วิทยานิพนธ์

ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

REGIONAL RELATIONSHIPS BETWEEN NAM MODEL PARAMETERS AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SUB-CATCHMENTS IN THE UPPER PING RIVER BASIN

นางสาวสุพรรษา บำรุงพงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ	วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

Regional Relationships between NAM Model Parameters and Physical Characteristics of Sub-Catchments in the Upper Ping River Basin

นามผู้วิจัย นางสาวสุพรรษา บำรุงพงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ ....

(รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D.)

กรรมการ ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรชัย ลิปิวัฒนาการ, M.Eng.)

กรรมการ ....

(รองศาสตราจารย์จัตรดนัย จิระเดชะ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(รองศาสตราจารย์สุวัฒนา จิตตลดากร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 14 **เดือน** พฤษภาคม **พ.ศ.** 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

Regional Relationships between NAM Model Parameters and Physical Characteristics of Sub-Catchments in the Upper Ping River Basin

โดย

นางสาวสุพรรษา บำรุงพงศ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)
พ.ศ. 2550

สุพรรษา บำรุงพงศ์ 2550: ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D. 128 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน สมการความสัมพันธ์ที่ได้สามารถนำมาใช้เพื่อประเมินกราฟน้ำท่าสำหรับบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ จากจำนวนพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ทั้ง 15 พารามิเตอร์ พบว่า พารามิเตอร์ต่อไปนี้คือ CKIF, TIF, CAREA, Sy, $GWLBF_0$, GWL_{min} และ $GWLFL_1$ ไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญกับผลการประเมินปริมาณน้ำท่าจึงกำหนดให้เป็นค่าคงที่ สำหรับพารามิเตอร์ที่เหลืออีก 6 พารามิเตอร์ คือ U_{max}, L_{max}, CQOF, CKBF, TG, TOF, CK_1 และ CK_2 มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าจึงจำเป็นต้องประเมินค่าจากความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม สำหรับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ใช้ศึกษา ประกอบด้วย 1) ขนาดพื้นที่รับน้ำ (A) 2) ความยาวตามลำน้ำสายหลัก (L) 3) ความยาวตามลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำจนถึงจุดออกของลุ่มน้ำ (L_c) และ 4) ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (S) ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะทางกายภาพดังกล่าวมีความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงซ้อนกับพารามิเตอร์ 6 พารามิเตอร์แรก ของแบบจำลอง NAM โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.94 ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ดี สำหรับพารามิเตอร์ CK ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำ ดังนั้น จึงพิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยของ CK ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองทั้ง 8 สถานี และเมื่อนำผลการประเมินพารามิเตอร์โดยใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมไปประยุกต์ใช้กับสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการศึกษา พบว่า ให้ผลการประเมินกราฟน้ำท่าที่มีความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ 15 / 5 / 50

Supansa Bumroongpong 2007: Regional Relationships between NAM Model Parameters and Physical Characteristics of Sub-Catchments in the Upper Ping River Basin. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Nutchanat Sriwongsitanon, Ph.D. 128 pages.

This study aims to investigate the regional relationships between the NAM Model parameters and their physical characteristics of the eight gauging stations in the Upper Ping River Basin. These relationships can then be used to estimate flow hydrographs of the ungauged basins. For a total 15 parameters of the NAM Model, the following parameters, ie CKIF, TIF, CAREA, Sy, $GWLBF_0$, GWL_{min} and $GWLFL_1$, can be indicated as constant values because they are not significant in flow estimation. For the rest 8 parameters - U_{max}, L_{max}, CQOF, CKBF, TG, TOF, CK_1, and CK_2 – which are different from one station to another, they need to be approximated using the regional relationships. The physical characteristics of sub-catchments used in this study include: 1) the catchment area (A), 2) the main channel length (L), 3) the main channel length from the centroid (Lc), and 4) the main channel slope (S). Results of the study show that these physical characteristics can be related to the first 6 model parameters of sub-catchments with an acceptable average correlation coefficient of around 0.94. For the parameters CK_1, and CK_2 which are equal and not correlated to the catchment characteristics, the average value within the 8 stations (33 hours) is therefore suggested. Model parameters evaluated using the regional relationships have shown appropriated results in flow estimation at the studied gauging stations.

S. Bumroongpong
Student's signature

N. Sriwongsitanon
Thesis Advisor's signature

15 / 5 / 50

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรชัย ลิปิวัฒนาการ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ฉัตรดนัย จิระเดชะ กรรมการที่ปรึกษาวิชารองและ รองศาสตราจารย์สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณกรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้สนับสนุนข้อมูลประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ รวมถึง พี่ ๆ เพื่อน ๆ ทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

คุณประโยชน์อันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบความดีทั้งปวงแด่ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ผู้มีพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า และเพื่อน ๆ ของข้าพเจ้าทุกท่าน

สุพรรษา บำรุงพงศ์

เมษายน 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการศึกษา	4
การตรวจเอกสาร	6
ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	6
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา	17
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	35
ผลและวิจารณ์	47
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา	81
ภาคผนวก ข การใช้งานแบบจำลอง NAM	96
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ แบบจำลอง NAM	110
ภาคผนวก ง เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12	120
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	128

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน	8
2	สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	11
3	ปริมาณฝนในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	12
4	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน	14
5	ลักษณะการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน	38
6	ช่วงเวลาการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา	39
7	สัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา	40
8	ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยสำหรับสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน	44
9	แสดงค่าพารามิเตอร์ของลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ได้จากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM	63
10	สมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน	66
11	พารามิเตอร์แบบจำลอง NAM ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน	67
12	การเปรียบเทียบระหว่างค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองกับค่าทางสถิติที่ได้จากการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก1	ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	82
ก2	ปริมาณฝนรายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบน	85
ก3	ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	89
ก4	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	91

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ที่ตั้งและขอบเขตลุ่มน้ำปิงตอนบน	7
2	ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศ	10
3	การผันแปรของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน	13
4	แสดงสภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของลุ่มน้ำปิงตอนบน	15
5	สภาพการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำปิงตอนบน	16
6	แผนภูมิแสดงการทำงานของแบบจำลอง NAM	18
7	โครงสร้างของแบบจำลอง NAM	20
8	ความหมายทางกายภาพของค่า $GWLBF_0$	23
9	ที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	37
10	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.20 ช่วงปี ค.ศ. 2001 ถึง 2003	48
11	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.20 ช่วงปี ค.ศ. 1994 ถึง 1997	48
12	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.4A ช่วงปี ค.ศ. 1995 ถึง 1996	50
13	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.4A ช่วงปี ค.ศ. 2001 ถึง 2002	50
14	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.13 ช่วงปี ค.ศ. 1978 ถึง 1980	52
15	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.13 ช่วงปี ค.ศ. 1974 ถึง 1976	52
16	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.65 ช่วงปี ค.ศ. 1995 ถึง 1996	54
17	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.65 ช่วงปี ค.ศ. 1993 ถึง 1994	54
18	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.28 ช่วงปี ค.ศ. 1973 ถึง 1975	56
19	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.28 ช่วงปี ค.ศ. 1970 ถึง 1971	56
20	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.21 ช่วงปี ค.ศ. 2001 ถึง 2003	58
21	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.21 ช่วงปี ค.ศ. 1992 ถึง 1993	58
22	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.34 ช่วงปี ค.ศ. 1976 ถึง 1978	60
23	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.34 ช่วงปี ค.ศ. 1979 ถึง 1980	60
24	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.71 ช่วงปี ค.ศ. 1999 ถึง 2001	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

25	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.71 ช่วงปี ค.ศ. 2002 ถึง 2003	62
26	การเปรียบเทียบค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบและที่ได้จากการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่า	68
27	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.20	69
28	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.4A	69
29	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.13	70
30	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.65	70
31	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.28	71
32	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.21	71
33	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.34	72
34	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.71	72

ภาพผนวกที่

ข1	แบบจำลอง MIKE 11	97
ข2	เมนูหลักของแบบจำลอง NAM	97
ข3	เมนู A NAM Parameters and Initial Conditions	98
ข4	เมนู A.5 NAM Setup Menu	98
ข5	เมนู A.5.1.1 NAM Parameters	99
ข6	เมนู A.5.2.1 Initial Conditions	100
ข7	เมนู B Model Boundaries	101
ข8	เมนู B.6 Time Series Data Base	101
ข9	เมนู B.6.5 Data Base – General View	102
ข10	เมนู B.6.5.I Time Series Type	103
ข11	เมนู B.6.5.T Reading Time Series from a Text File	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข12	รูปแบบของข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีรูปแบบเป็น Text File	104
ข13	เมนู B.5 Extraction from the Data Base	105
ข14	เมนู C Mean Areal Rainfall	105
ข15	เมนู C Rainfall Data Availability เพื่อเลือกการคำนวณปริมาณฝนตามพื้นที่	106
ข16	การกำหนดสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนต่อสถานีวัดน้ำท่า	106
ข17	เมนู H NAM Calculations	107
ข18	เมนู J.5 Result Plot/Print	108
ข19	ตัวอย่างการแสดงผลการเปรียบเทียบกราฟปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง	108
ข20	ตัวอย่างการแสดงผลปริมาณน้ำท่าในรูปแบบอนุกรมเวลา	109
ค1	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง U_{max} ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า	112
ค2	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง L_{max} ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า	113
ค3	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CQOF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า	114
ค4	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CKIF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า	115
ค5	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง TOF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า	116
ค6	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง TIF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า	117
ค7	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง TG ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า	118
ค8	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CK_1, CK_2 ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า	119
ค9	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CKBF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า	119

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ม.ม.	=	มิลลิเมตร
ซ.ม.	=	เซนติเมตร
ม.	=	เมตร
กม.	=	กิโลเมตร
ตร.ม.	=	ตารางเมตร
ตร.กม.	=	ตารางกิโลเมตร
ม.ม./ชม.	=	มิลลิเมตรต่อชั่วโมง
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร
ลบ.ม./วินาที	=	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
ชม.	=	ชั่วโมง
ล./วิ./ตร.กม.	=	ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร
U_{max}	=	ปริมาณการเก็บกักสูงสุดบนผิวดิน
L_{max}	=	ปริมาณการเก็บกักสูงสุดของชั้นรากพืช
CQOF	=	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่าบนผิวดิน
CKIF	=	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลในระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน
TOF	=	ค่าเริ่มต้นการไหลบ่าบนผิวดิน
TIF	=	ค่าเริ่มต้นการไหลในระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน
TG	=	ค่าเริ่มต้นการไหลของชั้นรากพืชสำหรับการเติมปริมาณน้ำใต้ดิน
CK_1, CK_2	=	ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลในระหว่างชั้นน้ำผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน และการไหลของน้ำบนผิวดิน
Sy	=	ค่าผลผลิตจำเพาะ (specific yield) สำหรับการเก็บกักน้ำใต้ดิน
CKBF	=	สัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลพื้นฐาน (base flow)
$GWLBF_0$	=	ความลึกของน้ำใต้ดินสูงสุดที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลพื้นฐาน
$GWLFL_1$	=	ความลึกของน้ำใต้ดินสำหรับหนึ่งหน่วยของคาปิลลารี่ฟลั๊กซ์
L	=	ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดไกลสุดบนสันปันน้ำจนถึงจุดออก
L_c	=	ความยาวของลำน้ำจากจุดศูนย์ถ่วงจนถึงจุดออก
A	=	ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ
S	=	ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก

ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

Regional Relationships between NAM Model Parameters and Physical Characteristics of Sub-Catchments in the Upper Ping River Basin

คำนำ

พื้นที่ลุ่มน้ำปิงนับว่าเป็นลุ่มน้ำที่ได้รับการพัฒนาด้านแหล่งน้ำอย่างต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากเป็นลุ่มน้ำที่มีความสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของชาวเหนือเป็นอย่างมากและเป็นลุ่มน้ำสาขาหลัก 1 ใน 8 ของลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำปิงมีขนาดใหญ่มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 34,856 ตารางกิโลเมตร มีความยาวตามลำน้ำประมาณ 740 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนบางส่วนนับว่ามีความเหมาะสมในการพัฒนาด้านแหล่งน้ำเพิ่มเติมเพื่อสามารถรองรับการขยายตัวของประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ให้เกิดความเพียงพอต่อการใช้น้ำสำหรับวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นตามมาอย่างต่อเนื่อง

การประเมินปริมาณน้ำท่าทั้งรายปี รายเดือน และรายวันให้ถูกต้องแม่นยำนับว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำท่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำ ไม่ว่าจะเป็นการป้องกันอุทกภัย การจัดการควบคุมการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำตลอดจนการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตาม การประเมินปริมาณน้ำท่าซึ่งจัดเป็นตัวแปรตามในระบบทางอุทกวิทยา (dependent variable) นั้นมีความซับซ้อนและขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณฝนซึ่งนับว่าเป็นตัวแปรอิสระ (independent variable) ที่สำคัญของระบบทางอุทกวิทยานั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสถานที่ (time and space variation) ดังนั้น ในการประเมินปริมาณน้ำท่าให้ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงให้มากที่สุดนั้นจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลปริมาณฝนที่มีความละเอียดทั้งในด้านเวลาและพื้นที่ ซึ่งจำเป็นต้องใช้งบประมาณในการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนในปริมาณมากและการจัดเก็บต้องทำอย่างต่อเนื่องและถูกต้อง เพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณฝนที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่ลุ่มน้ำที่พิจารณาได้ นอกจากนั้นแล้วปัจจัยของพื้นที่ลุ่มน้ำนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการตอบสนองต่อปริมาณฝนที่เกิดขึ้นบนพื้นที่รับน้ำ ซึ่งแน่นอนว่าย่อมขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ เช่น การใช้ที่ดิน

(land use) ชนิดของดิน (soil type) ชนิดและความหนาแน่นของสิ่งปกคลุมดิน (soil cover) รูปร่างและความลาดชันของลุ่มน้ำ เป็นต้น

จากเหตุผลของความซับซ้อนของขบวนการเกิดน้ำท่า จึงเป็นที่มาของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (rainfall-runoff model) มากมาย ซึ่งสร้างขึ้นตามพื้นฐานของแบบจำลองด้านแนวความคิด (conceptual model) ของผู้พัฒนาแบบจำลองซึ่งมีความแตกต่างกันไป โดยแบบจำลองส่วนใหญ่ต้องอาศัยลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำและข้อมูลด้านอุทกวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้อมูลน้ำฝนเป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง ในปัจจุบันแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ที่ได้มีการพัฒนาและมีการใช้อย่างแพร่หลายมีมากมาย อาทิเช่น แบบจำลอง TANK, SCS, Linear Programming, HEC-HMS และ NAM เป็นต้น

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง NAM เพื่อการประเมินน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยข้อมูลด้านเข้าที่สำคัญของแบบจำลองคือ ปริมาณฝนรายวันและปริมาณการระเหยรายวัน สาเหตุที่เลือกใช้แบบจำลอง NAM เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับเพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันสำหรับประเทศไทย โดยแบบจำลอง NAM ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำต่าง ๆ มากมายในประเทศไทย อาทิเช่น การศึกษาสำหรับลุ่มน้ำสวยซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำโขง (ไพรัตน์,2536) ลุ่มน้ำบางปะกง (ยุพิน, 2542) ลุ่มน้ำน่าน (กานดา, 2545) และลุ่มน้ำปิงตอนบน (ศิริกัญญา, 2547) เป็นต้น สำหรับสาเหตุที่เลือกพื้นที่ศึกษาเฉพาะลุ่มน้ำปิงตอนบนเท่านั้น แทนที่จะศึกษาทั้งลุ่มน้ำปิง เนื่องจากลุ่มน้ำปิงตอนบนครอบคลุมพื้นที่ 25,345 ตารางกิโลเมตร บริเวณเหนือเขื่อนภูมิพล ซึ่งง่ายต่อการประเมินปริมาณน้ำท่ามากกว่าลุ่มน้ำปิงตอนล่างที่มีปริมาณการไหลเป็นลักษณะของ Regulated Flow ซึ่งถูกควบคุมพฤติกรรมการไหลโดยปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยจากเขื่อนภูมิพล ดังนั้น ในการศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประเมินปริมาณน้ำท่าจึงยากต่อการประเมินและสรุปผลความสามารถของแบบจำลอง

นอกจากการศึกษาประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM เพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของลุ่มน้ำปิงตอนบนแล้ว ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการนำแบบจำลอง NAM มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ของลุ่มน้ำปิงตอนบนในบริเวณที่ไม่มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำท่า (ungaged catchments) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วการพัฒนาแหล่งน้ำในบริเวณจุดที่ตั้งหัวงานนั้นจะไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ ดังนั้น ถ้าสามารถนำแบบจำลอง NAM มาประยุกต์ใช้กับบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ จะนำมาซึ่งประโยชน์อย่างมากต่องานด้านพัฒนาแหล่งน้ำของลุ่มน้ำปิง

ตอนบน โดยในการศึกษานี้จะได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อย ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลักษณะลุ่มน้ำรวม เพื่อนำมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ โดยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่จะได้นำมาพิจารณา ได้แก่ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดไกลสุดบนสันปันน้ำจนถึงจุดออก ความยาวของลำน้ำจากจุดศูนย์ถ่วงจนถึงจุดออก ความลาดชันของลำน้ำ ความลาดชันของลุ่มน้ำ รูปร่างของพื้นที่ลุ่มน้ำ ตลอดจนลักษณะของดินและการใช้ที่ดิน เป็นต้น โดยผลการศึกษาที่ได้จากการประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำปิงตอนบนนั้น จะสามารถนำมาขยายผลการศึกษาไปยังลุ่มน้ำอื่น ๆ ทั่วประเทศไทย ซึ่งจะยังผลประโยชน์ในการพัฒนาเพื่อการศึกษาด้านการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีรูปแบบที่ถูกต้องและชัดเจนขึ้นกว่าในอดีต

วัตถุประสงค์

1. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM เพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน

2. การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของเหตุการณ์กราฟน้ำท่าในอดีต เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน

3. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อย ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลักษณะลุ่มน้ำรวม เพื่อนำมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาหลักการและทฤษฎีของแบบจำลอง NAM ตลอดจนผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM เพื่อการประเมินกราฟน้ำท่ารายวันในพื้นที่ศึกษาต่างๆ

2. รวบรวมข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยา ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ปริมาณน้ำท่ารายวัน และปริมาณการระเหยรายวัน จากสถานีที่มีการเก็บข้อมูลดังกล่าวในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง NAM

3. รวบรวมข้อมูลชนิดของดินและการใช้ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อใช้ประกอบการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM

4. รวบรวมข้อมูลลักษณะเฉพาะของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน (catchment characteristics) ได้แก่ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (catchment area; A) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดไกลสุดบนสันปันน้ำจนถึงจุดออก (catchment length; L) ความยาวของลำน้ำจากจุดศูนย์ถ่วงจนถึงจุดออก (Lc) ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (channel slope; S) เป็นต้น โดยข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้เพื่อการหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน

5. การประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของเหตุการณ์กราฟน้ำท่าในอดีตโดยใช้แบบจำลอง NAM พร้อมทั้งการสอบเทียบแบบจำลอง (model calibration) และการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (model verification) เพื่อการประเมินค่าของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

6. การศึกษาความสัมพันธ์แบบถดถอย (regression analysis) ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลักษณะลุ่มน้ำรวม

7. การประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบถดถอย (regression analysis) ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าแบบลุ่มน้ำรวมที่ได้สร้างขึ้น เพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ ที่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ รวมทั้งการประเมินความถูกต้องของผลการศึกษา จากนั้นจึงสรุปผลการศึกษาเพื่อการนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ต่อไป

การตรวจเอกสาร

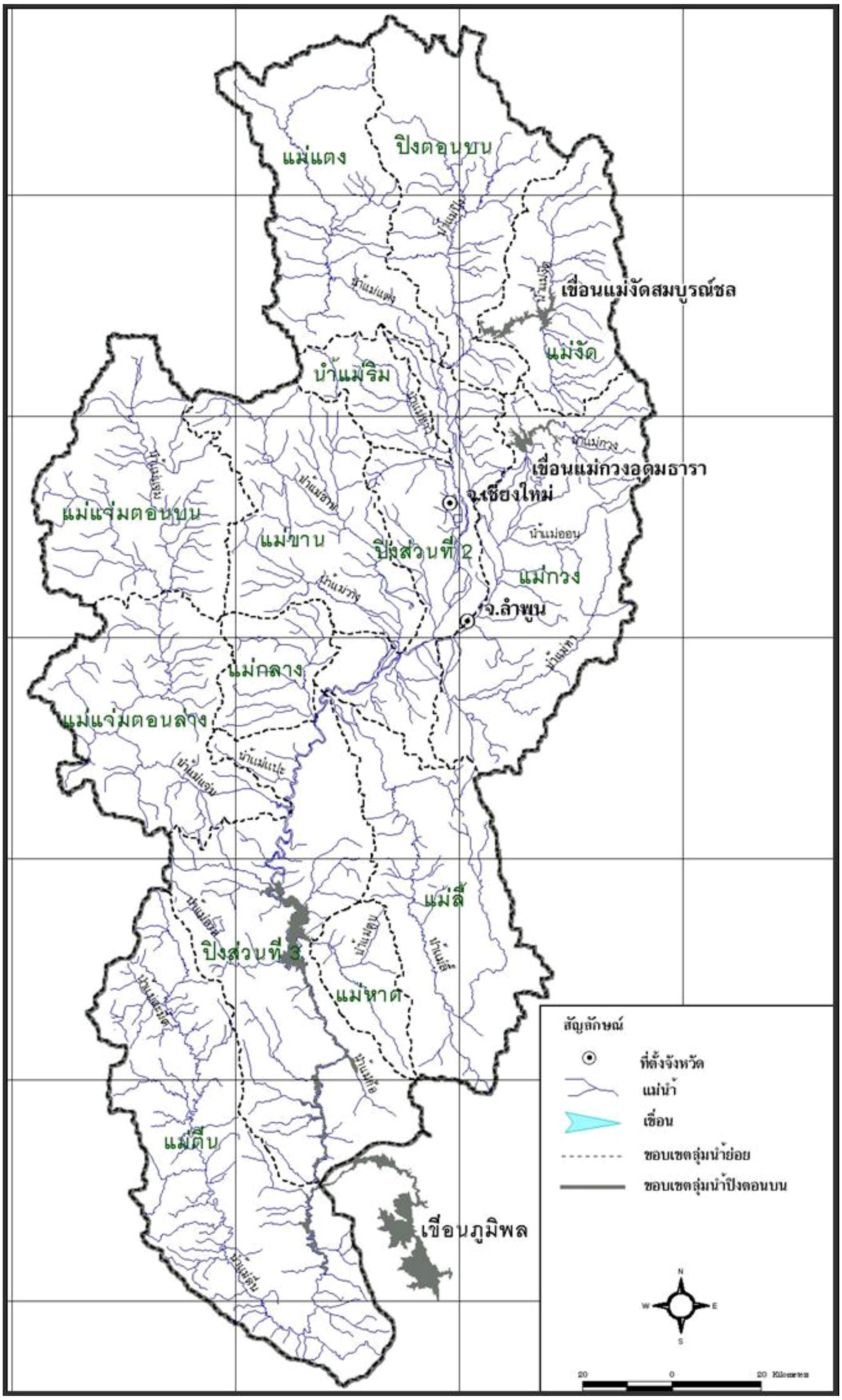
ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำปิงครอบคลุมพื้นที่รับน้ำฝน 34,856 ตารางกิโลเมตร โดยมีน้ำแม่กวงไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้ายในเขตพื้นที่จังหวัดลำพูน มีแม่น้ำลี้ไหลขึ้นมาทางเหนือ บรรจบกับแม่น้ำปิงที่อำเภอจอมทองทางฝั่งซ้าย น้ำแม่แจ่มไหลมาบรรจบทางฝั่งขวาที่อำเภอฮอด ก่อนไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลที่อำเภอดอยเต่า จากเขื่อนภูมิพล แม่น้ำปิงจะไหลมาบรรจบกับแม่น้ำวังที่ไหลมาจากทางฝั่งซ้ายของแม่น้ำปิงที่จังหวัดตาก และไหลผ่านที่ราบกว้างใหญ่ในเขตจังหวัดกำแพงเพชร บรรจบกับแม่น้ำน่านที่ปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์ เนื่องจากแม่น้ำปิงมีเขื่อนภูมิพลกั้นที่อำเภอสามเงา จังหวัดตาก จึงได้มีการแบ่งลุ่มน้ำปิงออกเป็นสองส่วนคือ ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่อยู่เหนือเขื่อนภูมิพล และลุ่มน้ำปิงตอนล่างที่อยู่ท้ายเขื่อนภูมิพล โดยในภาพที่1 แสดงที่ตั้งและขอบเขตลุ่มน้ำปิงตอนบน

สำหรับภาพรวมของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนในส่วนของสภาพภูมิประเทศ รวมทั้งสภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา สรุปได้ดังนี้

1. สภาพภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำปิงตอนบน ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัด คือ จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ตาก กำแพงเพชร และนครสวรรค์ มีพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนภูมิพลประมาณ 25,345 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 17°14′30″ ถึง 19°47′52″ เหนือ และระหว่างลองติจูดที่ 98°4′30″ ถึง 99°22′30″ ตะวันออก อาณาเขตทิศเหนือและทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำสาระวินและลุ่มน้ำแม่กก ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำแม่วัง ความยาวของลำน้ำจนถึงเขื่อนภูมิพลประมาณ 514 กิโลเมตร ประกอบด้วยลุ่มน้ำย่อย 15 ลุ่มน้ำ โดยพื้นที่รับน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,689 ตารางกิโลเมตร ลุ่มน้ำย่อยที่มีพื้นที่มากที่สุดคือ ลุ่มน้ำแม่แจ่ม มีพื้นที่รับน้ำฝน 3,896 ตารางกิโลเมตร และลุ่มน้ำย่อยแม่อาวมีขนาดพื้นที่เล็กที่สุดคือมีพื้นที่ประมาณ 172 ตารางกิโลเมตร ดังตารางที่ 1 แสดงลุ่มน้ำย่อยและพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน



ภาพที่ 1 ที่ตั้งและขอบเขตลุ่มน้ำปิงตอนบน
ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

ตารางที่ 1 รายละเอียดลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

รหัสลุ่มน้ำย่อย	รายชื่อลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
01	แม่น้ำปิงส่วนที่ 1	1,979
02	แม่แตง	1,931
03	แม่งัด	1,287
04	แม่ริม	525
05	แม่น้ำปิงส่วนที่ 2	1,480
06	แม่กวง	1,694
07	แม่แจ่ม	3,896
08	แม่ขาน	1,804
09	แม่กลาง	629
10	แม่น้ำปิงส่วนที่ 3 (จ.เชียงใหม่)	3,171
11	แม่หาด	533
12	แม่ลี้	2,080
13	แม่อาว	172
14	แม่ทา	996
15	แม่ตื่น (จ.เชียงใหม่)	3,168
	รวม	25,345

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำปิงตอนบนเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนปกคลุมด้วยป่าไม้และมีที่ราบลุ่มหุบเขาตามแหล่งชุมชน เขตอำเภอแม่แตง อำเภอเมือง อำเภอหางดง อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน แม่น้ำปิงในช่วงที่ไหลผ่านพื้นที่อำเภอเชียงดาวมีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 500 ถึง 1,300 เมตร (รทก.) ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:40 แม่น้ำปิงที่ไหลมาตามหุบเขาตอนบนของอำเภอแม่แตงมีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 300 ถึง 500 เมตร (รทก.) ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:50 และแม่น้ำปิงในช่วงที่ไหลผ่านที่ราบในหุบเขาในอำเภอแม่แตง อำเภอแม่ริม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่บริเวณนี้มีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 260 ถึง 300 เมตร (รทก.) ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:1,800 จากนั้นแม่น้ำปิงจะไหลผ่านพื้นที่ราบบริเวณหุบเขาก่อนไปลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล โดยมีความลาดชันท้องน้ำบริเวณนี้ประมาณ 1:1,590 และมีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 140 ถึง 260 เมตร (รทก.) โดยสภาพความลาดชันของท้องน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิประเทศ

2. สภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

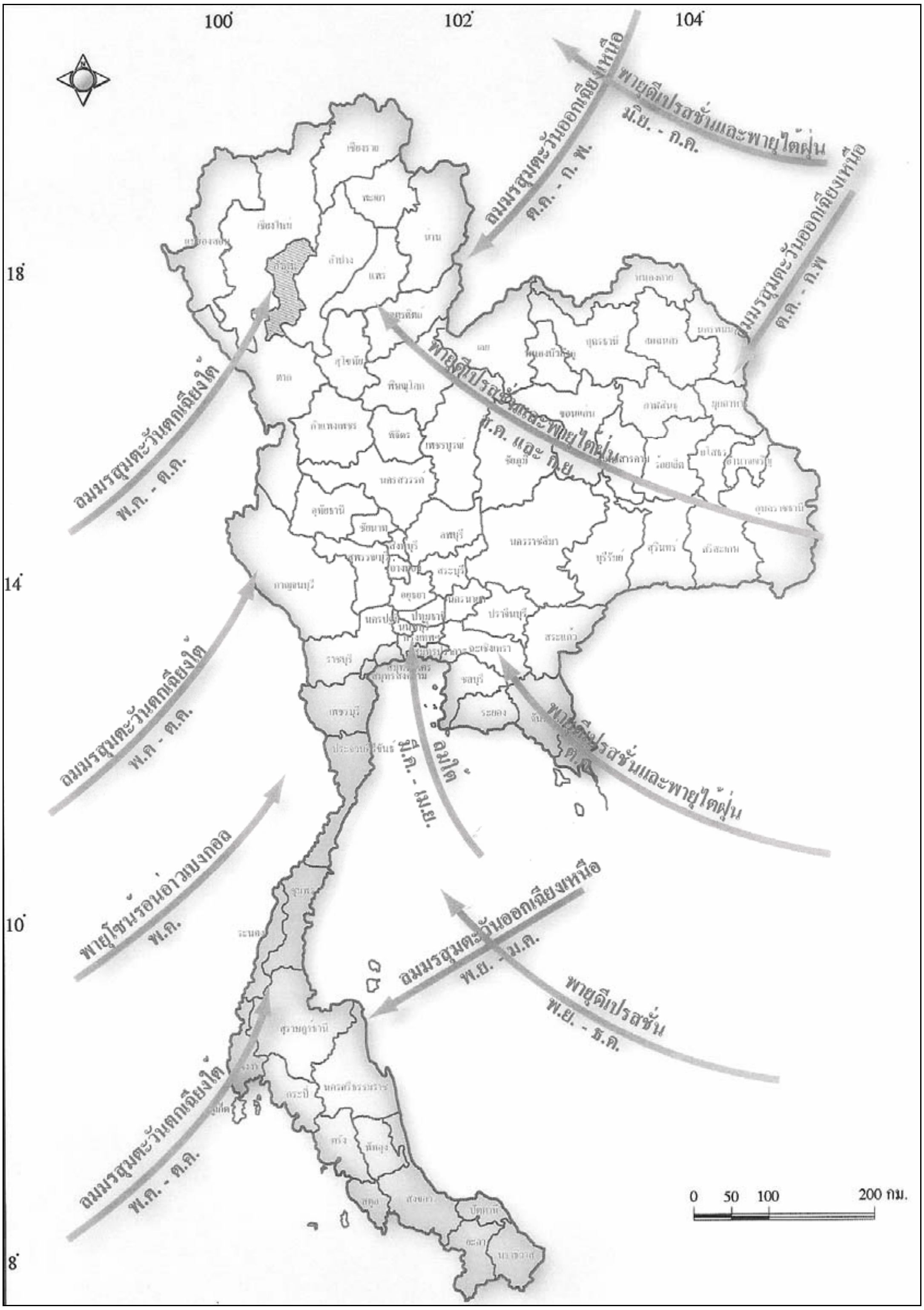
2.1 สภาพอุตุนิยมวิทยา

สภาพอากาศทั่วไปของลุ่มน้ำปิงอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชั่นซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ ทำให้มีฝนตกชุกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ดังภาพที่ 2 แสดงทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่นและตำแหน่งของร่องความกดอากาศ และเนื่องจากลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่ครอบคลุม 2 จังหวัด คือ จังหวัดลำพูน และเชียงใหม่ แต่พื้นที่โดยส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำปิงอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ จึงใช้สถิติข้อมูลสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) ที่สถานีตรวจอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเก็บรวบรวมโดยกรมอุตุนิยมวิทยา สรุปได้ดังนี้

1) อุณหภูมิของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงพิสัยค่าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 20.9-28.8 องศาเซลเซียส โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายเดือนเท่ากับ 36.0 องศาเซลเซียส ในเดือนเมษายน และต่ำสุดในเดือนมกราคมที่อุณหภูมิ 14.1 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 25.6 องศาเซลเซียส

2) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงมีค่าระหว่างร้อยละ 54 – 81 โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดรายเดือนร้อยละ 93 ในเดือนกันยายน และค่าเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 31 ในเดือนมีนาคม และค่าความชื้นสัมพันธ์เฉลี่ยทั้งปีเท่ากับร้อยละ 71

3) ความเร็วลมโดยทั่วไปลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลังแรง แต่จะมีกำลังอ่อนตัวในช่วงฤดูหนาว ความเร็วลมโดยเฉลี่ยรายเดือนมีค่าระหว่าง 1.3 ถึง 3.3 น๊อต ความแรงและทิศทางของลมจะแปรเปลี่ยนตามทิศทางของลมมรสุม หรือร่องความกดอากาศต่ำ



ภาพที่ 2 ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศ

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

4) ปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหยรายเดือนอยู่ระหว่าง 98.3 ถึง 189.4 มิลลิเมตร โดยในเดือนเมษายนและเดือนธันวาคมเป็นเดือนที่มีปริมาณการระเหยสูงสุด และต่ำสุดตามลำดับ และมีปริมาณการระเหยรายปีเฉลี่ยเท่ากับ 163.9 มิลลิเมตร

5) ฤดูกาลทางภาคเหนือได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือคราวละ 6 เดือน ทำให้เกิด 3 ฤดู คือ ฤดูฝน ฤดูหนาว ฤดูร้อน โดยฤดูฝนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม จะเริ่มมีฝนตกหนักระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน ฤดูหนาวเริ่มจากกลางเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ อากาศจะแห้งและเย็นลงจนหนาวจัดที่สุดในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ฤดูร้อนอยู่ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน โดยมีอากาศแห้งจัดในเดือนเมษายน

โดยสภาพภูมิอากาศทั่วไปของลุ่มน้ำปิงตอนบนจากสถานีตรวจวัดอากาศจังหวัดเชียงใหม่ แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ตัวแปรภูมิอากาศ	ค่าเฉลี่ยรายปี	ช่วงพิสัย ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ยสูงสุด รายเดือน	ค่าเฉลี่ย ต่ำสุด รายเดือน
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25.6	20.9 - 28.8	36.0	14.1
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	71.0	54.0 - 81.0	93.0	31.0
ความครึ้มของเมฆ (0-10)	5.2	2.0 - 8.5	-	-
ความเร็วลม (น๊อต)	2.4	1.3 - 3.3	99.0	-
ปริมาณการระเหยจาก ถาดวัดการระเหย (มม.)	163.9	98.3 – 189.4	-	-

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

2.2 สภาพอุทกวิทยา

1) ปริมาณฝน ในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบนซึ่งรวบรวมโดยกรมชลประทานถึงปี พ.ศ. 2543 โดยศึกษาจากสถานีที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ 65 สถานี และตั้งอยู่ในจังหวัดลำพูน 11 สถานี แสดงไว้ในตารางที่ 3

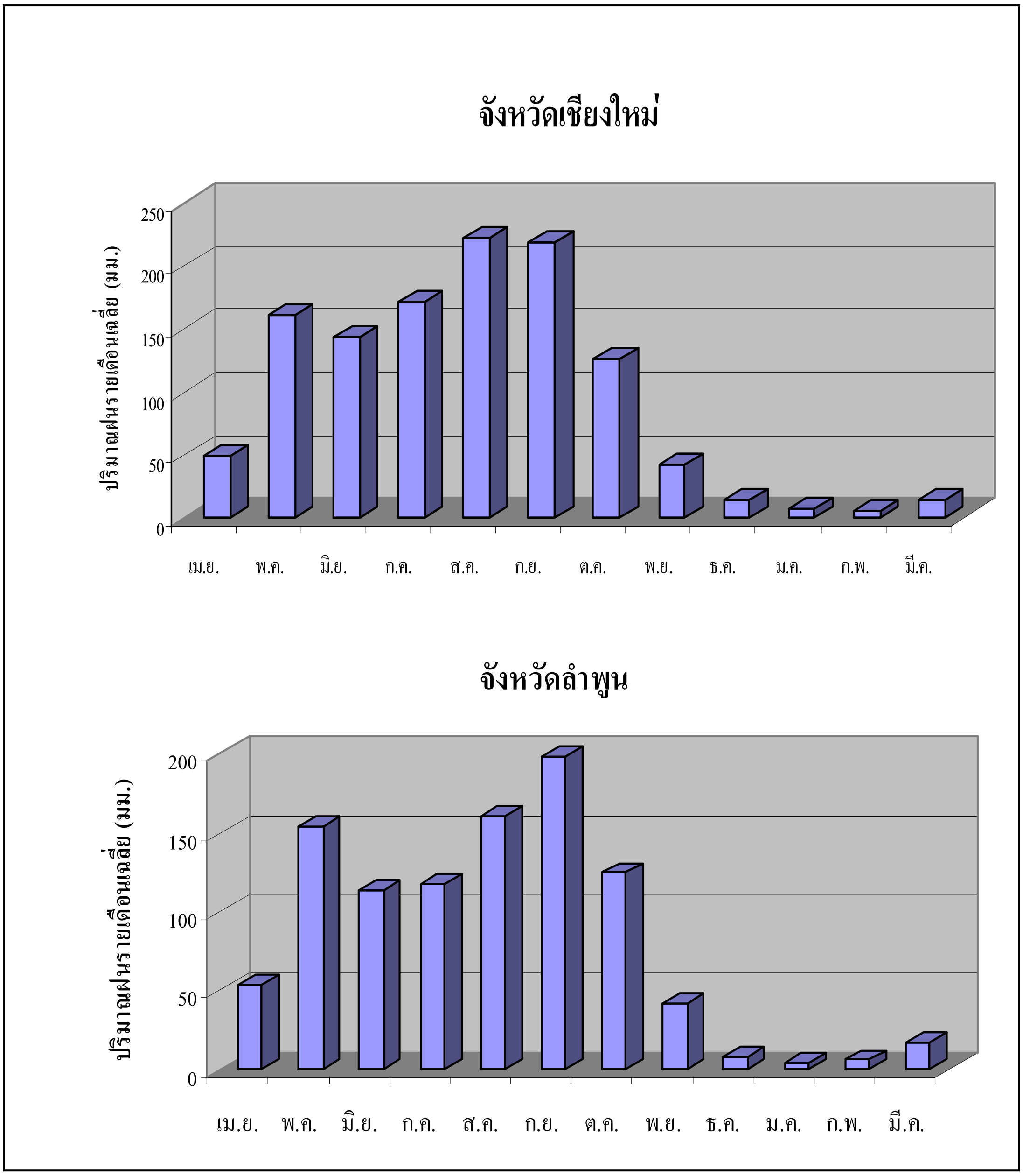
ตารางที่ 3 ปริมาณฝนในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

จังหวัด	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รายปี
เชียงใหม่	49.3	160.2	143.3	171.6	221.3	218.6	125.7	42.2	14.1	7.4	5.9	14.5	1,040.7	133.4	1,174.1
ลำพูน	53.6	153.8	113.8	117.7	160.6	198.5	124.8	41.9	8.3	4.4	5.9	17.5	869.2	131.6	1,000.8

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

จากข้อมูลปริมาณฝนในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนสามารถแสดงเป็นรูปแบบแผนภูมิแท่งแยกรายจังหวัดได้ดังภาพที่ 3

2) ปริมาณน้ำท่า ในลุ่มน้ำปิงตอนบนวิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมได้ในช่วงปี พ.ศ.2503-2543 จากสถานีวัดปริมาณน้ำท่า 74 สถานี ในจังหวัดเชียงใหม่ และ 9 สถานี ในจังหวัดลำพูน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน รายปี จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของลุ่มน้ำย่อยต่างๆ พบว่า ลุ่มน้ำแม่แจ่ม มีน้ำท่าเฉลี่ยรายปีสูงสุดประมาณ 1,145.02 ล้านลูกบาศก์เมตร ลุ่มน้ำแม่อาวมีน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่ำสุดประมาณ 45.61 ล้านลูกบาศก์เมตร ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบต่อหน่วยพื้นที่ พบว่าลุ่มน้ำแม่กลางมีศักยภาพการให้น้ำท่าเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 11.95 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร ลุ่มน้ำแม่ลี้ให้น้ำท่าเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 3.20 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร สรุปได้ดังตารางที่ 4 แสดงปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน



ภาพที่ 3 การผันแปรของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

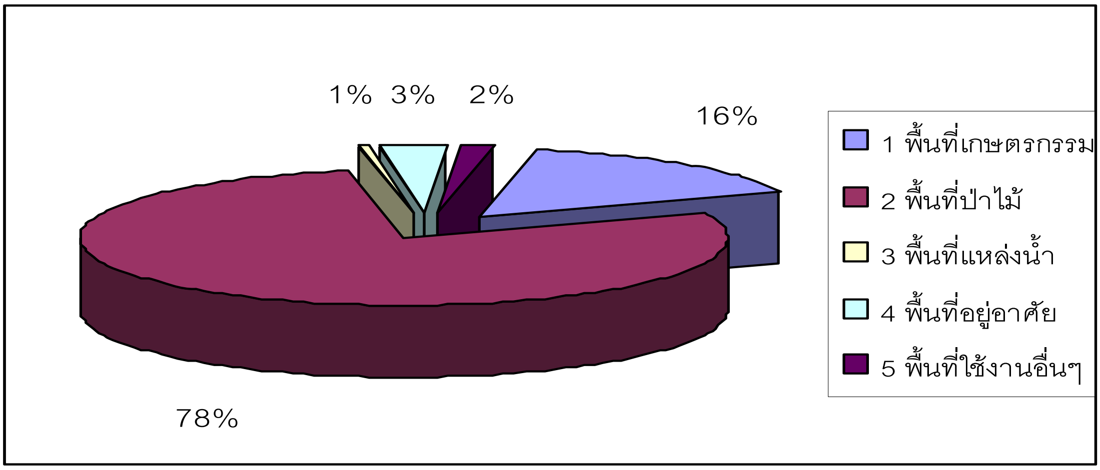
ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับที่	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)															Annual Yield (ล./วิ./ตร.กม.)
			เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ทั้งปี	
1	แม่ปิงส่วนที่ 1	1,979	10.01	16.06	31.30	41.53	93.34	133.25	84.29	49.96	31.75	22.00	15.29	10.77	399.78	139.78	539.55	8.65
2	แม่แตง	1,931	14.70	29.12	39.98	47.13	101.37	121.18	94.17	65.65	42.06	25.63	15.18	14.66	432.94	177.87	610.80	10.03
3	แม่งัด	1,287	3.77	12.16	17.92	27.30	78.15	75.55	47.37	29.32	15.52	11.58	5.30	4.61	258.46	70.10	328.56	8.10
4	แม่ริม	525	3.72	9.36	15.24	17.53	28.17	35.63	28.02	20.09	13.17	8.85	5.69	3.54	133.96	55.06	189.02	11.42
5	แม่ปิงส่วนที่ 2	1,480	6.70	18.16	27.03	33.37	76.56	98.10	66.56	43.29	28.36	13.58	6.77	5.32	319.80	104.03	423.82	9.08
6	แม่กวง	1,694	4.72	16.56	22.14	41.77	129.17	163.17	96.05	54.27	18.57	8.61	5.09	4.08	468.85	95.33	564.18	10.56
7	แม่แจ่ม	3,896	23.77	42.95	61.80	91.59	199.58	236.24	185.22	112.30	72.22	54.50	35.61	29.23	817.38	327.64	1,145.02	9.32
8	แม่ขาน	1,804	7.07	17.56	25.18	26.83	55.32	85.33	78.95	48.38	30.25	18.48	11.28	6.90	289.17	122.36	411.53	7.23
9	แม่กลาง	629	4.00	12.59	13.71	13.06	28.27	52.30	50.90	29.79	16.41	8.91	3.84	3.33	170.83	66.27	237.10	11.95
10	แม่ปิงส่วนที่ 3	3,171	13.19	29.78	41.26	68.20	121.70	145.59	113.62	67.41	44.38	24.65	15.63	14.00	520.14	179.25	699.39	6.99
11	แม่หาด	533	3.02	5.55	5.87	8.69	14.89	19.22	12.80	11.93	7.99	4.50	3.19	3.12	67.01	33.76	100.77	6.00
12	แม่ลี้	2,080	2.93	10.02	13.43	7.87	14.47	62.89	60.59	27.22	6.80	2.23	0.67	0.82	169.26	40.67	209.92	3.20
13	แม่อาว	172	0.25	1.52	2.08	3.19	9.56	13.46	8.45	4.87	1.14	0.51	0.38	0.20	38.25	7.36	45.61	8.41
14	แม่ทา	996	1.56	8.51	11.81	18.95	57.40	81.10	50.55	29.17	6.80	3.06	2.23	1.25	228.31	44.06	272.38	8.67
15	แม่ตื่น	3,168	10.86	33.79	61.77	108.87	193.83	235.80	199.63	82.81	51.28	31.17	15.95	11.71	833.68	203.79	1,037.47	10.38
	ลุ่มน้ำปิงตอนบน	25,345	110.28	263.69	390.51	555.90	1,201.75	1,558.80	1,177.18	676.44	386.72	238.25	142.10	113.53	5,147.82	1,667.32	6,815.14	8.53

