



วิทยานิพนธ์

การประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า
ในกลุ่มน้ำปิงตอนบน

**RUNOFF ESTIMATION OF UNGAUGED SUBBASINS
IN THE UPPER PING RIVER BASIN**

นางสาวกิตติยา เกียรตินรากร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน

Runoff Estimation of Ungauged Subbasins in the Upper Ping River Basin

นามผู้วิจัย นางสาวกิตติยา เกียรติสินากร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( รองศาสตราจารย์ชัยวัฒน์ ขยันการนาวิ, M.Eng.)

กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรชัย ลิปิวัฒนาการ, M.Eng.)

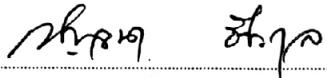
กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์อังฉรา ควงเดือน, M.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรชัย ลิปิวัฒนาการ, M.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๐ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๑

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปิงตอนบน

Runoff Estimation of Ungauged Subbasins in the Upper Ping River Basin

โดย

นางสาวกิตติยา เกียรติสินธกร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2551

กิตติยา เกียรติสินทรกร 2551: การประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มี
สถานีวัดน้ำท่า ในลุ่มน้ำปิงตอนบน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ชัยวัฒน์ ขยันการนาวิ, M.Eng. 136 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัด
น้ำท่า ในลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยหาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ที่ได้จากการ
สอบเทียบแบบจำลอง HEC-HMS กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิง
ตอนบน เพื่อนำมาประเมินพารามิเตอร์สำหรับลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ โดยผลการ
สอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนจำนวน 8 สถานี พบว่า
จากจำนวนพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ทั้ง 10 พารามิเตอร์ มีจำนวน 3 พารามิเตอร์
ได้แก่ Initial Deficit, Max Deficit และ Recovery Rate ไม่มีความสัมพันธ์ที่มียสำคัญกับ
ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ จึงกำหนดให้เป็นค่าคงที่ สำหรับพารามิเตอร์ T_p วิเคราะห์
จากสมการความสัมพันธ์ที่มีการศึกษาไว้เดิมของพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ส่วนพารามิเตอร์ที่เหลืออีก 6
พารามิเตอร์ คือ Loss Rate, %Impervious, Cp, Initial Q, Threshold Q และ Recession Constant มี
การเปลี่ยนแปลงในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าจึงจำเป็นต้องประเมินค่าจากความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม
สำหรับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ใช้ศึกษา ประกอบด้วย 1) ขนาดพื้นที่รับน้ำ 2)
ความยาวตามลำน้ำสายหลัก 3) ความยาวตามลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มน้ำจนถึงจุด
ออกของกลุ่มน้ำ 4) ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก 5) สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน
ประเภทที่อยู่อาศัย, พื้นที่เกษตรกรรม, พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่แหล่งน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะ
ทางกายภาพดังกล่าวมีความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงซ้อนกับ 5 พารามิเตอร์แรก มีค่าสัมประสิทธิ์
สหสัมพันธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.97 ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ส่วน Recession Constant มีค่าใกล้เคียง
กัน จึงเลือกใช้ค่าเฉลี่ย (0.974) และเมื่อนำผลการประเมินพารามิเตอร์โดยใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่ม
น้ำรวมไปประยุกต์ใช้กับสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการศึกษา พบว่าให้ผลการประเมินกราฟน้ำท่าที่มี
ความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ จากนั้นจึงนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการ
ประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน



ลายมือชื่อผู้ผลิต



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

14 / 05 / 51

Kitiya Kiatnarakorn 2008: Runoff Estimation of Ungauged Subbasins 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 Chaiwat Kayankarnnavy, M.Eng. 136 pages.

This study aims to investigate the regional relationships between the HEC-HMS model parameters and the physical characteristics of the eight gauging stations in the Upper Ping River Basin (UPRB). Thus, the study uses the relationships to estimate flow hydrographs of the ungauged sub-basins in the UPRB. By reconnaissance the eight gauging stations in the UPRB, there are ten parameters of the HEC-HMS model. Three of them (i.e. Initial Deficit, Max Deficit, and Recovery Rate) have no relationship with the physical characteristics. As the result, these three parameters can be indicated as constant values. For T_p parameter, it is used by analyzing data from the past study of Ping Basin. Moreover, others six parameters including, Loss Rate, %Impervious, C_p , Initial Q, Threshold Q, and recession constant, have a change in each gauging stations. Therefore, it is necessary to estimate by using the regional relationships. The physical characteristics of sub-catchments used in this study are:

- 1) the catchment area,
- 2) the main channel length,
- 3) the main channel length from the centroid of basin,
- 4) the main channel slope,
- 5) the ratio of land-use (i.e. agricultural, forest, and water resource area).

The results of the study show that the physical characteristics can be related to the first five model parameters of sub-catchments with an acceptable average correlation coefficient of 0.97. At the same time, the average recession constant value within eight stations is 0.974 which is up to standard. In conclusion, it is essential that the flow hydrographs of the ungauged sub-basins can be estimated by using regional relationships which are applied from the equation.

K. Kitayo

Student's signature

K. Chaiwat

Thesis Advisor's signature

14 / 05 / 08

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ชัยวัฒน์ ขยันการนาวิ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรชัย ลิปิวัฒนาการ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัจฉรา ดวงเดือน กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ และรองศาสตราจารย์วรากร ไม้เรียง ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณกรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้สนับสนุนข้อมูลประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ รวมถึง พี่ ๆ เพื่อน ๆ ทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

คุณประโยชน์อันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบความดีทั้งปวงแด่ บิดามารดา ญาติพี่น้อง ผู้มีพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

กิตติยา เกียรตินรากร

เมษายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	46
สรุปและข้อเสนอแนะ	82
สรุป	82
ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	87
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุตุวิทยามหาวิทยาลัยและอุทกวิทยา	90
ภาคผนวก ข การนำเข้าข้อมูลโปรแกรม HEC-DSS	107
ภาคผนวก ค การใช้งานแบบจำลอง HEC-HMS	110
ภาคผนวก ง ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าในกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า	128
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	136

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดพื้นที่รับน้ำของกลุ่มน้ำสาขาในกลุ่มน้ำปึงตอนบน	6
2	สภาพภูมิอากาศของพื้นที่กลุ่มน้ำปึงตอนบน	11
3	ปริมาณฝนในบริเวณพื้นที่กลุ่มน้ำปึงตอนบน	12
4	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำปึงตอนบน	12
5	กลุ่มของดินและอัตราการไหลซึมผ่านผิวดิน	19
6	สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่กลุ่มน้ำปึงตอนบน	35
7	ช่วงเวลาการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา	36
8	สัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา	37
9	ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่กลุ่มน้ำสาขาสำหรับสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในกลุ่มน้ำปึงตอนบน	42
10	สัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อกลุ่มน้ำสาขาที่พิจารณา	44
11	ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่กลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า ในกลุ่มน้ำปึงตอนบน	45
12	พารามิเตอร์ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่กลุ่มน้ำปึงตอนบนที่ได้จากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS	63
13	สมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS กับลักษณะเฉพาะของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ในพื้นที่กลุ่มน้ำปึงตอนบน	67
14	พารามิเตอร์แบบจำลอง HEC-HMS ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์จากการสอบเทียบแบบจำลอง กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ	68
15	ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองกับค่าทางสถิติที่ได้จากการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	พารามิเตอร์แบบจำลอง HEC-HMS ที่ได้จากการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์จากการสอบเทียบแบบจำลอง กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ	74
17	สรุปผลการวิเคราะห์กราฟน้ำท่า ของลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า	75
18	ค่า Specific Yield ที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟน้ำท่าของลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า	80
ตารางผนวกที่		
ก1	ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	91
ก2	ปริมาณฝนรายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	94
ก3	ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	98
ก4	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	100
ก5	สถิติค่า Specific Yield ของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง	105
ง1	ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปึงส่วนที่ 2 (06.05)	129
ง2	ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ลี (06.09)	130
ง3	ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่กลาง (06.10)	131
ง4	ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปึงส่วนที่ 3 (06.11)	132

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ง5 ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่แจ่มตอนบน (06.12)	133
ง6 ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่หาด (06.14)	134
ง7 ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ตื่น (06.15)	135

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ที่ตั้งและขอบเขตลุ่มน้ำปึงตอนบน	7
2	ขอบเขตลุ่มน้ำสาขาในลุ่มน้ำปึงตอนบน	8
3	ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศ	10
4	สัดส่วนสภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของลุ่มน้ำปึงตอนบน	13
5	สภาพการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำปึงตอนบน	14
6	กระบวนการเกิดน้ำท่าของแบบจำลอง HEC-HMS	16
7	กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของ Snyder	21
8	การถดถอยของปริมาณการไหลพื้นฐานเริ่มต้น	23
9	แบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐานแบบถดถอย	24
10	ที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	33
11	ที่ตั้งของสถานีวัดท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	34
12	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.20 ในปี ค.ศ. 1996	48
13	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.20 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1985 ถึง 1986	48
14	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.28 ในปี ค.ศ. 1976	50
15	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.28 ในปี ค.ศ. 1975	50
16	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.4A ในปี ค.ศ. 1987	52
17	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.4A สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1983 ถึง 1984	52
18	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.65 ในปี ค.ศ. 2001	54
19	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.65 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1995 ถึง 1996	54
20	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.21 ในปี ค.ศ. 2005	56
21	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.21 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1995 ถึง 1996	56
22	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.34 ในปี ค.ศ. 1981	58
23	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.34 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1975 ถึง 1976	58
24	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.71 ในปี ค.ศ. 1997	60
25	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.71 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 2004 ถึง 2005	60
26	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.14 ในปี ค.ศ. 1983	62

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.14 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1987 ถึง 1988	62
28	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.20	70
29	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.28	70
30	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.4A	71
31	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.65	71
32	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.21	72
33	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.34	72
34	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.71	73
35	กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.14	73
36	กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปิงส่วนที่ 2 (06.05)	76
37	กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ลี (06.09)	76
38	กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่กลาง (06.10)	77
39	กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปิงส่วนที่ 3 (06.11)	77
40	กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่แจ่มตอนบน (06.12)	78
41	กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่หาด (06.14)	78
42	กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ตื่น (06.15)	79
ภาพผนวกที่		
ข1	โปรแกรม HEC-DSS	108
ข2	หน้าต่างสำหรับใส่รายละเอียด Paltname ของข้อมูลแต่ละชุด	109
ข3	ตัวอย่างการใส่รายละเอียด Paltname ของข้อมูลแต่ละชุด	110
ข4	การใส่ชุดข้อมูลลงโปรแกรม HEC-DSS	111
ค1	การเข้าสู่แบบจำลอง HEC-HMS	113
ค2	การสร้างโปรเจ็คใหม่	113
ค3	หน้าต่าง Basin Model	114

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค4 หน้าต่าง Meteorologic Model	115
ค5 หน้าต่าง Control Specification	115
ค6 การเพิ่มสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่า จากข้อมูลในโปรแกรม HEC-DSS	116
ค7 การนำเข้าข้อมูลสถานีจาก HEC-DSS	116
ค8 การตั้งค่าเริ่มต้นของ HEC-HMS	117
ค9 การนำเข้าข้อมูลสถานีจาก HEC-DSS	118
ค10 การใส่พารามิเตอร์ในแบบจำลองปริมาณน้ำท่า	119
ค11 การใส่พารามิเตอร์ในแบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง	120
ค12 การใส่พารามิเตอร์ในแบบจำลองการไหลพื้นฐาน	120
ค13 ช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในแบบจำลอง HEC-HMS	121
ค14 การนำเข้า Subbasin และสถานีวัดน้ำฝน ใน Meteorologic Model	122
ค15 การใส่ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนในวิธี User gage Weighting	123
ค16 การใส่ข้อมูลช่วงเวลาการวิเคราะห์ใน Control Specification	124
ค17 การรันแบบจำลอง HEC-HMS	125
ค18 การแสดงผลในรูปแบบของกราฟ	126
ค19 การแสดงผลในรูปแบบของตารางสรุป	126
ค20 การแสดงผลในรูปแบบของตารางเป็น Time Series	127

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ชม.	=	ชั่วโมง
มม.	=	มิลลิเมตร
ซม.	=	เซนติเมตร
กม.	=	กิโลเมตร
ตร.ม.	=	ตารางเมตร
ตร.กม.	=	ตารางกิโลเมตร
ม.	=	เมตร
รทก.	=	ระดับน้ำทะเลปานกลาง
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร
ลบ.ม./วินาที	=	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
mm	=	มิลลิเมตร
mm/hr	=	มิลลิเมตรต่อชั่วโมง
$l/s/km^2$	=	ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร
A	=	พื้นที่รับน้ำ, พื้นที่ลุ่มน้ำ
cms	=	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
GIS	=	ระบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์
L	=	ความยาวของลำน้ำสายหลัก
Lc	=	ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์กลางถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก
S	=	ความลาดชันของลำน้ำสายหลัก
U	=	สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทที่อยู่อาศัย
Ag	=	สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เกษตรกรรม
F	=	สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่ป่าไม้
W	=	สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่แหล่งน้ำ

การประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

Runoff Estimation of Ungauged Subbasins in the Upper Ping River Basin

คำนำ

การประเมินปริมาณน้ำท่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย การป้องกันอุทกภัย การจัดการควบคุมการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำต่างๆ ในปัจจุบัน มีการพัฒนาแบบจำลองอุทกวิทยาเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าหลายแบบจำลอง โดยส่วนใหญ่เป็นแบบจำลองทางด้านแนวความคิด (Conceptual Model) ที่ต้องใช้ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำในการจำลองกระบวนการเกิดน้ำท่า หรือเรียกว่าแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ซึ่งการประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลองนั้น เป็นเพียงองค์ประกอบเริ่มต้นในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำต่อไป

สำหรับลุ่มน้ำที่ได้ทำการศึกษาการประเมินปริมาณน้ำท่า คือ ลุ่มน้ำปิงตอนบน เนื่องจากในบางลุ่มน้ำสาขายังไม่มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำท่า ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องมีการประเมินปริมาณน้ำท่าในกรณีที่จะทำการวางแผนโครงการ หรืองานพัฒนาแหล่งน้ำ และเนื่องจากลุ่มน้ำปิงตอนบนมีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ในบางลุ่มน้ำสาขา เพียงพอที่จะนำมาหาความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำ จึงทำการศึกษาเพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้ ไปใช้ประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า อันจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่องานด้านพัฒนาแหล่งน้ำของลุ่มน้ำปิงตอนบน

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง HEC-HMS ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Hydrologic Engineering Center (HEC) of U.S. Army Corps of Engineering และเป็นซอฟต์แวร์สาธารณะ ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้ มาหาความสัมพันธ์ในลักษณะลุ่มน้ำรวม เพื่อประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำสาขาในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำท่า (Ungauged Subbasin) โดยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำย่อย ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวในลักษณะลุ่มน้ำรวม เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้มาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ ที่ไม่มี

สถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ โดยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่จะได้นำมาพิจารณา ได้แก่ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดไกลสุดบนสันปันน้ำจนถึงจุดออก ความยาวของลำน้ำจากจุดศูนย์ถ่วงจนถึงจุดออก ความลาดชันของลำน้ำ ตลอดจนลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวัน
2. เพื่อสอบเทียบแบบจำลองสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำท่าในอดีต เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปึงตอนบน
3. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของกลุ่มน้ำย่อย ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปึงตอนบน เพื่อสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลักษณะกลุ่มน้ำรวม และนำมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันสำหรับจุดพิจารณาต่าง ๆ ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่
4. ประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ในพื้นที่กลุ่มน้ำปึงตอนบน

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาหลักการและทฤษฎีของแบบจำลอง HEC-HMS ตลอดจนผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS เพื่อการประเมินกราฟน้ำท่ารายวันในพื้นที่ศึกษาต่าง ๆ
2. รวบรวมข้อมูลทางด้านอุตุนิยมิวิทยา และอุทกวิทยา ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ปริมาณน้ำท่ารายวัน และปริมาณการระเหยรายวัน จากสถานีที่มีการเก็บข้อมูลดังกล่าวในพื้นที่กลุ่มน้ำปึงตอนบน เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง HEC-HMS
3. รวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อใช้ประกอบการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS
4. จัดเตรียมข้อมูลลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่กลุ่มน้ำปึงตอนบน (catchment characteristics) ได้แก่ ขนาดพื้นที่กลุ่มน้ำ (catchment area; A) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุด

ไกลสุดบนสันปันน้ำจนถึงจุดออก (catchment length; L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงจนถึงจุดออก (L_c) ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (channel slope; S) เป็นต้น

5. การประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของเหตุการณ์กราฟน้ำท่าในอดีตโดยใช้แบบจำลอง HEC-HMS พร้อมทั้งการสอบเทียบแบบจำลอง (model calibration) และการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (model verification) เพื่อการประเมินค่าของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปึงตอนบน

6. การศึกษาความสัมพันธ์พารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำย่อย ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปึงตอนบน เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำย่อย ในลักษณะลุ่มน้ำรวม

7. จากความสัมพันธ์ที่ได้ นำมาประเมินปริมาณน้ำท่า ในลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

1. ที่ตั้งและลักษณะทั่วไป

ลุ่มน้ำปิงตอนบน ครอบคลุมพื้นที่ จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และบางส่วนของจังหวัดตาก และแม่ฮ่องสอน มีพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 25,454 ตารางกิโลเมตรเหนือเขื่อนภูมิพล ตั้งอยู่ระหว่าง เส้นละติจูดที่ $17^{\circ}14'30''$ ถึง $19^{\circ}47'52''$ เหนือ และระหว่างลองจิจูดที่ $98^{\circ}4'30''$ ถึง $99^{\circ}22'30''$ ตะวันออก อาณาเขตทิศเหนือและทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำสาละวินและลุ่มน้ำแม่กก ทิศตะวันออก ติดกับลุ่มน้ำแม่วัง โดยมีน้ำแม่กวังไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้ายในเขตพื้นที่จังหวัดลำพูน มีแม่น้ำลี้ไหล ขึ้นมาทางเหนือ บรรจบกับแม่น้ำปิงที่อำเภอจอมทองทางฝั่งซ้าย น้ำแม่แจ่มไหลมาบรรจบทางฝั่ง ขวาที่อำเภอฮอด ก่อนไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลที่อำเภอดอยเต่า ภาพที่ 1 และภาพที่ 2 แสดง ที่ตั้งของลุ่มน้ำปิงตอนบน และขอบเขตลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำปิงตอนบน

2. สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยส่วนใหญ่มีสภาพเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนปก คลุมด้วยป่าไม้และมีที่ราบลุ่มเขาตามแหล่งชุมชน บริเวณเขตอำเภอแม่แตง อำเภอเมือง อำเภอ หางดง อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน ความยาวของลำน้ำจนถึง เขื่อนภูมิพลประมาณ 514 กิโลเมตร ประกอบด้วยลุ่มน้ำสาขา 14 ลุ่มน้ำ โดยพื้นที่รับน้ำฝนอยู่ ในช่วง 547 – 3,191 ตารางกิโลเมตร โดยลุ่มน้ำสาขาแม่หาดมีขนาดพื้นที่เล็กที่สุด และลุ่มน้ำสาขา แม่น้ำปิงส่วนที่ 3 มีขนาดพื้นที่ใหญ่ที่สุด ดังตารางที่ 1 แสดงพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำสาขาต่าง ๆ ใน ลุ่มน้ำปิงตอนบน

แม่น้ำปิงในช่วงที่ไหลผ่านพื้นที่อำเภอเชียงดาวมีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 500-1,300 เมตร (รทก.) ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:40 แม่น้ำปิงที่ไหลมาตามหุบเขาตอนบนของอำเภอแม่แตงมี ระดับความสูงอยู่ระหว่าง 300-500 เมตร (รทก.) ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:50 และแม่น้ำปิง ในช่วงที่ไหลผ่านที่ราบในหุบเขาในอำเภอแม่แตง อำเภอแม่ริม และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ มี ระดับความสูงอยู่ระหว่าง 260-300 เมตร (รทก.) ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:1,800 จากนั้น แม่น้ำปิงจะไหลผ่านพื้นที่ราบบริเวณหุบเขาก่อนไปลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล โดยมีความลาดชัน

ท้องน้ำบริเวณนี้ประมาณ 1:1,590 และมีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 140-260 เมตร (รทก.) โดยสภาพความลาดชันของท้องน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิประเทศ

ตารางที่ 1 รายละเอียดพื้นที่รับน้ำของกลุ่มน้ำสาขาในกลุ่มน้ำปิงตอนบน

รหัสกลุ่มน้ำสาขา	รายชื่อกลุ่มน้ำสาขา	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
16.02	แม่น้ำปิงตอนบน	2,029
16.03	น้ำแม่จืด	1,263
16.04	แม่น้ำแม่แตง	1,925
16.05	แม่น้ำปิงส่วนที่ 2	1,634
16.06	น้ำแม่ริม	588
16.07	น้ำแม่กวง	2,725
16.08	น้ำแม่งาน	1,773
16.09	น้ำแม่ลี	2,132
16.10	น้ำแม่กลาง	603
16.11	แม่น้ำปิงส่วนที่ 3	3,191
16.12	น้ำแม่แจ่มตอนบน	1,957
16.13	น้ำแม่แจ่มตอนล่าง	1,933
16.14	น้ำแม่หาด	547
16.15	น้ำแม่ต้น	3,154
	รวม	25,454

ที่มา: กรมชลประทาน (2549)

3. สภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

3.1 สภาพอุตุนิยมวิทยา

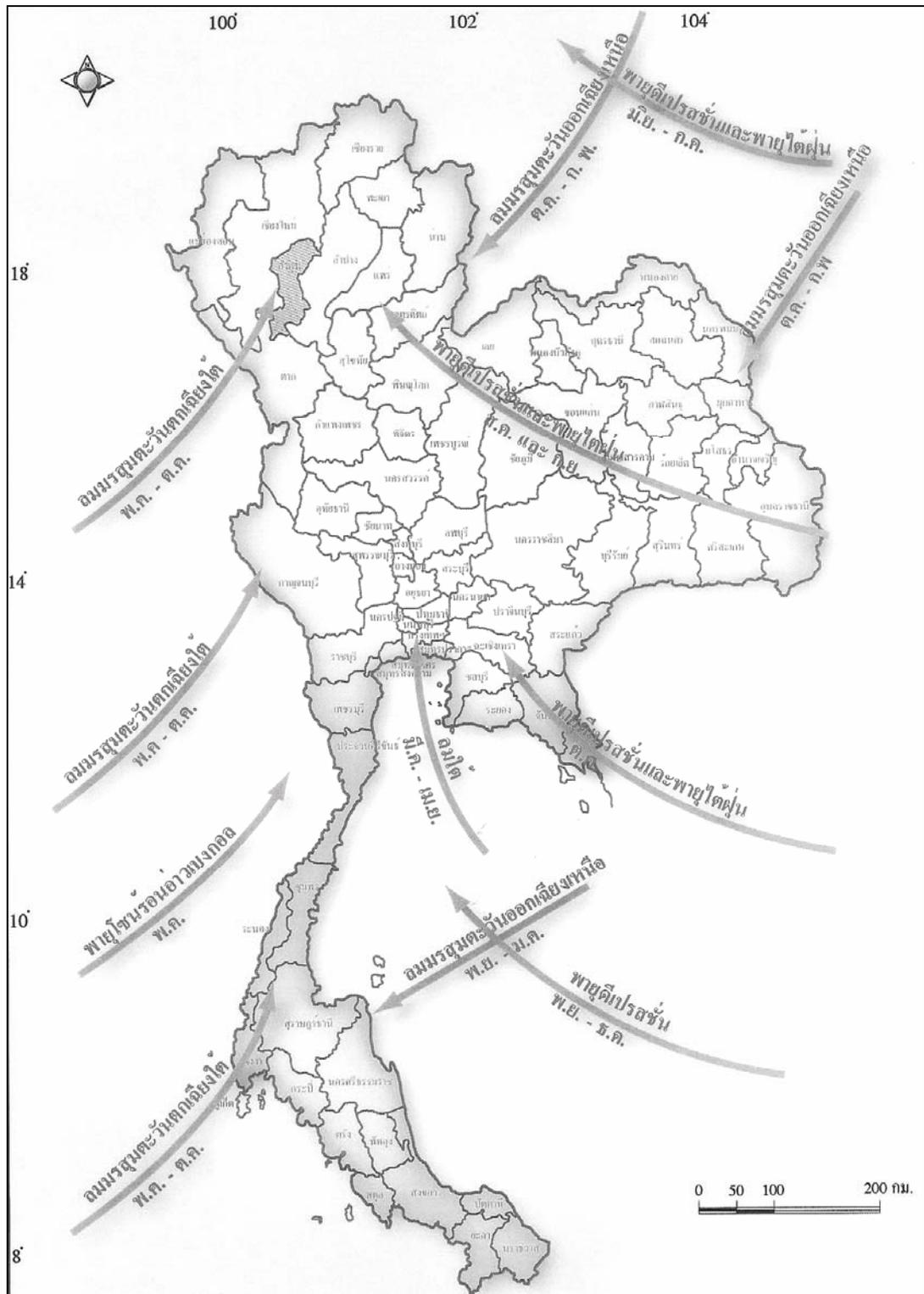
สภาพอากาศทั่วไปของกลุ่มน้ำปิงตอนบนอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ทำให้มีฝนตกชุกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ดังภาพที่ 3 แสดงทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่นและตำแหน่งของร่องความกดอากาศ และเนื่องจากกลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ จึงใช้สถิติข้อมูลสภาพภูมิอากาศในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) ที่สถานีตรวจอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเก็บรวบรวมโดยกรมอุตุนิยมวิทยา สรุปได้ดังนี้

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

2) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนของพื้นที่กลุ่มน้ำปิงมีค่าระหว่างร้อยละ 54 – 81 โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดรายเดือนร้อยละ 93 ในเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม และค่าเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 31 ในเดือนมีนาคม และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้งปีเท่ากับร้อยละ 71

3) ความเร็วลมโดยทั่วไปลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลังแรง แต่จะมีกำลังอ่อนตัวในช่วงฤดูหนาว ความเร็วลมโดยเฉลี่ยรายเดือนมีค่าระหว่าง 1.3 ถึง 3.3 น็อต ความแรงและทิศทางของลมจะแปรเปลี่ยนตามทิศทางของลมมรสุม หรือร่องความกดอากาศต่ำ

4) ปริมาณการระเหยจากผิวดินการระเหยรายเดือนอยู่ระหว่าง 98.3 ถึง 189.4 มิลลิเมตร โดยในเดือนธันวาคมและเดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีปริมาณการระเหยต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ และมีปริมาณการระเหยรายปีเฉลี่ยเท่ากับ 1,639.0 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3 ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศต่ำที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

5) ฤดูกาลทางภาคเหนือได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือคร่าวละ 6 เดือน ทำให้เกิด 3 ฤดู คือ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม จะเริ่มมีฝนตกหนักระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน ฤดูหนาวเริ่มจากกลางเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ อากาศจะแห้งและเย็นลงจนหนาวจัดที่สุดในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ฤดูร้อนอยู่ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน โดยมีอากาศแห้งจัดในเดือนเมษายน

สภาพภูมิอากาศทั่วไปของกลุ่มน้ำปิงตอนบน จากสถานีตรวจวัดอากาศจังหวัดเชียงใหม่ 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
ความชื้นของเมฆ (0-10)	5.2	2.0 - 8.5	-	-
ความเร็วลม (ม.ต่อ)	2.4	1.3 - 3.3	64.0	-
ปริมาณการระเหยจาก ผิวดิน (มม.)	163.9	98.3 - 189.4	-	-

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

3.2 สภาพอุทกวิทยา

1) ปริมาณฝน จากสถิติข้อมูลปริมาณฝนซึ่งจัดเก็บโดยกรมชลประทานตั้งแต่เริ่มมีการจัดเก็บข้อมูลของแต่ละสถานีจนถึงปี พ.ศ. 2543 ในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบนจำนวน 76 สถานี โดยเป็นสถานีที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 65 สถานี และตั้งอยู่ในจังหวัดลำพูนจำนวน 11 สถานี แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณฝนในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

	(มม.)											
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.
เชียงใหม่	49	160	143	172	221	219	126	42	14	7	6	15
ลำพูน	54	154	114	118	161	198	125	42	8	4	6	17

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

2) ปริมาณน้ำท่า จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำปิง ที่มีการจัดเก็บโดยกรมชลประทาน จำนวน 83 สถานี โดยเป็นสถานีที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 74 สถานี และจังหวัดลำพูน 9 สถานี ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูล ในช่วงปี พ.ศ.2503-2543 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย 6,816 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นน้ำท่าที่เกิดในช่วงฤดูฝนประมาณร้อยละ 75.5 ของปริมาณน้ำท่าที่เกิดทั้งปี ตารางที่ 4 แสดงปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของลุ่มน้ำปิงตอนบน

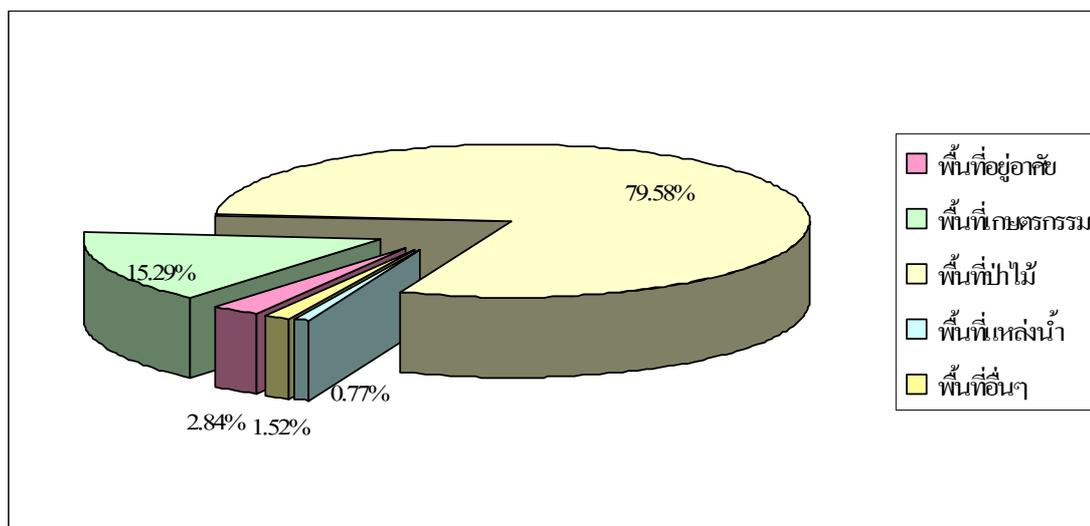
ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของลุ่มน้ำปิงตอนบน

	(ล้าน ลบ.ม.)											
เดือน	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ปริมาณน้ำท่า	110	264	391	556	1,202	1,559	1,177	676	387	238	142	114

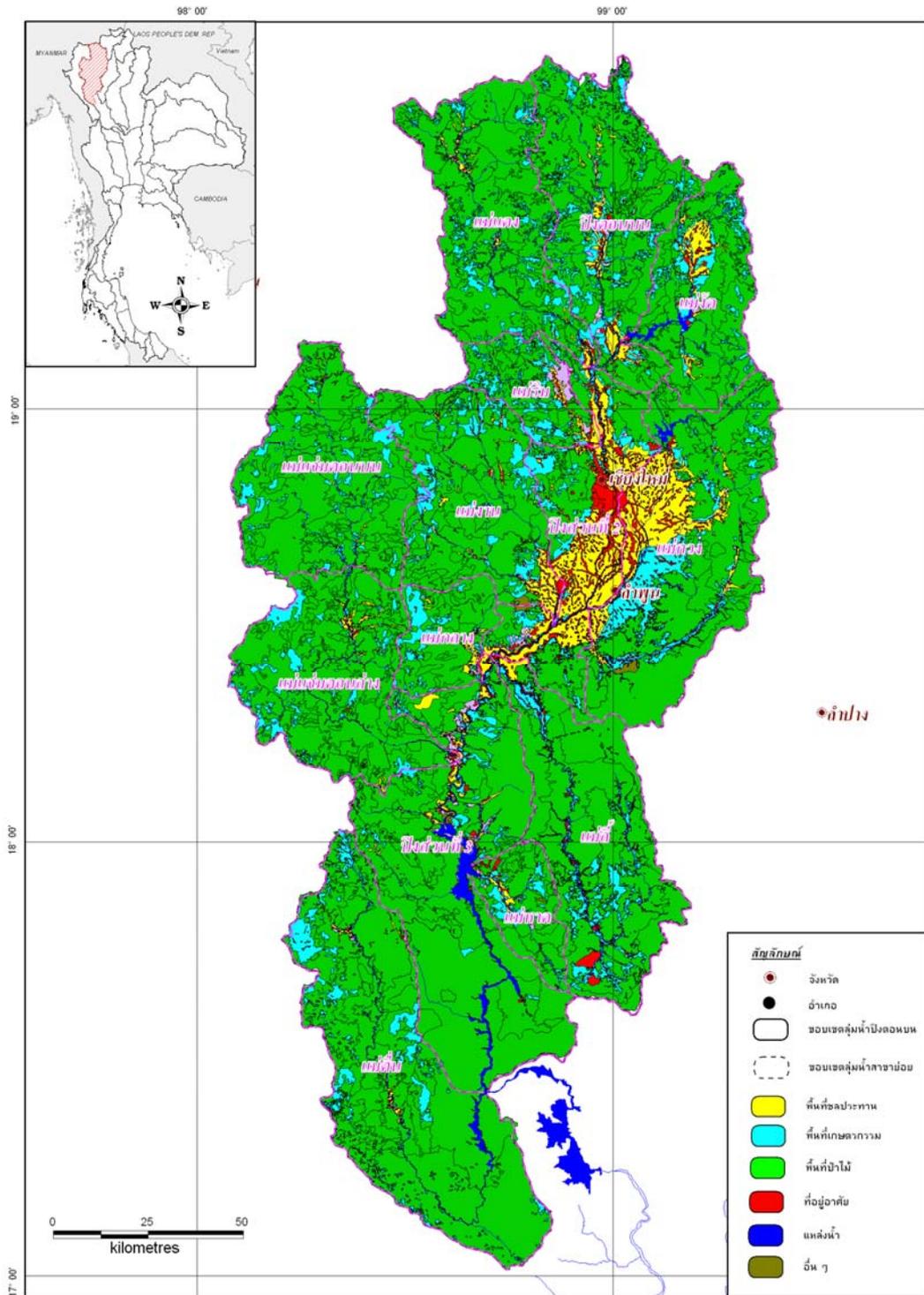
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

4. สภาพการใช้ที่ดิน

ลุ่มน้ำปิงตอนบนครอบคลุมพื้นที่ 25,454 ตารางกิโลเมตร หรือ 15,908,750 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้มีประมาณ 12,659,563 ไร่ หรือร้อยละ 79.58 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่เกษตรกรรมมีประมาณ 2,432,326 ไร่ หรือร้อยละ 15.29 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่อยู่อาศัยมีประมาณ 451,792 ไร่ หรือร้อยละ 2.84 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่อยู่ในเขตพื้นที่ราบลุ่มเชิงใหม่และลำพูน พื้นที่แหล่งน้ำทั้งที่เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้นมีประมาณ 122,949 ไร่ หรือเพียงร้อยละ 0.77 ของพื้นที่ทั้งหมด และยังมีพื้นที่ใช้งานอื่นๆ อีกประมาณ 242,120 ไร่ หรือร้อยละ 1.52 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยสัดส่วนสภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในรูปแบบแผนภูมิในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 แสดงสภาพการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำปิงตอนบน



ภาพที่ 4 สัดส่วนสภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของลุ่มน้ำปิงตอนบน
ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2546)



ภาพที่ 5 สภาพการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำปิงตอนบน
ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2546)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา

1. แบบจำลอง HEC-HMS

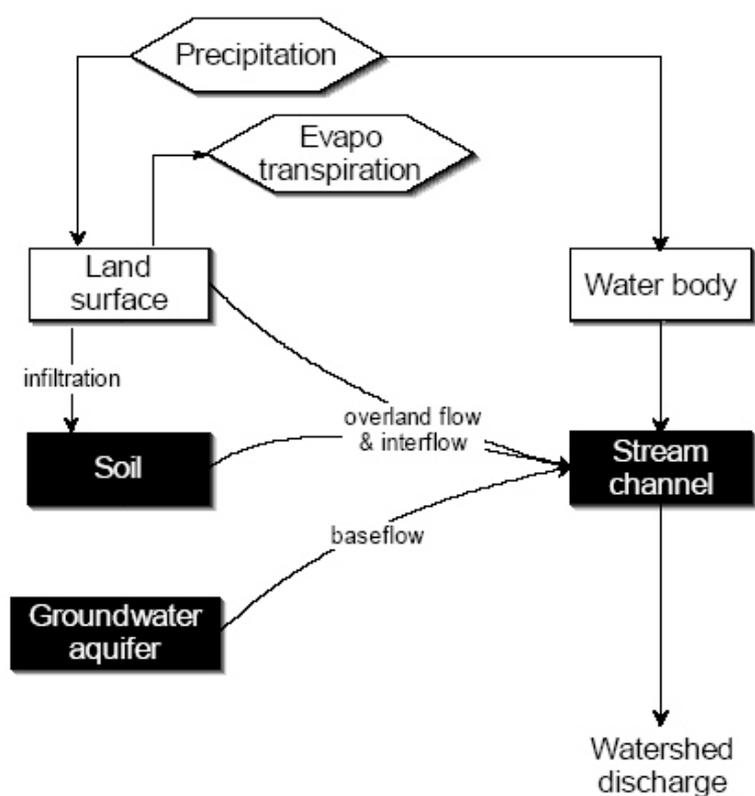
แบบจำลอง **HEC-HMS** ถูกพัฒนาขึ้นโดย หน่วยงาน Hydrologic Engineering Center (HEC) of U.S. Army Corps of Engineering ซึ่งได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) ให้เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปขึ้น โดยร่วมกับศูนย์วิศวกรรมชลศาสตร์ The HEC: “Next-Generation Software Development Project” เมื่อเดือนมีนาคม ปี ค.ศ. 1998 ซึ่งใช้จำลองกระบวนการของน้ำฝน-น้ำท่า และกระบวนการเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำท่าทั้งในสภาพธรรมชาติและสภาพที่มีการควบคุมได้ โดยมีพื้นฐานของแบบจำลองจากแบบจำลอง HEC-1 (flood hydrograph package) อย่างไรก็ตามแบบจำลอง HEC-HMS ได้พัฒนาความสามารถของจำลอง HEC-1 ให้เพิ่มขึ้นจากเดิม โดยการเพิ่มความสามารถของการจำลองสภาพการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและระยะทาง (distribution model) และการจำลองสภาพการไหลแบบต่อเนื่อง (continuous simulation) ได้

แบบจำลอง HEC-HMS จัดอยู่ในแบบจำลองประเภทลัมพ์ (lumped system routing) ซึ่งมีพื้นฐานของการเฉลี่ยตามพื้นที่ (spatial averaging) โดยเป็นการเฉลี่ยแบบทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่พิจารณา โดยกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยเป็นหนึ่งหน่วยในการประเมินกราฟน้ำท่า โดยแบบจำลอง HEC-HMS นั้น การคำนวณกราฟน้ำท่าจะพิจารณาให้เป็นฟังก์ชันของเวลาเพียงอย่างเดียว ณ จุดที่พิจารณา ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS จำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมนวิทยาและอุทกวิทยาเป็นข้อมูลด้านเข้า ซึ่งประกอบด้วย 1) ข้อมูลน้ำฝน (rainfall) และ 2) ปริมาณการระเหย (evapotranspiration) สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS คือ กราฟน้ำท่า ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS นั้น ในกรณีที่พื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษามีขนาดใหญ่จะต้องทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย โดยจะต้องทำการสอบเทียบแบบจำลอง (model calibrate) และตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (model verification) เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองในแต่ละลุ่มน้ำย่อย จากนั้นจึงสามารถนำพารามิเตอร์ที่ได้มาประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินกราฟน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝนในกรณีต่าง ๆ ต่อไป

1.1 โครงสร้างของแบบจำลอง (module structure)

แบบจำลอง HEC-HMS สามารถแบ่งประเภทแบบจำลองย่อยตามกระบวนการเกิดปริมาณน้ำท่า ดังแสดงในภาพที่ 6 ได้ 4 ประเภทดังนี้

- 1) แบบจำลองปริมาณน้ำท่า (runoff-volume models)
- 2) แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้น โดยตรง (direct-runoff models)
- 3) แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models)
- 4) แบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (routing-models)



ภาพที่ 6 กระบวนการเกิดน้ำท่าของแบบจำลอง HEC-HMS

ที่มา: Hydrological Engineering Center (2000)

1.1.1 การคำนวณของแบบจำลอง

สำหรับในการทำวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากการคำนวณกราฟน้ำทำให้เป็นฟังก์ชันของเวลาเพียงอย่างเดียว ณ จุดที่พิจารณา จึงไม่ได้เลือกใช้แบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (routing-models) และได้เลือกใช้แบบจำลองย่อยในแบบจำลองปริมาตรน้ำท่า (runoff-volume models) แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct-runoff models) และแบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models) ได้แก่ แบบจำลองการสูญเสียแบบลดลงและอัตราการสูญเสียคงที่ (the deficit and constant-rate model) แบบจำลองกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี Snyder (snyder's uh model) และแบบจำลองถดถอยแบบ Exponential (exponential recession model) ตามลำดับ ดังมีรายละเอียดการคำนวณของแต่ละแบบจำลองย่อย ดังนี้

1) แบบจำลองปริมาตรน้ำท่า (runoff-volume models)

แบบจำลองปริมาตรน้ำท่าหรือสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแบบจำลองการสูญเสียของปริมาณฝน ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการสูญเสียของปริมาณน้ำฝนด้านต่างๆ โดยการคำนวณปริมาณฝนส่วนเกินในแบบจำลอง HEC-HMS ทำได้โดยการนำเอาปริมาณฝนที่ตกทั้งหมดในพื้นที่ลุ่มน้ำหักด้วยปริมาณการสูญเสียด้านต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับโดยพืช (interception) ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านผิวดิน (infiltration) ปริมาณน้ำที่ถูกเก็บกักไว้บนแหล่งน้ำบนผิวดิน (depression storage) และปริมาณการระเหย (evaporation) หรืออัตราการคายระเหยของพืช (evapotranspiration) โดยที่แบบจำลอง HEC-HMS จะทำการหาค่าการสูญเสียของปริมาณฝนในแต่ละช่วงเวลา (time interval) ซึ่งแบบจำลองย่อยที่เลือกใช้คือ แบบจำลองการสูญเสียแบบลดลงและอัตราการสูญเสียคงที่ (the deficit and constant-rate model) มีรายละเอียดต่อไปนี้

การคำนวณการสูญเสียของปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลองสูญเสียแบบลดลงและอัตราการสูญเสียคงที่ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การคำนวณแบบต่อเนื่องของควอซซี (quasi-continuous) ซึ่งมีวิธีการคำนวณคล้ายกับการคำนวณของแบบจำลองการสูญเสียเริ่มต้นและอัตราการสูญเสียคงที่ คือ

การสูญเสียเริ่มต้น (Ia) เป็นตัวแทนการสูญเสียที่เกิดจากการเก็บกักบนต้นไม้หรือพืชต่างๆ (Interception) และการเก็บกักในแอ่งน้ำผิวดิน (depression storage) ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นๆ การสูญเสียเริ่มต้นนี้จะเกิดขึ้นก่อนการเกิดน้ำท่า ดังนั้นปริมาณน้ำฝนสะสมต้องมีปริมาณมากกว่าปริมาณการสูญเสียเริ่มต้นจึงจะเกิดน้ำท่า ซึ่งปริมาณน้ำฝนส่วนเกินสามารถหาได้ดังนี้

$$pe_t = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum p_i < I_a \\ p_t - f_c & \text{if } \sum p_i > I_a \text{ and } p_t > f_c \\ 0 & \text{if } \sum p_i > I_a \text{ and } p_t < f_c \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ P_t คือ ความลึกของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตามพื้นที่ระหว่างช่วงเวลา t ถึง $t+\Delta t$ f_c คือปริมาณน้ำฝนที่สูญเสีย pe_t คือ ปริมาณน้ำส่วนเกิน โดยการสูญเสียเริ่มต้น (Ia) จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ถ้าพื้นที่รับน้ำอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นถ้าพื้นที่รับน้ำอยู่ในสภาพที่แห้งแล้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำ ลักษณะการใช้ที่ดิน ชนิดของดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นๆ และมีปริมาณการสูญเสียได้มากที่สุดเท่ากับปริมาณน้ำฝนสูงสุดที่ตกลงมา ซึ่งในกรณีนี้ส่งผลให้ไม่เกิดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว

และอัตราการการสูญเสียคงที่ (Loss Rate) สามารถพิจารณาได้จากความสามารถสูงสุดของการไหลซึมผ่านผิวดินสำหรับดินแต่ละประเภท ซึ่ง SCS ได้แบ่งประเภทของดินตามความสามารถของการไหลซึมผ่านผิวดิน และได้ประมาณค่าอัตราการไหลซึมผ่านผิวดินสำหรับกลุ่มดินเหล่านั้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณค่าอัตราการสูญเสียคงที่ ซึ่งสามารถแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 กลุ่มของดินและอัตราการไหลซึมผ่านผิวดิน

กลุ่มของดิน	คำจำกัดความ	อัตราการสูญเสีย (นิ้ว/ชม.)
A	Deep sand, deep loess, aggregated silts	0.30-0.45
B	Shallow loess, sandy loam	0.15-0.30
C	Clay loams, shallow sandy loam, soils low in organic content, and soils usually high in clay	0.05-0.15
D	Soils that swell significantly when wet, heavy plastic clays and certain saline soils	0.00-0.05

แบบจำลองการสูญเสียเริ่มต้นและอัตราการสูญเสียคงที่ มีความแตกต่างกับการคำนวณของการสูญเสียเริ่มต้นตรงที่การสูญเสียเริ่มต้นสามารถกลับมาใหม่ได้ (recovery) หลังจากไม่มีปริมาณน้ำฝนเป็นช่วงเวลานานๆ โดยต้องกำหนดค่าการสูญเสียเริ่มต้น อัตราการสูญเสียคงที่ และอัตราการสูญเสียที่กลับมาใหม่ (Recovery Rate) ขึ้น จากนั้นแบบจำลอง HEC-HMS จะติดตามค่าการสูญเสียความชื้นในดินอย่างต่อเนื่อง โดยคำนวณจากปริมาณฝนเริ่มต้น รวมกับค่าการ Recovery ระหว่างช่วงเวลาที่ฝนไม่ตก โดยค่าการ Recovery สามารถประมาณได้จากผลรวมของอัตราการระเหยและอัตราการซึมผ่านผิวดิน

2) แบบจำลองปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct runoff model)

แบบจำลอง HEC-HMS มีทางเลือกในการใช้แบบจำลองสำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยตรงอยู่ 2 ทางเลือก สำหรับทางเลือกแรกคือการใช้หลักการของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (unit hydrograph) มาใช้ในการวิเคราะห์การไหลที่เกิดโดยตรง ซึ่งเป็นรูปแบบที่เลือกใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ส่วนทางเลือกที่สองคือ การนำแบบจำลองคลื่นจลศาสตร์ (kinematic-wave model) มาใช้ในการวิเคราะห์การไหลที่เกิดโดยตรง

สำหรับการคำนวณปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยตรงด้วยวิธีการหนึ่งหน่วยน้ำท่า สำหรับแบบจำลอง HEC-HMS มีสมการดังนี้

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \quad (2)$$

เมื่อ Q_n คือ Ordinate ของ Storm Hydrograph ที่เวลา $n\Delta t$
 P_m คือ ปริมาณน้ำฝนส่วนเกินในช่วงเวลา $m\Delta t$ ถึง $(m+1)\Delta t$
 M คือ จำนวนช่วงทั้งหมดของปริมาณน้ำฝนที่ถูกแบ่งออกตาม
 ช่วงเวลา
 U_{n-m+1} คือ Ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่เวลา
 $(n-m+1)\Delta t$

โดยแบบจำลองที่เลือกใช้ในครั้งนี้อยู่ได้แก่แบบจำลองกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี Snyder (snyder's uh model) ซึ่งมีหลักการ ดังนี้

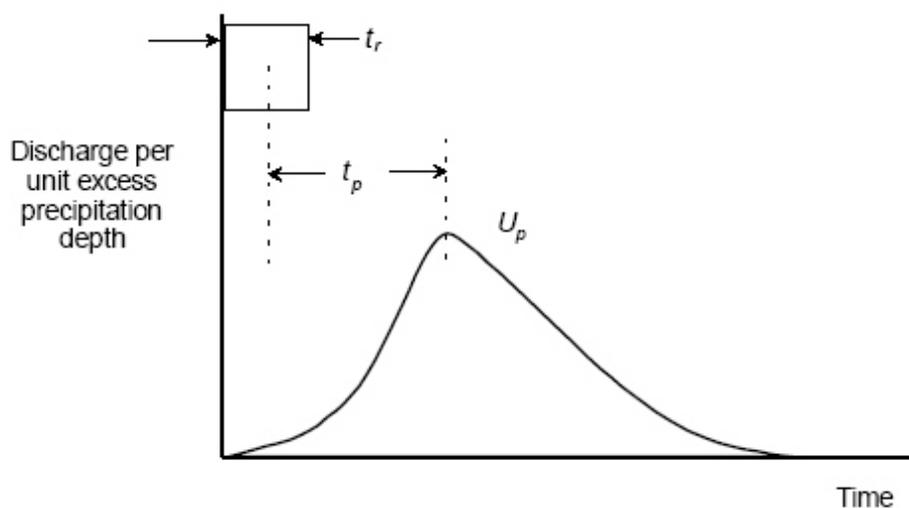
Snyder เลือกค่า Basin Lag ปริมาณการไหลสูงสุด (peak flow) และฐานเวลา (time base) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์คุณลักษณะของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า เพื่อมากำหนดกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่ามาตรฐาน โดยช่วงเวลาของปริมาณน้ำฝน (t_r) มีความสัมพันธ์กับ Basin Lag (t_p) ดังนี้

$$t_p = 5.5t_r \quad (3)$$

เมื่อ Basin Lag คือเวลาที่นับจากจุด Centroid ของกราฟน้ำฝนถึงเวลาที่เกิดการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าซึ่งแสดงในภาพที่ 4 ดังนั้นถ้าช่วงเวลาของปริมาณน้ำฝนถูกกำหนดขึ้นก็สามารถหาค่า Basin Lag ได้ แต่ถ้าช่วงเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำที่สนใจมีค่าแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ข้างต้นความสัมพันธ์ของสมการที่ (3) สามารถเปลี่ยนเป็น

$$t_{pR} = t_p - \frac{t_r - t_R}{4} \quad (4)$$

เมื่อ t_R = Duration ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า และ t_{pR} = Basin Lag ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสำหรับช่วงเวลาของปริมาณน้ำฝนที่สนใจ



ภาพที่ 7 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของ Snyder

และ Basin Lag ของปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าต่อพื้นที่ลุ่มน้ำสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{U_p}{A} = C \frac{C_p}{t_p} \quad (5)$$

เมื่อ U_p คือปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า, A คือพื้นที่ลุ่มน้ำ, C_p คือ Peaking Coefficient และ C คือ ค่าคงที่สำหรับการเปลี่ยนหน่วย (2.75 สำหรับระบบ SI หรือ 640 สำหรับระบบอังกฤษ) สำหรับกรณี Duration อื่นๆ ปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า, Q_{pR} สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{U_{pR}}{A} = C \frac{C_p}{t_{pR}} \quad (6)$$

สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี Snyder นั้น Snyder รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำเพื่อมาจัดทำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าอย่างง่าย โดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าและพารามิเตอร์คุณลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำได้ดังนี้

$$t_p = CC_t(LL_c)^{0.3} \quad (7)$$

เมื่อ C_t คือสัมประสิทธิ์ลุ่มน้ำ, L คือความยาวของแม่น้ำสายหลักจากจุดออกของลุ่มน้ำถึงจุดที่อยู่ใกล้สุดของสันปันน้ำ, L_c คือความยาวของแม่น้ำสายหลักจากจุดออกของลุ่มน้ำถึงจุดในลำน้ำที่อยู่ใกล้กับจุด Centroid ของพื้นที่ลุ่มน้ำมากที่สุด และ C คือค่าคงที่สำหรับใช้ในการแปลงหน่วย (0.75 สำหรับระบบ SI หรือ 1.00 สำหรับระบบอังกฤษ) อย่างไรก็ตาม อีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์

$$t_p = CC_t \left(\frac{LL_c}{\sqrt{S}} \right)^N \quad (8)$$

เมื่อ S คือความลาดชันโดยรวมของลุ่มน้ำ และ N คือเลขยกกำลัง ซึ่งปกติจะมีค่าประมาณ 0.33

3) แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow model)

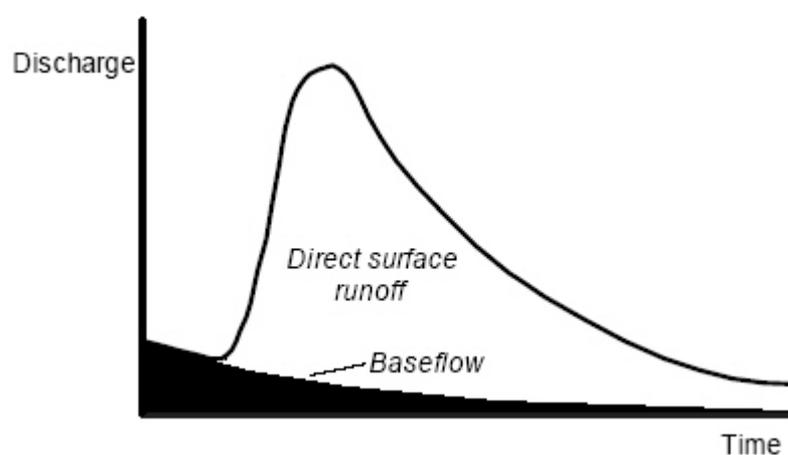
แบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐานเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองการไหลจากพื้นที่รับน้ำใต้ดินที่ออกจากระบบและไหลเข้าสู่ลำน้ำ ซึ่งแบบจำลองย่อยที่เลือกใช้ ได้แก่ แบบจำลองถดถอยแบบ Exponential (exponential recession model) มีรูปแบบการคำนวณ ดังนี้

แบบจำลองถดถอยแบบ Exponential นี้ใช้ในการอธิบายเรื่องการระบายน้ำจากปริมาตรเก็บกักธรรมชาติในพื้นที่ลุ่ม ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลที่เวลา t (Q_t) กับปริมาณการไหลพื้นฐานเริ่มต้นแสดงได้ดังนี้

$$Q_t = Q_0 k^t \quad (9)$$

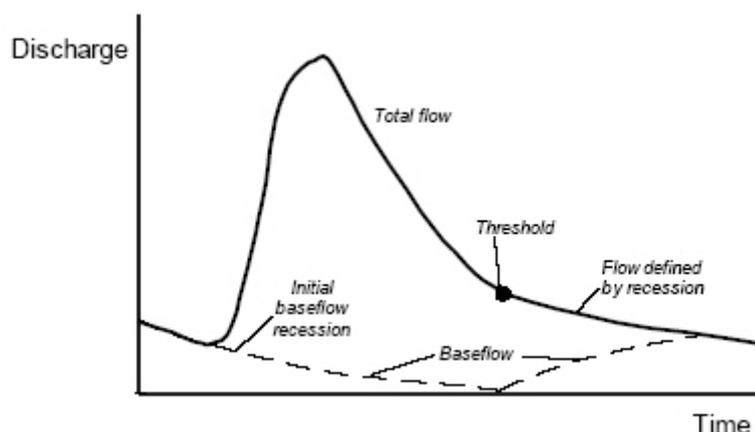
เมื่อ Q_0 คือปริมาณการไหลพื้นฐานเริ่มต้นที่เวลา $t = 0$ และ k คือค่าคงที่ Exponential ดังนั้นปริมาณการไหลพื้นฐานสามารถคำนวณได้ดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งในส่วนพื้นที่แรเงาจะแทน ปริมาณการไหลพื้นฐาน โดยมีการกระจายตัวในลักษณะที่ลดลงแบบ Exponential จากจุดเริ่มต้นการไหล โดยที่ปริมาณการไหลทั้งหมดคือผลรวมของปริมาณการไหลพื้นฐานและปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง ซึ่ง k คืออัตราส่วนของปริมาณการไหลพื้นฐานที่เวลา t ต่อ

ปริมาณการไหลพื้นฐานที่เวลาก่อนหน้า สำหรับปริมาณการไหลพื้นฐานเริ่มต้นคือเงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลอง ซึ่งอาจจะกำหนดในลักษณะของอัตราการไหล (cms หรือ cfs) หรืออาจกำหนดในลักษณะของปริมาณการไหลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ($m^3/s/km^2$ หรือ cfs/mi^2)



ภาพที่ 8 การถดถอยของปริมาณการไหลพื้นฐานเริ่มต้น

แบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐานในแบบจำลอง HEC-HMS สามารถประยุกต์ได้ทั้งช่วงเวลาเริ่มต้นของการจำลองสภาพการไหล และช่วงเวลาสิ้นสุดการจำลองสภาพการไหล ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยที่ผู้ใช้งานจะต้องกำหนด Threshold Flow คือปริมาณการไหล ณ เวลาที่ปริมาณการไหลทั้งหมดเริ่มถูกคำนวณจากแบบจำลองปริมาณการไหลแบบถดถอย โดยใช้สมการที่ (9) Threshold Flow สามารถกำหนดในรูปของอัตราการไหล หรือในรูปของอัตราส่วนของอัตราการไหลต่ออัตราการไหลสูงสุดของกราฟน้ำท่า เมื่อมีการกำหนด Threshold Flow แล้วปริมาณการไหลทั้งหมดจะถูกคำนวณจากสมการที่ (9) โดยมี Q_0 คือค่า Threshold Flow



ภาพที่ 9 แบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐานแบบถดถอย

ที่เวลาที่เกิด Threshold Flow ปริมาณการไหลพื้นฐานจะถูกคำนวณโดยปริมาณการไหลพื้นฐานเริ่มต้น หลังจากนั้นปริมาณการไหลพื้นฐานจะไม่ถูกคำนวณโดยตรง แต่จะถูกกำหนดคล้ายกับปริมาณการไหลถดถอย โดยกำหนดให้มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยตรง เมื่อปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรงมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ปริมาณการไหลทั้งหมดและปริมาณการไหลพื้นฐานจะมีค่าเท่ากัน

1.1.2 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-HMS (data requirements)

ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง HEC-HMS ประกอบด้วย

- 1) พารามิเตอร์ของแบบจำลอง (model parameter) โดยปกติแล้วจะสามารถประมาณค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำ
- 2) เงื่อนไขเริ่มต้น (initial conditions) ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณการสูญเสียน้ำเริ่มต้น (Initial Deficit) และปริมาณการเก็บกักน้ำในชั้นดินสูงสุด (Max Deficit) ที่จุดเริ่มต้นของการจำลองแบบ (simulated)
- 3) ข้อมูลด้านอุทกนิยามวิทยา ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณฝน และข้อมูลการระเหย โดยผลที่ได้จากแบบจำลองคือปริมาณน้ำท่า ซึ่งแสดงถึงการเกิดน้ำท่าจากผลของกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า

1.1.3 การปรับเทียบแบบจำลอง (model calibration)

การปรับเทียบแบบจำลอง มีจุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดความเข้ากันได้ดี (a good fit) ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการบันทึกไว้ (recorded data) และค่าที่ได้จากการประมาณโดยแบบจำลอง ซึ่งกระทำได้โดยการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง (control parameter) ตามที่ได้กล่าวถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง HEC-HMS แล้วข้างต้น ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละลุ่มน้ำนั้นสามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง เพื่อใช้ในการจำลองแบบการตอบสนองของพื้นที่ลุ่มน้ำสำหรับเหตุการณ์พายุฝนอื่นๆ ต่อไป

การปรับเทียบแบบจำลองเพื่อพิจารณาการเข้ากันได้ดีระหว่างกราฟน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองและที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น ควรพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟทั้งสองในหลายๆ องค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม ความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลที่ค่าสูงๆ ความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลที่ค่าต่ำๆ เป็นต้น

1.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS

Arcelus (2000) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS และแบบจำลอง NAM ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า โดยในแบบจำลอง HEC-HMS ได้เลือกใช้แบบจำลองย่อย SCS Curve number , Unit Hydrograph , Constant monthly baseflow และ Lag method ในการสอบเทียบแบบจำลองของกราฟน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดน้ำท่า และนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในเหตุการณ์เดี่ยว จากนั้นจึงประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ในลุ่มน้ำเดียวกันเพื่อให้กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM เข้ากันได้ดีกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS เพื่อนำไปใช้ประเมินกราฟน้ำท่าในช่วงเวลายาวๆ ด้วยแบบจำลอง NAM พบว่าวิธีการนี้ให้ผลเป็นที่ยอมรับได้สำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีเก็บข้อมูล

วงศ์สถิต (2545) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะทางอุทกศาสตร์ของลุ่มน้ำมูล โดยใช้แบบจำลอง HEC-HMS ซึ่งเลือกใช้แบบจำลองการสูญเสีย ด้วยวิธี SCS Curve Number แบบจำลองการไหลผิวดิน ด้วยวิธี The SCS Unit Hydrograph แบบจำลองการไหลในลำน้ำ ด้วยวิธี Muskingum และแบบจำลองการไหลพื้นฐาน ด้วยวิธี Exponential Recession จากผลการศึกษา

พบว่า กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับที่ได้จากการตรวจวัด แต่มีบางสถานีและบางช่วงปีที่ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงมาก ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายของสถานีวัดน้ำฝนที่ไม่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ จึงทำให้ปริมาณฝนเฉลี่ยที่ใช้เป็นตัวแทนที่ไม่ดีของกลุ่มน้ำ เช่น ในบางลุ่มน้ำสาขาใช้ข้อมูลฝนเพียงสถานีเดียวเป็นค่าเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำสาขา

ชัยวัฒน์ (2546) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS และแบบจำลอง TOP เพื่อหาความเหมาะสมในการทำนํ้าท่าของกลุ่มน้ำลำภาชีซึ่งมีพื้นที่รับน้ำ 2,543 ตารางกิโลเมตร สำหรับแบบจำลอง TOP หรือ Topographic Model ถูกพัฒนาโดย มหาวิทยาลัยแลงคาสเตอร์ ประเทศอังกฤษ เพื่อจำลองกระบวนการเกิดน้ำท่าของกลุ่มน้ำเล็กๆ ในประเทศอังกฤษ ในการจำลองกระบวนการเกิดน้ำท่า แบบจำลอง TOP ขึ้นกับลักษณะการกระจายของพื้นที่ทางกายภาพของกลุ่มน้ำและความลาดชันของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งในการประเมินน้ำท่าจะใช้วิธีหาความชันที่ขาดหายไปของชั้นดินโดยคิดอัตราการไหลผ่านของน้ำในชั้นดินเมื่อดินมีลักษณะเป็นดินชนิดเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่า การประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้งสองแบบจำลองสำหรับเหตุการณ์เดียวมีความถูกต้องมากกว่าแบบเหตุการณ์ต่อเนื่อง เพราะลุ่มน้ำลำภาชีมีความลาดชันสูง มีข้อมูลทางอุทกวิทยาน้อย และเป็นลุ่มน้ำขนาดใหญ่ โดยประสิทธิภาพของ Nash และ Sutcliffe ของแบบจำลอง HEC-HMS สำหรับเหตุการณ์เดียวและเหตุการณ์ต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 71.4 และ 24.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนแบบจำลอง TOP มีค่าประสิทธิภาพของ Nash และ Sutcliffe เท่ากับ 83 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณากราฟน้ำท่าจากการคำนวณพบว่า แบบจำลอง TOP เหมาะสมในการใช้งานในลุ่มน้ำลำภาชีมากกว่าแบบจำลอง HEC-HMS เนื่องจากแบบจำลอง TOP นำลักษณะทางกายภาพมาพิจารณาในการหาค่าพารามิเตอร์ด้วย

2. แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (rainfall-runoff model)

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดกราฟน้ำท่า โดยพิจารณาบนพื้นฐานความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ สภาพอุตุนิยมวิทยา สภาพอุทกวิทยา และลักษณะการใช้ที่ดิน เป็นต้น ซึ่งได้มีการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น แบบจำลอง TANK, SCS, Linear Programming, RIBAMAN (RBM-DOGGS), HEC-HMS, NAM และระบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ เป็นต้น โดยมีลักษณะและการประยุกต์ใช้แบบจำลองต่างๆ ดังนี้

วีระชัย (2530) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 7 สถานีภายในลุ่มน้ำป่าสัก 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

วันชัย (2534) ได้ทำการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากปริมาณฝน โดยใช้ Linear Programming ในลุ่มน้ำ แม่แดง แม่แจ่ม น้ำเชิญ แควใหญ่ และแม่น้ำหลังสวน หลักการของแบบจำลอง คือการหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในเดือนปัจจุบันกับปริมาณฝนที่ตกในเดือนปัจจุบันและที่ตกย้อนหลังไปอีก 5 เดือน ผลการศึกษาพบว่า การใช้ฝนสถานีเดียวในการประเมินปริมาณน้ำท่า ถ้าหากข้อมูลของปริมาณน้ำท่าและปริมาณฝนมีความสัมพันธ์กันดี แบบจำลองจะสามารถประเมินปริมาณน้ำท่าได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด สำหรับการใช้น้ำฝนของลุ่มน้ำที่เกิดจากฝนหลายสถานีเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า พบว่าจะให้ผลดีกว่าการใช้ฝนสถานีเดียว ซึ่งในความเป็นจริงการหาฝนที่เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำกระทำได้ยาก โดยเฉพาะกับลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากโอกาสที่ฝนจะตกสม่ำเสมอทั้งลุ่มน้ำมีน้อย ดังนั้นในการพิจารณาเลือกสถานีฝนเพื่อจะหาฝนที่เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำ ไม่เพียงแต่จะพิจารณาสถานีฝนที่อยู่ใกล้เคียงลุ่มน้ำเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ควรพิจารณาลักษณะการตกของฝนซึ่งแตกต่างกันออกไปตามสภาพภูมิประเทศด้วย

อวิรุทธ์ (2538) ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ RIBAMAN (RBM-DOGGS) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่า (rainfall-runoff relationship) ของลุ่มน้ำบางปะกง ซึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์ RIBAMAN นี้มีหลักการอ้างอิงกับแบบจำลอง SCS โดยประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำสาขา 7 ลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ลุ่มน้ำตั้งแต่ 45 ตารางกิโลเมตร ถึง 1,540 ตารางกิโลเมตร โดยได้ทำการศึกษา 3 กรณีศึกษา ตามเงื่อนไขความชื้นของพื้นที่ก่อนพายุฝนที่พิจารณา คือ ความชื้นเริ่มต้นของพื้นที่มีค่าน้อย ค่าปานกลาง และค่าสูง พบว่าแบบจำลองนี้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าได้อย่างเหมาะสม โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผล

จากการคำนวณกับค่าที่วัดได้ของอัตราการไหล อัตราการไหลสูงสุด และเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุดมีค่าอยู่ในช่วง 0.825 ถึง 0.944, 0.960 ถึง 0.995 และ 0.868 ถึง 0.997 ตามลำดับ แต่แบบจำลองคณิตศาสตร์ RIBAMAN มีข้อจำกัดคือ ปริมาณน้ำฝนในแบบจำลองจะเป็นตัวกำหนดความยาวนานของเหตุการณ์ฝน เนื่องจากใช้ข้อมูลฝนรายชั่วโมง และจำนวนข้อมูลใน 1 เหตุการณ์มีค่าได้ไม่เกิน 500 ค่า ดังนั้นแบบจำลอง RIBAMAN อาจจะไม่เหมาะสมในการหาน้ำท่าที่มีช่วงเวลานาน เช่น น้ำท่ารายปี เพราะจะมีความยุ่งยากในการรวมข้อมูลน้ำท่าในรายเดือน ดังนั้นแบบจำลองดังกล่าวนี้ จึงเหมาะสำหรับการจำลองเหตุการณ์ในระยะสั้นๆ มากกว่า

กานดา (2545) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลองสำหรับลุ่มน้ำน่าน โดยทำการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง 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 และที่ได้จากการตรวจวัดมีความใกล้เคียงกัน คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.57 ถึง 0.98 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สถานี N.17 พบว่าการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์แต่ละตัวมีผลต่อองค์ประกอบของน้ำท่าด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ตลอดจนมีความอ่อนไหวที่แตกต่างกันต่ออัตราการไหลสูงและอัตราการไหลต่ำ

วิษุวัตต์ (2546) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา 2 แบบจำลองได้แก่แบบจำลอง NAM และแบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองซึ่งใช้วิธีคำนวณจากพายุฝนด้วยเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า โดยทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้งสองในการคาดคะเนปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดจากพายุฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา และลุ่มน้ำคลองชุมพรซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 2,227 และ 521 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM มีผลใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้ ยกเว้นในช่วงฤดูแล้ง (ม.ค.-พ.ค.) เนื่องจากสถานีวัดน้ำฝนบางสถานีไม่มีการตรวจวัดในช่วงดังกล่าว ทำให้ข้อมูลฝนที่นำมาใช้ในการคำนวณมีไม่เพียงพอ และสำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกวิทยาน้ำนองพบว่านอกจากจะมีปัญหาด้านข้อมูลฝนเช่นเดียวกับแบบจำลอง NAM แล้ว ยังมีข้อจำกัด เนื่องจาก

กราฟน้ำท่าที่ได้จะเป็นผลรวมของกราฟน้ำท่าที่เกิดจากปริมาณน้ำฝนสุทธิแต่ละลูกรวมกันตามเวลา โดยถือว่าปริมาณน้ำฝนแต่ละลูกไม่มีอิทธิพลต่อกัน ถึงแม้ว่าจะตกต่อเนื่องกันไปก็ตาม ซึ่งไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริง เพราะปริมาณน้ำฝนที่ตกมาก่อนจะมีผลกระทบต่ออัตราการซึมผ่านผิวดิน (infiltration) และความชื้นของดินชั้นผิวดิน (surface storage) ทำให้ปริมาตรของ Direct Runoff ที่เกิดจากฝนลูกต่อมาเปลี่ยนไป

ทงศักดิ์ (2547) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองถึง และแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าโดยระบบโครงข่ายประสาทเทียมประดิษฐ์ เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความแม่นยำในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวัน ของสถานีวัดน้ำท่า N.1 อำเภอเมือง จังหวัดน่าน ในช่วงปี ค.ศ. 1990 ถึง ค.ศ. 2000 จากผลการศึกษา พบว่า แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าโดยระบบโครงข่ายประสาทเทียมประดิษฐ์ ซึ่งใช้แบบ Backpropagation ให้ค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าพยากรณ์กับปริมาณน้ำท่าตรวจวัดสูงกว่าแบบจำลองถึง โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าโดยระบบโครงข่ายประสาทเทียมประดิษฐ์ ที่ได้ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง มีค่า 0.914 และ 0.786 ตามลำดับ และเท่ากับ 0.785 และ 0.627 ในแบบจำลองถึง

ศิริกัญญา (2547) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำปิงตอนบน จำนวน 13 สถานี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 45 ถึง 3,853 ตารางกิโลเมตรโดยมีค่าเฉลี่ย 1,232 ตารางกิโลเมตร ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง พบว่า พารามิเตอร์ซึ่งประกอบด้วย U_{max} , L_{max} , CQOF, CKIF, TOF, TIF, TG, CK1, CK2, CKBF, Sy, GWL_{min} , $GWLBF_0$, $GWLFL_1$ และ CAREA โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงที่ได้แนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลอง และในการตรวจสอบประสิทธิภาพการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของแบบจำลองทั้งสองได้พิจารณาเงื่อนไขความเข้ากันได้ดีระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองและที่ได้จากการตรวจวัดนั้น จากค่าตัวแปรทางสถิติพบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการประเมินน้ำท่ารายวันที่ถูกต้องกว่าแบบจำลอง NAM ในด้านของสมมูลน้ำ กราฟน้ำท่าโดยรวม และปริมาณการไหลสูง ๆ ในทางตรงกันข้ามสำหรับปริมาณการไหลต่ำ ๆ แบบจำลอง NAM ให้ผลที่ดีกว่า ขณะที่ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าของแบบจำลองทั้งสองให้ผลไม่ดีสำหรับสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีพื้นที่ชลประทานมากหรือมีฝายทดน้ำขวางกั้นลำน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุให้ปริมาณน้ำท่าถูกควบคุม เป็นผลให้ไม่เกิดความสอดคล้องกันระหว่างปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่ารายวัน

สุพรรณษา (2550) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM เพื่อหาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลองและลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปึงตอนบน ซึ่งได้ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง จำนวน 8 สถานี พบว่า พารามิเตอร์ต่อไปนี้เป็น CKIF, TIF, CAREA, Sy, GWLBF0, GWLmin และ GWLFL1 ไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญกับผลการประเมินปริมาณน้ำท่าจึงกำหนดให้เป็นค่าคงที่ สำหรับพารามิเตอร์ที่เหลืออีก 6 พารามิเตอร์ คือ Umax, Lmax, CQOF, CKBF, TG, TOF, CK1 และ CK2 มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าจึงนำไปประเมินค่าจากความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม กับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งได้แก่ ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความยาวตามลำน้ำสายหลัก ความยาวตามลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มน้ำจนถึงจุดออกของกลุ่มน้ำ และ ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะทางกายภาพดังกล่าวมีความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงซ้อนกับพารามิเตอร์ 6 พารามิเตอร์แรก ของแบบจำลอง NAM โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.94 ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนพารามิเตอร์ CK1 และ CK2 ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ ได้พิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยของ CK ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองทั้ง 8 สถานี และเมื่อนำผลการประเมินพารามิเตอร์โดยใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมไปประยุกต์ใช้กับสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการศึกษา พบว่า ให้ผลการประเมินกราฟน้ำท่าที่มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. โปรแกรม HEC-DSS พร้อมคู่มือ
3. แบบจำลอง HEC-HMS พร้อมคู่มือ
4. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร
5. โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Map Info Professional)
6. โปรแกรมการคำนวณทางสถิติ (SPSS)
7. เครื่องเขียน และอุปกรณ์สำนักงาน

