



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประยุกต์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อยของ  
ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า

An Application of Artificial Neural Network Models for Runoff Estimation in the  
Ungauged Subbasins of the Upper Ping River Basin

นามผู้วิจัย นายโอม ไทยสวัสดิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รองศาสตราจารย์อนุชารด ศรีวงศิตานนท์, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์นภาพร เปี่ยมสง่า, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( รองศาสตราจารย์ฉัตรคนัย จิระเดชะ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรชัย ลิปิวัฒนาการ, M.Eng. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 25 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำ  
ปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า

An Application of Artificial Neural Network Models for Runoff Estimation in the Ungauged  
Subbasins of the Upper Ping River Basin

โดย

นายโอม ไทยสวัสดิ์

เสนอ

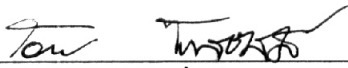
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

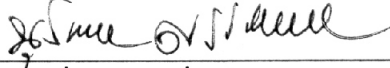
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2550

โอม ไทยสวัสดิ์ 2550: การประยุกต์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประเมินน้ำท่าใน  
ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
(วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ อาจารย์ที่  
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนุชารณ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D. 123 หน้า

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Lavenberg - Marquardt  
สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า จำนวน 12  
สถานี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 240 ถึง 3,853 ตร.กม. โดยมีค่าเฉลี่ย 1,116 ตร.กม. จากการศึกษา  
ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของแบบจำลองและพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ พบว่า โครงสร้างของแบบจำลอง  
สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ 1) สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำน้อยกว่า 1,000 ตร.กม. มีโครงสร้างแบบจำลองคือ 8-7-1  
ประกอบด้วยข้อมูลด้านเข้าคือ ดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า (Antecedent Precipitation Index, API) ณ วันปัจจุบัน  
และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ (Areal Rainfall) ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 6 วัน ส่วน ชั้นแฝง มี  
จำนวน Hidden Node เท่ากับ 7 สำหรับ Output Node คือความลึกของปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่ม  
น้ำ (Depth) ณ วันปัจจุบัน 2) สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำมากกว่า 1,000 ตร.กม. มีโครงสร้างแบบจำลองคือ 9-1-1  
ประกอบด้วยข้อมูลด้านเข้าคือ ดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ  
วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 7 วัน ส่วน ชั้นแฝง มีจำนวน Hidden Node เท่ากับ 1 สำหรับ Output Node คือความ  
ลึกของปริมาณน้ำท่ารายวันเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ณ วันปัจจุบัน ในการประยุกต์แบบจำลองโครงข่ายประสาท  
เทียมนั้น การเรียนรู้แบบจำลองจะใช้ข้อมูลสถานีอื่นๆในกลุ่มสำหรับเรียนรู้ แต่การทดสอบจะใช้ข้อมูลสถานีที่  
ทดสอบสถานีเดียว สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของแบบจำลองได้  
พิจารณาเงื่อนไขความเข้ากันได้ของกราฟน้ำท่า 2 ประการ คือ 1) สมดุลน้ำ 2) กราฟน้ำท่าโดยรวม โดยความ  
เข้ากันได้คือระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองและที่ได้จากการตรวจวัด สามารถ  
พิจารณาจากตัวแปรทางสถิติ ดังนี้คือ 1) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) 2) Efficiency Index (EI) 3) Root Mean  
Square Error (RMSE) 4) Water Balance Error (WBE) ผลการศึกษาพบว่า การประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของ  
แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้มีจำนวน 6 สถานี และผลการประเมิน  
ปริมาณน้ำท่าของแบบจำลองให้ผลค่อนข้างต่ำจำนวน 6 สถานี โดยมีสาเหตุสำคัญเนื่องมาจากสถานีวัดน้ำท่า  
เหล่านี้ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีพื้นที่ชลประทานมากหรือมีฝายกั้นน้ำขวางกั้นลำน้ำอยู่เป็นจำนวนมากจึงเป็น  
สาเหตุให้ปริมาณน้ำท่าถูกควบคุม เป็นผลให้ไม่เกิดความสอดคล้องกันระหว่างปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่า  
รายวัน ซึ่งนอกเหนือความสามารถในการจำลองของแบบจำลอง อย่างไรก็ตาม การประยุกต์แบบจำลอง  
โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานี  
วัดน้ำท่าสามารถนำไปใช้ได้ กรณีที่สถานีวัดน้ำท่าถูกควบคุมด้วยอาคารชลศาสตร์น้อยและข้อมูลปริมาณ  
น้ำฝน-น้ำท่ารายวันมีความสอดคล้องกันที่ดี

  
ลายมือชื่อนิสิต

 15 / ๓๑ / 50  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Oom Thaisawasdi 2007: An Application of Artificial Neural Network Models for Runoff Estimation in the Ungauged Subbasins of 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 Nuchanart Sriwongsitanon, Ph.D. 123 pages.

This study is an application of the Lavenberg – Marquardt artificial neural network (L-M ANN) model for daily runoff estimation at 12 gauging stations in the ungauged subbasins of the Upper Ping River Basin. These gauging stations have the catchment areas varying between 240 and 3,853 km<sup>2</sup> with the average area of 1,116 km<sup>2</sup>. The study result from the relationship between model structures and basin parameters showed that the model structures could be classified into two groups: 1) for watershed areas less than 1000 km<sup>2</sup>, the model structure is 8-7-1. The input nodes consist of a present antecedent precipitation index (API) and the present and previous six days of daily areal rainfall. The number of the hidden nodes is seven. The output node is the present daily runoff depth; 2) for watershed areas more than 1000 km<sup>2</sup>, the model structure is 9-1-1. The input nodes consist of the present antecedent precipitation index and the present and previous 7 days of daily areal rainfall. The number of hidden node is one. The output node is the present daily runoff depth. In applying the L-M ANN model, the model will be learned by other station data in learning group but the model will be tested by using only test station data. Performance of models on daily runoff estimation is evaluated in two aspects, which are 1) a good agreement in water balance and 2) a good agreement in overall shape of the hydrograph. A good agreement between the calculated daily runoff using the models and the recording daily runoff is evaluated using the following statistical parameters: 1) correlation coefficient (r) 2) efficiency index (EI) 3) root mean square error (RMSE) 4) water balance error (WBE). The results showed that the L-M ANN model could simulate acceptable daily runoff estimation for six gauging stations but did poorly for another six gauging stations. The main reasons behind the low accuracy of runoff estimation are that these gauging stations are situated in the sub-catchments that have high percentage of irrigation area or there are weirs situated across the rivers. Runoff in these rivers is then regulated resulting in an uncorresponding between rainfall and runoff that beyond the capability of the models to learn such patterns. However, an application of artificial neural network models for daily runoff estimation in the ungauged subbasins of the Upper Ping River Basin can be used in the condition that the gauging station should not be strongly effected by hydraulic structures and daily rainfall and runoff data should be well consistent.

O. Thaisawasdi  
Student's signature

N. Sriwongsitanon  
Thesis Advisor's signature

15 / 10 / 07

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภาพร เปี่ยมสง่า และ รองศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรดนัย  
จิระเดชะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ดร. ประไพพิศ ชัยรัตนมโนกร ผู้แทนบัณฑิต  
วิทยาลัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สายสุนีย์ พุทธาคณเจริญ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก รองศาสตราจารย์  
ชูเกียรติ ทรัพย์ไพศาล ประธานการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรชัย ลิปิวัฒนาการ ที่ให้  
คำปรึกษา ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ เจ้าหน้าที่  
สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล เจ้าหน้าที่ธุรการ  
ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน เพื่อนิสิตที่  
ช่วยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์

คุณประโยชน์อันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบความดีทั้งปวงแด่ บิดา  
มารดา ญาติพี่น้อง เพื่อนๆ และ ผู้มีพระคุณ ของข้าพเจ้าทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจและให้คำปรึกษา  
มาโดยตลอด

โอม ไทยสวัสดิ์

ตุลาคม 2550

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	35
ผลและวิจารณ์	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	101
สรุป	101
ข้อเสนอแนะ	103
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	105
ภาคผนวก	109
ภาคผนวก ก ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่า ในกลุ่มน้ำปึงตอนบน	110
ภาคผนวก ข ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	116
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	123

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน	5
2	สภาพภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่	7
3	ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนรายเดือนและรายปีของจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน	9
4	สภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของลุ่มน้ำปิงตอนบน	11
5	ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณการไหลสูงสุด (Kp)	17
6	ค่าความสามารถซึมผ่านได้ของดิน ( $\Phi$ )	18
7	Runoff curve number (CN) สำหรับลักษณะการใช้ที่ดินประเภทเกษตรกรรม พื้นที่ชานเมืองและพื้นที่เขตเมือง ในกรณีเงื่อนไขความชื้นเริ่มต้นประเภทที่ 2 (AMC II)	20
8	ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่ พิจารณา	37
9	พารามิเตอร์ลุ่มน้ำต่างๆ ของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา	38
10	ช่วงเวลาสำหรับการเรียนรู้ตรวจสอบและทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาท เทียมของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา	38
11	สถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการเรียนรู้และทดสอบของกรณีต่างๆ	45
12	ข้อมูลด้านเข้าที่ถูกเลือกของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ที่พิจารณา	50
13	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการ คำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของกลุ่ม ที่ 1	62
14	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการ คำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี วัดน้ำท่า P.65	63
15	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการ คำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี วัดน้ำท่า P.42	67

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
16	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.24A	70
17	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.64	71
18	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.21	74
19	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.34	78
20	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของกลุ่มที่ 2	81
21	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.28	84
22	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.20	85
23	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.13	89



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
24	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.71
92	
25	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.4A
93	
26	ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.14
96	
27	สรุปผลการเรียนรู้และการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปึงตอนบนจำนวน 12 สถานี
96	
<b>ตารางผนวกที่</b>	
ก1	ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำปึงตอนบน
111	
ก2	ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปึงตอนบน
113	

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนและการแบ่งลุ่มน้ำย่อย	6
2	ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศ	8
3	การผันแปรของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน	9
4	การผันแปรปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของกลุ่มน้ำปิงตอนบน	10
5	สภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของกลุ่มน้ำปิงตอนบน	12
6	วัฏจักรของน้ำ	13
7	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าสำหรับสภาพพื้นที่ต่างๆ	16
8	โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Multilayer Feedforward	28
9	รูปแบบของ Logistic Sigmoidal Function	30
10	ขั้นตอนการทำงานของวิธี Lavenberg-Marquardt	34
11	ที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน	36
12	ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า	41
13	การหาค่าการคำนวณที่เหมาะสมของ Hidden Node ด้วยวิธีที่ 1	46
14	การหาค่าการคำนวณที่เหมาะสมของ Hidden Node ด้วยวิธีที่ 2	47
15	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.65	50
16	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.42	51
17	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.24A	51
18	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.64	51
19	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.21	52
20	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.34	52
21	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.28	52
22	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.20	53
23	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.13	53
24	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.71	53

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.4A	54
26	ความสัมพันธ์ของ Input Node กับค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.14	54
27	ความสัมพันธ์ของพื้นที่ลุ่มน้ำกับ lagtime ของข้อมูลฝน	54
28	ความสัมพันธ์ของความยาวแม่น้ำกับ lagtime ของข้อมูลฝน	55
29	ความสัมพันธ์ของความยาวแม่น้ำที่จุดเขื่อนทรายคอกับ lagtime ของข้อมูลฝน	55
30	ความสัมพันธ์ของความลาดชันแม่น้ำกับ lagtime ของข้อมูลฝน	55
31	ความสัมพันธ์ของพื้นที่ลุ่มน้ำกับสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของ API	56
32	ความสัมพันธ์ของความยาวแม่น้ำกับสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของ API	56
33	ความสัมพันธ์ของความยาวแม่น้ำที่จุดเขื่อนทรายคอกับสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของ API	56
34	ความสัมพันธ์ของความลาดชันแม่น้ำกับสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของ API	57
35	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับจำนวนข้อมูลด้านเข้าของกลุ่มที่ 1	58
36	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับจำนวนข้อมูลด้านเข้าของกลุ่มที่ 2	58
37	ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองกับจำนวน Hidden Node ต่างๆ ของกลุ่มที่ 1	59
38	ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองกับจำนวน Hidden Node ต่างๆ ของกลุ่มที่ 2	59
39	ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของกลุ่มที่ 1 ช่วงปี พ.ศ. 2529 ถึง 2545	60
40	ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของกลุ่มที่ 1 ช่วงปี พ.ศ. 2519 ถึง 2544	61
41	ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.65 ช่วงปี พ.ศ. 2531 ถึง 2545	64
42	ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.65 ช่วงปี พ.ศ. 2536 ถึง 2537	64

### สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
43 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.42 ช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2545	66
44 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.42 ช่วงปี พ.ศ. 2536 ถึง 2538	66
45 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.24A ช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2546	69
46 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.24A ช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2541	69
47 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.64 ช่วงปี พ.ศ. 2531 ถึง 2546	72
48 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.64 ช่วงปี พ.ศ. 2535 ถึง 2540	72
49 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.21 ช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2546	75
50 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.21 ช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2537	75
51 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.34 ช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2546	77
52 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.34 ช่วงปี พ.ศ. 2522 ถึง 2524	77
53 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของกลุ่มที่ 2 ช่วงปี พ.ศ. 2530 ถึง 2545	80
54 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของกลุ่มที่ 2 ช่วงปี พ.ศ. 2520 ถึง 2546	80
55 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.28 ช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545	83

### สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
56	ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.28 ช่วงปี พ.ศ. 2512 ถึง 2514	83
57	ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.20 ช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2545	86
58	ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.20 ช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2539	86
59	ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.13 ช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545	88
60	ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.13 ช่วงปี พ.ศ. 2514 ถึง 2519	88
61	ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.71 ช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545	91
62	ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.71 ช่วงปี พ.ศ. 2545 ถึง 2546	91
63	ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.4A ช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2546	94
64	ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.4A ช่วงปี พ.ศ. 2543 ถึง 2545	94
65	ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีสถานี P.14 ช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545	97
66	ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สถานี P.14 ช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2537	97

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข1 หน้าต่างใช้งานของโปรแกรม Matlab	117
ข2 การเรียกไฟล์เพื่อใช้ใน Program Matlab	118
ข3 การนำเข้าไฟล์ใน Network/Data Manager	119
ข4 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม	119
ข5 การกำหนดชุดข้อมูลที่ใช้ในการ Train แบบจำลอง	120
ข6 กราฟแสดงผลของการ Train แบบจำลอง	120
ข7 การกำหนดชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับทดสอบแบบจำลอง	121
ข8 หน้าต่างค่า Outputs ที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง	122

# การประยุกต์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย ของลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า

## An Application of Artificial Neural Network Models for Runoff Estimation in the Ungauged Subbasins of the Upper Ping River Basin

### คำนำ

การประเมินปริมาณน้ำท่าเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นและสำคัญมากในการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องด้วยปริมาณทรัพยากรน้ำของประเทศมีอยู่อย่างจำกัด ในขณะที่ความต้องการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเพื่อการอุปโภคบริโภค การเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ฯลฯ นับวันจะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการประเมินปริมาณน้ำท่าไม่ว่าจะเป็นรายปี รายเดือน หรือรายวันให้ถูกต้องและแม่นยำจึงมีความจำเป็นต้องใช้แบบจำลองมาใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำท่า ในอดีตได้มีการพัฒนาแบบจำลองอุทกวิทยาเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่า ส่วนใหญ่เป็นแบบจำลองเชิงแนวความคิด (Conceptual Model) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหรือตัวแปรหลายประการ เช่น ปริมาณน้ำฝน การกระจายตัวของฝน การใช้ที่ดิน ชนิดของดิน และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นต้น โดยการจำลองนิยมจำลองเฉพาะพื้นที่ลุ่มน้ำทำให้น้ำไปประยุกต์กับพื้นที่ลุ่มน้ำอื่น ๆ หรือลุ่มน้ำใกล้เคียงได้ยาก รวมทั้งในบางกรณีข้อมูลที่แบบจำลองเหล่านี้มีความละเอียดถูกต้องสูงและจากกระบวนการน้ำฝน-น้ำท่าที่มีความซับซ้อน ดังนั้นการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจึงมักมีความผิดพลาดอยู่เสมอ โดยเฉพาะลุ่มน้ำย่อยที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่

ต่อมาได้มีการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Model) เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาหลายๆด้านรวมทั้งการประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ เช่น การทำนายอัตราการไหลในแม่น้ำ การทำนายระดับน้ำ หรือการทำนายความเค็มบริเวณปากแม่น้ำ เป็นต้น ซึ่งอาศัยเพียงข้อมูลที่หาได้ง่ายและมีอยู่ในอดีตเช่น ปริมาณน้ำฝนรายวัน เป็นต้น มาใช้ในแบบจำลองโดยไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่และให้แบบจำลองทำการเรียนรู้และทดสอบ โดยได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