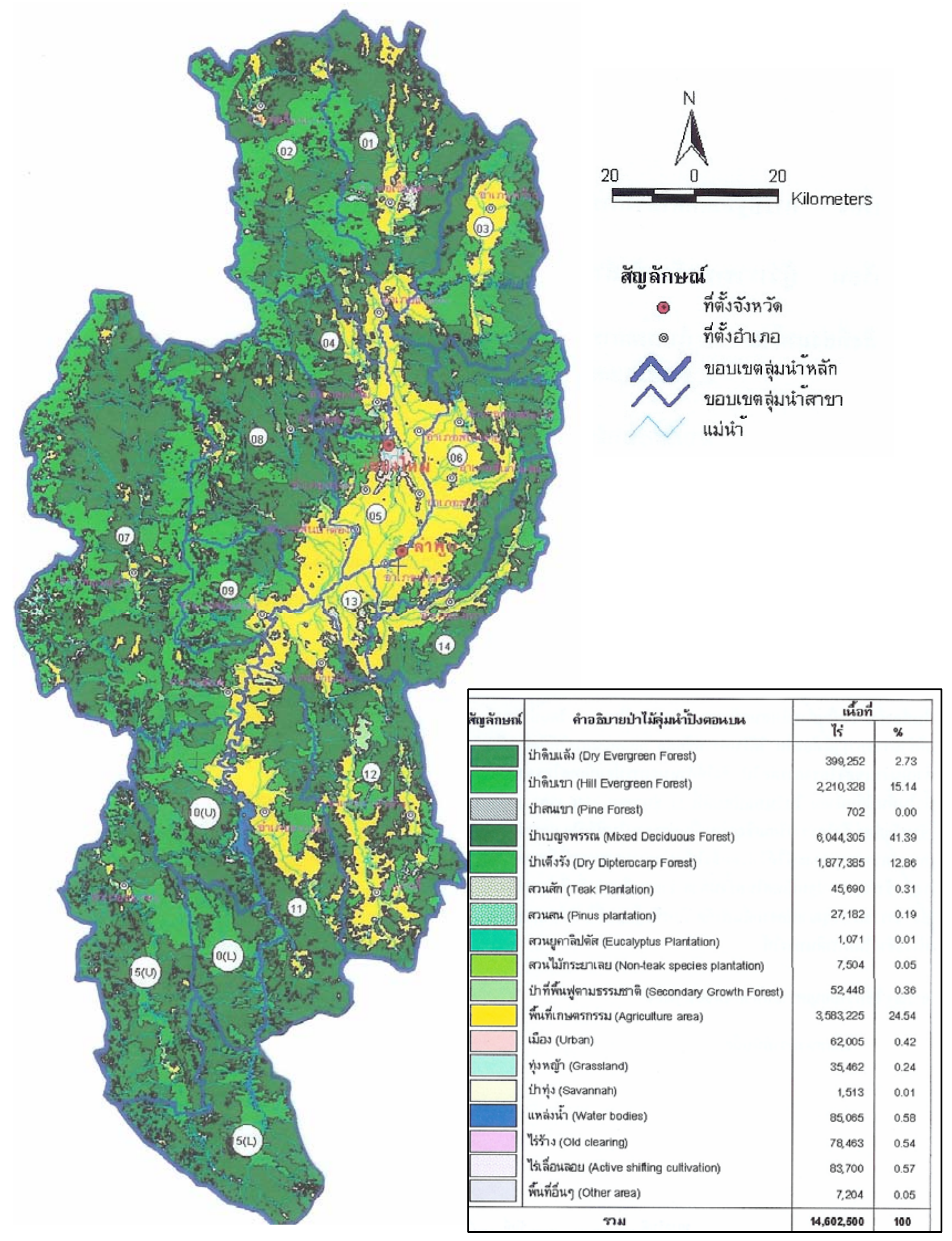
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

3. สภาพการใช้ที่ดิน

ลุ่มน้ำปิงตอนบนครอบคลุมพื้นที่ 25,345 ตารางกิโลเมตร หรือ 14,606,250 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้มีประมาณ 11,418,900 ไร่ หรือร้อยละ 78.18 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่เกษตรกรรมมีประมาณ 2,361,990 ไร่ หรือร้อยละ 16.17 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่อยู่อาศัยมีประมาณ 484,744 ไร่ หรือร้อยละ 3.32 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่อยู่ในเขตพื้นที่ราบลุ่มเชียงใหม่และลำพูน พื้นที่แหล่งน้ำทั้งที่เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้นมีประมาณ 105,118 ไร่ หรือเพียงร้อยละ 0.72 ของพื้นที่ทั้งหมด และยังมีพื้นที่ใช้งานอื่นๆอีกประมาณ 235,498 ไร่ หรือร้อยละ 1.61 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยสภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในรูปแบบแผนภูมิดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 แสดงสภาพการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำปิงตอนบน



ภาพที่ 4 แสดงสภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของลุ่มน้ำปิงตอนบน
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)



สัญลักษณ์	คำอธิบายป่าไม้ลุ่มน้ำปิงตอนบน	เนื้อที่	
		ไร่	%
	ป่าดิบแล้ง (Dry Evergreen Forest)	399,252	2.73
	ป่าดิบเขา (Hill Evergreen Forest)	2,210,328	15.14
	ป่าสนเขา (Pine Forest)	702	0.00
	ป่าเบญจพรรณ (Mixed Deciduous Forest)	6,044,305	41.39
	ป่าเต็งรัง (Dry Dipterocarp Forest)	1,877,385	12.86
	สวนสัก (Teak Plantation)	45,690	0.31
	สวนสน (Pinus plantation)	27,182	0.19
	สวนยูคาลิปตัส (Eucalyptus Plantation)	1,071	0.01
	สวนไม้กระยาเลย (Non-teak species plantation)	7,504	0.05
	ป่าที่ฟื้นฟูตามธรรมชาติ (Secondary Growth Forest)	52,448	0.36
	พื้นที่เกษตรกรรม (Agriculture area)	3,583,225	24.54
	เมือง (Urban)	62,005	0.42
	ทุ่งหญ้า (Grassland)	35,462	0.24
	ป่าทุ่ง (Savannah)	1,513	0.01
	แหล่งน้ำ (Water bodies)	85,065	0.58
	ไร่ร้าง (Old clearing)	78,463	0.54
	ไร่เลื่อนลอย (Active shifting cultivation)	83,700	0.57
	พื้นที่อื่นๆ (Other area)	7,204	0.05
รวม		**14,602,500**	**100**

ภาพที่ 5 สภาพการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำปิงตอนบน

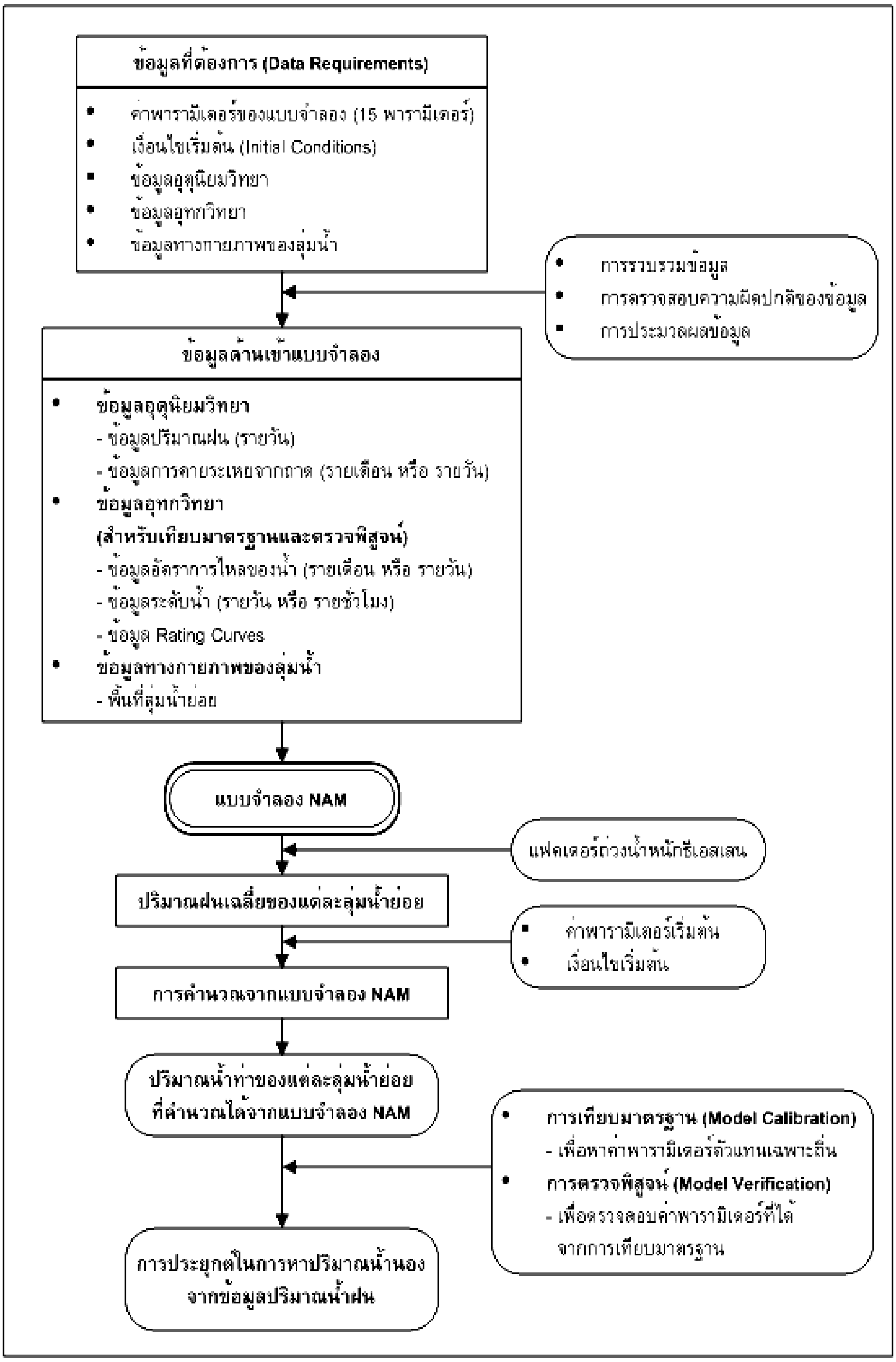
ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา

1. แบบจำลอง NAM (Nedbor-Afstominga Model)

แบบจำลอง NAM ถูกพัฒนาขึ้นโดย Nielsen และ Hansen (1973) จาก Institute of Hydrodynamics and Hydraulics Engineering, Technical University of Denmark แบบจำลอง NAM สามารถนำมาใช้ในการจำลองกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า ต่อมาได้มีการรวมเอาแบบจำลอง NAM เข้าไปรวมไว้ในซอฟท์แวร์ MIKE 11 โดย Danish Hydrodynamic and Hydraulic Institute (DHI) เพื่อนำมาใช้ในการจำลองปริมาณน้ำท่าของการไหลเข้าด้านข้าง (lateral inflow) เพื่อใช้เป็นข้อมูลกราฟน้ำท่าสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ สำหรับแบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Module; HD) ในซอฟท์แวร์ MIKE 11 (นุชนารถ, 2545)

แบบจำลอง NAM จัดอยู่ในแบบจำลองประเภทลัมพ์ (lumped system routing) ซึ่งมีพื้นฐานของการเฉลี่ยตามพื้นที่ (spatial averaging) โดยเป็นการเฉลี่ยแบบทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่พิจารณา โดยกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยเป็นหนึ่งหน่วยในการประเมินกราฟน้ำท่า โดยแบบจำลอง NAM นั้น การคำนวณกราฟน้ำท่าจะพิจารณาให้เป็นฟังก์ชั่นของเวลาเพียงอย่างเดียว ณ จุดที่พิจารณา ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM จำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาเป็นข้อมูลด้านเข้า ซึ่งประกอบด้วย 1) ข้อมูลน้ำฝน (rainfall) 2) ปริมาณการระเหย (evapotranspiration) และ 3) อุณหภูมิ (temperature) สำหรับในกรณีที่มีหิมะเป็นองค์ประกอบของปริมาณน้ำท่า ซึ่งไม่นำมาพิจารณาสำหรับประเทศไทย สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง NAM คือ กราฟน้ำท่า รวมทั้งองค์ประกอบของปริมาณน้ำท่าในแต่ละส่วน อาทิเช่น ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (overland flow) ปริมาณการไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดิน (lower zone storage) และปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน (groundwater storage) เป็นต้น ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM นั้น ในกรณีที่พื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษามีขนาดใหญ่จะต้องทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย โดยจะต้องทำการสอบเทียบแบบจำลอง (model calibrate) และตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (model verification) เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองในแต่ละลุ่มน้ำย่อย จากนั้นจึงสามารถนำพารามิเตอร์ที่ได้มาประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินกราฟน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝนในกรณีต่าง ๆ ต่อไป โดยแสดงแผนภูมิการทำงานของแบบจำลอง NAM ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนภูมิแสดงการทำงานของแบบจำลอง NAM

ที่มา: วิยูวัฒก์ แต้สมบัติ (2546)

1.1 ทฤษฎีของแบบจำลอง

รายละเอียดของแบบจำลอง NAM ในส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญประกอบด้วย 1) โครงสร้างของแบบจำลอง 2) การคำนวณของแบบจำลอง 3) พารามิเตอร์ของแบบจำลอง 4) ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง 5) การปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง และ 6) การประยุกต์ใช้งานของแบบจำลอง โดยรายละเอียดในแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้

1.1.1 โครงสร้างของแบบจำลอง (module structure)

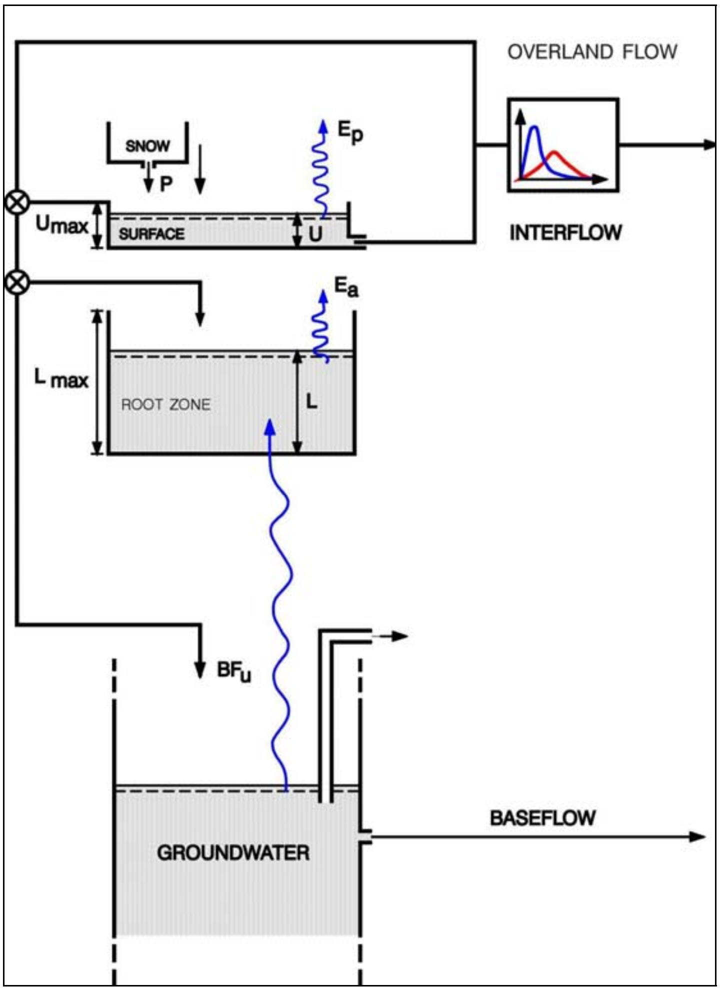
แบบจำลอง NAM มีการแบ่งการเก็บกักของปริมาณน้ำในส่วนต่าง ๆ ออกเป็น 4 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งประกอบด้วย

1) การเก็บกักของหิมะ (snow storage) ขึ้นอยู่กับอัตราการละลายตัวของหิมะ Q_{melt} ซึ่งจะไปเพิ่มปริมาณน้ำให้กับการเก็บกักของผิวดิน ส่วนเก็บกักของหิมะนี้ไม่ใช้ในการศึกษาในประเทศไทย

2) การเก็บกักบนผิวดิน (surface storage) คือปริมาณน้ำที่ค้างอยู่บนพืช และเก็บกักอยู่ในแอ่งบนพื้นดิน โดยที่ U_{max} คือปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะเก็บได้ในส่วนของการเก็บกักบนผิวดิน

3) การกักเก็บของชั้นดินส่วนล่าง (lower zone storage) คือปริมาณความชื้นของชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดิน โดยที่ L_{max} คือปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะเก็บได้ในส่วนของการเก็บกักของชั้นดินส่วนล่าง

4) การเก็บกักของชั้นน้ำใต้ดิน (groundwater storage) คือปริมาณน้ำที่ซึมผ่านการเก็บกักบริเวณชั้นดินส่วนล่าง (lower zone storage)



ภาพที่ 7 โครงสร้างของแบบจำลอง NAM
ที่มา: Danish Hydraulic Institute (1992)

1.1.2 การคำนวณของแบบจำลอง

1) การเก็บกักบนผิวดิน (surface storage)

การเลียนแบบวัฏจักรทางอุทกวิทยาบนผิวดิน เริ่มตั้งแต่ฝนที่ตกลงมา น้ำฝนจะมีการเก็บกักโดยพืชและขังตามที่ลุ่มในบริเวณชั้นผิวดินโดยจะอยู่ในรูปของปริมาณเก็บกักบนพื้นผิว (surface storage) โดยค่าการเก็บกักสูงสุดเท่ากับ U_{max} ซึ่งปริมาณน้ำใน Surface Storage (U) จะลดลงอย่างต่อเนื่องโดยการระเหย การใช้น้ำของพืช และการไหลในแนวราบ (interflow) ปริมาณน้ำในชั้นนี้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณฝน แต่เมื่อปริมาณน้ำขึ้นถึงระดับ U_{max} น้ำส่วนเกิน (P_n) จะ

ไหลออกมาในรูปของ Overland Flow และมีบางส่วนไหลซึมลงสู่ Lower Zone Storage และ Groundwater Storage ในส่วนของ Root Zone คือส่วนที่ต่ำกว่าพื้นผิวที่เรียกว่า Lower Zone Storage จะมีค่าการเก็บกักสูงสุดเท่ากับ L_{max}

เมื่อ $U \geq U_{max}$ น้ำส่วนเกิน (P_n) จะไหลออก เมื่อ QOF เป็นส่วนหนึ่งของ P_n ที่แปรสภาพเป็น Overland Flow โดยเป็นสัดส่วนกับ P_n และแปรผันโดยตรงกับค่าความจุความชื้นสัมพัทธ์ในดิน (L/L_{max}) ของ Lower Zone Storage ดังสมการ

$$QOF = CQOF * \frac{L/L_{max} - TOF}{1 - TOF} * P_n \quad \text{สำหรับ } L/L_{max} > TOF \quad (1)$$
$$= 0 \quad \text{สำหรับ } L/L_{max} \leq TOF$$

เมื่อ CQOF = Overland Flow Runoff Coefficient

TOF = ค่าคงที่ที่น้ำเริ่มแปรสภาพเป็น Overland Flow; ($O \leq TOF \leq 1$)

ปริมาณน้ำส่วนที่กลายเป็น Interflow จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณเก็บกักชั้นบน (U) แปรผันโดยตรงกับความจุความชื้นสัมพัทธ์ (L/L_{max}) ในชั้น Lower Zone Storageดังสมการ

$$QIF = (CKIF)^{-1} * \frac{L/L_{max} - TIF}{1 - TIF} * U \quad \text{สำหรับ } L/L_{max} > TIF \quad (2)$$
$$= 0 \quad \text{สำหรับ } L/L_{max} \leq TIF$$

เมื่อ CKIF = Time Constant for Interflow

TIF = ค่าคงที่สำหรับ Root Zone ที่น้ำเริ่มแปรสภาพเป็น Interflow; ($O \leq TIF \leq 1$)

2) การเก็บกักในชั้นดินส่วนล่าง (lower zone storage)

เมื่อปริมาณฝนส่วนเกิน (P_n) ในส่วนที่ไม่กลายเป็น Overland Flow จะไหลซึมลงสู่ชั้น Lower Zone Storage ในปริมาณที่เท่ากับ P_n – QOF ซึ่งน้ำส่วนนี้จะแยกลงสู่ชั้นใต้ดินที่ลึกกว่า คือ Groundwater Storage ในปริมาณเท่ากับ G จะเหลือส่วนที่ยังอยู่ใน Lower Zone Storage เท่ากับ DL ดังสมการ

$$G = (P_n - QOF) * \frac{L/L_{max} - TG}{1 - TG} \qquad \text{สำหรับ } L/L_{max} > TG \qquad (3)$$
$$= 0 \qquad \text{สำหรับ } L/L_{max} \leq TG$$

$$DL = (P_n - QOF) - G \qquad (4)$$

เมื่อ TG = ค่าคงที่สำหรับ Root Zone ที่น้ำจะไหลซึมลงสู่ Groundwater Storage; (O$\leq$ TG $\leq$1)

ปริมาณการคายระเหยของพืช (evapotranspiration) เป็นข้อมูลตัวแรกที่ต้องทราบค่าเพื่อใช้ในการคำนวณในส่วนของ Surface Storage ถ้าปริมาณน้ำ (U) น้อยกว่าปริมาณการคายระเหย พืชจะใช้น้ำจาก Lower Zone Storage ในอัตราเท่ากับ E_a ซึ่งเป็นสัดส่วนกับ E_p (potential evapotranspiration) ดังสมการ

$$E_a = E_p * (L / L_{max}) \qquad (5)$$

3) การเก็บกักของชั้นน้ำใต้ดิน (groundwater storage)

ระดับน้ำใต้ดินจะคำนวณจากปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้ามา คือ G และ Capillary flux (CAFLUX) การสูบออก (GWPUMP), Net Groundwater Abstraction และ Baseflow (BF) โดย Baseflow จะคำนวณเป็นการไหลออกจาก Linear reservoir ด้วย Time Constant for Baseflow (CKBF) ดังสมการ

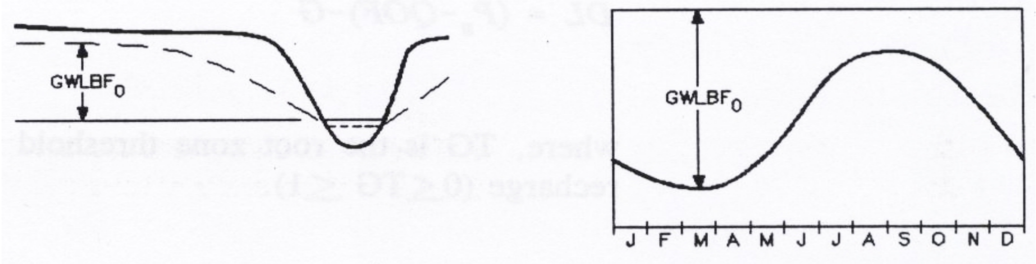
$$BF = (GWLBF_0 - GWL)\, Sy\, (CKBF)^{-1} \qquad \text{เมื่อ } GWL \leq GWLBF_0 \qquad (6)$$
$$= 0 \qquad \text{เมื่อ } GWL > GWLBF_0$$

เมื่อ GWL = ความลึกของ Groundwater Table จากระดับผิวดิน

$GWLBF_0$ = ความลึกของ Groundwater Table ที่มากที่สุดที่ทำให้เกิด Baseflow

Sy = Specific Yield ของ Groundwater Reservoir

โดยสามารถอธิบายความหมายทางกายภาพของตัวกำหนด $GWLBF_0$ ได้ดังแสดงในภาพที่ 8



(ก)

ความลึกของ Groundwater table มากที่สุดที่ทำให้เกิด Baseflow โดยมีค่าแปรผันอยู่ระหว่างค่าระดับผิวดินเฉลี่ยกับระดับน้ำต่ำสุดในลำน้ำและจะแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลตลอดปี

(ข)

ค่า $GWLBF_0$ แปรเปลี่ยนตามฤดูกาลตลอดปี

ภาพที่ 8 ความหมายทางกายภาพของค่า $GWLBF_0$
ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

Capillary Flux ของน้ำจาก Groundwater Table มายัง Lower Zone Storage จะกำหนดให้ขึ้นกับความลึกของน้ำใต้ดินจากระดับผิวดิน (GWL) และความจุความชื้นสัมพัทธ์ (L/L_{max}) ในชั้น Lower Zone Storage ดังสมการ

$$CAFLUX = \left(1 - \frac{L}{L_{max}}\right)^{1/2} * \left(\frac{GWL}{GWLFL_1}\right)^{-\alpha}$$

$$\alpha = 1.5 + 0.45\,GWLFL_1 \qquad (7)$$

$GWLFL_1$ = ค่าความลึกของ Groundwater Table ของดินซึ่งทำให้ Capillary Flux (CAFLUX) มีค่าเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ในสภาพที่ Lower Zone Storage แห้งสนิท (L = 0)

4) การเคลื่อนตัวของน้ำท่า (Flow Routing)

การเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำในส่วนของปริมาณการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดิน (interflow) และ ปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดิน (overland flow) จะถูกทำให้เคลื่อนตัว (routing) ในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้น 2 ครั้ง ด้วยค่าคงที่ของเวลา CK_1 และ CK_2 ดังสมการ

ปริมาณการไหลบนผิวดิน (overland flow)

$$OF1_t = OF1_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK1} + QOF(1 - e^{-\Delta t / CK1}) \tag{8}$$

$$OF_t = OF_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK2} + OF1_t(1 - e^{-\Delta t / CK2}) \tag{9}$$

ปริมาณการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดิน (interflow)

$$IF1_t = IF1_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK1} + QIF(1 - e^{-\Delta t / CK1}) \tag{10}$$

$$IF_t = IF_{t-1} \times e^{-\Delta t / CK2} + IF1_t(1 - e^{-\Delta t / CK2}) \tag{11}$$

เมื่อ CK_1, CK_2 = ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลระหว่างชั้นน้ำผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน และปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน

Δt = ช่วงเวลาสำหรับการคำนวณ

$IF1_t$, $IF1_{t-1}$ = ปริมาณการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดินที่ถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้นครั้งที่ 1 ณ เวลา t และ t-1

IF_t , IF_{t-1} = ปริมาณการไหลระหว่างผิวดินและน้ำใต้ดินที่ถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้นครั้งที่ 2 ณ เวลา t และ t-1

$OF1_t$, $OF1_{t-1}$ = ปริมาณการไหลบนผิวดินที่ถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้นครั้งที่ 1 ณ เวลา t และ t-1

OF_t , OF_{t-1} = ปริมาณการไหลบนผิวดินที่ถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้นครั้งที่ 2 ณ เวลา t และ t-1

ในส่วนของการปรับแก้ค่าคงที่ของเวลา CK_1 และ CK_2 สำหรับการเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดิน (overland flow) จะเป็นไปตามสมการ

$$
\begin{aligned}
CK &= CK_{par} && ,OF \le OF_{min} \\
&= CK_{par} * \left(\frac{OF}{OF_{min}}\right)^{-\beta} && ,OF > OF_{min}
\end{aligned}
\tag{12}
$$

เมื่อ OF = อัตราการไหลของ Overland Flow (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)

CK_{par} = ค่าพารามิเตอร์ CK_1 หรือ CK_2 (ชั่วโมง)

OF_{min} = ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับ Non-Linear Routing Dynamic; (0.4 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)

β = ค่าสัมประสิทธิ์ทางพลศาสตร์การไหลของ Chezy (0.33)

1.1.3 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง (model parameters)

ค่า Parameter ของแบบจำลองโดยปกติแล้วจะสามารถประมาณค่าเริ่มต้นจากลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำ เช่น ความลาดชันของลุ่มน้ำ ความลาดชันของแม่น้ำ ความหนาแน่นของแม่น้ำในลุ่มน้ำ ลักษณะดิน ลักษณะชั้นดิน และชนิดของพืชที่ปลูก แต่ในขั้นของการปรับเทียบแบบจำลอง ค่าพารามิเตอร์อาจแปรเปลี่ยนไปโดยยึดเกณฑ์ของความคล้ายคลึงกันของกราฟน้ำท่าจริงกับกราฟน้ำท่าจากแบบจำลอง (DHI, 1992) แบบจำลอง NAM ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

1) U_{max} : ปริมาณการเก็บกักสูงสุดบนผิวดิน (maximum water content in surface storage) คือ ค่าสูงที่สุดของปริมาณน้ำที่ขังไว้บนผิวดินในลักษณะของแอ่งน้ำตื้น ๆ หรือหลุมบ่อตื้น โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 มิลลิเมตร

2) L_{max} : ปริมาณการเก็บกักสูงสุดของชั้นรากพืช (maximum water content in root zone storage) คือ ปริมาณความชื้นสูงสุดในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยมีค่าเท่ากับผลต่างของจุดอิ่มตัวของการอุ้มน้ำ (field capacity) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (wilting point) ของดินคูณกับค่าความลึกใช้การของรากพืช ซึ่งค่าเหล่านี้จะประมาณจากข้อมูลดิน

3) CQOF: ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบ่าบนผิวดิน (overland flow runoff coefficient) คือพารามิเตอร์ที่ใช้แบ่ง Excess Rainfall ระหว่าง Overland Flow Runoff และ Infiltration ซึ่งไม่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์นี้ได้โดยตรงจากข้อมูลดิน แต่จะสามารถประมาณความสัมพันธ์ได้คือ ถ้าลุ่มน้ำมีความลาดชันน้อย รวมทั้งมีลักษณะเป็นดินหยาบหรือดินทราย และมีชั้นดินอุ้มน้ำไว้ไม่ลึก ค่า CQOF จะมีค่าต่ำถ้าดินในลุ่มน้ำเป็นดินที่มีค่าความซึมต่ำ เช่น ดินเหนียวหรือหินจะมีค่า CQOF สูง โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.90

4) CKIF: ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการไหลในระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน (time constant for interflow) เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญไม่มากนักเนื่องจาก Interflow ไม่ใช่ตัวหลักที่ทำให้เกิด Streamflow โดย Interflow จะมีค่าลดลงเมื่อ CKIF มีค่าสูงขึ้น ค่าที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 500-1,000 ชั่วโมง

5) TOF : ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการไหลบ่าบนผิวดิน (root zone threshold value for overland flow) คือ ค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Overland Flow ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีน้ำมากและน้ำน้อยสลับกัน โดยจะเกิด Overland Flow ก็ต่อเมื่อความชื้นในเขตรากพืช (root zone) ต้องมากกว่าค่า TOF ค่านี้มีผลอย่างมากต่อเวลาเริ่มต้นของการเกิด Overland Flow หลังจากช่วงน้ำน้อย ปกติจะใช้ค่า 0-70 เปอร์เซ็นต์ของ L_{max}

6) TIF : ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการไหลในระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดิน (root zone threshold value for interflow) คือ ค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Interflow มีความหมายทำนองเดียวกับ TOF มีความสำคัญไม่มากนัก ส่วนมากจะกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์

7) TG : ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการเติมปริมาณน้ำใต้ดิน (root zone threshold value for groundwater recharge) คือ ค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Groundwater Recharge เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการปรับเทียบแบบจำลองสำหรับซิมูเลชั่นการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำใต้ดินในช่วงเริ่มต้นของฤดูฝน

8) CK_1, CK_2 : ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลในระหว่างชั้นน้ำผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดินและปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (time constant for routing interflow and overland flow) คือ พารามิเตอร์เพื่อการอธิบายรูปร่างของกราฟน้ำท่า สำหรับ

Overland Flow, Interflow และระยะเวลาการเกิด Peak โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากัน ทำให้เหลือพารามิเตอร์ระหว่างการปรับเทียบแบบจำลองเพียงค่าเดียว

9) Sy : ค่าผลผลิตจำเพาะ (specific yield) คือ ค่า Specific Yield สำหรับการเก็บกักน้ำใต้ดินอาจจะกำหนดจากข้อมูลอุทกธรณีวิทยา หรือ Pumping Test โดยทั่วไปอาจประเมินจากชนิดดิน สำหรับดินเหนียวมีค่าระหว่าง 1-10 เปอร์เซ็นต์ และดินทรายมีค่าระหว่าง 10-30 เปอร์เซ็นต์

10) CKBF : เวลาคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลพื้นฐาน (time constant for routing baseflow) คือ ค่าที่ประมาณจาก Baseflow Recession Curve ในช่วงเริ่มต้นของฤดูแล้ง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 500-5,000 ชั่วโมง

11) $GWLBF_0$: ความลึกของน้ำใต้ดินสูงสุดที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลพื้นฐาน (maximum groundwater depth causing baseflow) คือ ค่าความลึกมีหน่วยเป็นเมตร แปรผันอยู่ระหว่างค่าระดับผิวดินเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำกับระดับน้ำต่ำสุดที่จุดไหลออกสู่ลำน้ำ ที่ระดับน้ำใต้ดินเกือบถึงระดับผิวดินจะได้ค่าที่เหมาะสมคือ $GWLBF_0$ มีค่า 20 เมตรและค่า Sy ใช้ค่า 0.5 โดยมีข้อกำหนดว่าระดับน้ำใต้ดินต้องอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินเฉลี่ย

12) $GWLFL_1$: ความลึกของน้ำใต้ดินสำหรับหนึ่งหน่วยของคาปิลลารี่ฟลั๊กซ์ (groundwater depth for unit capillary flux) คือ ค่าความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (groundwater table) ที่จะทำให้เกิด Upward Capillary เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวัน ในเงื่อนไขที่ Lower Zone Storage อยู่ในสภาพที่แห้งสนิท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินด้วย โดย $GWLFL_1$ มีค่าเป็นศูนย์ที่ Zero Capillary Flux

1.1.4 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง NAM (data requirements)

ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง NAM ประกอบด้วย

1) พารามิเตอร์ของแบบจำลอง (model parameter) โดยปกติแล้วจะสามารถประมาณค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำ

2) เงื่อนไขเริ่มต้น (initial conditions) ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณการเก็บกักในส่วนของปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (overland flow) ปริมาณการเก็บกักในระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดิน (interflow) และความลึกของน้ำใต้ดิน (groundwater depth) ที่จุดเริ่มต้นของการจำลองแบบ (simulated)

3) ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณฝน ข้อมูลการระเหยและอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิใช้ในกรณีมีขบวนการในการละลายของหิมะเท่านั้น โดยผลที่ได้จากแบบจำลองคือปริมาณน้ำท่า ซึ่งแสดงถึงการเกิดน้ำท่าจากผลของกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า

1.1.5 การปรับเทียบแบบจำลอง (model calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองมีจุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดความเข้ากันได้ดี (a good fit) ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการบันทึกไว้ (recorded data) และค่าที่ได้จากการประมาณโดยแบบจำลอง ซึ่งกระทำได้โดยการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง (control parameter) ตามที่ได้กล่าวถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง NAM แล้วข้างต้น ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละลุ่มน้ำนั้นสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง เพื่อใช้ในการจำลองแบบการตอบสนองของพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับเหตุการณ์พายุฝนอื่น ๆ ต่อไป

ในการปรับเทียบแบบจำลอง NAM นั้น ควรทำการศึกษาในช่วงเวลาประมาณ 3-5 ปี โดยการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อพิจารณาการเข้ากันได้ดีระหว่างกราฟน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองและที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นสมควรพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟทั้งสองในหลาย ๆ องค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น ความเข้ากันได้ดีของสมดุลของน้ำ ความเข้ากันได้ดีของน้ำท่าโดยรวม ความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลที่ค่าสูง ๆ ความเข้ากันได้ดีของปริมาณ

การไหลที่ค่าต่ำ ๆ เป็นต้น และในการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าควรแสดงการเปรียบเทียบทีละปี เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา

1.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM

แบบจำลอง NAM ได้นำมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ที่ผ่านมามีดังนี้

ไพรัตน์ (2536) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ในการศึกษาปริมาณน้ำท่ารายวันของลุ่มน้ำสวย ซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของแม่น้ำโขง ลุ่มน้ำสวยมีพื้นที่รับน้ำฝน 1,250 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากพื้นที่ของลำน้ำสวยโดยส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลของการเกิดน้ำเท้อ (backwater effect) จากแม่น้ำโขง ดังนั้นในการเลือกข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่าเพื่อใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง NAM นั้น จึงได้เลือกสถานีที่ไม่ได้รับผลกระทบของการเกิดน้ำเท้อคือที่สถานีบ้านสมสะอาด ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำ 170 ตารางกิโลเมตร ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองพบว่า ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่วัดได้มีความสอดคล้องกัน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจึงใช้เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำได้

Poomthaisong (1997) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ศึกษาสภาพการเกิดน้ำท่วมของพื้นที่ลุ่มน้ำกกและลุ่มน้ำอิง โดยใช้แบบจำลอง NAM ในการหาปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำน่านเพื่อนำค่า Local flow ด้านเหนือน้ำไปใช้ ซึ่งผลจากแบบจำลอง NAM ได้กราฟน้ำท่าที่มียอดต่ำกว่าความเป็นจริงสำหรับในฤดูแล้งและกราฟที่ได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในช่วงฤดูฝน

ยุพิน (2542) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ในการจำลองสภาพน้ำฝน-น้ำท่าของในลุ่มน้ำบางปะกงโดยพิจารณาลุ่มน้ำย่อยจำนวน 5 สถานี เพื่อพยากรณ์สภาพน้ำท่วมของลุ่มน้ำ พบว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วง 0.76 ถึง 0.97 โดยบางปีค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจาก

มีสถานีวัดน้ำฝนกระจายตัวไม่ทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ คือบางลุ่มน้ำย่อยมีการใช้ข้อมูลปริมาณฝนเพียงสถานีเดียวเป็นตัวแทนของปริมาณฝนทั้งลุ่มน้ำย่อย

Arcelus (2000) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS และแบบจำลอง NAM ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า โดยการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้งสองในลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดน้ำท่า และนำพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS ไปปรับใช้กับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตามสภาพภูมิประเทศและการใช้ที่ดิน จากนั้นจึงประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ในลุ่มน้ำเดียวกันเพื่อให้กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM เข้ากันได้ดีกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS พบว่าวิธีการนี้ให้ผลเป็นที่ยอมรับได้สำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีการเก็บข้อมูล

Madsen (2000) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ในการสอบเทียบแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีหลักการการสอบเทียบแบบอัตโนมัติเพื่อให้เกิดการเข้ากันได้ดี 4 ประการคือ สมดุลน้ำ (water balance) รูปร่างของกราฟน้ำท่าโดยรวม (shape of hydrograph) ปริมาณการไหลสูงสุด (peak flows) และปริมาณการไหลต่ำสุด (low flows) โดยให้เข้ากันได้ดีระหว่างค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม พื้นที่ศึกษาคือลุ่มน้ำ Danish Tryggevaelde มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 130 ตารางกิโลเมตร ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 710 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่าไม่มีพารามิเตอร์ชุดใดที่ให้ผลได้ดีสำหรับวัตถุประสงค์ทุกข้อ การสอบเทียบแบบจำลองเพื่อประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจึงควรพิจารณาวัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้ตามลำดับความสำคัญของเหตุการณ์

กานดา (2545) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลองสำหรับลุ่มน้ำน่าน โดยทำการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง สถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ศึกษาจำนวน 11 สถานี มีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 35 ถึง 4,840 ตารางกิโลเมตร ผลการศึกษาพบว่า ค่าพารามิเตอร์ U_{max} มีค่าระหว่าง 10 ถึง 25 มิลลิเมตร L_{max} มีค่าระหว่าง 100 ถึง 250 มิลลิเมตร CQOF มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.6 CKIF มีค่าเท่ากับ 1,000 ชั่วโมง TOF มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.7 CK_1 และ CK_2 มีค่าระหว่าง 9 ถึง 60 ชั่วโมง CAREA มีค่าเท่ากับ 1 TG มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.8 Sy มีค่าเท่ากับ 0.1 และ CKBF มีค่าระหว่าง 500 ถึง 4,300 ชั่วโมง โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวอยู่ในช่วงที่ได้มีการแนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลอง NAM ซึ่งผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่า กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM และที่ได้

จากการตรวจวัดมีความใกล้เคียงกัน คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.57 ถึง 0.98 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สถานี N.17 พบว่าการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์แต่ละตัวมีผลต่อองค์ประกอบของน้ำท่าด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ตลอดจนมีความอ่อนไหวที่แตกต่างกันต่ออัตราการไหลสูงและอัตราการไหลต่ำ

วิษุวัฒก์ (2546) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา 2 แบบจำลองได้แก่ แบบจำลองNAM และแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองซึ่งพัฒนาโดย วีระพล (2545) ซึ่งใช้วิธีคำนวณจากพายุฝนด้วยเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า โดยทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้งสองในการคาดคะเนปริมาณน้ำนองสูงสุด ที่เกิดจากพายุฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา และลุ่มน้ำคลองชุมพรซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 2,227 และ 521 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ พบว่าทั้งแบบจำลอง NAM และแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำทั้งสองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดได้ดี แต่แบบจำลอง NAM จะให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดได้ดีกว่าแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองเป็นส่วนใหญ่

ศิริกัญญา (2547) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำปิงตอนบนจำนวน 13 สถานี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 45 ถึง 3,853 ตารางกิโลเมตรโดยมีค่าเฉลี่ย 1,232 ตารางกิโลเมตรผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง พบว่า พารามิเตอร์ซึ่งประกอบด้วย U_{max}, L_{max}, CQOF, CKIF, TOF, TIF, TG, CK1, CK2, CKBF, Sy, GWL_{min}, $GWLBF_0$, $GWLFL_1$ และ CAREA โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงที่ได้แนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลองในการตรวจสอบประสิทธิภาพการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของแบบจำลองทั้งสองได้พิจารณาเงื่อนไขความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่า โดยความเข้ากันได้ดีระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองและที่ได้จากการตรวจวัดนั้น พิจารณาจากตัวแปรทางสถิติ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการประเมินน้ำท่ารายวันที่ถูกต้องกว่าแบบจำลอง NAM ในด้านของสมดุลน้ำ กราฟน้ำท่าโดยรวม และ ปริมาณการไหลสูง ๆ ในทางตรงกันข้ามสำหรับปริมาณการไหลต่ำ ๆ แบบจำลอง NAM ให้ผลที่ดีกว่า ขณะที่ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าของแบบจำลองทั้งสองให้ผลไม่ดีสำหรับสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีพื้นที่ชลประทานมากหรือมีฝายทดน้ำขวางกั้นลำน้ำอยู่เป็นจำนวนมากจึงเป็นสาเหตุให้ปริมาณน้ำท่าถูกควบคุม เป็นผลให้ไม่เกิดความสอดคล้องกันระหว่างปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่ารายวัน

2. แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (rainfall-runoff model)

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำ ท่าเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดกราฟน้ำท่า โดยพิจารณาบนพื้นฐานความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ สภาพอุตุนิยมวิทยา สภาพอุทกวิทยา และลักษณะการใช้ที่ดิน เป็นต้น ซึ่งได้มีการพัฒนาแบบจำลอง น้ำฝน-น้ำท่าต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น แบบจำลอง TANK, SCS, Linear Programming, RIBAMAN (RBM-DOGGS), HEC-HMS และ NAM เป็นต้น โดยมีลักษณะและการประยุกต์ใช้แบบจำลองต่างๆ ดังนี้

