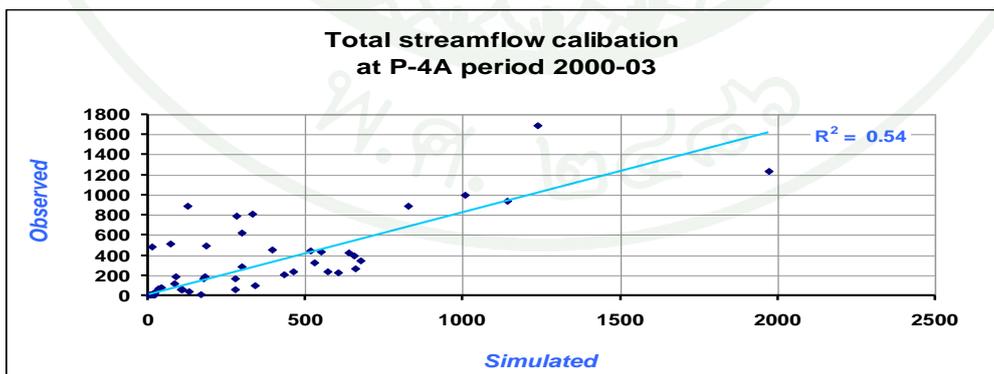
ภาพผนวกที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-65A



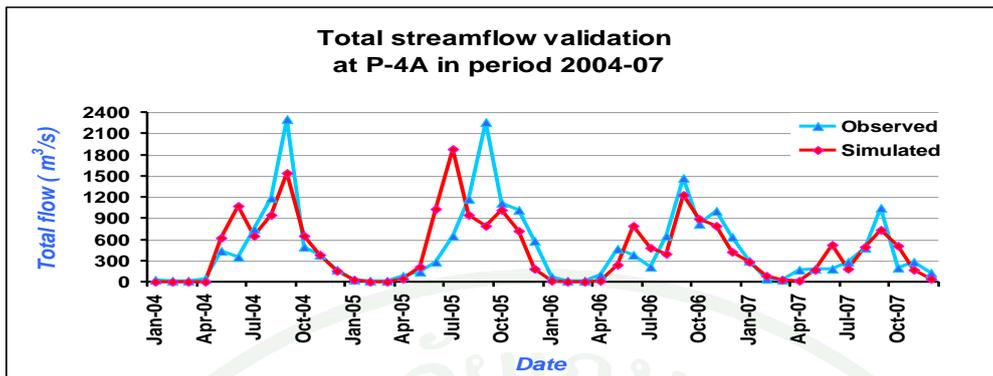
ภาพผนวกที่ 8 กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-65A



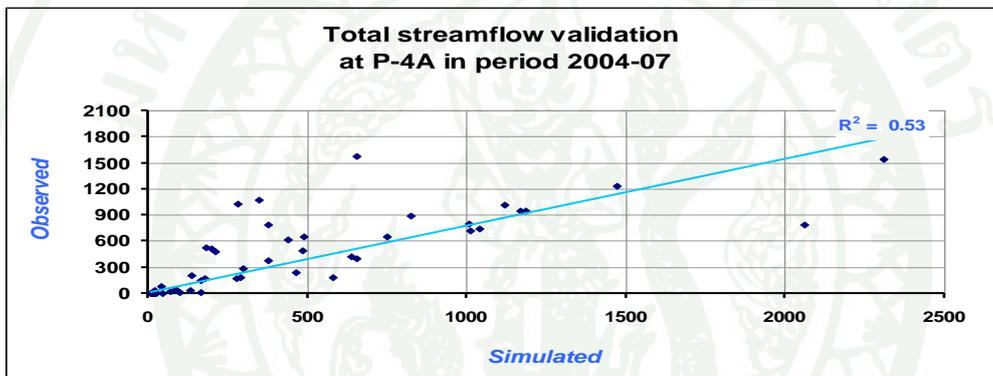
ภาพผนวกที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-4A



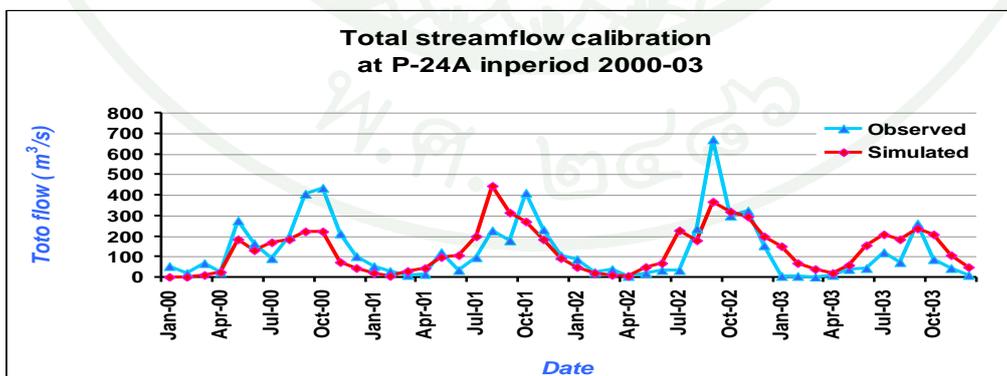
ภาพผนวกที่ 10 กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-4A



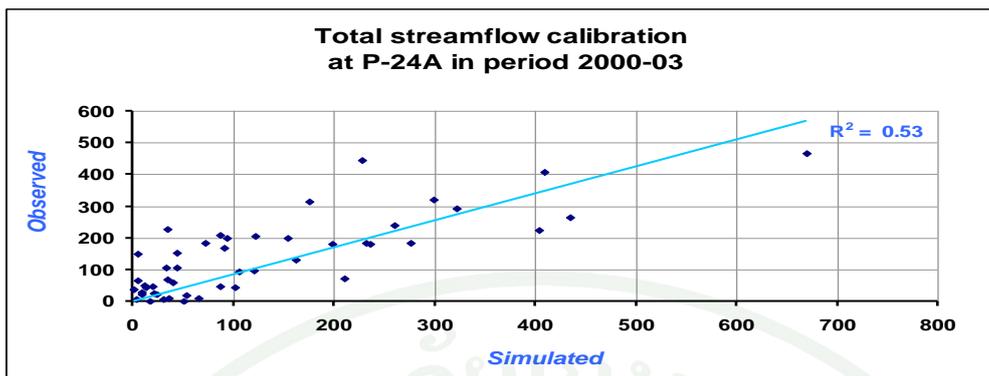
ภาพผนวกที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-4A