เนื่องจากสภาพความเป็นจริงที่เป็นอยู่ในปัจจุบันจำนวนสถานีวัดน้ำท่าที่มีอยู่อย่างจำกัดและไม่ทั่วถึง ต่างจากสถานีวัดน้ำฝนที่มีกระจายอยู่ทั่วไปในทุกพื้นที่ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินน้ำท่ารายวันสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ไม่มีการวัดปริมาณน้ำท่า โดยอาศัยเพียงข้อมูลปริมาณน้ำฝนอย่างเดียวซึ่งจะทำให้แบบจำลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำย่อยอื่นได้ง่ายและสะดวก

สำหรับลุ่มน้ำที่ได้ทำการศึกษาเพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อยที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมคือลุ่มน้ำปึงตอนบน เนื่องจากลุ่มน้ำปึงตอนบนครอบคลุมพื้นที่ 25,345 ตารางกิโลเมตร บริเวณเหนือเขื่อนภูมิพลซึ่งง่ายต่อการประเมินปริมาณน้ำท่ามากกว่าลุ่มน้ำปึงตอนล่างที่มีลักษณะการไหลเป็นแบบ Regulated Flow ซึ่งถูกควบคุมพฤติกรรมการไหลโดยปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยจากเขื่อนภูมิพล และจากที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนมีสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่ากระจายอยู่ทั่วลุ่มน้ำ รวมทั้งในลุ่มน้ำย่อยต่างๆ ทำให้มีข้อมูลมากเพียงพอที่จะใช้สำหรับทำการวิเคราะห์ได้อีกทั้งยังเป็นลุ่มน้ำที่มีผลการศึกษาทางด้านวิศวกรรมทรัพยากรน้ำมาก จึงทำให้มีข้อมูลที่สามารถใช้อ้างอิงเพื่อประกอบกับการศึกษาได้



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปิงตอนบน
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของแบบจำลองและลักษณะเฉพาะทางกายภาพของกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อนำมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในกลุ่มน้ำย่อยที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของกลุ่มน้ำย่อยที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

## ขอบเขตการศึกษา

1. รวบรวมและทบทวนการศึกษาที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูลทางด้านอุตุนิยมิวิทยาและอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้แก่ ข้อมูลปริมาณฝนรายวัน และปริมาณน้ำท่ารายวัน รวมถึงข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ
3. วิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปิงตอนบน
4. เรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อหาโครงสร้างของแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำย่อยในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในกลุ่มน้ำย่อยที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า
5. ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

## การตรวจเอกสาร

### 1. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

#### 1.1 สภาพภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำปิงเป็นลุ่มน้ำสาขาหลัก 1 ใน 8 ของลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 34,856 ตร.กม. แม่น้ำปิงมีความยาวประมาณ 740 กม. มีต้นกำเนิดจากทิวเขาผีปันน้ำในเขตอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ไหลจากทิศเหนือลงมาทางทิศใต้ เมื่อเข้าเขตอำเภอแม่แตงมีน้ำแม่จืดไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้ายและน้ำแม่แตงไหลมาบรรจบทางฝั่งขวา และไหลเข้าสู่พื้นที่ราบลุ่มในเขตจังหวัดเชียงใหม่โดยมีน้ำแม่กวงไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้ายในเขตพื้นที่จังหวัดลำพูน จากนั้นแม่น้ำปิงไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีน้ำแม่สี่ซึ่งไหลจากอำเภอฝาย จังหวัดลำพูน ขึ้นมาทางเหนือบรรจบกับแม่น้ำปิงที่อำเภอจอมทองทางฝั่งซ้าย จากอำเภอจอมทองแม่น้ำปิงไหลลงใต้ มีน้ำแม่แจ่มไหลมาบรรจบทางฝั่งขวาที่อำเภอฮอดก่อนไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลที่อำเภอค้อยเต่า จากเขื่อนภูมิพล แม่น้ำปิงจะไหลผ่านที่ราบมาบรรจบกับแม่น้ำวังที่ไหลมาทางฝั่งซ้ายของแม่น้ำปิงที่จังหวัดตาก และไหลผ่านที่ราบกว้างใหญ่ในเขตจังหวัดกำแพงเพชรบรรจบกับแม่น้ำน่านที่ปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์ และเนื่องจากมีเขื่อนภูมิพลกั้นแม่น้ำปิงที่อำเภอสามเงา จังหวัดตาก จึงได้มีการแบ่งลุ่มน้ำปิงเป็นสองส่วนคือ ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่อยู่เหนือเขื่อนภูมิพล และลุ่มน้ำปิงตอนล่างที่อยู่ท้ายเขื่อนภูมิพล ซึ่งในการศึกษานี้จะทำการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่รับน้ำเหนือเขื่อนภูมิพลขึ้นไปประมาณ 25,345 ตร.กม. ในเขตจังหวัดลำพูนและจังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูด  $17^{\circ} 14' 30''$  ถึง  $19^{\circ} 47' 52''$  เหนือ และระหว่างเส้นลองจิจูด  $98^{\circ} 4' 30''$  ถึง  $99^{\circ} 22' 30''$  ตะวันออก มีสภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนปกคลุมด้วยป่าไม้ ลำน้ำในช่วงที่ไหลผ่านอำเภอเชียงดาวอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 500 ถึง 1,300 ม. รทก. ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:40 ลำน้ำช่วงที่ผ่านหุบเขาตอนบนในเขตอำเภอแม่แตงมีระดับความสูงประมาณ 320 ถึง 500 ม. รทก. ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:50 ลำน้ำช่วงที่ผ่านที่ราบในหุบเขาในเขตอำเภอแม่แตง อำเภอแม่ริม อำเภอเมือง มีระดับความสูงประมาณ 260 ถึง 300 ม. รทก. ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:1,800 ลำน้ำช่วงที่ผ่านที่ราบในหุบเขาก่อนไหลลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล มีระดับความสูงประมาณ 140 ถึง 260 ม. รทก. ความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:1,590 ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีลุ่มน้ำย่อยได้แก่ แม่น้ำปิงส่วนที่ 1 แม่แตง

แม่จัด แม่ริม แม่น้ำปิงส่วนที่ 2 แม่กวง แม่แจ่ม แม่ขาน แม่กลาง แม่น้ำปิงส่วนที่ 3 แม่หาด แม่ลี  
แม่อาว แม่ทา และแม่ตั้น โดยพื้นที่ลุ่มน้ำและการแบ่งลุ่มน้ำย่อยแสดงดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับที่	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
1	แม่น้ำปิงส่วนที่ 1	1,979
2	แม่แตง	1,931
3	แม่จัด	1,287
4	แม่ริม	525
5	แม่น้ำปิงส่วนที่ 2	1,480
6	แม่กวง	1,694
7	แม่แจ่ม	3,896
8	แม่ขาน	1,804
9	แม่กลาง	629
10	แม่น้ำปิงส่วนที่ 3	3,171
11	แม่หาด	533
12	แม่ลี	2,080
13	แม่อาว	172
14	แม่ทา	996
15	แม่ตั้น	3,168
	ลุ่มน้ำปิงตอนบน	25,345

ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำ (2546)



## 1.2 สภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

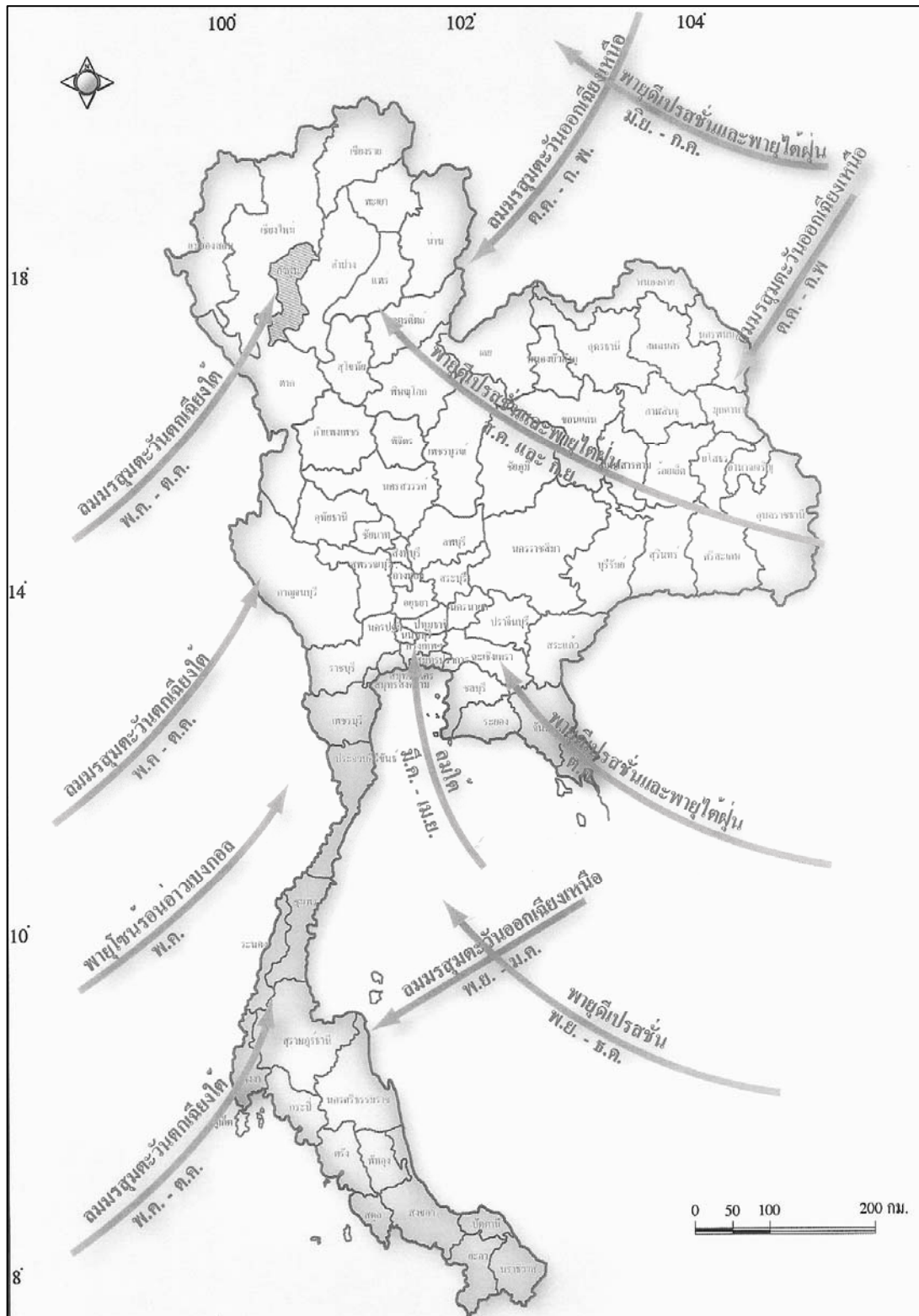
### 1.2.1 สภาพภูมิอากาศ

เนื่องจากสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำปิงตอนบนเป็นภูเขาสูงประกอบด้วยสภาพอากาศโดยทั่วไปอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ ทำให้มีฝนตกชุกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม แสดงดังภาพที่ 2 และจากพื้นที่ของกลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่ครอบคลุม 2 จังหวัด คือ จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน แต่พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ จึงใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ณ จังหวัดเชียงใหม่ สถิติช่วงปี พ.ศ. 2514 ถึง 2548 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาพภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่

ตัวแปรภูมิอากาศ	ค่าเฉลี่ยรายปี	ช่วงพิสัย ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ยสูงสุด รายเดือน	ค่าเฉลี่ยต่ำสุด รายเดือน
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.1	21.0-30.2	36.4	13.9
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	72.4	56.0-84.0	96.0	33.0
ความครึ้มของเมฆ (0-10)	6.8	3.8-8.3	-	-
ความเร็วลม (ม.ต.)	3.7	2.9-5.0	25.21	-
ปริมาณการระเหย จากผิวดิน ระเหย (มม.)	1,639.0	98.3-189.4	-	-

ที่มา: สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา (2548)



ภาพที่ 2 ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศ  
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

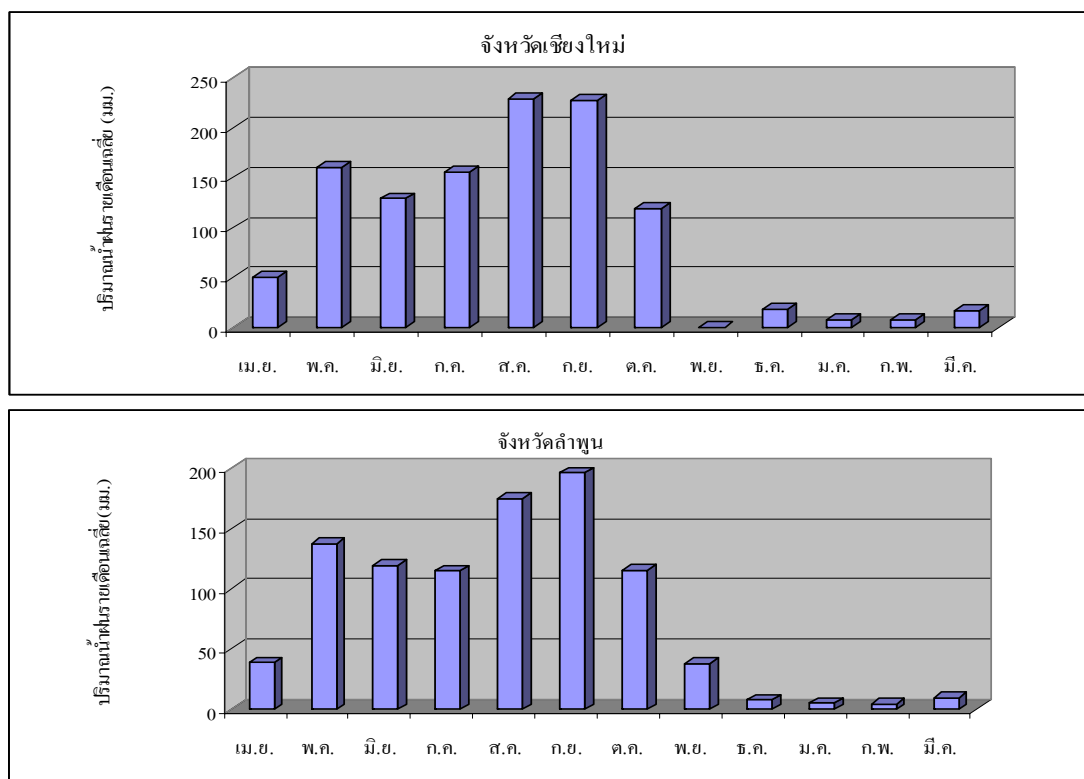
### 1.2.2 ปริมาณฝน

ข้อมูลปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้จากการรวบรวมสถิติของกรมชลประทานในจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 65 สถานี และจังหวัดลำพูนจำนวน 11 สถานี จนถึงปี พ.ศ. 2547 โดยมีค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์ของปริมาณฝนรายเดือนและรายปีสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนรายเดือนและรายปีของจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน

จังหวัด	(หน่วย : มม.)														รายปี
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	
เชียงใหม่	50.5	160.6	129.0	155.7	228.8	227.7	119.2	47.2	17.9	6.9	7.9	16.7	1,021.0	146.1	1,167.1
ลำพูน	38.5	137.8	119.6	114.6	174.7	196.0	115.2	37.8	7.9	4.9	4.2	9.6	857.9	103.0	960.9

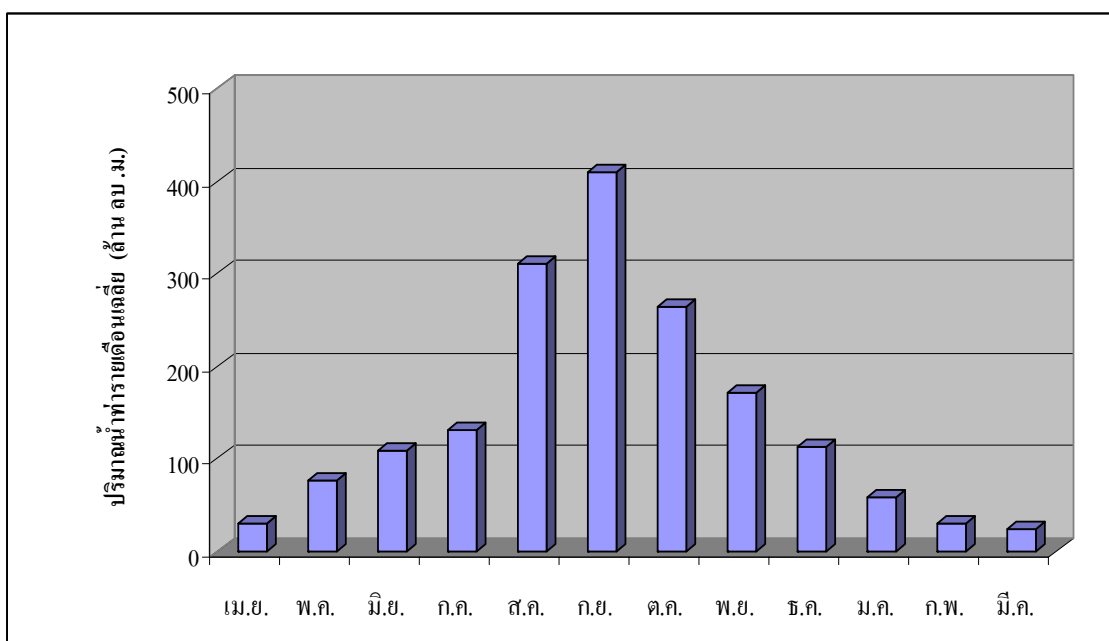
จากข้อมูลปริมาณฝนข้างต้นสามารถแสดงการกระจายของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การผันแปรของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน  
ที่มา: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2548)