วีระชัย (2530) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 7 สถานี ภายในลุ่มน้ำป่าสัก โดยใช้การกำหนดค่าคงที่ 14 ชนิด ของแบบจำลอง TANK ลุ่มน้ำมีพื้นที่ไม่เกิน 1,000 ตารางกิโลเมตร สรุปได้ว่าแบบจำลอง TANK สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าจากสถิติน้ำฝนได้ผลดี ข้อมูลน้ำท่าจากการวัดและปริมาณน้ำท่าจากการคำนวณมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 99.9 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากแบบจำลอง TANK ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น และลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำของประเทศญี่ปุ่นชุ่มชื้นตลอดทั้งปี ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงสามารถใช้ได้ดีสำหรับพื้นที่ชุ่มชื้นตลอดปีเท่านั้น สำหรับพื้นที่ที่ไม่ชุ่มชื้นตลอดทั้งปี ความชื้นในดินจะไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งลุ่มน้ำ โดยปกติในบริเวณที่สูงจะแห้งก่อนบริเวณที่ลุ่มซึ่งจะทำให้กลไกในการเกิดน้ำท่าไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงควรแบ่งพื้นที่รับน้ำออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ ตามปริมาณความชื้นในดินแล้วจึงจำลองพื้นที่ย่อยๆ ของแต่ละส่วนด้วยแบบจำลอง TANK

แบบจำลอง SCS (Soil Conservation Service) เป็นการจำลองการสูญเสียน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งพิจารณาลักษณะการใช้ที่ดินและประเภทของดินในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยสร้างดัชนีขึ้นเพื่อใช้แทนลักษณะดังกล่าวเรียกว่า ค่าดัชนีแสดงสภาพการปกคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ (Runoff Curve Number, CN) จากนั้นจึงใช้ประกอบกับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเพื่อประเมินปริมาณการไหลบนผิวดิน

วันชัย (2534) ได้ทำการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากปริมาณฝนโดยใช้ Linear Programming ในลุ่มน้ำ แม่แตง แม่แจ่ม น้ำเชิญ แควใหญ่ และแม่น้ำหลังสวน หลักการของแบบจำลองคือการหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในเดือนปัจจุบันกับปริมาณฝนที่ตกในเดือนปัจจุบันและที่ตกย้อนหลังไปอีก 5 เดือน ผลการศึกษาพบว่า การใช้ฝนสถานีเดียวในการประเมินปริมาณน้ำท่า ถ้าหากข้อมูลของปริมาณน้ำท่าและปริมาณฝนมีความสัมพันธ์กันดี

แบบจำลองจะสามารถประเมินปริมาณน้ำท่าได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด สำหรับการใช้ฝนของลุ่มน้ำที่เกิดจากฝนหลายสถานีเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า พบว่าจะให้ผลดีกว่าการใช้ฝนสถานีเดียว ซึ่งในความเป็นจริงการหาฝนที่เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำกระทำได้ยาก โดยเฉพาะกับลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากโอกาสที่ฝนจะตกสม่ำเสมอทั้งลุ่มน้ำมีน้อย ดังนั้นในการพิจารณาเลือกสถานีฝนเพื่อจะหาฝนที่เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำ ไม่เพียงแต่จะพิจารณาสถานีฝนที่อยู่ใกล้เคียงลุ่มน้ำเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ควรจะพิจารณาลักษณะการตกของฝนซึ่งแตกต่างกันออกไปตามสภาพภูมิประเทศด้วย

อวิรุทธ์ (2538) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลอง RIBAMAN (RBM-DOGGS) ซึ่งมีหลักการอ้างอิงกับวิธีการ SCS ที่ต้องใช้ข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดินและประเภทของดินในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ สถานีวัดน้ำท่าที่ทำการศึกษามีพื้นที่ลุ่มน้ำไม่เกิน 1,000 ตารางกิโลเมตร จำนวน 6 สถานี และพื้นที่ลุ่มน้ำมากกว่า 1,000 ตารางกิโลเมตร จำนวน 1 สถานี โดยได้ทำการศึกษา 3 กรณีศึกษาตามเงื่อนไขความชื้นของพื้นที่ก่อนพายุฝนที่พิจารณาคือ ความชื้นเริ่มต้นของพื้นที่มีค่าน้อย ค่าปานกลาง และค่าสูง พบว่าแบบจำลองนี้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าได้อย่างเหมาะสม โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผลจากการคำนวณกับค่าที่วัดได้ของอัตราการไหล อัตราการไหลสูงสุด และเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุดมีค่าอยู่ในช่วง 0.825 ถึง 0.944, 0.960 ถึง 0.995 และ 0.868 ถึง 0.997 ตามลำดับ

วงศ์สถิตย์ (2545) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำมูลด้วยแบบจำลอง HEC-HMS ซึ่งเป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลอง HEC-1 แบบจำลองทั้งสองแบบจำลองพัฒนาโดย U.S. Army Corp of Engineering ข้อมูลที่ใช้ได้แก่ ข้อมูลฝนรายวัน น้ำท่ารายวัน และลักษณะลุ่มน้ำ โดยการประยุกต์ใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำมูลนั้นได้เลือกแบบจำลองการสูญเสียน้ำท่าใช้วิธี SCS โดยนำมาใช้ประกอบกับ Unit Hydrograph เพื่อประเมินปริมาณการไหลบนผิวดิน แบบจำลองการไหลพื้นฐานใช้วิธี Exponential Recession และแบบจำลองการไหลในลำน้ำใช้วิธี Muskingum ผลการศึกษาพบว่า กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับที่ได้จากการตรวจวัด แต่มีบางสถานีและบางช่วงปีที่ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงมาก ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายของสถานีวัดน้ำฝนที่ไม่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ จึงทำให้ปริมาณฝนเฉลี่ยที่ใช้เป็นตัวแทนที่ไม่ดีของลุ่มน้ำ เช่น ในบางลุ่มน้ำย่อยใช้ข้อมูลฝนเพียงสถานีเดียวเป็นค่าเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำย่อย

ชัยวัฒน์ (2546) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS และแบบจำลอง TOP เพื่อหาความเหมาะสมในการทำนายน้ำท่าของลุ่มน้ำลำภาชีที่มีพื้นที่รับน้ำ 2,590 ตารางกิโลเมตร สำหรับแบบจำลอง TOP หรือ Topographic Model ถูกพัฒนาโดย Beven (1997) เพื่อจำลองกระบวนการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำเล็กๆ ในประเทศอังกฤษ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนพารามิเตอร์ของแบบจำลองประเภท Continuous Model ในการจำลองกระบวนการเกิดน้ำท่า แบบจำลอง TOP ขึ้นกับลักษณะการกระจายของพื้นที่ทางกายภาพของลุ่มน้ำและความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งในการประเมินน้ำท่าจะใช้วิธีหาความชื้นที่ขาดหายไปของชั้นดินโดยคิดอัตราการไหลผ่านของน้ำในชั้นดินเมื่อดินมีลักษณะเป็นดินชนิดเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้งสองแบบจำลองสำหรับเหตุการณ์เดี่ยวมีความถูกต้องมากกว่าแบบเหตุการณ์ต่อเนื่อง เพราะลุ่มน้ำลำภาชีมีความลาดชันสูง มีข้อมูลทางอุทกวิทยาน้อย และเป็นลุ่มน้ำขนาดใหญ่ โดยประสิทธิภาพของ Nash และ Sutcliff ของแบบจำลอง HEC-HMS สำหรับเหตุการณ์เดี่ยวและเหตุการณ์ต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 71.4 และ 24.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนแบบจำลอง TOP มีค่าประสิทธิภาพของ Nash และ Sutcliff เท่ากับ 83 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณากราฟน้ำท่าจากการคำนวณพบว่าแบบจำลอง TOP เหมาะสมในการใช้งานในลุ่มน้ำลำภาชีมากกว่าแบบจำลอง HEC-HMS เนื่องจากแบบจำลอง TOP นำลักษณะทางกายภาพมาพิจารณาในการหาค่าพารามิเตอร์ด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. แบบจำลอง NAM พร้อมคู่มือ
3. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 และ 1:250,000 ของกรมแผนที่ทหาร
4. โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Map Info Professional)
5. โปรแกรมการคำนวณทางสถิติ (SPSS)
6. อุปกรณ์บันทึกข้อมูล เช่น แผ่นดิสก์ เป็นต้น
7. เครื่องเขียน และอุปกรณ์สำนักงาน

วิธีการ

1. การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

1.1 ศึกษาและรวบรวมผลการวิจัยที่ผ่านมาของแบบจำลอง MIKE 11 ในส่วนของแบบจำลองย่อย NAM รวมไปถึงคู่มือการใช้งานของแบบจำลอง และงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ที่ดินและลักษณะดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

1.2 รวบรวมแผนที่ภูมิประเทศบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 เพื่อใช้ศึกษาลักษณะภูมิประเทศ โดยทำการแปลงให้เป็นข้อมูลดิจิตอลเพื่อนำไปใช้ในโปรแกมทางด้านการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ให้ได้มาซึ่งข้อมูลลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ คือ พื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวลำน้ำ (L) ความยาวจากจุดศูนย์ถ่วงถึงจุดออกของลุ่มน้ำ (L_c) ความลาดชันเฉลี่ยของทางน้ำ (S) รวมถึงการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

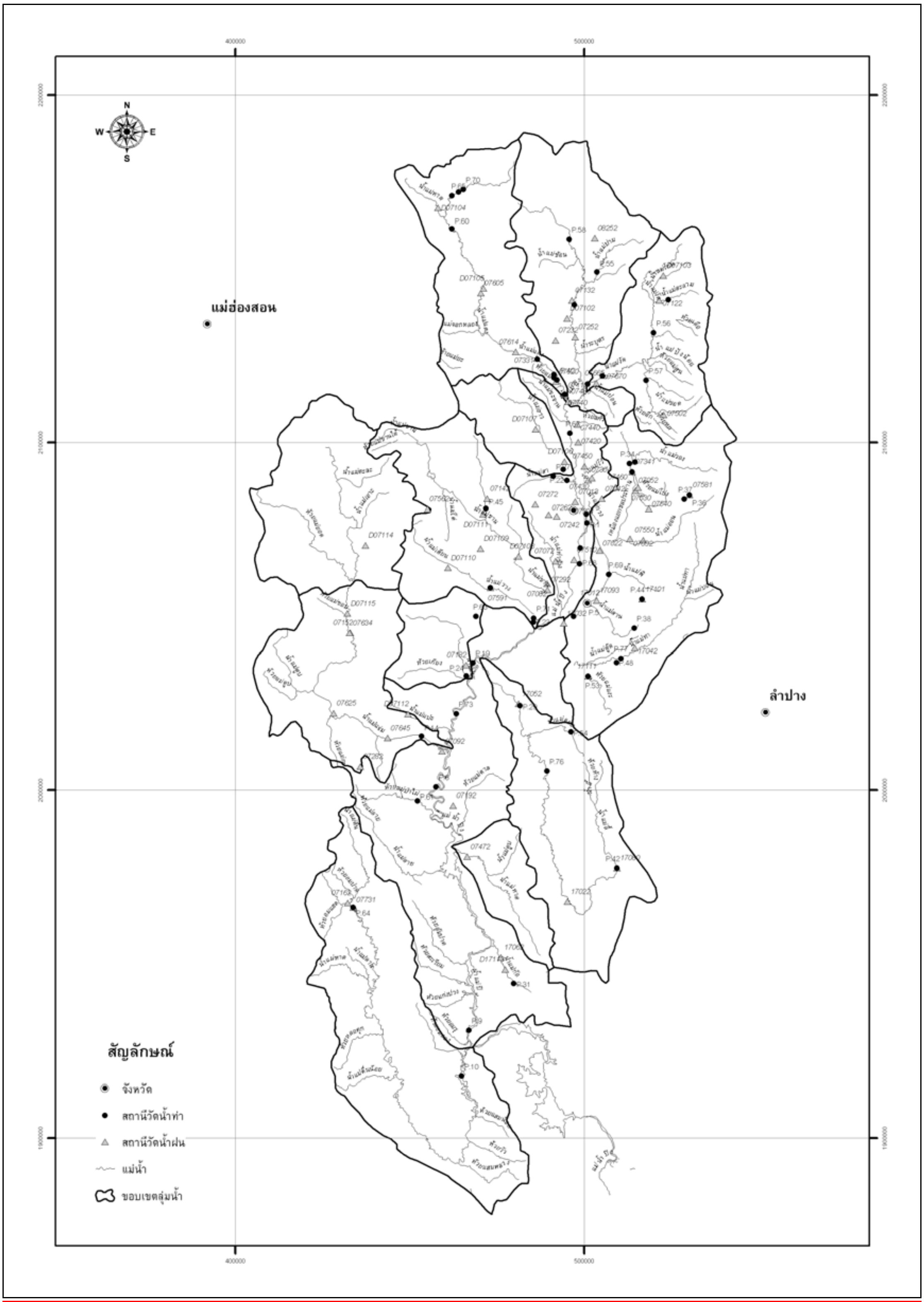
1.3 รวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

1.3.1 รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนในการประเมินปริมาณน้ำท่า โดยได้รวบรวมข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนจากกรมชลประทานที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 65 สถานี และจังหวัดลำพูนจำนวน 11 สถานี เป็นสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติจำนวน 11 สถานี ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำฝน ช่วงปีสถิติข้อมูลของปริมาณฝนรายเดือน และปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนไว้ในภาคผนวก ก และตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในภาพที่ 9

1.3.2 รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง โดยได้รวบรวมสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนจากกรมชลประทานจำนวน 50 สถานี ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่า ช่วงปีสถิติข้อมูลของ ปริมาณท่ารายเดือน และปริมาณท่ารายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนไว้ในภาคผนวก ก และตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในภาพที่ 9

1.3.3 ข้อมูลปริมาณการระเหยรายวัน ได้จากข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยรายวันที่สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ณ จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน โดยการนำข้อมูลปริมาณการระเหยรายวันจากถาดวัดการระเหยมาคูณด้วยสัมประสิทธิ์ของถาดซึ่งในที่นี้ใช้ค่าเท่ากับ 0.7

1.4 รวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาการประเมินปริมาณน้ำท่า ซึ่งลักษณะการใช้ที่ดินแบ่งเป็น 5 ประเภท ได้แก่ พื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ โดยแสดงลักษณะการใช้ที่ดินแต่ละประเภทในแต่ละลุ่มน้ำย่อยดังในตารางที่ 5



ภาพที่ 9 ที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

ตารางที่ 5 ลักษณะการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

ที่	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่อยู่อาศัย		พื้นที่เกษตรกรรม		พื้นที่ป่าไม้		พื้นที่แหล่งน้ำ		พื้นที่อื่นๆ		รวมทั้งหมด	
		ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ
1	แม่ปิงส่วนที่ 1	12,761	1.12	169,197	14..85	953,543	83.69	456	0.04	3,418	0.30	1,139,375	100.00
2	แม่แตง	18,578	1.46	220,652	17.34	1,031,870	81.09	1,018	0.08	382	0.03	1,272,500	100.00
3	แม่งัด	43,968	4.92	129,602	14.50	708,561	79.28	7,776	0.87	3,843	0.43	893,750	100.00
4	แม่ริม	32,714	7.19	57,421	12.62	363,909	79.98	592	0.13	364	0.08	455,000	100.00
5	แม่ปิงส่วนที่ 2	140,932	22.00	314,681	49.12	177,453	27.70	3,587	0.56	3,972	0.62	640,625	100.00
6	แม่กวง	82,738	7.97	357,530	34.44	567,128	54.63	14,742	1.42	15,987	1.54	1,038125	100.00
7	แม่แจ่ม	14,731	0.57	190,985	7.39	2,361,602	91.38	1,550	0.06	15,507	0.60	2,584,375	100.00
8	แม่ขาน	36,048	3.07	146,450	12.47	956,998	81.49	1,292	0.11	33,587	2.86	1,174,375	100.00
9	แม่กลาง	7,611	1.77	71,982	16.74	338,711	78.77	946	0.22	10,750	2.50	430,000	100.00
10	แม่ปิงส่วนที่ 3	4,702	0.76	22,214	3.59	557,617	90.12	33,227	5.37	990	0.16	618,750	100.00
11	แม่หาด	16,371	1.53	149,265	13.95	835,242	78.06	34,347	3.21	34,775	3.25	1,070,000	100.00
12	แม่ลี้	46,248	3.28	287,358	20.38	995,460	70.60	4,089	0.29	76,845	5.45	1,410,000	100.00
13	แม่อาว	12,577	7.83	69,743	43.42	60,331	37.56	1,044	0.65	16,930	10.54	160,625	100.00
14	แม่ทา	11,984	2.14	83,832	14.97	445,816	79.61	336	0.06	18,032	3.22	560,000	100.00
15	แม่ตื่น	2,781	0.24	91,078	7.86	1,064,659	91.88	116	0.01	116	0.01	1,158,750	100.00
	ลุ่มน้ำปิงตอนบน	484,744	3.32	2,361,990	16.17	11,418,900	78.18	105,118	0.72	235,498	1.61	14,606,250	100.00

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

2. การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM

2.1 แนวทางการสอบเทียบแบบจำลอง NAM สำหรับสถานีวัดท่าต่าง ๆ

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM นั้น ส่วนที่สำคัญมากที่สุดประการหนึ่งคือ การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่ศึกษา โดยในการศึกษานี้ได้สอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM สำหรับสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน จำนวน 8 สถานี โดยรายละเอียดของช่วงเวลาในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าแสดงดังในตารางที่ 6 และในตารางที่ 7 ได้แสดงสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ

ตารางที่ 6 ช่วงเวลาการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

ลำดับที่	สถานีวัดน้ำท่า	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ช่วงเวลาการสอบเทียบ	ช่วงเวลาการตรวจพิสูจน์
1	P.20	แม่น้ำปิงส่วนที่ 1	1,355	2001 - 2003	1994 - 1996
2	P.4A	แม่แตง	1,902	1995 - 1996	2001 - 2002
3	P.13	แม่แตง	1,765	1978 - 1980	1974 - 1976
4	P.65	แม่แตง	240	1995 - 1996	1993 - 1994
5	P.28	แม่งัด	1,261	1973 - 1975	1970 - 1971
6	P.21	แม่ริม	515	2001 - 2003	1992 - 1993
7	P.34	แม่กวง	566	1976 - 1978	1979 - 1980
8	P.71	แม่ขาน	1,771	1999 - 2001	2002 - 2003

ตารางที่ 7 สัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

ลำดับที่	สถานีวัดน้ำท่า	ลุ่มน้ำย่อย	สถานีวัดน้ำฝน (ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนัก)		
1	P.20	แม่น้ำปิงส่วนที่ 1	07132 (0.82)	07702 (0.18)	
2	P.4A	แม่แตง	07702 (0.64)	07252 (0.36)	
3	P.13	แม่แตง	07605 (0.75)	07614 (0.25)	
4	P.65	แม่แตง	07702 (1.00)		
5	P.28	แม่งัด	07122 (0.70)	07341 (0.30)	
6	P.21	แม่ริม	07112 (0.60)	07142 (0.27)	07013 (0.13)
7	P.34	แม่กวง	07530 (0.60)	07341 (0.40)	
8	P.71	แม่ขาน	07142 (0.70)	07292 (0.30)	

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM จะต้องมีการสอบเทียบแบบจำลองเพื่อประเมินค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา โดยพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM มีจำนวนทั้งสิ้น 15 พารามิเตอร์ ในการศึกษานี้ได้กำหนดค่าของพารามิเตอร์บางตัวดังนี้ คือ ค่า GWL_{min} และ$GWLFL_1$ กำหนดให้เท่ากับ 0 เมตร เนื่องจากการสอบเทียบแบบจำลองจะเริ่มการวิเคราะห์ในช่วงเดือนเมษายน ซึ่งสภาพของดินค่อนข้างแห้งดังนั้นปริมาณน้ำในส่วนของน้ำใต้ดินจึงมีน้อยมาก นอกจากนั้นแล้ว ได้กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์บางตัวเป็นค่าคงที่ซึ่งประกอบด้วย ค่า Sy เท่ากับ 0.10 และค่า $GWLBF_0$ เท่ากับ 10 เมตร และค่า CAREA เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นไปตามที่ได้มีการแนะนำไว้ในผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM จากวิทยานิพนธ์เรื่อง การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองอุทกวิทยาในการประเมินประมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน (ศิริกัญญา, 2547) สำหรับการประเมินค่า CK_1และ CK_2 นั้นจะกำหนดให้มีค่าเท่ากันเพื่อการง่ายในการสอบเทียบแบบจำลอง และใช้ค่า U_{max} เท่ากับ 10 เปอร์เซนต์ ของค่า L_{max} ตามที่ได้มีการแนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลอง NAM ดังนั้นพารามิเตอร์ที่จะต้องทำการปรับมีทั้งสิ้น 9 ตัว โดยมีหลักในการสอบเทียบแบบจำลองคือการปรับค่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าในปริมาณมากก่อน โดยได้เสนอแนะขั้นตอนในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: ปรับค่า L_{max} และ U_{max} เพื่อปรับสมดุลของปริมาณน้ำท่าจนกระทั่งปริมาตรของน้ำท่าที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริงจากสถานี ทั้งนี้เนื่องจากพารามิเตอร์ทั้งสองตัวนี้มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 2: ปรับค่า CQOF ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลบ่าบนผิวดิน ดังนั้นการปรับค่าที่เหมาะสมจะพิจารณาได้ชัดเจนในช่วงที่มีปริมาณการไหลมาก ๆ โดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก โดยค่าของ CQOF จะมีค่ามากสำหรับสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำที่เป็นดินเหนียวและมีความลาดชันของพื้นที่มาก

ขั้นตอนที่ 3: ปรับค่า TOF ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นการไหลบนผิวดิน ดังนั้นการปรับค่า TOF จึงมีผลต่อกราฟในช่วงเริ่มต้นของการไหลในช่วงฤดูฝน

ขั้นตอนที่ 4: ปรับค่า CK_1 และCK_2 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงเวลาในการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำท่าซึ่งมีอิทธิพลต่อรูปร่างของกราฟน้ำท่า กล่าวคือ ในกรณีที่ CK_1 และCK_2 มีค่ามากจะทำให้ช่วงฐานของกราฟกว้างขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้อัตราการไหลสูงสุดลดลงในขณะที่ปริมาตรของน้ำหลากมีค่าไม่ต่างจากเดิมมากนัก

ขั้นตอนที่ 5: ปรับค่า TG เพื่อให้ได้ช่วงเวลาเริ่มต้นการไหลของน้ำใต้ดิน

ขั้นตอนที่ 6: ปรับค่า CKBF เพื่อปรับรูปร่างของกราฟน้ำท่าในส่วนของการไหลของน้ำให้ดิน

ขั้นตอนที่ 7: ปรับค่า CKIF และ TIF เป็นขั้นตอนสุดท้าย ทั้งนี้เนื่องจากพารามิเตอร์ทั้งสองตัวนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำใต้ผิวดินซึ่งเป็นส่วนที่มีปริมาณน้อยที่สุดของปริมาณกราฟน้ำท่าโดยรวม ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ทั้งสองตัวนี้มีอิทธิพลน้อยมากต่อผลการประเมินกราฟน้ำท่า หรือสามารถกำหนดให้มีค่าคงที่ได้ทั้งนี้แทบจะไม่กระทบต่อการประเมินกราฟน้ำท่า ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ แบบจำลอง NAM แสดงในภาคผนวก ค โดยในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ค่า TIF เท่ากับ 0 และ CKIF เท่ากับ 1,000 เพื่อให้ง่ายต่อการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ซึ่งมีความสำคัญมากกว่า

2.2 เกณฑ์การประเมินประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM

ในการสอบเทียบแบบจำลอง NAM จะต้องทำการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลอง NAM และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม ในการศึกษานี้ได้พิจารณาใช้ตัวแปรทางสถิติคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) และค่า Efficiency Index (EI) มาเป็นเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM โดยสูตรการคำนวณตัวแปรทางสถิติแสดง ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพัทธ์ (correlation coefficient: r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{oi}-\bar{Q}_{o}\right)\times\left(Q_{ci}-\bar{Q}_{c}\right)}{\left[\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{oi}-\bar{Q}_{o}\right)^{2}\times\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{ci}-\bar{Q}_{c}\right)^{2}\right]^{0.5}}$$

2. ค่า efficiency index (EI)

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{oi}-\overline{Q}_{o}\right)^{2}-\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{oi}-Q_{ci}\right)^{2}}{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{oi}-\overline{Q}_{o}\right)^{2}}\times 100\%$$

เมื่อ Q_i คือ ปริมาณการไหลหรือระดับน้ำที่เวลา i ส่วน $\overline{Q}$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณการไหลหรือระดับน้ำ โดยที่ subscript O กับ C คือ ค่าที่ตรวจวัดได้และค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลอง ตามลำดับ และ N คือ จำนวนของข้อมูล

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ดีมาก และถ้า r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองก็มีความสัมพันธ์ที่ดีมากแต่ในเชิงปฏิภาคผกผัน แต่เมื่อไรก็ตามที่ r

มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วในการศึกษาด้านอุทกวิทยาค่า r ควรมีค่ามากกว่า 0.7 จึงจะถือว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนค่า Efficiency index (EI) ถ้ามีค่าเท่ากับ 100% แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับที่ได้จากการตรวจวัดทุกข้อมูล

3. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่สถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

ในสภาพของความเป็นจริงนั้น การเกิดปริมาณน้ำท่าเป็นผลจากการตอบสนองของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีต่อปริมาณน้ำฝน ดังนั้นลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำท่า อาทิเช่น ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) ความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S) เป็นต้น ตลอดจน ชนิดของดินและการใช้ที่ดิน ในการศึกษานี้ได้พิจารณาลักษณะเฉพาะของสถานีวัดน้ำท่าที่สำคัญคือ A, L, L_c และ S ซึ่งมีอิทธิพลต่อกราฟน้ำท่า ดังนี้

1) ขนาดของพื้นทีรับน้ำฝน (A) เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำ กล่าวคือหากพื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดพื้นที่มากก็มักจะมีปริมาณของน้ำท่ามากกว่าพื้นที่ลุ่มน้ำที่ขนาดเล็กกว่า และยังเป็นตัวแปรที่หามาได้ง่าย โดยมากจะมีการหาขนาดพื้นที่ของสถานีวัดน้ำท่าแต่ละสถานีจากทางหน่วยงานราชการต่างๆแล้ว ดังนั้นหากพิจารณานำตัวแปรดังกล่าวมาใช้ในการหาสมการความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์จากแบบจำลอง NAM นั้นจะเป็นการง่ายและสะดวกที่จะนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้

2) ความยาวตามลำน้ำหลัก (L) เป็นตัวแปรอีกตัวที่มีความสำคัญต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ กล่าวคือหากลุ่มน้ำที่ทำการพิจารณามีความยาวของลำน้ำสายหลักมากมักจะทำให้ฐานของกราฟน้ำท่าของลุ่มน้ำนั้นมีฐานเวลาที่ยาวกว่าลุ่มน้ำที่มีความยาวของลำน้ำสายหลักสั้นและเป็นตัวแปรที่มักจะมีการศึกษาหาความยาวของลำน้ำไว้แล้ว หรือหากต้องการหาค่าของความยาวของลำน้ำสายหลักก็ยังทำได้ไม่ยากอีกด้วย

3) ความยาวตามลำน้ำหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าเช่นเดียวกับความยาวตามลำน้ำหลัก (L) แต่จะให้ผลการเกิดน้ำท่าที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น เมื่อทำการพิจารณาพื้นที่ลุ่มน้ำ 2 แห่งที่มีความยาวตามลำน้ำสายหลักใกล้เคียง

กัน แต่มีความยาวตามลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำจนถึงจุดออก ที่แตกต่างกันมากทำให้ทราบถึงลักษณะของพื้นที่ที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้การเกิดน้ำท่าและลักษณะของกราฟน้ำท่าแตกต่างกัน เป็นต้น

4) ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (S) เป็นตัวแปรที่มีผลโดยตรงต่อความเร็วของการไหลบนผิวดิน และการซึมลงสู่ชั้นดินส่วนล่าง ซึ่งส่งผลให้รูปร่างของกราฟน้ำท่าแตกต่างกัน โดยพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำท่ามีค่าสูงตามไปด้วย

การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่สถานีวัดน้ำท่าจำนวน 8 สถานี ในลุ่มน้ำปิงตอนบน ที่ได้ดำเนินการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM แสดงดังในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยสำหรับสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับที่	สถานีวัดน้ำท่า	A (ตร.กม.)	L (กม.)	L_c (กม.)	S (%)
1	P.20	1,355	84.97	44.04	0.00942
2	P.4A	1,902	148.14	69.04	0.00411
3	P.13	1,765	127.45	55.17	0.00517
4	P.65	240	37.18	14.69	0.01099
5	P.28	1,261	81.38	37.08	0.00699
6	P.21	515	47.33	26.6	0.01213
7	P.34	566	41.77	20.15	0.01450
8	P.71	1,777	112.39	53.43	0.00666
	ค่าเฉลี่ย	1,173	85.08	40.03	0.00875
	ค่าต่ำสุด	240	37.18	14.69	0.00411
	ค่าสูงสุด	1,902	148.14	69.04	0.01450

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยนั้น ได้ประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงเส้น (linear regression) ใน 2 รูปแบบคือ

1) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) เป็นการศึกษาระหว่างตัวแปร 2 ตัว ประกอบด้วยตัวแปรตาม 1 ตัวและตัวแปรอิสระ 1 ตัว การวิเคราะห์เป็นการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2 ในรูปเชิงเส้น และสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Y = aX + b$$

โดยที่	Y	คือ	ตัวแปรตาม (dependent variable)
	X	คือ	ตัวแปรอิสระ (independent variable)
	a	คือ	ความชันของเส้นตรง (slope)
	b	คือ	ส่วนตัดแกน Y เมื่อ X มีค่าเป็นศูนย์

2) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเชิงเส้นแบบพหุ (multiple linear regression) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไปซึ่งประกอบด้วยตัวแปรตาม 1 ตัวและตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป การวิเคราะห์เป็นการหาความสัมพันธ์และสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการคำนวณค่าของตัวแปรตามจากตัวแปรอิสระ ในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + ...+ b_nX_n$$

โดยที่	Y	คือ	ตัวแปรตาม (dependent variable)
	X_1 ถึง X_n	คือ	ตัวแปรอิสระ (independent variable)
	a	คือ	ส่วนตัดแกน Y เมื่อ X มีค่าเป็นศูนย์

b_1 ถึง b_n คือ ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงเส้น
n คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

จากสมการถดถอยทั้ง 2 รูปแบบ ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ โดยกำหนดให้ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง NAM เป็นตัวแปรตาม และค่าของพารามิเตอร์ลุ่มน้ำหรือลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำเป็นตัวแปรอิสระ

5. การทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ

การทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดความมั่นใจว่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินกราฟน้ำท่า ณ จุดที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนได้

การทดสอบดำเนินการโดยนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ที่สถานีวัดน้ำท่าต่างๆที่ศึกษาจำนวน 8 สถานี โดยถือเสมือนว่าไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ จากนั้นนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปประเมินกราฟน้ำท่า และเปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของแต่ละสถานี แล้วทำการประเมินค่าทางสถิติของผลการเปรียบเทียบ จากนั้นนำค่าทางสถิติที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าทางสถิติที่เป็นผลจากการสอบเทียบแบบจำลองของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า

ผลและวิจารณ์

1. ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM สำหรับสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ

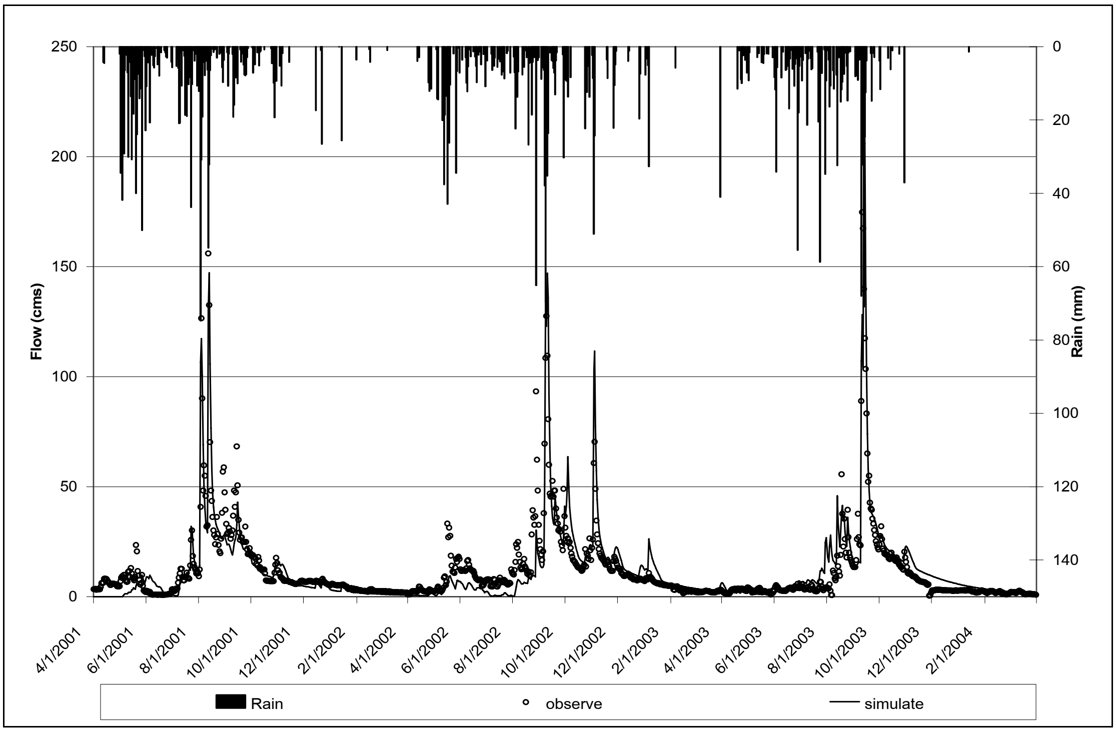
การสอบเทียบแบบจำลอง NAM สำหรับสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 8 สถานี ในลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้ดำเนินการตามแนวทางการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง และทำการประเมินผลการสอบเทียบแบบจำลองดังกล่าวไว้ในหัวข้อวิธีการศึกษา ต่อไปนี้เป็นการแสดงผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าดังนี้

1) สถานีวัดน้ำท่า P.20

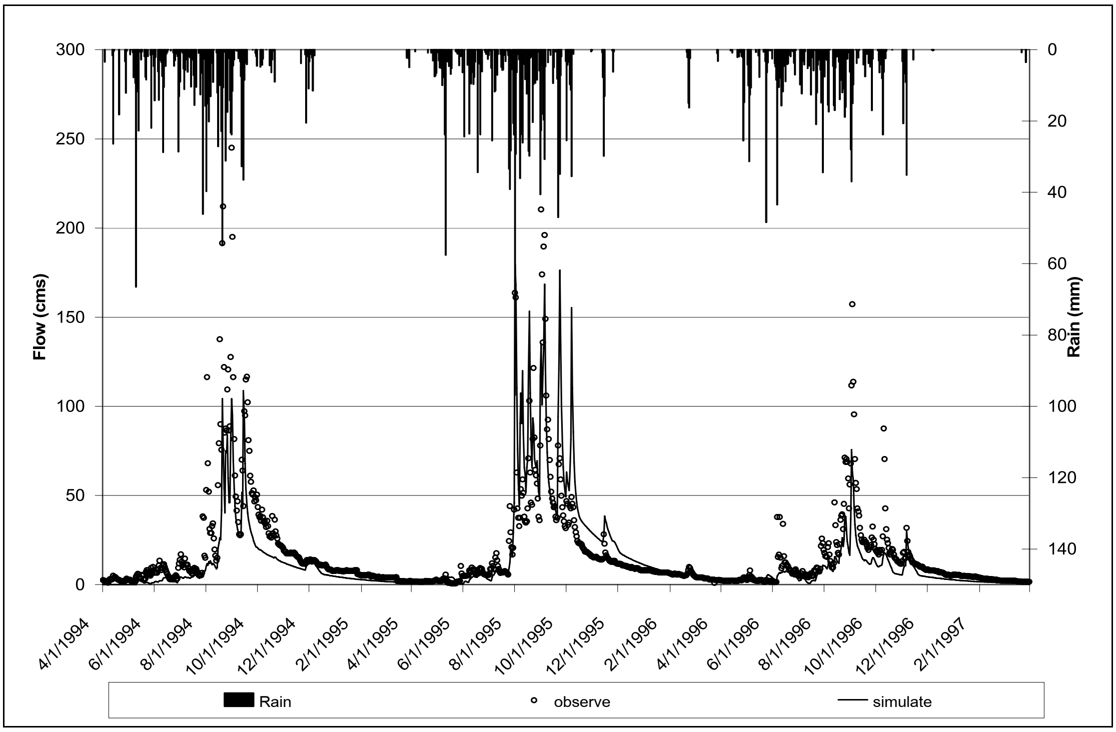
สถานี P.20 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำปิง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำปิงส่วนที่ 1 สถานี P.20 มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,355 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 370.22 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 11.74 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1979 ถึงปัจจุบัน ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 2 สถานี คือสถานี 07132 และ 07702

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่า P.20 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) U_{max} มีค่าเท่ากับ 35 มิลลิเมตร (2) L_{max} มีค่าเท่ากับ 350 มิลลิเมตร (3) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.4 (4) TOF มีค่าเท่ากับ 0.7 (5) TG มีค่าเท่ากับ 0.6 (6) CK_1 และ CK_2 มีค่าเท่ากับ 22 ชั่วโมง และ (7) CKBF มีค่าเท่ากับ 1,500 ชั่วโมง และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่าดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.89 และ 0.80 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 73.29 และ 63.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 10 และ 11



ภาพที่ 10 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.20 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 2001 ถึง 2003



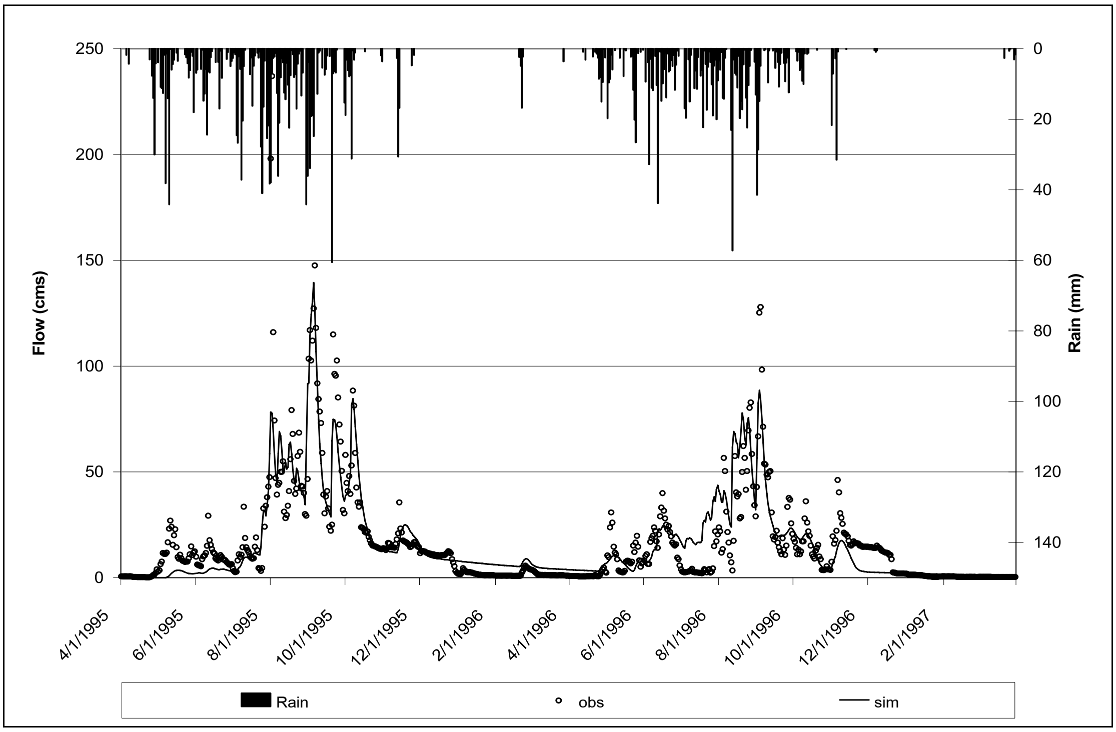
ภาพที่ 11 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.20 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1994 ถึง 1997

2) สถานีวัดน้ำท่า P.4A

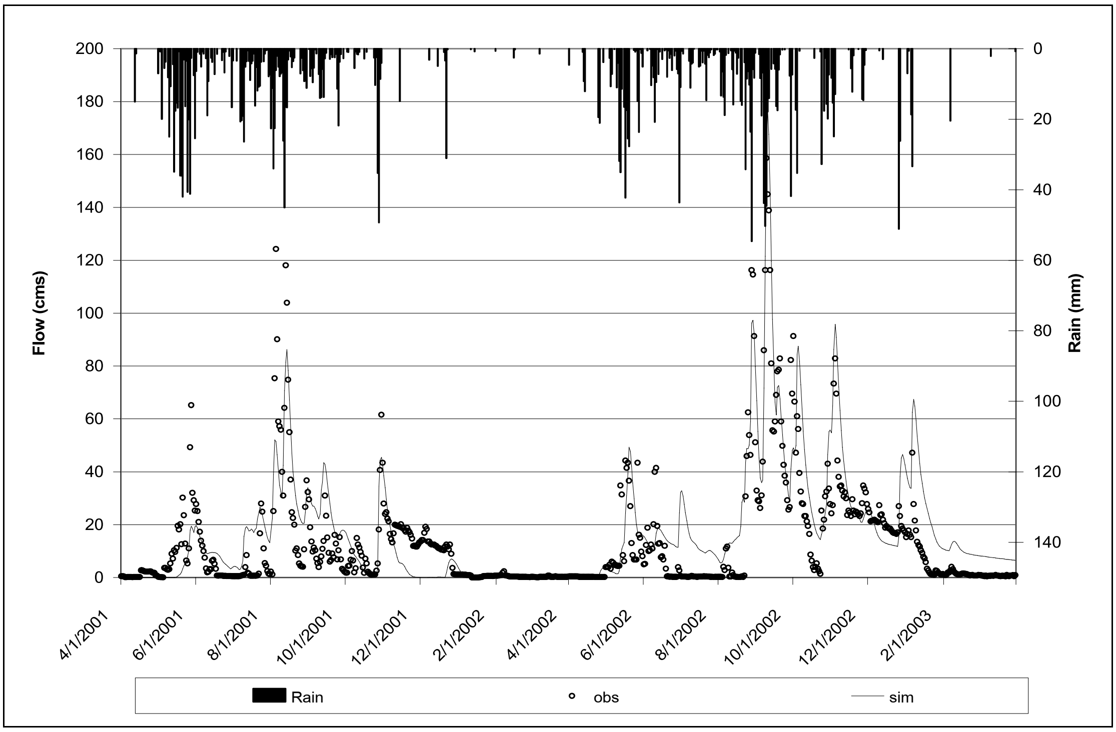
สถานี P.4A เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่แตง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่แตง สถานี P.4A มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,902 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 507.93 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 16.11ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1955 ถึงปัจจุบัน ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 2 สถานี คือสถานี 07702 และ 07252

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่า P.4A ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) U_{max} มีค่าเท่ากับ 52 มิลลิเมตร (2) L_{max} มีค่าเท่ากับ 520 มิลลิเมตร (3) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.3 (4) TOF มีค่าเท่ากับ 0.3 (5) TG มีค่าเท่ากับ 0.9 (6) CK_1 และ CK_2 มีค่าเท่ากับ 48 ชั่วโมง และ (7) CKBF มีค่าเท่ากับ 3,000 ชั่วโมง และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่าดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.84 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 69.78 และ 54.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 12 และ 13



ภาพที่ 12 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.4A ช่วงปี ค.ศ. 1995 ถึง 1996