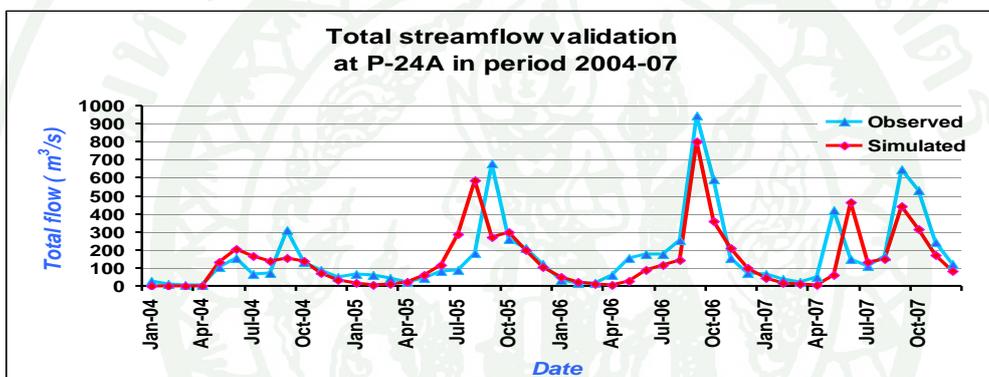
ภาพผนวกที่ 12 กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-4A



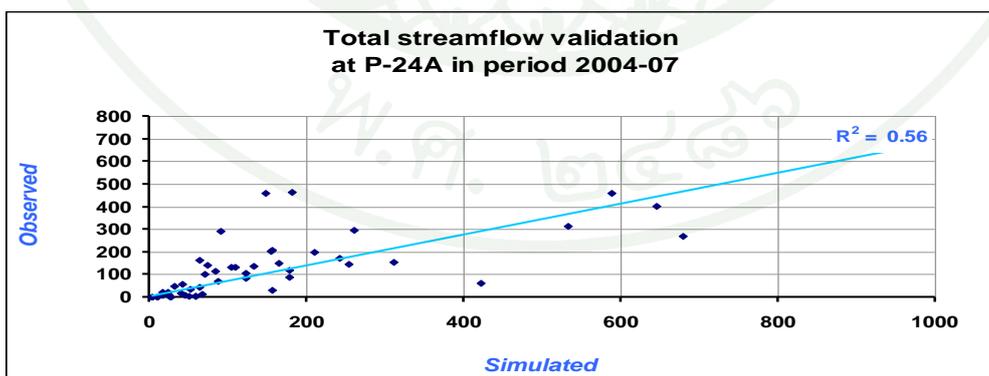
ภาพผนวกที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-24A



ภาพผนวกที่ 14 กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ณ สถานีวัดน้ำ P-24A



ภาพผนวกที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง simulated และ observed ของน้ำท่า สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-24A



ภาพผนวกที่ 16 กราฟแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่าง simulated และ observed สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (validation) ณ สถานีวัดน้ำ P-24A

ตารางผนวกที่ 3 ผลการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1, แผนที่ 2 และแผนที่ 3 ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
1	ลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนกลาง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	127.72	131.89	120.40
2	ป่าผลัดใบ	510.48	510.48	521.97
3	ป่าเสื่อมโทรม	1.09		
4	นาข้าว	2.32	2.32	2.32
5	พืชไร่	3.13	0.05	0.05
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	645	645	645
2	ลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	26.15	40.29	13.08
2	ป่าผลัดใบ	413.65	413.65	440.76
3	ป่าเสื่อมโทรม	11.39		
4	แหล่งน้ำ	0.16	0.16	0.16
5	พื้นที่ชุมชน	1.42	1.42	1.42
6	นาข้าว	16.58	16.58	16.36
7	พืชไร่	16.39	13.96	13.96
8	ที่โล่งว่างเปล่า	0.02		0.32
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	486	486	486
3	ลุ่มน้ำแม่แตงตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	37.60	50.38	43.13
2	ป่าผลัดใบ	217.77	217.77	226.61
3	ป่าเสื่อมโทรม	0.32		
4	แหล่งน้ำ	0.06	0.06	0.06
5	พื้นที่ชุมชน	3.30	3.30	3.30
6	นาข้าว	4.86	4.86	4.12
7	พืชไร่	26.14	13.68	13.73
8	สวนผลไม้	6.74	6.74	5.83
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	297	297	297
4	ลุ่มน้ำแม่แตงตอนกลาง-1			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	71.80	78.92	67.32
2	ป่าผลัดใบ	712.39	712.39	726.32
3	ป่าเสื่อมโทรม	4.27	0.82	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
4	แหล่งน้ำ	0.01	0.01	0.01
5	พื้นที่ชุมชน	9.81	9.56	9.56
6	นาข้าว	22.10	22.10	21.31
7	พืชไร่	4.29	0.86	0.86
8	สวนผลไม้	6.90	6.90	6.17
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	832	832	832
5	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 1 ตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	259.74	307.35	241.29
2	ป่าผลัดใบ	826.51	826.51	835.07
3	ป่าเสื่อมโทรม	29.24	3.63	40.11
4	สวนป่า	7.22	7.22	7.28
5	แหล่งน้ำ	1.00	1.00	1.00
6	พื้นที่ชุมชน	17.13	16.99	16.99
7	นาข้าว	15.46	15.46	15.25
8	พืชไร่	142.45	120.59	141.72
9	สวนผลไม้	28.66	28.66	28.66
10	ทุ่งหญ้า	0.22	0.22	0.27
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	1,328	1,328	1,328
6	ลุ่มน้ำแม่จัตตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	20.78	30.05	13.97
2	ป่าผลัดใบ	381.70	381.70	381.70
3	ป่าเสื่อมโทรม	6.90	0.09	11.50
4	สวนป่า	0.43	0.43	0.43
5	แหล่งน้ำ	0.77	0.77	0.77
6	พื้นที่ชุมชน	6.58	6.58	6.58
7	นาข้าว	125.50	125.50	125.49
8	พืชไร่	18.34	15.88	20.56
9	สวนผลไม้	2.73	2.73	2.73
10	ทุ่งหญ้า	0.41	0.41	0.41
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	564	564	564

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
7	ลุ่มน้ำแม่แตงตอนกลาง-2			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	86.61	90.99	82.58
2	ป่าผลัดใบ	664.67	664.67	674.8
3	ป่าละเมาะ	8.14	8.14	8.14
4	ป่าเสื่อมโทรม	4.19	1.02	
5	สวนป่า	8.66	8.66	8.66
6	แหล่งน้ำ	0.54	0.54	0.54
7	พื้นที่ชุมชน	0.82	0.82	0.82
8	นาข้าว	15.93	15.93	14.94
9	พืชไร่	22.52	21.31	22.00
10	ทุ่งหญ้า	1.42	1.42	1.43
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	813	813	813
8	ลุ่มน้ำแมริมตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	53.00	83.00	44.78
2	ป่าผลัดใบ	339.12	339.12	339.50
3	ป่าละเมาะ	0.53	0.53	0.53
4	ป่าเสื่อมโทรม	23.55	2.22	31.56
5	แหล่งน้ำ	0.27	0.27	0.27
6	พื้นที่ชุมชน	9.34	9.33	9.33
7	นาข้าว	18.75	18.75	18.75
8	พืชไร่	41.40	32.75	41.40
9	สวนผลไม้	17.21	17.21	17.05
10	ทุ่งหญ้า	4.14	4.14	4.15
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	507	507	507
9	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	27.16	36.56	25.60
2	ป่าผลัดใบ	51.50	51.50	63.55
3	ป่าละเมาะ	6.31	6.31	6.31
4	ป่าเสื่อมโทรม	14.78	5.40	5.00
5	แหล่งน้ำ	0.98	0.98	0.98
6	พื้นที่ชุมชน	6.42	6.24	6.24
7	นาข้าว	26.00	26.00	25.96