### 1.2.3 ปริมาณน้ำท่า

การศึกษาปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้จากการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนในลักษณะธรรมชาติ (Natural Flow) ช่วงปี พ.ศ. 2503 ถึง 2547 โดยเลือกสถานีวัดน้ำท่าที่เป็นตัวแทนของแต่ละลุ่มน้ำย่อยซึ่งอาจเป็นหนึ่งสถานีหรือมากกว่าที่ได้ต่อขยายข้อมูลไว้แล้ว โดยมีหลักการเลือกสถานีวัดน้ำท่าคือข้อมูลของปริมาณน้ำท่าต้องมีความสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณน้ำฝนและครอบคลุมทั้งปีที่มีปริมาณน้ำมาก ปริมาณน้ำปานกลางและปริมาณน้ำน้อย ซึ่งผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนพบว่าลุ่มน้ำปิงตอนบนมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,726.37 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี มีการผันแปรปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง 24.83 ถึง 409.82 ล้านลูกบาศก์เมตร แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การผันแปรปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของกลุ่มน้ำปิงตอนบน  
ที่มา: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2548)

### 1.3 สภาพการใช้ที่ดิน

ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีการใช้ประโยชน์ที่ดินจำแนกตามประเภทการใช้ที่ดิน 5 ประเภท ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน มีพื้นที่รวม 14,606,250 ไร่ เป็นพื้นที่ป่าไม้



11,418,900 ไร่ หรือร้อยละ 78.18 ของพื้นที่รวม พื้นที่เกษตรกรรม (นาข้าว พืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน ไร่หมุนเวียน ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และสถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) 2,361,990 ไร่ หรือร้อยละ 16.17 พื้นที่อยู่อาศัย 484,744 ไร่ หรือร้อยละ 3.32 พื้นที่อื่นๆ (ทุ่งหญ้าธรรมชาติ พื้นที่ลุ่ม เหมืองแร่ และบ่อขุด ที่ทิ้งขยะ และพื้นที่อื่นๆ) 235,498 ไร่ หรือร้อยละ 1.61 และพื้นที่แหล่งน้ำ (แหล่งน้ำธรรมชาติ และแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น) 105,118 ไร่ หรือร้อยละ 0.72 โดยพื้นที่ป่าไม้ส่วนใหญ่อยู่บริเวณพื้นที่ต้นน้ำ ส่วนพื้นที่เกษตรกรรมอยู่บริเวณริมสองฝั่งแม่น้ำ รายละเอียดสภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของกลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 5

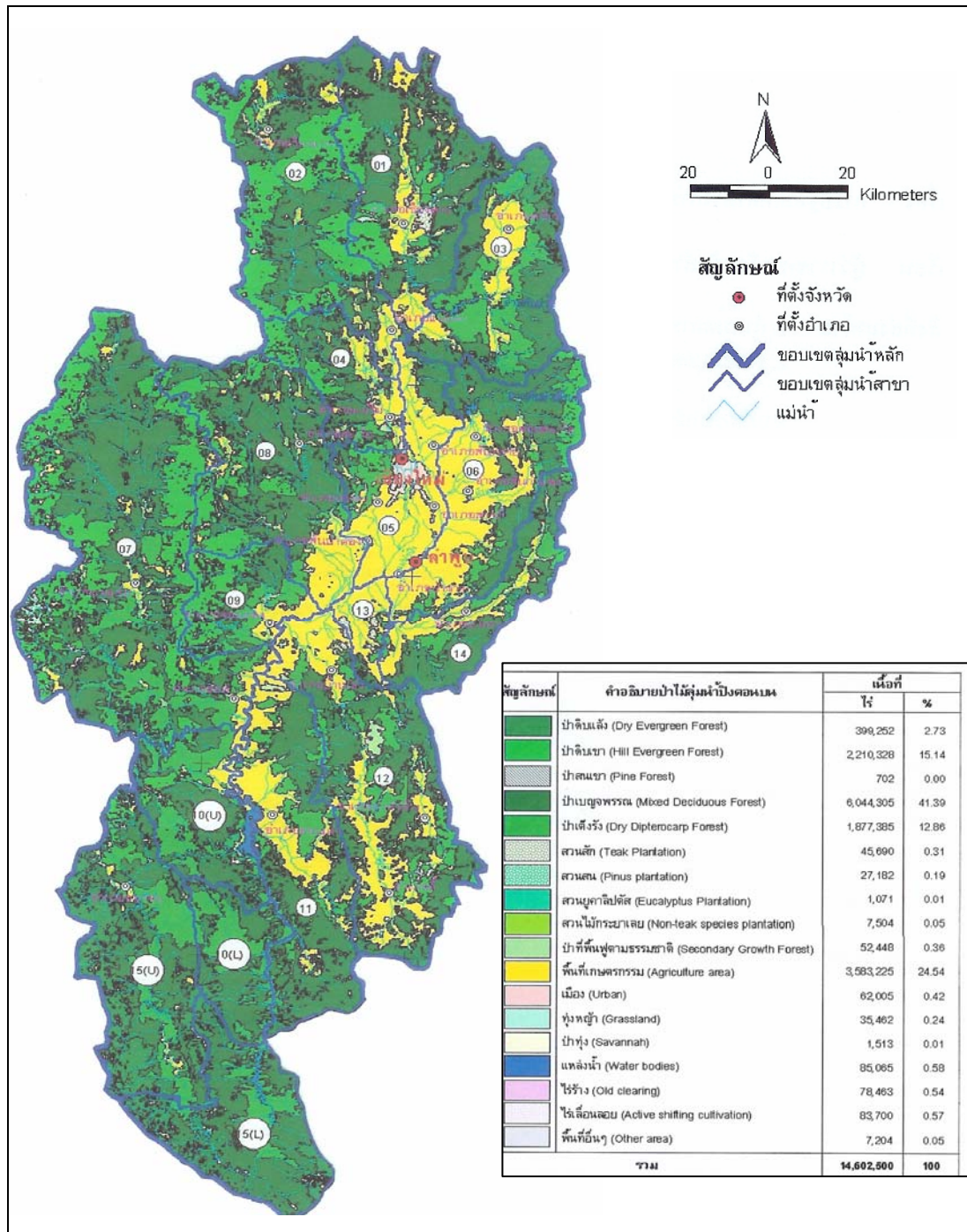
ตารางที่ 4 สภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับที่	ประเภทการใช้ที่ดิน	พื้นที่	
		ไร่	ร้อยละของพื้นที่ทั้งหมด
1	พื้นที่อยู่อาศัย	484,744	3.32
2	พื้นที่เกษตรกรรม	2,361,990	16.17
3	พื้นที่ป่าไม้	11,418,900	78.18
4	พื้นที่แหล่งน้ำ	105,118	0.72
5	พื้นที่อื่นๆ	235,498	1.61
	กลุ่มน้ำปิงตอนบน	14,606,250	100.00

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

#### 1.4 โครงการชลประทาน

สำหรับโครงการชลประทานที่ตั้งอยู่ในกลุ่มน้ำปิงตอนบนประกอบด้วยโครงการชลประทานขนาดใหญ่จำนวน 3 โครงการ มีปริมาณน้ำเก็บกัก 528.80 ล้าน ลบ.ม. ครอบคลุมพื้นที่ชลประทาน 353,000 ไร่ โครงการชลประทานขนาดกลางจำนวน 39 โครงการ มีปริมาณน้ำเก็บกัก 94.45 ล้าน ลบ.ม. ครอบคลุมพื้นที่ชลประทาน 304,960 ไร่ และโครงการชลประทานขนาดเล็กจำนวน 615 โครงการ มีปริมาณน้ำเก็บกัก 62.25 ล้าน ลบ.ม. ครอบคลุมพื้นที่ชลประทาน 669,736 ไร่

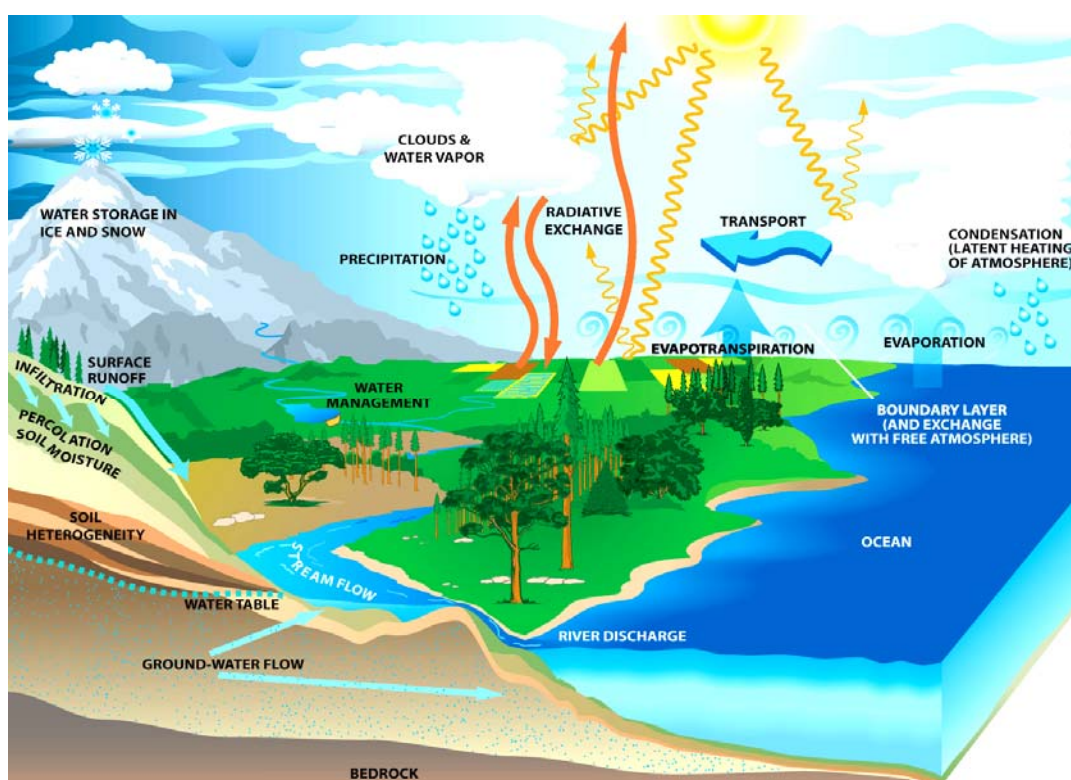


ภาพที่ 5 สภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของกลุ่มน้ำปิงตอนบน  
 ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

## 2. กระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า

### 2.1 วัฏจักรของน้ำ

วัฏจักรของน้ำก็คือการเกิดและการหมุนเวียนของน้ำที่อยู่ในโลก โดยที่น้ำในโลกไม่สูญหายไปไหนแต่จะเปลี่ยนรูปอยู่ในสภาพต่างๆ วนเวียนอยู่ในวัฏจักรของน้ำ อันไม่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดวัฏจักรของน้ำได้ดังนี้



ภาพที่ 6 วัฏจักรของน้ำ

ที่มา: USCCSP (2003)

ไอน้ำในบรรยากาศเรียกว่า atmospheric moisture ได้แก่น้ำในรูปของไอน้ำ มีอยู่ในบรรยากาศทั่วไปตลอดเวลา อาจมองเห็นได้ในรูปของเมฆ หมอก และมองเห็นไม่ได้ในรูปของไอน้ำ ไอน้ำนี้เกิดมาจากการคายระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ บนผิวโลก ไอน้ำในอากาศนี้ถ้าหากมีมากขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ความแปรปรวนของอุณหภูมิตามวิถีของบรรยากาศรอบผิวโลกจะทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นละอองน้ำและรวมตัวกันเป็นหยดน้ำตกลงสู่ผิวโลกได้หลายรูปแบบ เรียกว่า น้ำฟ้า หรือ

น้ำจากอากาศ (precipitation) ซึ่งถ้าเป็นของเหลวก็คือ ฝน (rain) ถ้าเป็นรูปผลึกก็คือ หิมะ (snow) ถ้าเป็นรูปของแข็งก็คือ ลูกเห็บ (hail, sleet) และน้ำแข็ง (ice) เป็นต้น

น้ำฝนที่ตกลงมาสู่ผิวโลกนั้นอาจตกปรอยๆ บางส่วนไม่ตกถึงผิวโลก แต่ระเหยกลับไปสู่บรรยากาศก่อนก็มี ส่วนที่เป็นฝนตกถึงผิวโลกก็มาก โดยน้ำฝนที่ตกลงในป่าจะถูกพืชกักไว้ บางส่วนตามใบไม้หรือลำต้นเรียกว่า interception ซึ่งบางส่วนจะระเหยกลับสู่บรรยากาศและบางส่วนจะหยดต่อลงสู่พื้นดิน

น้ำฝนส่วนที่ตกถึงพื้นดินจะเริ่มซึมลงดินด้วยแรงดึงดูดของเม็ดดินในลักษณะที่เรียกว่า การซึมสู่ผิวดินหรือการซึมผ่านผิวดิน (infiltration) และจะกลายเป็นน้ำที่ไหลในดินเรียกว่า subsurface runoff ในกรณีที่เม็ดดินมีความชื้นเดิมน้อยมากเช่น แห้ง อัตราการซึมลงดินในลักษณะนี้จะสูงมากแต่เมื่อดินอิ่มตัวก็จะลดลงทันทีทันใดเช่นกัน น้ำส่วนที่ซึมลงไปอ้อมตัวอยู่ในดินจะถูกแรงดึงดูดโลกดูดให้ซึมลึกลงไปอีกเรียกว่า percolation ซึ่งจะซึมลงไปถึงระดับน้ำใต้ดินที่มีน้ำอ้อมตัวขังอยู่เป็นน้ำใต้ดินเรียกว่า ground water โดยที่น้ำใต้ดินมีหลายระดับและจะค่อยๆ ไหลตามความลาดเทของชั้นดินไปสู่ที่ต่ำ อาจเป็นแหล่งขังน้ำใต้ดินอยู่หรืออาจไหลออกสู่แม่น้ำลำธารที่อยู่ระดับต่ำกว่าหรือออกสู่ทะเลโดยตรงก็มี แต่หากบางส่วนที่ซึมลงดินไปแล้วเกิดมีชั้นดินแน่นที่ขวางอยู่น้ำส่วนนั้นก็จะไหลไปตามความลาดเทได้ผิวดินและขนานไปกับชั้นดินแน่นที่ดังกล่าวเรียกว่า interflow ซึ่งจะไหลออกสู่ผิวดินอีก น้ำที่ซึมลงดินตามชั้นตอนต่างๆ นั้นอาจถูกรากพืชดูดเอาไปปรุงอาหารเพื่อเลี้ยงลำต้นแล้วคายออกทางใบเรียกว่า การคายน้ำ (transpiration) ซึ่งจะเป็นจำนวนมากน้อยขึ้นอยู่กับพืช

น้ำฝนส่วนที่เหลือจากการซึมลงดินเมื่ออัตราฝนตกมีค่าสูงกว่าอัตราการซึมลงดินก็จะเกิดน้ำขังนองบนพื้นดินแล้วรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำกว่าเรียกว่า overland flow บางส่วนอาจไปรวมตัวอยู่ในที่ลุ่มบริเวณเล็กๆ เรียกว่า surface storage แต่ส่วนใหญ่จะรวมตัวกันมีปริมาณมากขึ้นจนมีแรงกดดันเขาเขาดินให้เป็นร่องน้ำ ลำธารและแม่น้ำตามลำดับ น้ำที่ไหลอยู่ในแม่น้ำลำธารเรียกว่า น้ำท่า (surface runoff) น้ำท่านี้จะไหลออกทะเลและมหาสมุทรในที่สุด