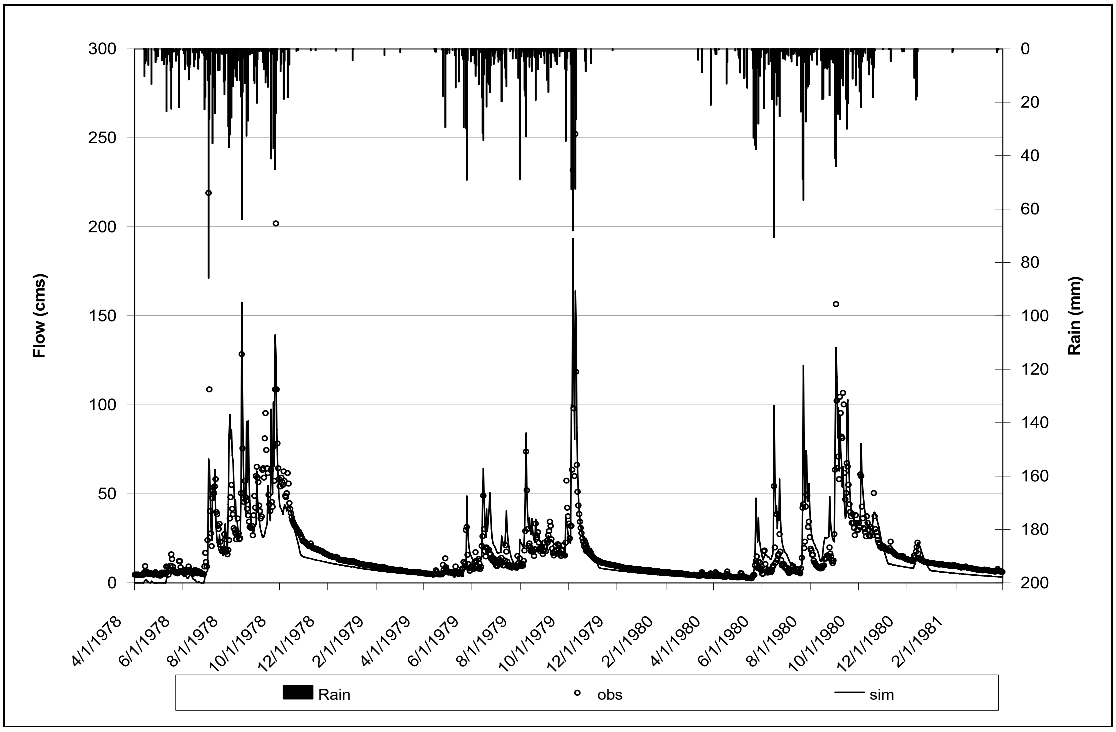
ภาพที่ 13 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.4A ช่วงปี ค.ศ. 2001 ถึง 2002

3) สถานีวัดน้ำท่า P.13

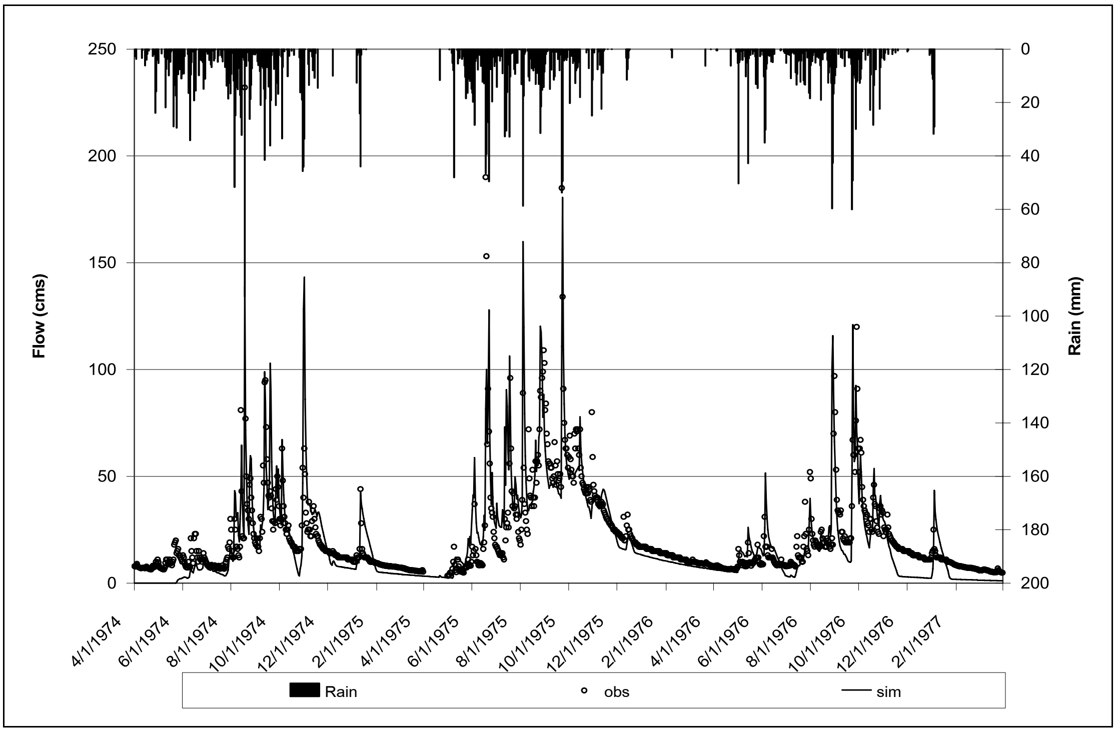
สถานี P.13 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่แตง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่แตง สถานี P.13 มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,765 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 692.70 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 21.97 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1952 ถึงปี 1980 ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 2 สถานี คือสถานี 07605 และ 07614

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่า P.13 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) U_{max} มีค่าเท่ากับ 60 มิลลิเมตร (2) L_{max} มีค่าเท่ากับ 600 มิลลิเมตร (3) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.2 (4) TOF มีค่าเท่ากับ 0.1 (5) TG มีค่าเท่ากับ 0.9 (6) CK_1 และ CK_2 มีค่าเท่ากับ 18 ชั่วโมง และ (7) CKBF มีค่าเท่ากับ 3,000 ชั่วโมง และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่าดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.86 และ 0.83 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 70.97 และ 64.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 14 และ 15



ภาพที่ 14 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.13 ช่วงปี ค.ศ. 1978 ถึง 1980



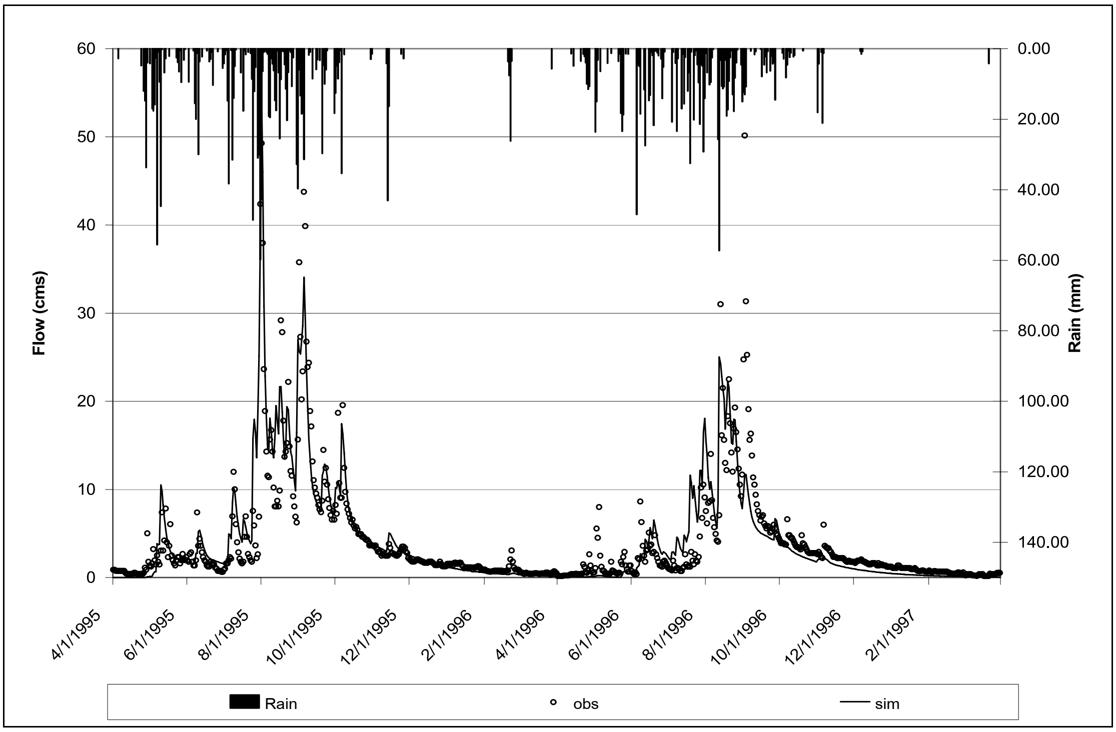
ภาพที่ 15 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.13 ช่วงปี ค.ศ. 1974 ถึง 1976

4) สถานีวัดน้ำท่า P.65

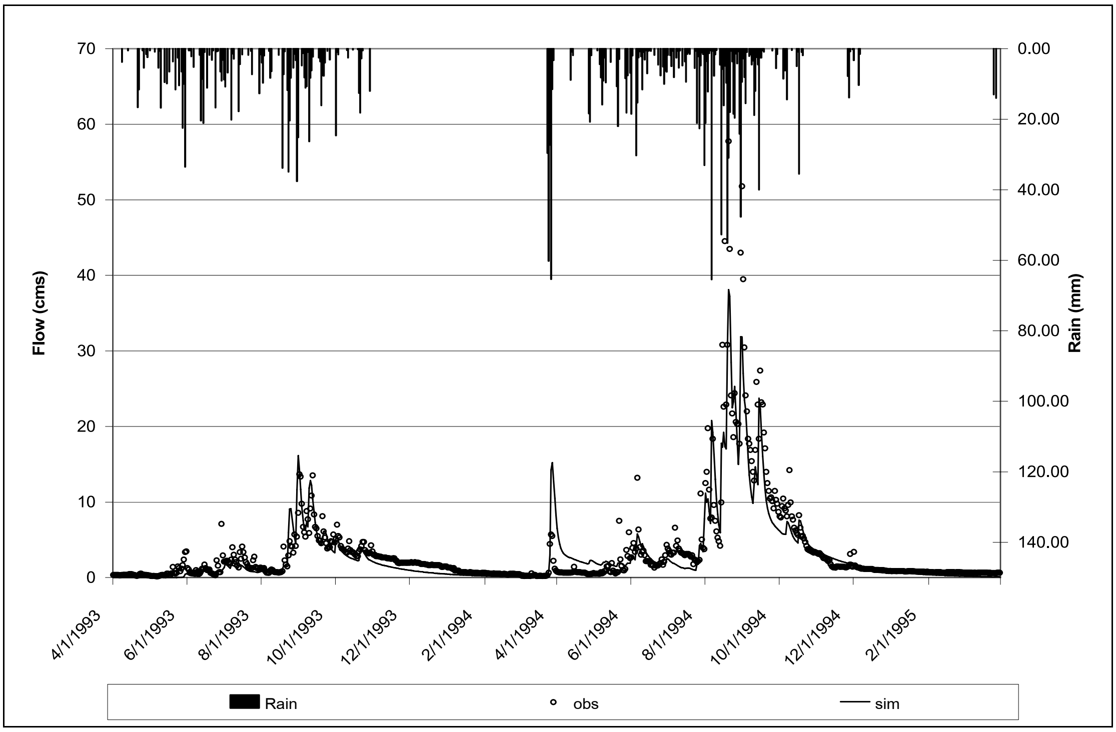
สถานี P.65 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่แตง อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่แตง สถานี P.65 มีพื้นที่รับน้ำฝน 240 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 88.69 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 2.81 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1992 ถึงปัจจุบัน ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 1 สถานี คือสถานี 07702

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่า P.65 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) U_{max} มีค่าเท่ากับ 12 มิลลิเมตร (2) L_{max} มีค่าเท่ากับ 120 มิลลิเมตร (3) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.5 (4) TOF มีค่าเท่ากับ 0.5 (5) TG มีค่าเท่ากับ 0.2 (6) CK_1 และ CK_2 มีค่าเท่ากับ 36 ชั่วโมง และ (7) CKBF มีค่าเท่ากับ 1,000 ชั่วโมง และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่าดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.84 และ 0.90 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 69.59 และ 78.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 16 และ 17



ภาพที่ 16 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.65 ช่วงปี ค.ศ. 1995 ถึง 1996



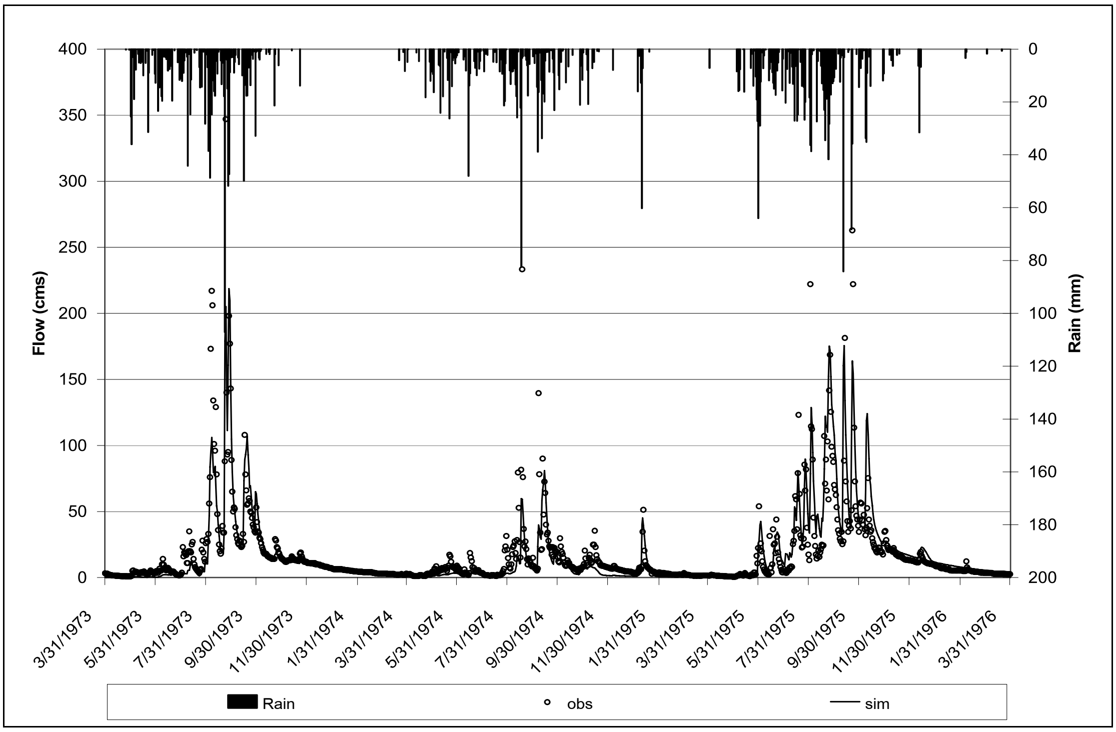
ภาพที่ 17 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.65 ช่วงปี ค.ศ. 1993 ถึง 1994

5) สถานีวัดน้ำท่า P.28

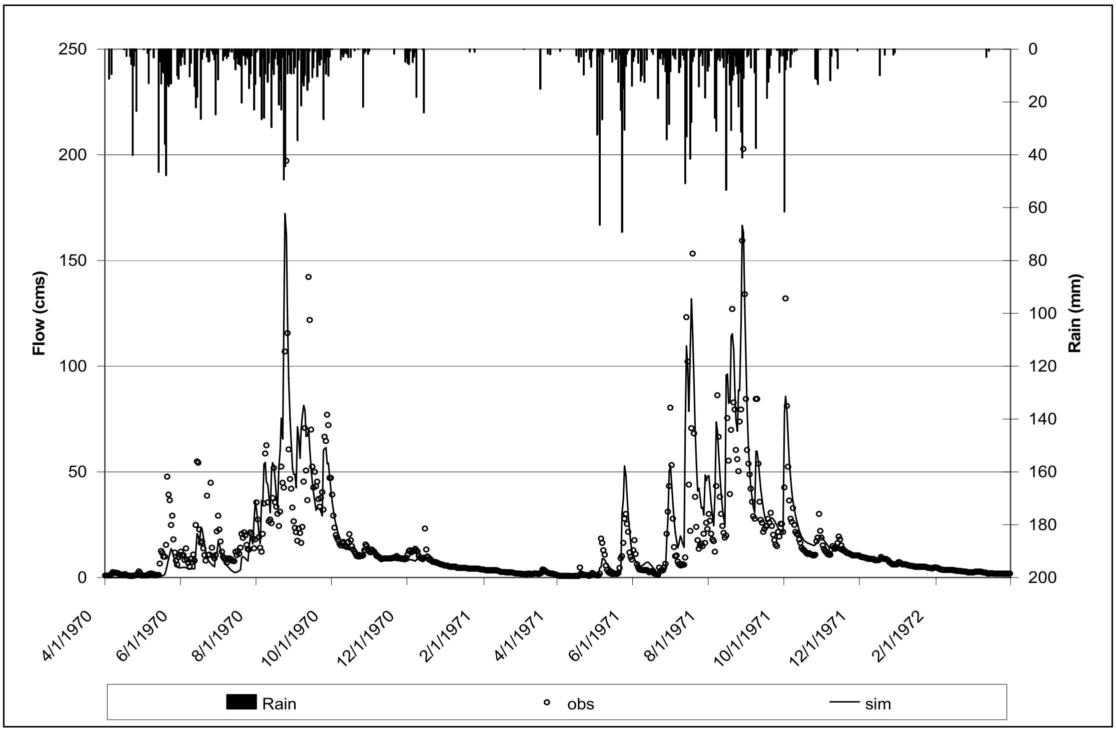
สถานี P.28 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่งัด อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่งัด สถานี P.28 มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,261 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 379.07 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 12.02 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1966 ถึง 1979 ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 2 สถานี คือสถานี 07122 และ 07341

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่า P.28 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) U_{max} มีค่าเท่ากับ 33 มิลลิเมตร (2) L_{max} มีค่าเท่ากับ 330 มิลลิเมตร (3) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.5 (4) TOF มีค่าเท่ากับ 0.3 (5) TG มีค่าเท่ากับ 0.7 (6) CK_1 และ CK_2 มีค่าเท่ากับ 38 ชั่วโมง และ (7) CKBF มีค่าเท่ากับ 2,000 ชั่วโมง และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่าดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.86 และ 0.87 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 71.90 และ 71.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 18 และ 19



ภาพที่ 18 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.28 ช่วงปี ค.ศ. 1973 ถึง 1975



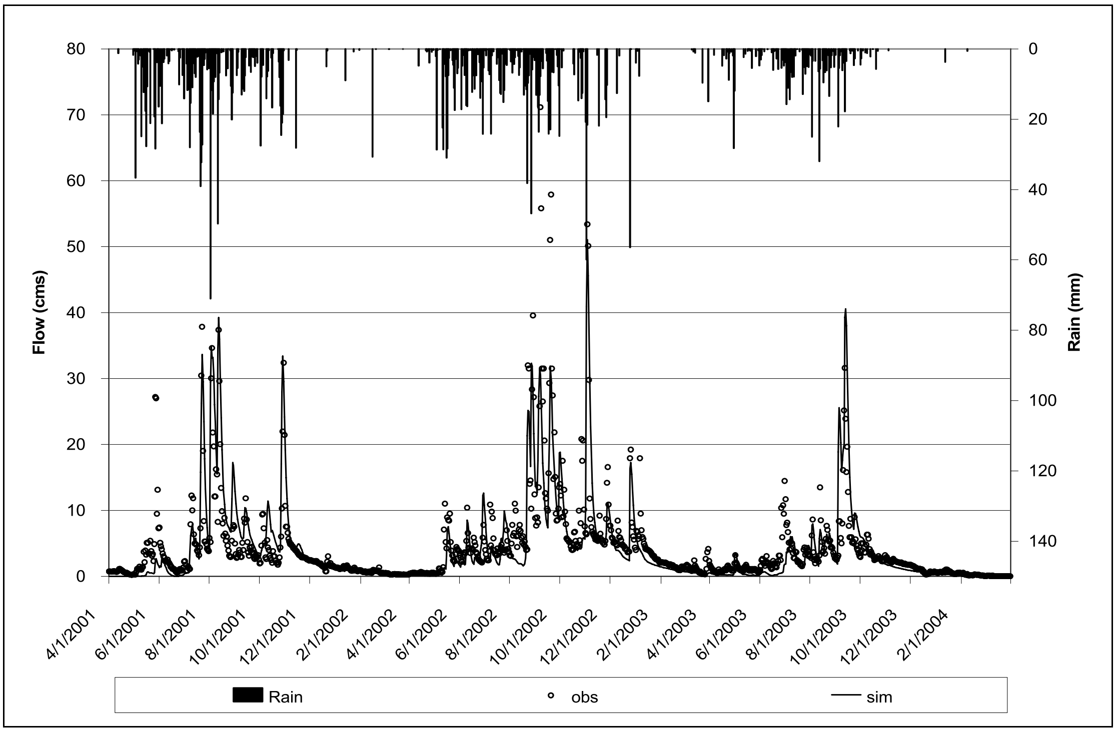
ภาพที่ 19 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.28 ช่วงปี ค.ศ. 1970 ถึง 1971

6) สถานีวัดน้ำท่า P.21

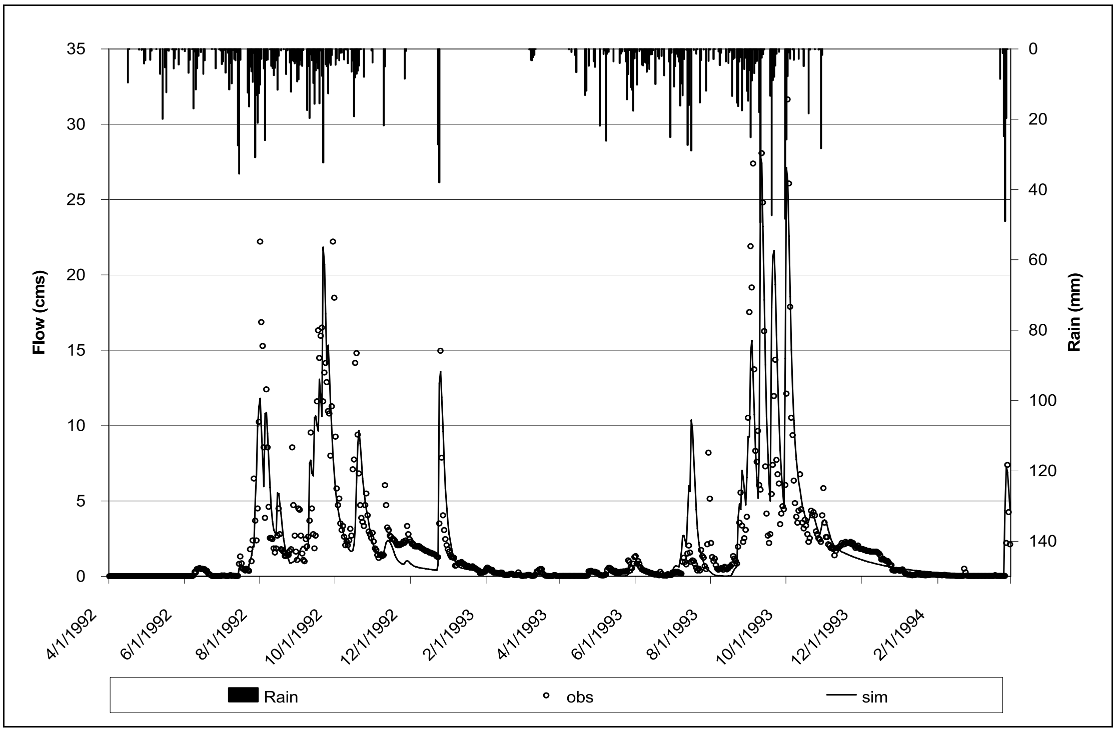
สถานี P.21เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่ริม อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่ริม สถานี P.21 มีพื้นที่รับน้ำฝน 515 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 141.83 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 4.50 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1954 ถึง ปัจจุบัน ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 3 สถานี คือสถานี 07112 07142 และ 07013

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่า P.21 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) U_{max} มีค่าเท่ากับ 26 มิลลิเมตร (2) L_{max} มีค่าเท่ากับ 260 มิลลิเมตร (3) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.5 (4) TOF มีค่าเท่ากับ 0.1 (5) TG มีค่าเท่ากับ 0.5 (6) CK_1 และ CK_2 มีค่าเท่ากับ 40 ชั่วโมง และ (7) CKBF มีค่าเท่ากับ 1,000 ชั่วโมง และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่าดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.79 และ 0.83 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 43.02 และ 54.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 20 และ 21



ภาพที่ 20 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.21 ช่วงปี ค.ศ. 2001 ถึง 2003



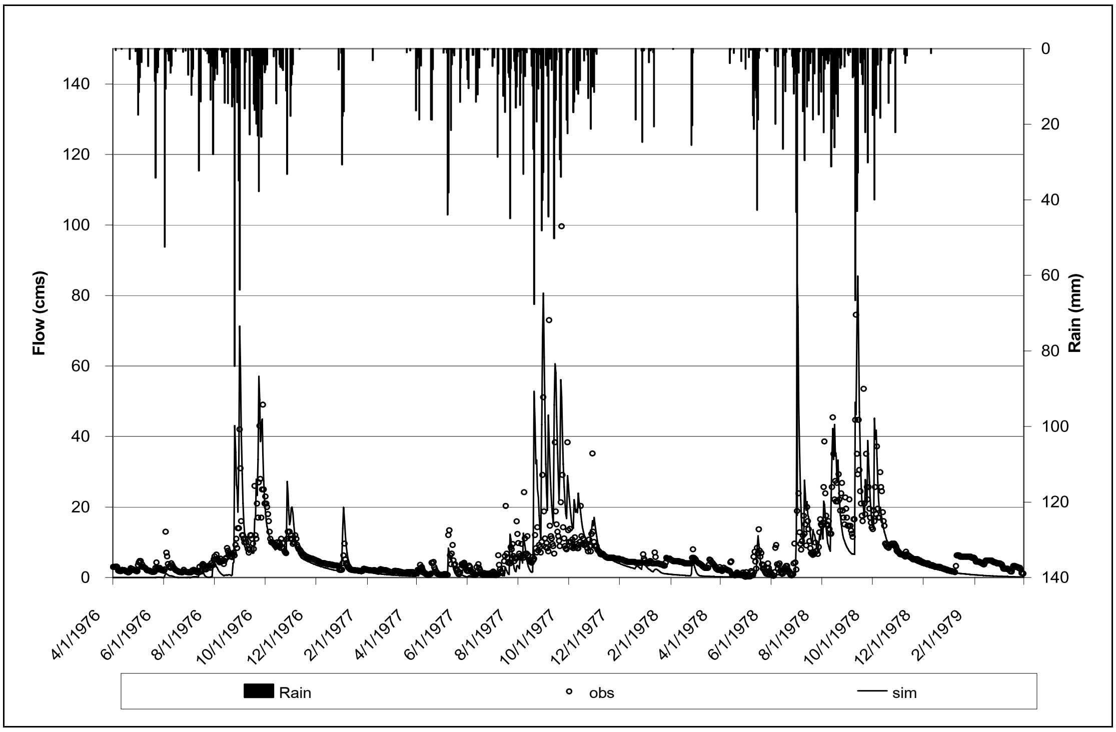
ภาพที่ 21 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.21 ช่วงปี ค.ศ. 1992 ถึง 1993

7) สถานีวัดน้ำท่า P.34

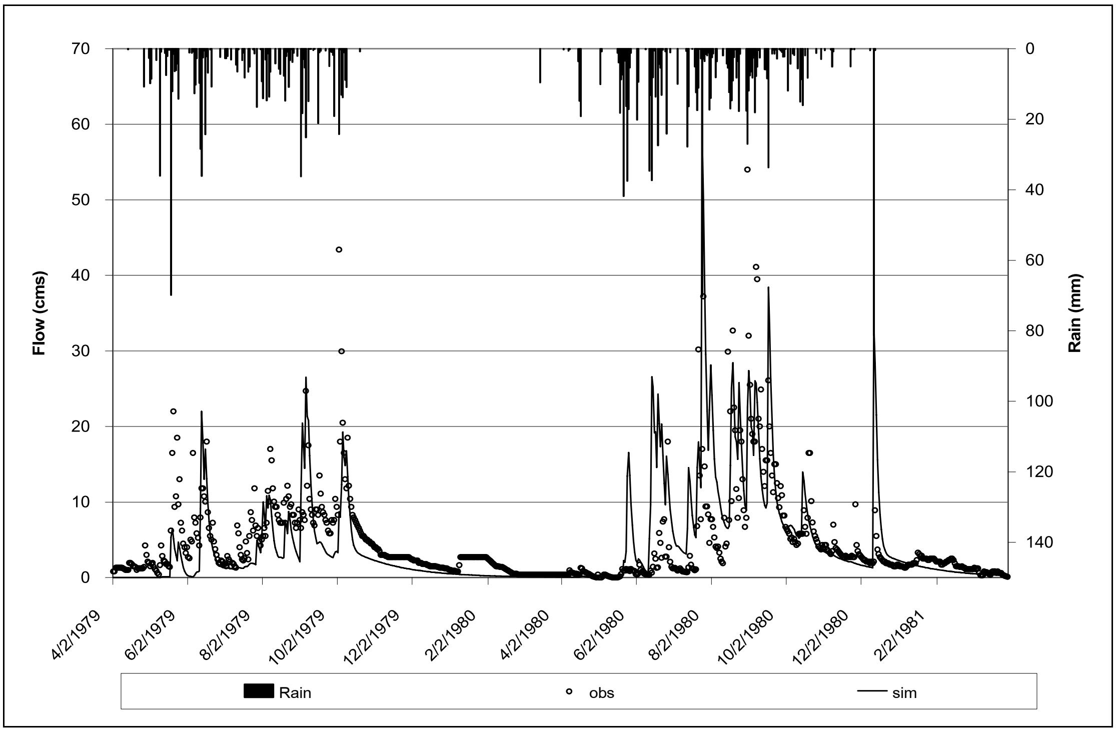
สถานี P.34 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่กวง อำเภอดอยสะเก็ต จังหวัดลำพูน และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่กวง สถานี P.34 มีพื้นที่รับน้ำฝน 566 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 210.99 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 6.69 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1974 ถึง 1982 ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 2 สถานี คือสถานี 07530 และ 07341

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่า P.34 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) U_{max} มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร (2) L_{max} มีค่าเท่ากับ 200 มิลลิเมตร (3) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.5 (4) TOF มีค่าเท่ากับ 0.1 (5) TG มีค่าเท่ากับ 0.3 (6) CK_1 และ CK_2 มีค่าเท่ากับ 30 ชั่วโมง และ (7) CKBF มีค่าเท่ากับ 1,000 ชั่วโมง และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่าดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.70 และ 0.67 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 34.5 และ 40.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 22 และ 23



ภาพที่ 22 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.34 ช่วงปี ค.ศ. 1976 ถึง 1978



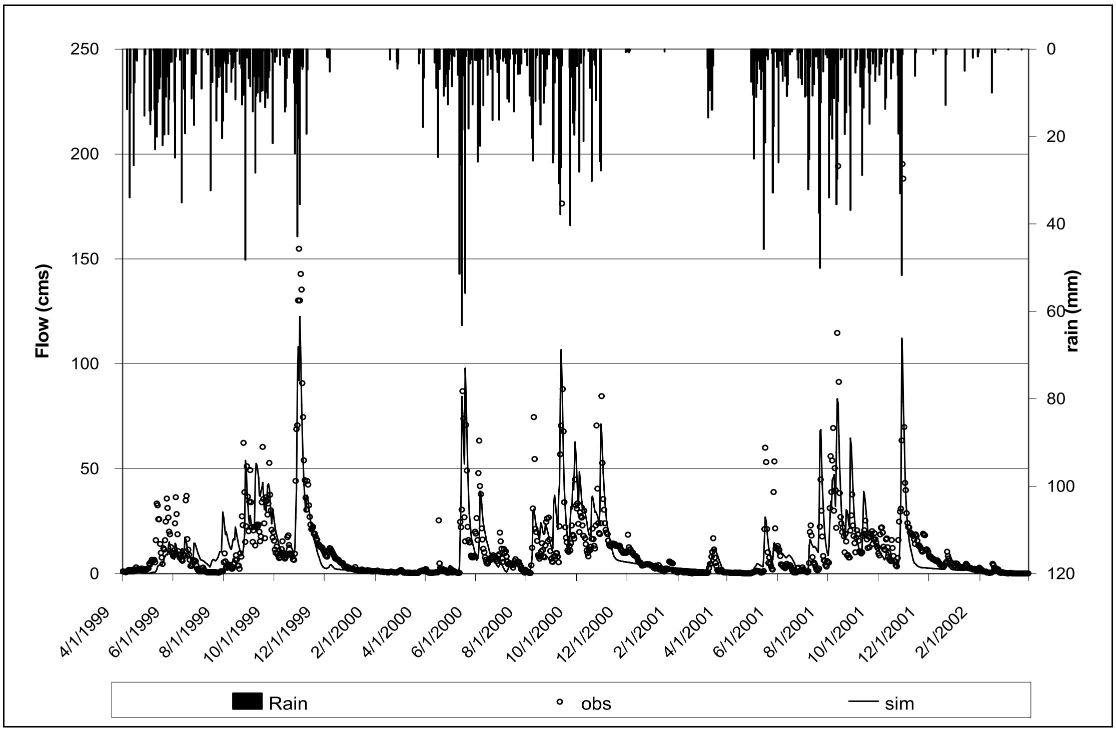
ภาพที่ 23 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.34 ช่วงปี ค.ศ. 1979 ถึง 1980

8) สถานีวัดน้ำท่า P.71

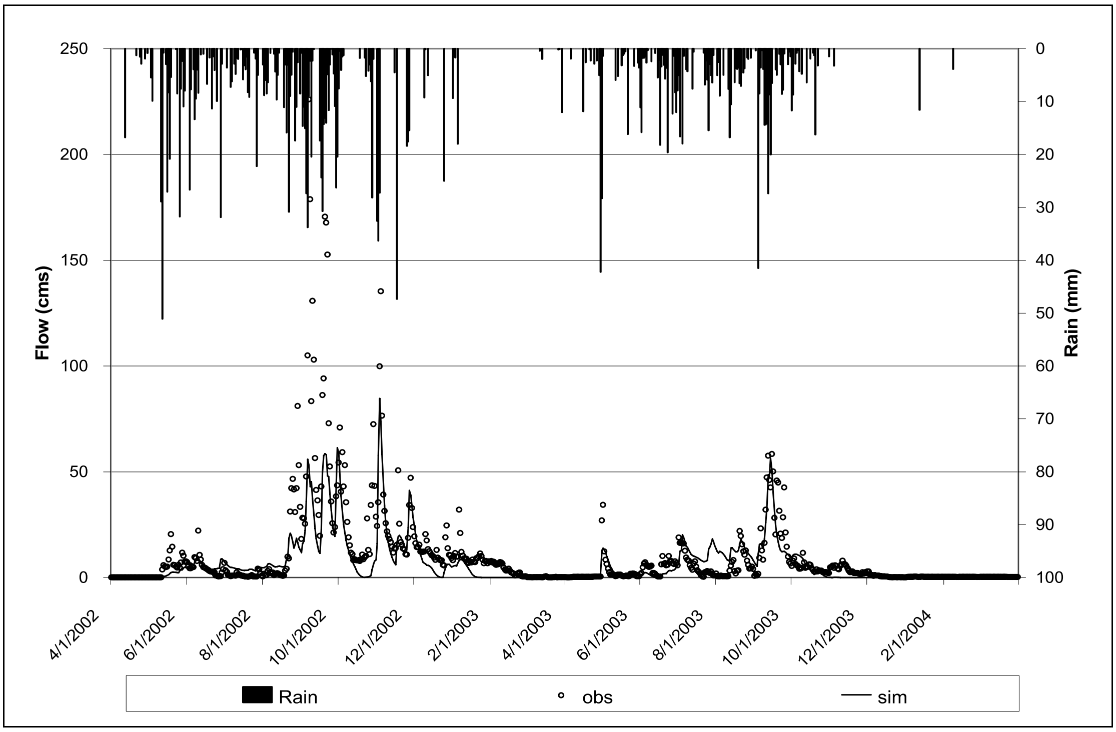
สถานี P.71 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่ขาน อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่ขาน สถานี P.71 มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,771 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 246.81 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 7.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1996 ถึงปัจจุบัน ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 2 สถานี คือสถานี 07142 และ 07292

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่า P.71 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) U_{max} มีค่าเท่ากับ 48 มิลลิเมตร (2) L_{max} มีค่าเท่ากับ 480 มิลลิเมตร (3) CQOF มีค่าเท่ากับ 0.3 (4) TOF มีค่าเท่ากับ 0.1 (5) TG มีค่าเท่ากับ 0.9 (6) CK_1 และ CK_2 มีค่าเท่ากับ 34 ชั่วโมง และ (7) CKBF มีค่าเท่ากับ 2,000 ชั่วโมง และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่าดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.80 และ 0.82 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 61.55 และ 66.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง NAM และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 24 และ 25



ภาพที่ 24 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ที่สถานี P.71 ช่วงปี ค.ศ. 1999 ถึง 2001



ภาพที่ 25 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ที่สถานี P.71 ช่วงปี ค.ศ. 2002 ถึง 2003

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า สรุปได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงค่าพารามิเตอร์ของลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ได้จากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM

ลำดับที่	สถานีวัดน้ำท่า	U_{max} (ม.ม.)	L_{max} (ม.ม.)	CQOF	TOF	CK (ชม.)	TG	CKBF (ชม.)
1	P.20	35	350	0.4	0.7	22	0.6	1,500
2	P.4A	52	520	0.3	0.3	48	0.9	3,000
3	P.13	60	600	0.2	0.1	18	0.9	3,000
4	P.65	12	120	0.5	0.5	36	0.2	1,000
5	P.28	33	330	0.5	0.3	38	0.7	2,000
6	P.21	26	260	0.5	0.1	40	0.5	1,000
7	P.34	20	200	0.5	0.1	30	0.3	1,000
8	P.71	48	480	0.3	0.1	34	0.9	2,000
ค่าเฉลี่ย		36	358	0.4	0.3	33	0.6	1,813
ค่าต่ำสุด		12	120	0.2	0.1	18	0.2	1,000
ค่าสูงสุด		60	600	0.5	0.7	48	0.9	3,000

2. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย

จากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ สำหรับสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน ดังแสดงในตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ ได้นำมาหาความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยได้สรุปผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM แต่ละตัวและลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังต่อไปนี้

1) L_{max} คือ ปริมาณการเก็บกักสูงสุดของชั้นรากพืช (maximum water content in root zone storage) หรือปริมาณความชื้นสูงสุดในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้น สมมุติฐานที่ตั้ง

ไว้คือ L_{max} ควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S)

2) U_{max} คือ ปริมาณการเก็บกักสูงสุดบนผิวดิน (maximum water content in surface storage) หรือปริมาณน้ำที่มากที่สุดที่ขังไว้บนผิวดินในลักษณะของแอ่งน้ำตื้น ๆ หรือหลุมบ่อตื้น ดังนั้น สมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ U_{max} ควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S)

3) CQOF คือ ค่าสัมประสิทธ์การไหลบ่าบนผิวดิน (overland flow runoff coefficient) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แบ่ง Excess Rainfall ระหว่าง Overland Flow Runoff และ Infiltration โดยค่า CQOF ที่มากจะทำให้มีปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินมากตามไปด้วย โดยค่า CQOF จะเป็นแฟคเตอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนปริมาณฝนส่วนเกินให้เป็นปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินและปริมาณน้ำส่วนที่เหลือจากการไหลบ่าบนผิวดินจะกลายเป็นปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินและการไหลในส่วนของปริมาณการเก็บกักของดินส่วนล่างต่อไป สำหรับการประเมินค่า CQOF สามารถพิจารณาได้จากความลาดชันของลุ่มน้ำและทางน้ำ กล่าวคือ พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงมีแนวโน้มที่จะเกิดปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินมากจึงเหมาะสมที่จะใช้ค่า CQOF สูง ๆ ดังนั้น สมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ CQOF ควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S)

4) CKBF คือ เวลาคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลพื้นฐาน (time constant for routing baseflow) ดังนั้น สมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ CKBF ควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S)

5) TG คือ ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการเติมปริมาณน้ำใต้ดิน (root zone threshold value for groundwater recharge) และเป็นตัวกำหนดให้เกิด Groundwater Recharge เป็น

พารามิเตอร์สำคัญในการปรับเทียบการเพิ่มของระดับน้ำใต้ดินในช่วงเริ่มต้นของฤดูฝน ดังนั้น สมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ TG ควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S)

6) TOF คือ ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการไหลบ่าบนผิวดิน (root zone threshold value for overland flow) TOF มีความสำคัญต่อการเกิด Overland Flow โดยตรงรองจากค่าของ CQOF แต่จะส่งผลในเริ่มต้นฤดูฝน สำหรับช่วงหลังจากที่ดินเก็บกักความชื้นจนเต็มแล้ว เช่นช่วงฤดูฝนในปีฝนชุก TOF ก็จะไม่มีผลต่อการเกิด Overland Flow ดังนั้น สมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ TOF ควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S)

7) CK_1, CK_2 คือ ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลระหว่างชั้นน้ำผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดินและปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (time constant for routing interflow and overland flow) และเป็นพารามิเตอร์เพื่อการอธิบายรูปร่างของกราฟน้ำท่า สำหรับ Overland Flow, Interflow และระยะเวลาการเกิด Peak ดังนั้น สมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ CK ควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และควรมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S)

จากการพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM แต่ละตัวและลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำดังกล่าวข้างต้น จึงได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในรูปแบบของสมการสหสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุคูณ (multiple regression) โดยผลการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์ต่อไปนี้คือ U_{max} , L_{max} , CKBF และ TG มีความสัมพันธ์แบบ Multiple Regression กับ ลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำคือ A, L, Lc และ S โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.96, 0.96, 0.98 และ 0.97 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก สำหรับพารามิเตอร์ CQOF มีความสัมพันธ์แบบ Multiple Regression กับลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำเฉพาะ A และ L เท่านั้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.88 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

เป็นที่ยอมรับได้ และสำหรับพารามิเตอร์ TOF มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำคือ L เท่านั้น โดย TOF มีความสัมพันธ์กับ L ในลักษณะเชิงเส้น (linear regression) และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.91 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในขณะที่ CK ไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำในลักษณะเชิงเส้นจึงพิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยของ CK ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองทั้ง 8 สถานี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 33 ชั่วโมง สำหรับสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ รวมทั้งตัวแปรทางสถิติของพารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์แสดงดังในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

สมการสหสัมพันธ์ (regression)	r
U_{max} = -10.83 + 0.013 A + 0.48 L - 0.47 L_c + 1,075.62 S	0.96
L_{max} = -108.32 + 0.13 A + 4.8 L - 4.74 L_c + 1,0756.22 S	0.96
CQOF = 0.617 + 9.2(10^{-06}) A - 0.002 L	0.88
CKBF = 517.207 - 0.155 A + 47.47 L - 60.514 L_c - 1,5983.1S	0.98
TG = 0.5 + 0.0003 A - 0.004 L + 0.009 L_c - 24.81 S	0.97
TOF = 0.0025 L + 0.091	0.91

3. ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 2 นั้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินกราฟน้ำท่า ณ จุดที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนได้ จึงได้นำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM กับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีสถานีวัดน้ำท่าเพื่อเป็นการทดสอบผลของสมการ โดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ที่ได้จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 10 แสดงไว้ในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 พารามิเตอร์แบบจำลอง NAM ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