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
8	พืชไร่	15.86	15.86	15.87
9	สวนผลไม้	4.67	4.67	4.00
11	ทุ่งหญ้า	0.34	0.34	0.35
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	154	154	154
10	ลุ่มน้ำแมริมตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	9.57	11.94	7.68
2	ป่าผลัดใบ	138.46	138.46	139.07
3	ป่าเสื่อมโทรม	0.90		2.53
4	สวนป่า	1.83	1.83	1.83
5	แหล่งน้ำ	2.50	2.50	2.50
6	พื้นที่ชุมชน	45.18	44.56	44.56
7	นาข้าว	48.93	48.93	48.93
8	พืชไร่	4.82	3.96	4.82
9	สวนผลไม้	3.93	3.93	3.93
10	ทุ่งหญ้า	2.45	2.45	2.55
11	ที่โล่งว่างเปล่า			0.16
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	259	259	259
11	ลุ่มน้ำแม่กลางตอนกลาง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	13.51	19.34	12.08
2	ป่าผลัดใบ	132.78	132.78	132.78
3	ป่าเสื่อมโทรม	7.94	2.53	9.37
4	แหล่งน้ำ	1.00	1.00	1.00
5	พื้นที่ชุมชน	48.87	48.87	48.87
6	นาข้าว	104.55	104.55	104.55
7	พืชไร่	24.45	24.03	24.45
8	สวนผลไม้	20.42	20.42	20.42
9	ทุ่งหญ้า	3.18	3.18	3.18
10	ที่โล่งว่างเปล่า	0.08	0.08	0.08
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	357	357	357

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
12	ลุ่มน้ำแม่ทาตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	174.91	201.71	163.88
2	ป่าผลัดใบ	216.21	216.21	217.04
3	ป่าเสื่อมโทรม	42.54	16.02	52.76
4	แหล่งน้ำ	0.87	0.87	0.87
5	พื้นที่ชุมชน	5.58	5.58	5.58
6	นาข้าว	26.26	26.26	26.24
7	พืชไร่	14.00	13.72	14.00
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	480	480	480
13	ลุ่มน้ำแม่ทาตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	35.62	62.18	33.32
2	ป่าผลัดใบ	252.47	252.47	252.81
3	ป่าเสื่อมโทรม	43.42	18.85	45.99
4	แหล่งน้ำ	1.20	1.20	1.20
5	พื้นที่ชุมชน	13.44	13.04	13.04
6	นาข้าว	7.71	7.71	7.49
7	พืชไร่	40.08	38.48	40.08
8	สวนผลไม้	19.73	19.73	19.73
9	ทุ่งหญ้า	0.06	0.06	0.06
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	414	414	414
14	ลุ่มน้ำแม่ชานตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	71.60	86.91	51.98
2	ป่าผลัดใบ	766.26	766.26	766.26
3	ป่าเสื่อมโทรม	5.51		20.40
4	แหล่งน้ำ	0.50	0.50	0.50
5	พื้นที่ชุมชน	2.84	2.82	2.82
6	นาข้าว	0.69	0.69	0.65
7	พืชไร่	20.69	10.91	20.69
8	สวนผลไม้	28.29	28.29	28.29
9	ทุ่งหญ้า	0.30	0.30	4.74
10	ที่โล่งว่างเปล่า			0.35
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	897	897	897

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
15	ลุ่มน้ำแม่ขานตอนกลาง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	140.00	173.34	117.15
2	ป่าผลัดใบ	662.10	662.10	662.10
3	ป่าเสื่อมโทรม	16.51	1.16	38.16
4	สวนป่า	13.37	13.37	13.37
5	แหล่งน้ำ	1.27	1.27	1.27
6	พื้นที่ชุมชน	47.73	47.64	47.64
7	นาข้าว	107.66	107.66	107.63
8	พืชไร่	102.05	84.15	102.45
9	สวนผลไม้	58.37	58.37	58.37
10	ทุ่งหญ้า	3.60	3.60	4.54
11	ที่โล่งว่างเปล่า	3.81	3.81	3.81
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	1,156	1,156	1,156
16	ลุ่มน้ำแม่สีตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	23.67	51.65	7.40
2	ป่าผลัดใบ	192.85	192.85	192.85
3	ป่าเสื่อมโทรม	36.32	10.19	52.59
4	สวนป่า	0.28	0.28	0.28
5	แหล่งน้ำ	0.53	0.53	0.53
6	พื้นที่ชุมชน	5.66	5.65	5.65
7	นาข้าว	2.72	2.72	2.72
8	พืชไร่	32.52	30.67	32.52
9	สวนผลไม้	10.42	10.42	10.42
10	ทุ่งหญ้า	5.34	5.34	5.34
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	310	310	310
17	ลุ่มน้ำแม่สีตอนกลาง-1			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	236.07	470.83	210.13
2	ป่าผลัดใบ	465.36	465.36	475.66
3	ป่าละเมาะ	44.92	44.92	44.92
4	ป่าเสื่อมโทรม	276.87	43.23	292.80
5	สวนป่า	11.65	11.65	11.65
6	แหล่งน้ำ	3.74	3.74	3.74

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
7	พื้นที่ชุมชน	28.54	28.54	28.54
8	นาข้าว	40.99	40.99	40.69
9	พืชไร่	26.42	25.32	26.42
10	สวนผลไม้	73.01	73.01	73.01
11	ทุ่งหญ้า	8.48	8.48	8.48
12	ที่โล่งว่างเปล่า	2.94	2.92	2.94
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	1,219	1,219	1,219
18	ลุ่มน้ำแม่กลางตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	86.70	94.80	31.82
2	ป่าผลัดใบ	324.01	324.01	324.01
3	ป่าเสื่อมโทรม	4.53	0.31	57.54
4	แหล่งน้ำ	0.18	0.18	0.18
5	พื้นที่ชุมชน	1.83	1.83	1.83
6	นาข้าว	15.61	15.61	15.61
7	พืชไร่	3.88	0.005	5.10
8	สวนผลไม้	10.74	10.74	11.39
9	ทุ่งหญ้า	2.00	2.00	2.00
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	449	449	449
19	ลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนกลาง-2			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	906.53	957.29	777.22
2	ป่าผลัดใบ	848.36	848.36	848.36
3	ป่าเสื่อมโทรม	25.98		153.50
4	สวนป่า	4.49	4.49	4.49
5	แหล่งน้ำ	0.45	0.45	0.45
6	พื้นที่ชุมชน	4.71	3.20	4.71
7	นาข้าว	25.27	25.27	25.24
8	พืชไร่	36.67	14.07	38.49
9	สวนผลไม้	0.05	0.05	0.05
10	ที่โล่งว่างเปล่า	0.66		0.66
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	1,853	1,853	1,853