ตลอดเวลาที่น้ำอยู่ในชั้นตอนต่างๆ เหล่านี้จะเกิดการระเหยเรียกว่า evaporation คือน้ำเปลี่ยนสภาพเป็นไอน้ำขึ้นไปสู่บรรยากาศตลอดเวลา อาจเป็นจากผิวของใบไม้ที่ดักน้ำฝนไว้ จากผิวดินที่อ้อมตัวด้วยน้ำ จากผิวน้ำในแม่น้ำ ลำธาร บึง อ่างเก็บน้ำ แต่ส่วนใหญ่ก็คือจากทะเลมหาสมุทร

เมื่อเป็นไอน้ำก็จะลอยสูงขึ้นไปและเมื่ออุณหภูมิลดลงก็จะมีเม็ดน้ำหรือหยดน้ำ และกลายเป็นฝนตกลงมาอีก วัฏจักรของน้ำจึงไม่มีเริ่มต้น ไม่มีสิ้นสุดหมุนเวียนอยู่เช่นนี้ตลอดเวลา

## 2.2 วิธีการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝน

จากความสลับซับซ้อนของขบวนการน้ำฝน-น้ำท่า ทำให้มีผู้สนใจและคิดค้นวิธีการต่างๆ มากมายในการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝน เช่น Rational Formula, Snyder และ SCS เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดของวิธีการต่างๆ มีดังต่อไปนี้

2.2.1 วิธี Rational Formula เป็นวิธีที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการคำนวณปริมาณการไหลสูงสุดของกลุ่มน้ำที่มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำน้อยกว่า 25 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากวิธีนี้สามารถคำนวณได้ง่ายและมีข้อผิดพลาดไม่มากนัก โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$Q = 0.278CiA \quad (1)$$

- เมื่อ
- Q = ปริมาณการไหลสูงสุด (ลบ.ม. / วินาที)
  - C = สัมประสิทธิ์แสดงอัตราส่วนระหว่างน้ำฝนและน้ำท่า (อ่านจากภาพที่ 7)
  - i = ความเข้มฝน (มม. / ชม.)
  - A = พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)

2.2.2 วิธี Snyder เป็นวิธีการคำนวณปริมาณการไหลสูงสุดที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดมากกว่า 25 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากวิธี Rational Formula เมื่อนำมาใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่จะมีความผิดพลาดมาก โดยวิธี Snyder มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

- 1) กำหนดช่วงเวลาฝนตกวิกฤต (Critical rainfall duration) จากสูตรต่อไปนี้

$$t_r = 0.27L^{0.60}L_1^{0.30} \quad (2)$$

- เมื่อ
- $t_r$  = ช่วงเวลาฝนตกวิกฤต (ชม.)
  - L = ความยาวของลำน้ำจากจุดไกลสุดถึงจุดออก (ก.ม.)
  - $L_1$  = ความยาวของลำน้ำจากจุดที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงมากที่สุดถึงจุดออก (ก.ม.)

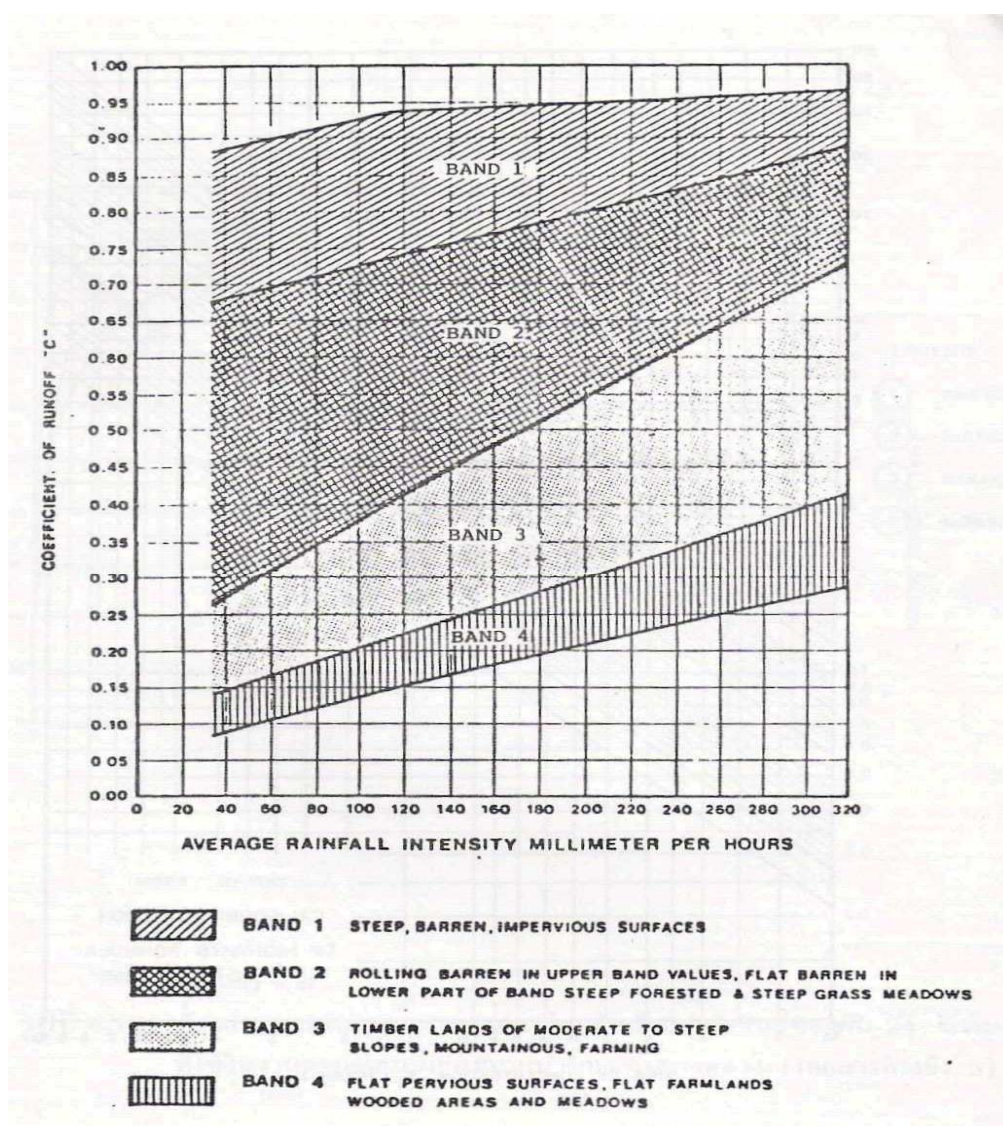


2) จำนวนปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า จากสูตรต่อไปนี้

$$q_p = K_p / t_t \quad (3)$$

เมื่อ  $q_p$  = ปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)

$K_p$  = สัมประสิทธิ์มีค่าประมาณ 28 ถึง 34 ขึ้นอยู่กับความลาดชันของกลุ่มน้ำ และพืชปกคลุมดิน (อ่านได้จากตารางที่ 4)



ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าสำหรับสภาพพื้นที่ต่างๆ

ที่มา: วีระพล (2538)

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณการไหลสูงสุด ( $K_p$ )

Catchment Topography	Peak Discharge Coefficient ( $K_p$ )
Foothills and gently undulating slopes with forest or grass cover	28-30
Steep forested terrain in the head water , foothills and plain with a cover of forest or grass in the lower reaches	30-32
Steep forested slopes of high hills and low mountain	32-34

ที่มา: วีระพล (2538)

3) กำหนดปริมาณการไหลสูงสุดจากพื้นที่ลุ่มน้ำจากสูตร

$$Q = 0.001q_p (\alpha i - \Phi) t_r A \quad (4)$$

$$\alpha = 1 - \exp(-1.1 t_r^{0.25}) + \exp(-1.1 t_r^{0.25} - 0.01 A) \quad (5)$$

- เมื่อ  $Q$  = ปริมาณการไหลสูงสุด (ลบ.ม. / วินาที)  
 $\alpha$  = reduction factor สำหรับลดขนาด point rainfall intensity ของลุ่มน้ำ  
 $i$  = ความเข้มฝน (มม. / ชม.)  
 $\Phi$  = ความสามารถซึมผ่านได้ของดิน (มม. / ชม.) อ่านได้จากตารางที่ 5  
 $A$  = พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)

ตารางที่ 6 ค่าความสามารถซึมผ่านได้ของดิน ( $\Phi$ )

Cover factor	Type	$\Phi$ (mm. / hr.)		
		Clays	Clay Loams	Sandy Loams
1.0 – 2.0	Poor	2 – 9	4 – 13	5 - 20
2.0 – 4.0	Medium	5 – 17	8 - 27	13 - 45
4.0 – 8.0	Good	10 – 35	15 - 55	25 - 90

ที่มา: วีระพล (2538)

2.2.3 วิธี SCS ได้ถูกพัฒนาโดย Soil Conservation Service (1972) ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณปริมาณการสูญเสียจากพายุฝน สำหรับพายุฝนนั้นความลึกของฝนส่วนเกิน (excess precipitation) หรือน้ำท่าโดยตรง (direct runoff)  $P_e$  นั้นจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับความลึกของฝน ( $P$ ) หรือในทำนองเดียวกันหลังจากที่เริ่มมีน้ำท่าเกิดขึ้น ความลึกของน้ำที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ ( $F_a$ ) จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศักยภาพการเก็บกักสูงสุด ( $S$ ) โดยจะมีปริมาณฝนส่วนหนึ่งเรียกว่าปริมาณการสูญเสียเริ่มต้น ( $I_a$ ) ก่อนที่จะเริ่มมีปริมาณน้ำท่าเกิดขึ้นซึ่งศักยภาพของน้ำท่าคือ  $P - I_a$  เพราะฉะนั้นสมมติฐานของวิธี SCS คือสัดส่วนของปริมาณที่แท้จริงสองค่าต่อปริมาณศักยภาพสองค่าที่มีค่าเท่ากัน (นุชนารถ, 2545) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (6)$$

$$I_a = 0.2S \quad (7)$$

จากการแก้สมการทำให้สามารถคำนวณความลึกของน้ำท่าได้จากสมการ

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (8)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (9)$$



- โดยที่ P = ปริมาณฝนทั้งหมด (นิ้ว)  
 $P_c$  = ความลึกของน้ำท่า (นิ้ว)  
 $I_a$  = ปริมาณการสูญเสียเริ่มต้น (นิ้ว)  
 $F_a$  = ปริมาณการสูญเสียต่อเนื่อง (นิ้ว)  
S = ศักยภาพเก็บกักสูงสุด (นิ้ว)  
CN = curve number

และจากความสัมพันธ์ของสมการข้างต้นเห็นได้ว่าศักยภาพเก็บกักสูงสุดจะขึ้นอยู่กับ curve number ซึ่ง curve number นั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขความชื้นเริ่มต้น (antecedent moisture conditions) ประเภทที่ 2 คือ AMC II และสำหรับในกรณีที่พื้นผิวอยู่ในสภาพแห้งจะใช้ค่า AMC I และในกรณีที่พื้นผิวที่อยู่ในสภาพเปียกชื้นจะใช้ค่า AMC III ซึ่งค่า curve number ของทั้ง 3 กรณีมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 10 และ 11

$$CN (I) = \frac{4.2 CN (II)}{10 - 0.058 CN (II)} \quad (10)$$

$$CN (III) = \frac{23 CN (II)}{10 + 0.13 CN (II)} \quad (11)$$

โดยค่า CN (II) สำหรับการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มดินทางอุทกวิทยาสามารถอ่านได้จากตารางที่ 6 ซึ่งความหมายของกลุ่มดินทางอุทกวิทยาทั้ง 4 กลุ่ม มีดังนี้

- 1) กลุ่ม A เป็นดินที่มีอัตราการซึมน้ำลงดินสูง มีการระบายน้ำดี มีศักยภาพในการเกิดปริมาณการไหลโดยตรงต่ำมาก โดยดินกลุ่มนี้ส่วนมากประกอบด้วยทรายและกรวด
- 2) กลุ่ม B เป็นดินที่มีอัตราการซึมน้ำลงดินปานกลาง มีการระบายน้ำดีปานกลาง ดินในกลุ่มนี้มีเนื้อตั้งแต่ละเอียดปานกลางจนถึงหยาบปานกลาง
- 3) กลุ่ม C เป็นดินที่มีอัตราการซึมน้ำลงดินต่ำ มีการระบายน้ำต่ำ ดินในกลุ่มนี้มีเนื้อตั้งแต่ละเอียดปานกลางจนถึงละเอียด
- 4) กลุ่ม D เป็นดินที่มีอัตราการซึมน้ำลงดินต่ำมาก มีการระบายน้ำต่ำมาก มีศักยภาพในการเกิดปริมาณการไหลโดยตรงค่อนข้างสูง

ตารางที่ 7 Runoff curve number (CN) สำหรับลักษณะการใช้ที่ดินประเภทเกษตรกรรม พื้นที่ชานเมืองและพื้นที่เขตเมือง ในกรณีเงื่อนไขความชื้นเริ่มต้นประเภทที่ 2 (AMC II)

Land Use Description	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Cultivated land: without conservation treatment	72	81	88	91
with conservation treatment	62	71	78	81
Pasture or range land: poor condition	68	79	86	89
Good condition	39	61	74	80
Meadow: good condition	30	58	71	78
Wood or forest land: thin stand, poor cover , no mulch	45	66	77	83
Good cover	25	55	70	77
Open spaces, lawns, parks, golf course, cemeteries, etc.				
Good condition: grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
Fair condition: grass cover on 55% to 75% of the area	49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)	89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)	81	88	91	93
Residential:				
Average lot size				
Average %				
impervious	77	85	90	92
1/8 acre or less	61	75	83	87
1/4 acre	57	72	81	86
1/3 acre	54	70	80	85
1/2 acre	51	68	79	84
1 acre	25	55	70	77
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.	98	98	98	98
Streets and roads:				
Paved with curbs and storm sewers	98	98	98	98
Gravel	76	85	89	91
Dirt	72	82	87	89

ที่มา: นุชนารถ (2545)



Donnelly-Makowecki and Moore (1999) ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลอง TOP model Lumped two reservoir model และ Lumped three reservoir model ในการทำนายปริมาณน้ำท่ารายวัน โดยเลือกพื้นที่กรณีศึกษา 2 พื้นที่ที่ตั้งอยู่ใน University of British Columbia Research Forest คือ East catchment และ South catchment สภาพพื้นที่เป็นป่าดงดิบทั้ง 2 พื้นที่และมีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 2,000 – 2,500 มม. ข้อมูลด้านเข้าคือ ปริมาณน้ำในเขื่อนสภาพภูมิประเทศ และปริมาณน้ำฝนรายวัน โดยจะเลือกฝนที่มีช่วงเวลาไม่น้อยกว่า 6 ชม. และความเข้มฝนไม่น้อยกว่า 0.1 มม./ชม. ซึ่งจะเลือกช่วงเวลาที่ฝนตกระหว่าง เดือนตุลาคม – เมษายน เพราะเป็นช่วงที่มีปริมาณการซึมของฝนลงไปในดินและการคายระเหยของพืชน้อยสุดทั้งนี้ได้แบ่งกรณีศึกษาเพื่อทำนายน้ำท่าเป็น 4 กรณีคือ (1) ทำนายจากสภาพภูมิประเทศของพื้นที่นั้น (2) แปลงสภาพภูมิประเทศไปใช้กับอีกกลุ่มน้ำ (3) แปลงสภาพภูมิอากาศไปใช้กับอีกกลุ่มน้ำ (4) แปลงทั้งสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศไปใช้กับอีกกลุ่มน้ำ ผลการศึกษาพบว่ากรณีที่ 1 แบบจำลองทั้ง 3 มีประสิทธิภาพในการทำนายปริมาณน้ำท่าใกล้เคียงกัน กรณีที่ 2 แบบจำลอง Top model มีประสิทธิภาพในการทำนายปริมาณน้ำท่าใน East catchment ดีกว่า Lumped model กรณีที่ 3 แบบจำลอง Top model มีประสิทธิภาพในการทำนายปริมาณน้ำท่าทั้งใน East catchment และ South catchment ดีกว่า Lumped model และ กรณีที่ 4 แบบจำลอง TOP model มีประสิทธิภาพในการทำนายปริมาณน้ำท่าใน South catchment ดีกว่า Lumped model