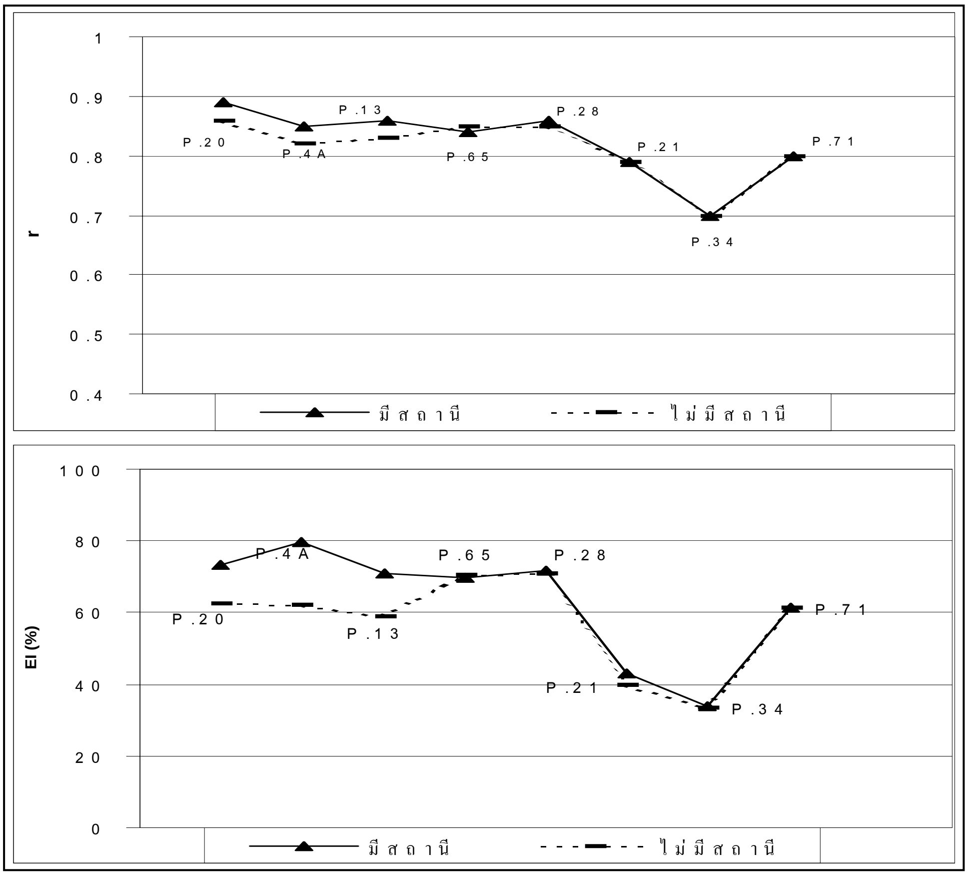
สถานีวัดน้ำท่า	U_{max} (ม.ม.)	L_{max} (ม.ม.)	CQOF	TOF	CK (ชม.)	TG	CKBF (ชม.)
P.20	36.9	369.1	0.4	0.3	33	0.7	1525
P.4A	56.8	567.9	0.2	0.5	33	0.9	3012
P.13	52.8	527.9	0.3	0.4	33	0.8	2873
P.65	15.0	150.0	0.5	0.2	33	0.3	1180
P.28	34.6	346.4	0.4	0.3	33	0.7	1830
P.21	19.0	190.4	0.5	0.2	33	0.4	881
P.34	22.7	226.5	0.5	0.2	33	0.3	961
P.71	48.2	481.6	0.3	0.3	33	0.9	2238
ค่าเฉลี่ย	35.8	357.5	0.4	0.3	33	0.6	1813
ค่าต่ำสุด	15	150	0.2	0.2	33	0.3	881
ค่าสูงสุด	56.8	567.9	0.5	0.5	33	0.9	3012

จากนั้นได้นำค่าพารามิเตอร์สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่ประเมินได้มาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินกราฟน้ำท่าในแต่ละสถานีสำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง รวมทั้งได้ทำการตรวจสอบผลการประเมินกราฟน้ำท่ากับข้อมูลที่ได้มีการตรวจวัดไว้ที่สถานีต่างๆ ซึ่งแสดงผลการประเมินโดยค่าทางสถิติ ดังในตารางที่ 12 โดยในตารางดังกล่าวได้แสดงค่าทางสถิติทั้งกรณีที่มีสถานีวัดน้ำท่า (Gauged Catchment) และกรณีที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า (Ungauged Catchment)

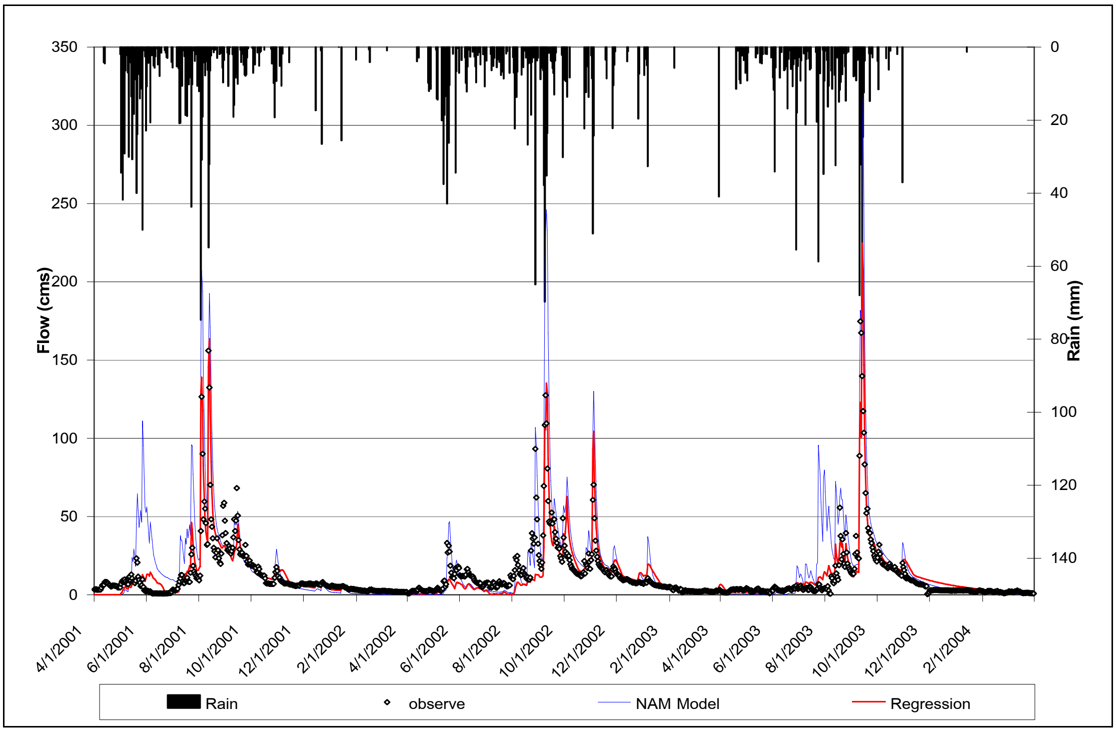
เพื่อให้เห็นประสิทธิผลของการประเมินค่าพารามิเตอร์โดยวิธีการดังกล่าว จึงได้แสดงภาพการเปรียบเทียบระหว่างค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองกับค่าทางสถิติที่ได้จากการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้น (ตารางที่ 10) ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่า ดังในภาพที่ 26 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ทั้ง r และ EI ของทั้งสองกรณีมีความใกล้เคียงกัน นอกจากนั้น ได้แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าจากการใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากทั้งสองกรณีสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา ดังแสดงในภาพที่ 27 ถึง 34 ตามลำดับ

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบระหว่างค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองกับค่าทางสถิติที่ได้จากการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์

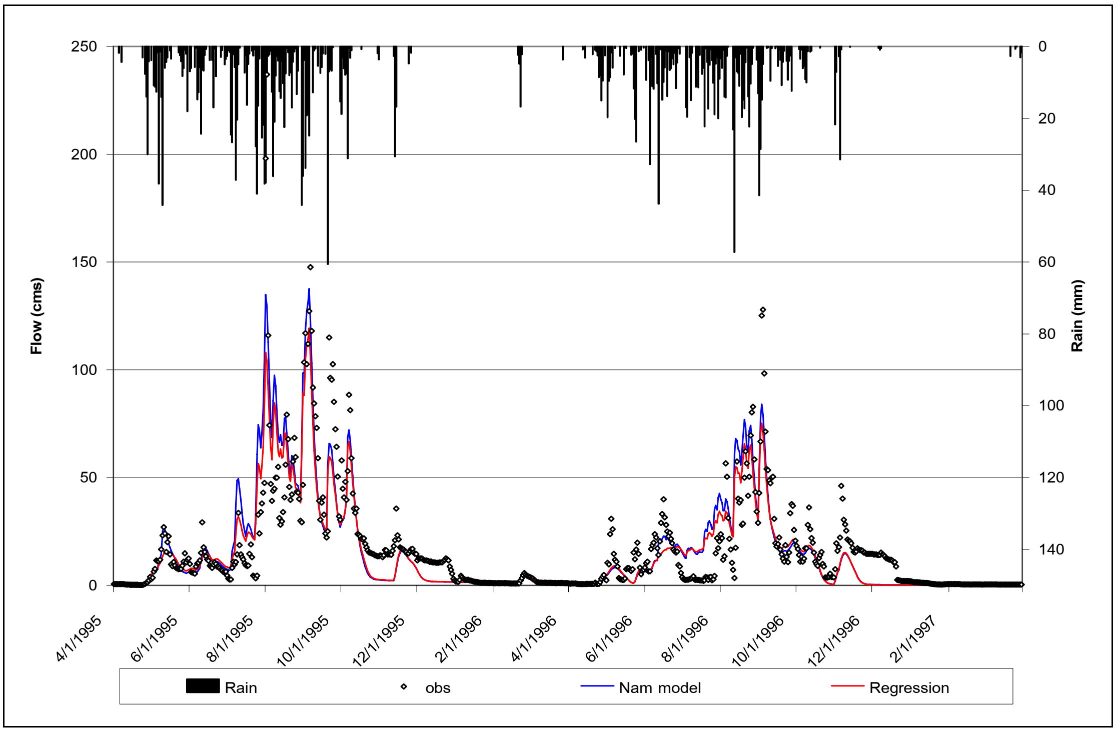
	P.20	P.4A	P.13	P.65	P.28	P.21	P.34	P.71
การสอบเทียบแบบจำลอง (กรณีที่มีสถานีวัดน้ำท่า)								
r	0.89	0.85	0.86	0.84	0.86	0.79	0.70	0.80
EI (%)	73.29	69.78	70.97	69.59	71.90	43.02	34.05	61.55
การประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้น (กรณีที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า)								
r	0.86	0.82	0.83	0.85	0.85	0.79	0.70	0.80
EI (%)	62.65	62.35	59.08	70.57	70.94	40.00	33.45	61.40



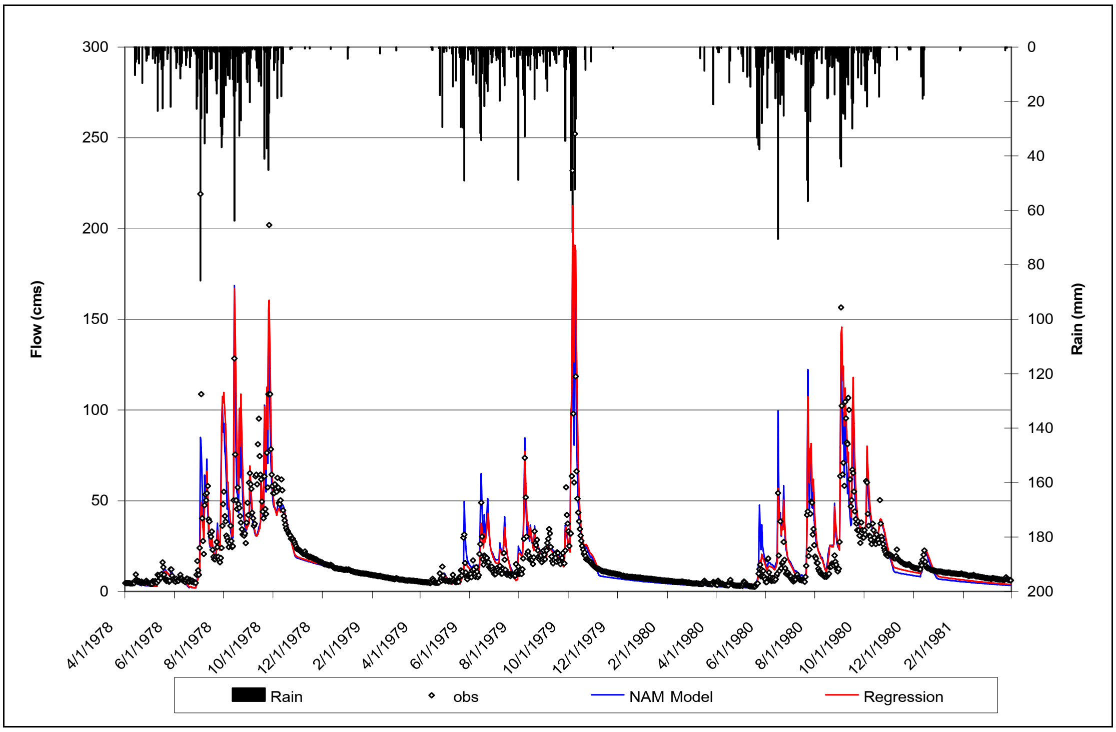
ภาพที่ 26 การเปรียบเทียบค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบและที่ได้จากการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่า



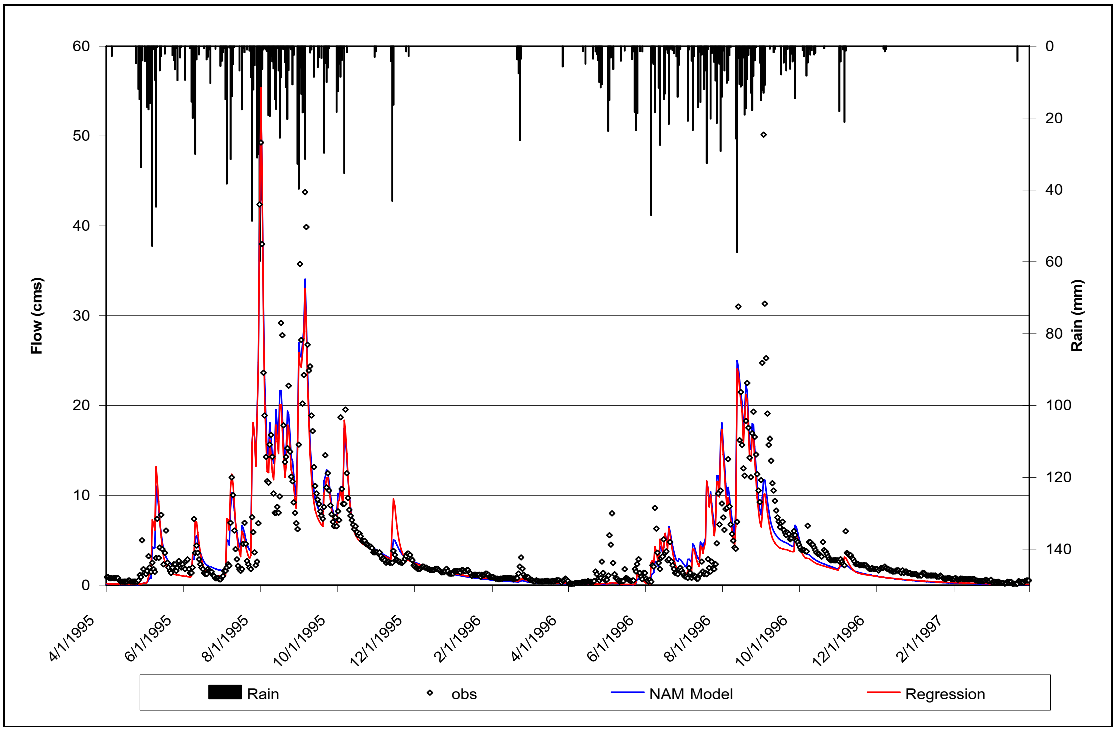
ภาพที่ 27 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.20



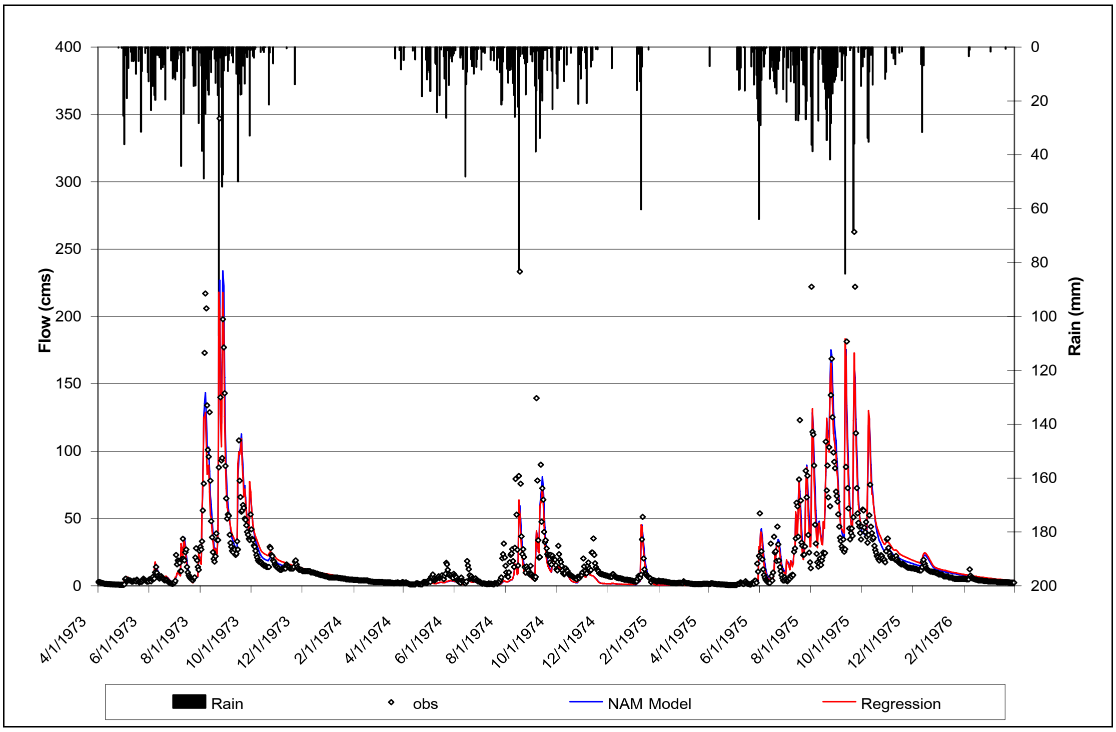
ภาพที่ 28 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.4A



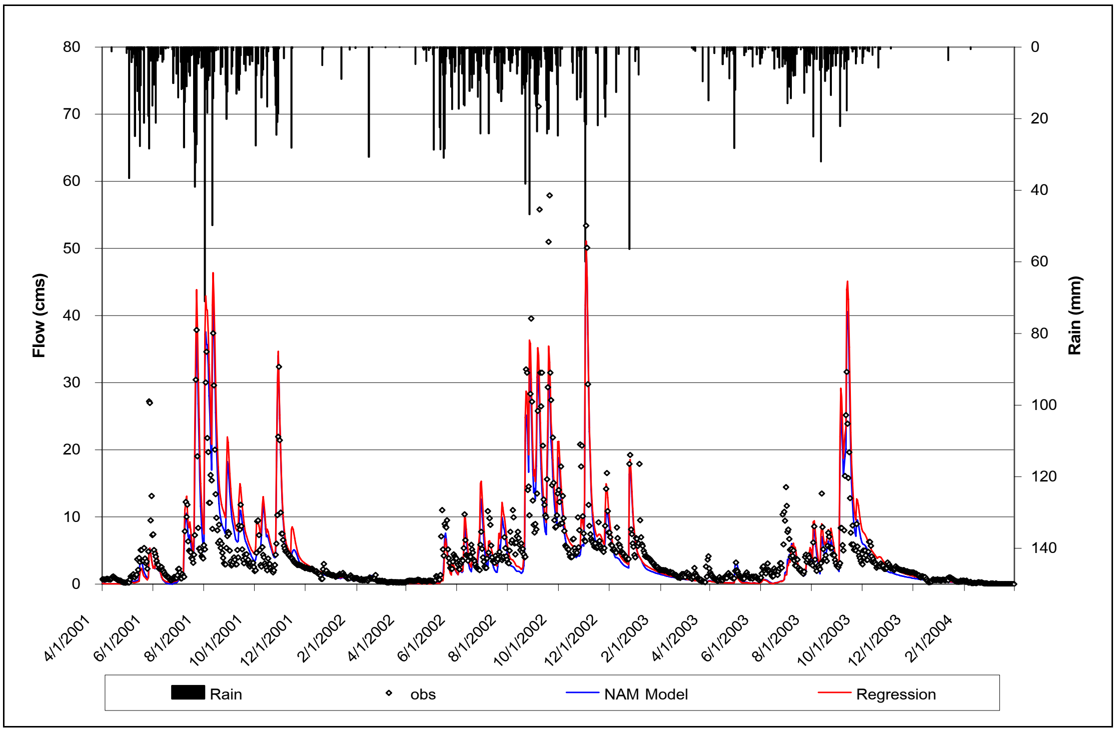
ภาพที่ 29 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.13



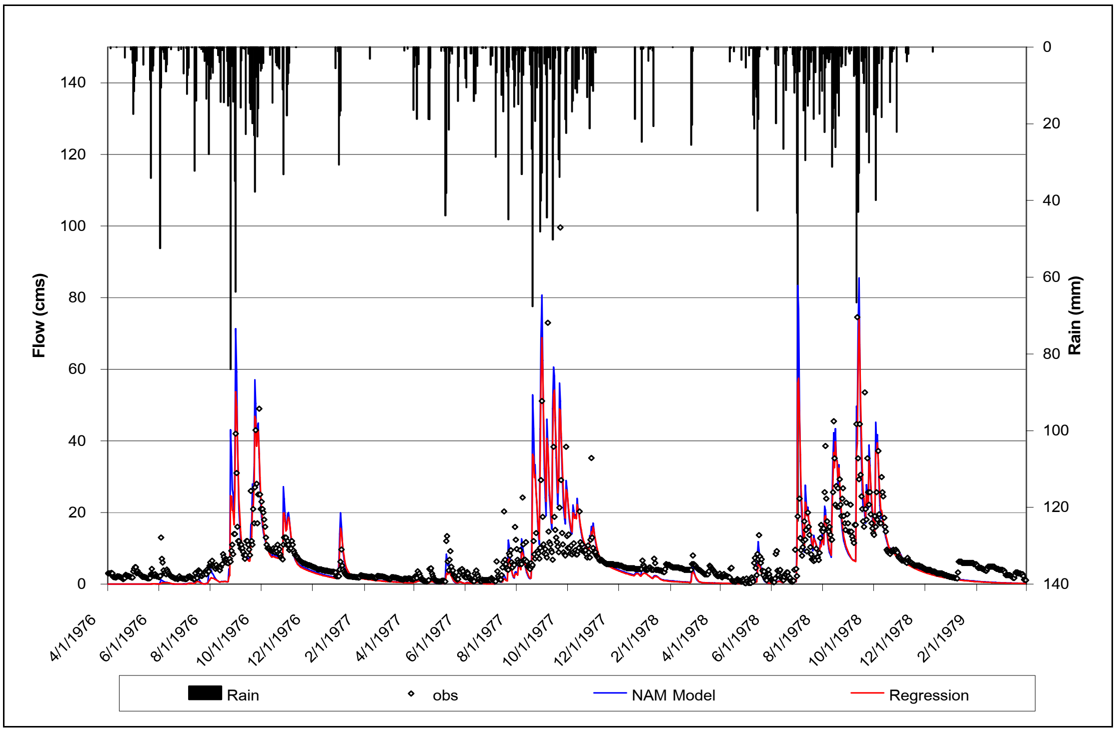
ภาพที่ 30 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.65



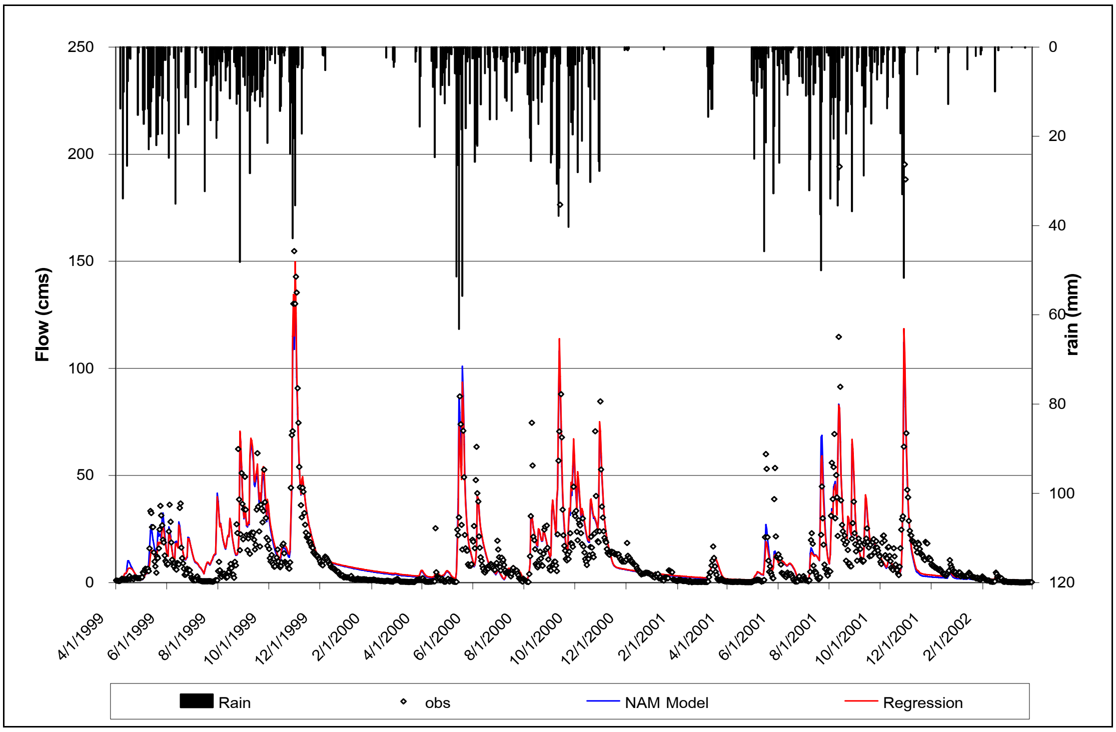
ภาพที่ 31 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.28



ภาพที่ 32 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.21



ภาพที่ 33 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.34



ภาพที่ 34 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.71

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้มาใช้ประเมินค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สำหรับบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษาประกอบด้วย 1) ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (A) 2) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) 3) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และ 4) ความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S) ในขณะที่พารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM จำนวน 15 พารามิเตอร์ ประกอบด้วย CKIF, TIF, CAREA, Sy, $GWLBF_0$, GWL_{min}, $GWLFL_1$, U_{max}, L_{max}, CQOF, CKBF, TG, TOF, CK_1 และ CK_2 ผลการศึกษาในแต่ละขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

1. ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM สำหรับสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 8 สถานี ในลุ่มน้ำปิงตอนบนนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ควบคุมแบบจำลอง ผลการศึกษาสรุปได้ว่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มที่ไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญกับผลการประเมินปริมาณน้ำท่าจึงกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ประกอบไปด้วย (1) CKIF มีค่าเท่ากับ 1,000 ชั่วโมง (2) TIF มีค่าเท่ากับ 0 (3) Sy มีค่าเท่ากับ 0.1 (4) GWL_{min} มีค่าเท่ากับ 0 เมตร (5) $GWLBF_0$ มีค่าเท่ากับ 10 เมตร (6) $GWLFL_1$ มีค่าเท่ากับ 0 เมตร และ (7) CAREA มีค่าเท่ากับ 1

2) กลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสถานีวัดน้ำท่า ประกอบด้วย (1) U_{max} มีค่าระหว่าง 12 ถึง 60 มิลลิเมตร (2) L_{max} มีค่าระหว่าง 120 ถึง 600 มิลลิเมตร (3) CQOF มีค่าระหว่าง 0.2 ถึง 0.5 (4) TOF มีค่าระหว่าง 0.1 ถึง 0.7 (5) TG มีค่าระหว่าง 0.2 ถึง 0.9 (6) CK_1 และ CK_2 มีค่าระหว่าง 18 ถึง 48 ชั่วโมง (7) CKBF มีค่าระหว่าง 1,000 ถึง 3,000 ชั่วโมง

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM กับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของทั้ง 8 สถานีวัดน้ำท่า พบว่า ค่าทางสถิติที่แสดงผลการเปรียบเทียบอยู่ในเกณฑ์ดีถึงพอใช้ กล่าวคือ ค่า r มีค่าระหว่าง 0.70 ถึง 0.89 และค่า EI มีค่าระหว่าง 34.05 ถึง 73.29 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.82 และ 61.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย ในรูปแบบของสมการสหสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่า พารามิเตอร์ต่อไปนี้คือ U_{max} , L_{max} , CKBF และ TG มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำซึ่งประกอบด้วย A, L, Lc และ S โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.96, 0.96, 0.98 และ 0.97 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก สำหรับพารามิเตอร์ CQOF มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำคือ A และ L โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.88 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และสำหรับพารามิเตอร์ TOF มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำคือ L เท่านั้นโดย มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.91 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในขณะที่ CK ไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำจึงพิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยของ CK ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองทั้ง 8 สถานี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 33 ชั่วโมง สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยเฉลี่ยที่ได้จากสมการความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมทั้ง 6 ความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 0.94 ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ดีจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ต่อไป

3. ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม

การทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดความเชื่อมั่นว่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินกราฟน้ำท่า ณ จุดที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนได้ โดยนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ที่สถานีวัดน้ำท่าต่างๆที่ศึกษาจำนวน 8 สถานี โดยถือเสมือนว่าไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าจากการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม กับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของทั้ง 8 สถานีวัดน้ำท่า พบว่า ค่าทางสถิติที่แสดงผลการเปรียบเทียบอยู่ในเกณฑ์ดีถึงพอใช้ กล่าวคือ ค่า r มีค่าระหว่าง 0.70 ถึง 0.86 และค่า EI อยู่ระหว่าง 33.45 ถึง 70.94 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 และ 57.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อนำค่าการทดสอบทางสถิติดังกล่าวไปเทียบกับค่าทางสถิติที่ได้จากผลการสอบเทียบแบบจำลองพบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกันดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนที่สร้างขึ้นนั้น มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เพื่อประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ณ บริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ในการนำความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำไปใช้เพื่อประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ณ บริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่นั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความลาดชันของบริเวณที่ต้องการประเมินกราฟน้ำท่าด้วย เนื่องจากขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความลาดชันของสถานีวัดน้ำท่าที่ศึกษาทั้ง 8 สถานี มีค่าระหว่าง 240 ถึง 1,902 ตารางกิโลเมตร และ 0.00411 ถึง 0.01450 ดังนั้น บริเวณที่ต้องการประเมินกราฟน้ำท่าควรมีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำไม่เกิน 1,902 ตารางกิโลเมตรมากนัก และควรมีความลาดชันอยู่ในช่วงพิสัยของทั้ง 8สถานีที่ศึกษา เพื่อให้การประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมที่สร้างขึ้นอยู่ในขอบเขตของลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษา

2. เนื่องจากการประเมินกราฟน้ำท่าให้ได้ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงนั้นจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลน้ำฝนที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ถูกต้องเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีสถานีวัดน้ำฝนจำนวนน้อยและไม่กระจายทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นที่ที่เป็นหุบเขาซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าบริเวณพื้นราบ จึงเป็นสาเหตุให้ผลการประเมินกราฟน้ำท่าในช่วงของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเกิดความผิดพลาดได้โดยง่าย ดังนั้น จึงเสนอแนะให้มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นตัวแทนของพื้นที่รับน้ำที่มีลักษณะแตกต่างกันให้มากที่สุด และเมื่อมีการเพิ่มสถานีวัดน้ำฝนให้มากพอแล้วอาจมีความจำเป็นต้องสร้างความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมใหม่เพื่อเพิ่มความถูกต้องของผลการ

ประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ซึ่งจะเป็นผลให้กราฟน้ำท่าที่ประเมินได้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3. จากผลการทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำที่สร้างขึ้น พบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้เพื่อการประเมินกราฟน้ำท่าในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ได้อย่างดีเป็นที่ยอมรับได้ ซึ่งเป็นประโยชน์มากกับงานด้านวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ดังนั้น จึงเห็นสมควรให้มีการนำวิธีการวิจัยที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไปประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำอื่นๆ จากนั้นนำความสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละลุ่มน้ำมาประเมินความเหมือนและแตกต่างเพื่อนำมาสรุปในภาพรวมต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2540. **การศึกษาความเหมาะสมและศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการบรรเทาอุทกภัยและการขาดแคลนน้ำลุ่มน้ำปิงตอนบน.** โรงพิมพ์กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ. 335 น.

กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2546. **โครงการจัดทำแผนรวม (Integrated Plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน.**

กานดา คงธรรม. 2545. **การศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน.** วิทยานิพนธ์วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2543. **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล**. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี เค แอนด์ เอส โฟโต้สตูดิโอ, กรุงเทพฯ.

ชัยวัฒน์ ภู่วรกุลชัย. 2546. **การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำลำภาชีโดยแบบจำลองน้ำฝนและน้ำท่า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2544. **เอกสารประกอบวิชาการจำลองสภาวะการเกิดน้ำท่วม.** ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพรัตน์ วีรุตมเสน. 2536. **การพัฒนาแหล่งน้ำในลุ่มน้ำสวย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุพิน จันดา. 2540. **การพยากรณ์สภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วงศ์สถิตย์ บุญธัญญากรณ์. 2545. **การศึกษาคุณลักษณะทางอุทกศาสตร์ของลุ่มน้ำมูลโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ. 2546. **การวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดของลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา และลุ่มน้ำคลองชุมพร โดยแบบจำลองทางอุทกวิทยา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีระชัย ชูพิศาลยโรจน์. 2530. **การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำป่าสักโดยวิธีแบบจำลองถัง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วีระพล แต้สมบัติ. 2538. **หลักอุทกวิทยา**. ห้างหุ้นส่วนจำกัด สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

วันชัย ประไพสุวรรณ. 2534. **การประเมินหาน้ำท่ารายเดือนโดยใช้วิธี Linear Programming**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริกัญญา แสงสว่าง. 2547. **การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองทางอุทกวิทยา ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2546. **ข้อมูลปริมาณฝนรายวันและปริมาณน้ำท่ารายวัน**.

อวิรุทธ์ สุขสมอรรถ. 2538. **การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลอง RIBAMAN (RBM-DOGGS).** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Arcelus, E.A. 2000. Coupling Two Hydrological Models to Compute Runoff in Ungauged Basins. **Journal of Hydrology**. 101 (2000): 301-309.

Danish Hydraulic Institute. 1992. **MIKE 11 Reference Manual HΦrsholm** 469 p.

Danish Hydraulic Institute. 1992. **MIKE 11 User Manual HΦrsholm** 385 p.

Danish Hydraulic Institute. 1992. **NAM DOCUMENTATION AND USER'S GUIDE** 70 p.

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

Poomthaisong, A., 1997. **Flood control investigation of upper Nam river Yot and Yao tributaries**. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

U.S. Soil Conservation Service, 1985. **National Engineering Handbook,** Section 4, Hydrology. Water Resources Publication, Colorado. 614 p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

ตารางผนวกที่ ก1(ต่อ) ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พิกัด		ช่วงปีสถิติข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
1. อ.เมือง	เชียงใหม่	07013	18-50-23	98-58-32	2457-2543
2. อ.สารภี	เชียงใหม่	07022	18-42-48	99-02-29	2464-2543
3. อ.สันกำแพง	เชียงใหม่	07032	18-44-39	99-07-28	2464-2543
4. อ.สันทราย	เชียงใหม่	07042	18-50-51	99-02-54	2464-2543
5. อ.ดอยสะเก็ต	เชียงใหม่	07052	18-52-08	99-08-22	2464-2543
6. อ.แม่ริม	เชียงใหม่	07062	18-54-47	99-56-52	2464-2543
7. อ.หางดง	เชียงใหม่	07072	18-41-10	98-55-19	2466-2543
8. อ.สันป่าตอง	เชียงใหม่	07082	18-37-37	98-53-56	2466-2543
9. อ.ฮอด	เชียงใหม่	07092	18-11-26	98-36-52	2464-2543
10. อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07112	19-07-08	98-56-52	2464-2543
11. อ.พร้าว	เชียงใหม่	07122	19-21-52	99-12-17	2464-2543
12. อ.เชียงดาว	เชียงใหม่	07132	19-21-53	98-58-00	2464-2543
13. อ.สะเมิง	เชียงใหม่	07142	18-50-52	98-44-09	2464-2543
14. อ.แม่แจ่ม	เชียงใหม่	07152	18-29-54	98-21-54	2474-2543
15. อ.อมก๋อย	เชียงใหม่	07162	17-47-45	98-21-36	2495-2543
16. อ.จอมทอง	เชียงใหม่	07182	18-24-57	98-40-47	2465-2543
17. บ้านแอ่น กิ่ง อ.ดอยเต่า	เชียงใหม่	07192	18-03-00	98-38-43	2502-2543
18. วังหลวง	เชียงใหม่	07202	-	-	2502-2511
19. บ้านหมุดกา	เชียงใหม่	07212	-	-	2502-2510
20. นิคมสร้างตนเอง ดอยเชียงดาว	เชียงใหม่	07232	19-15-36	98-55-19	2504-2515
21. อุทยานแห่งชาติ ดอยสุเทพ - ปุย	เชียงใหม่	07242	18-48-10	98-55-30	2504-2543
22. ศูนย์วิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำ ดอยเชียงดาว	เชียงใหม่	07252	19-16-07	98-58-32	2507-2543
23. พระตำหนักภูพิงค์ ดอยบวกห้า	เชียงใหม่	07262	18-48-24	98-54-12	2508-2543
24. ศูนย์วิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า	เชียงใหม่	07272	18-50-00	98-52-00	2509-2520
25. ศูนย์ปลูกพันธุ์ไม้ ดอยบ่อแก้ว อ.ยอด	เชียงใหม่	07282	18-09-01	98-23-35	2509-2543
26. สถานีทดลองข้าว สันป่าตอง	เชียงใหม่	07292	18-36-40	98-54-02	2505-2543
27. สถานีอากาศเกษตรแม่โจ้ อ.สันทราย	เชียงใหม่	07304	18-53-48	99-00-39	2516-2543
28. สถานีทดลองป่าไม้ จ.เชียงใหม่	เชียงใหม่	07314	-	-	2502-2507
29. โครงการปรับปรุงห้วยแม่ใน	เชียงใหม่	07322	-	-	2513-2517
30. แก่งกึ๊ด (P. - 13) อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07331	19-12-45	98-52-12	2495-2523
31. แม่กวง (P. - 25) อ.ดอยสะเก็ต	เชียงใหม่	07341	18-55-04	99-07-50	2507-2541
32. แม่งัด	เชียงใหม่	07361	-	-	2511-2541
33. ศูนย์อุทกวิทยาที่ 1 สำนักงานชลประทานที่ 1	เชียงใหม่	07391	18-47-21	99-01-01	2514-2543

ตารางผนวกที่ ก1(ต่อ) ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พิกัด		ช่วงปีสถิติข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
34. ไซฟอนห้วยแม่แฝก อ.สันทราย	เชียงใหม่	07420	18-59-44	98-59-00	2478-2541
35. ไซฟอนห้วยแม่โจ้	เชียงใหม่	07430	18-54-06	99-01-14	2478-2541
36. ไซฟอนห้วยแก้ว	เชียงใหม่	07440	19-02-33	98-58-52	2478-2534
37. ไซฟอนห้วยแม่เตาไห	เชียงใหม่	07450	18-55-57	99-00-02	2478-2541
38. ประตูระบายน้ำโครงการ แม่แฝก	เชียงใหม่	07460	18-52-40	99-05-08	2478-2541
39. นิคมสร้างตนเองเขื่อนภูมิพล กิ่ง อ.ดอยเต่า	เชียงใหม่	07472	17-55-00	98-41-00	2512-2543
40. ฝายสนธุกิจปรีชา (ฝายแม่แฝก)	เชียงใหม่	07480	19-06-08	98-57-21	2478-2541
41. สวนป่าแม่หอพระ อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07502	19-04-00	99-13-00	2515-2543
42. โครงการแม่ปิงเก่า	เชียงใหม่	07510	18-41-22	98-58-20	2513-2532
43. หัวงานแม่แตง	เชียงใหม่	07520	19-09-16	98-55-22	2517-2534
44. ไซฟอนแม่ฮ่องฮัก (ตอน 1) อ.ดอยสะเก็ต	เชียงใหม่	07530	18-52-35	99-08-48	2517-2541
45. ไซฟอนแม่โป่ง (ตอน 2) อ.ดอยสะเก็ต	เชียงใหม่	07540	18-49-17	99-10-32	2517-2541
46. บ้านล้มวัวแดง (ตอน 3) อ.สันกำแพง	เชียงใหม่	07550	18-44-26	99-09-37	2502-2541
47. ศูนย์อุตสาหกรรมเหมืองแร่สะเมิง	เชียงใหม่	07562	18-49-14	98-34-26	2519-2521
48. โครงการหลวงพัฒนาต้นน้ำหน่วยที่ 5 ขุนวาง	เชียงใหม่	07574	-	-	2518-2519
49. ห้วยแม่ลาย (P. - 36) อ.สันกำแพง	เชียงใหม่	07581	18-51-25	99-17-12	2520-2528
50. บ้านปางเติม (P. - 41) อ.สันป่าตอง	เชียงใหม่	07591	18-37-00	98-44-43	2522-2542
51. เมืองโขง อ.เชียงดาว	เชียงใหม่	07605	19-23-00	98-43-06	2515-2537
52. โครงการขุด	เชียงใหม่	07614	-	-	2515-2537
53. ห้วยแม่กา อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07625	18-17-21	98-19-12	2514-2522
54. แม่แจ่ม	เชียงใหม่	07634	-	-	2513-2524
55. แก่งออบหลวง อ.แม่แจ่ม	เชียงใหม่	07645	18-13-30	98-28-00	2514-2534
56. สำนักโครงการเกษตรกรรมจอมทอง	เชียงใหม่	07652	-	-	2525-2543
57. เขื่อนแม่งัด	เชียงใหม่	07665	19-09-00	99-02-00	2526-2530
58. โครงการแม่งัด (P. -28A)	เชียงใหม่	07670	19-10-10	99-03-09	2527-2541
59. บ้านคลองหิน อ.ฮอด	เชียงใหม่	07695	18-10-30	98-36-00	2528-2541
60. กิ่ง อ.เวียงแหง	เชียงใหม่	07702	-	-	2532-2543
61. สวนป่าแม่แจ่ม	เชียงใหม่	07714	-	-	2531-2543
62. หน่วยพัฒนาเคลื่อนที่ 32 กรป.กลาง	เชียงใหม่	07722	-	-	2532-2543
63. บ้านแม่ตื๋น (P. - 46) อ.อมก๋อย	เชียงใหม่	07731	-	-	2533-2543
64. วิจัยการใช้น้ำชลประทานแม่แตง	เชียงใหม่	07740	-	-	2529-2540
65. แม่น้ำแม่แตง (P. - 65) อ.เวียงแหง	เชียงใหม่	07751	-	-	2538-2543
66. อ.เมือง	ลำพูน	17012	18-34-38	99-00-34	2463-2543

ตารางผนวกที่ ก1(ต่อ) ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พิกัด		ช่วงปีสถิติข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
67. อ.ลี้	ลำพูน	17022	17-48-01	98-57-17	2464-2543
68. อ.ป่าซาง	ลำพูน	17032	18-31-25	98-56-38	2464-2543
69. อ.แม่ทา	ลำพูน	17042	18-27-35	99-08-14	2466-2543
70. อ.บ้านโฮ่ง	ลำพูน	17052	18-18-52	98-49-21	2465-2543
71. บ้านเกาะ	ลำพูน	17062	17-39-20	98-46-30	2502-2543
72. สถานีทดลองป่าไม้ อ.แม่ลี้	ลำพูน	17074	-	-	2516-2543
73. บ้านดอนหมุน (P.42)	ลำพูน	17080	-	-	2521-2543
74. สถานีอากาศเกษตร จ.ลำพูน	ลำพูน	17093	18-35-00	99-20-00	2523-2543
75. บ้านหนองหอย (P.44)	ลำพูน	17101	18-35-12	99-09-27	2526-2541
76. แม่ขนัด (P.53)	ลำพูน	17111	18-23-11	99-00-37	2529-2530

ที่มา: กรมชลประทาน (2546)