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
20	ลุ่มน้ำแม่สีตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	67.13	78.31	62.43
2	ป่าผลัดใบ	49.56	49.56	49.56
3	ป่าเสื่อมโทรม	19.47	8.29	24.17
5	พื้นที่ชุ่มชน	2.05	2.05	2.05
6	นาข้าว	3.51	3.51	3.51
6	นาข้าว	3.51	3.51	3.51
7	พืชไร่	25.11	25.11	25.11
8	สวนผลไม้	34.98	34.98	34.98
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	204	204	204
21	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 3 ตอนบน + แม่หาด			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	80.79	120.12	67.24
2	ป่าผลัดใบ	86.61	86.61	87.11
3	ป่าเสื่อมโทรม	46.87	12.42	59.70
4	แหล่งน้ำ	2.10	2.10	2.10
5	พื้นที่ชุ่มชน	4.94	4.94	4.94
6	นาข้าว	6.43	6.43	6.43
7	พืชไร่	24.39	19.51	24.39
8	สวนผลไม้	44.17	44.17	44.39
9	ทุ่งหญ้า	0.60	0.60	0.60
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	297	297	297
22	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 1 ตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	91.24	121.86	80.58
2	ป่าผลัดใบ	217.50	217.50	219.26
3	ป่าละเมาะ		7.25	
4	ป่าเสื่อมโทรม	31.59	4.53	39.77
5	สวนป่า	7.25		8.07
6	แหล่งน้ำ	0.31	0.31	0.31
7	พื้นที่ชุ่มชน	6.30	6.30	6.30
8	นาข้าว	33.60	33.60	33.60
9	พืชไร่	29.35	25.79	28.69
10	สวนผลไม้	5.95	5.95	5.59

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
11	ทุ่งหญ้า	0.84	0.84	1.39
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	424	424	424
23	ลุ่มน้ำแม้งัดตอนล่าง			
1	นาข้าว	0.002	0.002	0.002
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	0.002	0.002	0.002
24	ลุ่มน้ำแม่แตงตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	0.05	0.05	0.05
2	ป่าผลัดใบ	2.01	2.01	3.69
3	ป่าเสื่อมโทรม	1.68	1.68	
4	สวนป่า	0.40	0.40	0.40
5	แหล่งน้ำ	0.04	0.04	0.04
6	พื้นที่ชุมชน	0.32	0.32	0.32
7	นาข้าว	4.02	4.02	4.02
8	พืชไร่	1.36	1.63	1.63
9	สวนผลไม้	0.07	0.07	0.07
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	10	10	10
25	ลุ่มน้ำแม้งัดตอนกลาง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	21.34	37.17	4.27
2	ป่าผลัดใบ	677.84	677.84	678.22
3	ป่าเสื่อมโทรม	11.52	1.05	28.15
4	สวนป่า	24.44	24.44	24.44
5	แหล่งน้ำ	16.06	16.06	16.06
6	พื้นที่ชุมชน	15.58	15.58	15.58
7	นาข้าว	40.36	40.36	40.35
8	พืชไร่	73.50	68.14	73.56
9	สวนผลไม้	8.07	8.07	8.07
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	889	889	889

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
26	ลุ่มน้ำแมริมตอนกลาง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	0.02	0.02	0.02
2	แหล่งน้ำ	0.09	0.09	0.09
3	พื้นที่ชุมชน	2.18	2.18	2.18
4	นาข้าว	5.98	5.98	5.98
5	พืชไร่	0.003	0.003	0.009
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	8	8	8
27	ลุ่มน้ำแมปิงส่วนที่ 2 ตอนกลาง-1			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	9.52	17.55	5.19
2	ป่าผลัดใบ	41.67	41.67	43.24
3	ป่าเสื่อมโทรม	8.93	0.90	11.69
4	สวนป่า	5.16	5.16	5.16
5	แหล่งน้ำ	0.83	0.83	0.83
6	พื้นที่ชุมชน	9.24	9.24	9.24
7	นาข้าว	34.67	34.67	34.67
8	พืชไร่	6.94	6.94	6.94
9	ทุ่งหญ้า	0.39	0.39	0.39
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	117	117	117
28	ลุ่มน้ำแม่กวางตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	52.03	71.59	46.34
2	ป่าผลัดใบ	544.82	544.82	544.82
3	ป่าเสื่อมโทรม	20.32	3.11	25.34
4	สวนป่า	26.35	26.35	26.60
5	แหล่งน้ำ	10.35	10.35	10.35
6	พื้นที่ชุมชน	23.90	23.90	23.90
7	นาข้าว	95.46	95.46	95.46
8	พืชไร่	74.80	72.44	74.88
9	สวนผลไม้	12.25	12.25	12.55
10	ทุ่งหญ้า	19.98	19.98	20.02
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	880	880	880

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
29	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ตอนกลาง-2			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	0.44	0.44	0.44
2	แหล่งน้ำ	0.16	0.16	0.16
3	พื้นที่ชุมชน	47.71	47.71	47.71
4	นาข้าว	127.51	127.51	127.51
5	พืชไร่	3.66	3.66	3.66
6	สวนผลไม้	5.17	5.17	5.17
7	ที่โล่งว่างเปล่า	0.97	0.97	0.97
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	186	186	186
30	ลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนกลาง-1			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	104.48	117.40	61.12
2	ป่าผลัดใบ	549.58	549.58	549.58
3	ป่าเสื่อมโทรม	2.31		45.09
4	สวนป่า	0.18	0.18	0.18
5	แหล่งน้ำ	0.09	0.09	0.09
6	พื้นที่ชุมชน	0.84	0.71	0.84
7	นาข้าว	5.52	5.52	5.40
8	พืชไร่	14.39	3.91	15.09
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	677	677	677
31	ลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	233.73	257.08	168.20
2	ป่าผลัดใบ	1,010.32	1,010.32	1,010.32
3	ป่าเสื่อมโทรม	11.88		74.72
4	แหล่งน้ำ	0.22	0.22	0.22
5	พื้นที่ชุมชน	3.12	2.66	3.12
6	พืชไร่	12.53	1.53	14.24
7	สวนผลไม้	2.67	2.67	3.15
8	ทุ่งหญ้า	0.19	0.19	0.19
9	ที่โล่งว่างเปล่า	0.02		0.53
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	1,275	1,275	1,275