Braga and Figueiredo (2000) ได้ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในการทำนายปริมาณน้ำท่าโดยใช้แบบจำลอง Niederschlag Abfluss Verdunstung Model (NAVMO) เป็นแบบจำลองที่ใช้ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝน การระเหย และสภาพภูมิอากาศในการคำนวณปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำพื้นที่กรณีศึกษาคือกลุ่มน้ำ Sitio Vassouras ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิลมีพื้นที่กลุ่มน้ำ 15,000 ตร.กม. สภาพภูมิอากาศเป็นแบบร้อนและแห้งซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย  $26^{\circ}\text{C}$  ปริมาณการระเหยมากกว่า 2,000 มม. และปริมาณฝนตกมากที่สุดในเดือนมีนาคมมีปริมาณ 290 มม. การศึกษาจะแบ่งพื้นที่กลุ่มน้ำเป็น 7 กลุ่มน้ำย่อยแล้วคำนวณปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำท่าสูงสุดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ  $-1$  ถึง  $1^{\circ}\text{C}$  เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลง โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมิผลให้การระเหยของน้ำเปลี่ยนแปลง  $-9$  ถึง  $9\%$  และปริมาณน้ำฝนเปลี่ยนแปลง 73 ถึง  $-45\%$  ตามลำดับ ข้อมูลด้านเข้าคือ ปริมาณน้ำฝนรายวัน ปริมาณการระเหยรายวันและสภาพภูมิประเทศ ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ  $-1$  ถึง  $1^{\circ}\text{C}$  มีผลทำให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 0.20 ถึง 2.46 และมีปริมาณน้ำท่าสูงสุดเปลี่ยน

แปลงในช่วง 0.20 ถึง 3.61 ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสองของทั้ง 2 กรณี มีค่ามากกว่า 0.8

Arcelus (2000) ได้ทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าด้วยแบบจำลอง HEC-HMS และแบบจำลอง NAM โดยการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้งสองในลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดน้ำท่า และนำพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS ไปปรับใช้กับลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตามสภาพภูมิประเทศและการใช้ที่ดิน จากนั้นจึงประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ในลุ่มน้ำเดียวกันเพื่อให้กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM เข้ากันได้ดีกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS พบว่าวิธีการนี้ให้ผลเป็นที่ยอมรับได้สำหรับลุ่มน้ำที่ไม่มีเก็บข้อมูล

Denis et al. (2002) ได้พัฒนาแบบจำลอง MARINE เพื่อใช้ในการคาดการณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม ข้อมูลที่ใช้คือ สภาพภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน สภาพภูมิอากาศ และได้ทำกรณีศึกษาที่แคว้น Languedoc ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศฝรั่งเศสโดยเปรียบเทียบความสามารถระหว่างแบบจำลอง MARINE และแบบจำลอง TOP ( Topographic Model ) ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่วม ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง MARINE ให้ความถูกต้องมากกว่าแบบจำลอง TOP

ศิริกัญญา (2547) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำปึงตอนบนจำนวน 13 สถานี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 45 ถึง 3,853 ตารางกิโลเมตร โดยมีค่าเฉลี่ย 1,232 ตารางกิโลเมตร ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง พบว่า พารามิเตอร์ซึ่งประกอบด้วย  $U_{max}$ ,  $L_{max}$ , CQOF, TOF, TIF, TG, CK1, CK2, CKBF, Sy,  $GWL_{min}$ ,  $GWLBF_0$ ,  $GWLBF_1$  และ CAREA โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่างช่วงที่แนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลองในการตรวจสอบประสิทธิภาพการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของแบบจำลองทั้งสองได้พิจารณาถึงความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่า โดยความเข้ากันได้ดีระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองและที่ได้จากการตรวจวัดนั้น พิจารณาจากตัวแปรทางสถิติ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการประเมินน้ำท่ารายวันได้ถูกต้องมากกว่าแบบจำลอง NAM ในด้านสมมูลน้ำ กราฟน้ำท่าโดยรวม และ ปริมาณการไหลสูงๆ ในทางตรงกันข้ามสำหรับปริมาณการไหลต่ำๆ แบบจำลอง NAM ให้ผลดีกว่า ขณะที่ผลการประเมินปริมาณ

น้ำท่าของแบบจำลองทั้งสองให้ผลไม่ดีสำหรับสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีพื้นที่ชลประทานมากหรือมีฝายทดน้ำขวางกั้นลำน้ำอยู่เป็นจำนวนมากจึงเป็นสาเหตุให้ปริมาณน้ำท่าถูกควบคุม เป็นผลให้ไม่เกิดความสอดคล้องกันระหว่างปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่ารายวัน

Collischonn et al. (2005) ได้ศึกษาการใช้ปริมาณฝนล่วงหน้าทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าที่ใช้ผลเข้าเงื่อนไขใช้แบบจำลอง Advanced Regional Prediction System (ARPS) พื้นที่กรณีศึกษาคือ เขื่อน Machadingo ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำอูรุกวัยทางทิศใต้ของประเทศบราซิล โดยมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 32,000 ตร.กม. และมีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,300 มม. ถึง 1,500 มม. สภาพภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นป่าและพื้นที่ค่อนข้างลาดชัน การศึกษาจะแบ่งข้อมูลที่ใช้ปริมาณฝนล่วงหน้าเป็นข้อมูลด้านเข้าทั้งหมด 5 กรณี (1) ไม่มีปริมาณน้ำฝนที่ตกลงหน้า (2) ARPS-40 (3) ARPS-12 (4) ARPS-4 (5) ปริมาณฝนล่วงหน้าที่วัดได้จริงผลการศึกษาพบว่า 1. การทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้าโดยใช้ข้อมูลของกรณีที่ 1 และ 3 จะให้ผลการทำนายที่ดีภายใน 16 ชม. ล่วงหน้า 2. ARPS-4 จะให้ผลการทำนายปริมาณน้ำท่าได้ดีภายใน 15 ชม. ล่วงหน้า 3. ARPS-40 จะให้ผลการทำนายปริมาณน้ำท่าได้ไม่ใกล้เคียงความจริง

### 3.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Model)

ในอดีตที่ผ่านมาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้เป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยทางด้านอุทกวิทยา (Raman and Sunilkumar 1995; Loke et al. 1997; Shamseldin et al. 1997) โดยที่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการเรียนรู้ข้อมูลจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้านเข้าและด้านออกโดยที่ไม่ต้องมีการกำหนดหรือสร้างรูปแบบของข้อมูลด้านเข้าที่แน่นอน แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันและรายชั่วโมงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Smith 1995; Thirumalaiah and Deo 1998, 2000; Campolo et al. 1999; Imrie et al. 2000; Tokar and Markus 2000; Compolo et al. 2003) ซึ่งต่างจากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าจะพิจารณาบนพื้นฐานของความสัมพันธ์ทางกายภาพของตัวแปรต่างๆ หรือบนพื้นฐานของการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งมีความยุ่งยากและบางครั้งให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่ายังต้องใช้ข้อมูลทางอุทกวิทยาและลักษณะทางกายภาพที่หลากหลายเช่น ลักษณะภูมิประเทศ โครงข่ายแม่น้ำ คุณลักษณะดิน ประเภทการใช้ที่ดิน ปริมาณฝน และอัตราการไหล เป็นต้น ซึ่งบางครั้งข้อมูลอาจดังกล่าวอาจไม่ครบถ้วน โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีการประยุกต์ใช้ดังนี้

Zealand et al. (1999) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบความสามารถในการทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้ารายสัปดาห์โดยใช้แบบจำลอง ANN และ The Winnipeg Flow Forecasting System (WIFFS) พื้นที่กรณีศึกษาคือ Namakan Lake ในประเทศแคนาดาซึ่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 19,270 ตร.กม. ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 78 ซม. การศึกษาจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ (1) ข้อมูลด้านเข้าที่ใช้ระหว่าง ANN และ WIFFS เหมือนกันคือปริมาณน้ำฝนที่สัปดาห์ปัจจุบันและก่อนหน้า 6 สัปดาห์ ปริมาณน้ำท่าที่สัปดาห์ปัจจุบันและก่อนหน้า 1 สัปดาห์ (2) เปรียบเทียบความสามารถของ ANN โดยใช้ข้อมูลด้านเข้าเป็นปริมาณน้ำฝนสัปดาห์ปัจจุบันและก่อนหน้า 2 สัปดาห์ อุณหภูมิที่สัปดาห์ปัจจุบัน ปริมาณน้ำท่าที่สัปดาห์ปัจจุบันและก่อนหน้า 2 สัปดาห์ โดยข้อมูลด้านเข้าของกรณีที่ 2 ได้มาจากการนำข้อมูลปริมาณฝนล่วงหน้า 1 สัปดาห์ ปริมาณฝนรายสัปดาห์สะสมตั้งแต่วันที่ 1 พ.ย. ถึง 1 เม.ย. ปริมาณฝนนี้จะใช้เป็นตัวแทนปริมาณหิมะที่จะเปลี่ยนเป็นน้ำท่าระหว่างฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิ ซึ่งนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าแล้วตัดข้อมูลที่ไม่ง่าเป็นออก ผลการศึกษาพบว่ากรณีศึกษาที่ 1. การทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้ 1 สัปดาห์โดยใช้ ANN ให้ผลการทำนายที่ดีกว่า WIFFS โดยมีค่า RMSE 34.1 และ 50.4 ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ 2. การทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้ 1 สัปดาห์โดยใช้ข้อมูลด้านเข้าของ ANN กรณีที่ 2 จะให้ผลการทำนายที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลด้านเข้าของกรณีที่ 1 โดยมีค่า RMSE ลดลง 3.5

Imrie et al. (2000) ได้ศึกษาการทำนายปริมาณน้ำท่าสูงสุดและต่ำสุดล่วงหน้ารายชั่วโมงโดยใช้ ANN พื้นที่กรณีศึกษาคือลุ่มน้ำ Clowick ซึ่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 7,486 ตร.กม. และลุ่มน้ำ Dove ซึ่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 883 ตร.กม. การศึกษาจะทำนายปริมาณน้ำท่าสูงสุดล่วงหน้ 12 ซม. ที่ลุ่มน้ำ Colwick และปริมาณน้ำท่าต่ำสุดล่วงหน้ 4 ซม. ที่ลุ่มน้ำ Dove โดยแต่ละลุ่มน้ำจะใช้ฟังก์ชันกระตุ้น 4 ชนิด คือ sigmoid , sigmoid ผสม linear , linear และ cubic polynomial เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน ข้อมูลด้านเข้าที่ใช้ในลุ่มน้ำ Clowick คือปริมาณน้ำท่ารายชม.ที่เวลาปัจจุบันและก่อนหน้าถึง 14 ชม. และที่ลุ่มน้ำ Dove คือปริมาณน้ำท่ารายชม.ที่เวลาปัจจุบันและก่อนหน้าถึง 9 ชม ผลการศึกษาพบว่าที่ลุ่มน้ำ Colwick การใช้ฟังก์ชันกระตุ้นชนิด cubic polynomial และ sigmoid ผสม linear สามารถทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้สูงสุดได้ดีที่สุด คือสูงและต่ำกว่าค่าที่วัดได้จริง 5% ซึ่งที่ลุ่มน้ำ Dove การใช้ฟังก์ชันกระตุ้นชนิด cubic polynomial สามารถทำนายปริมาณน้ำท่าต่ำสุดล่วงหน้ได้ดีที่สุด คือต่ำกว่าค่าที่วัดได้จริง 8%

Chibanga et al. (2001) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้ 1 วัน 10 วัน 50 วัน และ 100 วัน โดยแบบจำลองที่

นำมาเปรียบเทียบได้แก่ Artificial Neural Networks (ANN) ชนิด Feedforward-Backpropagation และ Autoregressive Moving Average With Exogenous Input (ARMAX) ข้อมูลที่ใช้คือ ปริมาณฝนย้อนหลัง 1 วัน ปริมาณการระเหย และปริมาณน้ำท่าย้อนหลัง 2 วัน ผลการศึกษาพบว่าค่า RMSE ของการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันจาก 1 วัน ถึง 100 วัน แบบจำลอง ANN และ ARMAX เพิ่มขึ้น 16% และ 700% ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่าแบบจำลอง ANN ให้ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันในระยะยาวได้ถูกต้องมากกว่า ARMAX

Labib et al. (2002) ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 สัปดาห์ของ ANN และ autoregressive moving average with exogenous variable (ARMAX) โดยพื้นที่กรณีศึกษาคือ Mistassibe river มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 9,320 ตร.กม. และมีอัตราการไหลรายปีเฉลี่ย 208 ลบ.ม./วินาที ข้อมูลด้านเข้าคือปริมาณน้ำท่าปัจจุบันและก่อนหน้า 1 สัปดาห์ ปริมาณอุณหภูมิล่วงหน้า 1 วัน ปริมาณน้ำฝนล่วงหน้า 1 วัน วันปัจจุบันและก่อนหน้า 3 วัน ปริมาณหิมะล่วงหน้า 1 วัน วันปัจจุบันและก่อนหน้า 3 วัน ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง ANN ให้ผลการทำนายปริมาณน้ำท่าได้ดีกว่าแบบจำลอง ARMAX ทั้ง 7 วัน และแบบจำลอง ANN จะให้ผลการทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงภายใน 5 วัน

Dastorani (2004) ได้ศึกษาการทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้ารายชั่วโมงโดยใช้แบบจำลอง ANN พื้นที่กรณีศึกษาคือลุ่มน้ำ Derwent ในประเทศอังกฤษ การศึกษาจะแบ่งเป็น 3 กรณีคือ (1) ใช้ข้อมูลจากสถานีเหนือน้ำ 1 สถานี (2) ใช้ข้อมูลจากสถานีเหนือน้ำ 2 สถานี (3) ใช้ข้อมูลจากสถานีเหนือน้ำ 3 สถานี โดยแต่ละกรณีศึกษาจะทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 3 ชม. 6 ชม. 9 ชม. และ 12 ชม. ซึ่งแต่ละกรณีศึกษาจะใช้ ANN ชนิด Multi-layer perceptron (MLP) , Recurrent (REC) และ Time lag recurrent (T.L.R.) เพื่อเปรียบเทียบกันด้วย ข้อมูลด้านเข้าที่ใช้ทั้ง 3 กรณีคือปริมาณน้ำท่าทุกๆ 1 ชม. ที่เวลาปัจจุบันและย้อนหลังจนถึง 1 เดือน ผลการศึกษาของทั้ง 3 กรณีพบว่าการใช้แบบจำลอง ANN ชนิด MLP จะให้ผลการทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 3 ชม. ได้ดีที่สุด ในขณะที่การใช้แบบจำลอง ANN ชนิด REC และ T.L.R สามารถทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 12 ชม. ได้ดีที่สุด และการเพิ่มข้อมูลด้านเข้าจากการเลือกสถานีทางด้านเหนือน้ำจะทำให้ผลการทำนายมีค่าความถูกต้องมากขึ้น

Rajurkar et al. (2004) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบความสามารถในการทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลอง linear model และ ANN พื้นที่กรณีศึกษาคือลุ่มน้ำ Krishna



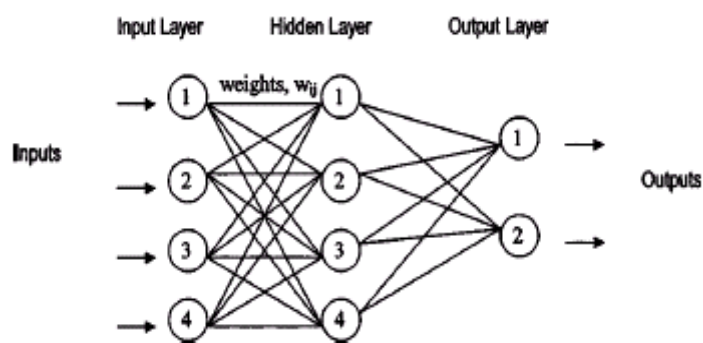
และ Narmada มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 26,200 ตร.กม. และ 17,157 ตร.กม. ตามลำดับ การศึกษาจะแบ่งเป็น 2 กรณี (1) การทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันจาก linear model (2) นำผลการคำนวณปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่ารายวันจาก linear model มาใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าในการทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลอง ANN และทั้ง 2 กรณีจะแบ่งเป็นการทำนายโดยไม่มีการแบ่งลุ่มน้ำย่อย และมีการแบ่งลุ่มน้ำย่อยโดยลุ่มน้ำ Krishna จะแบ่งเป็น 2 ลุ่มน้ำย่อย และลุ่มน้ำ Narmada จะแบ่งเป็น 3 ลุ่มน้ำย่อย ข้อมูลด้านเข้าที่ใช้ใน linear model คือ ปริมาณน้ำฝนรายวันที่เวลาปัจจุบันและก่อนหน้า โดยของ ANN จะแบ่งเป็น 3 กรณีคือ (1) ปริมาณน้ำฝนรายวันที่เวลาปัจจุบันและก่อนหน้า (2) ปริมาณน้ำท่ารายวันที่เวลาปัจจุบันและก่อนหน้า (3) ปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายวันที่เวลาปัจจุบันและก่อนหน้าร่วมกัน ผลการศึกษาพบว่าการทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลอง ANN ซึ่งมีข้อมูลด้านเข้าเป็นปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายวันที่เวลาปัจจุบันและก่อนหน้าร่วมกันให้ผลการทำนายที่ดีกว่าแบบจำลอง linear model และการแบ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยในการทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าจะให้ความถูกต้องมากกว่าการที่ไม่แบ่งเป็นลุ่มน้ำย่อย