ตารางผนวกที่ ก2 ปริมาณฝนรายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)														
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)	รายปี
จ.เชียงใหม่																
1. อ.เมือง	07013	50.06	150.01	130.79	161.88	221.51	233.80	126.35	43.80	14.17	5.53	7.07	17.48	1,024.34	138.12	1,162.46
2. อ.สารภี	07022	31.39	122.31	102.92	117.45	151.28	184.84	111.54	20.95	7.58	4.95	4.46	13.42	790.34	82.75	873.08
3. อ.สันกำแพง	07032	34.43	110.14	100.98	131.60	173.16	181.24	86.70	21.68	7.61	2.48	3.39	10.61	783.82	80.20	864.02
4. อ.สันทราย	07042	40.72	127.25	118.63	151.12	196.25	190.55	100.03	23.05	8.91	5.09	5.52	12.60	883.82	95.89	979.72
5. อ.ดอยสะเก็ด	07052	46.77	142.98	139.56	179.59	224.93	227.72	104.05	32.07	11.50	4.84	6.67	12.72	1,018.83	114.58	1,133.41
6. อ.แม่ริม	07062	43.82	148.76	127.04	162.30	203.48	192.62	112.95	23.61	10.16	4.74	4.09	12.90	947.14	99.31	1,046.45
7. อ.หางดง	07072	49.04	142.60	125.63	153.86	198.32	219.10	127.21	32.70	12.74	5.58	7.05	13.12	966.72	120.23	1,086.95
8. อ.สันป่าตอง	07082	40.34	116.55	91.42	123.11	145.38	193.31	110.21	33.93	10.45	5.78	3.91	8.16	779.99	102.56	882.55
9. อ.ฮอด	07092	47.12	134.58	109.03	98.98	130.76	198.04	137.32	38.91	9.44	7.42	7.40	14.98	808.71	125.27	933.97
10. อ.แม่แตง	07112	41.86	147.70	154.85	196.17	243.46	211.99	97.92	31.32	11.13	7.59	5.00	15.73	1,052.08	112.62	1,164.70
11. อ.พร้าว	07122	56.66	165.23	133.55	180.51	236.72	182.13	84.86	26.31	13.25	8.44	5.65	15.58	983.00	125.89	1,108.89
12. อ.เชียงดาว	07132	66.05	179.52	168.99	201.76	243.27	198.76	109.04	29.04	14.24	6.40	6.48	25.18	1,101.34	147.39	1,248.73
13. อ.สะเมิง	07142	56.27	192.70	185.55	192.82	246.91	241.95	110.40	29.41	7.53	5.37	3.89	12.21	1,170.34	114.67	1,285.01
14. อ.แม่แจ่ม	07152	37.66	119.11	127.80	147.35	187.13	194.43	81.55	12.37	5.06	3.10	2.81	16.42	857.38	77.42	934.79
15. อ.อมก๋อย	07162	46.55	153.16	99.38	97.15	131.37	181.09	124.14	31.00	5.86	6.40	7.01	8.87	786.29	105.69	891.99
16. อ.จอมทอง	07182	47.12	141.96	82.86	98.09	143.08	191.03	134.63	49.67	11.42	9.07	9.40	17.34	791.65	144.02	935.67
17. บ้านแอ่น กิ่ง อ.ดอยเต่า	07192	41.66	139.92	98.47	96.87	142.16	199.01	147.11	48.96	8.29	10.38	8.39	14.23	823.54	131.91	955.44
18. วังหลวง	07202	53.69	137.86	88.23	113.46	139.41	167.79	177.31	35.67	8.33	6.38	4.36	20.39	824.06	128.81	952.87
19. บ้านหมุดกา	07212	28.43	163.46	79.53	98.78	120.89	242.98	211.38	37.18	11.63	7.12	13.48	10.23	917.01	108.07	1,025.08
20. นิคมสร้างตนเองดอยเชียงดาว	07232	40.94	196.61	148.16	211.73	303.57	231.56	139.01	24.03	13.13	2.96	0.48	11.96	1,230.64	93.49	1,324.13

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ) ปริมาณฝนรายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)														
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)	รายปี
21. อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ - ปุย	07242	63.79	215.03	189.03	243.22	299.25	301.20	187.30	61.77	28.96	9.21	7.16	23.29	1,435.03	194.16	1,629.20
22. ศูนย์วิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำดอยเชียงดาว	07252	55.65	194.70	190.91	260.11	306.67	247.74	139.87	45.41	18.20	8.41	3.04	18.03	1,340.00	148.75	1,488.75
23. พระตำหนักภูพิงค์ดอยบวกห้า	07262	64.29	246.37	209.93	251.64	318.22	341.73	207.44	75.73	26.45	10.22	5.32	27.39	1,575.33	209.40	1,784.73
24. ศูนย์วิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า	07272	87.08	225.29	256.37	269.80	384.94	423.61	230.63	148.57	32.56	30.41	3.57	7.37	1,790.64	309.54	2,100.19
25. ศูนย์ปลูกพันธุ์ไม้ดอยบ่อแก้ว อ.ยอด	07282	58.44	187.11	130.81	111.80	151.04	229.93	141.21	54.63	11.13	8.21	5.79	18.04	951.90	156.24	1,108.13
26. สถานีทดลองข้าว สันป่าตอง	07292	51.25	123.55	98.55	120.08	165.37	190.13	130.69	44.71	14.14	3.74	3.73	14.34	828.37	131.92	960.28
27. สถานีอากาศเกษตรแม่โจ้ อ.สันทราย	07304	50.64	162.97	114.96	168.66	193.78	191.09	107.33	35.44	20.95	10.05	7.22	11.61	938.78	135.91	1,074.69
28. สถานีทดลองป่าไม้ จ.เชียงใหม่	07314	26.92	133.48	119.97	165.47	220.38	259.05	126.63	26.95	23.90	10.32	1.02	2.07	1,024.98	91.17	1,116.15
29. โครงการปรับปรุงห้วยแม่ใน	07322	58.20	301.43	286.10	400.38	418.30	363.60	232.10	54.42	29.74	2.02	0.00	32.36	2,001.91	176.74	2,178.65
30. แก่งกื๊ด (P. - 13) อ.แม่แตง	07331	54.11	234.06	247.34	281.41	374.09	272.06	149.47	37.06	22.60	16.39	3.06	12.53	1,558.45	145.76	1,704.21
31. แม่กวง (P. - 25) อ.ดอยสะเก็ด	07341	39.79	166.29	152.84	178.27	254.79	217.65	120.15	33.33	11.87	12.14	5.21	8.33	1,089.99	110.69	1,200.67
32. แม่งัด	07361	33.59	157.58	176.16	208.84	302.08	210.94	94.65	27.95	13.45	18.19	0.95	15.15	1,150.25	109.28	1,259.53
33. ศูนย์อุทกวิทยาที่ 1 สำนักงานชลประทานที่ 1	07391	46.81	140.59	114.26	140.39	206.50	191.62	102.23	45.87	14.28	9.36	5.67	19.72	895.59	141.71	1,037.30
34. ไซฟอนห้วยแม่แฝก อ.สันทราย	07420	28.26	118.17	134.37	156.72	200.43	205.18	107.71	28.05	10.30	5.58	4.20	4.15	922.58	80.53	1,003.11
35. ไซฟอนห้วยแม่โจ้	07430	35.42	132.41	132.60	174.35	211.35	220.73	108.31	22.54	13.54	5.16	5.64	7.65	979.76	89.95	1,069.71
36. ไซฟอนห้วยแก้ว	07440	31.54	138.17	146.56	171.59	218.07	239.05	109.33	30.96	13.09	8.98	4.22	6.30	1,022.77	95.10	1,117.86
37. ไซฟอนห้วยแม่เตาไห	07450	39.05	141.90	130.22	165.98	199.07	206.69	101.53	28.48	10.31	6.32	4.77	4.88	945.39	93.81	1,039.20
38. ประตูระบายน้ำโครงการแม่แฝก	07460	39.53	131.17	133.58	184.22	221.78	218.54	101.70	23.75	12.41	5.07	5.45	6.05	990.99	92.26	1,083.25
39. นิคมสร้างตนเองเขื่อนภูมิพล กิ่ง อ.ดอยเต่า	07472	53.48	143.64	92.74	85.77	137.80	193.53	134.79	48.83	9.47	9.45	5.19	20.67	788.28	147.10	935.37

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ) ปริมาณฝนรายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)														
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)	รายปี
40. ฝายสนธุกิจปรีชา (ฝายแม่แฝก)	07480	37.80	152.63	165.59	189.98	231.82	242.93	99.86	29.39	9.89	7.18	5.24	11.33	1,082.81	100.83	1,183.64
41. สวนป่าแม่หอพระ อ.แม่แตง	07502	36.49	158.39	146.54	191.20	230.20	221.70	115.15	46.91	13.78	9.39	5.62	15.64	1,063.17	127.82	1,190.99
42. โครงการแม่ปิงเก่า	07510	40.19	133.77	120.39	150.82	169.62	178.88	127.26	38.34	23.96	11.86	2.35	6.01	880.74	122.72	1,003.45
43. หัวงานแม่แตง	07520	36.83	151.86	183.86	207.72	246.11	206.90	113.20	57.23	22.85	13.42	5.87	6.78	1,109.65	142.97	1,252.62
44. ไซฟอนแม่ฮ่องฮัก (ตอน 1) อ.ดอยสะเก็ต	07530	41.24	149.16	148.40	168.87	208.38	201.23	108.65	28.89	8.08	10.85	3.91	2.26	984.68	95.24	1,079.92
45. ไซฟอนแม่โป่ง (ตอน 2) อ.ดอยสะเก็ต	07540	40.37	160.19	152.57	158.68	200.81	198.56	96.70	32.11	7.62	7.83	3.22	1.21	967.51	92.36	1,059.87
46. บ้านส้มวัวแดง (ตอน 3) อ.สันกำแพง	07550	40.02	152.57	124.99	137.37	186.20	202.91	102.18	29.39	5.44	5.07	2.50	3.98	906.21	86.40	992.61
47. ศูนย์อุตสาหกรรมเหมืองแร่สะเมิง	07562	63.30	118.90	89.27	143.00	242.30	266.33	227.95	33.35	28.95	55.50	0.20	3.50	1,087.75	184.80	1,272.55
48. โครงการหลวงพัฒนาต้นน้ำหน่วยที่ 5 ขุนวาง	07574	66.30	363.80	385.05	321.65	703.70	512.80	257.80	88.20	64.00	0.00	0.00	0.00	2,544.80	218.50	2,763.30
49. ห้วยแม่ลาย (P. - 36) อ.สันกำแพง	07581	61.28	194.28	147.28	243.90	242.43	258.61	183.74	56.68	10.74	6.08	5.43	8.76	1,270.24	148.97	1,419.21
50. บ้านปางเติม (P. - 41) อ.สันป่าตอง	07591	46.23	185.69	123.39	118.66	179.64	170.94	156.17	70.53	9.30	0.33	1.18	3.21	934.49	130.79	1,065.27
51. เมืองโขง อ.เชียงดาว	07605	54.60	184.08	170.54	191.88	257.58	209.51	133.70	52.76	21.12	13.59	5.93	16.72	1,147.29	164.71	1,312.00
52. โครงการขุด	07614	50.10	242.73	237.35	275.55	307.36	273.98	144.09	61.27	19.59	11.01	3.74	11.93	1,481.07	157.63	1,638.70
53. ห้วยแม่กา อ.แม่แตง	07625	63.28	143.13	117.03	136.50	197.77	175.49	98.74	30.89	7.50	22.85	6.04	14.65	868.65	145.20	1,013.85
54. แม่แจ่ม	07634	33.74	142.71	148.58	150.24	184.93	161.34	56.84	12.72	6.65	13.42	1.80	14.93	844.65	83.26	927.91
55. แก่งออบหลวง อ.แม่แจ่ม	07645	49.39	189.86	150.16	116.12	147.81	203.90	146.76	62.84	7.75	9.49	3.82	14.08	954.59	147.36	1,101.95
56. สำนักโครงการเกษตรกรรมจอมทอง	07652	64.88	123.63	81.59	75.64	141.58	142.68	122.21	47.44	4.69	2.42	6.36	19.21	687.34	144.98	832.33
57. เขื่อนแม่งัด	07665	38.16	123.85	208.72	147.34	235.95	211.40	141.44	102.80	16.34	0.00	7.44	3.66	1,068.70	168.40	1,237.10

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ) ปริมาณฝนรายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)														
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)	รายปี
58. โครงการแม่งัด (P. -28A)	07670	39.39	129.61	189.95	198.94	225.97	196.01	100.48	46.25	13.10	1.98	6.73	18.83	1,040.95	126.28	1,167.23
59. บ้านคลองหิน อ.ฮอด	07695	53.73	110.28	82.35	90.56	136.17	184.81	130.65	51.30	16.28	3.32	8.72	18.40	734.81	151.76	886.57
60. กิ่ง อ.เวียงแหง	07702	62.42	161.05	112.21	199.16	222.98	175.41	66.57	35.63	12.91	0.88	11.41	31.80	937.38	155.05	1,092.43
61. สวนป่าแม่แจ่ม	07714	87.89	174.96	117.37	139.12	168.90	189.62	105.10	24.35	12.25	2.30	14.46	25.74	895.07	166.99	1,062.06
62. หน่วยพัฒนาเคลื่อนที่ 32 กรป.กลาง	07722	63.17	125.75	108.92	167.84	197.05	158.16	79.13	32.85	11.91	4.73	16.55	33.51	836.85	162.72	999.57
63. บ้านแม่ตื่น (P. - 46) อ.อมก๋อย	07731	71.57	160.88	86.51	103.32	154.98	210.90	107.08	24.05	15.08	2.35	14.75	34.90	823.67	162.69	986.36
64. วิจัยการใช้น้ำชลประทานแม่แตง	07740	40.60	131.52	160.51	214.34	197.12	170.24	83.42	39.77	15.68	0.48	5.35	18.88	957.17	120.75	1,077.92
65. แม่น้ำแม่แตง (P. - 65) อ.เวียงแหง	07751	91.97	256.24	88.92	187.26	224.18	157.78	69.93	20.82	4.47	12.33	19.85	23.18	984.31	172.62	1,156.93
จ.ลำพูน																
66. อ.เมือง	17012	45.17	123.51	115.41	121.05	158.47	217.02	128.29	28.48	7.26	4.49	4.57	12.04	863.74	102.01	965.76
67. อ.ลี้	17022	65.70	175.75	124.10	124.80	183.01	250.55	124.91	31.25	6.96	5.36	6.89	15.48	983.13	131.64	1,114.77
68. อ.ป่าซาง	17032	54.90	142.09	102.77	117.62	160.98	180.32	114.49	32.53	12.00	6.08	4.27	15.36	818.26	125.15	943.41
69. อ.แม่ทา	17042	54.86	163.68	149.53	158.69	192.82	207.30	124.75	28.39	6.19	5.17	5.98	16.85	996.78	117.44	1,114.21
70. อ.บ้านโฮ่ง	17052	61.62	157.54	103.86	89.50	141.97	217.56	143.29	50.54	11.30	5.67	5.63	19.33	853.72	154.09	1,007.81
71. บ้านเกาะ	17062	61.51	158.85	85.02	97.94	146.58	217.44	150.05	40.02	10.68	5.36	7.61	19.75	855.86	144.92	1,000.79
72. สถานีทดลองป่าไม้ อ.แม่ลี้	17074	56.58	163.63	108.29	112.86	155.63	221.31	141.17	43.71	8.04	10.90	9.89	24.49	902.89	153.60	1,056.49
73. บ้านดอนหมุน (P.42)	17080	55.13	166.85	109.74	122.58	172.66	204.93	124.22	37.66	9.60	3.57	7.90	22.79	900.99	136.66	1,037.65
74. สถานีอากาศเกษตร จ.ลำพูน	17093	42.04	146.38	123.19	118.16	156.00	190.18	107.83	47.24	10.09	2.25	5.66	15.05	841.73	122.33	964.06
75. บ้านหนองหอย (P.44)	17101	30.65	217.30	83.25	169.20	103.65	139.33	115.13	48.13	1.18	3.15	2.65	1.90	827.85	87.65	915.50
76. แม่ขนัด (P.53)	17111	45.40	95.25	175.45	91.85	189.95	147.15	99.05	78.95	2.25	0.00	0.40	14.35	798.70	141.35	940.05

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ

ตารางผนวกที่ ก3(ต่อ) ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัส สถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	พิกัด		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
1. แม่น้ำปิง ที่สะพานนวรัฐ	เชียงใหม่	P.1	6,355	18-47-09	99-00-29	2464-2543
2. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าแค	ตาก	P.2A	38,862	16-51-14	99-07-50	2495-2542
3. น้ำแม่แตง ที่บ้านห้วยเหี้ย	เชียงใหม่	P.4	1,834	19-09-49	98-55-03	2496-2500
4. น้ำแม่แตง ที่แม่แตง	เชียงใหม่	P.4A	1,902	19-07-15	98-56-51	2498-2543
5. น้ำแม่แตง ที่บ้านห้วยเหี้ย	เชียงใหม่	P.4B	1,833	19-10-20	98-55-05	2500-2508
6. น้ำแม่กวง ที่ลำพูน	ลำพูน	P.5	1,569	18-34-32	99-00-44	2497-2535
7. น้ำแม่กวง ที่บ้านท่าจาก	ลำพูน	P.5A	1,740	18-32-32	98-58-17	2536-2537
8. แม่น้ำปิง ที่ผาวิ่งจู	เชียงใหม่	P.6A	19,233	18-05-37	98-36-53	2496-2500
9. แม่น้ำปิง ที่กำแพงเพชร	กำแพงเพชร	P.7	42,704	16-28-15	99-31-51	2496-2503
10. แม่น้ำปิง ที่บ้านห้วยยาง	กำแพงเพชร	P.7A	42,700	16-28-38	99-31-06	2521-2542
11. แม่น้ำปิง ที่วังกระเจ้า	ตาก	P.12	26,396	17-14-30	99-00-45	2495-2538
12. น้ำแม่แตง ที่แก่งกึ๊ด	เชียงใหม่	P.13	1,765	19-12-38	98-52-20	2495-2523
13. น้ำแม่แจ่ม ที่แก่งออบหลวง	เชียงใหม่	P.14	3,853	18-13-49	98-33-35	2497-2543
14. น้ำแม่แจ่ม ที่ฮอด	เชียงใหม่	P.14A	3,909	18-12-02	98-37-01	2511-2511
15. แม่น้ำปิง ที่คลองขลุง	กำแพงเพชร	P.15	43,805	16-12-50	99-43-26	2521-2542
16. แม่น้ำปิง ที่ขาณุวรลักษบุรี	กำแพงเพชร	P.16	45,677	16-03-42	99-51-51	2522-2542
17. แม่น้ำปิง ที่บรรพตพิสัย	นครสวรรค์	P.17	45,851	15-56-02	99-58-49	2497-2542
18. แม่น้ำปิง ที่สะพานวุฒิกุล	ตาก	P.18	40,273	16-40-57	99-16-40	2497-2498
19. คลองวังเจ้า ที่บ้านวังเจ้า	ตาก	P.18A	650	16-40-39	99-16-36	2497-2498
20. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าศาลา	เชียงใหม่	P.19A	14,023	18-25-19	98-42-11	2501-2535
21. แม่น้ำปิง ที่เชียงดาว	เชียงใหม่	P.20	1,355	19-21-09	98-58-25	2522-2542
22. น้ำแม่ริม ที่แม่ริม	เชียงใหม่	P.21	515	18-55-29	98-56-34	2497-2543
23. น้ำแม่สา ที่บ้านแม่สาน้อย	เชียงใหม่	P.22	135	18-53-45	98-57-12	2497-2511
24. น้ำแม่ขาน ที่บ้านแม่ขาน	เชียงใหม่	P.23	1,777	18-31-37	98-51-42	2498-2530
25. น้ำแม่กลาง ที่บ้านสบใต้	เชียงใหม่	P.24	616	18-23-15	98-40-51	2498-2516
26. น้ำแม่กลาง ที่สะพานประชาอุทิศ	เชียงใหม่	P.24A	460	18-25-01	98-40-29	2516-2543
27. น้ำแม่กวง ที่บ้านผาแตก	เชียงใหม่	P.25	572	18-55-04	99-07-50	2507-2511
28. คลองสวนหมากที่บ้านใหญ่	กำแพงเพชร	P.26	968	16-26-54	99-25-57	2507-2530
29. คลองสวนหมากที่ท้ายฝายท่ากระดาน	กำแพงเพชร	P.26A	969	16-26-57	99-26-27	2515-2542
30. ห้วยแม่ใน ที่บ้านป่าม่วง	เชียงใหม่	P.27	24	18-54-23	98-54-59	2508-2512
31. ห้วยแม่ใน ที่บ้านแม่ใน	เชียงใหม่	P.27A	18	18-53-18	98-55-00	2510-2522
32. น้ำแม่งัด ที่บ้านใหม่	เชียงใหม่	P.28	1,261	19-10-07	99-03-01	2509-2522
33. น้ำแม่ลี้ ที่บ้านโฮ่ง	ลำพูน	P.29	1,970	18-18-35	98-49-35	2512-2530

ตารางผนวกที่ ก3(ต่อ) ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	พิกัด		ช่วงปีสถิติข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
34. น้ำแม่กวง ที่เกี๋ยงคาใหม่	เชียงใหม่	P.30	466	18-56-35	99-08-20	2510-2522
35. คลองแม่ระกา ที่บ้านคลองประดู่	ตาก	P.32	342	16-55-27	99-18-09	2514-2532
36. น้ำแม่กวง ที่บ้านผาแตก	เชียงใหม่	P.34	566	18-56-22	99-07-25	2517-2525
37. คลองขลุง ที่บ้านปางหวาย	กำแพงเพชร	P.35	730	16-04-22	99-24-18	2517-2542
38. น้ำแม่ลาย ที่บ้านห้วยแก้ว	เชียงใหม่	P.36	35	18-51-26	99-17-12	2520-2526
39. ห้วยแม่แพม ที่สะพานทางหลวง	เชียงใหม่	P.37	14	18-50-48	99-16-22	2520-2526
40. น้ำแม่สาน ที่บ้านจำขี้มด	ลำพูน	P.38	34	18-30-41	99-08-09	2522-2525
41. น้ำแม่วาง ที่บ้านปางเติม	เชียงใหม่	P.41	426	18-37-00	98-44-43	2522-2533
42. น้ำแม่ลี้ ที่บ้านบอนใหม่	ลำพูน	P.42	315	17-53-16	99-05-20	2521-2543
43. น้ำแม่ตื๊บ ที่บ้านหนองหอย	ลำพูน	P.44	35	18-35-12	99-09-27	2526-2528
44. คลองสวนหมากที่บ้านโป่งน้ำร้อน	กำแพงเพชร	P.47	521	16-20-03	99-16-29	2526-2542
45. น้ำแม่สะปวด ที่บ้านแม่สะปวดใน	ลำพูน	P.48	74	18-25-21	99-05-15	2526-2531
46. น้ำแม่ขนัด ที่บ้านแม่ขนัด	ลำพูน	P.53	146	18-23-11	99-00-37	2527-2530
47. น้ำแม่ตื่น ที่บ้านแม่ตื่น	เชียงใหม่	P.63	45	18-32-31	98-42-22	2530-2533
48. น้ำแม่ตื่น ที่สะพานทางหลวง	เชียงใหม่	P.64	336	17-47-01	98-22-31	2533-2543
49. แม่แตง ที่บ้านเหมืองป๊อก	เชียงใหม่	P.65	240	19-38-10	98-38-19	2535-2543
50. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าใหม่อิ	เชียงใหม่	P.66	6,367	18-43-12	98-59-23	2537-2537

ที่มา: กรมชลประทาน (2546)

ตารางผนวกที่ ก4 ปริมาณน้ำท่ารายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)															Annual Yield (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)
			เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)	รายปี	
1. แม่น้ำปิง ที่สะพานนวรัฐ	P.1	6,355	37.06	76.98	113.16	145.85	307.79	416.05	285.20	170.03	120.00	71.59	44.21	37.51	1,345.03	480.39	1,825.43	9.11
2. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าแค	P.2A	38,862	546.24	509.55	475.12	487.29	689.04	1,086.00	1,012.96	597.25	386.18	353.01	441.10	591.16	4,259.95	2,914.94	7,174.90	5.85
3. น้ำแม่แตง ที่บ้านห้วยเหี้ย	P.4	1,834	17.87	38.26	57.12	51.58	117.56	159.00	117.53	75.03	55.10	38.80	20.35	16.13	541.05	223.27	764.32	13.22
4. น้ำแม่แตง ที่แม่แตง	P.4A	1,902	6.35	22.45	36.27	33.62	92.39	111.18	74.16	61.01	39.00	15.74	8.67	7.09	370.07	137.86	507.93	8.47
5. น้ำแม่แตง ที่บ้านห้วยเหี้ย	P.4B	1,833	15.00	26.26	34.20	49.37	93.69	135.43	121.03	64.89	42.49	30.60	21.24	17.29	459.97	191.50	651.47	11.27
6. น้ำแม่กวงที่ลำพูน	P.5	1,569	4.35	14.47	20.08	33.55	109.99	179.13	117.61	60.58	14.88	5.30	4.07	2.93	474.84	92.12	566.96	11.46
7. น้ำแม่กวง ที่บ้านท่าจาก	P.5A	1,740	7.60	6.43	17.28	12.13	103.51	142.53	39.96	18.65	4.40	2.27	1.93	2.58	321.83	37.42	359.24	6.55
8. แม่น้ำปิงที่ผาวิ่งชู	P.6A	19,233	46.43	205.73	313.60	246.60	758.60	1,269.40	767.80	383.80	230.80	127.30	72.12	53.25	3,561.73	913.70	4,475.42	7.38
9. แม่น้ำปิง ที่กำแพงเพชร	P.7	42,704	48.77	275.16	441.50	390.23	939.70	2,096.10	1,722.57	522.05	318.18	165.07	93.65	45.77	5,865.25	1,193.49	7,058.74	5.24
10. แม่น้ำปิง ที่บ้านห้วยยาง	P.7A	42,700	665.44	577.95	485.97	434.60	510.81	654.65	750.98	520.93	294.52	312.95	495.41	715.63	3,414.95	3,004.88	6,419.83	4.77
11. แม่น้ำปิง ที่วังกระเจ้า	P.12	26,396	454.79	383.17	344.62	393.27	508.99	660.73	533.05	374.48	268.65	250.12	351.22	481.90	2,823.83	2,181.17	5,005.00	6.01

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ) ปริมาณน้ำท่ารายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)															Annual Yield (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)
			เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)	รายปี	
12. น้ำแม่แตง ที่แก่งกึ๊ด	P.13	1,765	16.57	28.21	39.49	56.51	115.13	144.65	113.02	64.39	42.49	31.90	21.65	18.69	497.01	195.70	692.70	12.45
13. น้ำแม่แจ่ม ที่แก่งออบหลวง	P.14	3,853	21.15	44.98	58.58	85.16	178.55	246.49	177.41	103.70	63.91	45.14	28.10	22.21	791.17	284.21	1,075.38	8.85
14. น้ำแม่แจ่งที่ฮอด	P.14A	3,909	35.60	60.86	59.83	88.53	163.76	128.77	184.42	82.51	54.77	42.27	27.29	23.63	686.17	266.07	952.24	7.72
15. แม่น้ำปิง ที่คลองขลุง	P.15	43,805	821.58	830.92	664.88	638.18	619.62	854.08	1,172.07	728.07	370.53	306.90	437.50	651.92	4,779.75	3,316.50	8,096.25	5.86
16. แม่น้ำปิง ที่ขาณุวรลักษบุรี	P.16	45,677	609.12	589.34	580.29	395.68	498.69	908.12	1,020.48	608.08	339.12	264.45	424.47	554.38	3,992.60	2,799.61	6,792.21	4.72
17. แม่น้ำปิง ที่บรรพตพิสัย	P.17	45,851	523.20	562.57	551.99	498.36	714.40	1,244.12	1,365.06	740.57	383.46	294.98	407.46	567.02	4,936.50	2,916.69	7,853.20	5.43
18. แม่น้ำปิง ที่สะพานวุฒิกุล	P.18	40,273	51.00	219.00	797.00	375.00	1,256.00	1,371.00	1,953.00	413.00	289.00	169.00	89.00	45.00	5,971.00	1,056.00	7,027.00	5.53
19. คลองวังเจ้า ที่บ้านวังเจ้า	P.18A	650	1.09	3.84	35.40	9.06	35.80	79.30	117.00	11.10	6.13	5.02	2.66	1.17	280.40	27.17	307.57	15.00
20. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าศาลา	P.19A	14,023	18.25	86.23	142.85	172.49	492.13	811.60	627.62	341.46	166.45	71.14	24.57	17.50	2,332.93	639.38	2,972.31	6.72
21. แม่น้ำปิง ที่เชียงดาว	P.20	1,355	6.86	11.32	19.05	27.46	69.62	90.46	58.06	33.93	20.85	14.82	10.08	7.70	275.97	94.24	370.22	8.66

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ) ปริมาณน้ำท่ารายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)															Annual Yield (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)
			เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)	รายปี	
22. น้ำแม่ริม ที่แม่ริม	P.21	515	2.09	7.16	10.48	12.53	26.23	30.75	21.43	13.29	8.78	4.64	2.50	1.94	108.59	33.24	141.83	8.73
23. น้ำแม่สา ที่บ้านแม่สาน้อย	P.22	135	0.92	1.21	1.36	1.79	3.50	6.33	5.50	2.67	1.87	1.00	0.71	0.93	19.69	8.10	27.79	6.53
24. น้ำแม่ขาน ที่บ้านแม่ขาน	P.23	1,777	3.34	17.54	22.26	21.11	53.82	99.61	72.32	48.49	28.40	13.29	5.29	2.66	286.67	101.46	388.13	6.93
25. น้ำแม่กลาง ที่บ้านสบใต้	P.24	616	3.66	13.97	16.53	15.19	32.18	63.95	59.01	28.50	19.17	10.24	4.78	4.53	200.84	70.87	271.71	13.99
26. น้ำแม่กลาง ที่สะพานประชาอุทิศ	P.24A	460	2.20	8.82	8.77	8.32	17.78	32.37	33.34	24.76	10.74	6.02	2.18	1.87	109.40	47.77	157.17	10.83
27. น้ำแม่กวง ที่บ้านผาแตก	P.25	572	0.00	4.39	2.41	3.79	17.79	43.06	21.09	11.50	9.71	1.07	0.00	0.00	92.52	22.27	114.80	6.36
28. คลองสวนหมาก ที่บ้านใหญ่	P.26	968	1.80	10.16	13.34	11.77	22.14	68.99	77.56	38.57	17.94	6.19	2.92	2.06	203.96	69.47	273.43	8.96
29. คลองสวนหมาก ที่ท้ายฝายท่ากระดาน	P.26A	969	2.67	12.11	17.65	17.40	25.38	65.13	118.09	51.01	13.09	4.95	2.12	1.77	255.76	75.62	331.37	10.84
30. ห้วยแม่ใน ที่บ้านป่าม่วง	P.27	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.20	0.20	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.25	0.98	1.30
31. ห้วยแม่ใน ที่บ้านแม่ใน	P.27A	18	0.32	0.77	1.01	1.04	1.53	1.78	1.62	1.02	0.91	0.80	0.24	0.47	7.76	3.76	11.51	20.28

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ) ปริมาณน้ำท่ารายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)															Annual Yield (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)
			เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)	รายปี	
32. น้ำแม่งัด ที่บ้านใหม่	P.28	1,261	4.82	13.84	18.91	34.66	100.89	89.53	48.59	29.10	17.28	11.89	5.41	4.15	306.41	72.66	379.07	9.53
33. น้ำแม่ลี้ ที่บ้านโฮ่ง	P.29	1,970	2.52	10.08	9.61	6.01	12.39	54.44	49.31	25.88	5.53	2.19	0.51	0.63	141.84	37.26	179.10	2.88
34. น้ำแม่กวง ที่เกี๋ยงคาใหม่	P.30	466	2.92	6.21	10.37	15.90	44.53	37.40	21.89	12.04	8.36	5.83	3.35	2.91	136.28	35.41	171.69	11.68
35. คลองแม่ระกา ที่บ้านคลองประดู่	P.32	342	0.03	3.27	4.52	0.77	2.09	9.45	15.51	3.53	0.32	0.07	0.04	0.04	35.61	4.03	39.64	3.68
36. น้ำแม่กวง ที่บ้านผาแตก	P.34	566	3.70	6.97	9.36	26.63	43.04	49.59	28.39	15.29	8.84	8.30	6.10	4.78	163.98	47.01	210.99	11.82
37. คลองขลุง ที่บ้านปางหวาย	P.35	730	1.42	17.14	19.68	16.16	23.17	70.14	99.46	38.62	8.39	3.66	1.76	1.33	245.74	55.18	300.92	13.07
38. น้ำแม่ลาย ที่บ้านห้วยแก้ว	P.36	35	0.73	0.94	0.82	1.58	2.49	3.26	3.49	1.76	1.04	0.83	0.62	0.59	12.58	5.58	18.16	16.45
39. ห้วยแม่แพม ที่สะพานทางหลวง	P.37	14	0.09	0.17	0.27	0.62	0.98	1.34	0.99	0.56	0.32	0.29	0.21	0.17	4.36	1.64	6.00	13.59
40. น้ำแม่สาน ที่บ้านจำขี้มด	P.38	34	0.19	0.64	0.46	0.47	0.35	1.87	0.80	0.41	0.60	0.21	0.10	0.07	4.59	1.58	6.17	5.76
41. น้ำแม่วาง ที่บ้านปางเดิม	P.41	426	4.82	9.63	13.35	12.35	15.71	25.49	32.94	24.13	13.30	9.32	6.01	4.59	109.46	62.17	171.62	12.78

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ) ปริมาณน้ำท่ารายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)															Annual Yield (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)
			เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)	รายปี	
42. น้ำแม่ลี้ ที่บ้านบอนใหม่	P.42	315	0.31	2.35	2.05	1.72	3.06	10.15	8.37	3.30	1.00	0.48	0.22	0.27	27.70	5.57	33.28	3.35
43. น้ำแม่ติ๊บ ที่บ้านหนองหอย	P.44	35	0.00	0.01	0.09	0.14	0.15	0.69	0.63	0.40	0.16	0.09	0.08	0.10	1.71	0.84	2.55	2.31
44. คลองสวนหมาก ที่บ้านโป่งน้ำร้อน	P.47	521	3.84	10.57	11.02	11.09	15.11	35.51	72.45	36.57	10.78	6.26	4.16	3.50	155.75	65.12	220.87	13.44
45. น้ำแม่สะปวด ที่บ้านแม่สะปวดใน	P.48	74	0.03	0.46	0.69	0.48	0.92	1.17	1.34	0.69	0.15	0.08	0.06	0.02	5.05	1.02	6.07	2.60
46. น้ำแม่ขนัด ที่บ้านแม่ขนัด	P.53	146	0.04	0.25	0.35	0.12	0.46	1.44	1.41	1.57	0.33	0.11	0.07	0.01	4.03	2.12	6.16	1.34
47. น้ำแม่ตื่น ที่บ้านแม่ตื่น	P.63	45	0.07	0.29	0.71	0.58	0.90	1.03	1.72	0.43	0.27	0.22	0.15	0.15	5.23	1.30	6.53	4.60
48. น้ำแม่ตื่น ที่สะพานทางหลวง	P.64	336	2.94	10.03	14.26	26.06	49.91	45.07	37.66	15.85	8.67	4.88	2.72	2.87	182.99	37.93	220.91	20.85
49. แม่แตง ที่บ้านเหมืองปิ๊อก	P.65	240	1.34	3.92	4.67	7.10	20.66	24.04	12.04	5.85	3.85	2.35	1.51	1.37	72.42	16.27	88.69	11.72
50. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าใหม่อิ	P.66	6,367	22.90	64.60	102.20	101.20	730.00	905.60	344.60	201.70	175.20	80.00	30.20	33.80	2,248.20	543.80	2,792.00	13.91

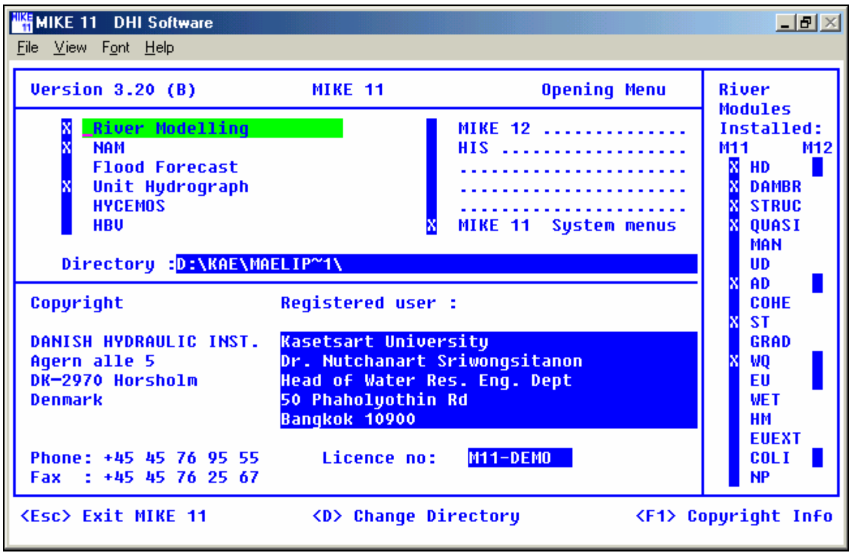
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

ภาคผนวก ข

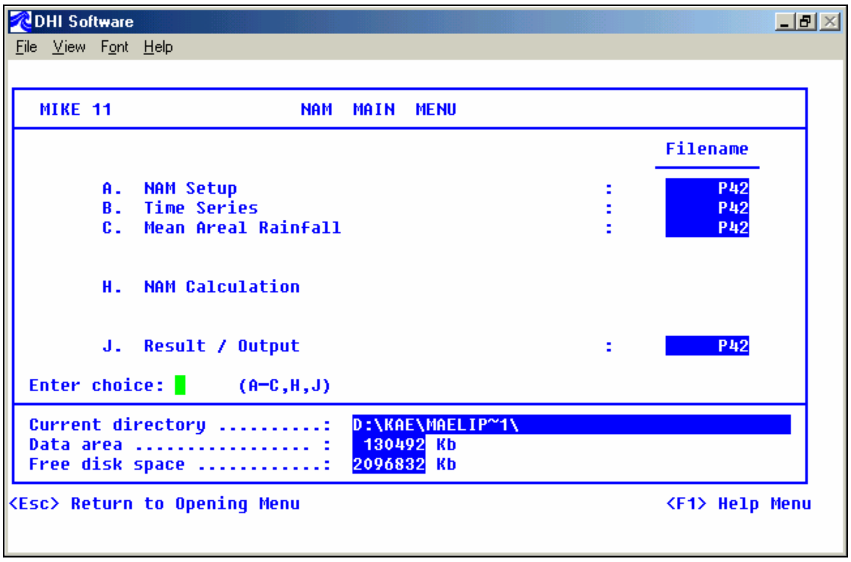
การใช้งานแบบจำลอง NAM

การใช้งานแบบจำลอง NAM

1. เข้าสู่แบบจำลอง MIKE 11 จะปรากฏหน้าต่างดังแสดงในภาพผนวกที่ ข1 จากนั้นเลือก NAM เพื่อเข้าสู่เมนูหลัก ซึ่งมีเมนูหลัก 5 รายการประกอบด้วย A. NAM Setup, B. Time Series, C. Mean Areal Rainfall, H. NAM Calculation และ J. Result/Output ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข2

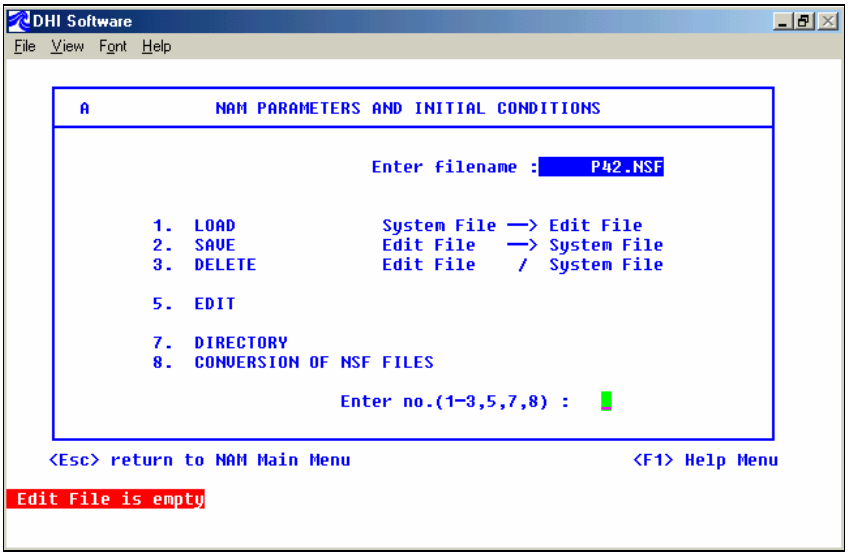


ภาพผนวกที่ ข1 แบบจำลอง MIKE 11

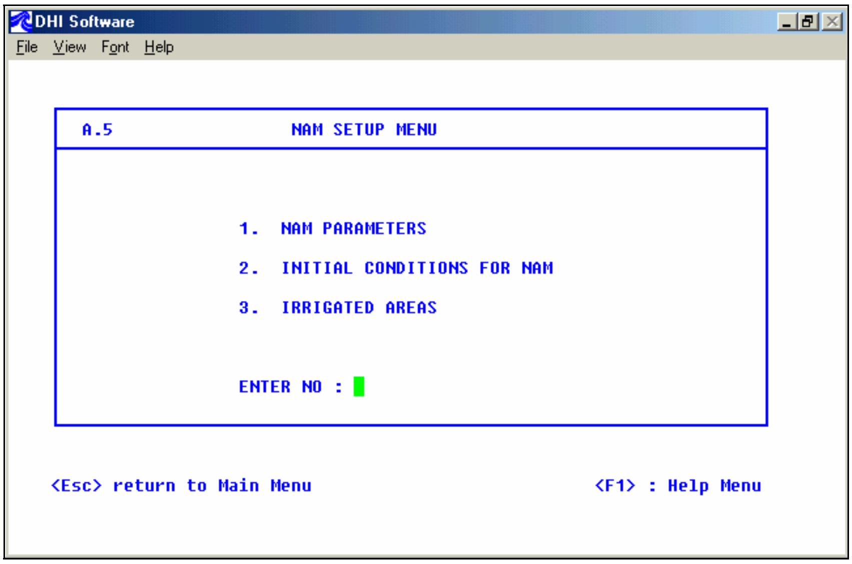


ภาพผนวกที่ ข2 เมนูหลักของแบบจำลอง NAM

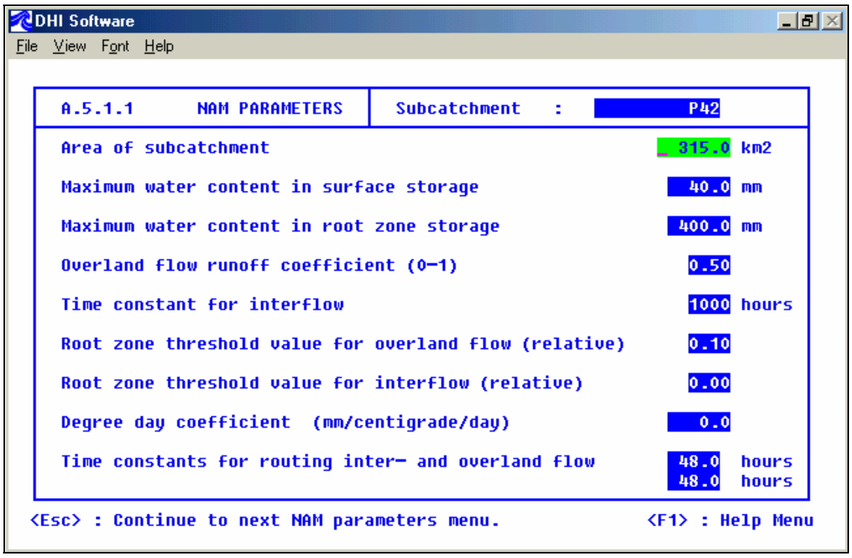
2. เลือก A. NAM Setup จากเมนูหลักในภาพผนวกที่ ข2 เพื่อกำหนดพารามิเตอร์และเงื่อนไขเริ่มต้น ซึ่งจะปรากฏหน้าต่าง NAM Parameters and Initial Conditions ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข3 จากนั้นเลือก 5. Edit เข้าสู่รายการ A.5 NAM Setup Menu จะปรากฏหน้าต่างในภาพผนวกที่ ข4 แล้วเลือก 1. NAM Parameters เข้าสู่รายการ A.5.1.1 NAM Parameters เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลอง ซึ่งพารามิเตอร์ของแบบจำลองแสดงในภาพผนวกที่ ข5



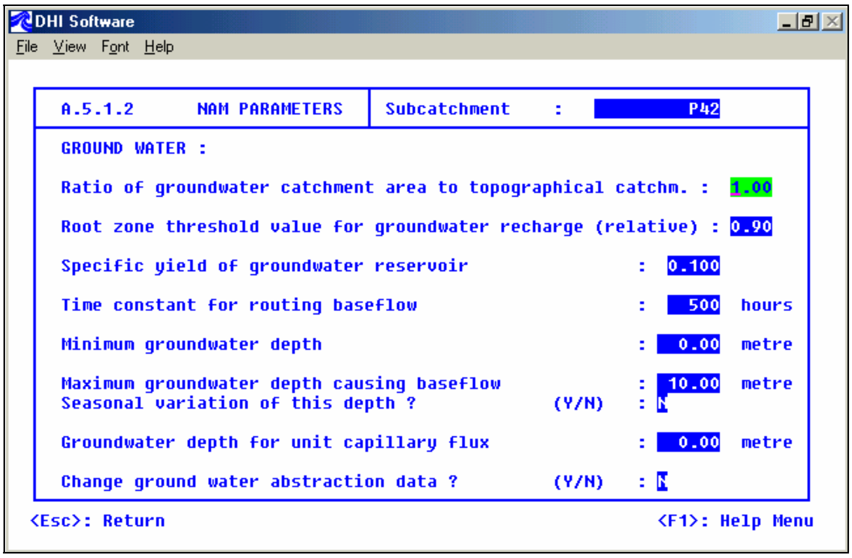
ภาพผนวกที่ ข3 เมนู A NAM Parameters and Initial Conditions