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
32	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ตอนกลาง-3			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	1.04	1.33	0.38
2	ป่าผลัดใบ	3.99	3.99	3.99
3	ป่าเสื่อมโทรม	0.42	0.13	1.09
4	แหล่งน้ำ	2.03	2.03	2.03
5	พื้นที่ชุมชน	77.10	77.10	77.10
6	นาข้าว	105.54	105.54	105.54
7	พืชไร่	0.44	0.44	0.44
8	สวนผลไม้	67.86	67.86	67.86
9	ทุ่งหญ้า	0.10	0.10	0.10
10	ที่โล่งว่างเปล่า	0.16	0.16	0.16
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	259	259	259
33	ลุ่มน้ำแม่กว้งตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	19.80	24.21	19.52
2	ป่าผลัดใบ	164.59	164.59	164.59
3	ป่าเสื่อมโทรม	6.23	2.02	6.49
4	แหล่งน้ำ	3.02	3.02	3.02
5	พื้นที่ชุมชน	50.50	50.50	50.50
6	นาข้าว	174.44	174.44	174.43
7	พืชไร่	13.77	13.29	13.77
8	สวนผลไม้	36.67	36.67	36.68
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	469	469	469
34	ลุ่มน้ำแม่อาวตอนบน			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	4.97	6.41	4.95
2	ป่าผลัดใบ	9.34	9.34	9.36
3	ป่าเสื่อมโทรม	2.40	1.18	2.40
4	สวนป่า	2.92	2.91	2.92
5	แหล่งน้ำ	0.24	0.24	0.24
6	พื้นที่ชุมชน	13.21	13.21	13.21
7	นาข้าว	26.14	26.14	26.14
8	พืชไร่	8.15	7.92	8.15

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
9	สวนผลไม้	26.17	26.17	26.17
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	94	94	94
35	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	0.30	0.30	0.30
2	แหล่งน้ำ	0.83	0.83	0.83
3	พื้นที่ชุมชน	5.31	5.31	5.31
4	นาข้าว	29.94	29.94	29.94
5	สวนผลไม้	14.04	14.04	14.04
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	50	50	50
36	ลุ่มน้ำแม่ชานตอนล่าง			
1	แหล่งน้ำ	0.31	0.31	0.31
2	พื้นที่ชุมชน	0.09	0.09	0.09
3	นาข้าว	8.27	8.27	8.27
4	สวนผลไม้	12.64	12.64	12.64
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	21	21	21
37	ลุ่มน้ำแม่อาวตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	13.03	16.10	10.59
2	ป่าผลัดใบ	37.69	37.69	40.07
3	ป่าละเมาะ	4.55	4.55	4.55
4	ป่าเสื่อมโทรม	5.08	2.00	5.00
5	สวนป่า	36.12	36.12	36.27
6	แหล่งน้ำ	1.13	1.13	1.13
7	พื้นที่ชุมชน	3.34	3.34	3.34
8	นาข้าว	56.03	56.03	56.01
9	พืชไร่	5.92	5.92	5.92
10	สวนผลไม้	38.54	38.54	38.54
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	201	201	201
38	ลุ่มน้ำแม่ลีตองกลาง-2			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	166.54	189.94	160.12
2	ป่าผลัดใบ	189.06	189.06	189.06
3	ป่าละเมาะ	18.92	18.92	18.92
4	ป่าเสื่อมโทรม	25.77	7.54	32.17

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
5	สวนป่า	4.21	4.21	4.23
6	แหล่งน้ำ	0.73	0.73	0.73
7	พื้นที่ชุมชน	15.29	15.29	15.29
8	นาข้าว	0.59	0.59	0.59
9	พืชไร่	38.08	32.85	38.03
10	สวนผลไม้	72.83	72.83	72.83
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	532	532	532
39	ลุ่มน้ำแม่กลางตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	58.89	63.78	30.18
2	ป่าผลัดใบ	78.91	78.91	78.91
3	ป่าเสื่อมโทรม	5.31	0.42	34.01
4	แหล่งน้ำ	0.23	0.23	0.23
5	พื้นที่ชุมชน	0.81	0.81	0.81
6	นาข้าว	14.29	14.29	14.29
7	สวนผลไม้	2.55	2.55	2.55
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	161	161	161
40	ลุ่มน้ำแม่กลางตอนกลาง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ		2.09	
2	ป่าผลัดใบ	24.48	24.48	24.48
3	ป่าละเมาะ	2.23	2.23	2.23
4	ป่าเสื่อมโทรม	12.71	10.61	12.71
5	สวนป่า	2.99	2.99	2.99
6	แหล่งน้ำ	4.02	4.02	4.02
7	พื้นที่ชุมชน	9.07	9.07	9.07
8	นาข้าว	40.93	40.93	40.93
9	พืชไร่	10.53	10.53	10.53
10	สวนผลไม้	90.87	90.89	90.87
11	ที่โล่งว่างเปล่า	0.81	0.81	0.81
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	199	199	199

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
41	ลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	49.40	51.14	44.89
2	ป่าผลัดใบ	8.10	8.10	8.10
3	ป่าเสื่อมโทรม	1.74	0.13	6.22
4	แหล่งน้ำ	0.46	0.46	0.46
5	พื้นที่ชุมชน	6.37	6.37	6.37
6	นาข้าว	5.01	5.01	5.01
7	พืชไร่	2.84	2.71	2.87
8	สวนผลไม้	1.14	1.14	1.14
9	ทุ่งหญ้า	2.96	2.96	2.96
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	78	78	78
42	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 3 ตอนล่าง + แม่หาด			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	1,242.44	1,440.84	1,108.16
2	ป่าผลัดใบ	1,269.75	1,269.57	1,284.31
3	ป่าละเมาะ	84.14	84.14	84.14
4	ป่าเสื่อมโทรม	261.32	72.01	373.07
5	สวนป่า	1.47	1.47	1.47
6	แหล่งน้ำ	127.38	127.38	127.38
7	พื้นที่ชุมชน	20.76	20.76	20.76
8	นาข้าว	44.62	44.62	44.62
9	พืชไร่	49.78	44.68	57.14
10	สวนผลไม้	39.61	39.61	39.61
11	ทุ่งหญ้า	46.07	46.07	46.24
12	ที่โล่งว่างเปล่า	6.92	2.93	7.18
	รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	3,194	3,194	3,194
43	ลุ่มน้ำแม่ตืนตอนล่าง			
1	ป่าไม่ผลัดใบ	947.83	974.00	971.31
2	ป่าผลัดใบ	950.26	950.26	953.08
3	แหล่งน้ำ	12.65	12.65	12.65
4	นาข้าว	16.81	16.81	16.16
5	พืชไร่	36.32	10.16	10.16

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ประเภทการใช้ที่ดิน	การจัดสรรการใช้ที่ดินในอนาคต (ตร.กม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
6	สวนผลไม้	2.04	2.04	2.02
7	ทุ่งหญ้า	2.92	2.92	3.46
รวมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย		1,969	1,969	1,969
รวมพื้นที่ทั้งหมดลุ่มน้ำปิงตอนบน		25,214	25,214	25,214