วิธีการ

1. การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

1.1 ศึกษาและรวบรวมผลการวิจัยที่ผ่านมาของแบบจำลอง HEC-HMS คู่มือการใช้งานของแบบจำลอง รวมไปถึงงานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าอื่นๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน และงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ที่ดินและลักษณะดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

1.2 รวบรวมแผนที่ภูมิประเทศบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 เพื่อใช้ศึกษาลักษณะภูมิประเทศ โดยทำการแปลงให้เป็นข้อมูลดิจิทัลเพื่อนำไปใช้ในโปรแกรมทางด้านการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ให้ได้มาซึ่งข้อมูลลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ คือ พื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวลำน้ำ (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงถึงจุดออกของลุ่มน้ำ (L_c) ความลาดชันเฉลี่ยของทางน้ำ (S) รวมถึงการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

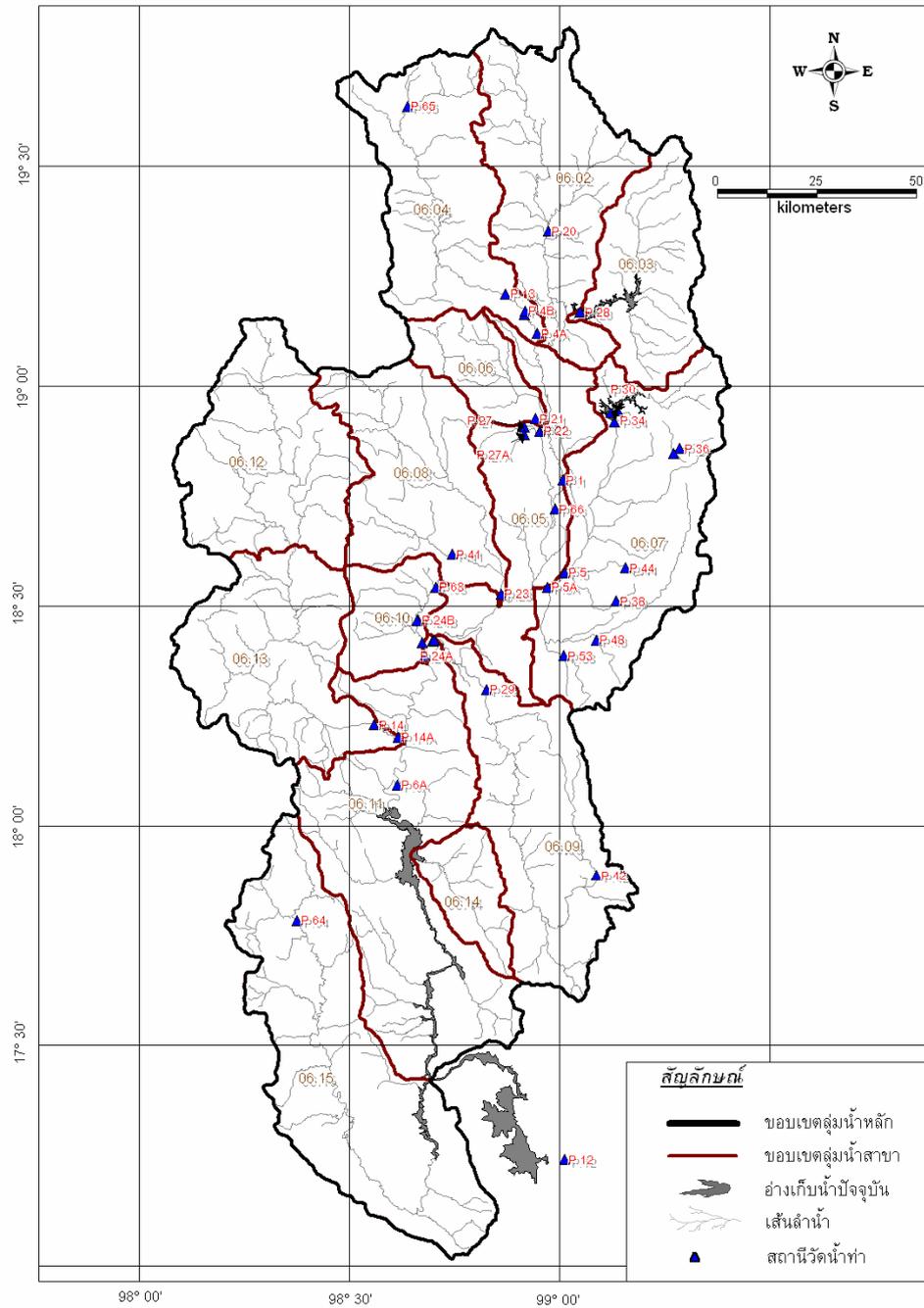
1.3 รวบรวมข้อมูลอุทกนิยามวิทยาและอุทกวิทยา

1.3.1 รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนในการประเมินปริมาณน้ำท่า โดยได้รวบรวมข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนจากกรมชลประทานที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 65 สถานี และจังหวัดลำพูนจำนวน 11 สถานี ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำฝน ช่วงปีสถิติข้อมูลของ ปริมาณฝนรายเดือนและปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนไว้ในภาคผนวก ก และตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในภาพที่ 10

1.3.2 รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณ โดยแบบจำลอง โดยได้รวบรวมสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนจากกรมชลประทานจำนวน 50 สถานี ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่า ช่วงปีสถิติข้อมูลของ ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนไว้ในภาคผนวก ก และตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในภาพที่ 11

1.3.3 ข้อมูลภูมิอากาศในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) ที่สถานีตรวจวัดอากาศ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ เพื่อนำมาใช้ประกอบการประเมินค่าปริมาณการสูญเสียของน้ำท่า

1.4 รวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำปิงตอนบน จากกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาการประเมินปริมาณน้ำท่า ซึ่งลักษณะการใช้ที่ดินแบ่งเป็น 5 ประเภท ได้แก่ พื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ โดยแสดงลักษณะการใช้ที่ดินแต่ละประเภทในแต่ละลุ่มน้ำสาขาดังในตารางที่ 6



ภาพที่ 11 ที่ตั้งของสถานีวัดท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ตารางที่ 6 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รหัส ลุ่มน้ำ สาขา	รายชื่อ ลุ่มน้ำสาขา	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน				
			ที่อยู่ อาศัย	เกษตร- กรรม	ป่าไม้	แหล่งน้ำ	อื่นๆ
16.02	แม่น้ำปิงตอนบน	2,029	1.30	15.06	83.32	0.04	0.28
16.03	น้ำแม่จืด	1,263	2.07	13.96	82.53	0.95	0.49
16.04	แม่น้ำแม่แตง	1,925	1.07	16.92	81.87	0.09	0.05
16.05	แม่น้ำปิงส่วนที่ 2	1,634	15.41	41.34	37.46	0.62	5.17
16.06	น้ำแม่ริม	588	3.05	16.44	80.37	0.08	0.06
16.07	น้ำแม่กวง	2,725	7.02	28.91	60.82	0.90	2.35
16.08	น้ำแม่غان	1,773	2.69	10.31	85.97	0.02	1.01
16.09	น้ำแม่ลี	2,132	2.91	19.33	72.98	0.21	4.57
16.1	น้ำแม่กลาง	603	1.10	14.49	81.97	0.11	2.33
16.11	แม่น้ำปิงส่วนที่ 3	3,191	1.20	7.76	84.51	3.89	2.64
16.12	น้ำแม่แจ่มตอนบน	1,957	0.46	4.96	94.38	0.01	0.19
16.13	น้ำแม่แจ่มตอนล่าง	1,933	0.44	9.60	89.84	0.07	0.05
16.14	น้ำแม่หาด	547	1.91	19.59	77.17	0.23	1.10
16.15	น้ำแม่ตื่น	3,154	0.19	6.49	92.83	0.47	0.02
รวมลุ่มน้ำปิงตอนบน		25,454	2.84	15.29	79.58	0.77	1.52

2. การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS

2.1 แนวทางการสอบเทียบแบบจำลอง HEC-HMS สำหรับสถานีวัดท่าต่าง ๆ

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS นั้น ส่วนที่สำคัญมากที่สุดประการหนึ่งคือการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่ศึกษา โดยในการศึกษานี้ได้สอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS สำหรับสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำปิงตอนบน จำนวน 8 สถานี ซึ่งอยู่ใน 7 ลุ่มน้ำสาขา โดยรายละเอียดของช่วงเวลาในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าแสดงดังในตารางที่ 7 และในตารางที่ 8 ได้แสดงสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ

ตารางที่ 7 ช่วงเวลาการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

ลำดับ ที่	สถานีวัด น้ำท่า	ลุ่มน้ำสาขา	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ช่วงเวลาการ สอบเทียบ	ช่วงเวลาการ ตรวจพิสูจน์
1	P.20	แม่น้ำปิงตอนบน	1,355	1996	1985 - 1986
2	P.28	น้ำแม่จืด	1,261	1976	1975
3	P.4A	แม่น้ำแม่แตง	1,902	1987	1983 - 1984
4	P.65	แม่น้ำแม่แตง	240	2001	1995 - 1996
5	P.21	น้ำแม่ริม	515	2005	1995 - 1996
6	P.34	น้ำแม่กวง	566	1981	1975 - 1976
7	P.71	น้ำแม่غان	1,771	1987	2004 - 2005
8	P.14	น้ำแม่แจ่มตอนล่าง	3,853	1983	1987 - 1988

ตารางที่ 8 สัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

ลำดับที่	สถานี วัดน้ำท่า	ลุ่มน้ำสาขา	สถานีวัดน้ำฝน (ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนัก)			
1	P.20	แม่น้ำปิงตอนบน	07112 (0.13)	07122 (0.25)	07252 (0.62)	
2	P.28	น้ำแม่จัด	07122 (0.65)	07502 (0.35)		
3	P.4A	แม่น้ำแม่แตง	07252 (1.00)			
4	P.65	แม่น้ำแม่แตง	07252 (1.00)			
5	P.21	น้ำแม่ริม	07062 (0.04)	07112 (0.27)	07142 (0.69)	
6	P.34	น้ำแม่กวง	07052 (0.30)	07502 (0.70)		
7	P.71	น้ำแม่งาน	07142 (0.60)	07292 (0.40)		
8	P.14	น้ำแม่แจ่มตอนล่าง	07182 (0.21)	07282 (0.74)	20032 (0.05)	

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS เพื่อประเมินกราฟน้ำท่ารายวันโดยใช้แบบจำลองย่อย 3 ส่วน คือแบบจำลองปริมาตรน้ำท่า (runoff-volume models) แบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง (direct-runoff models) และแบบจำลองการไหลพื้นฐาน (baseflow models) ตามที่กล่าวในข้างต้น จะต้องมีการสอบเทียบแบบจำลองเพื่อประเมินค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องใน 3 แบบจำลองย่อยทั้งสิ้น 10 พารามิเตอร์ ได้แก่ 1) แบบจำลองสูญเสียแบบลดลงและอัตราการสูญเสียคงที่ มี 5 พารามิเตอร์ คือ Initial Deficit, Max Deficit, Loss Rate, % impervious และ Recovery Rate 2) แบบจำลองกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี Snyder (snyder's uh model) มี 2 พารามิเตอร์ คือ Snyder Standard Lag (Tp) และ Snyder Peaking Coefficient (Cp) และ 3) แบบจำลองถดถอยแบบ Exponential มี 3 พารามิเตอร์ คือ Initial Q, Recession Constant และ Threshold Q ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดขั้นตอนในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: ปรับค่า Initial Deficit , Max Deficit และ Recovery Rate เพื่อคุณลักษณะการเกิดของน้ำท่าตามลักษณะของฝนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำย่อย ว่ามีรูปแบบการเกิดอย่างไร ซึ่งในสองพารามิเตอร์แรก จะได้รับอิทธิพลจากลักษณะและชนิดของดิน รวมถึงสภาพความชื้นในดินในช่วงที่ฝนเริ่มตก ส่วนค่า Recovery Rate ซึ่งเป็นค่าการสูญเสียความชื้นในดินที่กลับมาใหม่กรณีที่ฝนทิ้งช่วง ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละเดือน ตามลักษณะสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งจะ

มีค่าสูงในเดือนที่มีอุณหภูมิสูง และมีค่าการระเหยสูง โดยการปรับพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์นี้ เพื่อปรับรูปแบบการเกิดน้ำท่าให้เข้ากับที่ตรวจวัดได้จากสถานี ซึ่งจากการสอบเทียบพบว่าทั้ง 3 พารามิเตอร์ มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้ง 8 สถานี จึงเลือกใช้ค่าคงที่เพียงค่าเดียว เป็นตัวแทนของทั้งลุ่มน้ำ ปิงตอนบน

ขั้นตอนที่ 2: ปรับค่า % impervious ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งพารามิเตอร์นี้ จะมีอิทธิพลมากต่อช่วงแล้ง มีความชื้นในดินต่ำ ถ้ามีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่บ้น้ำสูง ก็จะทำให้เกิดน้ำท่าได้มากกว่าพื้นที่ที่มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่บ้น้ำต่ำ

ขั้นตอนที่ 3: ปรับค่า Loss Rate ซึ่งเป็นปริมาณการสูญเสียของน้ำท่า การปรับพารามิเตอร์นี้จะมีผลให้ปริมาณน้ำท่าโดยรวมมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ขั้นตอนที่ 4: ใส่ค่าพารามิเตอร์ ที่หาได้จากลักษณะทางกายภาพของแต่ละลุ่มน้ำสาขา ที่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ ได้แก่ T_p ซึ่งหาได้จากสมการกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของลุ่มน้ำปิงตอนบน ที่เสนอโดย ธวัช (2530) ซึ่งหาได้จากการใส่ลักษณะลำน้ำ ได้แก่ L , L_c และ S โดยในขั้นการสอบเทียบแบบจำลอง พารามิเตอร์นี้จะไม่เปลี่ยนแปลง เสมือนเป็นค่าคงที่

ขั้นตอนที่ 5: ปรับค่า C_p เป็นสัมประสิทธิ์การไหลสูงสุด จะมีผลต่อช่วงที่มีปริมาณการไหลสูงๆ การปรับค่า C_p ให้สูง จะทำให้ยอดของกราฟน้ำท่าสูงขึ้น การปรับ C_p นี้ จะต้องปรับให้ยอดของน้ำท่าช่วงการไหลสูงๆ มีค่าเข้าใกล้ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากสถานี

ขั้นตอนที่ 6: ใส่ค่าพารามิเตอร์ Initial Q ซึ่งเป็นปริมาณการไหลเริ่มต้นของการคำนวณของแบบจำลอง ซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละลำน้ำ เนื่องจากบางลำน้ำมีลักษณะการไหลไม่ตลอดทั้งปี ค่า Initial Q จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ประเมินค่าเริ่มต้นจากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของแต่ละสถานี ในวันที่ 1 เมษายน

ขั้นตอนที่ 7: ปรับค่า Recession Constant และ Threshold Q ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลพื้นฐาน ซึ่ง ค่า Recession Constant จะอธิบายถึงลักษณะการลดลงแบบถดถอยของปริมาณน้ำท่าในช่วงปลายของน้ำท่าแต่ละลูก ส่วน Threshold Q เป็นค่าปริมาณการไหลในช่วงลดลงของน้ำท่าแต่ละลูก ที่จะเริ่มมีการลดลงแบบถดถอย

2.2 เกณฑ์การประเมินประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS

ในการสอบเทียบแบบจำลอง จะต้องทำการประเมินประสิทธิผลของการสอบเทียบแบบจำลอง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS และปริมาณน้ำท่าสถานีที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในการศึกษานี้ได้พิจารณาใช้ตัวแปรทางสถิติคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) และค่า Efficiency Index (EI) มาเป็นเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS โดยสูตรการคำนวณตัวแปรทางสถิติแสดง ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: r)

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

2. ค่า efficiency index (EI)

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

เมื่อ Q_i คือ ปริมาณการไหลหรือระดับน้ำที่เวลา i ส่วน 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

การเกิดปริมาณน้ำท่าเป็นผลจากการตอบสนองของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีต่อปริมาณน้ำฝน ดังนั้นลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำท่า อาทิเช่น ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) ความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S) ตลอดจนลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในการศึกษานี้ได้พิจารณาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าที่สำคัญคือ A, L, L_c , S และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินของแต่ละลุ่มน้ำย่อย ซึ่งมีอิทธิพลต่อกราฟน้ำท่า ดังนี้

1) ขนาดของพื้นที่รับน้ำฝน (A) เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำ กล่าวคือหากพื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดพื้นที่มากก็มักจะมีปริมาณของน้ำท่ามากกว่าพื้นที่ลุ่มน้ำที่ขนาดเล็กกว่า และยังเป็นตัวแปรที่หามาได้ง่าย ซึ่งโดยทั่วไป สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ จะมีขนาดของพื้นที่รับน้ำอยู่แล้ว ดังนั้นหากพิจารณานำตัวแปรดังกล่าวมาใช้ในการหาสมการความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์จากแบบจำลอง HEC-HMS นั้นจะเป็นการง่ายและสะดวกที่จะนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้

2) ความยาวตามลำน้ำหลัก (L) เป็นตัวแปรอีกตัวที่มีความสำคัญต่อการเกิดปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ กล่าวคือ หากลุ่มน้ำที่ทำการพิจารณามีความยาวของลำน้ำสายหลักมากก็จะทำให้ฐานของกราฟน้ำท่าของลุ่มน้ำนั้นมีฐานเวลาที่ยาวกว่าลุ่มน้ำที่มีความยาวของลำน้ำสายหลักสั้น และเป็นตัวแปรที่มักจะมีการศึกษาหาความยาวของลำน้ำไว้แล้ว หรือหากต้องการหาค่าของความยาวของลำน้ำสายหลักก็สามารถหาได้จากการสำรวจ หรือจากการวัดในแผนที่ 1:50,000

3) ความยาวตามลำน้ำหลักจากจุดศูนย์กลางของลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าเช่นเดียวกับความยาวตามลำน้ำหลัก (L) แต่จะให้ผลการเกิดน้ำท่าที่แตกต่างกันยกตัวอย่างเช่น เมื่อทำการพิจารณาพื้นที่ลุ่มน้ำ 2 แห่งที่มีความยาวตามลำน้ำสายหลักใกล้เคียงกัน แต่มีความยาวตามลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์กลางของลุ่มน้ำจนถึงจุดออก ที่แตกต่างกันมากทำให้

ทราบถึงลักษณะของพื้นที่ที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้เกิดน้ำท่าและลักษณะของกราฟน้ำท่าแตกต่างกัน เป็นต้น

4) ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (S) เป็นตัวแปรที่มีผลโดยตรงต่อความเร็วของการไหลบนผิวดิน และการซึมลงสู่ชั้นดินส่วนล่าง ซึ่งส่งผลให้รูปร่างของกราฟน้ำท่าแตกต่างกัน โดยพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำท่ามีค่าสูงตามไปด้วย

5) การใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าเช่นเดียวกัน ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการสูญเสียน้ำในดินเช่นเดียวกับลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ แบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่อยู่อาศัย (U), พื้นที่เกษตรกรรม (Ag), พื้นที่ป่าไม้ (F) และพื้นที่แหล่งน้ำ (W) ซึ่งตัวเลขที่นำมาใช้เป็นอัตราส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาที่พิจารณา รายละเอียดของสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มน้ำสาขาในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนแสดงในตารางที่ 6

การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 8 สถานี ในลุ่มน้ำปึงตอนบน ที่ได้ดำเนินการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS แสดงดังในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย สำหรับสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับที่	สถานีวัดน้ำท่า	A (ตร.กม.)	L (กม.)	L_c (กม.)	S (%)
1	P.20	1,355	90.53	59.11	0.00979
2	P.28	1,261	92.62	40.73	0.00834
3	P.4A	1,902	155.45	70.31	0.00732
4	P.65	240	37.18	14.69	0.01099
5	P.21	515	54.81	32.35	0.01571
6	P.34	566	41.77	20.15	0.01450
7	P.71	1,771	112.39	53.43	0.00666
8	P.14	3,853	105.01	58.72	0.00792
	ค่าเฉลี่ย	1,434	86.22	43.69	0.01015
	ค่าสูงสุด	3,853	155.45	70.31	0.01571
	ค่าต่ำสุด	240	37.18	14.69	0.00666

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ ได้ประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงแบบพหุคูณ (multiple linear regression analysis) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (multiple linear regression analysis) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไป ซึ่งเป็นการคำนวณค่าของตัวแปรตาม 1 ตัว จากตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ ในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

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

โดยนำรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ ดังกล่าว มาใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ที่สอบเทียบได้ในแต่ละสถานี และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ โดยกำหนดให้ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS เป็นตัวแปรตาม และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำเป็นตัวแปรอิสระ

5. การทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ

การทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดความมั่นใจว่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินกราฟน้ำท่า ณ จุดที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำสาขาของกลุ่มน้ำปึงตอนบนได้

การทดสอบดำเนินการ โดยนำสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวมาหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ที่สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ที่ศึกษาจำนวน 8 สถานี โดยถือเสมือนว่าเป็นกลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ จากนั้นนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปประเมินกราฟน้ำท่าด้วยแบบจำลอง HEC-HMS อีกครั้ง แล้วทำการประเมินค่าทางสถิติโดยเปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของแต่ละสถานี จากนั้นนำค่าทางสถิติที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า

6. การประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า ในลุ่มน้ำปึงตอนบน

จากความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ที่ได้จากการสอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ ดังที่ได้กล่าวในข้างต้นแล้วนั้น นำสมการความสัมพันธ์ที่ได้ ไปใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาในลุ่มน้ำปึงตอนบน ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า ซึ่งได้แก่ กลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปึงส่วนที่ 2, ลุ่มน้ำสาขา

น้ำแม่ลี, กลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่กลาง, กลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ปิงส่วนที่ 3, กลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่แจ่มตอนบน, กลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่หาด และกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ตื่น โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่กลุ่มน้ำสาขาทั้ง 7 กลุ่มน้ำ ประกอบไปด้วย พื้นที่กลุ่มน้ำ (A) ความยาวลำน้ำ (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงถึงจุดออกของกลุ่มน้ำ (Lc) ความลาดชันเฉลี่ยของทางน้ำ (S) รวมถึงวิเคราะห์สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินกรณีที่มีการปรับปรุงข้อมูลดังกล่าวจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำค่าที่ได้ไปแทนในสมการความสัมพันธ์ ให้ได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์สำหรับไปใส่ในแบบจำลอง HEC-HMS รวมทั้งหาสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อกลุ่มน้ำสาขาต่าง ๆ และทำการประเมินกราฟน้ำท่ารายวันของกลุ่มน้ำสาขานั้นๆ จากแบบจำลอง HEC-HMS

สัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 10 และตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่กลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีมีสถานีวัดน้ำท่า จำนวน 7 กลุ่มน้ำสาขา ในกลุ่มน้ำปิงตอนบน

ตารางที่ 10 สัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อกลุ่มน้ำสาขาที่พิจารณา

ลำดับที่	รหัส กลุ่มน้ำ	กลุ่มน้ำสาขา	สถานีวัดน้ำฝน (ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนัก)		
1	06.05	แม่ปิงส่วนที่ 2	07013 (0.35)	07242 (0.30)	07292 (0.35)
2	06.09	น้ำแม่ลี	07182 (0.30)	16042 (0.35)	16072 (0.35)
3	06.10	น้ำแม่กลาง	07182 (1.00)		
4	06.11	แม่ปิงส่วนที่ 3	07162 (0.15)	07282 (0.85)	
5	06.12	น้ำแม่แจ่มตอนบน	07142 (0.35)	20032 (0.65)	
6	06.14	น้ำแม่หาด	07022 (0.30)	07062 (0.35)	07472 (0.35)
7	06.15	น้ำแม่ตื่น	07162 (0.75)	63092 (0.25)	

ตารางที่ 11 ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า ในลุ่มน้ำปิง
ตอนบน

ลำดับที่	รหัสลุ่มน้ำ	A (ตร.กม.)	L (กม.)	L_c (กม.)	S (%)
1	06.05	1,634	132.54	65.66	0.00332
2	06.09	2,132	208.24	91.43	0.00327
3	06.10	603	51.89	20.63	0.02483
4	06.11	3,191	106.21	46.15	0.00296
5	06.12	1,957	100.38	60.45	0.01261
6	06.14	547	57.94	31.97	0.00956
7	06.15	3,154	247.02	140.00	0.00327
	ค่าเฉลี่ย	1,888	129.17	63.76	0.00854
	ค่าสูงสุด	3,191	247.02	140.00	0.02483
	ค่าต่ำสุด	547	51.89	20.63	0.00296

ผลและวิจารณ์

1. ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS สำหรับสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ

การสอบเทียบแบบจำลอง HEC-HMS ในลุ่มน้ำย่อยสำหรับสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 8 สถานี ในลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้ดำเนินการตามแนวทางการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง และทำการประเมินผลการสอบเทียบแบบจำลองดังกล่าวไว้ในหัวข้อวิธีการศึกษา ซึ่งสามารถสรุปผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าดังนี้

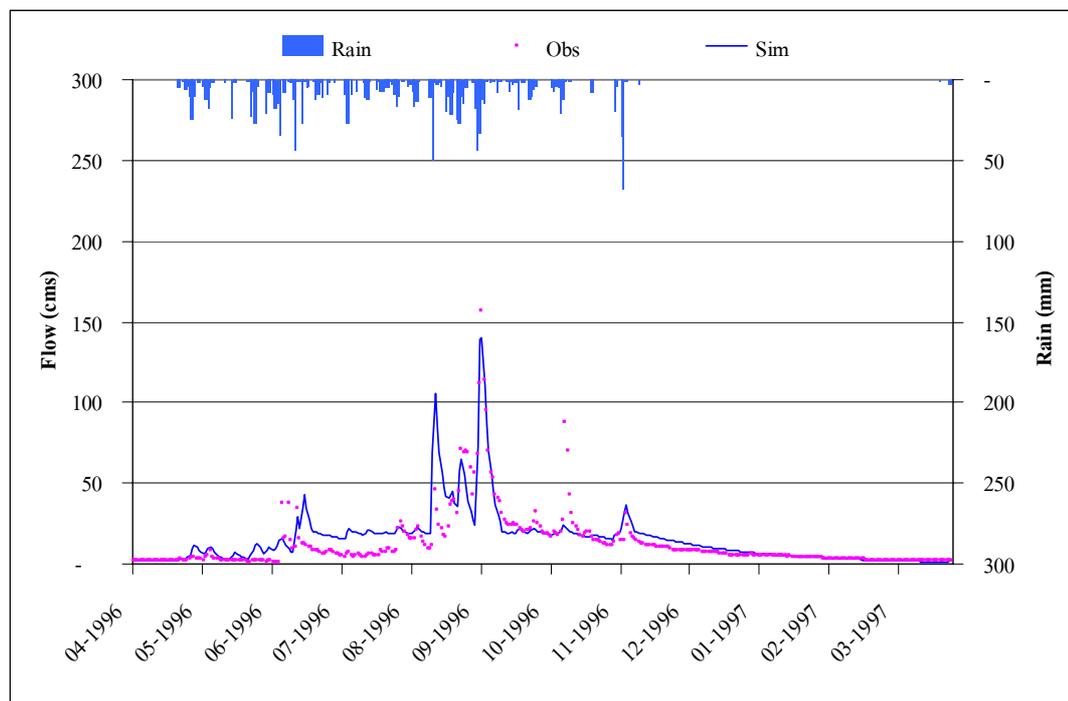
1) สถานีวัดน้ำท่า P.20

สถานี P.20 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำปิง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปิงตอนบน สถานี P.20 มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,355 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 370.22 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 11.74 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1979 ถึงปัจจุบัน ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 3 สถานี คือสถานี 07112 , 07122 และ 07252

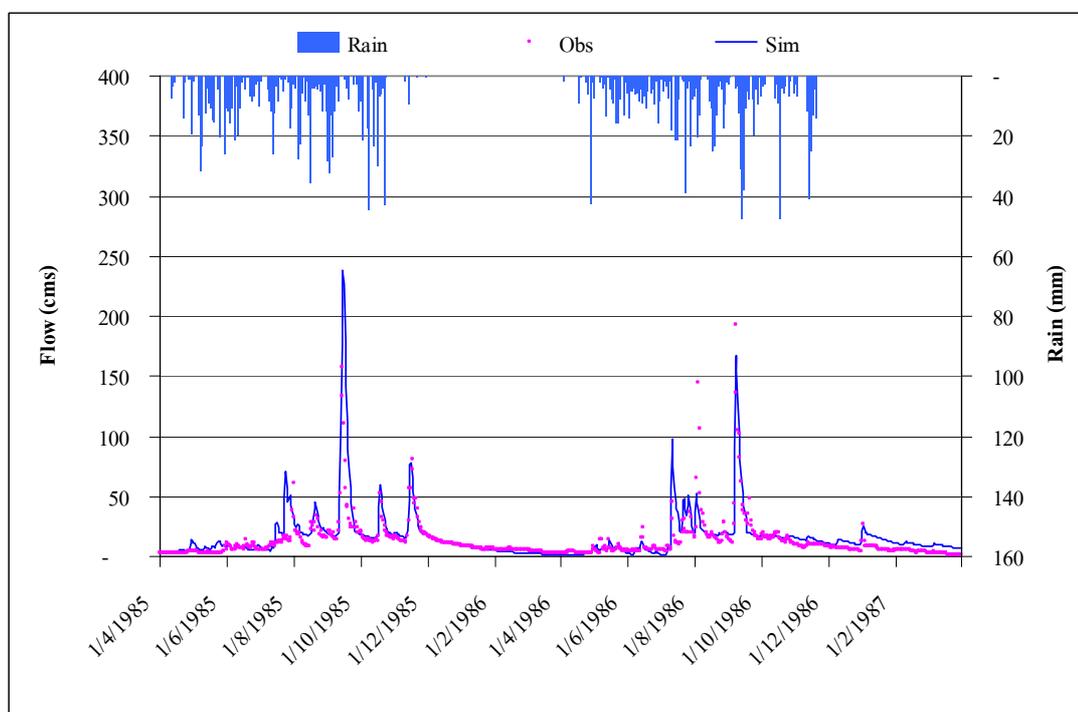
พารามิเตอร์ในแบบจำลอง ที่ไม่มีการสอบเทียบ ได้แก่ T_p ซึ่งจากการคำนวณด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง T_p กับ L , L_c และ S ของลุ่มน้ำปิง สำหรับสถานี P.20 เท่ากับ 12.46 ชั่วโมง และค่า $Initail Q$ ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในต้นเดือนเมษายน เท่ากับ 2.46 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ของสถานีวัดน้ำท่า P.20 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) % impervious มีค่าเท่ากับ 6.5 (2) Loss Rate มีค่าเท่ากับ 0.80 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (3) C_p มีค่าเท่ากับ 0.38 (4) Recession Constant 0.97 และ (5) Threshold Q มีค่าเท่ากับ 20 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่า ดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.84 และ 0.84 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 65.59 และ 46.86 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง HEC-HMS และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 12 และ 13



ภาพที่ 12 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.20 ในปี ค.ศ. 1996



ภาพที่ 13 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.20 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1985 ถึง 1986

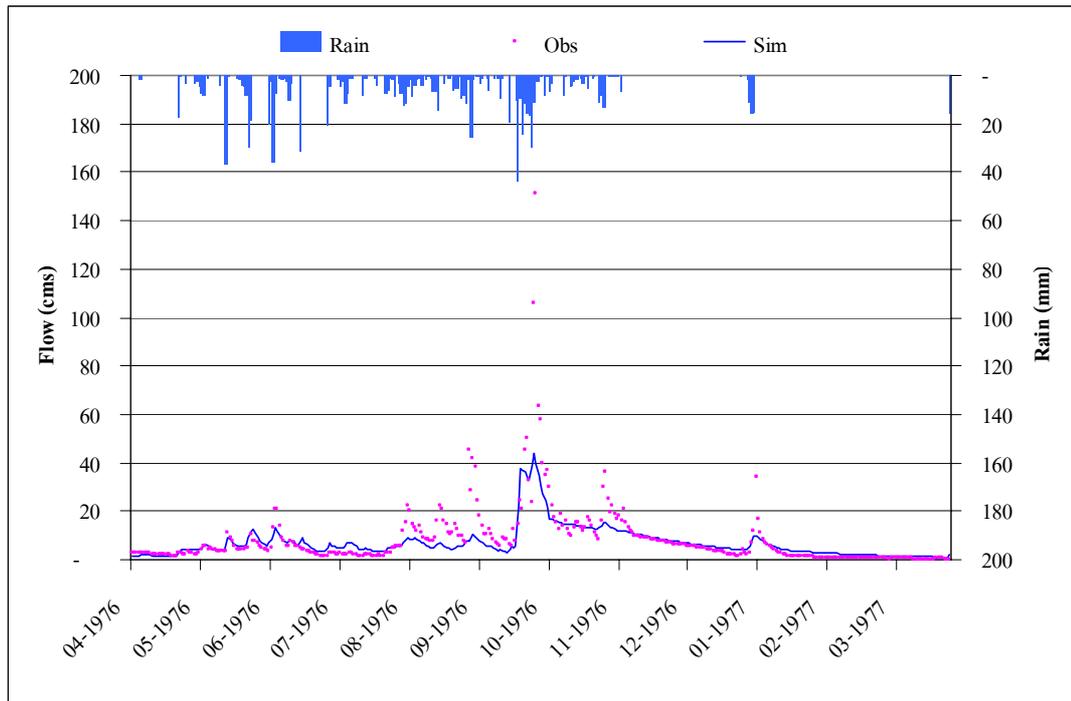
2) สถานีวัดน้ำท่า P.28

สถานี P.28 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำปิง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปิงตอนบน 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 07502

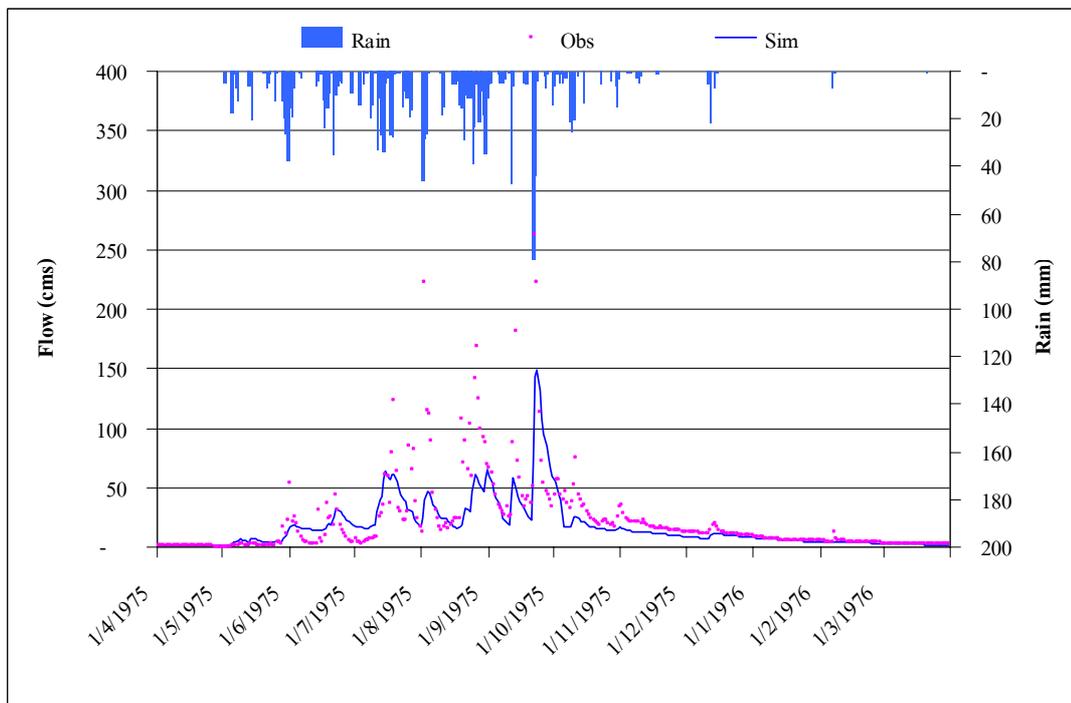
พารามิเตอร์ในแบบจำลองที่ไม่มีการสอบเทียบ ได้แก่ T_p ซึ่งจากการคำนวณด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง T_p กับ L , L_c และ S ของลุ่มน้ำปิง สำหรับสถานี P.28 เท่ากับ 11.90 ชั่วโมง และค่า $Initail\ Q$ ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในต้นเดือนเมษายน เท่ากับ 1.66 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ของสถานีวัดน้ำท่า P.28 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) % impervious มีค่าเท่ากับ 8.0 (2) Loss Rate มีค่าเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (3) C_p มีค่าเท่ากับ 0.26 (4) Recession Constant 0.98 และ (6) Threshold Q มีค่าเท่ากับ 17 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่า ดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.79 และ 0.79 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 53.37 และ 70.30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง HEC-HMS และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 14 และ 15



ภาพที่ 14 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.28 ในปี ค.ศ. 1976



ภาพที่ 15 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.28 ในปี ค.ศ. 1975