ภาพผนวกที่ ข4 เมนู A.5 NAM Setup Menu

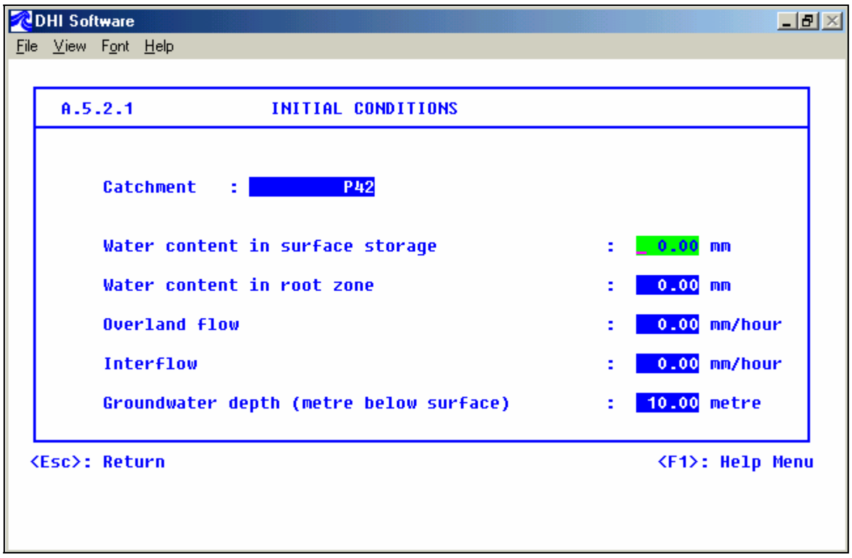


ภาพผนวกที่ ข5 เมนู A.5.1.1 NAM Parameters



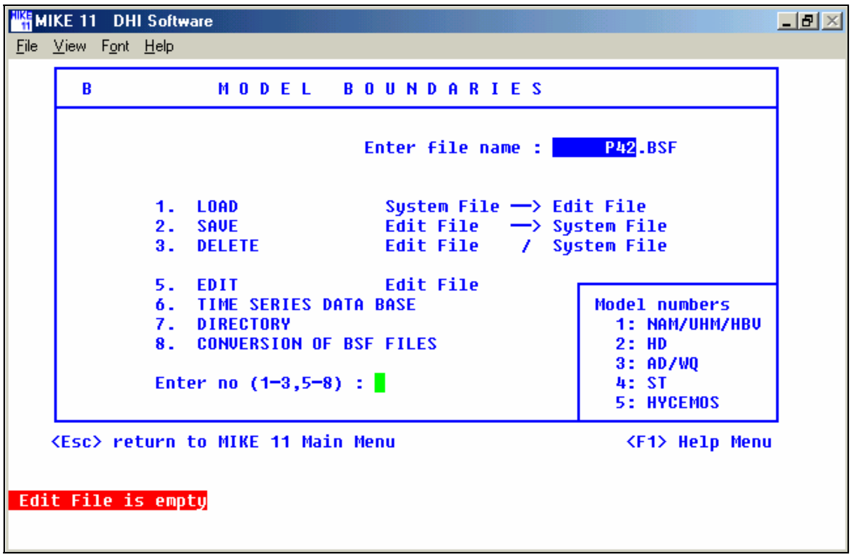
ภาพผนวกที่ ข5 (ต่อ) เมนู A.5.1.1 NAM Parameters

3. เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลองแล้ว ต้องกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลองโดยเลือก 2. Initial Conditions for NAM ในเมนู A.5 NAM Setup Menu ในภาพผนวกที่ ข4 เข้าสู่รายการ A.5.2.1 Initial Conditions จะปรากฏหน้าต่างในภาพผนวกที่ ข6 จากนั้นทำการ Save ข้อมูลพารามิเตอร์และเงื่อนไขเริ่มต้น โดยเลือก 2. Save ในเมนู A. NAM Parameters and Initial Conditions ตามภาพผนวกที่ ข3 ซึ่งนามสกุลของแฟ้มข้อมูลคือ .NSF

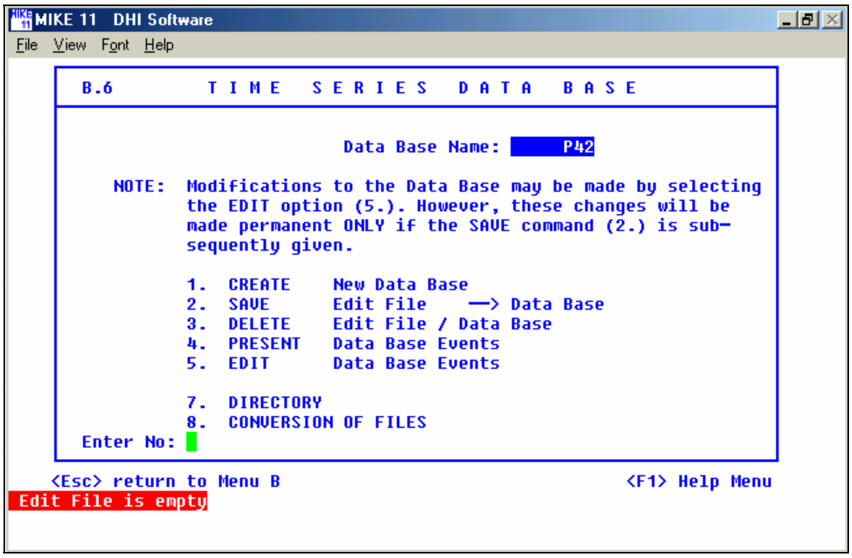


ภาพผนวกที่ ข6 เมนู A.5.2.1 Initial Conditions

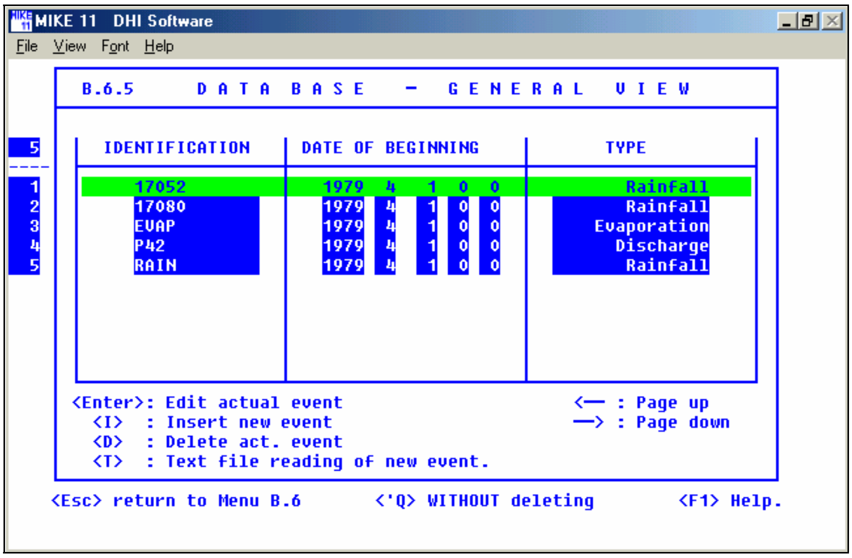
4. เลือก B. Time Series จากเมนูหลักในภาพผนวกที่ ข2 เพื่อกำหนดข้อมูลด้านเข้าที่เป็นอนุกรมเวลา ซึ่งจะปรากฏหน้าต่าง Model Boundaries ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข7 จากนั้นเลือก 6. Time Series Data Base จะปรากฏหน้าต่างในภาพผนวกที่ ข8 แล้วเลือก 5. Edit (Data Base Events) เข้าสู่รายการ B.6.5 Data Base – General View เพื่อนำเข้าข้อมูลอนุกรมเวลา ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างในภาพผนวกที่ ข9



ภาพผนวกที่ ข7 เมนู B Model Boundaries

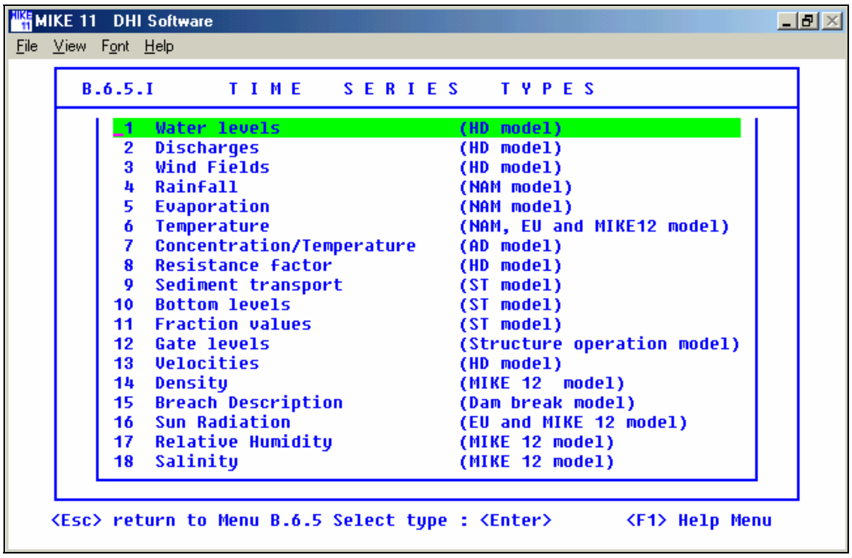


ภาพผนวกที่ ข8 เมนู B.6 Time Series Data Base

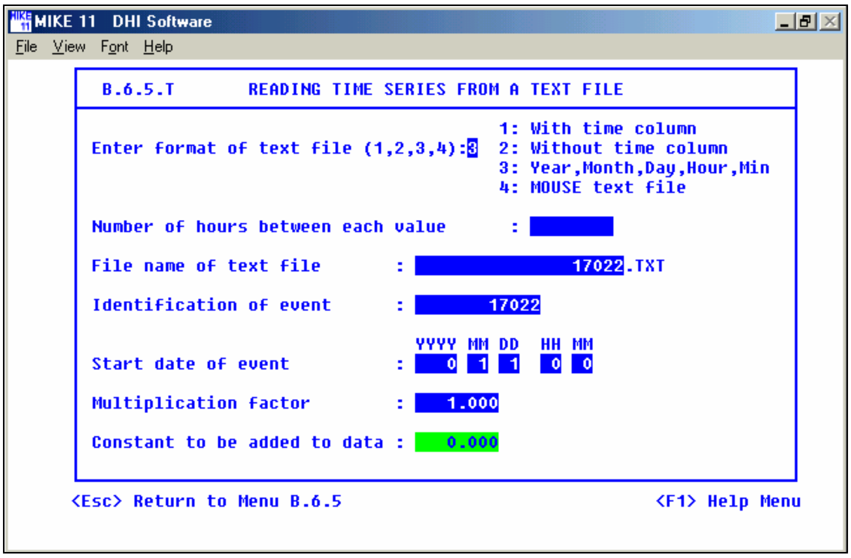


ภาพผนวกที่ ข9 เมนู B.6.5 Data Base – General View

5. จากเมนู B.6.5 Data Base – General View ในภาพผนวกที่ ข9 การนำเข้าข้อมูลสามารถทำได้ 2 วิธีคือ <I> : Insert New Event เป็นการใส่ข้อมูลทีละค่า และ <T> : Text File Reading of New Event เป็นการนำเข้าข้อมูลที่เป็น Text File เหมาะสำหรับอนุกรมเวลาของข้อมูลที่มีจำนวนมาก เมื่อเลือก <T> จะปรากฏหน้าต่างในภาพผนวกที่ ข10 Time Series Type เป็นประเภทของข้อมูลด้านเข้า โดยในแบบจำลอง NAM ข้อมูลด้านเข้าประกอบด้วย ปริมาณการไหล (Discharge) ปริมาณฝน (Rainfall) และปริมาณการระเหย (Evaporation) ซึ่งเมื่อเลือกประเภทของข้อมูลด้านเข้าแล้วจะปรากฏหน้าต่างในภาพผนวกที่ ข11 Reading Time Series from a Text File

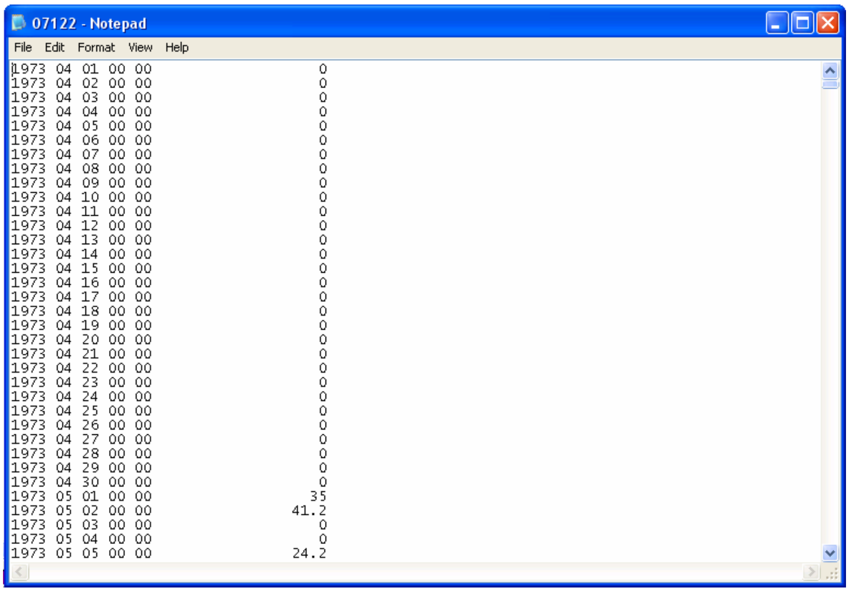


ภาพผนวกที่ ข10 เมนู B.6.5.I Time Series Type



ภาพผนวกที่ ข11 เมนู B.6.5.T Reading Time Series from a Text File

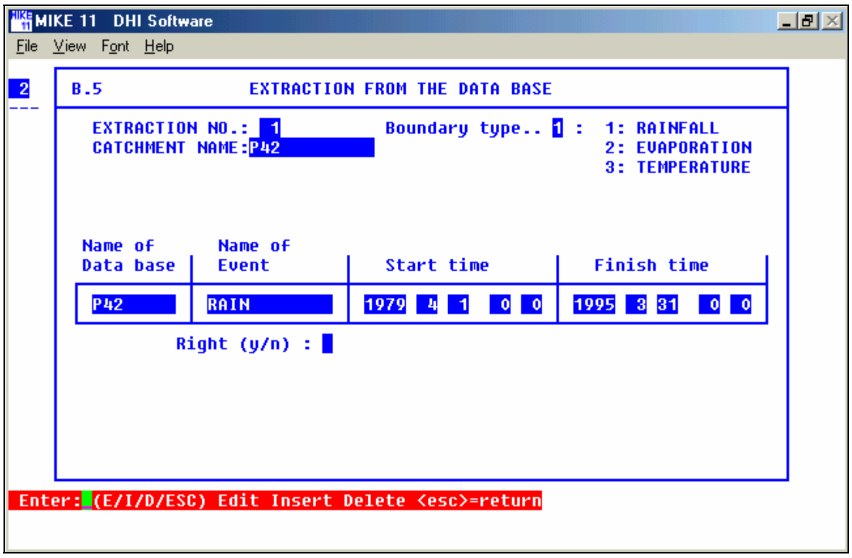
6. จากเมนู B.6.5.T Reading Time Series from a Text File เลือกรูปแบบของข้อมูลอนุกรมเวลา โดยเลือกรูปแบบที่ 3: Year, Month, Day, Hour, Min ซึ่งจะต้องมีการเตรียมข้อมูลอนุกรมเวลาในรูปแบบนี้ไว้ก่อนแล้วในรูป Text File โดยข้อมูลอนุกรมเวลาที่เป็น Text File และมีรูปแบบที่ 3 ได้แสดงตัวอย่างไว้ในภาพผนวกที่ ข12




```
1973 04 01 00 00         0
1973 04 02 00 00         0
1973 04 03 00 00         0
1973 04 04 00 00         0
1973 04 05 00 00         0
1973 04 06 00 00         0
1973 04 07 00 00         0
1973 04 08 00 00         0
1973 04 09 00 00         0
1973 04 10 00 00         0
1973 04 11 00 00         0
1973 04 12 00 00         0
1973 04 13 00 00         0
1973 04 14 00 00         0
1973 04 15 00 00         0
1973 04 16 00 00         0
1973 04 17 00 00         0
1973 04 18 00 00         0
1973 04 19 00 00         0
1973 04 20 00 00         0
1973 04 21 00 00         0
1973 04 22 00 00         0
1973 04 23 00 00         0
1973 04 24 00 00         0
1973 04 25 00 00         0
1973 04 26 00 00         0
1973 04 27 00 00         0
1973 04 28 00 00         0
1973 04 29 00 00         0
1973 04 30 00 00         0
1973 05 01 00 00        35
1973 05 02 00 00      41.2
1973 05 03 00 00         0
1973 05 04 00 00         0
1973 05 05 00 00      24.2
```

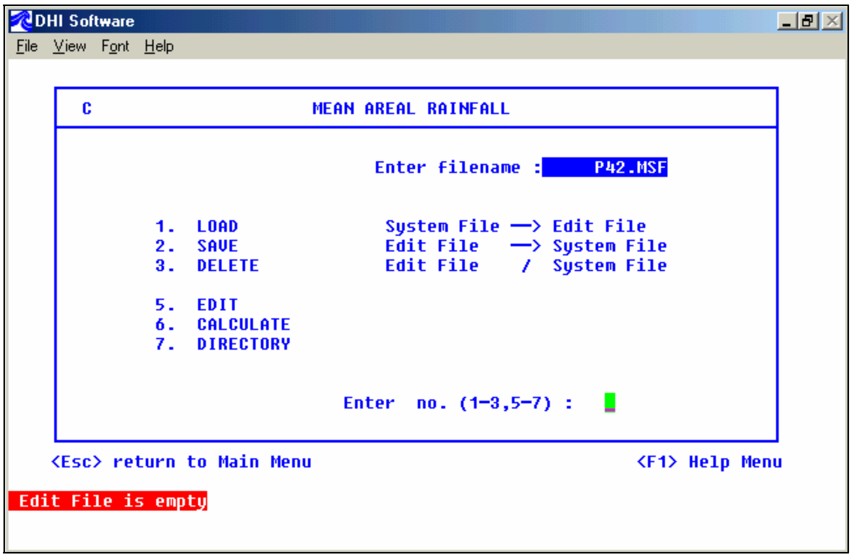
ภาพผนวกที่ ข12 รูปแบบของข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีรูปแบบเป็น Text File

7. เมื่อนำเข้าข้อมูลอนุกรมเวลาทั้งปริมาณการไหล ปริมาณฝน และปริมาณการระเหยแล้ว ทำการเลือกเมนู 5. Edit ในเมนู B Model Boundaries ในภาพผนวกที่ ข7 เข้าสู่รายการ B.5 Extraction from the Data Base ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างในภาพผนวกที่ ข13 เพื่อกำหนดขอบเขตของข้อมูลปริมาณฝนและปริมาณการระเหยที่ใช้ในการคำนวณ แต่ทั้งนี้ข้อมูลปริมาณฝนจะต้องเป็นปริมาณฝนตามพื้นที่ (Areal Rainfall) ที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งวิธีการคำนวณปริมาณฝนตามพื้นที่จะได้แสดงในลำดับถัดไป จากนั้นทำการ Save ขอบเขตของข้อมูลอนุกรมเวลา โดยเลือก 2. Save ในเมนู B. Model Boundaries ตามภาพผนวกที่ ข7 ซึ่งนามสกุลของแฟ้มข้อมูลคือ .BSF

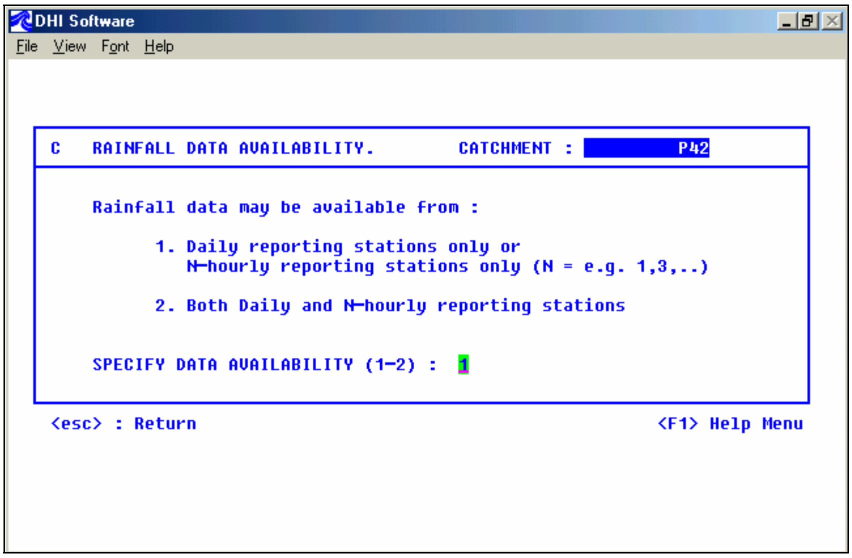


ภาพผนวกที่ ข13 เมนู B.5 Extraction from the Data Base

8. การคำนวณปริมาณฝนตามพื้นที่ทำได้โดยการเข้าสู่เมนู C. Mean Area Rainfall ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างในภาพผนวกที่ ข14 เลือก 5. Edit จะปรากฏหน้าต่างในภาพผนวกที่ ข15 เพื่อเลือกการคำนวณจากประเภทของข้อมูลปริมาณฝนที่มี ซึ่งกรณีแรกคือมีข้อมูลฝนเพียงประเภทเดียวโดยเป็นปริมาณฝนรายวันหรือปริมาณฝนรายชั่วโมง ส่วนกรณีที่ 2 มีข้อมูลฝนทั้งสองประเภทคือทั้งปริมาณฝนรายวันและรายชั่วโมง

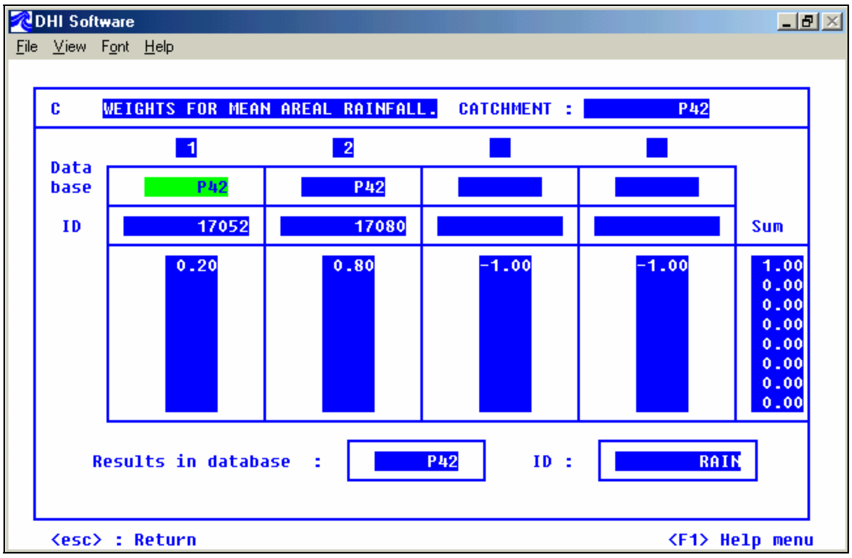


ภาพผนวกที่ ข14 เมนู C Mean Areal Rainfall



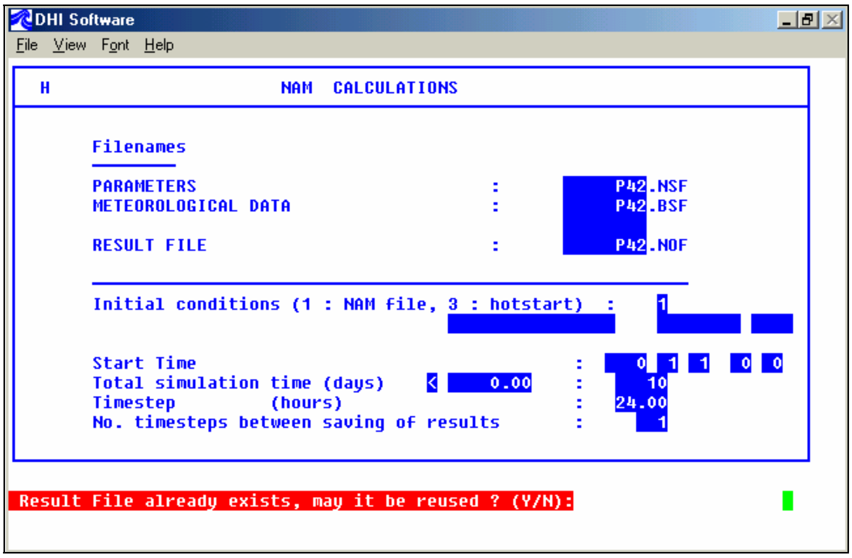
ภาพผนวกที่ ข15 เมนู C Rainfall Data Availability เพื่อเลือกการคำนวณปริมาณฝนตามพื้นที่

9. เมื่อเลือกการคำนวณปริมาณฝนตามพื้นที่แล้วจะเข้าสู่หน้าต่างในภาพผนวกที่ ข16 เพื่อกำหนดสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนแต่ละสถานีที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา ซึ่งเมื่อกำหนดแล้วจะย้อนกลับไปคำนวณโดยเลือก 6. Calculate ในเมนู C ตามภาพผนวกที่ ข14 จากนั้นทำการ Save ปริมาณฝนตามพื้นที่ที่ได้จากการคำนวณ โดยเลือก 2. Save ในเมนู C. Mean Areal Rainfall ตามภาพผนวกที่ ข14 ซึ่งนามสกุลของแฟ้มข้อมูลคือ .MSF



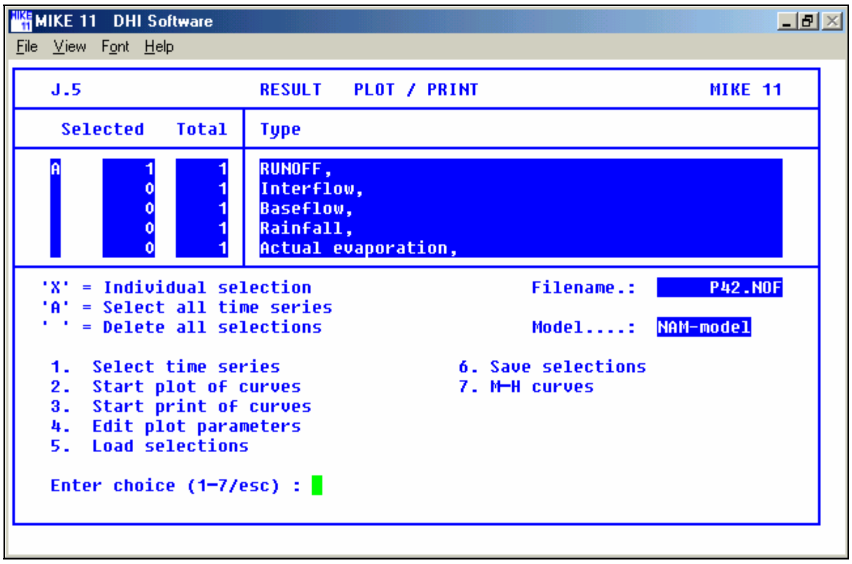
ภาพผนวกที่ ข16 การกำหนดสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนต่อสถานีวัดน้ำท่า

10. เลือก H. NAM Calculation จากเมนูหลักในภาพผนวกที่ ข2 เพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่า ซึ่งจะปรากฏหน้าต่าง NAM Calculations ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข17 โดยเลือกแฟ้มข้อมูลพารามิเตอร์และขอบเขตของข้อมูล และกำหนดชื่อของผลการคำนวณ ซึ่งสามารถกำหนดได้ในเมนูหลักของแบบจำลองในภาพผนวกที่ ข2 นามสกุลของผลการคำนวณคือ .NOF

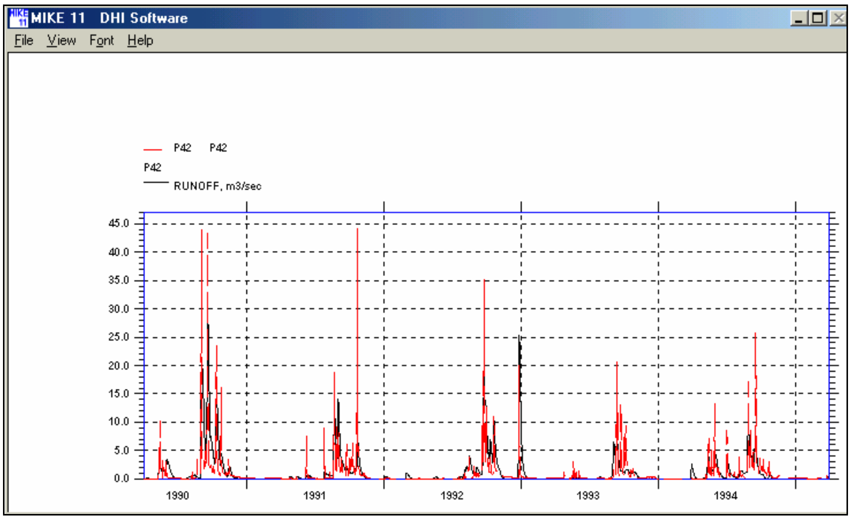


ภาพผนวกที่ ข17 เมนู H NAM Calculations

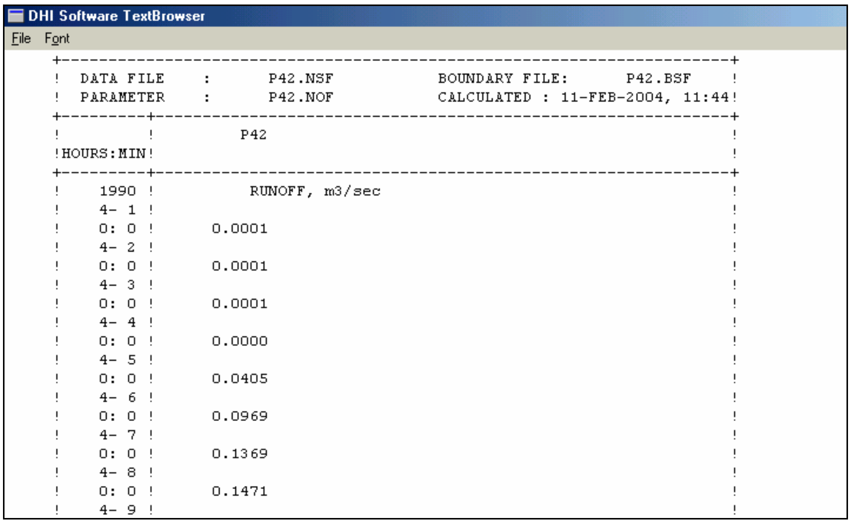
11. เลือก J. Result/Output จากเมนูหลักในภาพผนวกที่ ข2 เพื่อแสดงผลการคำนวณ จากนั้นเลือก 5. Time Series เพื่อเข้าสู่เมนู J.5 Result Plot/Print ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างในภาพผนวกที่ ข18 ซึ่งสามารถเลือกการแสดงผลได้ทั้งรูปแบบของกราฟและอนุกรมเวลา โดยเลือก 2. Start Plot of Curves เพื่อแสดงผลในรูปแบบกราฟ ดังตัวอย่างการแสดงผลในภาพผนวกที่ ข19 หรือเลือก 3. Start Print of Curves เพื่อแสดงผลในรูปแบบอนุกรมเวลา ดังแสดงผลในภาพผนวกที่ ข20



ภาพผนวกที่ ข18 เมนู J.5 Result Plot/Print



ภาพผนวกที่ ข19 ตัวอย่างการแสดงผลการเปรียบเทียบกราฟปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด



DHI Software TextBrowser

File Font

```
+-------------------------------------------------------------------------+
!  DATA FILE     :       P42.NSF            BOUNDARY FILE:       P42.BSF     !
!  PARAMETER     :       P42.NOF            CALCULATED : 11-FEB-2004, 11:44!
+---------+---------------------------------------------------------------+
!         !         P42                                                   !
!HOURS:MIN!                                                               !
+---------+---------------------------------------------------------------+
!    1990 !          RUNOFF, m3/sec                                       !
!    4- 1 !                                                               !
!    0: 0 !      0.0001                                                   !
!    4- 2 !                                                               !
!    0: 0 !      0.0001                                                   !
!    4- 3 !                                                               !
!    0: 0 !      0.0001                                                   !
!    4- 4 !                                                               !
!    0: 0 !      0.0000                                                   !
!    4- 5 !                                                               !
!    0: 0 !      0.0405                                                   !
!    4- 6 !                                                               !
!    0: 0 !      0.0969                                                   !
!    4- 7 !                                                               !
!    0: 0 !      0.1369                                                   !
!    4- 8 !                                                               !
!    0: 0 !      0.1471                                                   !
!    4- 9 !                                                               !
```

ภาพผนวกที่ ข20 ตัวอย่างการแสดงผลปริมาณน้ำท่าในรูปแบบอนุกรมเวลา

ภาคผนวก ค

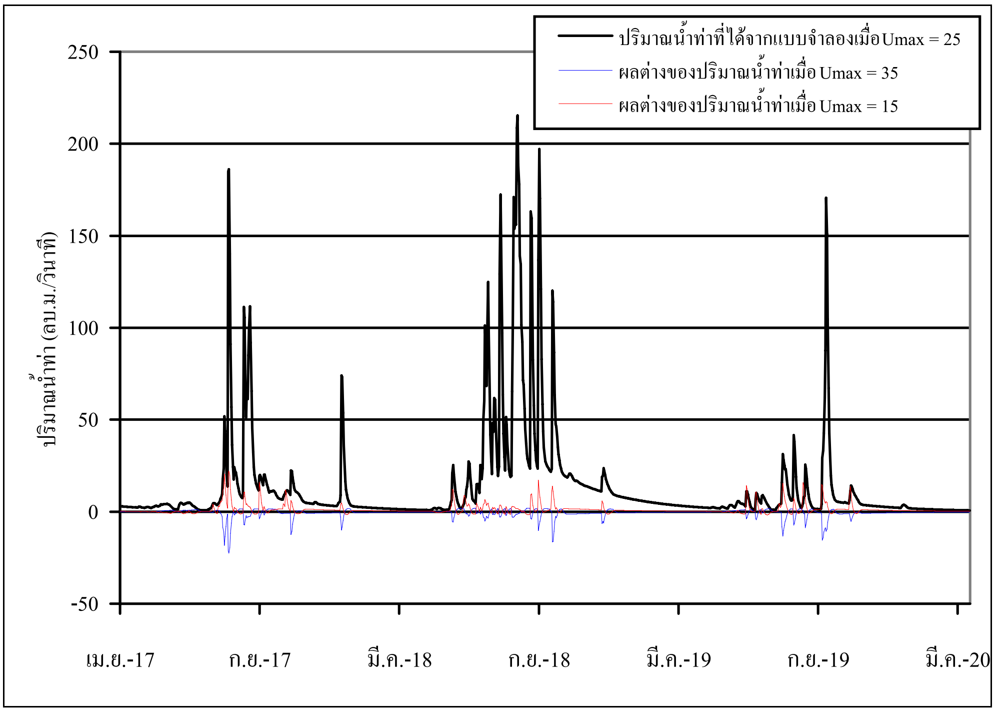
การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ แบบจำลอง NAM

การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ แบบจำลอง NAM

การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ที่มีผลต่อกราฟน้ำท่าโดยรวม ได้แสดงในรูปกราฟผลต่างของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองจากการเพิ่มและลดพารามิเตอร์ทีละตัวเปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองจากชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1 U_{max} คือปริมาณการเก็บกักสูงสุดบนผิวดิน (Maximum Water Content in Surface Storage) มีค่าที่แนะนำไว้ในคู่มือระหว่าง 10 ถึง 20 มม. หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ของ L_{max} ผลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์พบว่า การเพิ่ม U_{max} จาก 25 มม. เป็น 35 มม. ทำให้ปริมาณน้ำท่าลดลง ในขณะที่การลด U_{max} จาก 25 มม. เป็น 15 มม. ทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการลดลงของปริมาณน้ำท่าจากการเพิ่ม U_{max} และการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำท่าจากการลด U_{max} เป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง U_{max} ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าได้แสดงดังภาพผนวกที่ ค1

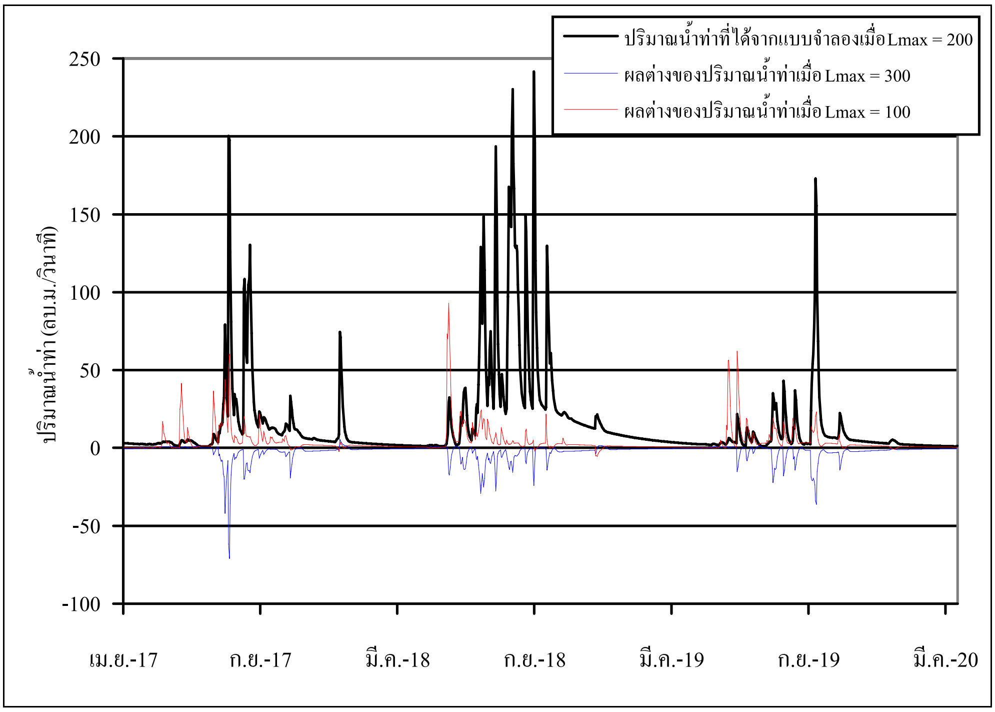
สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลง U_{max} มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม กล่าวคือการเพิ่ม U_{max} ทำให้ปริมาณน้ำท่าลดลง ส่วนการลด U_{max} ทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก U_{max} เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงความสามารถในการเก็บกักปริมาณน้ำในชั้นผิวดิน (U) และกำหนดเงื่อนไขในการเกิดปริมาณฝนส่วนเกิน (Pn) ซึ่งปริมาณฝนส่วนเกินเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (QOF) การเก็บกักในชั้นดินส่วนล่าง (DL) และการเก็บกักในชั้นใต้ดิน (G) ตามสมการที่ (5), (7) และ (8) ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่ม U_{max} จึงทำให้ปริมาณฝนถูกเก็บกักในชั้นผิวดินได้มากขึ้น เป็นเหตุให้ปริมาณฝนส่วนเกินลดลง ปริมาณน้ำท่าโดยรวมจึงลดลง ส่วนการลด U_{max} ทำให้ปริมาณฝนส่วนเกินมากขึ้น ปริมาณน้ำท่าโดยรวมจึงมากขึ้น



ภาพผนวกที่ ค1 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง U_{max} ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า

2 L_{max} คือปริมาณการเก็บกักสูงสุดของชั้นรากพืช (Maximum Water Content in Root Zone Storage) มีค่าที่แนะนำไว้ในคู่มือระหว่าง 100 ถึง 250 มม. ผลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ พบว่า การเพิ่ม L_{max} จาก 200 มม. เป็น 300 มม. ทำให้ปริมาณน้ำท่าลดลง ในขณะที่การลด L_{max} จาก 200 มม. เป็น 100 มม. ทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง L_{max} ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าได้แสดงดังภาพผนวกที่ ค2

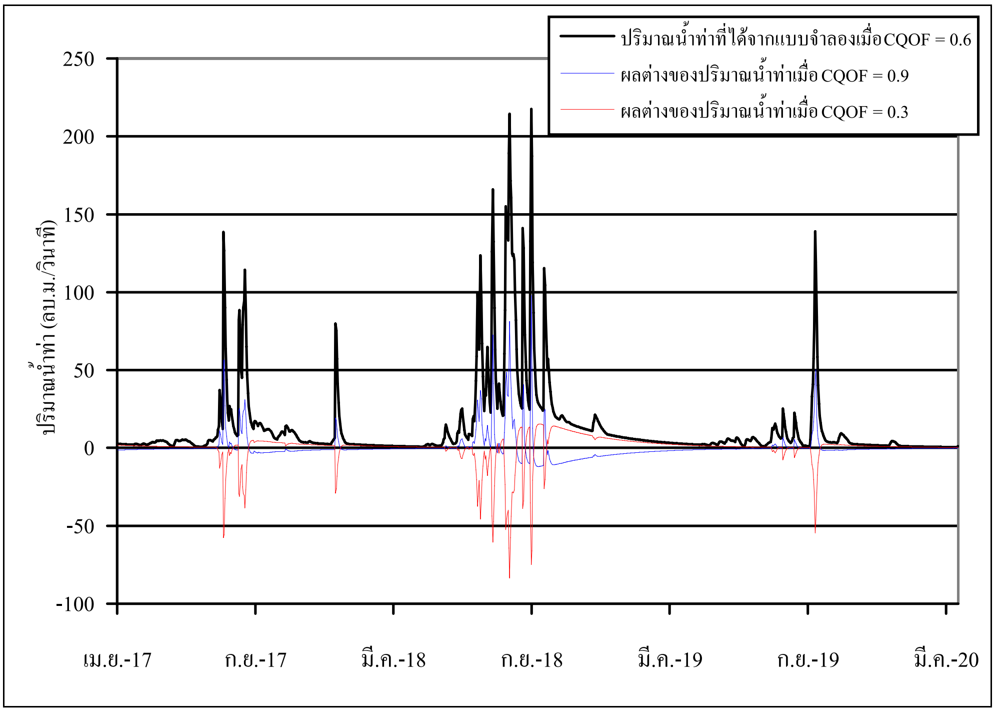
สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลง L_{max} มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม กล่าวคือการเพิ่ม L_{max} ทำให้ปริมาณน้ำท่าลดลง ส่วนการลด L_{max} ทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก L_{max} เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงความสามารถในการเก็บกักปริมาณน้ำในชั้นรากพืช การเพิ่ม L_{max} ทำให้ดินในชั้นรากพืชสามารถเก็บกักปริมาณน้ำได้มากขึ้น และทำให้ความจุความชื้นสัมพัทธ์ (L/L_{max}) มีค่าลดลง ซึ่งเมื่อ L/L_{max} ลดลง การเกิดปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (QOF) ปริมาณการไหลระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดิน (QIF) และการเก็บกักในชั้นใต้ดิน (G) จะลดลงด้วยดังสมการ (5), (6) และ (7) ตามลำดับ



ภาพผนวกที่ ค2 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง L_{max} ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า

3 CQOF คือสัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow Runoff Coefficient) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ผลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์พบว่า การเพิ่ม CQOF จาก 0.6 เป็น 0.9 ทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่การลด CQOF จาก 0.6 เป็น 0.3 ทำให้ปริมาณน้ำท่าลดลง ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CQOF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าได้แสดงดังภาพผนวกที่ ค3