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งของแผนการจัดสรรการใช้ที่ดินแผนที่ 1, แผนที่ 2 และแผนที่ 3 ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ลบ. ม.)			
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3	
1	ลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนกลาง				
	1	พฤศจิกายน	37,931,761	37,950,107	37,942,136
	2	ธันวาคม	17,049,565	16,994,878	17,041,300
	3	มกราคม	5,311,326	5,308,425	5,319,591
	4	กุมภาพันธ์	2,098,295	2,094,896	2,106,794
	5	มีนาคม	2,172,617	2,174,610	2,167,312
	6	เมษายน	6,049,384	6,050,293	6,047,831
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		70,612,948	70,573,209	70,624,964
2	ลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนบน				
	1	พฤศจิกายน	26,716,222	26,716,222	26,573,277
	2	ธันวาคม	11,162,225	11,162,225	11,007,326
	3	มกราคม	4,057,388	4,057,388	4,048,374
	4	กุมภาพันธ์	2,377,926	2,377,926	2,432,851
	5	มีนาคม	3,429,225	3,429,225	3,585,249
	6	เมษายน	9,949,577	9,949,577	10,402,583
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		57,692,563	57,692,563	58,049,660
3	ลุ่มน้ำแม่แตงตอนบน				
	1	พฤศจิกายน	13,626,253	8,983,906	13,626,253
	2	ธันวาคม	8,491,158	3,331,376	8,491,158
	3	มกราคม	3,015,684	1,908,117	3,015,684
	4	กุมภาพันธ์	444,050	298,304	444,050

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
5	มีนาคม	1,260,166	1,114,812	1,260,166
6	เมษายน	3,324,564	2,616,975	3,324,564
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		30,161,875	18,253,490	30,161,875
4	ลุ่มน้ำแม่แตงตอนกลาง-1			
1	พฤศจิกายน	38,042,060	38,042,060	38,042,060
2	ธันวาคม	23,945,980	23,945,980	23,945,980
3	มกราคม	8,389,060	8,389,060	8,389,060
4	กุมภาพันธ์	1,244,297	1,244,297	1,244,297
5	มีนาคม	3,611,635	3,611,635	3,611,635
6	เมษายน	9,207,983	9,207,983	9,207,983
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		84,441,015	84,441,015	84,441,015
5	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 1 ตอนบน			
1	พฤศจิกายน	12,722,726	15,624,063	12,735,399
2	ธันวาคม	3,465,879	3,745,585	3,468,956
3	มกราคม	920,404	1,243,499	922,698
4	กุมภาพันธ์	2,582,226	1,994,572	2,582,527
5	มีนาคม	3,720,300	3,322,496	3,721,024
6	เมษายน	19,465,177	13,994,830	19,467,350
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		42,876,712	39,925,045	42,897,954
6	ลุ่มน้ำแม่จัดตอนบน			
1	พฤศจิกายน	8,957,870	8,957,870	8,957,870
2	ธันวาคม	1,643,234	1,643,234	1,643,234
3	มกราคม	314,374	314,374	314,374
4	กุมภาพันธ์	623,697	623,697	623,697
5	มีนาคม	1,701,749	1,701,749	1,701,749
6	เมษายน	6,229,379	6,229,379	6,229,379
รวมผลผลิตน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		19,470,303	19,470,303	19,470,303
7	ลุ่มน้ำแม่แตงตอนกลาง-2			
1	พฤศจิกายน	74,467,051	74,467,051	74,467,051
2	ธันวาคม	44,127,481	44,127,481	44,127,481
3	มกราคม	12,506,187	12,506,187	12,506,187

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
4	กุมภาพันธ์	1,294,776	1,294,776	1,294,776
5	มีนาคม	2,237,128	2,237,128	2,237,128
6	เมษายน	8,090,207	8,090,207	8,090,207
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		142,722,830	142,722,830	142,722,830
8	ลุ่มน้ำแมริมตอนบน			
1	พฤศจิกายน	14,919,474	14,810,077	14,919,474
2	ธันวาคม	7,983,682	7,530,738	7,983,682
3	มกราคม	3,056,298	2,815,760	3,056,298
4	กุมภาพันธ์	759,757	716,427	759,757
5	มีนาคม	1,807,809	1,814,243	1,807,809
6	เมษายน	4,531,905	4,476,585	4,531,905
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		33,058,925	32,163,830	33,058,925
9	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ตอนบน			
1	พฤศจิกายน	4,127,706	4,161,037	4,203,746
2	ธันวาคม	1,929,552	1,937,468	1,982,303
3	มกราคม	719,300	716,020	762,638
4	กุมภาพันธ์	225,132	225,621	226,999
5	มีนาคม	572,543	570,683	568,564
6	เมษายน	1,424,089	1,414,956	1,414,627
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		8,998,322	9,025,785	9,158,877
10	ลุ่มน้ำแมริมตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	4,331,191	4,332,413	4,330,662
2	ธันวาคม	919,114	919,302	918,902
3	มกราคม	160,237	160,261	160,237
4	กุมภาพันธ์	323,248	323,166	323,307
5	มีนาคม	1,208,667	1,208,138	1,208,232
6	เมษายน	2,644,033	2,643,022	2,643,528
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		9,586,490	9,586,302	9,584,868

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
11	ลุ่มน้ำแม่กลางตอนกลาง			
1	พฤศจิกายน	13,167,337	13,167,337	13,167,337
2	ธันวาคม	5,669,510	5,669,510	5,669,510
3	มกราคม	2,374,314	2,374,314	2,374,314
4	กุมภาพันธ์	1,006,267	1,006,267	1,006,267
5	มีนาคม	1,026,944	1,026,944	1,026,944
6	เมษายน	1,122,336	1,122,336	1,122,336
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	24,366,708	24,366,708	24,366,708
12	ลุ่มน้ำแม่ทาตอนบน			
1	พฤศจิกายน	20,576,787	20,568,730	20,581,656
2	ธันวาคม	11,824,645	11,868,641	11,793,333
3	มกราคม	4,024,840	4,057,723	4,000,036
4	กุมภาพันธ์	1,598,599	1,596,373	1,599,473
5	มีนาคม	3,223,881	3,224,470	3,223,182
6	เมษายน	4,977,615	4,978,663	4,976,982
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	46,226,367	46,294,600	46,174,662
13	ลุ่มน้ำแม่ทาตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	16,852,883	12,077,813	16,852,883
2	ธันวาคม	7,740,842	6,141,417	7,740,842
3	มกราคม	2,666,442	2,296,289	2,666,442
4	กุมภาพันธ์	932,707	584,256	932,707
5	มีนาคม	1,331,895	1,479,539	1,331,895
6	เมษายน	4,077,020	3,650,714	4,077,020
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	33,601,789	26,230,028	33,601,789
14	ลุ่มน้ำแม่ขานตอนบน			
1	พฤศจิกายน	15,632,244	15,632,244	15,632,244
2	ธันวาคม	7,684,759	7,684,759	7,684,759
3	มกราคม	3,553,383	3,553,383	3,553,383
4	กุมภาพันธ์	1,378,361	1,378,361	1,378,361
5	มีนาคม	3,886,215	3,886,215	3,886,215