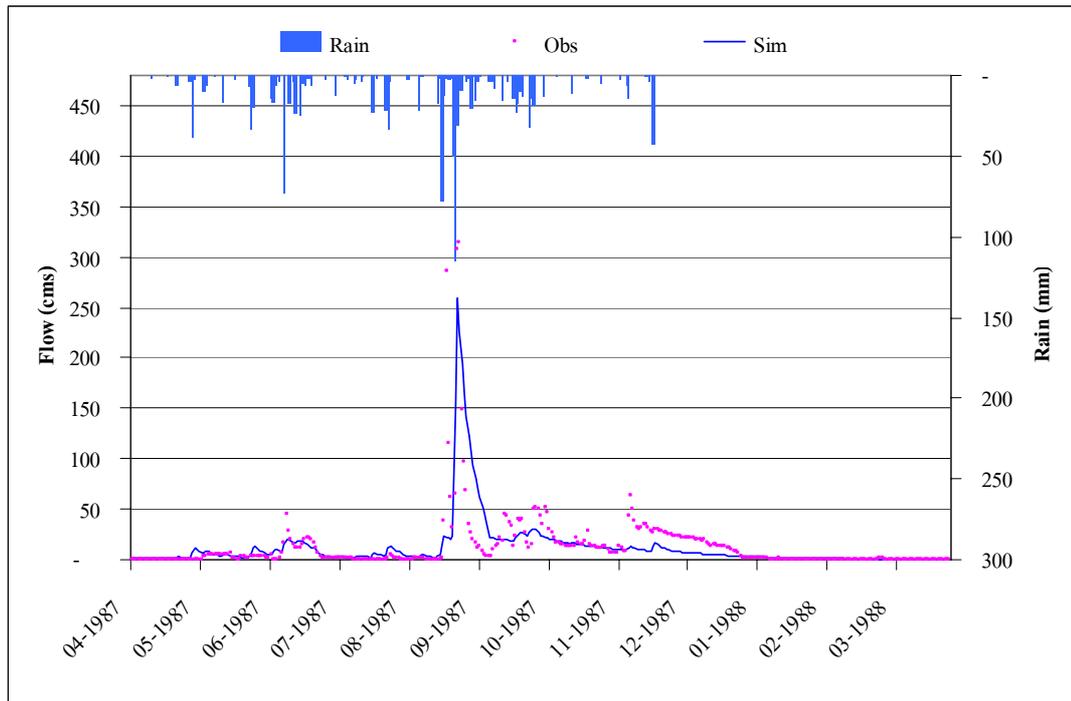
3) สถานีวัดน้ำท่า P.4A

สถานี P.4A เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่แตง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำแม่แตง สถานี P.4A มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,902 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 507.93 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 16.11 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1955 ถึงปัจจุบัน ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าเพียง 1 สถานี คือ สถานี 07252

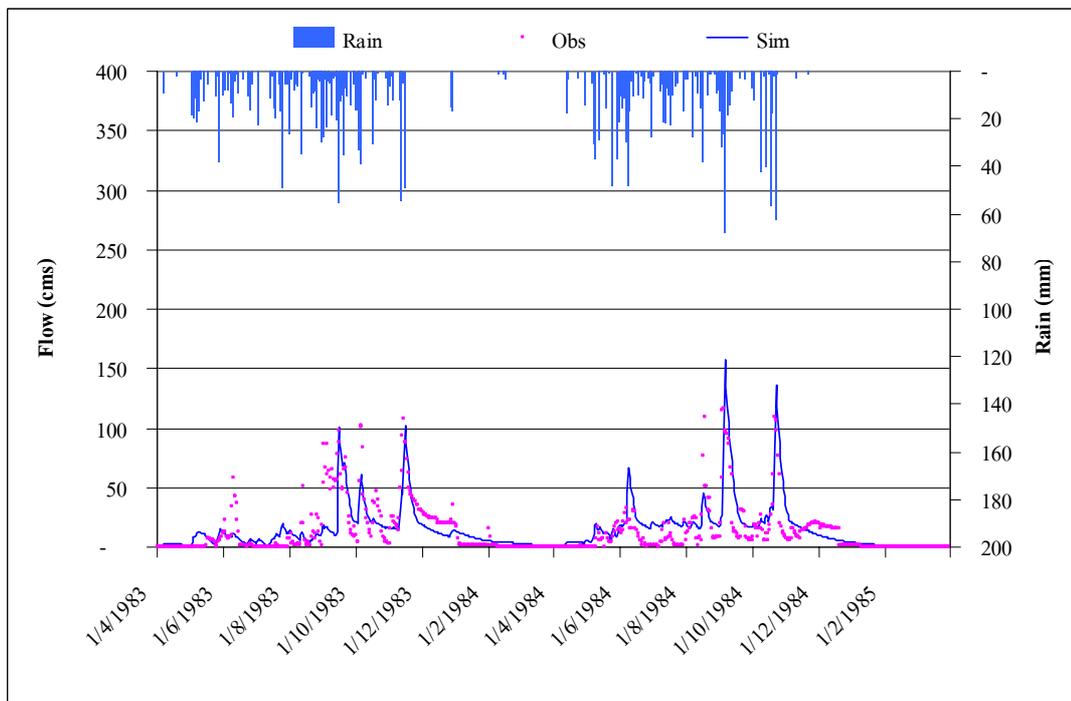
พารามิเตอร์ในแบบจำลอง ที่ไม่มีการสอบเทียบ ได้แก่ T_p ซึ่งจากการคำนวณด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง T_p กับ L , L_c และ S ของลุ่มน้ำปิง สำหรับสถานี P.4A เท่ากับ 14.42 ชั่วโมง และค่า $Initial\ Q$ ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในต้นเดือนเมษายน เท่ากับ 1.59 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ของสถานีวัดน้ำท่า P.4A ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) % impervious มีค่าเท่ากับ 6.5 (2) Loss Rate มีค่าเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (3) C_p มีค่าเท่ากับ 0.28 (4) Recession Constant 0.97 และ (5) Threshold Q มีค่าเท่ากับ 22 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่า ดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.73 และ 0.77 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 51.74 และ 57.04 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง HEC-HMS และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 16 และ 17



ภาพที่ 16 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.4A ในปี ค.ศ. 1987



ภาพที่ 17 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.4A สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1983 ถึง 1984

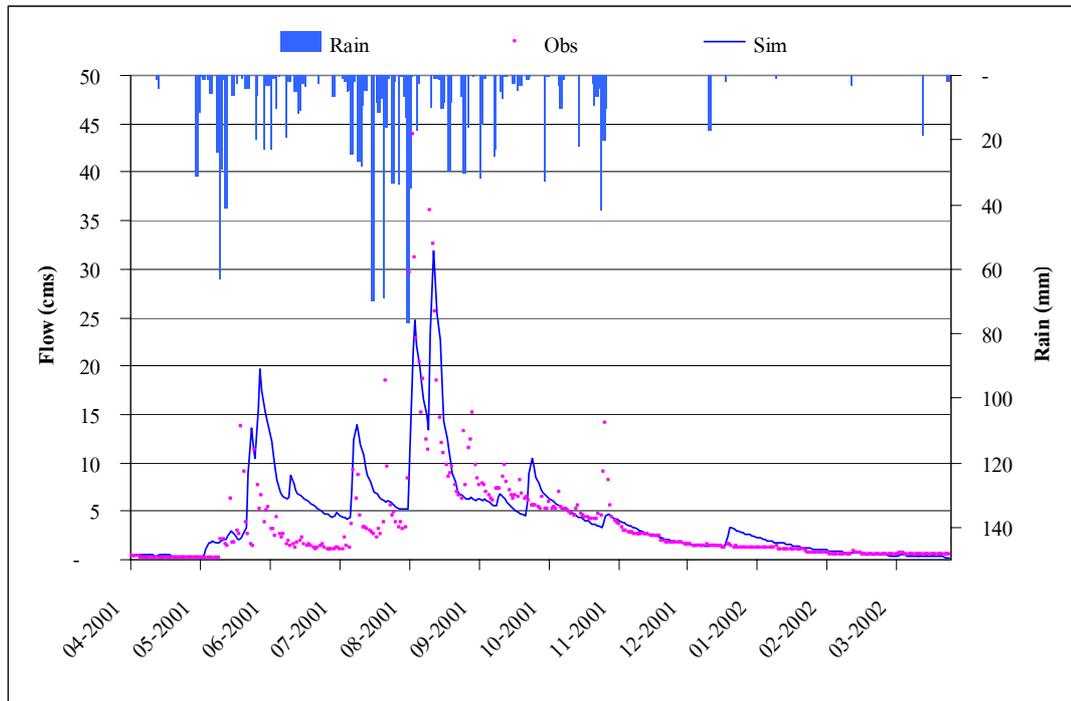
4) สถานีวัดน้ำท่า P.65

สถานี P.65 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่แตง อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำแม่แตง ตอนบน สถานี P.65 มีพื้นที่รับน้ำฝน 240 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 88.69 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 2.81 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1992 ถึงปัจจุบัน ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าเพียง 1 สถานี คือสถานี 07252

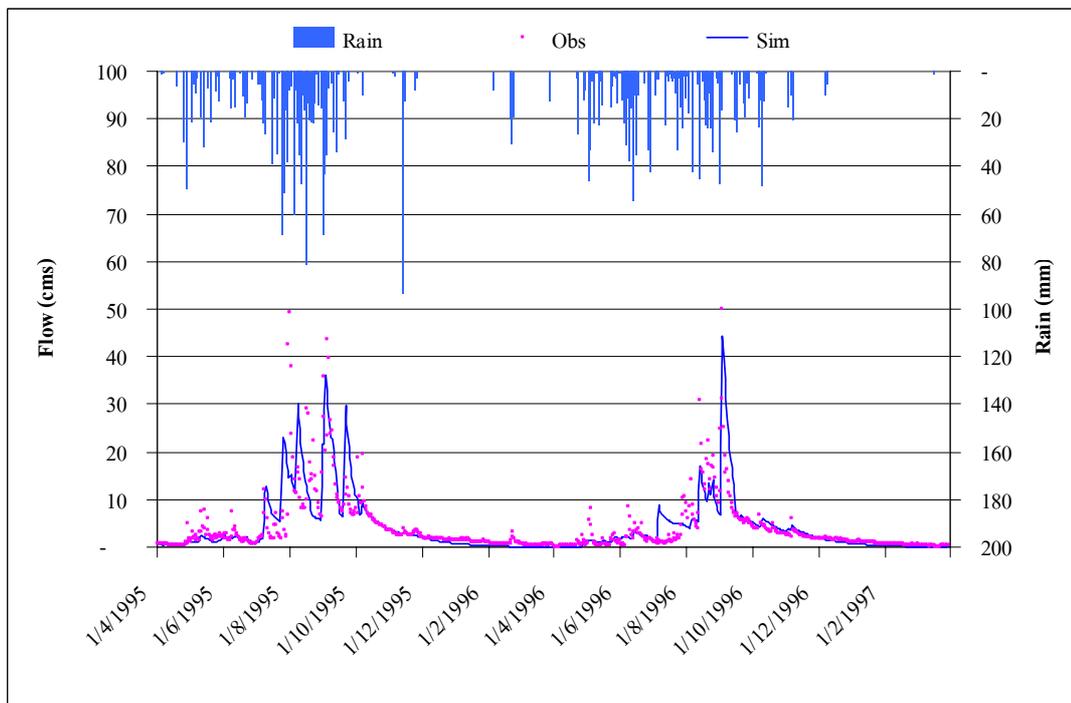
พารามิเตอร์ในแบบจำลองที่ไม่มีการสอบเทียบ ได้แก่ T_p ซึ่งจากการคำนวณด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง T_p กับ L , L_c และ S ของลุ่มน้ำปิง สำหรับสถานี P.65 เท่ากับ 8.37 ชั่วโมง และค่า $Imtail$ Q ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในต้นเดือนเมษายน เท่ากับ 0.59 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ของสถานีวัดน้ำท่า P.65 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) % impervious มีค่าเท่ากับ 6.5 (2) Loss Rate มีค่าเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (3) C_p มีค่าเท่ากับ 0.26 (4) Recession Constant 0.97 และ (5) Threshold Q มีค่าเท่ากับ 7 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่า ดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.79 และ 0.79 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 58.35 และ 57.20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง HEC-HMS และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 18 และ 19



ภาพที่ 18 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.65 ในปี ค.ศ. 2001



ภาพที่ 19 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.65 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1995 ถึง 1996

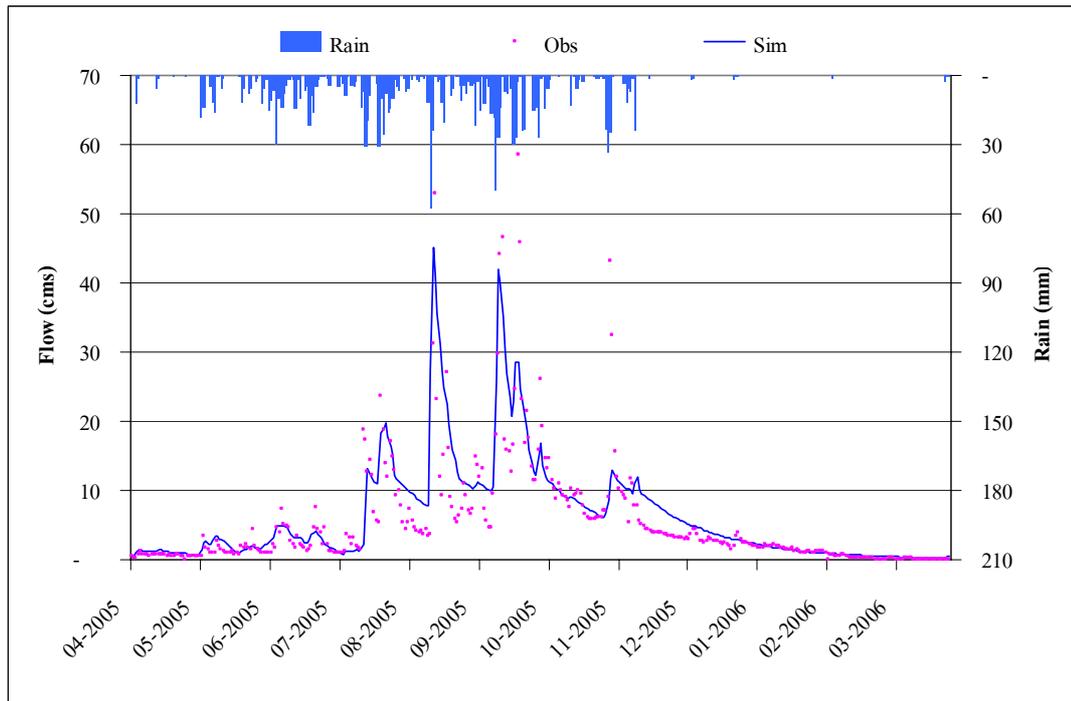
5) สถานีวัดน้ำท่า P.21

สถานี P.21 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่ป๋าย อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ริม สถานี P.21 มีพื้นที่รับน้ำฝน 515 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 141.83 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 4.50 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1954 ถึงปัจจุบัน ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 3 สถานี คือสถานี 07062 , 07112 และ 07142

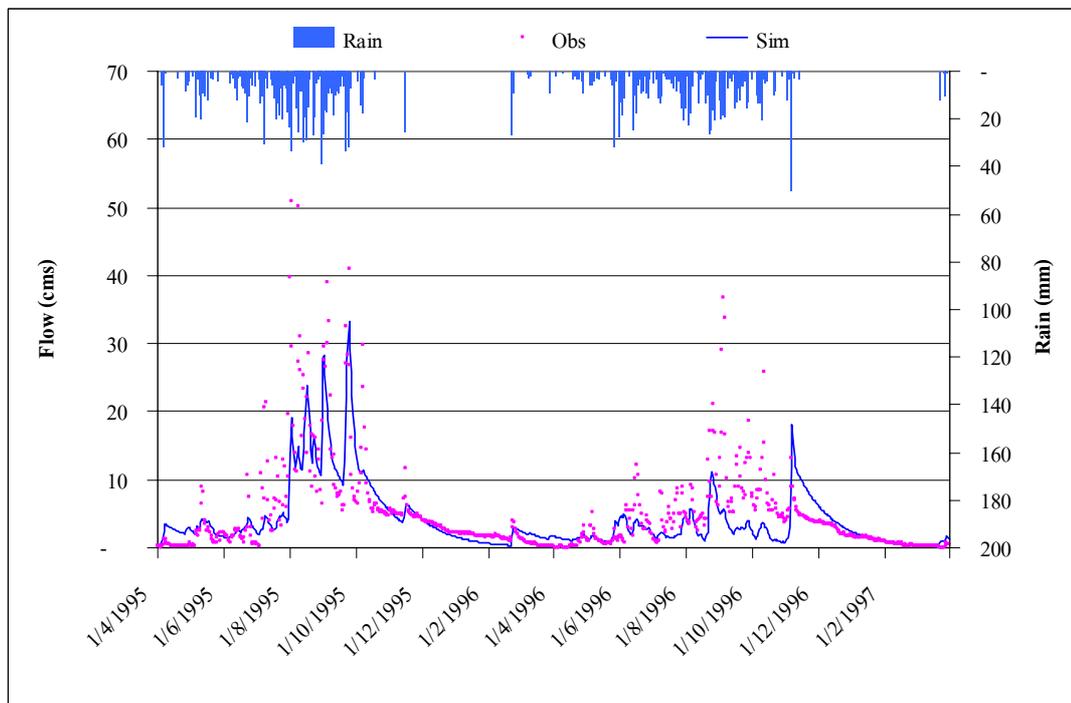
พารามิเตอร์ในแบบจำลอง ที่ไม่มีการสอบเทียบ ได้แก่ T_p ซึ่งจากการคำนวณด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง T_p กับ L , L_c และ S ของลุ่มน้ำป๋าย สำหรับสถานี P.21 เท่ากับ 9.92 ชั่วโมง และค่า $Imitail Q$ ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในต้นเดือนเมษายน เท่ากับ 0.54 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ของสถานีวัดน้ำท่า P.21 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) % impervious มีค่าเท่ากับ 7.0 (2) Loss Rate มีค่าเท่ากับ 0.9 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (3) C_p มีค่าเท่ากับ 0.3 (4) Recession Constant 0.97 และ (5) Threshold Q มีค่าเท่ากับ 12 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่า ดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.84 และ 0.73 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 68.66 และ 52.01 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง HEC-HMS และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 20 และ 21



ภาพที่ 20 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.21 ในปี ค.ศ. 2005



ภาพที่ 21 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.21 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1995 ถึง 1996

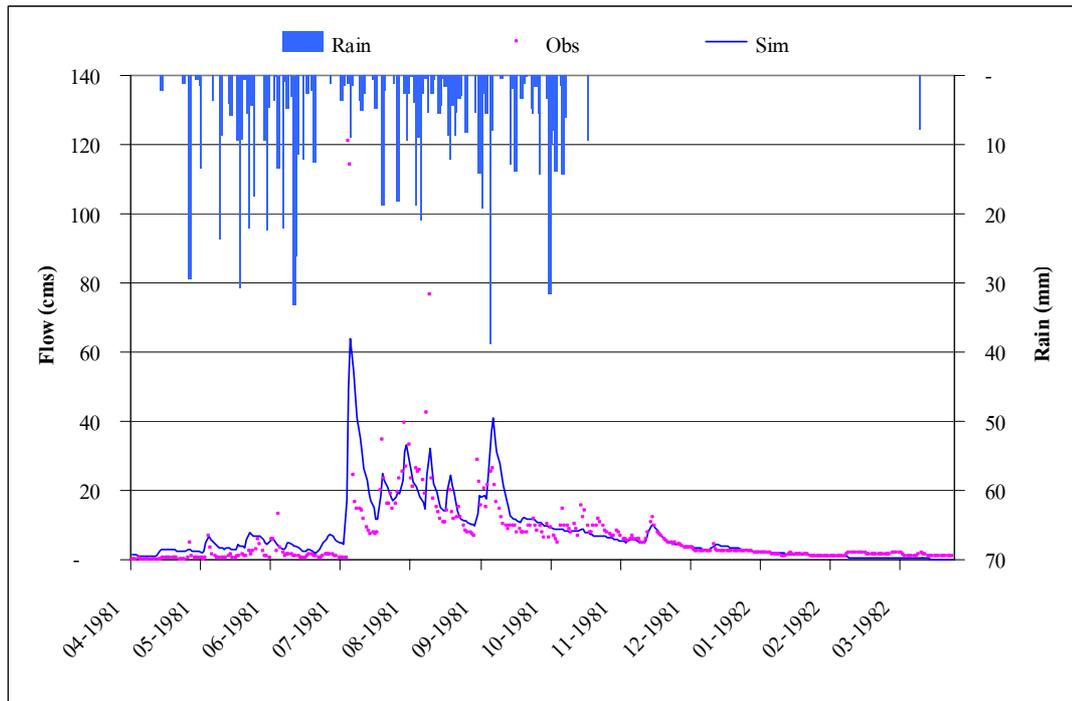
6) สถานีวัดน้ำท่า P.34

สถานี P.34 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่กวง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดลำพูน และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่กวง สถานี P.34 มีพื้นที่รับน้ำฝน 566 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 210.99 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 6.69 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1974 ถึง 1982 ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 2 สถานี คือสถานี 07052 และ 07502

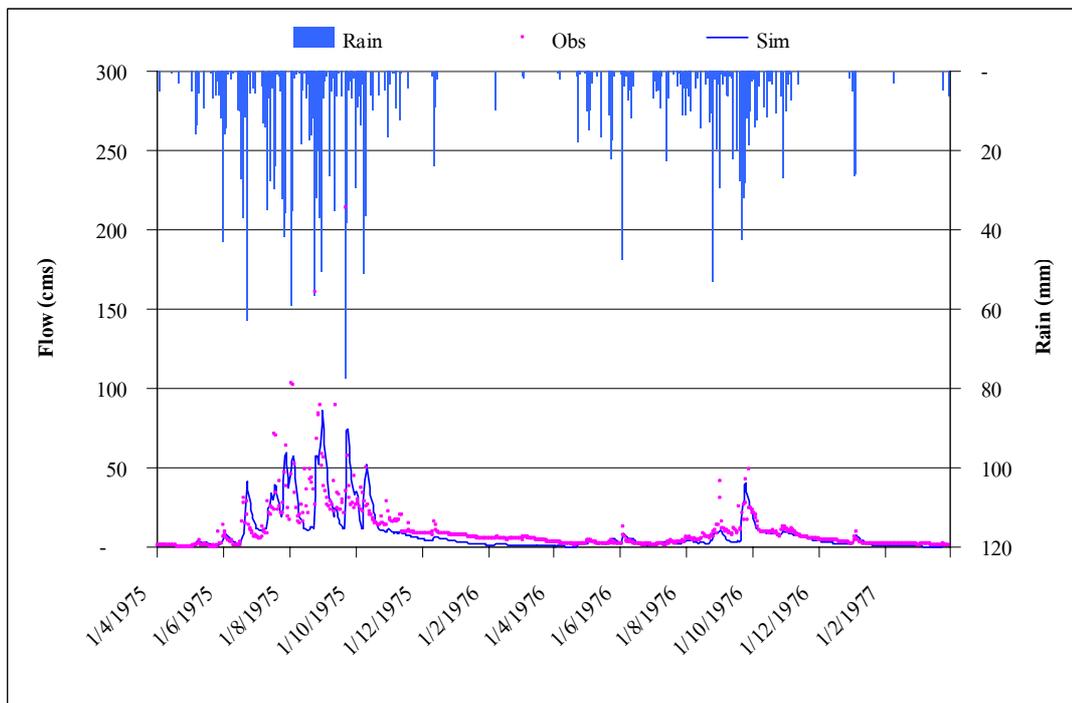
พารามิเตอร์ในแบบจำลอง ที่ไม่มีการสอบเทียบ ได้แก่ T_p ซึ่งจากการคำนวณด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง T_p กับ L , L_c และ S ของลุ่มน้ำปิง สำหรับสถานี P.34 เท่ากับ 8.79 ชั่วโมง และค่า $Initail Q$ ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในต้นเดือนเมษายน เท่ากับ 1.33 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ของสถานีวัดน้ำท่า P.34 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) % impervious มีค่าเท่ากับ 10.0 (2) Loss Rate มีค่าเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (3) C_p มีค่าเท่ากับ 0.28 (4) Recession Constant 0.97 และ (5) Threshold Q มีค่าเท่ากับ 12 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่า ดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.80 และ 0.79 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 62.87 และ 61.20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง HEC-HMS และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 22 และ 23



ภาพที่ 22 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.34 ในปี ค.ศ. 1981



ภาพที่ 23 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.34 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1975 ถึง 1976

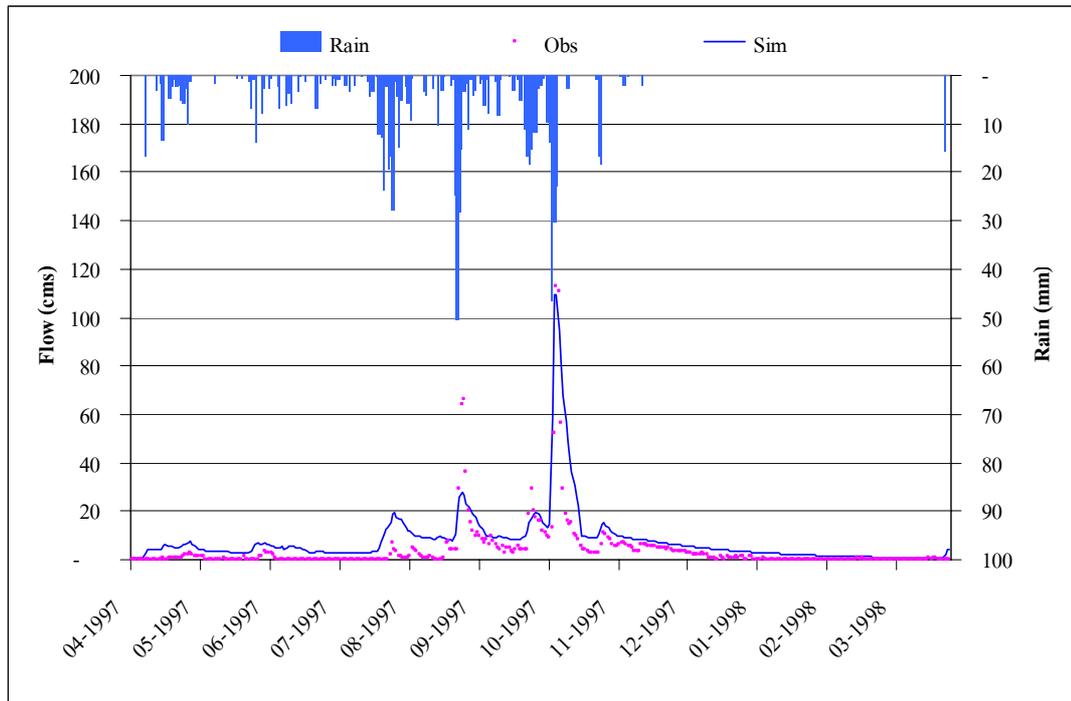
7) สถานีวัดน้ำท่า P.71

สถานี P.71 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่จาง อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่จาง 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

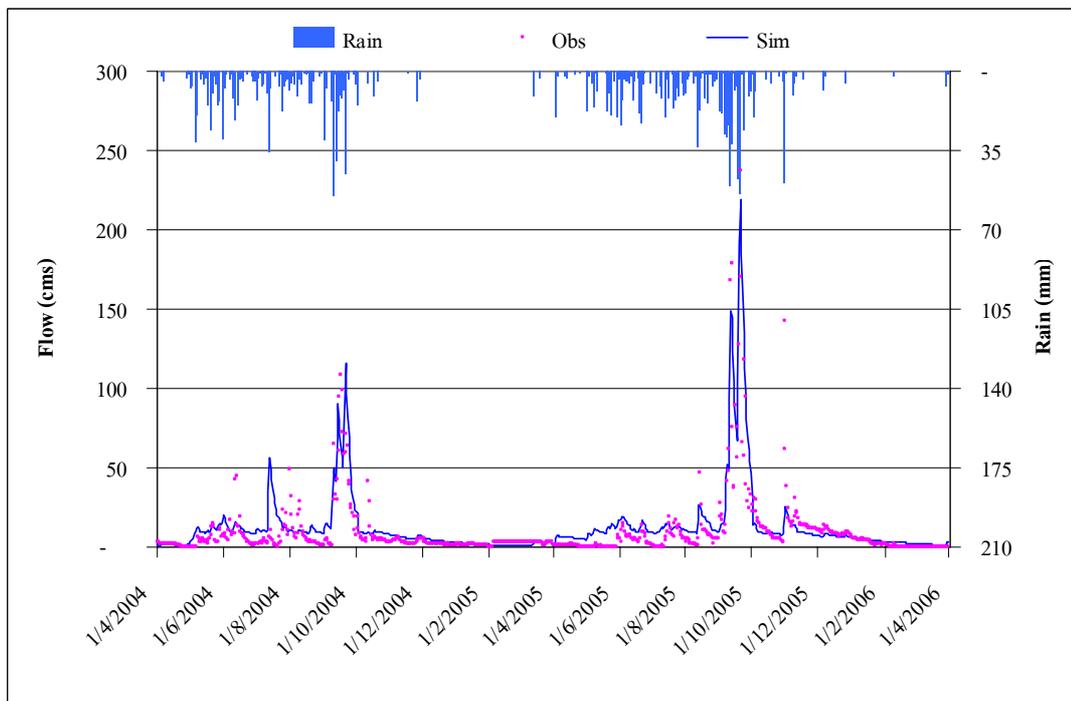
พารามิเตอร์ในแบบจำลองที่ไม่มีการสอบเทียบ ได้แก่ T_p ซึ่งจากการคำนวณด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง T_p กับ L , L_c และ S ของลุ่มน้ำปิง สำหรับสถานี P.71 เท่ากับ 13.13 ชั่วโมง และค่า $Initail\ Q$ ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในต้นเดือนเมษายน เท่ากับ 0.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ของสถานีวัดน้ำท่า P.71 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) % impervious มีค่าเท่ากับ 6.5 (2) Loss Rate มีค่าเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (3) C_p มีค่าเท่ากับ 0.30 (4) Recession Constant 0.98 และ (5) Threshold Q มีค่าเท่ากับ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่า ดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.84 และ 0.85 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 49.72 และ 65.07 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง HEC-HMS และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 24 และ 25



ภาพที่ 24 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.71 ในปี ค.ศ. 1997



ภาพที่ 25 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.71 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 2004 ถึง 2005

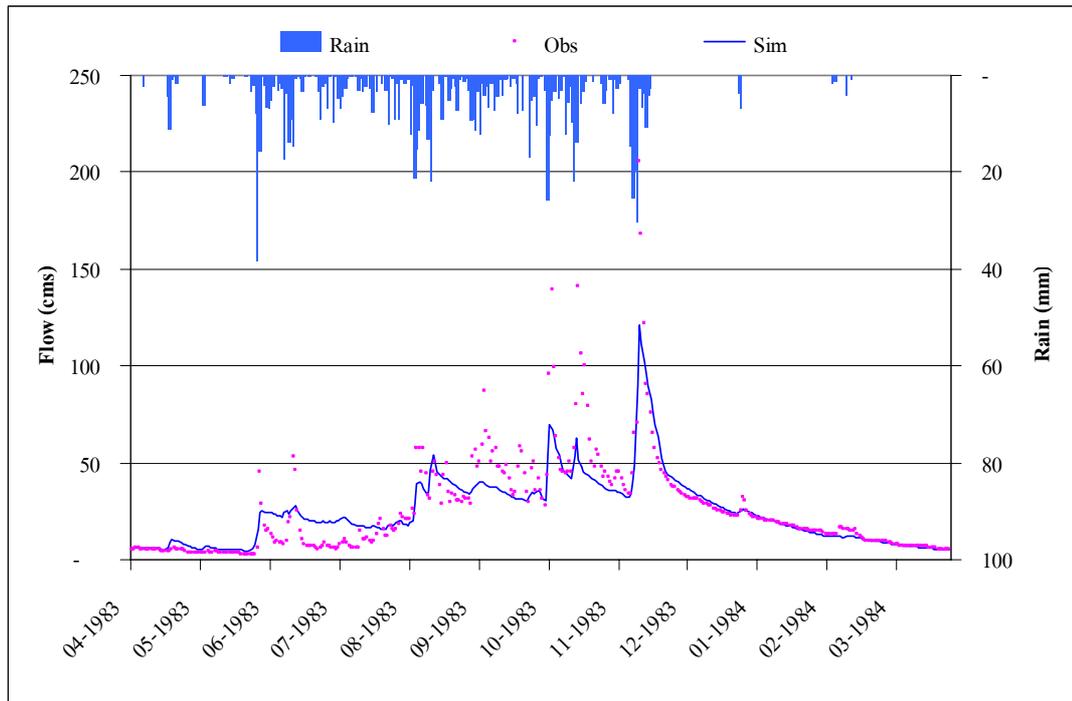
8) สถานีวัดน้ำท่า P.14

สถานี P.14 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่บนแม่น้ำแม่แจ่ม อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ และตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่แจ่มตอนล่าง สถานี P.14 มีพื้นที่รับน้ำฝน 3,853 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 1,075.38 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 34.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 1954 ถึงปัจจุบัน ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการประเมินปริมาณน้ำท่าจำนวน 3 สถานี คือสถานี 07182 , 07282 และ 20032

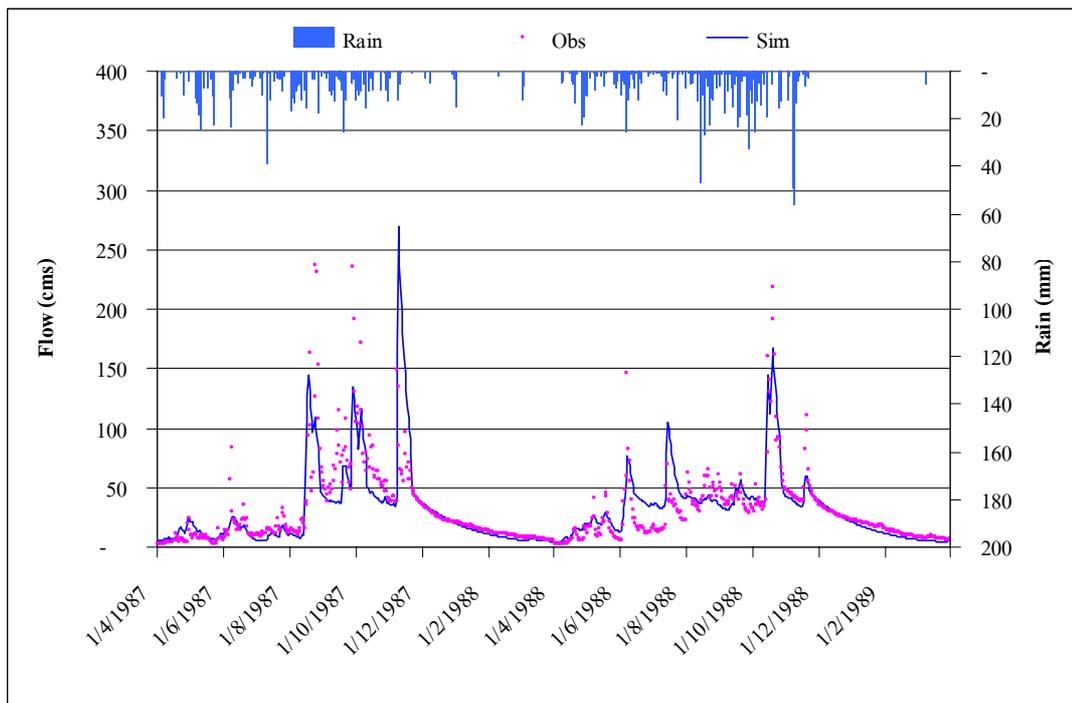
พารามิเตอร์ในแบบจำลอง ที่ไม่มีการสอบเทียบ ได้แก่ T_p ซึ่งจากการคำนวณด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง T_p กับ L , L_c และ S ของลุ่มน้ำปิง สำหรับสถานี P.14 เท่ากับ 13.00 ชั่วโมง และค่า $Initail\ Q$ ที่ได้จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในต้นเดือนเมษายน เท่ากับ 6.33 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ของสถานีวัดน้ำท่า P.14 ได้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ (1) % impervious มีค่าเท่ากับ 6.0 (2) Loss Rate มีค่าเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (3) C_p มีค่าเท่ากับ 0.25 (4) Recession Constant 0.98 และ (5) Threshold Q มีค่าเท่ากับ 45 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และพบว่าค่าทางสถิติจากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีค่า ดังนี้ คือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.89 และ 0.79 และค่า EI มีค่าเท่ากับ 75.53 และ 57.75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง HEC-HMS และที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนข้อมูลปริมาณฝนรายวัน แสดงดังภาพที่ 26 และ 27



ภาพที่ 26 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานี P.14 ในปี ค.ศ. 1983



ภาพที่ 27 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ที่สถานี P.14 สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1987 ถึง 1988

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนทำให้ได้ค่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า สรุปได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 พารามิเตอร์ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ได้จากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS

ลำดับที่	สถานีวัด น้ำท่า	Loss Rate (mm/hr)	Impervious (%)	Cp	Initial Q (cms)	Recession Constant	Threshold Q (cms)
1	P.20	0.80	6.5	0.38	2.46	0.970	20.0
2	P.28	1.00	8.0	0.26	1.66	0.980	17.0
3	P.4A	1.30	6.5	0.28	1.59	0.970	22.0
4	P.65	0.80	6.5	0.26	0.59	0.970	7.0
5	P.21	0.90	7.0	0.30	0.54	0.970	12.0
6	P.34	0.80	10.0	0.28	1.33	0.970	12.0
7	P.71	1.00	6.5	0.30	0.83	0.980	10.0
8	P.14	0.80	6.0	0.25	6.33	0.980	45.0
	ค่าเฉลี่ย	0.93	7.1	0.29	1.92	0.974	18.1
	ค่าสูงสุด	1.30	10.0	0.38	6.33	0.980	45.0
	ค่าต่ำสุด	0.80	6.0	0.25	0.54	0.970	7.0

2. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ

จากลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำและพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลอง HEC-HMS สำหรับสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้นำมาหาความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยสรุปผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ได้ดังต่อไปนี้

1) Loss Rate คือ ปริมาณการสูญเสียน้ำที่มีหน่วยเป็น มม./ชม. โดยปริมาณการสูญเสียน้ำดังกล่าว จะแสดงถึงคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำ ดังนั้นสมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ Loss Rate ควรมีความสัมพันธ์กับ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S)

2) % Impervious คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่บดน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดน้ำท่าในช่วงฤดูแล้ง หรือทำให้มีปริมาณน้ำที่ขังไว้บนผิวดินในลักษณะของแอ่งน้ำตื้น ๆ หรือหลุมบ่อตื้น ดังนั้นสมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ % Impervious ควรมีความสัมพันธ์กับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ พื้นที่อยู่อาศัย (U) พื้นที่การเกษตร (Ag) พื้นที่ป่าไม้ (F) และพื้นที่แหล่งน้ำ (W)

3) C_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลสูงสุด (Peaking Coefficient) เป็น พารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดรูปแบบของกราฟในช่วงการไหลสูงๆ สำหรับการประเมินค่า C_p สามารถพิจารณาได้จากลักษณะทางกายภาพของทางน้ำ กล่าวคือ C_p ควรมีความสัมพันธ์กับ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S)

4) Initial Q คือ ปริมาณการไหลเริ่มต้น ของการจำลองปริมาณการไหลจากพื้นที่รับน้ำได้ดินที่ออกจากระบบและไหลเข้าสู่ลำน้ำ มีหน่วยเป็น ลบ.ม/วิ หรือ ลบ.ม/วิ/ตร.กม. ซึ่งสำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการสอบเทียบแบบจำลองในครั้งแรก จะใส่ค่านี้จากปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าในวันที่ 1 เมษายน ของสถานีต่างๆ โดยสมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ Initial Q ควรจะมีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) ความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S) รวมทั้งลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทแหล่งน้ำ (W)

5) Recession Constant คือ อัตราส่วนของปริมาณการไหลที่เวลา t ต่อปริมาณการไหลที่เวลา ก่อนหน้า ซึ่งใช้อธิบายลักษณะการกระจายตัวที่ลดลงแบบ Exponential ในช่วงที่กราฟน้ำท่ามีปริมาณการไหลเท่ากับ Threshold Q ซึ่งอัตราส่วนปริมาณน้ำท่า ณ เวลาหลังจากนั้นจะเท่ากับ Recession Constant ดังนั้น สมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ Recession Constant ควรมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ รูปแบบการลดลงแบบลดถอยดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกัน จึงเลือกใช้ค่า Recession Constant เท่ากับ 0.974 สำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน

6) Threshold Q คือ ปริมาณการไหล ณ เวลาที่ปริมาณการไหลทั้งหมดเริ่มถูกคำนวณจากแบบจำลองปริมาณการไหลแบบถดถอย ซึ่งจะแสดงถึงลักษณะของกราฟน้ำท่าในช่วงลดลงของน้ำท่าแต่ละลูก ว่าจะเริ่มมีการลดลงแบบถดถอยที่ปริมาณการไหลเท่าไร มีหน่วยเป็น ลบ.ม/วิ หรือ สัดส่วนของปริมาณน้ำท่าสูงสุด โดยสมมติฐานที่ตั้งไว้คือ Threshold Q ควรมีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) ความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S) และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทแหล่งน้ำ (W) เช่นเดียวกับ Initial Q

นอกจากพารามิเตอร์ที่กล่าวในข้างต้นแล้ว ยังมีอีก 1 พารามิเตอร์ ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ L, L_c และ S แต่เนื่องจากมีสมการความสัมพันธ์เดิมที่มีการศึกษาไว้แล้ว จึงคำนวณพารามิเตอร์ดังกล่าวได้ คือ

7) T_p คือ เวลาที่นับจากจุด Centroid ของกราฟน้ำฝนถึงเวลาที่เกิดการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า มีหน่วยเป็นชั่วโมง โดยสมมติฐานที่ตั้งไว้คือ T_p ควรจะมีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (L_c) และความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S) และได้เลือกใช้สมการความสัมพันธ์ของพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ที่ได้มีการศึกษาไว้แล้ว

ส่วนพารามิเตอร์อีก 3 ตัวที่เหลือ หลังจากที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบในเบื้องต้นแล้วพบว่า มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 8 สถานี และไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ จึงเลือกใช้ค่าเฉลี่ยในการสอบเทียบแบบจำลอง และกำหนดให้ค่าดังกล่าวเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้แก่ Initial Deficit , Max Deficit และ Recovery Rate ซึ่งมีรายละเอียดของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

8) Initial Deficit คือ ปริมาณการสูญเสียเริ่มต้น มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ดังกล่าว ขึ้นอยู่กับค่าการระเหยและค่าการรั่วซึมลงดิน ในช่วงที่ฝนเริ่มตก ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดให้ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีค่าเท่ากับ 30 มิลลิเมตร

9) Max Deficit คือ ปริมาณการพร่องน้ำในดินสูงสุด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ซึ่งจะมีผลต่อการไหลซึมลงดิน ในกรณีที่น้ำในส่วนนี้ยังไม่เต็ม จะทำให้กราฟน้ำท่าในพายุลูกแรกๆ มีค่าต่ำ เนื่องจากจะต้องมีส่วนหนึ่งที่ไหลผ่านลงไปเก็บในส่วนนี้ก่อน ค่าของ Max Deficit ขึ้นอยู่กับสภาพ

ภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำ ลักษณะการใช้ที่ดิน ชนิดของดิน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดค่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนมีค่าเท่ากับ 220 มิลลิเมตร

10) Recovery Rate คือ ปริมาณการสูญเสียเริ่มต้นที่กลับมาใหม่ในกรณีที่ฝนทิ้งช่วง และสภาพความชื้นในดินต่ำ เสมือนช่วงปลายฤดูแล้ง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน ซึ่งค่าดังกล่าว ประเมินจากค่าการระเหยและค่าการรั่วซึมลงดิน สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ได้กำหนดค่า Recovery Rate พื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม ดังนี้ 7, 8, 9, 10, 9, 8, 8, 8, 8, 7 และ 7 ตามลำดับ

จากการพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ Loss Rate, % Impervious, Cp, Initial Q และ Threshold Q กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ มาใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมในรูปแบบของสมการสหสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุคูณ (multiple regression) โดยผลการศึกษาพบว่า Loss Rate และ Cp มีความสัมพันธ์แบบ Multiple Regression กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพ A, L, Lc และ S โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.99 และ 0.96 ตามลำดับ สำหรับพารามิเตอร์ % Impervious มีความสัมพันธ์แบบ Multiple Regression กับสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน U, Ag, F และ W โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.99 ส่วนอีก 2 พารามิเตอร์ที่เหลือ ได้แก่ Initial Q และ Threshold Q มีความสัมพันธ์แบบ Multiple Regression กับ A, L, Lc, S และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทแหล่งน้ำ (W) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.97 และ 0.96 ซึ่งความสัมพันธ์ของทั้ง 5 พารามิเตอร์ กับลักษณะเฉพาะของพื้นที่ลุ่มน้ำ จัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก สำหรับสำหรับสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำ รวมทั้งตัวแปรทางสถิติของพารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์แสดงดังในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS กับ ลักษณะเฉพาะของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน

สมการสหสัมพันธ์ (regression)		r
Loss Rate	= 0.318 - 0.000052A + 0.011L - 0.010Lc + 21.518S	0.99
%Impervious	= 8.844 + 0.215U + 0.015Ag - 0.036F + 1.536W	0.99
Cp	= 0.257 - 0.000035A + 0.002L + 0.006Lc	0.96
Initial Q	= 0.346 + 0.002A - 0.042L + 0.053Lc + 4.202S + 0.717W	0.97
Threshold Q	= - 9.690 + 0.011A - 0.087L + 0.192Lc + 967.654S + 3.419W	0.96

3. ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และ ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 2 นั้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่า ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินกราฟน้ำท่า ณ จุดที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปึงตอนบนได้ จึงได้นำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS กับ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 8 สถานีที่ทำการสอบเทียบ เพื่อเป็นการทดสอบผลของสมการ โดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ที่ได้จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 13 แสดงไว้ในตารางที่ 14

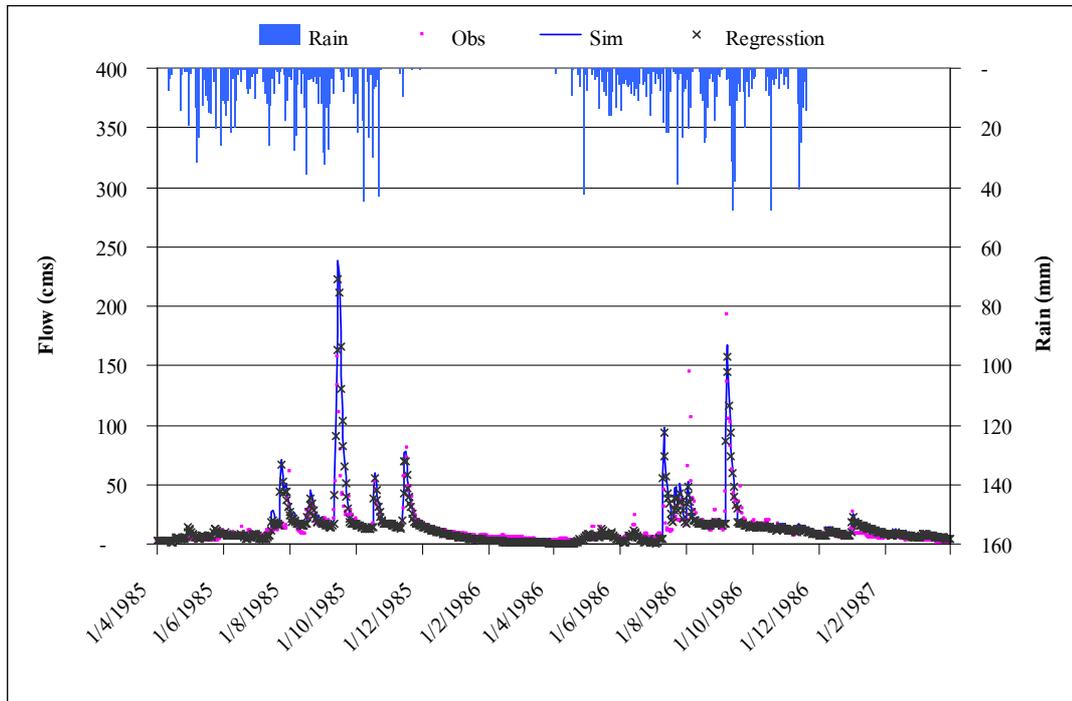
ตารางที่ 14 พารามิเตอร์แบบจำลอง HEC-HMS ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์จากการสอบเทียบแบบจำลอง กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ

ลำดับที่	สถานีวัด น้ำท่า	Loss Rate (mm/hr)	Impervious (%)	Cp	Initial Q (cms)	Recession Constant	Threshold d Q (cms)
1	P.20	0.86	6.4	0.38	2.45	0.974	18.3
2	P.28	1.04	8.0	0.27	1.86	0.974	15.3
3	P.4A	1.38	6.5	0.30	1.44	0.974	18.6
4	P.65	0.80	6.5	0.26	0.15	0.974	3.5
5	P.21	0.91	7.0	0.32	0.91	0.974	12.9
6	P.34	0.86	10.0	0.27	1.50	0.974	13.9
7	P.71	1.07	6.5	0.29	2.05	0.974	16.9
8	P.14	0.86	6.0	0.26	6.84	0.974	42.7
	ค่าเฉลี่ย	0.97	7.1	0.30	2.15	0.974	17.8
	ค่าสูงสุด	1.38	10.0	0.38	6.84	0.974	42.7
	ค่าต่ำสุด	0.80	6.0	0.26	0.15	0.974	3.5

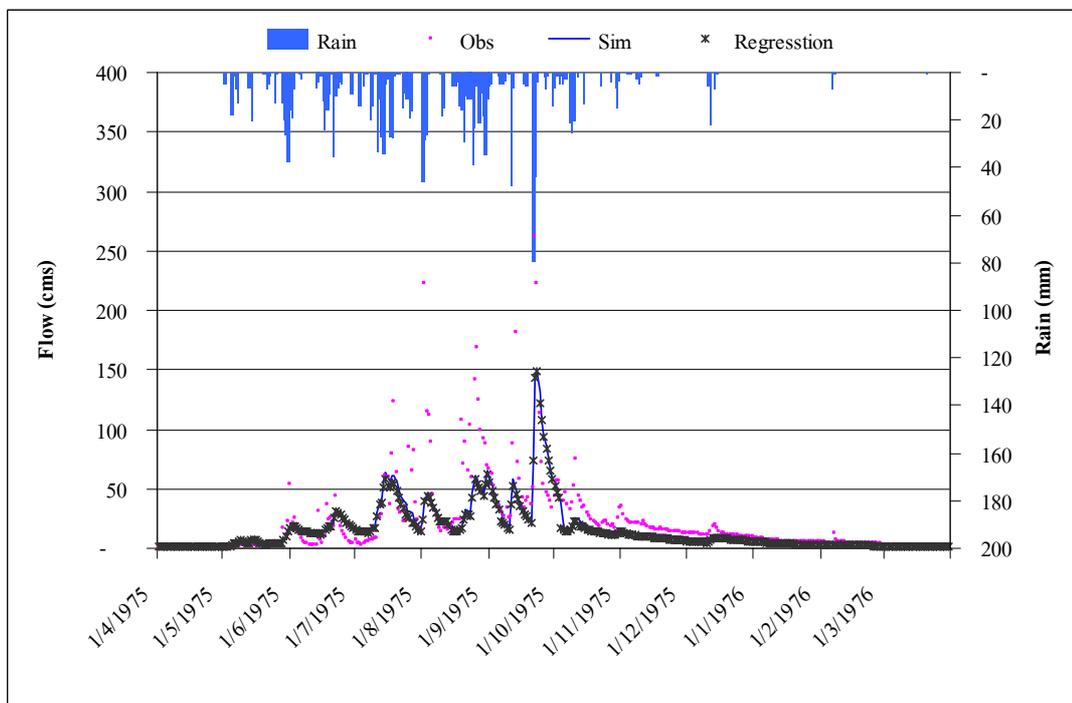
จากนั้นได้นำค่าพารามิเตอร์สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่ประเมินได้มาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินกราฟน้ำท่าในแต่ละสถานีสำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 28 ถึงภาพที่ 35 รวมทั้งได้ทำการตรวจสอบผลการประเมินกราฟน้ำท่ากับข้อมูลที่ได้มีการตรวจวัดไว้ที่สถานีต่างๆ ซึ่งแสดงผลการประเมินโดยค่าทางสถิติ ดังในตารางที่ 15 โดยในตารางดังกล่าวได้แสดงค่าทางสถิติทั้งกรณีที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง และกรณีที่ใช้พารามิเตอร์จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ เสมือนไม่มีสถานีวัดน้ำท่า

ตารางที่ 15 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าทางสถิติที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองกับค่าทางสถิติที่ได้จากการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์

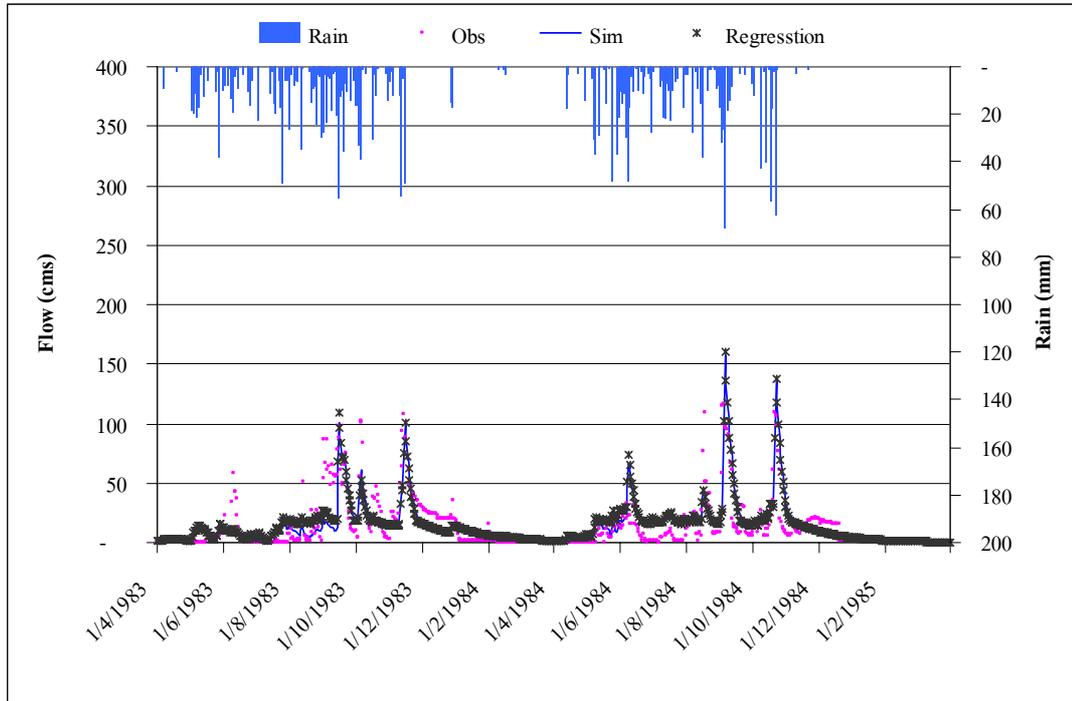
สถานี	P.20	P.28	P.4A	P.65	P.21	P.34	P.71	P.14
การสอบเทียบแบบจำลอง								
r	0.84	0.79	0.77	0.79	0.73	0.79	0.85	0.79
EI (%)	46.86	70.30	57.04	57.20	52.01	61.20	65.07	57.75
การประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้น								
r	0.84	0.79	0.77	0.77	0.72	0.79	0.86	0.77
EI (%)	57.12	68.22	57.41	55.50	51.14	61.91	69.73	55.63



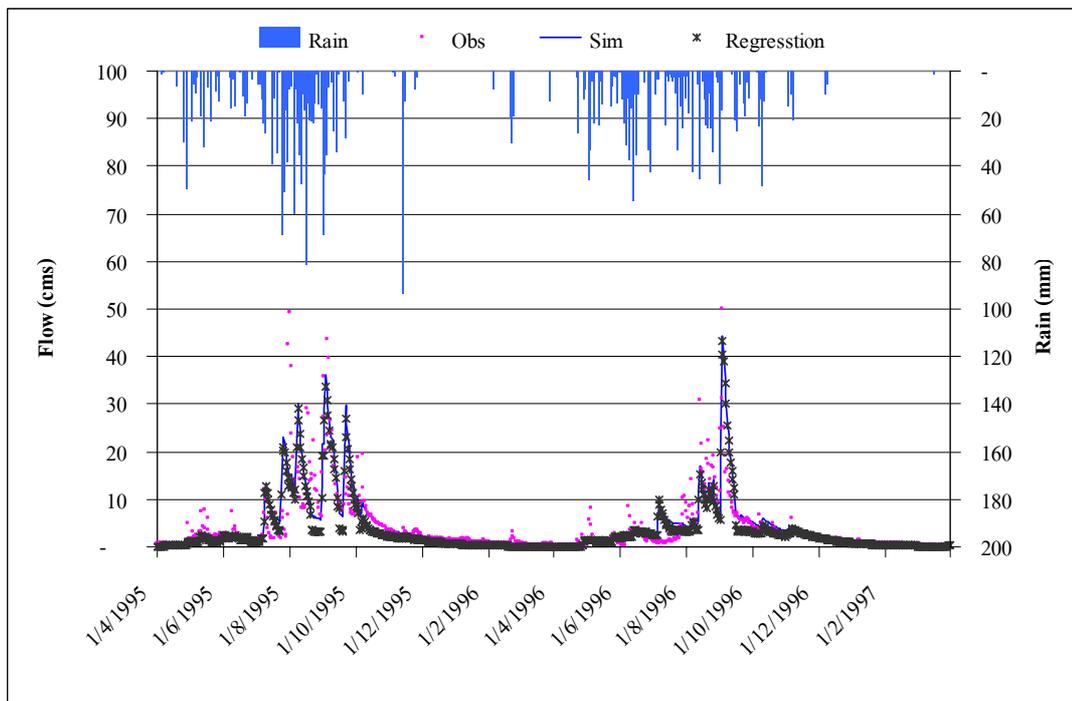
ภาพที่ 28 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.20



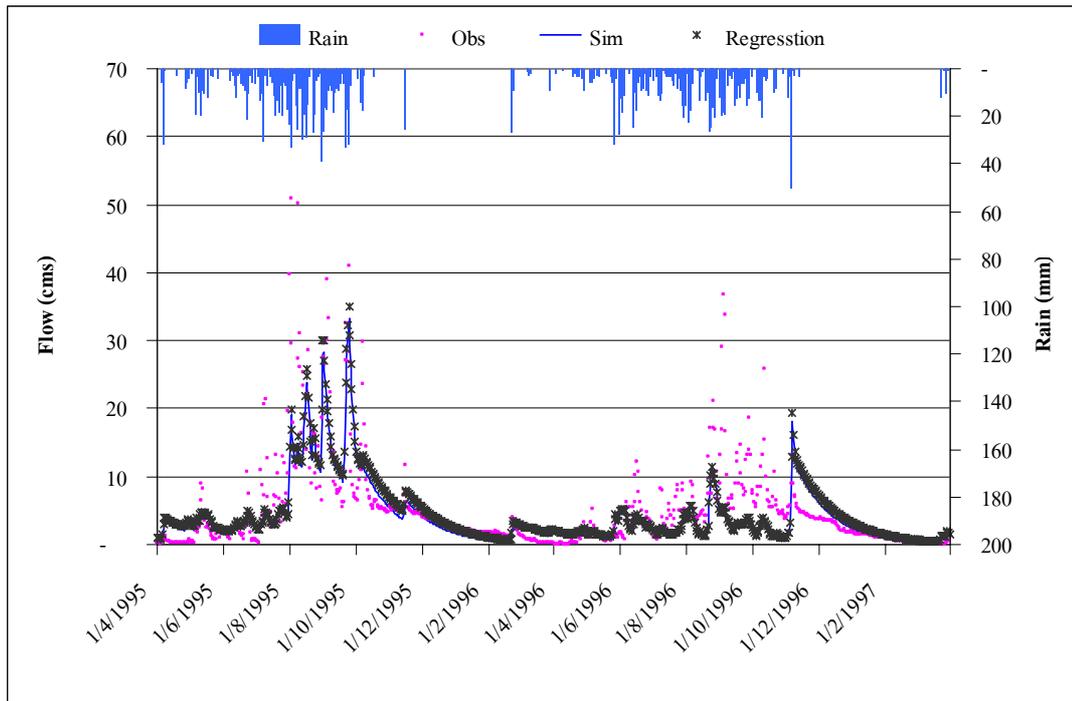
ภาพที่ 29 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.28



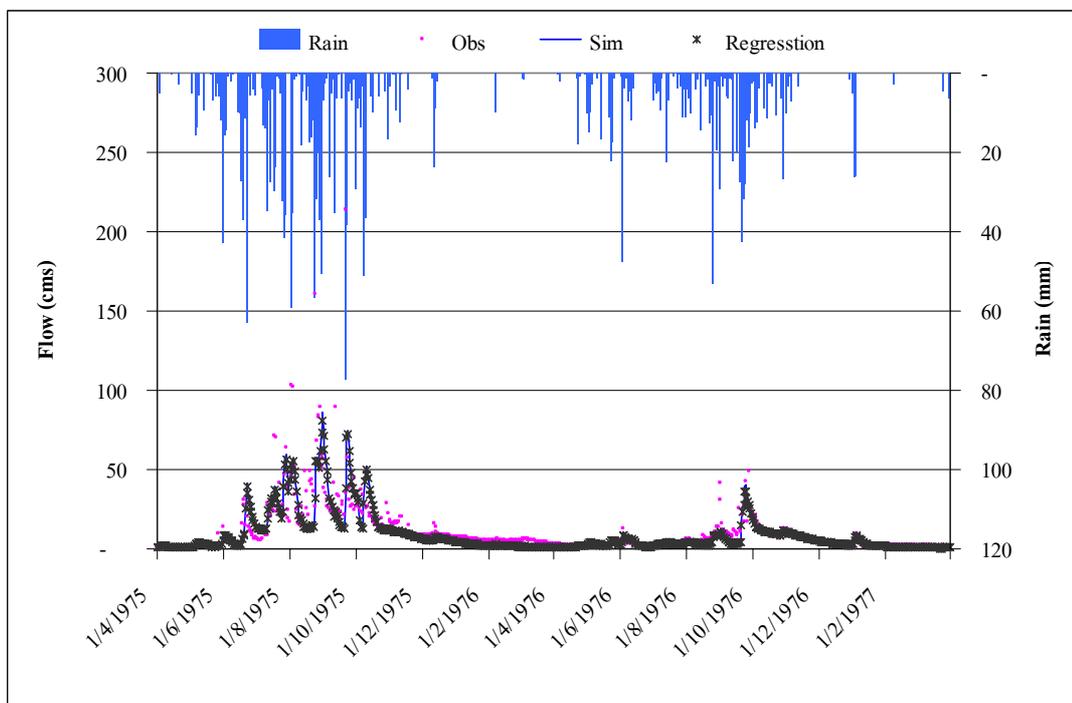
ภาพที่ 30 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.4A



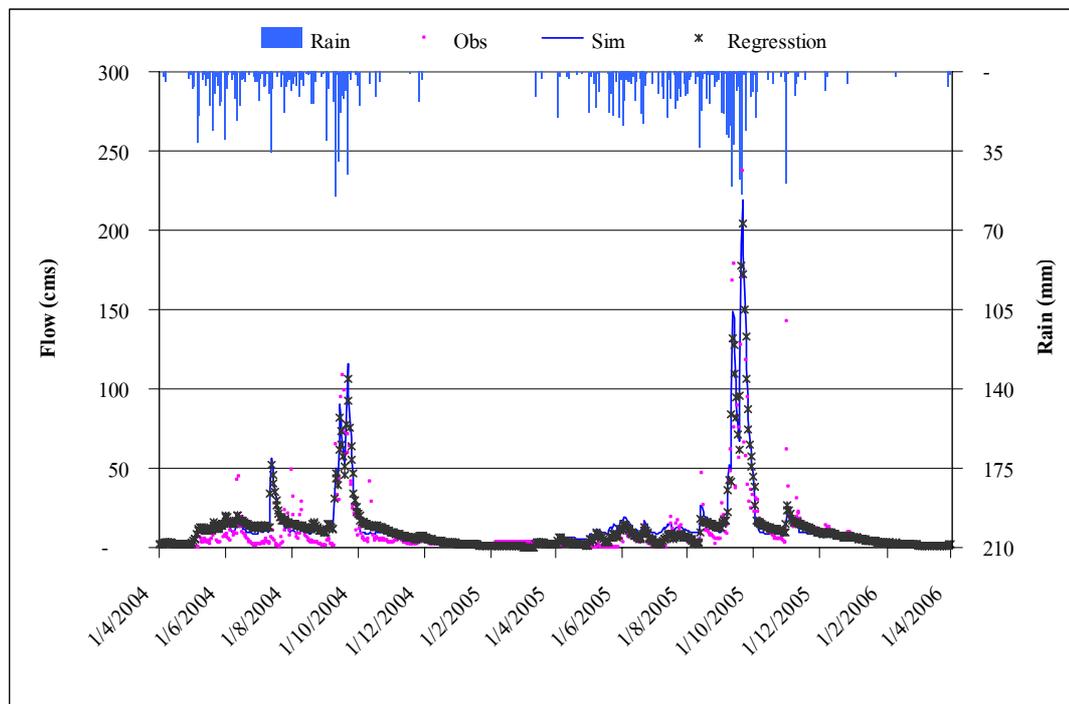
ภาพที่ 31 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.65



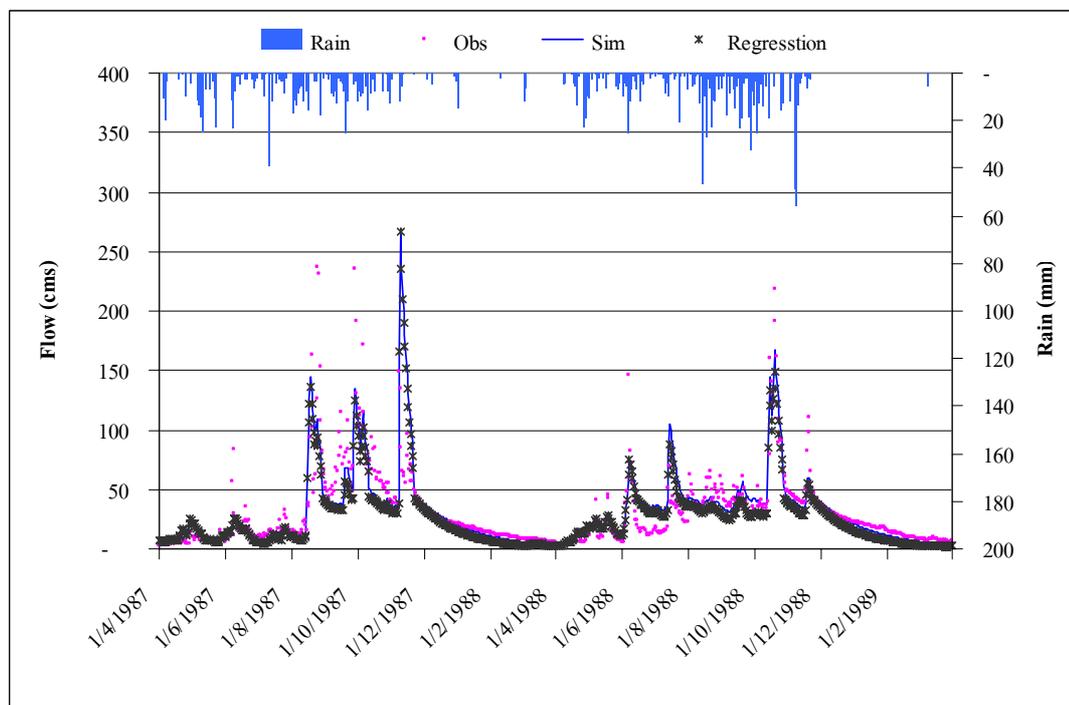
ภาพที่ 32 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.21



ภาพที่ 33 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.34



ภาพที่ 34 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.71



ภาพที่ 35 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.14

4. การประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปึงตอนบน

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS กับ ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำที่สร้างขึ้น นำมาทดสอบการประเมินปริมาณน้ำท่าในกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปึงตอนบน ซึ่งเลือกทดสอบช่วงปี ค.ศ. 2004-2005

จากสมการความสัมพันธ์ และคุณลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่กลุ่มน้ำสาขาทั้ง 7 กลุ่มน้ำ ให้ค่าพารามิเตอร์สำหรับใส่ในแบบจำลอง HEC-HMS ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 พารามิเตอร์แบบจำลอง HEC-HMS ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์จากการสอบเทียบแบบจำลอง กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำสาขา

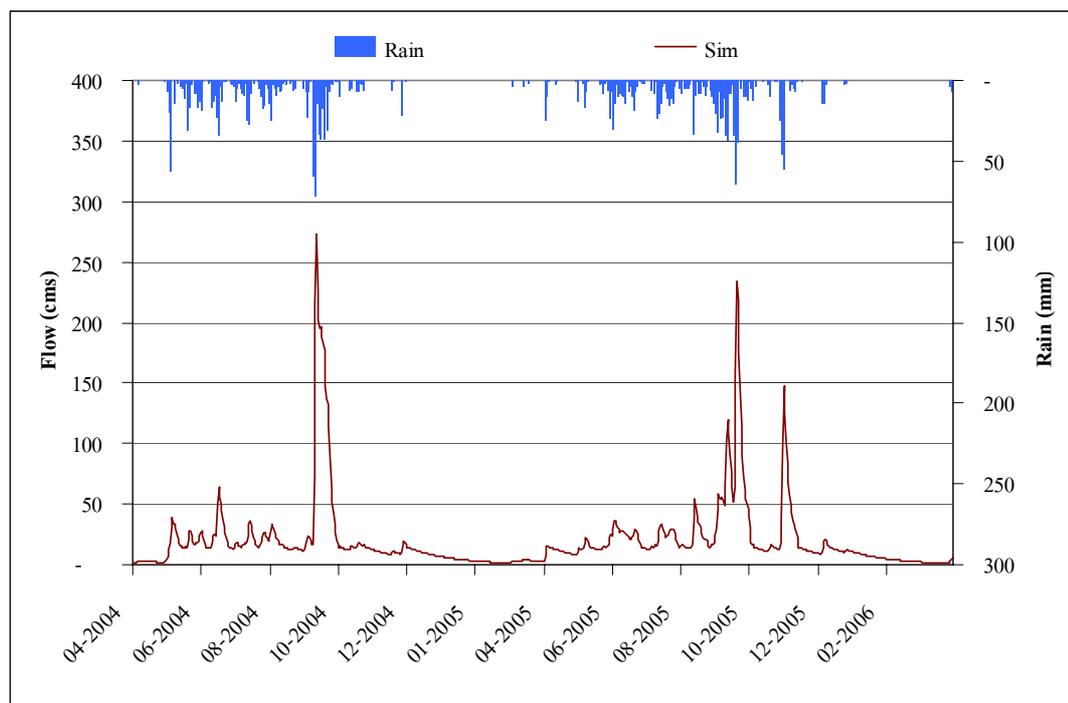
ลำดับที่	รหัส กลุ่มน้ำ	Loss Rate (mm/hr)	Impervio us (%)	Cp	Initial Q (cms)	Recession Constant	Threshold Q (cms)
1	06.05	1.11	12.38	0.33	1.98	0.974	14.68
2	06.09	1.65	7.45	0.31	0.87	0.974	17.06
3	06.10	1.19	6.52	0.26	0.65	0.974	20.80
4	06.11	0.92	12.15	0.21	7.51	0.974	41.19
5	06.12	0.99	5.63	0.35	3.30	0.974	26.93
6	06.14	0.81	7.12	0.31	0.90	0.974	7.45
7	06.15	1.54	6.36	0.49	4.05	0.974	35.17
ค่าเฉลี่ย		1.17	8.23	0.32	2.75	0.974	23.33
ค่าสูงสุด		1.65	12.38	0.49	7.51	0.974	41.19
ค่าต่ำสุด		0.81	5.63	0.21	0.65	0.974	7.45

จากนั้นได้นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ มาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินกราฟน้ำท่ารายวัน ด้วยแบบจำลอง HEC-HMS ซึ่งผลการประเมินปริมาณน้ำท่าระหว่างปี ค.ศ. 2004 -2005 แสดงในตารางที่ 17 และภาพที่ 36 ถึง ภาพที่ 42 แสดงกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS และผลการ

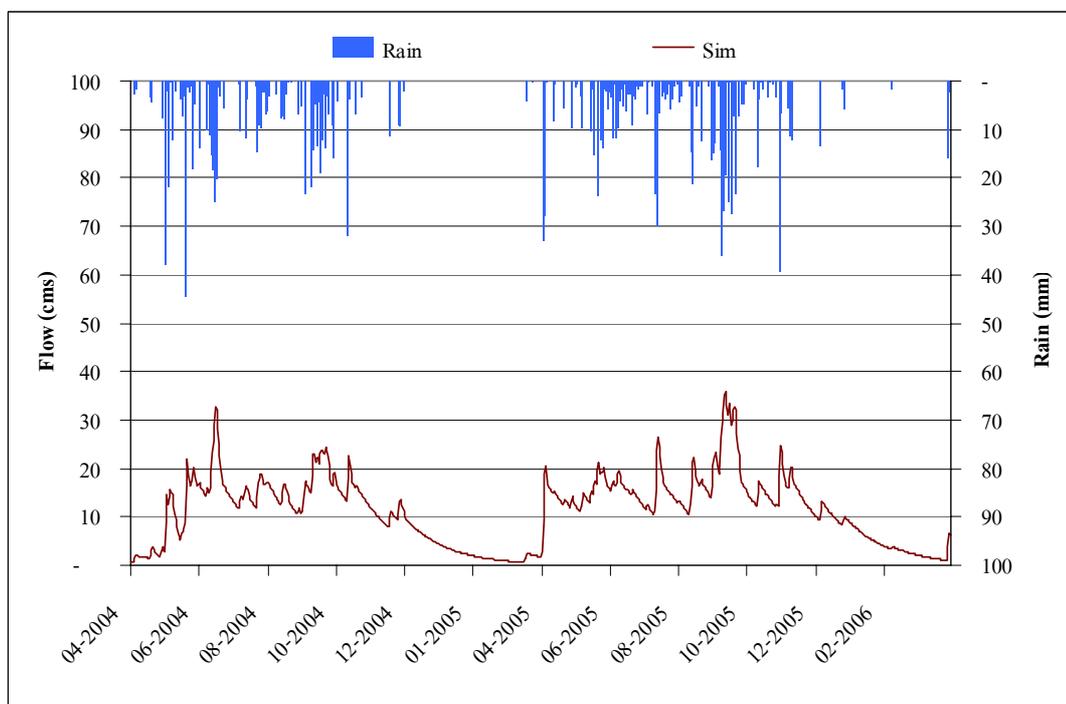
ประเมินปริมาณน้ำท่าในช่วงปี ค.ศ. 1976-2005 โดยการวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง 30 ปี แสดงค่า Specific Yield ในตารางที่ 18 และการกระจายรายเดือนของปริมาณน้ำท่า แสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 17 สรุปผลการวิเคราะห์กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า