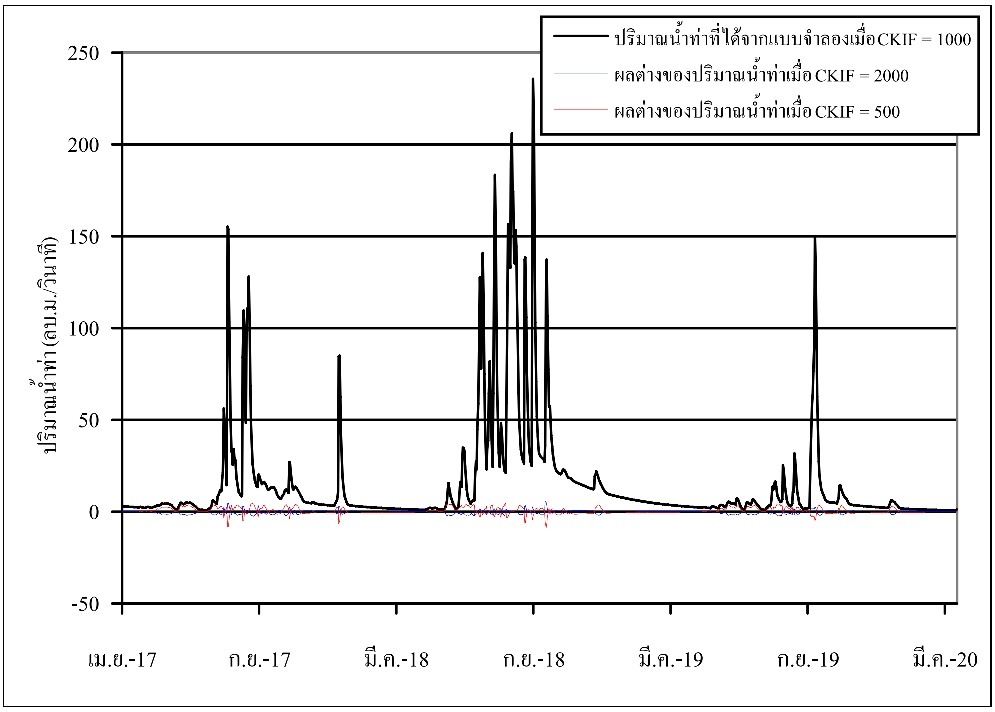
สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลง CQOF มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม กล่าวคือการเพิ่ม CQOF ทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น ส่วนการลด CQOF ทำให้ปริมาณน้ำท่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก CQOF เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการเกิดปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (QOF) ซึ่งปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม ดังนั้นการเพิ่ม CQOF ทำให้ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินเพิ่มขึ้นตามสมการที่ (5) เป็นเหตุให้ปริมาณน้ำท่าโดยรวมสูงขึ้นด้วย



ภาพผนวกที่ ค3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CQOF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า

4 CKIF คือค่าคงที่ของเวลาสำหรับการไหลระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน (Time Constant for Interflow) มีค่าที่แนะนำไว้ในคู่มือระหว่าง 500 ถึง 1,000 ชั่วโมง ผลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์พบว่า การเพิ่ม CKIF จาก 1,000 ชั่วโมง เป็น 2,000 ชั่วโมง หรือการลด CKIF จาก 1,000 ชั่วโมง เป็น 500 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าโดยรวมมากนัก ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CKIF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าได้แสดงดังภาพผนวกที่ ค4

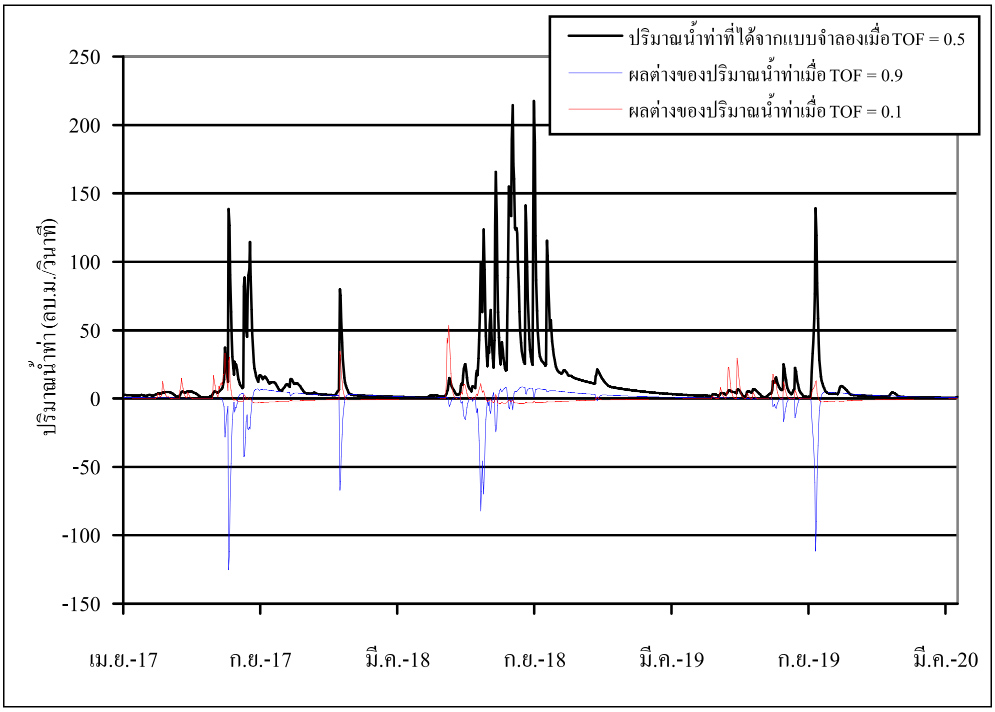
สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลง CKIF มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวมน้อย กล่าวคือ CKIF เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการเกิดปริมาณการไหลบ่าระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดิน (QIF) โดยเป็นส่วนกลับของสมการตามสมการที่ (6) ซึ่งปริมาณการไหลบ่าระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดินเป็นสัดส่วนกับปริมาณการเก็บกักในชั้นผิวดิน (U) ที่ถือว่าเป็นองค์ประกอบส่วนน้อยในการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม ดังนั้นในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM จึงถือว่า CKIF ไม่มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม



ภาพผนวกที่ ค4 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CKIF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า

5 TOF คือค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการไหลบ่าบนผิวดิน (Root Zone Threshold Value for Overland Flow) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ผลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์พบว่า การเพิ่ม TOF จาก 0.5 เป็น 0.9 ทำให้ปริมาณน้ำท่าลดลง ในขณะที่การลด TOF จาก 0.5 เป็น 0.1 ทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง TOF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าได้แสดงดังภาพผนวกที่ ค5

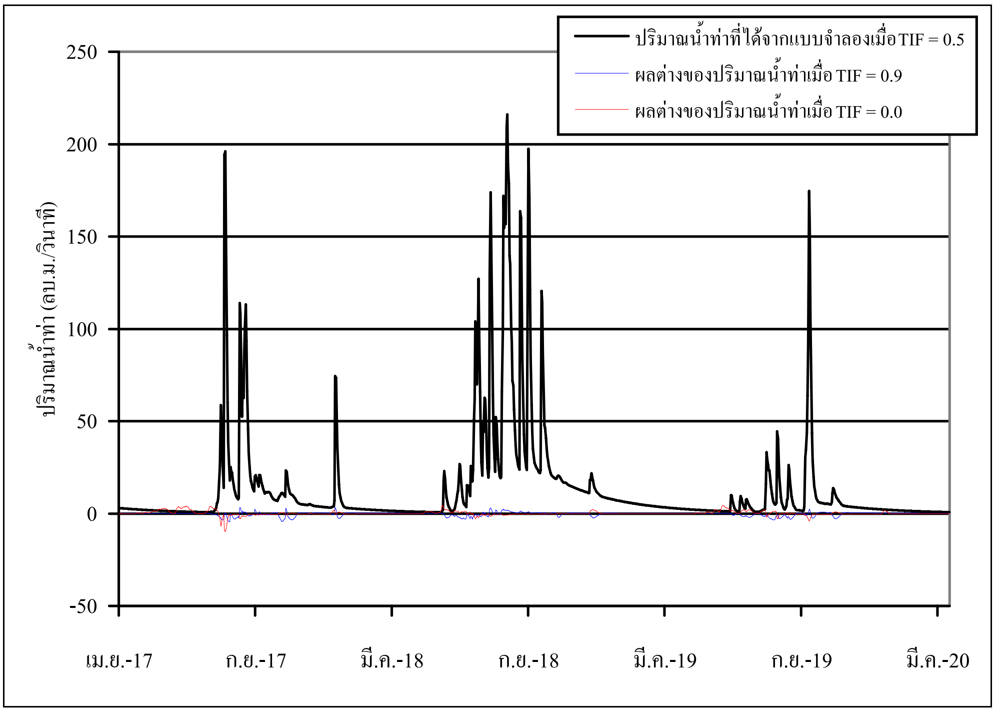
สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลง TOF มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม กล่าวคือ TOF เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของการเกิดปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินตามสมการที่ (5) โดย TOF มีค่ามากทำให้ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินมีค่าน้อย ในขณะที่ TOF มีค่าน้อยทำให้ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินมีค่ามาก ซึ่งปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม นอกจากนี้ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินยังขึ้นกับปริมาณฝนส่วนเกิน (Pn) ด้วย กรณีที่ไม่มีปริมาณฝนส่วนเกินจะไม่สามารถเกิดปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินได้



ภาพผนวกที่ ค5 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง TOF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า

6 TIF คือค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการไหลระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดิน (Root Zone Threshold Value for Interflow) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ผลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ พบว่า การเพิ่ม TIF จาก 0.5 เป็น 0.9 หรือการลด TIF จาก 0.5 เป็น 0.0 ไม่มีความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าโดยรวมมากนัก ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง TIF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าได้แสดงดังภาพผนวกที่ ค6

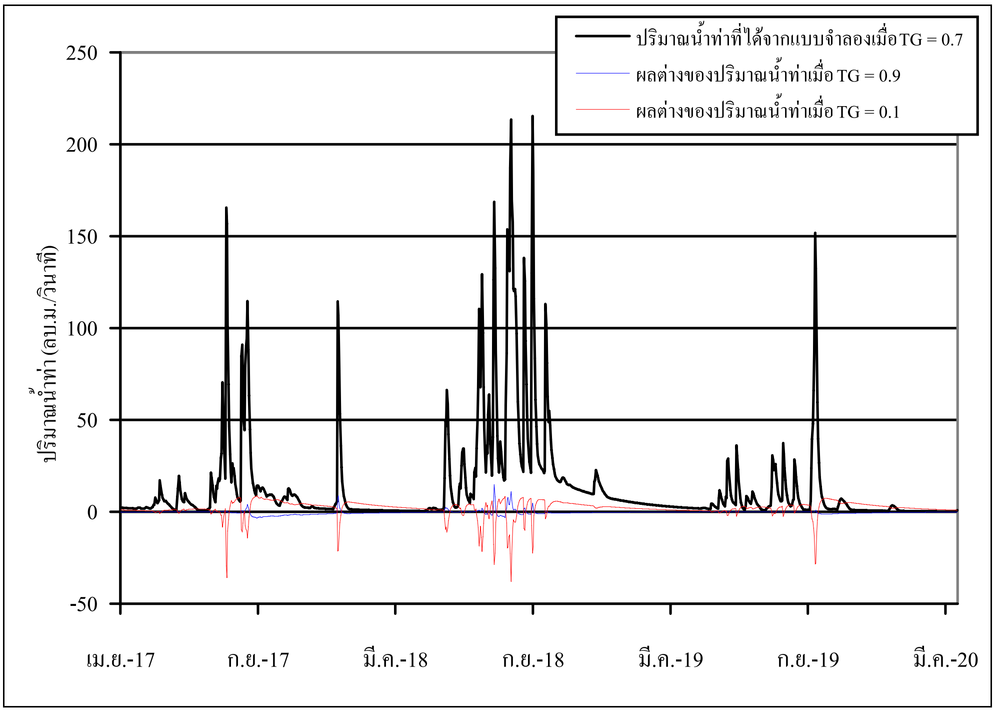
สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลง TIF มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวมน้อย กล่าวคือ TIF เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงเงื่อนไขเริ่มต้นของการเกิดปริมาณการไหลระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดินตามสมการที่ (6) ซึ่งปริมาณการไหลระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดินถือว่าเป็นองค์ประกอบส่วนน้อยในการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม ดังนั้นในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM จึงถือว่า TIF ไม่มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม



ภาพผนวกที่ ค6 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง TIF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า

7 TG คือค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการเติมปริมาณน้ำใต้ดิน (Root Zone Threshold Value for Groundwater Recharge) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ผลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์พบว่า การเพิ่ม TG จาก 0.7 เป็น 0.9 ทำให้ปริมาณน้ำท่าสูงขึ้น ในขณะที่การลด TG จาก 0.7 เป็น 0.1 ทำให้ปริมาณน้ำท่าลดลง ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง TG ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าได้แสดงดังภาพผนวกที่ ค7

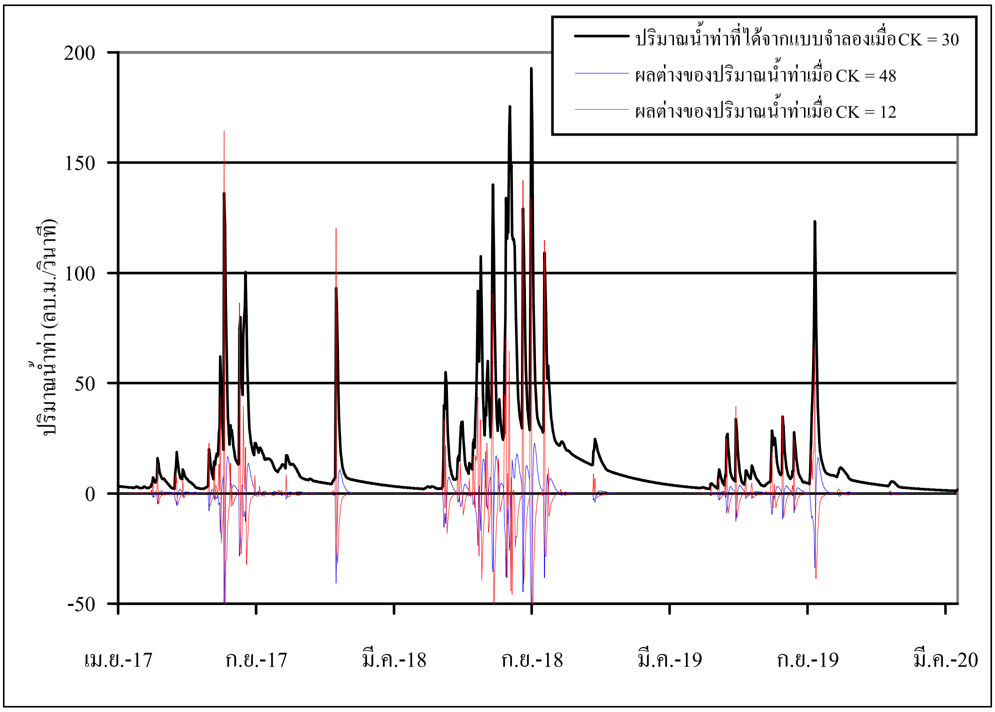
สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลง TG มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยรวม กล่าวคือ TG เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงเงื่อนไขเริ่มต้นของการเก็บกักปริมาณน้ำใต้ดิน (G) ตามสมการที่ (7) โดยปริมาณน้ำใต้เกิดจากปริมาณฝนส่วนเกิน (Pn) ส่วนที่ไม่เกิดเป็นปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน ดังนั้น เมื่อ TG มีค่ามากจึงทำให้ปริมาณน้ำใต้ดินมีค่าน้อย แสดงว่าปริมาณฝนส่วนเกินส่วนที่เกิดเป็นปริมาณน้ำใต้ดินมีค่าน้อย จึงทำให้ปริมาณฝนส่วนเกินส่วนที่เกิดเป็นปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินมีค่ามาก ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ปริมาณน้ำท่าโดยรวมมีค่ามาก



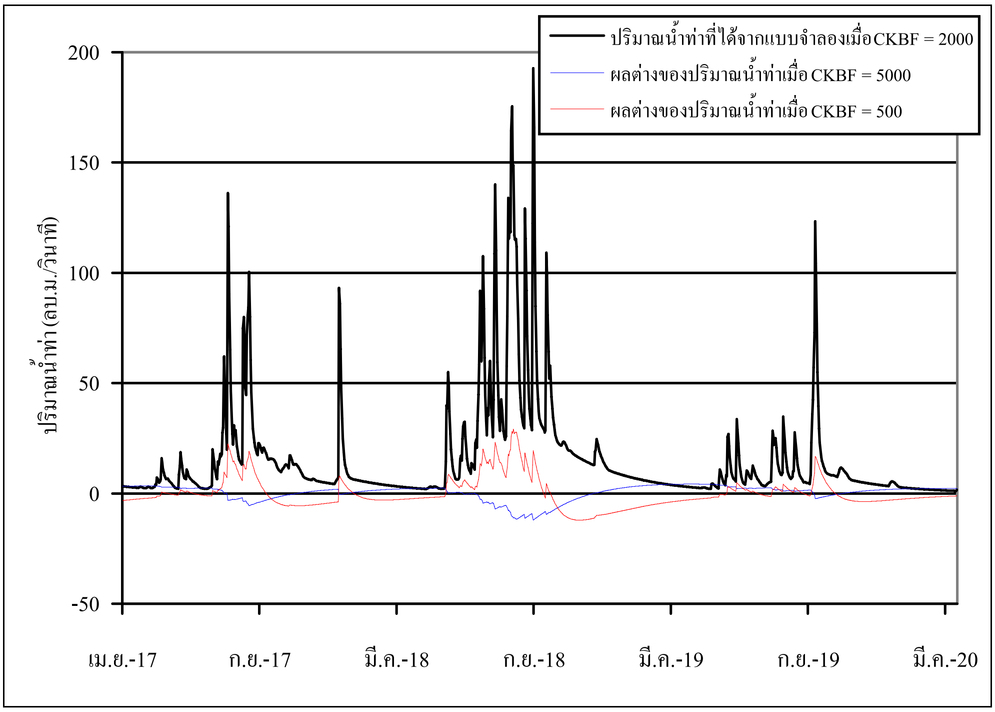
ภาพผนวกที่ ค7 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง TG ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า

8 CK1, CK2 คือค่าคงที่ของเวลาสำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดิน และปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Time Constant for Routing Interflow and Overland Flow) ผลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์พบว่า การเพิ่ม CK1, CK2 จาก 30 ชั่วโมง เป็น 48 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณน้ำท่าลดลง และเวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุด (Peak Flows) ช้าลง ทำให้ฐานของกราฟน้ำท่ากว้างขึ้น ในขณะที่การลด CK1, CK2 จาก 30 ชั่วโมง เป็น 12 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณน้ำท่าสูงขึ้น และเวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดเร็วขึ้น ทำให้ฐานของกราฟน้ำท่าแคบลง ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CK1, CK2 ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าได้แสดงดังภาพผนวกที่ ค8

9 CKBF คือค่าคงที่ของเวลาสำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลพื้นฐาน (Time Constant for Routing Baseflow) มีค่าที่แนะนำไว้ในคู่มือระหว่าง 500 ถึง 5,000 ชั่วโมง ผลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์พบว่า การเพิ่ม CKBF จาก 2,000 ชั่วโมง เป็น 5,000 ชั่วโมง ทำให้กราฟน้ำท่ามีลักษณะลดลงเร็ว แต่ช่วงปลายฤดูฝนกราฟน้ำท่าจะสูงขึ้น ส่วนกรณีการลด CKBF จาก 2,000 ชั่วโมง เป็น 500 ชั่วโมง ทำให้กราฟน้ำท่าสูงขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงปลายฤดูฝน ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CKBF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าได้แสดงดังภาพผนวกที่ ค9



ภาพผนวกที่ ค8 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CK1, CK2 ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า



ภาพผนวกที่ ค9 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง CKBF ต่อการเกิดปริมาณน้ำท่า

ภาคผนวก ง

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ ๑๒ โรงแรมอมรินทร์ลากูน จ.พิษณุโลก 2-4 พฤษภาคม 2550

ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

REGIONAL RELATIONSHIPS BETWEEN NAM MODEL PARAMETERS AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SUB-CATCHMENTS IN THE UPPER PING RIVER BASIN

สุพรรษา บำรุงพงศ์ [1] (Supansa Bumroongpong)

นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ [2] (Nutchanart Sriwongsitanon)

สุรชัย ลิปิวัฒนาการ [3] (Surachai Lipiwattanakarn)

[1] *นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (supansa_2510@yahoo.com)*

[2] *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fengnns@ku.ac.th)*

[3] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fengsuli@ku.ac.th)*

บทคัดย่อ : การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน สมการความสัมพันธ์ที่ได้สามารถนำมาใช้เพื่อประเมินกราฟน้ำท่าสำหรับบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ จากจำนวนพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ทั้ง 15 พารามิเตอร์ พบว่า พารามิเตอร์ต่อไปนี้ คือ CKIF, TIF, CAREA, Sy, $GWLBF_0$, GWL_{min} และ $GWLFL_1$ ไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญกับผลการประเมินปริมาณน้ำท่าจึงกำหนดให้เป็นค่าคงที่ สำหรับพารามิเตอร์ที่เหลืออีก 6 พารามิเตอร์ คือ U_{max}, L_{max}, CQOF, CKBF, TG, TOF, CK_1 และ CK_2 มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าจึงจำเป็นต้องประเมินค่าจากความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม สำหรับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ใช้ศึกษา ประกอบด้วย 1) ขนาดพื้นที่รับน้ำ (A) 2) ความยาวตามลำน้ำสายหลัก (L) 3) ความยาวตามลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำจนถึงจุดออกของลุ่มน้ำ (L_c) และ 4) ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (S) ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะทางกายภาพดังกล่าวมีความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงซ้อนกับพารามิเตอร์ 6 พารามิเตอร์แรก ของแบบจำลอง NAM โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.94 ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ดี สำหรับพารามิเตอร์ CK ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำ ดังนั้น จึงพิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยของ CK ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองทั้ง 8 สถานี และเมื่อนำผลการประเมินพารามิเตอร์โดยใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมไปประยุกต์ใช้กับสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการศึกษา พบว่า ให้ผลการประเมินกราฟน้ำท่าที่มีความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้

ABSTRACT : This study aims to investigate the regional relationships between the NAM Model parameters and their physical characteristics of the eight gauging stations in the Upper Ping River Basin. These relationships can then be used to estimate flow hydrographs of the ungauged basins. For a total 15 parameters of the NAM Model, the following parameters, ie CKIF, TIF, CAREA, Sy, $GWLBF_0$, GWL_{min} and $GWLFL_1$, can be indicated as constant values because they are not significant in flow

estimation. For the rest 8 parameters - U_{max}, L_{max}, CQOF, CKBF, TG, TOF, CK_1, and CK_2 – which are different from one station to another, they need to be approximated using the regional relationships. The physical characteristics of sub-catchments used in this study include: 1) the catchment area (A), 2) the main channel length (L), 3) the main channel length from the centroid (Lc), and 4) the main channel slope (S). Results of the study show that these physical characteristics can be related to the first 6 model parameters of sub-catchments with an acceptable average correlation coefficient of around 0.94. For the parameters CK_1, and CK_2 which are equal and not correlated to the catchment characteristics, the average value within the 8 stations (33 hours) is therefore suggested. Model parameters evaluated using the regional relationships have shown appropriated results in flow estimation at the studied gauging stations.

KEYWORDS : NAM Model Parameters, Flow Estimation, Ungauged Basin, Regional Relationship, Upper Ping River Basin.

1. บทนำ

การประเมินปริมาณน้ำท่าทั้งรายปี รายเดือน และรายวันให้ถูกต้องแม่นยำนับว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากปริมาณน้ำท่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำ ไม่ว่าจะเป็นการป้องกันอุทกภัย การจัดการควบคุมการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการนำแบบจำลอง NAM ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับประเมินปริมาณน้ำท่า มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ของลุ่มน้ำปิงตอนบนในบริเวณที่ไม่มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำท่า (Ungauged Basin) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วการพัฒนาแหล่งน้ำในบริเวณจุดที่ตั้งหัวงานนั้น จะไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ ดังนั้น ถ้าสามารถนำแบบจำลอง NAM มาประยุกต์ใช้กับบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ จะนำมาซึ่งประโยชน์อย่างมากต่องานด้านพัฒนาแหล่งน้ำ โดยในการศึกษานี้จะได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อย ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลักษณะลุ่มน้ำรวม เพื่อนำมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่

2. วัตถุประสงค์

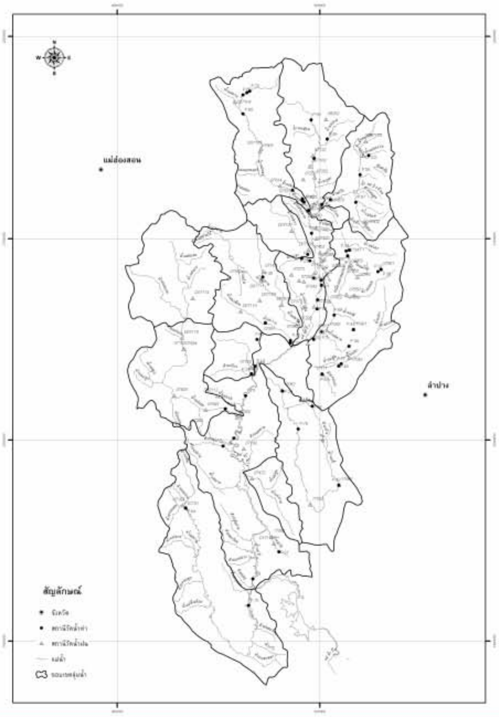
1. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM เพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน
2. การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM (Model Calibrate และModel Verification) ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของเหตุการณ์กราฟน้ำท่าในอดีต เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน
3. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อย ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลักษณะลุ่มน้ำรวม เพื่อนำมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่

3. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน มีสภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อน ปกคลุมด้วยป่าไม้ ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศ ระหว่างเส้นละติจูด 17° 14′ 30″ ถึง 19° 47′ 52″ เหนือ และระหว่างเส้นลองติจูด 98° 4′ 30″ ถึง 99° 22′ 30″ ตะวันออก อาณาเขตทิศเหนือและทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำสาละวินและลุ่มน้ำกก ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำวัง ความยาวของลำน้ำตั้งแต่ต้นน้ำถึงเขื่อนภูมิพลประมาณ 514 กิโลเมตร โดยต้นกำเนิดของแม่น้ำปิงอยู่ในเทือกเขาผีปันน้ำ เขตอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ไหลลงทางทิศใต้ มีน้ำแม่งัดไหลลงมาบรรจบทางฝั่งซ้ายและน้ำแม่แตงไหลมาบรรจบทางฝั่งขวา บริเวณอำเภอแม่แตง จากนั้นแม่น้ำปิงไหลลงใต้มายังบริเวณพื้นที่จังหวัดลำพูนมีน้ำแม่กวงไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้าย จากนั้นแม่น้ำปิงไหลไปทาง

ทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางใต้มีน้ำแม่ลี้ซึ่งไหลจากอำเภอลี้ขึ้นเหนือมาบรรจบที่อำเภอจอมทองทางฝั่งซ้าย จากอำเภอจอมทองแม่น้ำปิงไหลลงใต้มีน้ำแม่แจ่มไหลมาบรรจบทางฝั่งขวาที่อำเภอฮอด ก่อนไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลที่อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ [1] พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้แบ่งขอบเขตลุ่มน้ำสาขาโดยคณะอนุกรรมการศูนย์ข้อมูลสารสนเทศอุทกวิทยาได้เป็น 15 ลุ่มน้ำ ประกอบด้วย แม่น้ำปิงส่วนที่ 1 ส่วนที่ 2 ส่วนที่ 3 แม่แตง แม่งัด แม่ริม แม่กวง แม่แจ่ม แม่ขาน แม่กลาง แม่หาด แม่ลี้ แม่อาว แม่หาด และแม่ตื่น โดยลุ่มน้ำย่อยแม่แจ่มมีพื้นที่รับน้ำฝนมากที่สุดเท่ากับ 3,896 ตารางกิโลเมตร และลุ่มน้ำย่อยแม่อาวมีพื้นที่รับน้ำฝนน้อยที่สุดเท่ากับ 172 ตารางกิโลเมตร

สำหรับตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่รวบรวมได้จากกรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา และ กรมทรัพยากรน้ำ แสดงดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน [2]

4. ทฤษฎีแบบจำลอง NAM (Nedbor-Afstominga Model)

แบบจำลอง NAM ถูกพัฒนาขึ้นโดย Nielsen และ Hansen (1973) จาก Institute of Hydrodynamics and Hydraulics Engineering, Technical University of Denmark [3] แบบจำลอง NAM สามารถนำมาใช้ในการจำลองกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า ต่อมาได้มีการรวมเอาแบบจำลอง NAM เข้าไปรวมไว้ในซอฟท์แวร์ MIKE 11 โดย Danish Hydrodynamic and Hydraulic Institute (DHI) เพื่อนำมาใช้ในการจำลองปริมาณน้ำท่าของการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow) เพื่อใช้เป็นข้อมูลกราฟน้ำท่าสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ สำหรับแบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Module; HD) ในซอฟท์แวร์ MIKE 11 แบบจำลอง NAM จัดอยู่ในแบบจำลองประเภทลัมพ์ (Lumped System Routing) ซึ่งมีพื้นฐานของการเฉลี่ยตามพื้นที่ (Spatial Averaging) โดยเป็นการเฉลี่ยแบบทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่พิจารณา โดยกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยเป็นหนึ่งหน่วย ในการประเมินกราฟน้ำท่าโดยแบบจำลอง NAM นั้น การคำนวณกราฟน้ำท่าจะพิจารณาให้เป็นฟังก์ชั่นของเวลาเพียงอย่างเดียว ณ จุดที่พิจารณา ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM นั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาเป็นข้อมูลด้านเข้าซึ่งประกอบด้วย 1) ข้อมูลน้ำฝน (Rainfall) 2) ปริมาณการระเหย (Evapotranspiration) และ3) อุณหภูมิ (Temperature) สำหรับในกรณีที่มีหิมะเป็นองค์ประกอบของปริมาณน้ำท่า ซึ่งไม่นำมาพิจารณาสำหรับประเทศไทย สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง NAM คือ กราฟน้ำท่า รวมทั้งองค์ประกอบของปริมาณน้ำท่าในแต่ละส่วน อาทิเช่น ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow) ปริมาณการไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดิน (Lower Zone Storage) และปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Storage) เป็นต้น พารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ประกอบ U_{max} L_{max} CQOF CKBF CKIF TOF TIF TG CK_1 CK_2 CAREA Sy $GWLBF_0$ GWL_{min} และ $GWLFL_1$ พารามิเตอร์ของแบบจำลองโดยปกติแล้วจะสามารถประมาณค่าเริ่มต้นจากลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำได้ เช่น ความลาดชันของลุ่มน้ำ ความลาดชันของแม่น้ำ ลักษณะดิน และชนิดของพืชที่ปลูก แต่ในขั้นของการปรับเทียบแบบจำลอง ค่าพารามิเตอร์อาจแปรเปลี่ยนไปโดยยึดเกณฑ์ของความคล้ายคลึงกันของกราฟน้ำท่าจริงกับกราฟน้ำท่าจากแบบจำลอง ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM นั้น ในกรณีที่พื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษามีขนาดใหญ่จะต้องทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย โดยจะต้องทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุม

แบบจำลองในแต่ละลุ่มน้ำย่อย จากนั้นจึงสามารถนำพารามิเตอร์ที่ได้มาประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินกราฟน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝนในกรณีต่าง ๆ ต่อไป [4]

5. วิธีการดำเนินการ

การศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบนนั้น ได้ดำเนินงานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM เพื่อประเมินค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา โดยได้ดำเนินการสำหรับสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ จำนวน 8 สถานี โดยรายละเอียดของช่วงเวลาในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง แสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

สถานี	ลุ่มน้ำย่อย	พ.ท.รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ช่วงเวลาการสอบเทียบ	ช่วงเวลาการตรวจพิสูจน์
P.20	ปิงส่วน1	1,355	2001 - 2003	1994 - 1996
P.4A	แม่แตง	1,902	2001 - 2002	1995 - 1996
P.13	แม่แตง	1,765	1978 -1980	1974 - 1976
P.65	แม่แตง	240	1995 - 1996	1993 - 1994
P.28	แม่งัด	1,261	1973 - 1975	1970 - 1971
P.21	แม่ริม	515	2001 - 2003	1992 - 1993
P.34	แม่กวง	566	1976 - 1978	1979 - 1980
P.71	แม่ขาน	1,771	1999 - 2001	2002 – 2003

2. ทำการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลอง NAM และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในการศึกษานี้ได้พิจารณาใช้ตัวแปรทางสถิติคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) และค่า Efficiency Index (EI) มาเป็นเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM โดยสูตรการคำนวณตัวแปรทางสถิติแสดงในสมการ (1) และ (2) ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพัทธ์ (correlation coefficient: r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{oi}-\bar{Q}_o\right)\times\left(Q_{ci}-\bar{Q}_c\right)}{\left[\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{oi}-\bar{Q}_o\right)^2\times\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{ci}-\bar{Q}_c\right)^2\right]^{0.5}} \qquad (1)$$

2. ค่า efficiency index (EI)

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-\bar{Q}_o)^2-\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-Q_{ci})^2}{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-\bar{Q}_o)^2}\times 100\% \qquad (2)$$

เมื่อ Q_i คือ ปริมาณการไหลหรือระดับน้ำที่เวลา i ส่วน $\bar{Q}$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณการไหลหรือระดับน้ำ โดยที่ subscript O กับ C คือ ค่าที่ตรวจวัดได้และค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลอง ตามลำดับ และ N คือ จำนวนของข้อมูล

ค่า r มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ดีมาก ส่วนค่า Efficiency index (EI) ถ้ามีค่าเท่ากับ 100% แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับที่ได้จากการตรวจวัดทุกข้อมูล

3. คำนวณหาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย เพื่อสร้างความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM โดยในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาลักษณะเฉพาะของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยดังนี้คือ ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (S)

4. สร้างความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ โดยได้พิจารณาสร้างความสัมพันธ์แบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

5. ทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำกับสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน ในการประเมินกราฟน้ำท่า

6. ผลการศึกษา

6.1 ผลการประเมินพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง NAM

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง NAM ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่า โดยพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสถานีวัดน้ำท่า แสดงดังในตารางที่ 2 และพารามิเตอร์ที่ไม่เปลี่ยนแปลงในแต่ละสถานีแสดงดังในตารางที่ 3 สำหรับค่าทางสถิติที่แสดงผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่า แสดงดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง NAM ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน

สถานีวัดน้ำท่า	U_{max} (ม.ม.)	L_{max} (ม.ม.)	CQOF	TOF	CK (ชม.)	TG	CKBF (ชม.)
P.20	35	350	0.4	0.7	22	0.6	1,500
P.4A	52	520	0.3	0.3	48	0.9	3,000
P.13	60	600	0.2	0.1	18	0.9	3,000
P.65	12	120	0.5	0.5	36	0.2	1,000
P.28	33	330	0.5	0.3	38	0.7	2,000
P.21	26	260	0.5	0.1	40	0.5	1,000
P.34	20	200	0.5	0.1	30	0.3	1,000
P.71	48	480	0.3	0.1	34	0.9	2,000

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง NAM ที่ไม่เปลี่ยนแปลงในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน

CKIF (ชม.)	TIF	CAREA	Sy	$GWLBF_0$	GWL_{min}	$GWLFL_1$
1,000	0.0	1.0	0.1	10.0	0.0	0.0

ตารางที่ 4 ค่าทางสถิติที่แสดงผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน

สถานีวัดน้ำท่า	ลุ่มน้ำย่อย	สอบเทียบ		ตรวจพิสูจน์	
		r	EI (%)	r	EI (%)
P.20	ปิงส่วนที่ 1	0.89	73.29	0.8	63.74
P.4A	แม่แตง	0.85	69.78	0.82	54.76
P.13	แม่แตง	0.86	70.97	0.83	64.53
P.65	แม่แตง	0.84	69.59	0.90	78.22
P.28	แม่งัด	0.86	71.90	0.87	71.03
P.21	แม่ริม	0.79	43.02	0.83	54.30
P.34	แม่กวง	0.70	34.05	0.67	40.08
P.71	แม่ขาน	0.80	61.55	0.83	66.25

6.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่สถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่สถานีวัดน้ำท่าจำนวน 8 สถานี ในลุ่มน้ำปิงตอนบน ที่ได้ดำเนินการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM แสดงดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

สถานีวัดน้ำท่า	A (ตร.กม.)	L (กม.)	L_c (กม.)	S (%)
P.20	1,355	84.97	44.04	0.00942
P.4A	1,902	148.14	69.04	0.00411
P.13	1,765	127.45	55.17	0.00517
P.65	240	37.18	14.69	0.01099
P.28	1,261	81.38	37.08	0.00699
P.21	515	47.33	26.6	0.01213
P.34	566	41.77	20.15	0.01450
P.71	1,777	112.39	53.43	0.00666

6.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย

จากการศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM พบว่าพารามิเตอร์ต่อไปนี้ คือ CKIF, TIF, CAREA, Sy, $GWLBF_0$, GWL_{min} และ $GWLFL_1$ สามารถกำหนดเป็นค่าคงที่ได้โดยไม่ส่งผลกระทบมากนักต่อการประเมินน้ำท่า โดยในการศึกษานี้ได้กำหนดให้พารามิเตอร์ดังกล่าวมีค่าดังที่ได้กล่าวไว้ดังตารางที่ 3 สำหรับพารามิเตอร์ที่เหลือจำนวน 8 พารามิเตอร์ นับว่ามีความสำคัญต่อผลการประเมินปริมาณน้ำท่า ดังนั้น จึงจำเป็นต้องประเมิน โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในรูปแบบของสมการสหสัมพันธ์เชิงเส้น โดยสมการแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวตลอดจนตัวแปรทางสถิติของแต่ละความสัมพันธ์ แสดงในตารางที่ 6 สำหรับพารามิเตอร์ CK ไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำในลักษณะเชิงเส้นจึงพิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยของ CK ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองทั้ง 8 สถานี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 33 ชั่วโมง

ตารางที่ 6 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

สมการสหสัมพันธ์ (Regression)	r
$Umax = -10.83+0.013A+0.48L-0.47L_c+1,075.62S$	0.96
$Lmax = -108.32+0.13A+4.8L-4.74L_c+1,0756.22S$	0.96
$CQOF = 0.617+9.2(10^{-06})A-0.002L$	0.88
$CKBF = 517.207-0.155A+47.47L-60.514L_c-1,5983.1S$	0.98

TG = 0.5+0.0003A-0.004L+0.009L_c-24.81S	0.97
TOF = 0.0025L+0.091	0.91

6.4 ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ

เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินกราฟน้ำท่า ณ จุดที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนได้ จึงได้นำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM กับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีสถานีวัดน้ำท่าเพื่อเป็นการทดสอบผลของสมการ โดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ที่ได้จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 6 แสดงไว้ในตารางที่ 7

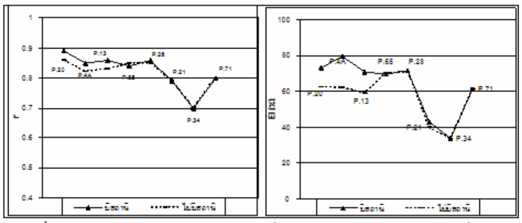
ตารางที่ 7 พารามิเตอร์แบบจำลอง NAM ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน

สถานีวัดน้ำท่า	U_{max} (ม.ม.)	L_{max} (ม.ม.)	CQOF	TOF	CK (ชม.)	TG	CKBF (ชม.)
P.20	36.9	369.1	0.4	0.3	33	0.7	1525
P.4A	56.8	567.9	0.2	0.5	33	0.9	3012
P.13	52.8	527.9	0.3	0.4	33	0.8	2873
P.65	15.0	150.0	0.5	0.2	33	0.3	1180
P.28	34.6	346.4	0.4	0.3	33	0.7	1830
P.21	19.0	190.4	0.5	0.2	33	0.4	881
P.34	22.7	226.5	0.5	0.2	33	0.3	961
P.71	48.2	481.6	0.3	0.3	33	0.9	2238

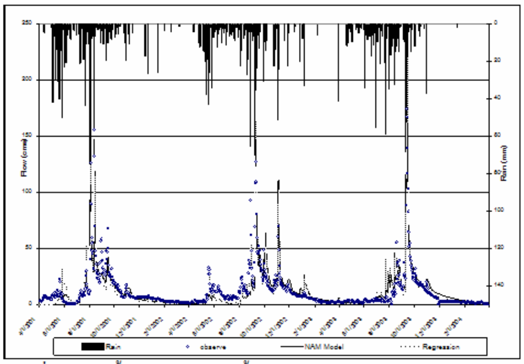
จากนั้นได้นำค่าพารามิเตอร์สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่ประเมินได้มาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินกราฟน้ำท่าในแต่ละสถานีสำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง รวมทั้งได้ทำการตรวจสอบผลการประเมินกราฟน้ำท่ากับข้อมูลที่ได้มีการตรวจวัดไว้ที่สถานีต่างๆ ซึ่งแสดงผลการประเมินโดยค่าทางสถิติดังในตารางที่ 8 และเพื่อให้เห็นประสิทธิผลของการประเมินค่าพารามิเตอร์โดยวิธีการดังกล่าว จึงได้แสดงภาพการเปรียบเทียบระหว่างค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองกับค่าทางสถิติที่ได้จากการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้น (ตารางที่ 6) ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าดังในภาพที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ทั้ง r และ EI ของทั้งสองกรณีมีความใกล้เคียงกัน นอกจากนั้น ได้แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าจากการใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากทั้งสองกรณีสำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.20 และ P.71 ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 แสดงค่าทางสถิติของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าทดสอบกรณีไม่มีสถานีวัดน้ำท่า

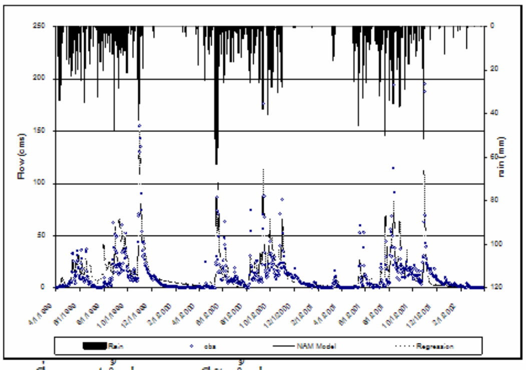
	P.20	P.4A	P.13	P.65	P.28	P.21	P.34	P.71
r	0.86	0.82	0.83	0.85	0.85	0.79	0.70	0.80
EI (%)	62.65	62.4	59.1	70.6	70.9	40.0	33.5	61.4



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบและที่ได้จากการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่า



ภาพที่ 3 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.20



ภาพที่ 4 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.71

7. บทสรุป

การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เพื่อการประเมินกราฟน้ำท่าสำหรับบริเวณที่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่เป็นสิ่งที่กระทำได้ไม่ยาก แต่เป็นปัญหาสำหรับบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ การศึกษานี้จึงได้ดำเนินการสร้างความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ เพื่อการนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลองเมื่อลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำสามารถหาได้จากแผนที่ภูมิประเทศ

การศึกษานี้ได้เลือกแบบจำลอง NAM ที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป และมีพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละจุดพิจารณาไม่มากนัก และเลือกลุ่มน้ำปิงตอนบนซึ่งมีความพร้อมของข้อมูลเป็นพื้นที่ศึกษา โดยผลการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆในลุ่มน้ำปิงตอนบนได้เป็นอย่างดี จึงสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมและได้พิสูจน์แล้วว่าความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมเพื่อการประเมินกราฟน้ำท่าสำหรับบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน และแนวทางการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับลุ่มน้ำอื่นๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่องานด้านทรัพยากรน้ำของประเทศต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณกรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้สนับสนุนข้อมูลประกอบการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ศิริกัญญา แสงสว่าง, 2547. การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองทางอุทกวิทยา ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

[2] สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548. รายงานโครงการวิจัยเรื่อง "ระบบการพยากรณ์และเตือนภัยน้ำท่วมตามเวลาจริงสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนและลุ่มน้ำยม". มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

[3] DHI Water and Environment, 2002. MIKE11-A Modelling System for Rivers and Channels: Reference Manual. Hørsholm, Denmark.

[4] นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, 2545. การจำลองสภาวะน้ำท่วม (Flood Modelling). ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

เกี่ยวกับผู้เขียน

สุพรรษา บำรุงพงศ์
ตำแหน่งปัจจุบัน
นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รศ.ดร. นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์
ตำแหน่งปัจจุบัน
รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผศ. สุรชัย ลิปิวัฒนาการ
ตำแหน่งปัจจุบัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุพรรษา บำรุงพงศ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 25 ตุลาคม 2523
สถานที่เกิด	เพชรบูรณ์
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 2546
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรแหล่งน้ำ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ซิกม่าไฮโดรคอนซัลแตนท์ จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์