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
6	เมษายน	12,883,103	12,883,103	12,883,103
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	45,018,065	45,018,065	45,018,065
15	ลุ่มน้ำแม่ชานตอนกลาง			
1	พฤศจิกายน	27,525,635	27,525,635	27,525,635
2	ธันวาคม	4,315,396	4,315,396	4,315,396
3	มกราคม	413,756	413,756	413,756
4	กุมภาพันธ์	228,194	228,194	228,194
5	มีนาคม	733,732	733,732	733,732
6	เมษายน	9,816,128	9,816,128	9,816,128
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	43,032,841	43,032,841	43,032,841
16	ลุ่มน้ำแม่ลีตอนบน			
1	พฤศจิกายน	15,624,081	14,792,276	14,817,791
2	ธันวาคม	6,661,386	6,334,081	6,350,174
3	มกราคม	2,591,209	2,465,525	2,460,913
4	กุมภาพันธ์	2,390,363	2,065,963	2,086,118
5	มีนาคม	5,237,862	4,491,911	4,483,773
6	เมษายน	14,185,676	12,051,378	12,015,637
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	46,690,577	42,201,134	42,214,406
17	ลุ่มน้ำแม่ลีตอนกลาง-1			
1	พฤศจิกายน	50,765,857	53,655,068	50,350,794
2	ธันวาคม	19,832,347	22,760,842	19,680,141
3	มกราคม	6,132,646	8,825,821	6,078,179
4	กุมภาพันธ์	3,305,825	6,156,970	3,292,804
5	มีนาคม	6,590,207	13,546,220	6,558,625
6	เมษายน	21,466,449	35,884,574	21,372,642
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	108,093,331	140,829,495	107,333,185
18	ลุ่มน้ำแม่กลางตอนบน			
1	พฤศจิกายน	6,157,272	6,099,576	6,042,840
2	ธันวาคม	3,047,224	2,982,030	3,156,958
3	มกราคม	830,019	834,350	778,554
4	กุมภาพันธ์	86,831	86,238	79,598

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ล้าน ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
5	มีนาคม	369,000	365,383	365,383
6	เมษายน	1,347,182	1,333,861	1,334,617
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		11,837,528	11,701,438	11,757,950
19	ลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนกลาง-2			
1	พฤศจิกายน	100,017,342	99,758,486	100,333,308
2	ธันวาคม	54,093,962	54,007,116	54,236,910
3	มกราคม	21,942,736	21,911,569	22,054,938
4	กุมภาพันธ์	5,809,380	5,803,146	5,823,447
5	มีนาคม	10,816,080	10,807,825	10,830,400
6	เมษายน	27,817,819	27,793,391	27,893,547
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		220,497,319	220,081,533	221,172,550
20	ลุ่มน้ำแม่ลี้ตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	2,189,554	2,237,324	2,172,919
2	ธันวาคม	918,560	954,132	903,290
3	มกราคม	286,832	299,151	286,136
4	กุมภาพันธ์	39,137	39,146	38,728
5	มีนาคม	110,476	114,272	108,656
6	เมษายน	428,182	440,436	422,511
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		3,972,741	4,084,461	3,932,240
21	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 3 ตอนบน + แม่หาด			
1	พฤศจิกายน	16,106,677	16,117,136	16,204,356
2	ธันวาคม	7,258,581	7,246,827	7,395,453
3	มกราคม	2,553,780	2,548,382	2,561,000
4	กุมภาพันธ์	803,131	801,930	830,162
5	มีนาคม	1,267,362	1,277,605	1,274,340
6	เมษายน	3,032,925	3,059,119	3,076,340
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		31,022,456	31,050,999	31,341,651
22	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 1 ตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	2,752,964	2,737,241	2,759,187
2	ธันวาคม	467,424	465,035	468,484
3	มกราคม	12,949	11,311	13,739

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ล้าน ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
4	กุมภาพันธ์	1,192,011	1,191,761	1,192,050
5	มีนาคม	1,413,661	1,410,674	1,414,220
6	เมษายน	4,526,683	4,515,873	4,530,749
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		10,365,692	10,331,895	10,378,429
23	ลุ่มน้ำแม่จัตตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	40	40	40
2	ธันวาคม	33	33	33
3	มกราคม	15	15	15
4	กุมภาพันธ์	10	10	10
5	มีนาคม	7	7	7
6	เมษายน	11	11	11
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		116	116	116
24	ลุ่มน้ำแม่แตงตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	328,096	328,096	330,649
2	ธันวาคม	158,699	158,699	158,890
3	มกราคม	76,785	76,785	72,499
4	กุมภาพันธ์	30,723	30,723	30,551
5	มีนาคม	50,815	50,815	50,802
6	เมษายน	106,808	106,808	107,214
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		751,926	751,926	750,605
25	ลุ่มน้ำแม่จัตตอนกลาง			
1	พฤศจิกายน	18,890,524	18,890,524	18,890,524
2	ธันวาคม	17,051,202	17,051,202	17,051,202
3	มกราคม	10,802,283	10,802,283	10,802,283
4	กุมภาพันธ์	6,944,850	6,944,850	6,944,850
5	มีนาคม	3,564,728	3,564,728	3,564,728
6	เมษายน	4,764,390	4,764,390	4,764,390
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		62,017,977	62,017,977	62,017,977

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ล้าน ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
26	ลุ่มน้ำแมริมตอนกลาง			
1	พฤศจิกายน	121,702	121,702	121,702
2	ธันวาคม	37,205	37,205	37,205
3	มกราคม	19,215	19,215	19,215
4	กุมภาพันธ์	12,771	12,771	12,771
5	มีนาคม	42,180	42,180	42,180
6	เมษายน	82,099	82,099	82,099
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	315,172	315,172	315,172
27	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ตอนกลาง-1			
1	พฤศจิกายน	1,556,745	1,556,745	1,554,686
2	ธันวาคม	318,611	318,610	318,088
3	มกราคม	126,658	126,658	126,839
4	กุมภาพันธ์	128,236	128,237	128,520
5	มีนาคม	568,732	568,732	569,340
6	เมษายน	1,124,241	1,124,241	1,126,284
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	3,823,223	3,823,223	3,823,757
28	ลุ่มน้ำแม่กวางตอนบน			
1	พฤศจิกายน	55,904,056	55,904,056	55,904,056
2	ธันวาคม	28,770,677	28,770,677	28,770,677
3	มกราคม	10,286,313	10,286,313	10,286,313
4	กุมภาพันธ์	1,711,278	1,711,278	1,711,278
5	มีนาคม	4,235,063	4,235,063	4,235,063
6	เมษายน	12,196,127	12,196,127	12,196,127
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	113,103,514	113,103,514	113,103,514
29	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ตอนกลาง-2			
1	พฤศจิกายน	3,787,985	3,787,985	3,787,985
2	ธันวาคม	648,691	648,691	648,691
3	มกราคม	212,768	212,777	212,768
4	กุมภาพันธ์	227,501	227,501	227,501
5	มีนาคม	915,344	915,344	915,344