Han et al. (2005) ได้ศึกษาการทำนายปริมาณน้ำท่าโดยใช้แบบจำลอง ANN – Watershed runoff prediction (ANN-WRP) และ ANN – Stream flow forecasting (ANN-SFF) โดยใช้กรณีศึกษาที่ Cape Fear River Basin ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของ Carolina ซึ่งในพื้นที่ศึกษานั้นประกอบด้วยสถานีวัดน้ำฝน-น้ำท่าจำนวน 3 สถานี ของ United states Geological Survey (USGS) การศึกษาจะแบ่งเป็น 2 กรณี (1) ใช้ ANN-WRP ในการทำนายปริมาณน้ำท่าที่จะไหลไปยังสถานีทางด้านท้ายน้ำทุกๆ 15 นาที ถึง 1 ชม. โดยใช้  $T_c$  มีค่าเท่ากับ 1 2 และ 4 ชม. (2) ใช้ ANN-SFF ในการทำนายปริมาณน้ำท่าของสถานีที่ 1 ทางด้านท้ายน้ำทุกๆ 15 นาที ถึง 1 ชม. และ สถานีที่ 2 ทางด้านท้ายน้ำทุกๆ 15 นาที ถึง 3 ชม. ข้อมูลด้านเข้าที่ใช้ของ ANN-WRP คือ ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้าทุกๆ 15 นาที ถึง 2 ชม. และปริมาณน้ำท่าทุกๆ 15 นาที ถึง 1 ชม. และของ ANN-SFF คือ ปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าก่อนหน้าทุกๆ 15 นาที ถึง 6 ชม. ของสถานีวัดน้ำท่าทางด้านเหนือ น้ำ ผลการศึกษาพบว่า 1) การทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้าที 15 , 30 , 45 นาที และ 1 ชม. โดยใช้แบบจำลอง ANN-WRP และ  $T_c$  มีค่าเท่ากับ 2 ชม. นั้นให้ผลใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง 0.98 0.95 0.93 และ 0.82 ตามลำดับ และการทำนายปริมาณน้ำท่าล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลอง ANN-SFF ของสถานีท้ายน้ำที่ 1 และที่ 2 ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสองเท่ากับ 0.89 และ 0.87 ตามลำดับ

## 4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 4.1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Lavenberg-Marquardt

โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Lavenberg-Marquardt ประกอบด้วยโครงสร้างทั้งหมด 3 ชั้น คือ Input Layer, Hidden Layer และ Output Layer แสดงดังภาพที่ 8 โดยกระบวนการเรียนรู้จะใช้วิธีการเรียนรู้จากรูปแบบของข้อมูลด้านเข้าและข้อมูลด้านออกที่มีอยู่ โดยข้อมูลด้านเข้าจะถูกป้อนเข้าไปในแต่ละหน่วย (Node) ใน Input Layer จากนั้นข้อมูลด้านเข้าจะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) เฉพาะของการเชื่อมโยงระหว่างชั้น ซึ่งค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักอาจถูกกำหนดโดยการสุ่ม ผลคูณที่ได้จะนำมารวมกันเพื่อแปลงเป็นข้อมูลด้านออกโดยผ่านฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) จากนั้นข้อมูลด้านออกที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่ได้จากการตรวจวัด เพื่อนำไปสู่การปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักและเพื่อลดค่าความแตกต่างหรือข้อผิดพลาดในแต่ละรอบของการคำนวณ การปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักจะดำเนินการไปจนกระทั่งข้อผิดพลาดมีค่าน้อยและยอมรับได้ การคำนวณจึงจะสิ้นสุด



ภาพที่ 8 โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Multilayer Feedforward  
ที่มา: Han et al. (2005)

#### 4.1.1 วิธีการ Lavenberg-Marquardt

วิธีการ Lavenberg-Marquardt เป็นวิธีการชนิดหนึ่งที่ใช้ในขั้นตอนการคำนวณย้อนกลับ โดยใช้กลุ่มของข้อมูลด้านเข้าและข้อมูลด้านออกในการสร้างความสัมพันธ์และระบบโครงข่ายจะนำความสัมพันธ์นั้นไปสร้างผลลัพธ์ ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริง ถ้าผลลัพธ์

ที่ได้ไม่แตกต่างจากผลลัพธ์จริงจะไม่เกิดการเรียนรู้ แต่ถ้ามีความแตกต่าง ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละชั้นจะถูกเปลี่ยนเพื่อลดค่าความแตกต่างลง และเริ่มการเรียนรู้ใหม่

ให้	$x_{j,i,m}$	=	เป็นค่าถ่วงน้ำหนักที่รับจาก unit ที่ $j$ ใน layer $i$ โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักทั้งหมดจำนวน $m$ ตัว
	$O_{j,i}$	=	ผลลัพธ์ของ element ที่ $j$ ใน layer $i$
	$t_{j,i}$	=	ผลลัพธ์ที่ต้องการ(เป้าหมาย) ของ element ที่ $j$ ใน layer $i$
	$P_j$	=	ข้อมูลด้านเข้าของ element ที่ $j$
	$H^i$	=	Hessian matrix ที่ layer $i$
	$J^i$	=	Jacobian matrix ที่ layer $i$
	$I$	=	Identity matrix
	$u$	=	ค่าคงที่ซึ่งเป็นตัวเลขน้อยๆที่ใช้ปรับในแต่ละรอบการคำนวณโดยทั่วไปใช้ค่า 10
	$k$	=	รอบการคำนวณที่ $k$
	$n_i$	=	จำนวนของ unit ใน layer $i$

Rumelhart และคณะ (1986) ได้เสนอให้ใช้กลุ่มของฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นที่เรียกว่า “กึ่งเชิงเส้น” (semi-linear) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ทำให้ผลลัพธ์มีค่าไม่ลดลง และสามารถหาอนุพันธ์ไปยังผลลัพธ์รวมได้ดังสมการ

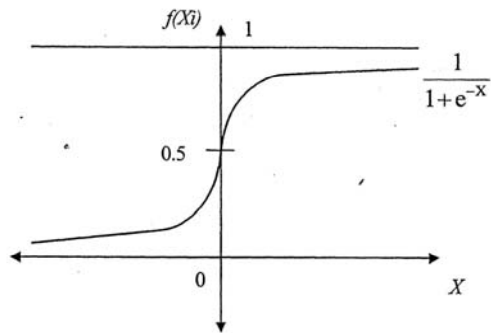
$$O_{j,i} = f(N_{j,i}) \quad (12)$$

$$\text{เมื่อ } N_{j,i} = \sum_{i=1}^{n_{i-1}} x_{j,i} O_{j,i-1} + \theta_{j,i}$$

$$O_{j,i-1} = P_{j,i}$$

$$\theta_{j,i} = \text{ค่าเบี่ยงเบนของ element ที่ } j \text{ ใน layer ที่ } i$$

ในทางปฏิบัติจะนิยมใช้ฟังก์ชันลอการิทึม  $[0,1]$  เป็นฟังก์ชันกึ่งเชิงเส้น เนื่องจากเป็นฟังก์ชันที่ค่าไม่ลดลง และมีอนุพันธ์ที่ง่าย ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 รูปแบบของ Logistic Sigmoidal Function

ที่มา: Tsoukalas and Uhrig (1997)

$$O_{j,i} = f(N_{j,i}) = \frac{1}{1 + e^{-N_{j,i}}} \quad (13)$$

และ 
$$f'(N_{j,i}) = O_{j,i}(1 - O_{j,i}) \quad (14)$$

เมื่อข้อมูลทั้งหมดได้ผ่านไปถึง layer สุดท้าย ผลลัพธ์ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ต้องการและจะคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนรวม โดย

$$E = 0.5 \sum_{i=1}^l \sum_{i=1}^n (t_{j,i} - o_{j,i})^2 \quad (15)$$

วิธีการ Lavenberg-Marquardt จะลดค่าความคลาดเคลื่อนลงให้น้อยที่สุด โดยการปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักใหม่สามารถหาได้จากการคำนวณ Hessian matrix และ Jacobian matrix ในแต่ละ layer ดังสมการต่อไปนี้

$$J^i(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial Q_1(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial Q_1(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial Q_1(x)}{\partial x_m} \\ \frac{\partial Q_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial Q_2(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial Q_2(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial Q_2(x)}{\partial x_m} \\ \frac{\partial Q_3(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial Q_3(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial Q_3(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial Q_3(x)}{\partial x_m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial Q_n(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial Q_n(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial Q_n(x)}{\partial x_m} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\text{เมื่อ } Q^i(x) = t_{j,l} - o_{j,l}$$

$$H^i = (J^i)^T(x) J^i(x) \quad (17)$$

$$\text{และ } g^i = (J^i)^T(x) Q^i(x)$$

สำหรับผลรวมของ H และ g มีดังสมการ

$$H = \sum_{i=1}^l H^i \quad (18)$$

$$g = \sum_{i=1}^l g^i$$

สุดท้ายสามารถคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักและค่าถ่วงน้ำหนัก

ใหม่ได้ดังนี้

$$\Delta x_k = [H + uI]^{-1} g \quad (19)$$

$$x_{k+1} = x_k - \Delta x_k \quad (20)$$

#### 4.1.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการ Lavenberg-Marquardt

1) กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนโดยการสุ่มที่มีค่าต่ำ

Forward Pass

2) กำหนดเวกเตอร์ข้อมูลด้านเข้า ( $P_1, P_2, \dots, P_n$ ) และกำหนดผลลัพธ์ ( $t_1,$

$t_2, \dots, t_n$ )

3) ในแต่ละ layer  $i = 1, 2, \dots, l$

ก) จำนวนค่า  $N_{j,i} = \sum_{i=1}^{n_{j-1}} x_{j,i} O_{j,i-1} + \theta_{j,i}$  (21)

โดยที่  $O_{j,0} = P_j$

ข) จำนวนผลลัพธ์ของ unit ที่  $j$  ใน layer  $i$

$$O_{j,i} = \frac{1}{1 + e^{-n_{j,i}}}; j = 1, 2, \dots, n \quad (22)$$

4) เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ ( $O_{1,1}, O_{2,1}, \dots, O_{n,1}$ ) กับผลลัพธ์ที่ต้องการ ( $t_1, t_2, \dots, t_{n1}$ ) ถ้าค่าความแตกต่างอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ จะถือว่าระบบได้เรียนรู้แล้ว แบบจำลองจะจบการทำงานหากค่าความแตกต่างยังสูงอยู่ จะดำเนินการในขั้นต่อไป

#### Backward Pass

5) จำนวนค่า  $Q$  และ  $J$  ในแต่ละ layer  $i = 1, 2, 3, \dots, l$

โดยที่  $Q^i(x) = t_{j,l} - o_{j,l}$

$$J^i(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial Q_1(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial Q_1(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial Q_1(x)}{\partial x_m} \\ \frac{\partial Q_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial Q_2(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial Q_2(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial Q_2(x)}{\partial x_m} \\ \frac{\partial Q_3(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial Q_3(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial Q_3(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial Q_3(x)}{\partial x_m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial Q_n(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial Q_n(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial Q_n(x)}{\partial x_m} \end{bmatrix} \quad (23)$$

6) จำนวนค่า  $H$  และ  $g$  ในแต่ละ layer  $i = 1, 2, 3, \dots, l$

$$\text{โดยที่ } H^i = (J^i)^T(x) J^i(x) \quad (24)$$

$$g^i = (J^i)^T(x) Q^i(x)$$

7) คำนวณค่าผลรวมของ  $H$  และ  $g$

8) คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าถ่วงน้ำหนัก

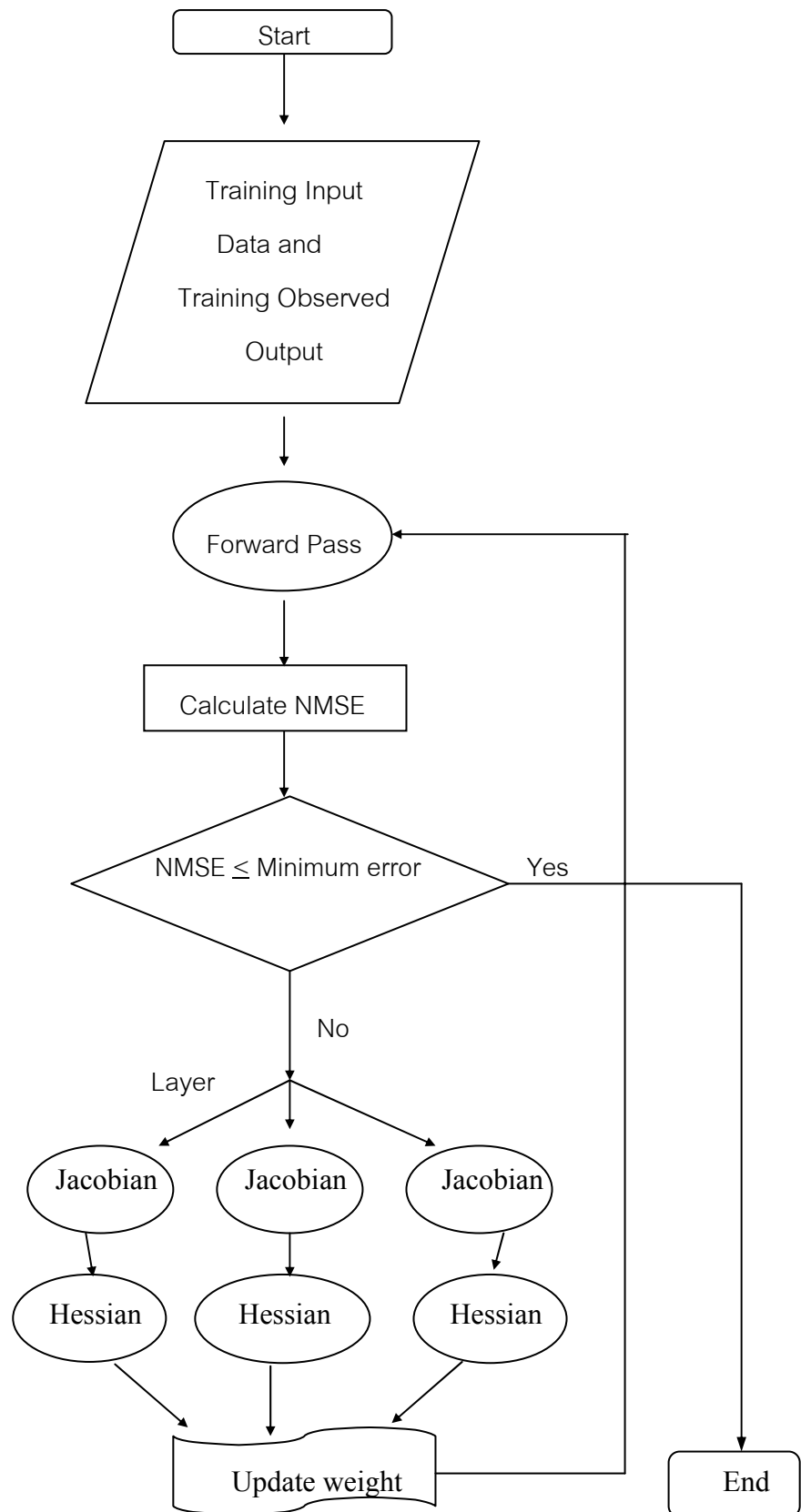
$$\Delta x_k = [H + uI]^{-1} g \quad (26)$$

9) คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักใหม่

$$x_{k+1} = x_k - \Delta x_k \quad (27)$$

10) ย้อนกลับไปทำขั้นที่ 3

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปขั้นตอนการทำงานของวิธี Levenberg-Marquardt ได้ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ขั้นตอนการทำงานของวิธี Lavenberg-Marquardt



## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. ไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. Program Matlab (version 6.5)
3. แผนที่ภูมิประเทศบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน มาตรฐาน 1:250,000
4. ข้อมูลทางอุทกวิทยาในลุ่มน้ำปิงตอนบน ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ปริมาณน้ำท่ารายวัน
5. เครื่องวัดพื้นที่ลุ่มน้ำและระยะทางของแม่น้ำ (Planimeter)