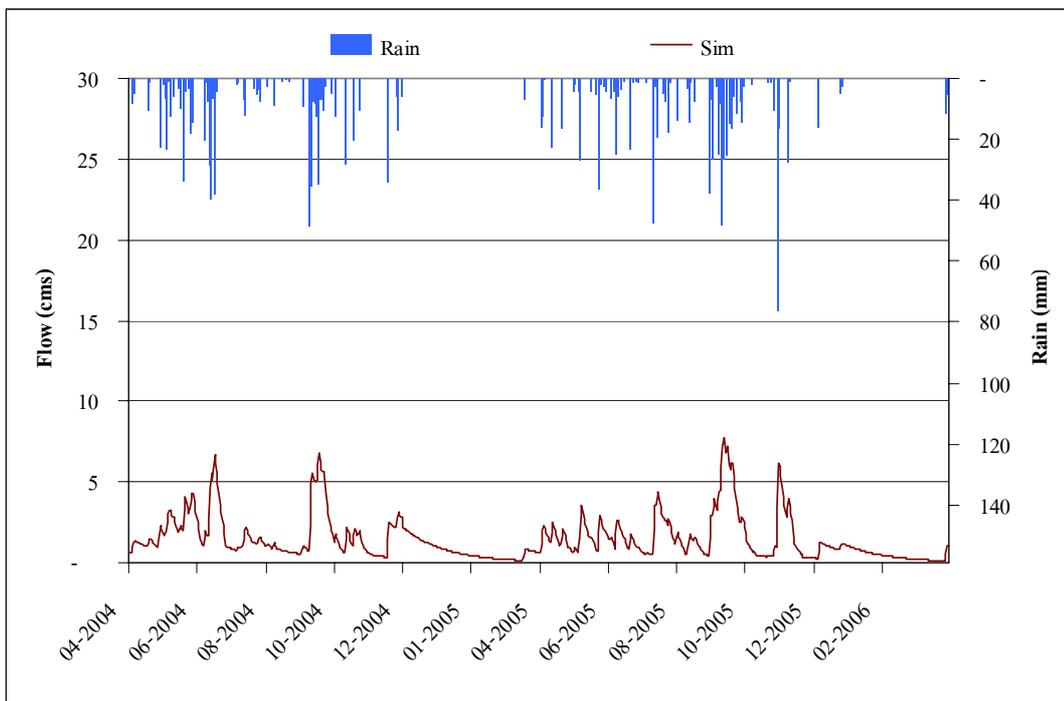
ลำดับที่	รหัส ลุ่มน้ำ	พื้นที่ รับน้ำ	ปี ค.ศ. 2004		ปี ค.ศ. 2005	
			ปริมาณฝน (mm)	Specific Yield (l/s/km ²)	ปริมาณฝน (mm)	Specific Yield (l/s/km ²)
1	06.05	1,634	1,322.20	11.65	1,497.30	13.12
2	06.09	2,132	775.10	4.70	929.90	5.94
3	06.10	603	794.30	2.48	926.20	2.40
4	06.11	3,191	753.50	6.61	1,134.90	9.99
5	06.12	1,957	1,009.70	5.35	1,327.80	7.01
6	06.14	547	849.00	4.98	930.70	5.34
7	06.15	3,154	1,198.80	6.93	1,358.80	8.07
	ค่าเฉลี่ย	1,888	957.51	6.10	1,157.94	7.41
	ค่าสูงสุด	3,191	1,322.20	11.65	1,497.30	13.12
	ค่าต่ำสุด	547	753.50	2.48	926.20	2.40



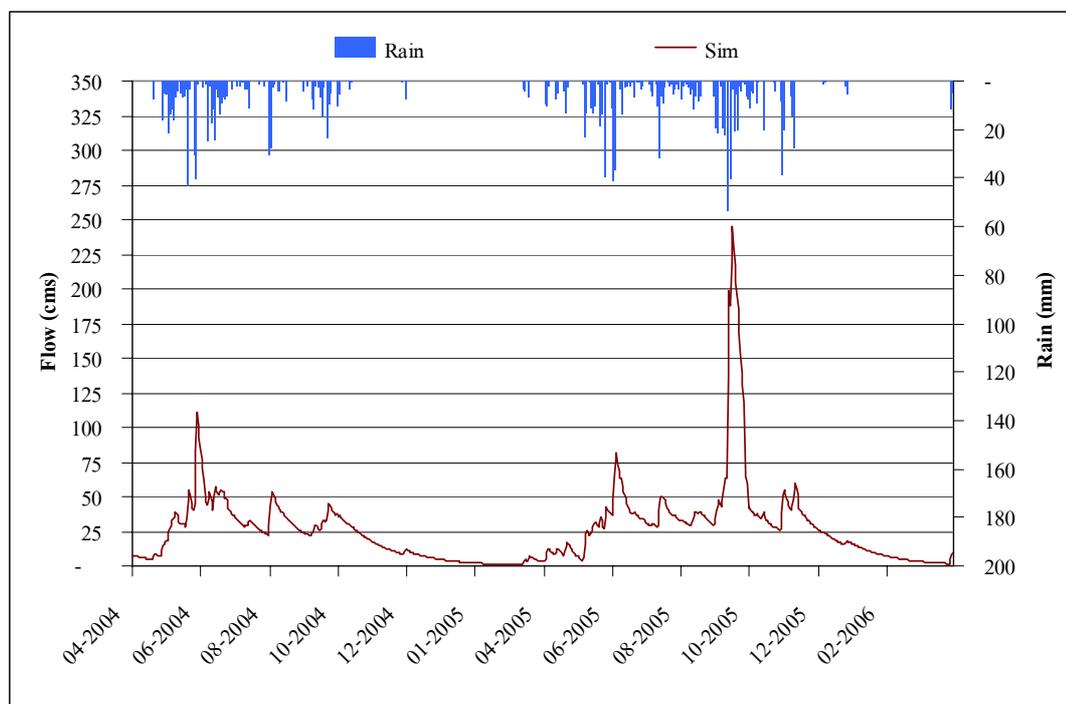
ภาพที่ 36 กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปิงส่วนที่ 2 (06.05)



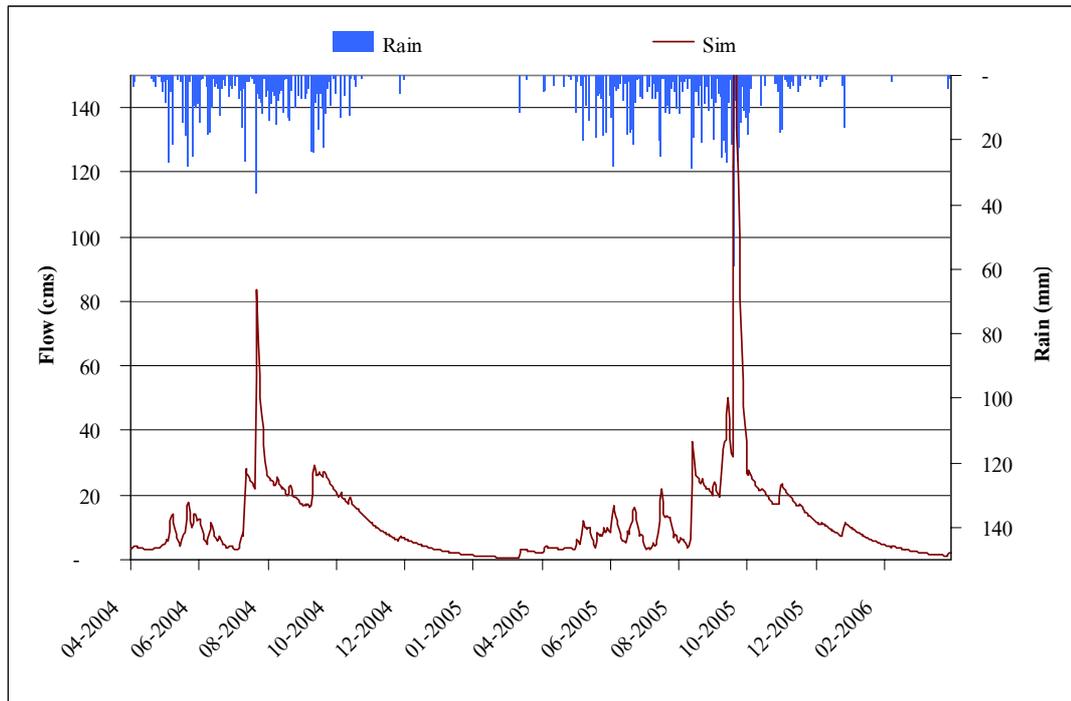
ภาพที่ 37 กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ลี (06.09)



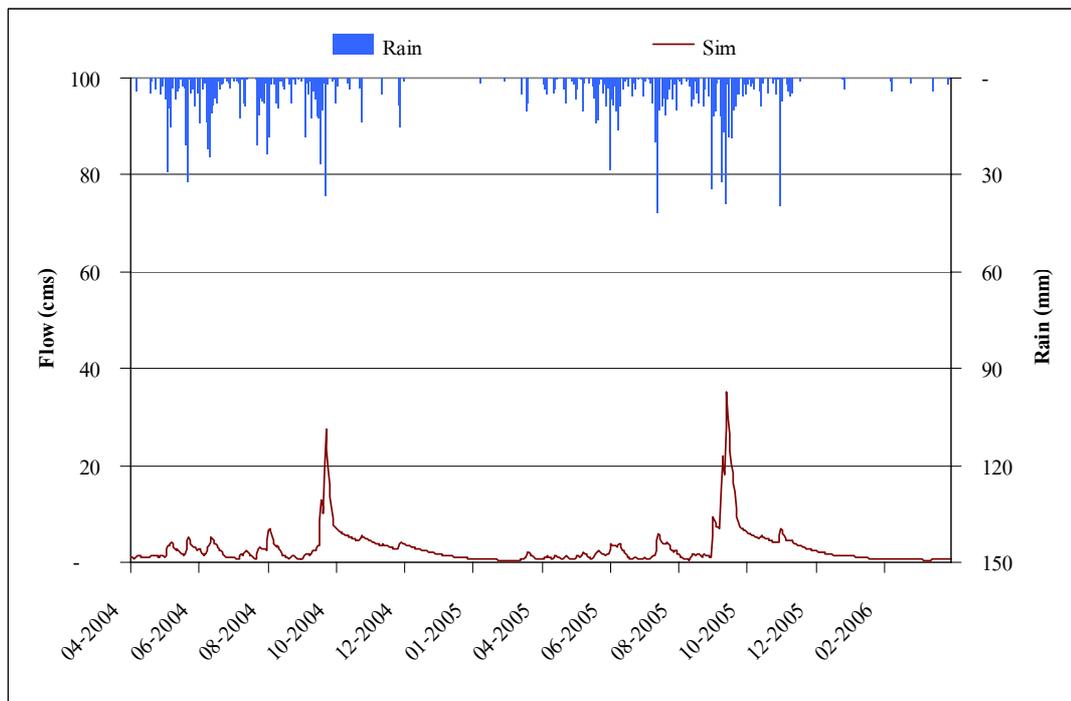
ภาพที่ 38 กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่กลาง (06.10)



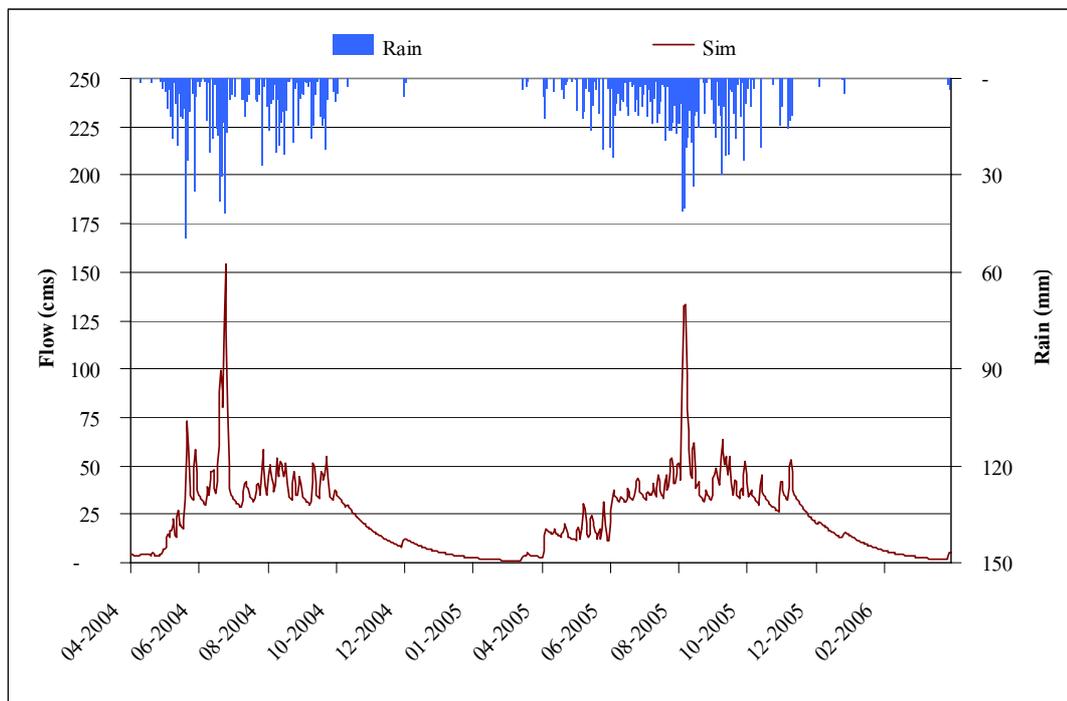
ภาพที่ 39 กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปิงส่วนที่ 3 (06.11)



ภาพที่ 40 กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่แจ่มตอนบน (06.12)



ภาพที่ 41 กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่หาด (06.14)



ภาพที่ 42 กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ตื่น (06.15)

ตารางที่ 18 ค่า Specific Yield ที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า

ปี ค.ศ.	Specific Yield ของลุ่มน้ำสาขา (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)						
	06.05	06.09	06.10	06.11	06.12	06.14	06.15
1976	9.53	6.78	3.93	8.19	6.00	3.06	8.28
1977	14.87	4.56	12.98	9.77	7.44	3.85	9.22
1978	12.70	5.95	8.31	7.31	9.19	2.17	7.35
1979	9.69	5.98	1.96	8.63	2.96	1.47	7.21
1980	10.90	6.37	2.40	11.40	7.57	5.26	6.93
1981	10.86	5.61	2.50	8.46	5.82	1.51	7.77
1982	8.24	3.82	2.00	8.75	1.78	1.37	9.02
1983	8.92	5.42	1.98	8.34	4.52	3.54	6.66
1984	6.08	5.00	1.73	6.62	4.25	2.42	7.49
1985	8.73	5.75	12.04	7.81	6.97	2.21	8.05
1986	8.75	5.13	2.78	7.70	2.34	4.16	7.66
1987	12.18	5.15	2.46	9.05	5.64	2.34	9.81
1988	12.00	6.04	3.14	11.87	9.03	2.02	7.36
1989	9.70	5.28	2.20	7.63	6.03	3.05	7.64
1990	8.17	5.01	1.59	7.59	7.62	3.85	8.35
1991	8.85	3.81	1.37	9.12	8.29	2.16	8.96
1992	8.65	6.08	7.95	10.46	4.09	4.38	7.02
1993	7.09	4.97	2.64	7.78	2.06	1.80	6.94
1994	13.02	6.68	5.05	9.14	12.59	1.73	10.42
1995	11.36	5.17	6.81	9.99	8.82	1.75	8.84
1996	10.88	5.73	6.30	9.73	4.50	2.25	9.01
1997	8.48	3.59	2.33	5.92	4.77	1.54	8.47
1998	7.74	5.00	2.72	5.42	7.57	2.56	5.64
1999	9.29	6.82	14.24	9.79	8.84	3.18	9.43
2000	9.89	5.84	8.45	11.33	7.06	1.80	8.41
2001	12.24	5.67	3.42	7.98	11.84	1.31	8.00

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ปี ค.ศ.	Specific Yield ของลุ่มน้ำสาขา (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)						
	06.05	06.09	06.10	06.11	06.12	06.14	06.15
2002	13.58	6.28	10.90	11.62	8.03	5.10	10.15
2003	7.07	4.71	2.43	5.82	6.23	1.44	6.90
2004	11.61	4.76	2.32	6.58	5.32	5.78	7.10
2005	13.08	5.95	2.40	10.15	7.08	5.57	8.32
ค่าเฉลี่ย	10.14	5.43	4.71	8.67	6.47	2.82	8.08
ค่าสูงสุด	14.87	6.82	14.24	11.87	12.59	5.78	10.42
ค่าต่ำสุด	6.08	3.59	1.37	5.42	1.78	1.31	5.64

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้มาใช้ประเมินค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ โดยลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำประกอบด้วย 1) ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (A) 2) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) 3) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (Lc) 4) ความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S) 5) สัดส่วนของพื้นที่อยู่อาศัย (U) 6) สัดส่วนของพื้นที่เกษตรกรรม (Ag) 7) สัดส่วนของพื้นที่ป่าไม้ (F) และ 8) สัดส่วนของพื้นที่แหล่งน้ำ (W) ซึ่งพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ที่นำมาหาความสัมพันธ์ มีจำนวน 10 พารามิเตอร์ ประกอบด้วย Initial Deficit , Max Deficit , Loss Rate , %Impervious , Recovery Rate , Tp , Cp , Initial Q , Recession Constant และ Threshold Q ผลการศึกษาในแต่ละขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

1. ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS สำหรับสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 8 สถานี ในลุ่มน้ำปิงตอนบนนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ควบคุมแบบจำลอง ผลการศึกษาสรุปได้ว่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มที่ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำ ไม่มีนัยสำคัญ และค่าพารามิเตอร์ที่ประเมินได้ มีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงกำหนดเลือกใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าคงที่ สำหรับเป็นตัวแทนของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน มีจำนวน 3 พารามิเตอร์ ประกอบไปด้วย (1) Initial Deficit มีค่าเท่ากับ 30 มิลลิเมตร (2) Max Deficit มีค่าเท่ากับ 220 มิลลิเมตร และ (3) Recovery Rate ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม มีค่าเท่ากับ 7, 8, 9, 10, 9, 8, 8, 8, 8, 8, 7 และ 7 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ

2) กลุ่มที่ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจากได้นำสมการความสัมพันธ์จากผลการศึกษาเดิมมาวิเคราะห์ จึงกำหนดให้พารามิเตอร์นี้เปรียบเสมือนค่าคงที่ของแต่ละสถานี มีจำนวน 1 พารามิเตอร์ คือ T_p มีค่าระหว่าง 8.37 ถึง 14.42

3) กลุ่มที่ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจากผลการสอบเทียบแบบจำลองให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ทำให้หาความสัมพันธ์ไม่ได้ จึงเลือกใช้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.974 เป็นตัวแทนของทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ

4) กลุ่มที่ลักษณะเฉพาะทางกายภาพและสัดส่วนการใช้ที่ดินของแต่ละสถานีมีนัยสำคัญ และในการวิเคราะห์ได้ทำการปรับพารามิเตอร์เหล่านี้ให้กราฟน้ำท่าที่ได้เข้ากันได้ดีกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดของแต่ละสถานี มีจำนวน 5 พารามิเตอร์ ประกอบด้วย (1) Loss Rate มีค่าระหว่าง 0.8 ถึง 1.3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (2) %Impervious มีค่าระหว่าง 6.0 ถึง 10.0 % (3) C_p มีค่าระหว่าง 0.25 ถึง 0.38 (4) Initial Q มีค่าระหว่าง 0.54 ถึง 6.33 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ (5) Threshold Q มีค่าระหว่าง 7 ถึง 45 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS กับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของทั้ง 8 สถานีวัดน้ำท่า พบว่า ค่าทางสถิติที่แสดงผลการเปรียบเทียบอยู่ในเกณฑ์ดีถึงพอใช้ กล่าวคือ ค่า r มีค่าระหว่าง 0.73 ถึง 0.85 และค่า EI มีค่าระหว่าง 46.86 ถึง 70.30 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.79 และ 58.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นแบบพหุคูณ (multiple regression) สำหรับพารามิเตอร์ในกลุ่มที่ 4 พบว่า พารามิเตอร์ต่อไปนี้คือ Loss Rate และ C_p มีความสัมพันธ์แบบ Multiple Regression กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงจุดออก (Lc) และความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.99 และ 0.96 ตามลำดับ สำหรับพารามิเตอร์ % Impervious มีความสัมพันธ์แบบ Multiple Regression กับสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน พื้นที่อยู่อาศัย (U) พื้นที่เกษตรกรรม (Ag) พื้นที่ป่าไม้ (F) และพื้นที่แหล่งน้ำ (W) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.99 ส่วนอีก 2 พารามิเตอร์ที่เหลือ

ได้แก่ Initial Q และ Threshold Q มีความสัมพันธ์แบบ Multiple Regression กับ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวของลำน้ำสายหลัก (L) ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่ลุ่มน้ำ จนถึงจุดออก (Lc) ความลาดชันของลำน้ำสายหลัก (S) และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท แหล่งน้ำ (W) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.97 และ 0.96 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์โดยเฉลี่ยที่ได้จากสมการความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมทั้ง 5 ความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่า เท่ากับ 0.97 ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

3. ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม

สำหรับผลการทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม โดยการ เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS โดยใช้สมการความสัมพันธ์ในข้างต้น ประเมินค่าพารามิเตอร์ กับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของทั้ง 8 สถานีวัดน้ำท่าพบว่าค่าทาง สถิติที่แสดงผลการเปรียบเทียบอยู่ในเกณฑ์ดีถึงพอใช้ กล่าวคือ ค่า r มีค่าระหว่าง 0.72 ถึง 0.86 และ ค่า EI มีค่าระหว่าง 51.14 ถึง 69.73 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.79 และ 59.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำค่าการทดสอบทางสถิติดังกล่าวไปเทียบกับค่าทางสถิติ r ที่ได้ เท่ากับผลการสอบ เทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ส่วนค่า EI ให้ความถูกต้องมากกว่าการสอบเทียบแบบจำลอง เท่ากับ 1.15 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของ แบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ของลุ่มน้ำปึงตอนบนที่ สร้างขึ้นนั้น มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เพื่อประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ณ บริเวณที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปึงตอนบน

ผลการทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม ในการประเมินปริมาณ น้ำท่าในลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปึงตอนบนจำนวน 7 ลุ่มน้ำ ซึ่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำระหว่าง 547 ถึง 3,191 ตาราง กิโลเมตร ในช่วงปี ค.ศ. 2004 - 2005 พบว่า กราฟน้ำท่าที่ได้มีค่า Specific Yield ระหว่าง 2.48 ถึง 11.65 และ 2.40 ถึง 13.12 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร ในปี ค.ศ. 2004 และปี ค.ศ. 2005 ตามลำดับ ในขณะที่จากสถิติในช่วง ปี ค.ศ. 2004-2005 ของสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 8 สถานีที่นำมา วิเคราะห์ความสัมพันธ์ มีค่า Specific Yield อยู่ระหว่าง 4.06 ถึง 29.91 ส่วนการประเมินปริมาณ น้ำท่าในลุ่มน้ำสาขาดังกล่าวในช่วงปี ค.ศ. 1976-2005 ให้ค่า Specific Yield อยู่ระหว่าง 1.31 ถึง 14.87 ส่วนค่าสถิติของสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 8 สถานีมีค่าอยู่ระหว่าง 0.81 ถึง 29.91 (รายละเอียดแสดง

ในภาคผนวก ก) ซึ่งจะเห็นว่ากราฟน้ำท่าที่ประเมินได้นั้น มีค่า Specific Yield อยู่ในช่วงพิสัยของค่าที่ตรวจวัดได้ที่สถานีวัดน้ำท่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สมการความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปึงตอนบนที่สร้างขึ้นนั้น มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสามารถนำไปใช้ประเมินปริมาณน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าในช่วงเวลาที่ขาดหายไปได้ ทั้งนี้การนำไปใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจะต้องขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะเฉพาะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ และการคัดเลือกสถานีวัดน้ำฝนที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. ปริมาณฝนเป็นข้อมูลเข้าที่สำคัญข้อมูลหนึ่ง แต่เนื่องจากในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนมีสถานีวัดน้ำฝนจำนวนน้อยและไม่กระจายทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริเวณพื้นที่ที่เป็นหุบเขาซึ่งมีแนวโน้มน้ำจะมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าบริเวณพื้นราบ จึงเป็นสาเหตุให้ผลการประเมินกราฟน้ำท่าในช่วงของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ดังนั้น จึงเสนอแนะให้มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นตัวแทนของพื้นที่รับน้ำที่มีลักษณะแตกต่างกันให้มากที่สุด และเมื่อมีการเพิ่มสถานีวัดน้ำฝนให้มากพอแล้วอาจมีความจำเป็นต้องสร้างความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมใหม่เพื่อเพิ่มความถูกต้องของผลการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS ซึ่งจะเป็นผลให้กราฟน้ำท่าที่ประเมินได้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2. เนื่องจากสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ไม่ได้นำข้อมูลของปีที่ทำการศึกษาและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมาใช้ ซึ่งอาจจะทำให้พารามิเตอร์ที่ประเมินได้มีความน่าเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง จึงเสนอให้มีการศึกษาความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพใหม่โดยการเลือกปีสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองให้ใกล้เคียงกับช่วงเวลาของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีอยู่ เพื่อให้สมการความสัมพันธ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และการนำสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้ประเมินกราฟน้ำท่า ควรใช้ข้อมูลสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินตามช่วงเวลาต่างๆ ที่ทำการประเมิน เพื่อทำให้การประเมินค่าพารามิเตอร์มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

3. จากผลการทดสอบการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบกลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำที่สร้างขึ้น พบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้เพื่อการประเมินกราฟน้ำท่าในบริเวณลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ได้อย่างดีเป็นที่ยอมรับได้ จึงเห็นสมควรให้นำสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนรวมทั้งสามารถนำไปใช้ประเมินปริมาณน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าในช่วงเวลาที่ขาดหายไปได้ เพื่อใช้ในการวางแผนและพัฒนาแหล่งน้ำต่อไป

4. จากผลการศึกษาเห็นว่าการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าว เป็นประโยชน์ต่องานด้านทรัพยากรน้ำ จึงเห็นสมควรให้มีการนำวิธีการวิจัยที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไปประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำอื่นๆ และนำความสัมพันธ์ที่ได้ในแต่ละลุ่มน้ำมาประเมินความเหมือนและแตกต่างเพื่อนำมาสรุปในภาพรวมต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2546. **โครงการจัดทำแผนรวม (Integrated Plan) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน.**
- กานดา คงธรรม. 2545. **การศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**
- ชัยวัฒน์ ภูวกรกุลชัย. 2546. **การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำลำภาชีโดยแบบจำลองน้ำฝนและน้ำท่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**
- ทนงศักดิ์ สุชี. 2547. **การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่าโดยระบบโครงข่ายประสาทเทียมประดิษฐ์และแบบจำลองถัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**
- ธวัช ตันติธีรวิทย์. 2530. **การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็ก ในภาคเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**
- วงศ์สถิตย์ บุญชัยคุณากรณ์. 2545. **การศึกษาคูณลักษณะทางอุทกศาสตร์ของลุ่มน้ำมูลโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**
- วิษุวัตต์ แต่สมบัติ. 2546. **การวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดของลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา และลุ่มน้ำคลองชุมพร โดยแบบจำลองทางอุทกวิทยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**
- วีระชัย ชูพิศาลโยโรจน์. 2530. **การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำป่าสักโดยวิธีแบบจำลองถัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**
- วีระพล แต่สมบัติ. 2531. **อุทกวิทยาประยุกต์. ห้างหุ้นส่วนจำกัด สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.**

- วันชัย ประไพสุวรรณ. 2534. การประเมินหาหน้าท่ารายเดือนโดยใช้วิธี **Linear Programming**.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริกัญญา แสงสว่าง. 2547. การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
และแบบจำลองทางอุทกวิทยา ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2549. ข้อมูล
ปริมาณฝนรายวันและปริมาณน้ำท่ารายวัน.
- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2546.
แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน.
- สุพรรณยา บำรุงพงศ์. 2550. ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง
NAM และลักษณะเฉพาะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อวิรุทธ์ สุขสมอรรถ. 2538. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำบางปะกงโดย
ใช้แบบจำลอง RIBAMAN (RBM-DOGGS). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Arcelus, E.A. 2000. Coupling Two Hydrological Models to Compute Runoff in Ungauged
Basins. **Journal of Hydrology**. 101: 301-309.
- Hydrological Engineering Center. 2000. **Technical Reference Manual**. US Army Corps of
Engineering Center, U.S.A.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พิกัด		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
1. อ.เมือง	เชียงใหม่	07013	18-50-23	98-58-32	2457-2548
2. อ.สารภี	เชียงใหม่	07022	18-42-48	99-02-29	2464-2548
3. อ.สันกำแพง	เชียงใหม่	07032	18-44-39	99-07-28	2464-2548
4. อ.สันทราย	เชียงใหม่	07042	18-50-51	99-02-54	2464-2548
5. อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	07052	18-52-08	99-08-22	2464-2548
6. อ.แม่ริม	เชียงใหม่	07062	18-54-47	99-56-52	2464-2548
7. อ.หางดง	เชียงใหม่	07072	18-41-10	98-55-19	2466-2548
8. อ.สันป่าดง	เชียงใหม่	07082	18-37-37	98-53-56	2466-2548
9. อ.ฮอด	เชียงใหม่	07092	18-11-26	98-36-52	2464-2548
10. อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07112	19-07-08	98-56-52	2464-2548
11. อ.พร้าว	เชียงใหม่	07122	19-21-52	99-12-17	2464-2548
12. อ.เชียงดาว	เชียงใหม่	07132	19-21-53	98-58-00	2464-2548
13. อ.สะเมิง	เชียงใหม่	07142	18-50-52	98-44-09	2464-2548
14. อ.แม่แจ่ม	เชียงใหม่	07152	18-29-54	98-21-54	2474-2548
15. อ.อมก๋อย	เชียงใหม่	07162	17-47-45	98-21-36	2495-2548
16. อ.จอมทอง	เชียงใหม่	07182	18-24-57	98-40-47	2465-2548
17. บ้านแอ่น กิ่ง อ.ดอยเต่า	เชียงใหม่	07192	18-03-00	98-38-43	2502-2548
18. วังหลวง	เชียงใหม่	07202	-	-	2502-2511
19. บ้านหมุดคากา	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	2504-2548
22. ศูนย์วิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำ ดอยเชียงดาว	เชียงใหม่	07252	19-16-07	98-58-32	2507-2548
23. พระตำหนักภูพิงศ์ ดอยบวกห้า	เชียงใหม่	07262	18-48-24	98-54-12	2508-2548
24. ศูนย์วิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า	เชียงใหม่	07272	18-50-00	98-52-00	2509-2520
25. ศูนย์ปลูกพันธุ์ไม้ ดอยบ่อแก้ว อ.ฮอด	เชียงใหม่	07282	18-09-01	98-23-35	2509-2548
26. สถานีทดลองข้าว สันป่าดง	เชียงใหม่	07292	18-36-40	98-54-02	2505-2548
27. สถานีอากาศเกษตรแม่ใจ อ.สันทราย	เชียงใหม่	07304	18-53-48	99-00-39	2516-2548
28. สถานีทดลองป่าไม้ จ.เชียงใหม่	เชียงใหม่	07314	-	-	2502-2507
29. โครงการปรับปรุงห้วยแม่ใน	เชียงใหม่	07322	-	-	2513-2517
30. แก่งกี้ด (P. - 13) อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07331	19-12-45	98-52-12	2495-2523

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พิกัด		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
31. แม่กวัง (P. - 25) อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	07341	18-55-04	99-07-50	2507-2541
32. แม่จัด	เชียงใหม่	07361	-	-	2511-2541
33. ศูนย์อุทกวิทยาที่ 1 สำนักงาน ชลประทานที่ 1	เชียงใหม่	07391	18-47-21	99-01-01	2514-2548
34. ไชฟอนห้วยแม่แฝก อ.สันทราย	เชียงใหม่	07420	18-59-44	98-59-00	2478-2541
35. ไชฟอนห้วยแม่ใจ	เชียงใหม่	07430	18-54-06	99-01-14	2478-2541
36. ไชฟอนห้วยแก้ว	เชียงใหม่	07440	19-02-33	98-58-52	2478-2534
37. ไชฟอนห้วยแม่เตาไห	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	2512-2548
40. ฝ่ายสนธิกิจปรีชา (ฝ่ายแม่แฝก)	เชียงใหม่	07480	19-06-08	98-57-21	2478-2541
41. สวนป่าแม่หอพระ อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07502	19-04-00	99-13-00	2515-2548
42. โครงการแม่ปิงเก่า	เชียงใหม่	07510	18-41-22	98-58-20	2513-2532
43. ห้วยงานแม่แตง	เชียงใหม่	07520	19-09-16	98-55-22	2517-2534
44. ไชฟอนแม่ฮ่องฮัก (ตอน 1) อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	07530	18-52-35	99-08-48	2517-2541
45. ไชฟอนแม่โป่ง (ตอน 2) อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	07540	18-49-17	99-10-32	2517-2541
46. บ้านลี้มัวแดง (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. บ้านปางเดิม (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. ห้วยแม่เก่า 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	-	-	2525-2548

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พิกัด		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
57. เขื่อนแม่จัด	เชียงใหม่	07665	19-09-00	99-02-00	2526-2530
58. โครงการแม่จัด (P.28A)	เชียงใหม่	07670	19-10-10	99-03-09	2527-2541
59. บ้านคลองหิน อ.สอด	เชียงใหม่	07695	18-10-30	98-36-00	2528-2541
60. กิ่ง อ.เวียงแหง	เชียงใหม่	07702	-	-	2532-2548
61. สวนป่าแม่แจ่ม	เชียงใหม่	07714	-	-	2531-2548
62. หน่วยพัฒนาเคลื่อนที่ 32 กรป.กลาง	เชียงใหม่	07722	-	-	2532-2548
63. บ้านแม่ต๋ืน (P.46) อ.อมก๋อย	เชียงใหม่	07731	-	-	2533-2548
64. วิจัยการใช้น้ำชลประทานแม่แตง	เชียงใหม่	07740	-	-	2529-2540
65. แม่น้ำแม่แตง (P.65) อ.เวียงแหง	เชียงใหม่	07751	-	-	2538-2548
66. อ.เมือง	ลำพูน	17012	18-34-38	99-00-34	2463-2548
67. อ.ลี้	ลำพูน	17022	17-48-01	98-57-17	2464-2548
68. อ.ป่าซาง	ลำพูน	17032	18-31-25	98-56-38	2464-2548
69. อ.แม่ทา	ลำพูน	17042	18-27-35	99-08-14	2466-2548
70. อ.บ้านโฮ้ง	ลำพูน	17052	18-18-52	98-49-21	2465-2548
71. บ้านเกาะ	ลำพูน	17062	17-39-20	98-46-30	2502-2548
72. สถานีทดลองป่าไม้ อ.แม่ลี้	ลำพูน	17074	-	-	2516-2548
73. บ้านดอนหมูน (P.42)	ลำพูน	17080	-	-	2521-2548
74. สถานีอากาศเกษตร จ.ลำพูน	ลำพูน	17093	18-35-00	99-20-00	2523-2548
75. บ้านหนองหอย (P.44)	ลำพูน	17101	18-35-12	99-09-27	2526-2541
76. แม่ขันธ์ (P.53)	ลำพูน	17111	18-23-11	99-00-37	2529-2530

ที่มา: กรมชลประทาน (2549)

ตารางหมวดที่ ก2 ปริมาณฝนรายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน

รหัสสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย(มม.)													รวมปี	
	ม.ย.	พ.ค.	มี.ย.	ก.ค.	ธ.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)		ฤดูแล้ง (พ.ย.-มี.ย.)
จ.เชียงใหม่															
1. อ.เมือง	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	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	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	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.คอยสะเก็ด	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.แมริม	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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. บ้านเด่น กิ่ง อ.คอยเต่า	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. จังหลวง	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. บ้านหนองคา	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. นิคมสร้างตนเองเชียงดาว	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)