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ล้าน ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
6	เมษายน	2,306,396	2,306,396	2,306,396
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	8,098,685	8,098,694	8,098,685
30	ลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนกลาง-1			
1	พฤศจิกายน	20,141,272	20,066,727	20,884,709
2	ธันวาคม	8,436,704	8,443,940	8,572,275
3	มกราคม	2,710,369	2,702,949	2,789,624
4	กุมภาพันธ์	995,551	994,750	1,003,310
5	มีนาคม	3,436,965	3,442,107	3,355,555
6	เมษายน	9,835,827	9,811,780	10,094,591
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	45,556,688	45,462,253	46,700,064
31	ลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนบน			
1	พฤศจิกายน	22,678,041	22,500,340	24,467,511
2	ธันวาคม	9,010,449	8,928,232	9,988,531
3	มกราคม	5,227,965	5,335,444	5,668,829
4	กุมภาพันธ์	1,392,699	1,392,873	1,363,671
5	มีนาคม	4,949,391	4,941,337	5,039,487
6	เมษายน	16,352,232	16,321,408	16,741,472
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	59,610,777	59,419,634	63,269,501
32	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ตอนกลาง-3			
1	พฤศจิกายน	5,551,635	5,551,635	5,551,635
2	ธันวาคม	2,046,385	2,046,385	2,046,385
3	มกราคม	828,546	828,546	828,546
4	กุมภาพันธ์	412,409	412,409	412,409
5	มีนาคม	741,349	741,349	741,349
6	เมษายน	2,205,916	2,205,916	2,205,916
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	11,786,240	11,786,240	11,786,240
33	ลุ่มน้ำแม่กวางตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	12,837,094	12,837,094	12,837,094
2	ธันวาคม	6,708,682	6,708,682	6,708,682
3	มกราคม	2,746,324	2,746,324	2,746,324
4	กุมภาพันธ์	1,355,798	1,355,798	1,355,798

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ล้าน ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
5	มีนาคม	2,673,990	2,673,990	2,673,990
6	เมษายน	4,429,533	4,429,533	4,429,533
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		30,751,421	30,751,421	30,751,421
34	ลุ่มน้ำแม่ลาวตอนบน			
1	พฤศจิกายน	1,706,079	1,706,084	1,706,079
2	ธันวาคม	390,410	390,410	390,410
3	มกราคม	135,833	135,833	135,833
4	กุมภาพันธ์	137,390	137,389	137,390
5	มีนาคม	218,638	218,638	218,638
6	เมษายน	1,587,803	1,587,803	1,587,803
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		4,176,153	4,176,157	4,176,153
35	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 2 ตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	899,294	899,294	899,294
2	ธันวาคม	170,195	170,195	170,195
3	มกราคม	63,420	63,420	63,420
4	กุมภาพันธ์	61,516	61,516	61,516
5	มีนาคม	88,346	88,346	88,346
6	เมษายน	932,562	932,562	932,562
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		2,215,333	2,215,333	2,215,333
36	ลุ่มน้ำแม่ขานตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	408,536	408,536	408,536
2	ธันวาคม	97,791	97,791	97,791
3	มกราคม	33,562	33,562	33,562
4	กุมภาพันธ์	28,085	28,085	28,085
5	มีนาคม	41,280	41,280	41,280
6	เมษายน	325,896	325,896	325,896
ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)		935,150	935,150	935,150
37	ลุ่มน้ำแม่ลาวตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	6,645,632	6,645,632	6,661,793
2	ธันวาคม	2,694,254	2,694,254	2,670,485
3	มกราคม	877,426	877,426	881,949

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ล้าน ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
4	กุมภาพันธ์	154,696	154,696	181,120
5	มีนาคม	1,014,671	1,014,671	1,111,265
6	เมษายน	2,979,017	2,979,017	3,185,470
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	14,365,696	14,365,696	14,692,082
38	ลุ่มน้ำแม่สีตองกลาง-2			
1	พฤศจิกายน	28,093,637	28,102,560	28,113,682
2	ธันวาคม	12,511,117	12,465,198	12,500,091
3	มกราคม	3,867,061	3,889,790	3,861,257
4	กุมภาพันธ์	731,846	737,335	730,226
5	มีนาคม	3,292,170	3,279,645	3,288,422
6	เมษายน	6,722,072	6,698,013	6,712,594
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	55,217,903	55,172,541	55,206,272
39	ลุ่มน้ำแม่กลางตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	2,190,664	2,201,253	2,219,540
2	ธันวาคม	1,073,793	1,077,005	1,116,418
3	มกราคม	279,988	280,625	328,050
4	กุมภาพันธ์	35,103	35,344	33,003
5	มีนาคม	130,884	130,884	130,159
6	เมษายน	477,462	477,418	475,121
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	4,187,894	4,202,529	4,302,291
40	ลุ่มน้ำแม่กลางตอนกลาง			
1	พฤศจิกายน	2,211,145	2,211,145	2,211,145
2	ธันวาคม	499,024	499,024	499,024
3	มกราคม	97,222	97,222	97,222
4	กุมภาพันธ์	15,475	15,475	15,475
5	มีนาคม	53,099	53,099	53,099
6	เมษายน	335,756	335,756	335,756
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	3,211,721	3,211,721	3,211,721

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	เดือน	ปริมาณน้ำท่า (streamflow) ในฤดูแล้ง (ล้าน ลบ. ม.)		
		แผนที่ 1	แผนที่ 2	แผนที่ 3
41	ลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	6,526,479	6,526,479	6,526,479
2	ธันวาคม	3,831,334	3,831,334	3,831,334
3	มกราคม	1,775,519	1,775,519	1,775,519
4	กุมภาพันธ์	759,900	759,900	759,900
5	มีนาคม	761,116	761,116	761,116
6	เมษายน	1,380,461	1,380,461	1,380,461
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	15,034,809	15,034,809	15,034,809
42	ลุ่มน้ำแม่ปิงส่วนที่ 3 ตอนล่าง + แม่หาด			
1	พฤศจิกายน	150,957,895	149,441,578	152,247,868
2	ธันวาคม	58,305,758	58,359,621	58,272,510
3	มกราคม	23,939,051	23,870,378	23,967,652
4	กุมภาพันธ์	16,935,739	16,170,032	17,599,673
5	มีนาคม	36,338,325	35,005,668	37,441,009
6	เมษายน	67,092,091	64,687,239	69,137,609
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	353,568,859	347,534,516	358,666,321
43	ลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนล่าง			
1	พฤศจิกายน	51,988,918	51,979,970	51,962,697
2	ธันวาคม	24,931,510	24,905,377	24,906,362
3	มกราคม	4,004,710	4,004,262	4,064,580
4	กุมภาพันธ์	1,880,600	1,880,958	1,881,137
5	มีนาคม	4,462,197	4,463,808	4,463,450
6	เมษายน	23,047,867	23,058,785	23,056,011
	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย (m ³)	110,315,802	110,293,160	110,334,237
	ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งลุ่มน้ำปิงตอนบน (m ³)	2,023,392,457	2,021,749,350	2,029,887,170
	ปริมาณน้ำท่าฤดูแล้งลุ่มน้ำปิงตอนบน (MCM)	2,023.39	2,021.75	2,029.89