### วิธีการ

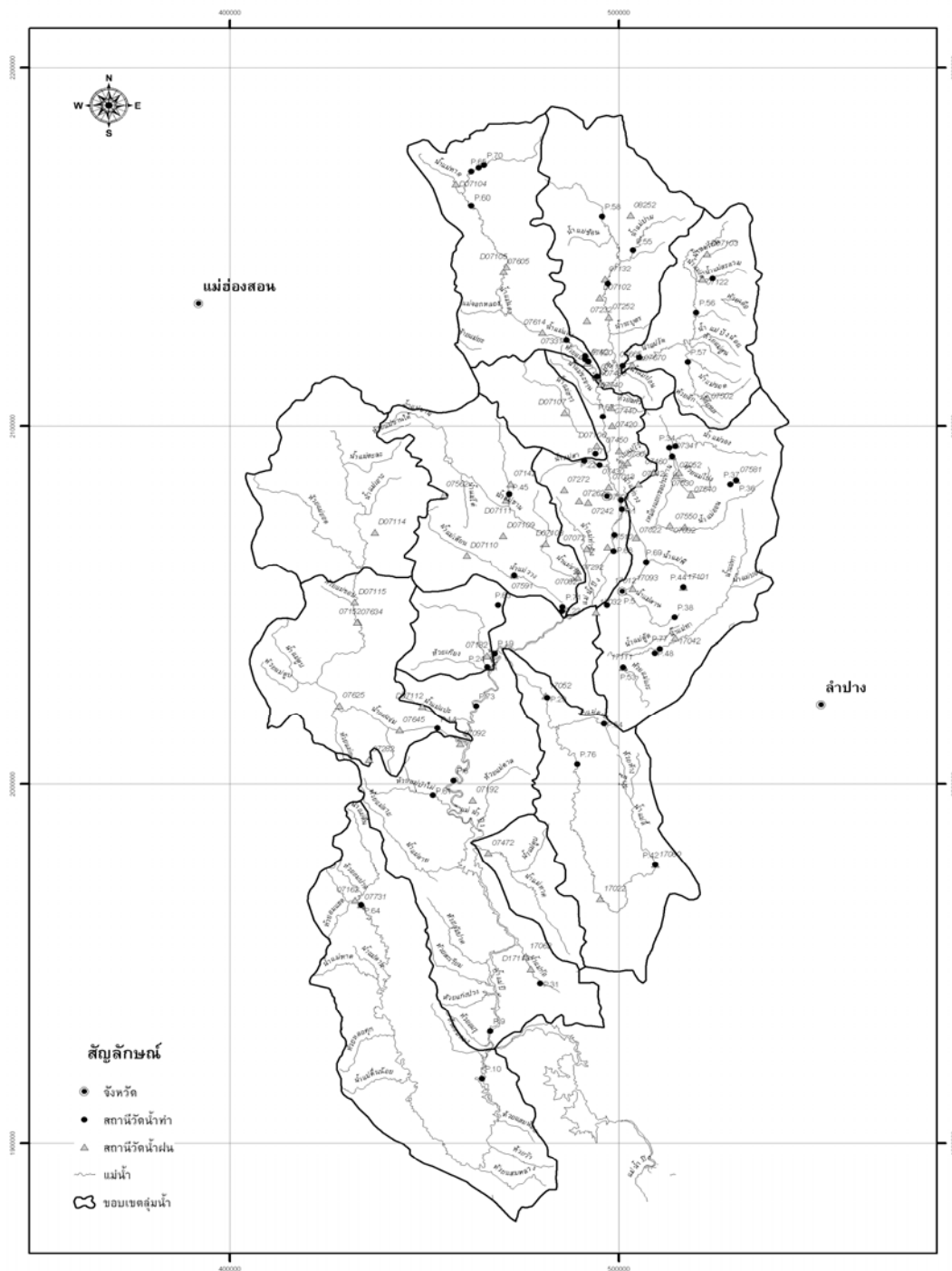
#### 1. การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

1.1 รวบรวมแผนที่ภูมิประเทศบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมาตรฐาน 1:250,000 จากกรมแผนที่ทหาร เพื่อใช้ศึกษาลักษณะภูมิประเทศเช่น พื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ความยาวแม่น้ำ (L) ความยาวแม่น้ำที่จุดเซ็นทรอยด์ (Lc) และ ความลาดชันแม่น้ำ (S) และการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนและการแบ่งลุ่มน้ำย่อยได้แสดงไว้แล้วในภาพที่ 1

#### 1.2 รวบรวมข้อมูลอุทกวิทยา

1.2.1 ข้อมูลปริมาณฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่จะทำการประเมินปริมาณน้ำท่า โดยสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนได้รวบรวมจากข้อมูลของกรมชลประทาน โดยมีสถานีวัดน้ำฝนตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 65 สถานี และจังหวัดลำพูนจำนวน 11 สถานี เป็นสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติจำนวน 11 สถานี ซึ่งพิภคที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและช่วงปีสถิติข้อมูลของแต่ละสถานีแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ก1 และตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในภาพที่ 11 การกำหนดค่าสัดส่วนการ

ถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนแต่ละสถานีที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าคำนวณได้โดยวิธี Thiessen Polygon ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนได้แสดงไว้ในตารางที่ 8



ภาพที่ 11 ที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน  
ที่ท่า: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

ตารางที่ 8 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

ลำดับที่	สถานีวัดน้ำท่า	ลุ่มน้ำย่อย	สถานีวัดน้ำฝน (ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนัก)	
1	P.20	แม่น้ำปิงส่วนที่ 1	07252 (0.14)	07112 (0.86)
2	P.13	แม่แตง	07331 (1.00)	
3	P.65	แม่แตง	07702 (1.00)	
4	P.4A	แม่แตง	07252 (1.00)	
5	P.28	แม่จัด	07122 (1.00)	
6	P.21	แม่ริม	07013 (1.00)	
7	P.34	แม่กวง	07530 (0.64)	07341 (0.36)
8	P.14	แม่แจ่ม	07152 (0.57)	07282 (0.43)
9	P.71	แม่ขาน	07142 (0.8)	07292 (0.2)
10	P.24A	แม่กลาง	07182 (1.00)	
11	P.42	แม่ลี	17022 (0.84)	17052 (0.16)
12	P.64	แม่ต๋น	07162 (1.00)	

1.2.2 ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำย่อยที่จะทำการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองนั้น ได้รวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทานซึ่งมีสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีจำนวน 50 สถานี โดยมีพิภคที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของแต่ละสถานีแสดงไว้ในตารางผนวกที่ ก2 โดยการเลือกสถานีวัดน้ำท่ามาใช้นั้นพิจารณาจาก 1. สถานีวัดน้ำท่าไม่ตั้งอยู่บนแม่น้ำปิง 2. สถานีวัดน้ำท่ามีสถิติข้อมูลมากพอต่อการนำมาศึกษา ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวทำให้สามารถเลือกสถานีวัดน้ำท่าที่นำมาศึกษาได้จำนวน 12 สถานี และพารามิเตอร์ลุ่มน้ำต่างๆ ของสถานีวัดน้ำท่าแสดงดังตารางที่ 9

1.3 ศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันและปริมาณน้ำท่ารายวันเพื่อกำหนดช่วงเวลากการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยข้อมูลจะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training) ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบ (Validation Set) และข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing) ข้อมูลทั้ง 3 ชุด จะครอบคลุมทั้งปีที่มีปริมาณน้ำท่ามาก ปริมาณน้ำท่าน้อย และปริมาณน้ำท่าปานกลาง ซึ่งข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และการตรวจสอบจะใช้

เวลาประมาณ 2 - 3 ปี และข้อมูลสำหรับการทดสอบจะใช้เวลา 3-5 ปี ช่วงเวลาสำหรับการเรียนรู้และการทดสอบแบบจำลองของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าได้แสดงไว้ในตารางที่ 10 ทั้งนี้ช่วงเวลากการเรียนรู้และตรวจสอบของแต่ละสถานีไม่ใช่ปีที่เหมือนกันเนื่องจากสาเหตุ 1) สถานีวัดน้ำท่าบางสถานีไม่มีข้อมูลในปีนั้น 2) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในปีนั้นไม่มีความสอดคล้องกัน

ตารางที่ 9 พารามิเตอร์ลุ่มน้ำต่างๆ ของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

ลำดับที่	สถานีวัดน้ำท่า	A (km <sup>2</sup> )	L (km)	Lc (km)	Slope	
					S	1 : x
1	P.65	240	37.18	14.69	0.01099	1:90.992
2	P.42	315	47.82	27.48	0.02030	1:49.254
3	P.24A	460	41.19	24.67	0.03740	1:26.738
4	P.64	503	43.84	18.35	0.04458	1:22.429
5	P.21	515	47.33	26.6	0.01213	1:82.440
6	P.34	566	41.77	20.15	0.01450	1:68.966
7	P.28	1261	81.38	37.08	0.00699	1:143.062
8	P.20	1355	84.97	44.04	0.00942	1:106.157
9	P.13	1765	127.45	55.17	0.00517	1:193.424
10	P.71	1777	112.39	53.43	0.00666	1:150.150
11	P.4A	1902	148.14	69.04	0.00411	1:243.309
12	P.14	3853	194.16	99.6	0.00437	1:228.833

ตารางที่ 10 ช่วงเวลาสำหรับการเรียนรู้ ตรวจสอบและทดสอบแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียมของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

ลำดับที่	สถานีวัดน้ำท่า	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ช่วงเวลา การเรียนรู้	ช่วงเวลา การตรวจสอบ	ช่วงเวลา กาทดสอบ
1	P.65	240	2538 – 2539	2540 – 2541	2536 – 2537
2	P.42	315	2533 – 2535	2528 – 2530	2536 – 2538
3	P.24A	460	2542 – 2546	2529 – 2533	2534 – 2541

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลำดับที่	สถานี วัดน้ำท่า	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ช่วงเวลา การเรียนรู้	ช่วงเวลา การตรวจสอบ	ช่วงเวลา การทดสอบ
4	P.64	503	2544 – 2545	2541 – 2542	2535 – 2540
5	P.21	515	2544 – 2546	2531 – 2533	2534 – 2537
6	P.34	566	2519 – 2521	2518 – 2520	2522 – 2524
7	P.28	1,261	2516 – 2518	2522 – 2524	2512 – 2515
8	P.20	1,355	2544 – 2546	2531 – 2533	2534 – 2539
9	P.13	1,765	2521 – 2523	2511 – 2513	2514 – 2519
10	P.71	1,777	2542 – 2544	2539 – 2541	2545 – 2546
11	P.4A	1,902	2538 – 2539	2536 – 2537	2543 – 2545
12	P.14	3,853	2543 – 2545	2528 – 2529	2532 – 2537

## 2. การเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

1. การหาจำนวนข้อมูลด้านเข้าที่เหมาะสมที่มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ เป็นวิธีในการจัดกลุ่มของสถานีวัดน้ำท่าเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการเรียนรู้
2. การเรียนรู้แบบจำลอง เป็นวิธีในการหาโครงสร้างของแบบจำลองที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มลุ่มน้ำย่อย และ
3. การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 12

### 2.1 ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง

1) ขอบเขตข้อมูลด้านเข้า เนื่องจากโครงสร้างของแบบจำลองประกอบด้วย Input Layer , Hidden Layer และ Output Layer ดังนั้นการหาข้อมูลด้านเข้าที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่จะทำให้โครงสร้างของแบบจำลองมีประสิทธิภาพที่ดี ในการศึกษา Input Layer จะใช้ข้อมูลและค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า (Antecedent Precipitation Index , API) ณ วันปัจจุบัน ซึ่งค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้าเป็นตัวแทนความชื้นในชั้นดิน ปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ (Areal

Rainfall) ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 1 ถึง 7 วัน และสำหรับ Output Layer จะใช้เป็นความลึกของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ (Depth) ณ วันปัจจุบัน ซึ่งค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้าและปริมาณความลึกของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำหาได้จากสมการต่อไปนี้ (Descroix et al., 2002)

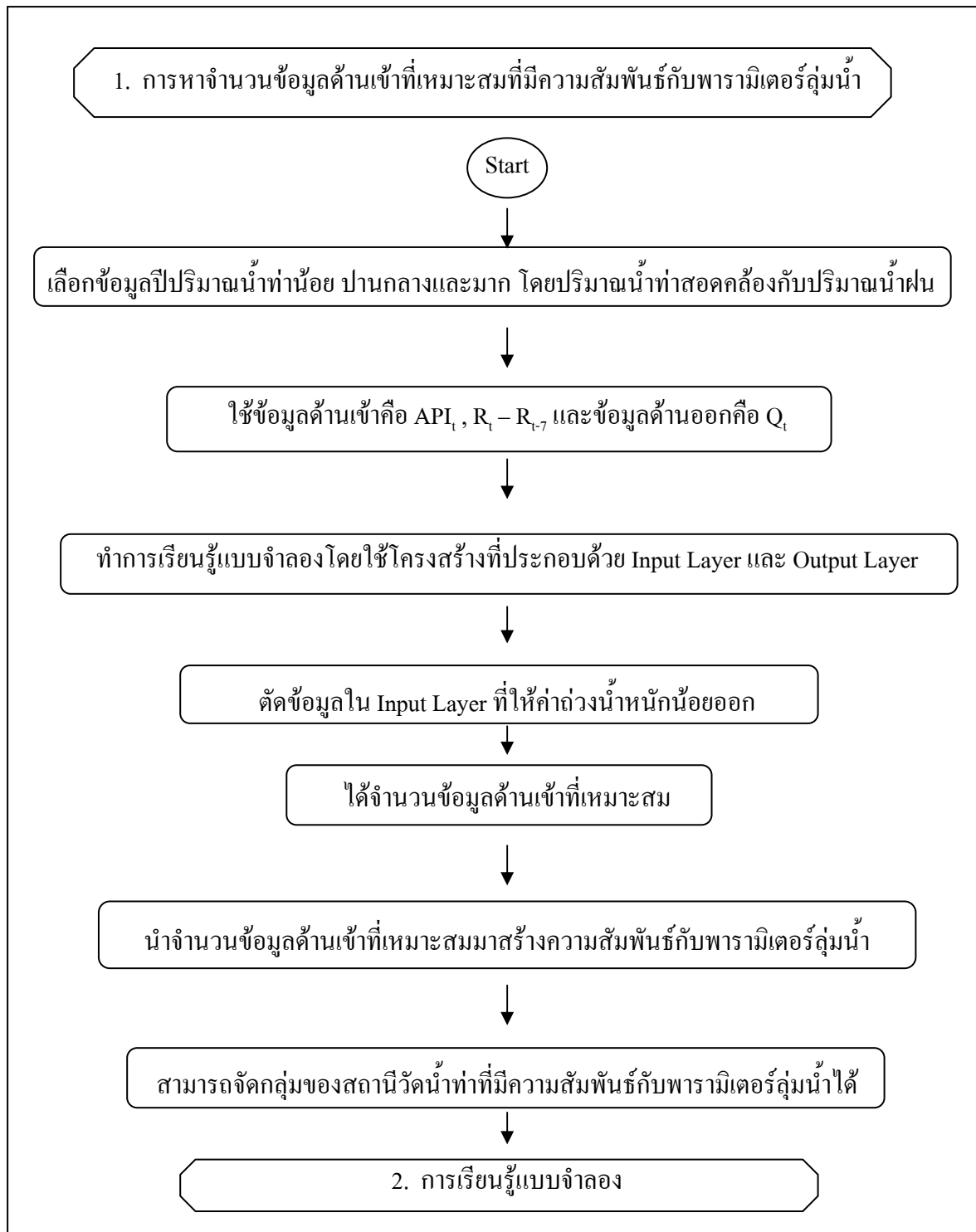
$$API_t = (API_{t-1} + P_{t-1}) e^{-\alpha \Delta t} \quad (28)$$

เมื่อ  $API$  = ดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า  
 $P$  = ปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ (Areal Rainfall)  
 $t, t-1$  = วันปัจจุบัน และวันก่อนหน้า 1 วัน ตามลำดับ  
 $\Delta t$  = ช่วงเวลา 1 วัน  
 $\alpha$  = ค่าคงที่ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ค่า 0.01