รหัส สถานี	รายชื่อสถานี	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.-มี.ย.)	รายปี
07242	อุทยานแห่งชาติคลองสุเทพ - ปู่	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
07252	ศูนย์วิจัยที่อรัญผาด้านน้ำคลองเชียงดาว	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
07262	พระตำหนักภูพิงคดอยบวกห้า	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
07272	ศูนย์วิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า	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
07282	ศูนย์ปลูกพันธุ์ไม้ดอยบ่อแก้ว ยอด	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
07292	สถานีทดลองข้าว สันป่าตอง	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
07304	สถานีอากาศศกษครเมไฉ่ อ.สันทราย	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
07314	สถานีทดลองป่าไม้ จ.เชียงใหม่	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
07322	โครงการปรับปรุงห้วยแม่เงิน	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
07331	แก่งกืด (P. - 13) อ.แม่แตง	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
07341	แม่กวาง (P. - 25) อ.คองสะต๋าด	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
07361	แม่จัต	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
07391	ศูนย์อุทกวิทยาที่ 1 สำนักงานชลประทานที่ 1	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
07420	เขื่อนห้วยแม่แฝด อ.สันทราย	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
07430	เขื่อนห้วยแม่ไฉ่	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
07440	เขื่อนห้วยแก้ว	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
07450	เขื่อนห้วยแม่เตาไห	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
07460	ประจักษ์บานน้ำโครงการแม่แฝด	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
07472	นิคมสร้างตนเองที่อ่อนกู่พิล กิ่ง อ.คองเตา	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)

รหัส สถานี	รายชื่อสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)															รายปี
		ม.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.-ม.ย.)		
07480	40. ฝ่ายสนธิกิจบริษัท (ฝ่ายแม่แต่ก)	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	
07502	41. สวนป่าแม่หอพระ-อ.แม่แตง	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	
07510	42. โครงการเมืงป่า	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	
07520	43. หัวงานแม่แตง	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	
07530	44. ไซพอนแม่ต๋องสัก (ตอน 1) อ.ดอย สะเก็ด	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	
07540	45. ไซพอนแม่ป๋อง (ตอน 2) อ.ดอย สะเก็ด	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	
07550	46. บ้านส้มวัวแดง (ตอน 3) อ.สันกำแพง	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	
07562	47. ศูนย์อุตสาหกรรมห้องแร่สะเก็ด	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	
07574	48. โครงการกลางพัฒนาค้ำน้ำหน่วยที่ 5 ขุนวาง	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	
07581	49. หัวแม่ตาย (P. - 36) อ.สันกำแพง	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	
07591	50. บ้านปางติ่ม (P. - 41) อ.สันป่าตอง	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	
07605	51. เมืองโจง อ.เชิงดาว	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	
07614	52. โครงการชุด	50.10	242.73	237.35	275.55	307.36	275.98	144.09	61.27	19.59	11.01	3.74	11.93	1,481.07	157.63	1,638.70	
07625	53. หัวแม่เก่า อ.แม่แตง	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	
07634	54. แม่แจ่ม	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	
07645	55. แก่งอมหลวง อ.แม่แจ่ม	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	
07652	56. สำนักโครงการนครจอมทอง	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	
07665	57. เขื่อนแม่จัด	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)

รหัส สถานี	รายชื่อสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)														
		เม.ย.	พ.ค.	มี.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.-มี.ย.)	รายปี
07670	58. โครงการเม้งค (P.-28A)	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
07695	59. บ้านคลองหิน อ.สอด	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
07702	60. กิ่ง อ.เวียงแหง	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
07714	61. สวนป่าแม่แจ่ม	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
07722	62. หน่วยพัฒนาเคลื่อนที่ 32 กร.ปกลาง	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
07731	63. บ้านแม่ต้น (P. - 46) อ.อเมก้อย	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
07740	64. วัดถ้ำกั้งน้ำตาดประธานแม่แดง	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
07751	65. แม่ไร่ แม่แดง (P. - 65) อ.เวียงแหง	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															
17012	66. อ.เมือง	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
17022	67. อ.ลี้	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
17032	68. อ.ป่าซาง	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
17042	69. อ.แม่ทา	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
17052	70. อ.บ้านโฮ้ง	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
17062	71. บ้านเกาะ	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
17074	72. สถานีทดลองป่าไม้ อ.แม่ดี	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
17080	73. บ้านดอนหมื่น (P.42)	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
17093	74. สถานีอากาศเกษตร จ.ลำพูน	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
17101	75. บ้านหนองหอย (P.44)	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
17111	76. แม่ขี้ตด (P.53)	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 (2546)

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลสถานีวัดน้ำทำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	พิกัด		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
1. แม่น้ำปิง ที่สะพานนารัฐ	เชียงใหม่	P.1	6,355	18-47-09	99-00-29	2464-2548
2. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าแค	ตาก	P.2A	38,862	16-51-14	99-07-50	2495-2542
3. น้ำแม่แดง ที่บ้านห้วยเหี้ย	เชียงใหม่	P.4	1,834	19-09-49	98-55-03	2496-2500
4. น้ำแม่แดง ที่แม่แดง	เชียงใหม่	P.4A	1,902	19-07-15	98-56-51	2498-2548
5. น้ำแม่แดง 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 ที่ผาวิ่งจู้	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. น้ำแม่แดง ที่แก่งกีด	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	2497-2548
14. น้ำแม่แจ่ม ที่สออด	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 ที่ขามฤๅวลักษ์บุรี	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	2497-2548
23. น้ำแม่สา ที่บ้านแม่สาน้อย	เชียงใหม่	P.22	135	18-53-45	98-57-12	2497-2511
24. น้ำแม่งาน ที่บ้านแม่งาน	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	2516-2548
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. น้ำแม่จัด ที่บ้านใหม่	เชียงใหม่	P.28	1,261	19-10-07	99-03-01	2509-2522
33. น้ำแม่ลี ที่บ้านโฮ้ง	ลำพูน	P.29	1,970	18-18-35	98-49-35	2512-2530

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	พิกัด		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
34. น้ำแม่กวัง ที่กิ่งคางใหม่	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. น้ำแม่กวัง ที่บ้านผาแตก	เชียงใหม่	P.34	566	18-56-22	99-07-25	2517-2525
37. คลองขลุง ที่บ้านปางหาวาย	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 ที่บ้านปางเดิม	เชียงใหม่	P.41	426	18-37-00	98-44-43	2522-2533
42. น้ำแม่ลี ที่บ้านบอนใหม่	ลำพูน	P.42	315	17-53-16	99-05-20	2521-2548
43. น้ำแม่ตีบ 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. น้ำแม่สะปวก ที่บ้านแม่สะปวกใน	ลำพูน	P.48	74	18-25-21	99-05-15	2526-2531
46. น้ำแม่ขันธ์ ที่บ้านแม่ขันธ์	ลำพูน	P.53	146	18-23-11	99-00-37	2527-2530
47. น้ำแม่ตัน ที่บ้านแม่ตัน	เชียงใหม่	P.63	45	18-32-31	98-42-22	2530-2533
48. น้ำแม่ตัน ที่สะพานทางหลวง	เชียงใหม่	P.64	336	17-47-01	98-22-31	2533-2548
49. แม่แดง ที่บ้านเหมืองป้อก	เชียงใหม่	P.65	240	19-38-10	98-38-19	2535-2548
50. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าใหม่อิ	เชียงใหม่	P.66	6,367	18-43-12	98-59-23	2537-2537

ที่มา: กรมชลประทาน (2549)

ตารางผนวกที่ ก4 ปริมาณน้ำท่ารายเดือน และรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำบึงตอนบน

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)												Annual Yield (ลิตร/วินาที) (ตร.กม.)			
			ม.ย.	พ.ย.	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.) (พ.ย.-ธ.ย.)	รายปี	
1. แม่น้ำบึงที่สะพานนวลรัฐ	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. แม่น้ำบึงที่บ้านท่าแค	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. น้ำแม่แดงที่บ้านห้วยเหี้ย	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. น้ำแม่แดงที่แม่แดง	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. น้ำแม่แดงที่บ้านห้วยเหี้ย	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. น้ำแม่กวังที่ลำพูน	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. น้ำแม่กวังที่บ้านท่าจาก	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. แม่น้ำบึงที่ท่าวัง	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. แม่น้ำบึงที่กำแพงเพชร	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. แม่น้ำบึงที่บ้านห้วยยาง	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. แม่น้ำบึงที่วังกระแจะ	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)

รายชื่อสถานี รหัสนี้	พื้นที่ รับน้ำ (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.) (พ.ย.-เม.ย.)	รายปี		
12. น้ำแม่เตง ที่แก่งกีด	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. น้ำแม่แจ่มที่ทอด ที่แก่งออบหลวง	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. แม่่น้ำปิ้ง 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. แม่่น้ำปิ้ง ที่เขื่อนวชิราลงกูร์	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. แม่่น้ำปิ้ง 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. แม่่น้ำปิ้ง 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. คลองวังจี้ ที่บ้านวังจี้	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. แม่่น้ำปิ้ง 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. แม่่น้ำปิ้ง ที่ชัยคาว	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)

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)													Annual Yield (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)		
			ธ.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.) (พ.ย.-มิ.ย.)		ฤดูแล้ง (พ.ย.-มิ.ย.)	รายปี
22. น้ำแมริมที่แมริม	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. น้ำแม่สาที่บ้านแม่ตานน้อย	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. น้ำแม่จานที่บ้านแม่จาน	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. น้ำแม่กลางที่บ้านสบใต้	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. น้ำแม่กลางที่สะพานประชาอุทิศ	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. น้ำแม่กวังที่บ้านหาคอก	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. คลองสวนหมากที่บ้านใหญ่	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. คลองสวนหมากที่ท้ายท่ากระดาน	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. ห้วยแม่โนที่บ้านป่าม่วง	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. ห้วยแม่โนที่บ้านแม่ปิ่น	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)

รายชื่อสถานี	พื้นที่ รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)													Annual Yield (ลิตร/วินาที/ ตร.กม.)		
		ม.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.) (พ.ย.-ธ.ย.)		ฤดูแล้ง (พ.ย.-ธ.ย.)	รายปี
32. น้ำแม่จืด 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. น้ำแม่สี ที่บ้านโอง	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. น้ำแม่กวัง ที่เชียงคำใหม่	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. น้ำแม่กวัง ที่บ้านกาดแตก	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 ที่บ้านจำพันด	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)

รายชื่อสถานี	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)													Annual Yield (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)		
			เม.ย.	พ.ค.	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) (พ.ย.-มี.ย.)		รายปี	
42. นำแม่ลี	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
ที่บ่อบอนใหม่																		
43. นำแม่ต๊อบ	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
ที่บ่านหนองหอย																		
44. คลองสวนหมาก	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
ที่บ่านโป่งน้ำร้อน																		
45. นำแม่สะปาว	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
ที่บ่านแม่สะปาวโนน																		
46. นำแม่ขันธ์	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
ที่บ่านแม่ขันธ์																		
47. นำแม่ต้น	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
ที่บ่านแม่ต้น																		
48. นำแม่ต้น	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
ที่สะพานทางหลวง																		
49. แม่แดง	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
ที่บ่านหม้อตั้งปอก																		
50. แม่ขี้ผึ้ง	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
ที่บ่านท่าใหม่																		

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

ตารางผนวกที่ ก5 สถิติค่า Specific Yield ของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง

(ลิตร/วินาที/ตร.กม.)

ปี ค.ศ.	P.4A	P.14	P.20	P21	P.28	P.34	P.65	P.71
1976	5.59	8.01	-	-	6.51	9.47	-	-
1977	-	10.18	-	9.04	7.11	11.12	-	-
1978	7.53	11.59	-	9.00	10.40	15.87	-	-
1979	3.80	5.13	6.94	6.69	3.76	8.01	-	-
1980	5.43	7.95	7.99	8.05	-	8.33	-	-
1981	7.45	6.96	11.70	10.21	-	11.88	-	-
1982	6.06	10.54	7.03	8.60	-	4.71	-	-
1983	7.73	6.74	8.94	8.07	-	-	-	-
1984	6.31	6.77	10.65	7.67	-	-	-	-
1985	8.56	9.58	9.97	7.69	-	-	-	-
1986	6.56	5.47	9.33	8.31	-	-	-	-
1987	6.76	8.29	10.50	6.54	-	-	-	-
1988	6.28	7.86	10.80	10.94	-	-	-	-
1989	5.72	7.51	9.54	7.06	-	-	-	-
1990	3.16	7.34	6.43	5.78	-	-	-	-
1991	3.34	8.66	6.15	3.75	-	-	-	-
1992	3.99	6.64	5.18	4.17	-	-	-	-
1993	2.44	5.10	5.02	3.99	-	-	8.26	-
1994	11.56	11.44	15.29	11.17	-	-	20.65	-
1995	10.37	11.81	14.49	11.67	-	-	19.83	-
1996	6.88	8.98	9.41	7.85	-	-	14.25	5.66
1997	3.64	6.69	7.83	4.33	-	-	8.65	2.21
1998	0.81	3.72	3.13	2.58	-	-	4.49	1.05
1999	4.07	10.37	5.47	7.38	-	-	7.29	6.70
2000	6.49	9.82	6.28	7.37	-	-	11.06	6.47
2001	5.11	7.66	8.75	7.41	-	-	15.42	6.31

ตารางผนวกที่ ๕ (ต่อ)

(ลิตร/วินาที/ตร.กม.)

ปี ค.ศ.	P.4A	P.14	P.20	P21	P.28	P.34	P.65	P.71
2002	8.83	10.91	10.04	14.69	-	-	-	8.65
2003	3.37	6.01	7.24	5.60	-	-	-	2.65
2004	8.77	6.66	13.87	7.82	-	-	29.91	4.06
2005	11.49	9.87	14.41	10.71	-	-	-	6.35
ค่าเฉลี่ย	6.14	8.14	8.98	7.73	6.95	9.91	13.98	5.01
ค่าสูงสุด	11.56	11.81	15.29	14.69	10.40	15.87	29.91	8.65
ค่าต่ำสุด	0.81	3.72	3.13	2.58	3.76	4.71	4.49	1.05

ที่มา: กรมชลประทาน (2549)

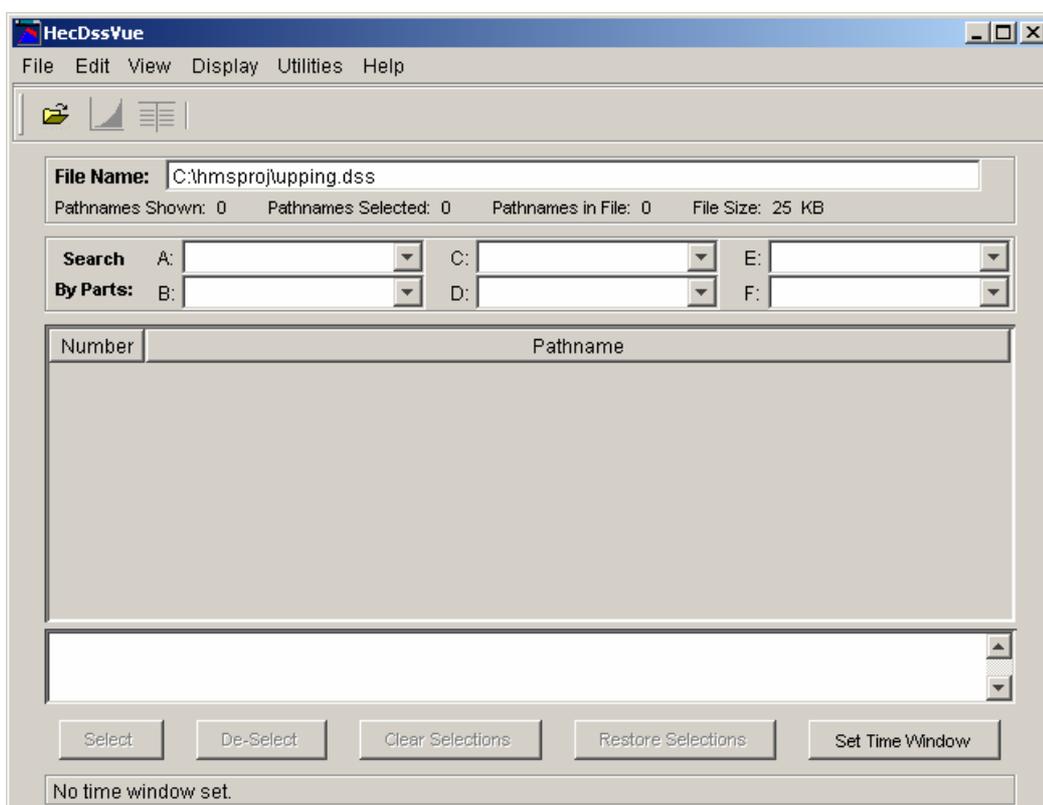
ภาคผนวก ข
การนำเข้าข้อมูลโปรแกรม HEC-DSS

การนำเข้าข้อมูลโปรแกรม HEC-DSS

ในการใช้งานแบบจำลอง HEC-HMS จำเป็นจะต้องใส่ข้อมูลผ่าน โปรแกรม HEC-DSS ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้เก็บข้อมูล รวมทั้งเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างแบบจำลอง HEC ได้แก่ HEC-HMS HEC-RAS และ HEC-RESSIM ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการใช้งานในส่วนของการนำเข้าข้อมูล ปริมาณน้ำฝนรายวัน และน้ำท่ารายวัน เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่ารายวันในแบบจำลอง HEC-HMS

ขั้นตอนการใช้งานในโปรแกรม HEC-DSS มีดังนี้

1. เข้าสู่โปรแกรม HEC-DSS จากนั้นเลือก ทำการสร้างไฟล์ข้อมูล โดยเลือกที่ File/New และ ตั้งชื่อไฟล์และที่อยู่ข้อมูล โดยมีนามสกุล .DSS ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างดังแสดงในภาพผนวกที่ ข1



ภาพผนวกที่ ข1 โปรแกรม HEC-DSS

2. จากนั้น ทำการใส่ข้อมูลรายวันที่ใช้เป็นข้อมูลน้ำเข้า ได้แก่ ข้อมูลฝน และข้อมูลน้ำท่า โดยเลือกที่เมนู Utilities/Manual Data Entry/Time Series จะปรากฏหน้าต่างการใส่ Palname ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข2

The screenshot shows a software window titled "Manual Time Series Data Entry". It has several input fields and a table. The "Pathname Parts" section includes fields A, B, C, D, E, and F. Field E is set to "1HOUR". Below this is a "Pathname:" field. The "Start Date:" and "Start Time:" fields are empty. The "Units:" field is empty, and the "Type:" dropdown is set to "INST-VAL". There are two tabs: "Manual Entry" (selected) and "Automatic Generation". The table under "Manual Entry" has two columns: "Ordinate" and "Date / Time". It contains two rows with ordinates 1 and 2. At the bottom are three buttons: "Plot", "Save", and "Cancel".

ภาพผนวกที่ ข2 หน้าต่างสำหรับใส่รายละเอียด Palname ของข้อมูลแต่ละชุด

3. การใส่รายละเอียดในการสร้าง Time Series มีดังนี้ รายละเอียดแสดงในภาพผนวกที่ ข3

- A ใส่ชื่อข้อมูล ซึ่งในที่นี้ใส่เป็นชื่อลุ่มน้ำ
 B ใส่ชื่อสถานีวัดน้ำฝนหรือน้ำท่า
 C ใส่ชนิดของข้อมูลข้อมูลที่ใส่ ถ้าเป็นข้อมูลฝนใช้ precip และข้อมูลน้ำท่าใช้ flow
 E Time Series ของข้อมูล ซึ่งในที่นี้เป็นข้อมูลรายวัน จึงเลือกใช้ 1 Day
 F รายละเอียดที่มาของข้อมูล ซึ่งในที่นี้ใช้ Obs คือค่า Observe
 Start Date ใส่วันที่เริ่มใส่ข้อมูล

Start Time ใส่วเวลาที่เริ่มต้น ในกรณีนี้ เป็นข้อมูลรายวันจึงเลือกใส่วเวลาใดก็ได้

Unit หน่วยของข้อมูล โดยข้อมูลฝนใส่เป็น mm และข้อมูลน้ำท่าใส่ cms

Type ชนิดของการแสดงผลข้อมูล ข้อมูลฝนเลือก Per-Cum และข้อมูลน้ำท่าเลือก

Inst-val

End Date ใส่วันที่สิ้นสุดข้อมูล

End Time ใส่วเวลาที่สิ้นสุดข้อมูล ซึ่งกรณีข้อมูลรายวัน จะต้องใส่วเวลาให้ตรงกับเวลาที่เริ่ม

ภาพผนวกที่ ข3 ตัวอย่างการใส่รายละเอียด Pathname ของข้อมูลแต่ละชุด

4. กดที่ Generate เพื่อให้โปรแกรม Generate ช่องใส่ข้อมูลมาให้ ผู้ใช้สามารถคัดลอกข้อมูลจากตาราง Excel มาวางได้เลย ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข4

Manual Time Series Data Entry

Pathname Parts

A: UPPING B: 07142 C: PRECIP

D: E: 1DAY F: OBS

Pathname: /UPPING/07142/PRECIP//1DAY/OBS/

Start Date: 1 apr 1975 Units: mm

Start Time: 7:00 Type: PER-CUM

Manual Entry Automatic Generation

Ordnate	Date / Time	07142 PRECIP OBS
Units		mm
Type		PER-CUM
1	01 Apr 75 07:00	
2	02 Apr 75 07:00	
3	03 Apr 75 07:00	
4	04 Apr 75 07:00	

Plot Save Cancel

ภาพผนวกที่ ข4 การใส่ชุดข้อมูลลงโปรแกรม HEC-DSS

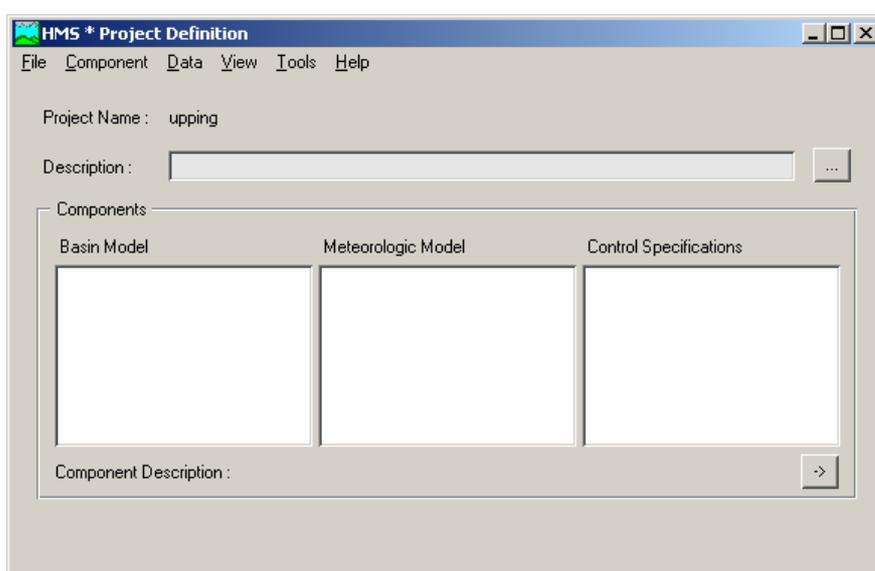
หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้แล้ว ถือว่าการนำเข้าข้อมูล ที่จะนำไปใช้ในแบบจำลอง HEC-HMS เสร็จสิ้น 1 สถานี ถ้ามีข้อมูลปริมาณน้ำฝนหรือน้ำท่าของสถานีอื่นๆ ก็เริ่มทำในข้อที่ 2 อีกครั้ง โดยการตั้งชื่อ Pathname ต่างๆ สามารถใช้ซ้ำกันได้ ยกเว้น Pathname B ซึ่งเป็นชื่อสถานีจะต้องไม่ซ้ำกัน

ภาคผนวก ค
การใช้งานแบบจำลอง HEC-HMS

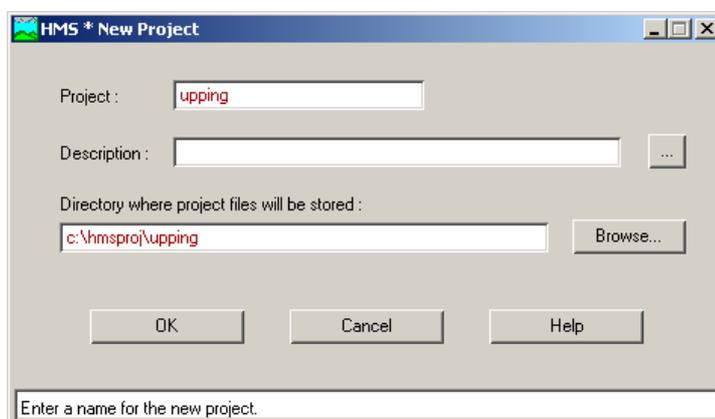
การใช้งานแบบจำลอง HEC-HMS

ในการศึกษาครั้งนี้ มีการใช้งานแบบจำลอง HEC-HMS ดังนี้

1. เข้าสู่โปรแกรม HEC-HMS จากนั้นเลือก ทำการสร้างโปรเจกต์ โดยเลือกที่เมนู File/New Project และตั้งชื่อโปรเจกต์ โดยที่อยู่ของโปรเจกต์จะอยู่ในโฟลด์เดอร์ C:\hmsproj โดยอัตโนมัติ ดังแสดงการสร้างโปรเจกต์ในภาพผนวกที่ ค1 และค2

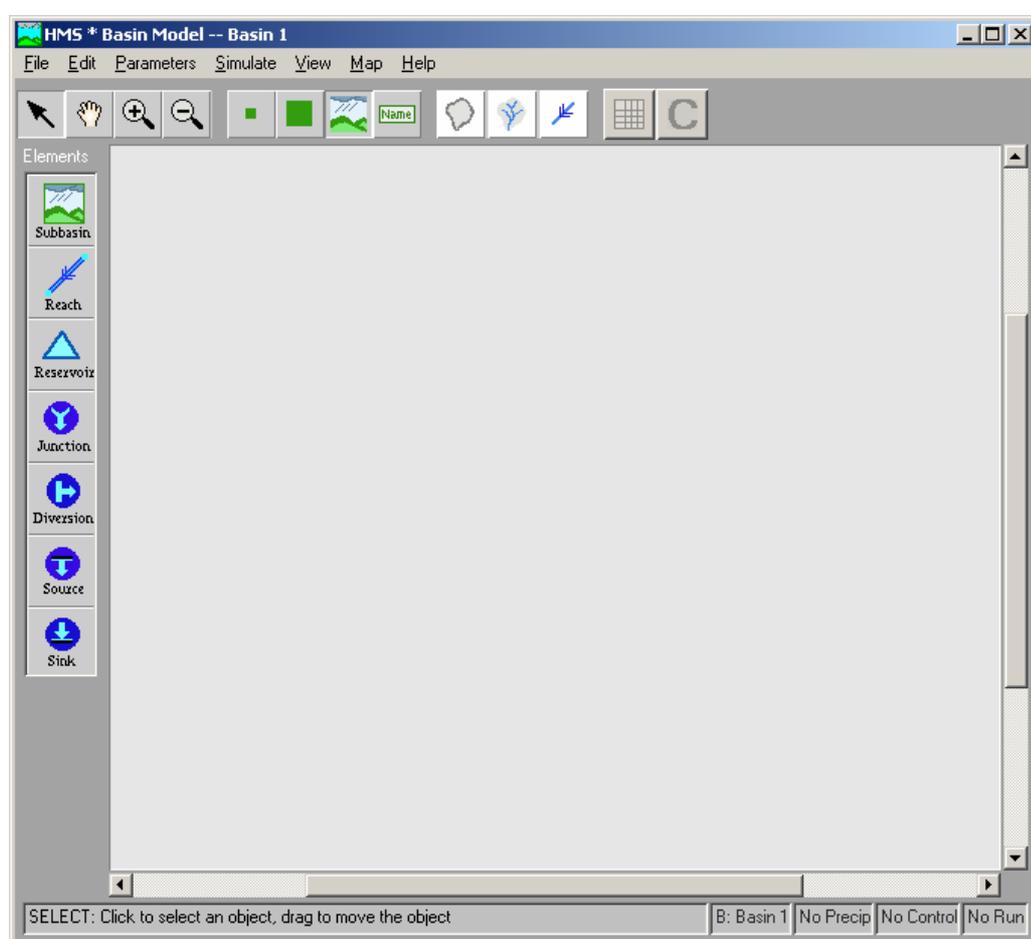


ภาพผนวกที่ ค1 การเข้าสู่แบบจำลอง HEC-HMS

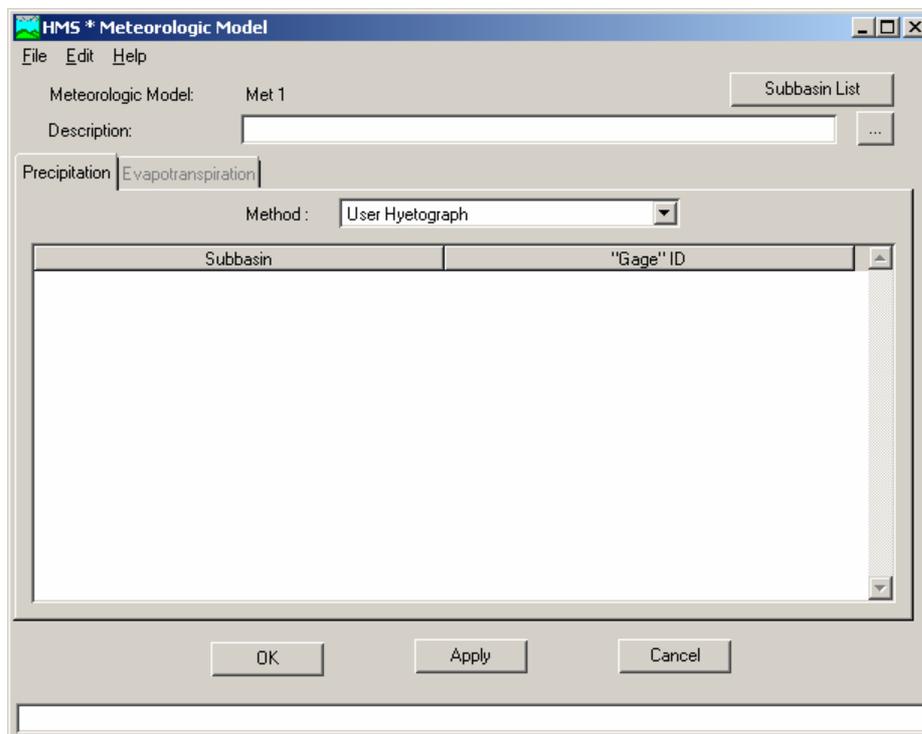


ภาพผนวกที่ ค2 การสร้างโปรเจกต์ใหม่

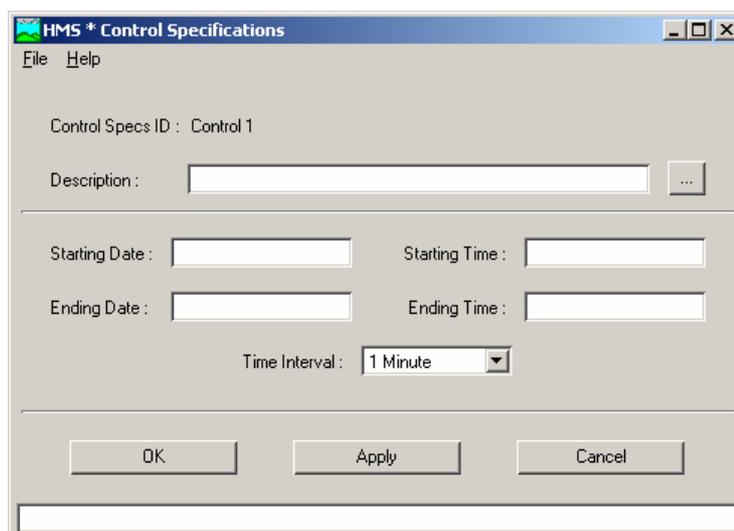
2. แบบจำลอง HEC-HMS มีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนหลัก ที่ต้องใช้ในการรันแบบจำลอง ได้แก่ 1) Basin Model เป็นส่วนที่ใช้ในการใส่รายละเอียดของกลุ่มน้ำ รวมทั้งใส่พารามิเตอร์ ที่จะใช้ในการรันกรณีศึกษาต่างๆ 2) Meteorologic Model เป็นส่วนรายละเอียดในการนำข้อมูลอุทกวิทยาของสถานีมาใช้ ซึ่งในครั้งนี ได้ใช้ในการใส่ค่าการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝน และ3) Control Specification เป็นการใส่รายละเอียดช่วงเวลาของการรัน รวมทั้ง Time Step ที่ใช้รัน การสร้าง 3 องค์ประกอบสามารถสร้างผ่านเมนู Component หน้าต่างของแต่ละส่วนที่สร้างใหม่แสดงในภาพผนวกที่ ค3 ถึง ค5



ภาพผนวกที่ ค3 หน้าต่าง Basin Model

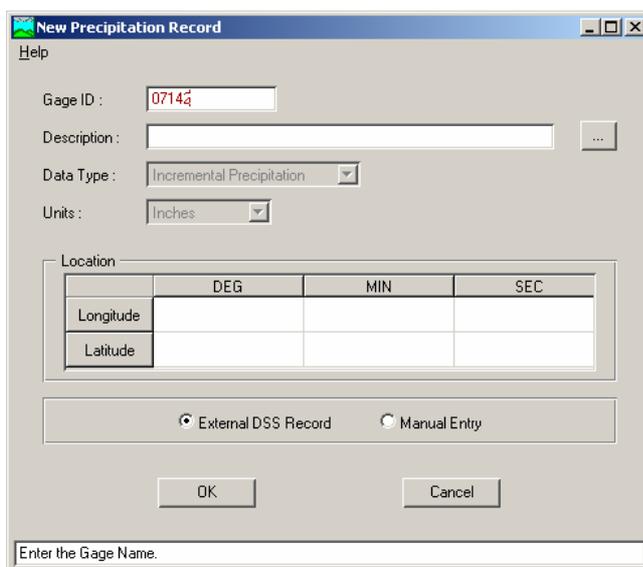


ภาพผนวกที่ ค4 หน้าต่าง Meteorologic Model

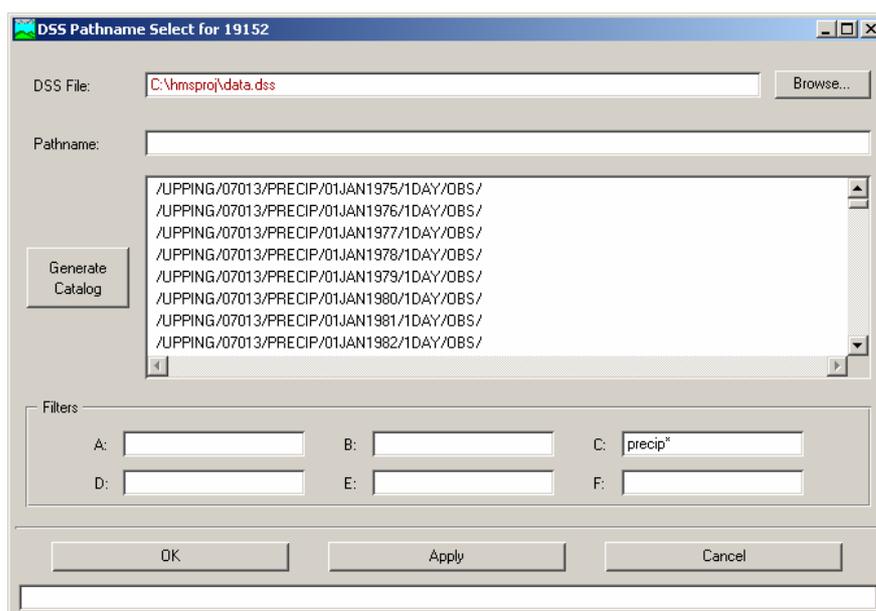


ภาพผนวกที่ ค5 หน้าต่าง Control Specification

3. การนำเข้าข้อมูลสถานี จาก HEC-DSS จะต้องนำเข้าผ่านเมนู Data/Precipitation Gages หรือ Data/Discharge Gages เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการวิเคราะห์หรือสอบเทียบแบบจำลอง โดยใส่ชื่อสถานีและไปเลือกแหล่งข้อมูลจากไฟล์ DSS ที่สร้างไว้จาก External DSS Record ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค6 ถึง ค7 และทำซ้ำจนครบทุกสถานี



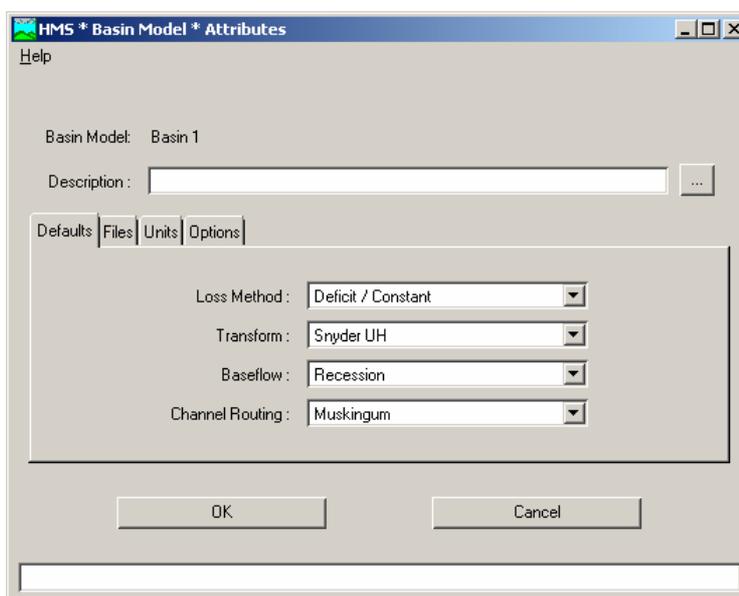
ภาพผนวกที่ ค6 การเพิ่มสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่า จากข้อมูลในโปรแกรม HEC-DSS



ภาพผนวกที่ ค7 การนำเข้าข้อมูลสถานีจาก HEC-DSS

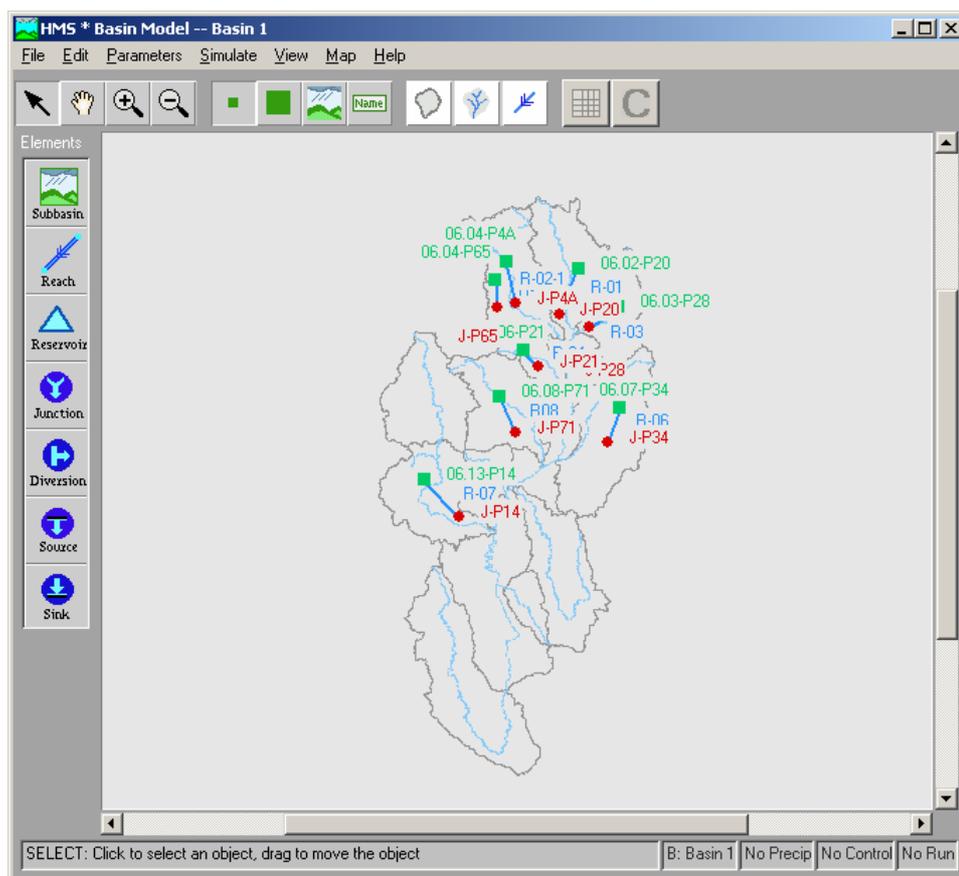
4. การทำงานใน Basin Model แสดงได้ดังนี้

4.1 ตั้งค่าเริ่มต้นของ Basin Model ในเมนู File/Basin Model Attributes โดยเลือกแบบจำลองย่อยของ Loss Method, Transform, Baseflow และ Chanel Routing นำเข้าแผนที่ GIS ซึ่งเป็นนามสกุล .map และตั้งค่าหน่วยที่ใช้ในแบบจำลองHEC-HMS ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค8



ภาพผนวกที่ ค8 การตั้งค่าเริ่มต้นของ HEC-HMS

4.2 สร้างองค์ประกอบของกลุ่มน้ำ โดยเลือกเครื่องมือจากเมนูด้านซ้ายมือ โดยในที่นี้ องค์ประกอบที่สำคัญของแต่ละลุ่มน้ำย่อยได้แก่ Subbasin, Reach และ Junction ซึ่งเมื่อสร้างองค์ประกอบของแต่ละลุ่มน้ำย่อยเสร็จ จะได้ลักษณะดังแสดงในภาพผนวกที่ ค9



ภาพผนวกที่ ค9 การนำเข้าข้อมูลสถานีจาก HEC-DSS

4.3 ใส่ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองย่อยทั้ง 3 แบบจำลองที่เลือก ในองค์ประกอบ Subbasin ของแต่ละลุ่มน้ำย่อย หรือ เลือกใส่ค่าพารามิเตอร์ได้จากเมนู Parameter ด้านบนได้อีกทางหนึ่ง การใส่พารามิเตอร์ของแต่ละลุ่มน้ำย่อย แสดงในภาพผนวกที่ ค10 ถึง ค12

ภาพผนวกที่ ค10 การใส่พารามิเตอร์ในแบบจำลองปริมาตรน้ำท่า

The screenshot shows the 'HMS * Basin Model * Subbasin Editor' dialog box. The 'Subbasin Name' is '06.04-P65' and the 'Area (sq. km.)' is '240'. The 'Description' field is empty. The 'Baselow Method' tab is selected, and the 'Method' dropdown is set to 'Snyder'. The 'Snyder "Standard" Lag, tp (hr)' is '8.37' and the 'Snyder Peaking Coefficient, Cp' is '0.26'. The 'OK', 'Apply', and 'Cancel' buttons are visible at the bottom. A 'Subbasin name' label is at the bottom left.

ภาพผนวกที่ ค11 การใส่พารามิเตอร์ในแบบจำลองปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นโดยตรง

The screenshot shows the 'HMS * Basin Model * Subbasin Editor' dialog box. The 'Subbasin Name' is '06.04-P65' and the 'Area (sq. km.)' is '240'. The 'Description' field is empty. The 'Baselow Method' tab is selected, and the 'Method' dropdown is set to 'Recession'. The 'Initial Q' is '0.59' with a unit dropdown set to 'cms'. The 'Recession Constant' is '0.97'. The 'Threshold Q' is '7.00' with a unit dropdown set to 'cms'. The 'OK', 'Apply', and 'Cancel' buttons are visible at the bottom. A 'Subbasin name' label is at the bottom left.

ภาพผนวกที่ ค12 การใส่พารามิเตอร์ในแบบจำลองการไหลพื้นฐาน

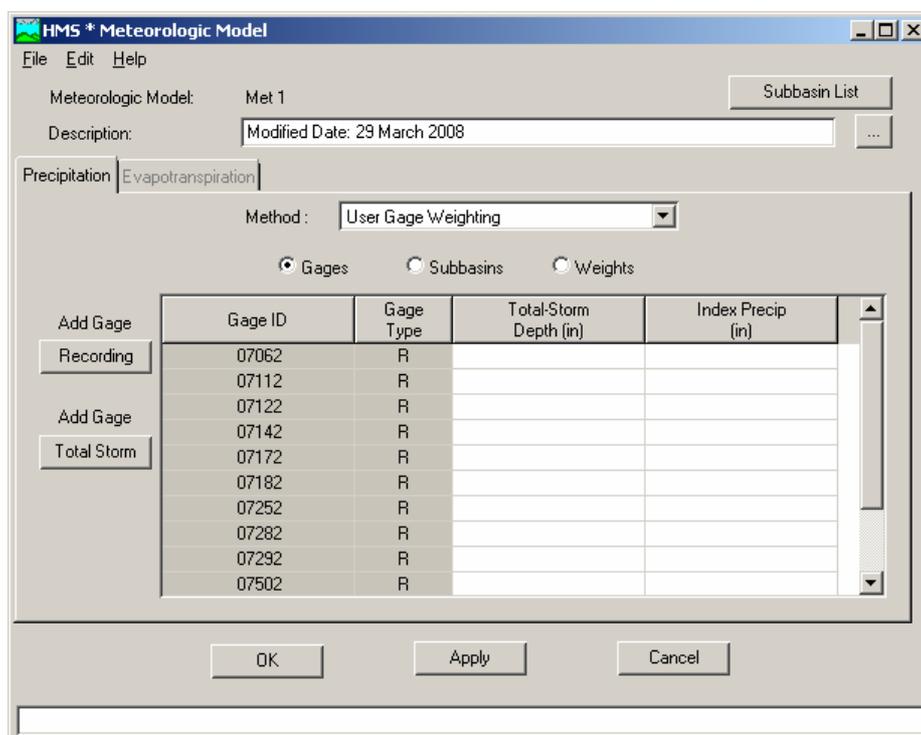
โดยช่วงของค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวที่ใส่ในแบบจำลอง HEC-HMS แสดงในภาพ
 แผนภูมิที่ ค 13

Model	Parameter	Minimum	Maximum
Initial and constant-rate loss	Initial loss	0 mm	500 mm
	Constant loss rate	0 mm/hr	300 mm/hr
SCS loss	Initial abstraction	0 mm	500 mm
	Curve number	1	100
Green and Ampt loss	Moisture deficit	0	1
	Hydraulic conductivity	0 mm/min	250 mm/min
	Wetting front suction	0 mm	1000 mm
Deficit and constant-rate loss	Initial deficit	0 mm	500 mm
	Maximum deficit	0 mm	500 mm
	Deficit recovery factor	0.1	5
Clark's UH	Time of concentration	0.1 hr	500 hr
	Storage coefficient	0 hr	150 hr
Snyder's UH	Lag	0.1 hr	500 hr
	C_p	0.1	1.0
SCS UH	Lag	0.1 min	30000 min
Kinematic wave	Manning's n	0	1
Baseflow	Initial baseflow	0 m ³ /s	100000 m ³ /s
	Recession factor	0.000011	-
	Flow-to-peak ratio	0	1
Muskingum routing	K	0.1 hr	150 hr
	X	0	0.5
	Number of steps	1	100
Kinematic wave routing	N-value factor	0.01	10
Lag routing	Lag	0 min	30000 min

ภาพแผนภูมิที่ ค13 ช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในแบบจำลอง HEC-HMS

5. การทำงานใน Meteorologic Model แสดงได้ดังนี้

5.1 นำเข้า Subbasin จาก Basin Model และสถานีวัดน้ำฝนจาก HEC-DSS ที่เชื่อมต่อข้อมูลจากเมนูหลัก Data/Precipitation Gages แล้วเพื่อนำมาเลือกใช้วิธีการประเมินน้ำฝนที่ตกในกลุ่มน้ำย่อย ซึ่งในที่นี้เลือกวิธีการ User gage Weighting ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค14



ภาพผนวกที่ ค14 การนำเข้า Subbasin และสถานีวัดน้ำฝน ใน Meteorologic Model

5.2 ใส่ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝน ในแต่ละลุ่มน้ำย่อย ซึ่งจะต้องเลือกสถานีที่มีอิทธิพล หรือรูปแบบของฝนใกล้เคียงกับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยนั้นๆ เป็นสถานีตัวแทน ตามสัดส่วน ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค15

Meteorologic Model: Met 1

Description: Modified Date: 29 March 2008

Method: User Gage Weighting

Gages Subbasins Weights

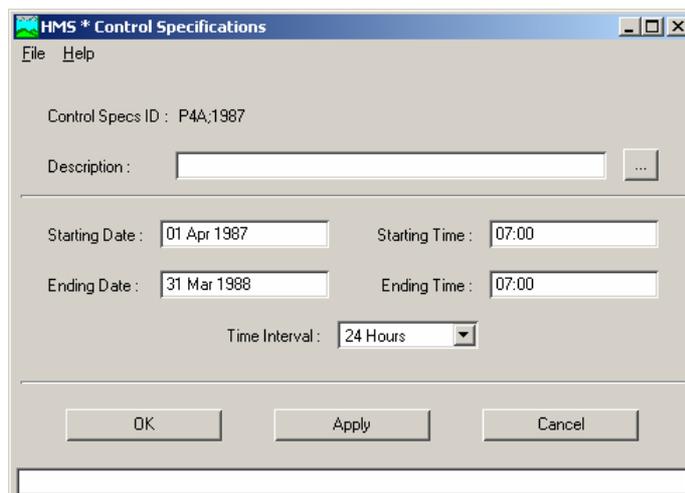
Subbasin: 06.01-P20

Gage ID	Gage Type	Total Storm Gage Weight	Temporal Gage Weight
07122	R	0.25	0.333
07252	R	0.62	0.333
07112	R	0.13	0.333

OK Apply Cancel

ภาพผนวกที่ ค15 การใส่ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนในวิธี User gage Weighting

6. การใส่ข้อมูลใน Control Specification แสดงในภาพผนวกที่ ค16 เป็นการใส่ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใส่วันที่และเวลาเริ่มต้น และสิ้นสุดการรัน รวมทั้ง Time Step ในการรันด้วย ดังนี้



HMS * Control Specifications

File Help

Control Specs ID : P4A,1987

Description : ...

Starting Date : Starting Time :

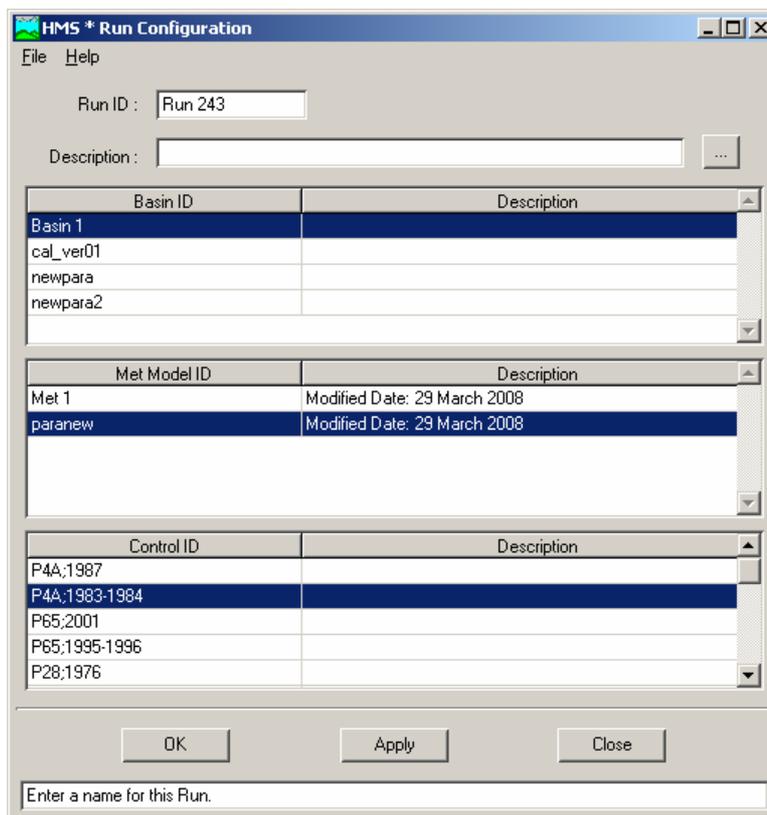
Ending Date : Ending Time :

Time Interval : ▾

OK Apply Cancel

ภาพผนวกที่ ค16 การใส่ข้อมูลช่วงเวลาการวิเคราะห์ใน Control Specification

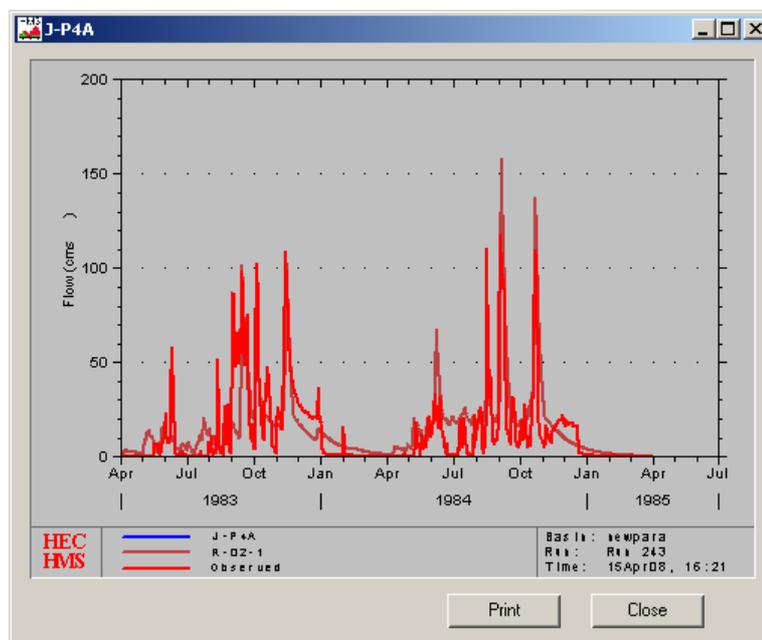
7. เมื่อใส่ข้อมูลในแต่ละส่วนครบแล้ว กลับไปที่ Basin Model เพื่อทำการวิเคราะห์ โดยไปที่เมนู Simulate/Run configuration และเลือกองค์ประกอบทั้งสามส่วน ที่จะเลือกใช้จากไฟล์ใด แล้วกด run แสดงในภาพผนวกที่ ค17



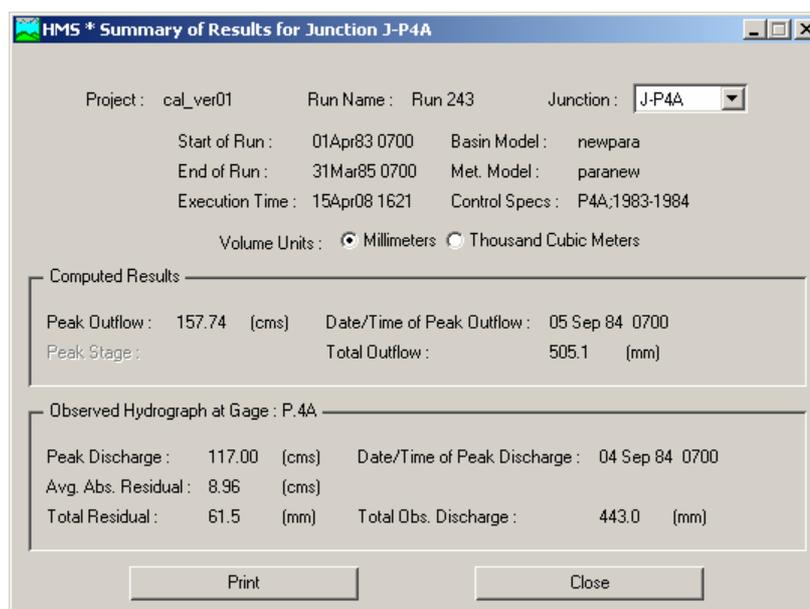
ภาพผนวกที่ ค17 การรันแบบจำลอง HEC-HMS

ใน Basin Model นี้ ผู้ใช้สามารถใส่ค่าจากการตรวจวัดได้ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกัลผลการรัน ในการสอบเทียบแบบจำลอง โดยการคลิกขวาที่ Junction ของลุ่มน้ำย่อยที่มีสถานีวัดน้ำท่า แล้วเลือกสถานีที่ต้องการแสดงข้อมูล

8. คู่มือการรันจากองค์ประกอบ Junction ของลุ่มน้ำย่อยที่ต้องการให้แสดงผล โดยการคลิก ขวาและเลือกรูปแบบการแสดงผลรัน ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค18 ถึง ค20



ภาพผนวกที่ ค18 การแสดงผลในรูปแบบของกราฟ



ภาพผนวกที่ ค19 การแสดงผลในรูปแบบของตารางสรุป

HMS * Time Series Results for Junction J-P4A

Project : cal_ver01 Run Name : Run 243 Junction : J-P4A

Start of Run : 01Apr83 0700 Basin Model : newpara
 End of Run : 31Mar85 0700 Met. Model : paranew
 Execution Time : 15Apr08 1621 Control Specs : P4A;1983-1984

Date	Time	Inflow (cms) from R-02-1	Outflow (cms)	Obs. Q (cms)	Residual (cms)
01 Apr 83	0700	1.59	1.59	0.21	1.38
02 Apr 83	0700	1.54	1.54	0.21	1.33
03 Apr 83	0700	1.50	1.50	0.18	1.32
04 Apr 83	0700	1.45	1.45	0.18	1.27
05 Apr 83	0700	1.41	1.41	0.18	1.23
06 Apr 83	0700	2.41	2.41	0.18	2.23
07 Apr 83	0700	3.26	3.26	0.18	3.08
08 Apr 83	0700	3.17	3.17	0.18	2.99
09 Apr 83	0700	3.07	3.07	0.18	2.89
10 Apr 83	0700	2.98	2.98	0.18	2.80

Graph Print Close

ภาพผนวกที่ ค20 การแสดงผลในรูปแบบของตารางเป็น Time Series

9. ในกรณีที่เป็นการสอบเทียบแบบจำลอง เมื่อผลที่ได้ยังไม่เข้ากับค่าตรวจวัด สามารถกลับไปแก้ไขค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ใน Basin Model ตามวิธีการที่ใส่ค่าในครั้งแรก และทำการรันซ้ำอีกครั้ง จนกว่าจะได้ผลที่ยอมรับได้

ภาคผนวก ง

ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าในกลุ่มน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า

ตารางผนวกที่ ๑๑ ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปิงส่วนที่ 2 (06.05)

ปี	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)												รวม	
	ก.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.		มี.ค.
1976		8	53	44	34	61	70	100	45	15	32	14	14	491
1977		45	49	47	46	91	210	146	35	23	37	19	19	766
1978		19	52	41	178	192	76	44	22	14	10	4	2	655
1979		5	47	68	44	49	100	140	21	10	4	2	9	500
1980		15	43	52	80	72	92	102	34	40	20	8	5	562
1981		13	54	49	101	62	119	40	49	40	20	8	4	559
1982		12	24	45	42	42	169	42	25	13	6	2	1	425
1983		4	23	42	47	57	68	93	64	25	20	10	6	460
1984		9	17	43	43	48	48	54	25	12	7	4	2	313
1985		25	48	52	49	48	50	50	61	31	13	6	15	450
1986		18	41	46	54	46	59	52	38	35	29	17	16	451
1987		14	42	48	34	247	110	44	51	22	10	4	2	628
1988		25	56	187	51	58	57	99	38	25	12	5	4	618
1989		10	50	44	82	127	55	68	27	13	7	8	10	500
1990		7	67	42	40	57	64	46	50	22	14	7	6	421
1991		11	40	45	41	148	51	43	35	16	9	6	11	456
1992		7	11	31	65	70	83	66	33	37	27	11	6	446
1993		13	32	36	43	36	82	50	26	13	6	2	27	365
1994		40	59	53	53	144	174	49	29	37	19	8	5	671
1995		8	45	46	85	183	77	45	29	19	8	14	24	586
1996		50	42	55	44	72	153	71	42	17	7	3	4	561
1997		22	34	32	46	69	58	109	30	15	8	9	5	437
1998		7	38	37	54	57	69	35	26	15	14	12	35	399
1999		38	81	43	42	48	51	45	57	23	11	10	31	479
2000		43	62	55	47	62	49	84	47	20	9	4	28	509
2001		21	51	38	81	175	50	63	51	28	26	24	21	631
2002		18	58	43	46	93	121	46	173	48	31	13	9	700
2003		9	44	42	40	48	109	28	16	8	7	9	6	364
2004		6	54	65	55	45	254	39	28	27	12	5	8	598
2005		28	39	64	57	59	222	50	88	34	20	8	5	674

ตารางผนวกที่ ๖2 ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ลี่ (06.09)

ปี	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)												รวม
	ก.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	
1976	7	50	48	45	56	49	76	48	18	36	15	8	456
1977	15	17	11	13	24	80	46	32	21	13	17	16	306
1978	18	44	37	77	67	58	45	25	11	5	3	11	400
1979	18	56	96	44	39	51	44	29	14	6	3	3	402
1980	8	34	42	43	47	119	47	41	25	12	5	5	428
1981	11	55	39	50	42	40	42	45	30	14	6	4	377
1982	17	27	42	27	21	50	36	20	10	4	2	1	257
1983	3	19	41	38	50	53	53	47	25	15	11	9	365
1984	12	24	42	39	37	51	70	30	15	8	5	3	336
1985	13	22	15	29	29	50	54	119	32	14	6	3	386
1986	16	45	31	37	45	57	40	25	20	13	7	9	345
1987	14	16	40	35	63	52	38	43	24	11	5	6	347
1988	22	57	59	46	43	38	59	38	25	11	5	3	406
1989	8	38	40	39	41	48	82	25	16	7	3	7	355
1990	5	38	41	35	33	56	48	36	20	12	8	5	337
1991	6	12	16	8	33	44	45	30	14	12	10	26	256
1992	14	24	22	34	52	96	56	29	30	30	13	9	409
1993	27	33	33	38	34	52	55	28	13	6	2	12	334
1994	42	77	58	70	51	48	43	25	18	10	4	3	449
1995	10	34	34	41	61	55	39	26	13	7	10	18	348
1996	26	39	43	44	51	59	47	39	18	8	3	9	385
1997	21	15	12	20	39	51	47	20	9	4	2	2	241
1998	4	30	30	42	48	45	44	34	26	13	7	15	336
1999	34	59	41	37	38	53	90	63	21	10	6	7	459
2000	13	46	69	31	41	51	43	32	20	9	4	32	393
2001	24	50	28	26	41	42	59	47	23	16	11	12	381
2002	16	45	37	31	49	73	39	49	37	21	11	15	422
2003	17	41	41	43	50	54	36	17	8	5	3	2	317
2004	8	36	49	39	37	51	41	27	18	8	3	4	320
2005	35	41	41	41	40	67	39	40	27	16	8	5	400

ตารางผนวกที่ 3 ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่กลาง (06.10)

ปี	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)												รวม	
	ก.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.		มี.ค.
1976		1	11	10	6	6	6	8	5	1	12	5	3	75
1977		8	13	11	8	12	77	45	25	17	14	10	8	247
1978		4	11	9	19	42	32	22	10	5	2	1	1	158
1979		1	5	9	5	3	6	6	1	0	0	0	1	37
1980		2	11	6	4	6	6	5	2	2	1	0	0	46
1981		2	7	4	4	6	6	6	9	3	1	0	1	48
1982		5	6	8	2	3	7	4	2	1	0	0	0	38
1983		1	3	6	1	4	4	6	9	1	1	1	0	38
1984		2	2	6	3	2	5	9	0	0	1	1	1	33
1985		4	6	5	5	2	12	49	82	37	16	7	3	229
1986		5	8	4	5	6	5	4	3	3	3	2	5	53
1987		4	4	5	3	7	8	4	9	1	0	0	2	47
1988		5	8	10	8	4	5	11	6	1	1	0	0	60
1989		1	5	4	5	5	5	10	2	3	2	1	1	42
1990		1	5	3	3	4	6	5	2	1	0	0	0	30
1991		1	2	3	2	6	5	2	2	0	0	1	2	26
1992		1	2	3	5	7	14	48	30	18	14	6	3	151
1993		6	7	6	5	4	7	8	2	1	0	0	4	50
1994		17	15	13	11	12	8	8	3	4	3	1	1	96
1995		2	10	3	5	12	26	34	17	8	4	3	4	129
1996		4	4	6	4	6	9	37	27	13	6	2	2	120
1997		8	5	3	4	6	7	8	1	0	0	0	0	44
1998		1	3	3	5	9	5	3	5	5	3	2	8	52
1999		7	42	37	21	17	13	23	67	24	11	5	4	271
2000		6	28	32	19	15	15	17	10	7	4	2	6	161
2001		4	9	5	5	7	8	8	5	3	3	4	3	65
2002		4	10	5	3	11	60	44	30	20	11	5	5	207
2003		4	6	8	7	7	7	4	2	1	1	1	1	46
2004		2	7	7	3	2	9	3	3	4	2	1	1	44
2005		4	5	4	5	3	12	3	5	2	2	1	1	46

ตารางผนวกที่ ๓4 ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปิง ส่วนที่ 3 (06.11)

ปี	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)												รวม	
	ก.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.		มี.ค.
1976		7	41	47	25	55	126	165	136	48	107	41	25	824
1977		63	122	93	80	81	218	118	62	40	38	40	29	983
1978		23	59	44	127	115	145	120	54	28	13	5	3	735
1979		8	71	111	106	105	114	204	73	34	15	6	21	869
1980		30	101	202	105	100	224	266	65	32	14	6	4	1,147
1981		19	81	95	101	103	115	110	100	69	33	14	9	851
1982		20	110	149	90	87	205	100	60	31	15	8	4	881
1983		6	22	76	65	104	107	108	172	69	42	42	27	840
1984		24	34	93	75	60	94	172	61	29	14	7	3	666
1985		19	51	63	44	37	180	144	130	69	30	13	6	786
1986		47	93	93	80	79	132	106	68	34	22	9	12	775
1987		32	36	93	66	93	175	179	132	60	26	11	5	910
1988		40	101	211	105	102	158	221	122	73	33	17	10	1,194
1989		5	96	105	107	89	72	134	81	41	18	7	13	768
1990		14	76	53	36	49	127	207	113	51	23	9	6	764
1991		28	26	99	90	153	181	168	64	33	30	17	29	918
1992		14	41	36	46	143	259	263	73	57	70	29	22	1,053
1993		19	57	84	60	50	190	184	62	31	14	6	23	782
1994		47	89	91	97	218	182	91	48	30	14	6	8	919
1995		32	109	100	124	143	162	118	70	39	17	24	66	1,005
1996		53	106	108	92	128	162	134	109	51	23	9	6	979
1997		28	37	39	57	109	115	108	53	27	12	7	3	596
1998		6	44	24	39	89	101	75	64	41	21	20	21	546
1999		80	148	93	72	77	155	121	117	54	24	13	33	985
2000		58	132	202	145	102	146	116	105	48	21	9	57	1,140
2001		41	90	72	70	98	102	107	84	44	20	33	42	803
2002		40	112	96	78	122	272	145	115	98	55	23	14	1,169
2003		20	61	58	96	77	98	79	36	17	22	14	7	585
2004		9	119	135	78	97	82	71	32	20	9	4	8	662
2005		27	67	127	99	91	309	92	106	54	30	12	8	1,022

ตารางผนวกที่ ๖ ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่แจ่มตอนบน (06.12)

ปี	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)												รวม	
	ก.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.		มี.ค.
1976		2	35	29	28	32	33	73	46	24	41	18	10	370
1977		18	20	13	21	34	144	101	45	27	20	8	7	459
1978		6	16	21	224	84	109	55	30	14	6	3	1	567
1979		4	31	23	26	32	29	22	9	4	2	1	0	183
1980		16	38	76	59	62	71	56	34	28	16	7	4	467
1981		6	18	21	18	92	71	56	39	21	10	4	3	359
1982		6	19	21	6	11	24	14	4	2	1	1	1	110
1983		8	17	17	21	21	16	60	53	33	17	10	6	279
1984		11	14	27	19	57	49	43	24	11	5	2	1	263
1985		8	20	19	57	59	71	66	67	37	16	7	3	430
1986		9	26	15	21	22	9	9	8	3	9	6	10	145
1987		14	17	16	15	52	56	67	59	30	13	6	3	348
1988		15	68	127	90	64	45	41	43	37	16	7	5	557
1989		9	26	30	50	66	56	67	34	16	7	4	7	372
1990		6	39	38	38	40	154	53	53	29	13	5	3	470
1991		13	26	30	34	164	69	63	54	27	14	7	11	512
1992		5	11	12	21	27	32	64	39	19	8	3	9	253
1993		8	22	19	16	17	19	13	5	2	1	0	6	127
1994		29	53	106	56	297	117	59	30	17	8	3	2	777
1995		10	26	39	50	102	165	55	30	17	8	14	28	544
1996		21	23	28	22	32	39	55	29	14	6	3	5	278
1997		15	13	13	22	33	53	70	38	22	10	4	3	294
1998		11	16	14	21	53	187	54	39	24	14	10	24	467
1999		27	60	68	59	69	72	63	60	34	15	8	12	545
2000		15	52	51	42	43	75	62	48	23	10	4	10	436
2001		3	26	16	166	223	80	99	61	28	15	8	5	731
2002		7	21	22	14	75	145	67	50	35	25	19	14	495
2003		17	24	28	62	74	80	46	27	13	8	4	2	384
2004		7	26	17	70	58	59	44	21	12	5	2	5	328
2005		9	21	26	24	46	150	57	45	27	19	8	5	437

ตารางผนวกที่ ๖ ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่หาด (06.14)

ปี	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)												รวม	
	ก.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.		มี.ค.
1976		2	6	5	4	6	5	5	3	1	7	3	5	53
1977		7	5	6	6	7	11	7	5	4	4	3	2	66
1978		1	3	4	8	5	8	5	2	1	0	0	1	37
1979		2	5	5	2	3	4	2	1	0	0	0	3	25
1980		4	9	15	11	8	10	17	10	5	2	1	1	91
1981		2	6	2	3	2	3	3	4	0	0	0	0	26
1982		1	5	2	2	2	6	4	1	1	0	0	0	24
1983		0	4	4	3	4	4	7	12	9	5	4	3	61
1984		3	5	6	5	5	6	7	2	1	1	1	0	42
1985		4	6	3	4	2	7	5	5	1	0	0	0	38
1986		4	15	12	9	8	8	7	4	2	1	1	1	72
1987		4	4	4	3	8	6	4	5	2	1	1	1	40
1988		2	4	3	3	4	4	7	4	1	1	1	1	35
1989		1	5	6	8	7	6	10	4	2	1	0	1	53
1990		3	6	4	4	6	17	13	8	4	2	1	1	66
1991		2	3	4	4	9	4	5	2	1	1	1	1	37
1992		1	2	4	2	5	6	15	11	10	12	5	3	76
1993		3	4	3	3	3	7	4	1	1	0	0	2	31
1994		2	5	3	3	6	7	1	0	2	1	0	0	30
1995		1	5	3	2	5	5	3	1	0	0	1	3	30
1996		3	4	5	3	4	9	5	3	1	0	0	1	39
1997		3	2	2	3	6	4	4	1	1	0	0	0	27
1998		2	5	3	4	5	5	4	4	2	1	4	5	44
1999		7	8	4	4	6	7	7	5	2	1	1	2	55
2000		2	6	4	3	3	3	4	1	1	1	0	2	31
2001		1	3	2	1	4	3	5	1	0	0	1	1	23
2002		2	7	2	2	4	10	25	14	11	6	2	2	88
2003		2	3	3	4	3	5	2	1	0	0	0	0	25
2004		2	7	6	4	15	28	14	9	7	3	1	2	100
2005		3	4	5	7	4	39	14	10	5	3	2	2	96

ตารางผนวกที่ ๗ ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่ต้น (06.15)

(ล้าน ลบ.ม.)

ปี	เดือน												รวม
	ก.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	
1976	7	41	78	110	112	101	102	78	42	78	36	37	824
1977	88	99	92	111	105	107	95	66	41	31	45	36	917
1978	34	72	100	110	114	100	107	48	26	12	5	2	731
1979	12	65	91	108	135	104	87	58	27	12	5	14	717
1980	19	49	104	97	102	119	100	55	26	12	5	2	690
1981	10	49	107	102	136	87	92	87	56	26	11	10	773
1982	10	97	116	167	150	108	93	75	43	22	11	6	897
1983	9	24	60	61	90	90	104	78	43	28	44	32	663
1984	29	37	99	101	183	104	101	50	23	10	4	2	745
1985	14	39	120	109	108	99	140	88	48	21	9	4	801
1986	25	87	102	105	96	99	99	67	33	18	10	21	761
1987	36	48	96	97	304	124	101	82	48	21	11	7	975
1988	29	51	86	98	108	97	96	78	48	23	13	7	732
1989	3	65	139	120	105	93	104	70	34	15	6	6	760
1990	53	104	104	118	103	99	105	78	39	17	7	4	830
1991	34	42	125	123	198	98	93	53	31	42	22	31	892
1992	14	27	27	103	104	99	115	52	50	57	24	28	699
1993	25	64	96	99	110	104	85	50	26	13	5	11	690
1994	14	58	111	301	261	97	94	50	27	13	5	6	1,036
1995	24	89	105	122	123	159	88	54	29	13	23	50	879
1996	51	105	113	118	134	141	87	82	38	17	7	4	896
1997	20	30	76	229	214	109	85	42	22	10	4	2	843
1998	1	27	51	93	104	101	61	33	21	11	20	37	560
1999	88	123	113	108	130	107	93	83	43	19	14	14	937
2000	61	102	101	115	109	101	93	64	34	15	6	36	837
2001	32	87	100	112	108	92	95	71	37	16	19	28	796
2002	32	169	109	111	116	118	90	85	88	54	23	13	1,009
2003	20	92	113	113	93	99	69	34	16	18	12	6	686
2004	6	78	162	99	117	101	69	31	23	10	4	7	706
2005	38	51	90	108	162	118	89	84	45	26	11	6	827

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวกิตติยา เกียรติสินรากร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 24 มีนาคม 2523
สถานที่เกิด	กาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) วิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2545
ประวัติการทำงาน	วิศวกรแหล่งน้ำ บริษัท พอล คอนซัลแตนท์ จำกัด วิศวกรชลประทาน บริษัท ชิกม่าไฮโดรคอนซัลแตนท์ จำกัด วิศวกรแหล่งน้ำ บริษัท แคนค แอนด์ ยูนิตี้ จำกัด
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรชลประทาน 3
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมชลประทาน สามเสน