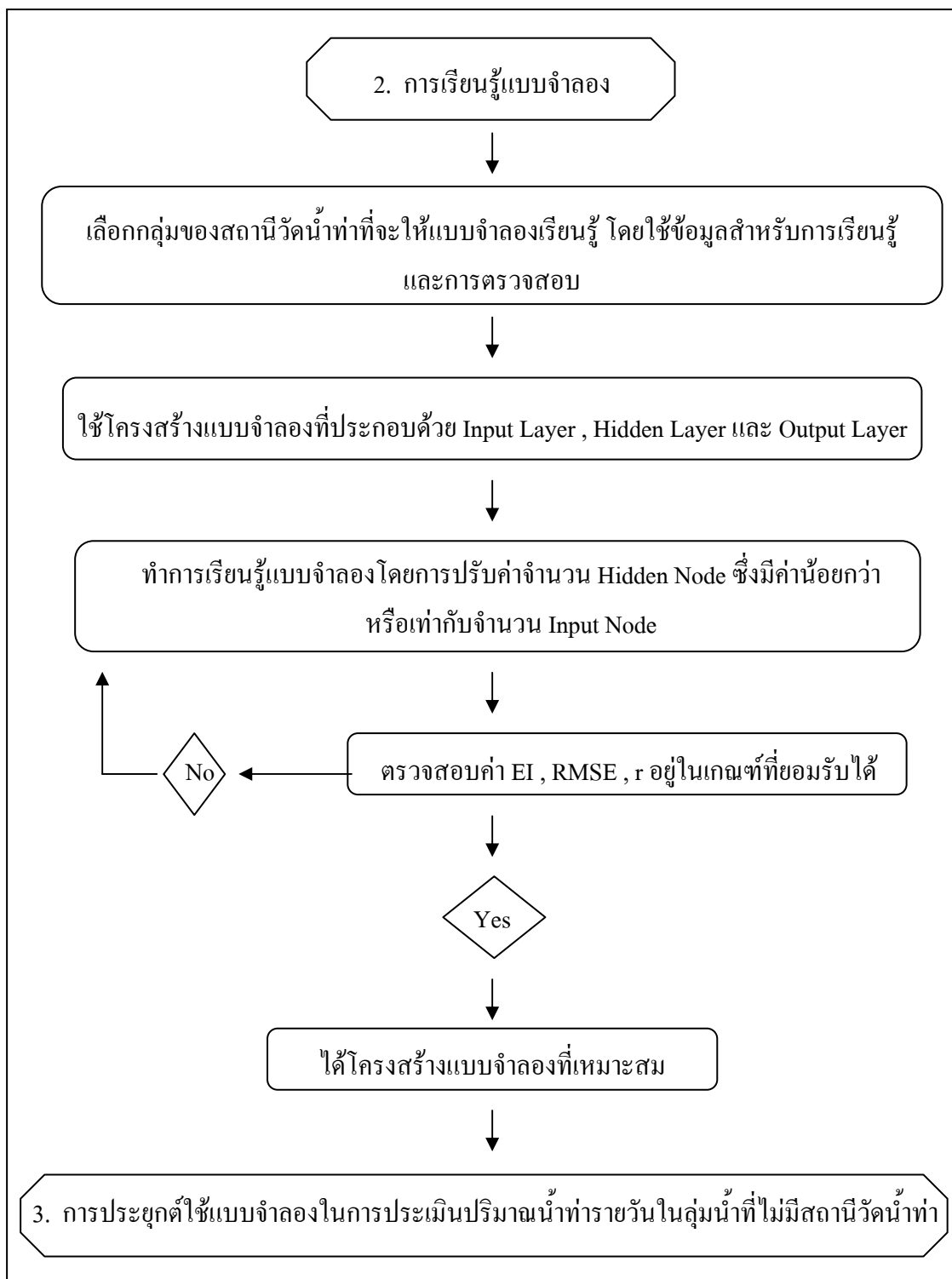
$$\text{และ } Depth = \frac{Q \Delta t}{A} \quad (29)$$

เมื่อ  $Depth$  = ความลึกของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ (ม.)  
 $Q$  = อัตราการไหลเฉลี่ยรายวัน (ลบ.ม. / วินาที)  
 $\Delta t$  = ช่วงเวลา 1 วัน  
 $A$  = พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.ม.)

2) การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้านเข้าและพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ จะใช้โครงสร้างที่มีเฉพาะ Input Layer และ Output Layer ซึ่งภายหลังการคำนวณจะพิจารณาสัดส่วนของค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ที่เกิดขึ้นระหว่าง Input Node ต่อ Output Node โดย Input Node ที่ประกอบด้วยดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 1 ถึง 7 วัน ที่ให้สัดส่วนของค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ Input Node ตัวอื่นๆ จะถูกตัดออก จากนั้นเมื่อได้ข้อมูลด้านเข้าที่เหมาะสมแล้วก็นำข้อมูลด้านเข้าที่เหมือนกันของแต่ละสถานีวัดน้ำท่ามาจัดกลุ่มและสร้างความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำ ความยาวลำน้ำ เป็นต้น

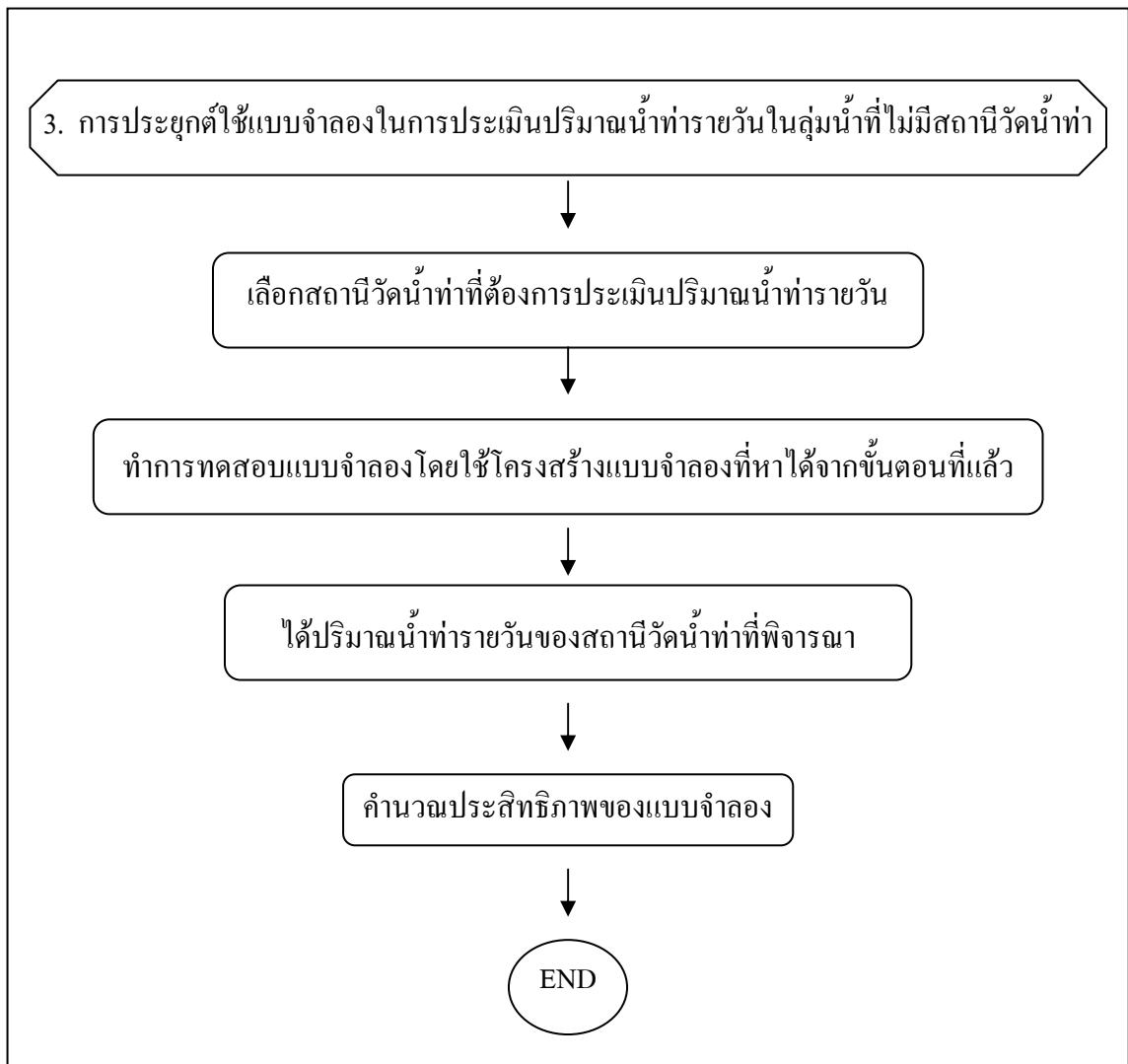


ภาพที่ 12 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำทำรายวันในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีวัดน้ำทำ



ภาพที่ 12 (ต่อ)





ภาพที่ 12 (ต่อ)

2) การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้านเข้าและพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ จะใช้โครงสร้างที่มีเฉพาะ Input Layer และ Output Layer ซึ่งภายหลังการคำนวณจะพิจารณาสัดส่วนของค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ที่เกิดขึ้นระหว่าง Input Node ต่อ Output Node โดย Input Node ที่ประกอบด้วยดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 1 ถึง 7 วัน ที่ให้สัดส่วนของค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ Input Node ตัวอื่นๆ จะถูกตัดออก จากนั้นเมื่อได้ข้อมูลด้านเข้าที่เหมาะสมแล้วก็นำข้อมูลด้านเข้าที่เหมือนกันของแต่ละสถานีวัดน้ำท่ามาจัดกลุ่มและสร้างความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำ ความยาวลำน้ำ เป็นต้น

3) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) และค่าเบี่ยงเบน (Bias) ได้จากการสุ่ม (Random) ในแบบจำลอง

4) ฟังก์ชันแปลง (Transfer Function) ในการศึกษาจะใช้ฟังก์ชันแปลงชนิด Sigmoid Function ซึ่งเป็นฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

## 2.2 การประมวลผลข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองมีอยู่หลายรูปแบบและมีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้นทั้งข้อมูลด้านเข้าและผลลัพธ์จะต้องนำมาผ่านกระบวนการ Normalization ก่อนนำไปใช้ในแบบจำลอง สำหรับการศึกษานี้จะใช้ฟังก์ชันลอการิทึมในการปรับข้อมูลให้อยู่ในช่วง  $[0, 1]$  แต่ในการใช้จริงจะอยู่ในช่วง  $[0.05, 0.95]$  แทนช่วง  $[0, 1]$  เนื่องจากค่าลอการิทึมจะไม่มีค่าเป็น 0 และ 1 แต่มีค่าเข้าใกล้ค่า 0 และ 1

การปรับข้อมูลก่อนและหลังการประมวลผล โดยสมมติให้ค่า  $a$  และ  $A$  เป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดของอนุกรมข้อมูลที่จะนำมาใช้ ดังนั้นค่าข้อมูลจริง  $x_i$  จะถูกปรับเป็น  $x'_i$  ในช่วง  $[0.05, 0.95]$  โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$x'_i = \frac{0.9(x_i - a)}{A - a} + 0.05 \quad (30)$$

และเมื่อได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกปรับให้เป็นค่าข้อมูลจริงเพื่อนำไปใช้งานต่อไป โดยการปรับข้อมูลกระทำได้โดยสมการต่อไปนี้

$$x_i = \frac{(A - a)(x'_i - 0.05)}{0.9} + a \quad (31)$$

เมื่อ  $x_i$  = ค่าข้อมูลจริง  
 $a$  = ค่าต่ำสุดของข้อมูล  
 $A$  = ค่าสูงสุดของข้อมูล

$$x'_i = \text{ค่าที่ถูกปรับ}$$

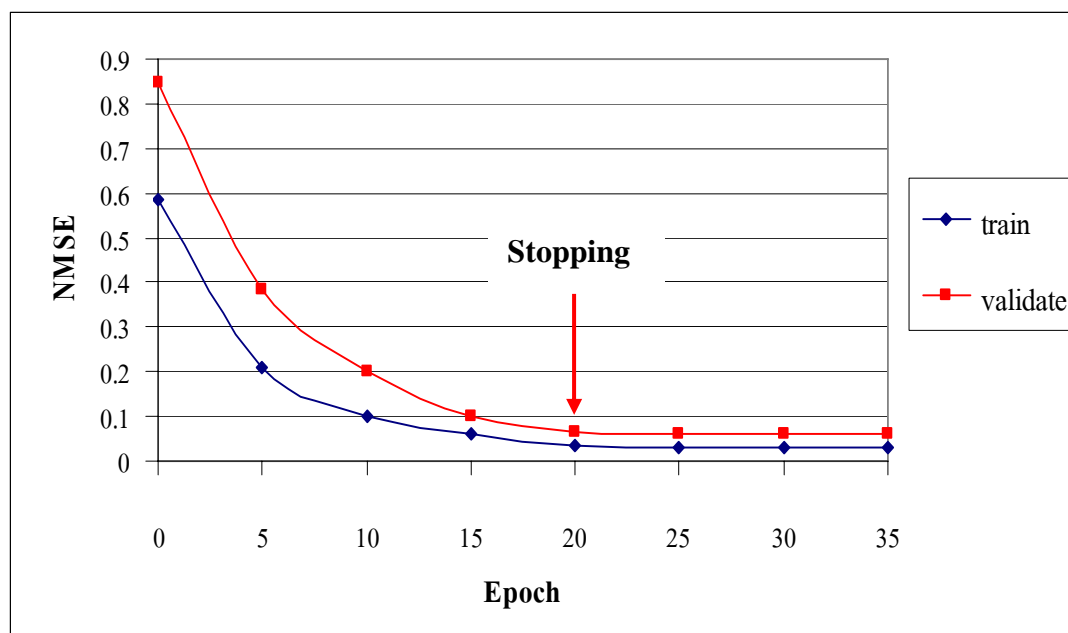
### 2.3 กระบวนการเรียนรู้และทดสอบ

ในการศึกษานี้กระบวนการเรียนรู้และทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งได้ 2 กรณี คือ 1. สถานีทุกสถานีที่อยู่ในกลุ่มสถานีวัดน้ำท่าจะใช้ในการเรียนรู้และทดสอบ 2. สถานีที่ใช้ในการทดสอบจะไม่นำมาใช้ในขั้นตอนการเรียนรู้ โดยสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการเรียนรู้และทดสอบของแต่ละกรณีแสดงดังตารางที่ 11

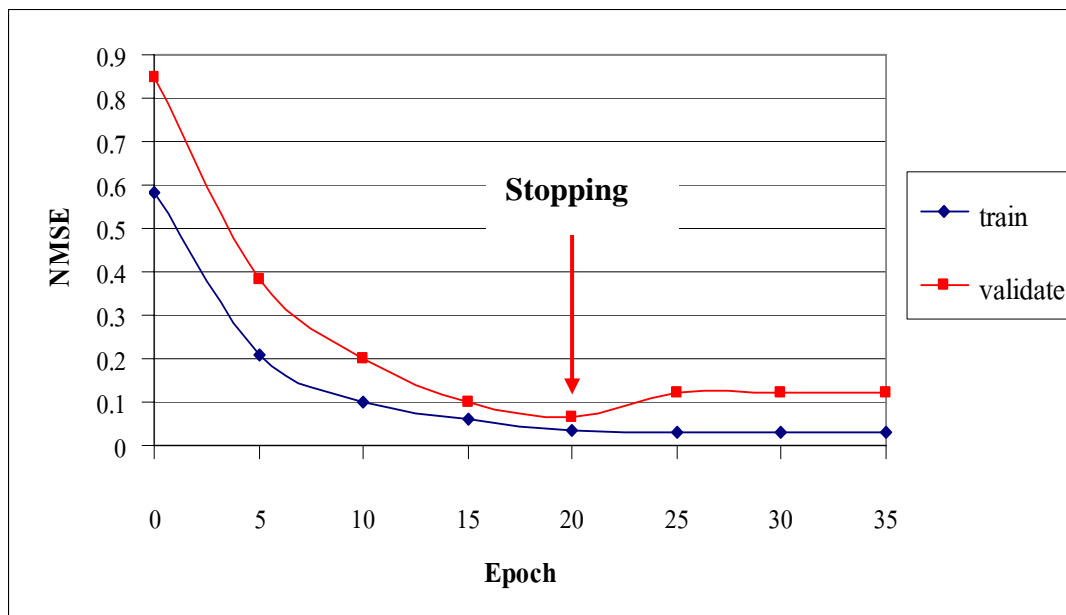
ตารางที่ 11 สถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการเรียนรู้และทดสอบของกรณีต่างๆ

กรณี	กลุ่ม	สถานีวัดน้ำท่า	
		การเรียนรู้	การทดสอบ
1	1	P.65 , P.42 , P.24A , P.64 , P.21 , P.34	P.65 , P.42 , P.24A , P.64 , P.21 , P.34
	2	P.28 , P.20 , P.13 , P.71 , P.4A , P.14	P.28 , P.20 , P.13 , P.71 , P.4A , P.14
2	1	P.42 , P.24A , P.64 , P.21 , P.34	P.65
		P.65 , P.24A , P.64 , P.21 , P.34	P.42
		P.65 , P.42 , P.64 , P.21 , P.34	P.24A
		P.65 , P.42 , P.24A , P.21 , P.34	P.64
		P.65 , P.42 , P.24A , P.64 , P.34	P.21
		P.65 , P.42 , P.24A , P.64 , P.21	P.34
2	2	P.20 , P.13 , P.71 , P.4A , P.14	P.28
		P.28 , P.13 , P.71 , P.4A , P.14	P.20
		P.28 , P.20 , P.71 , P.4A , P.14	P.13
		P.28 , P.20 , P.13 , P.4A , P.14	P.71
		P.28 , P.20 , P.13 , P.71 , P.14	P.4A
		P.28 , P.20 , P.13 , P.71 , P.4A	P.14

ในกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองอาจเกิดการเรียนรู้มากเกินไป (Overtraining หรือ Overfitting) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้มีแนวโน้มเริ่มลดลงและเริ่มคงที่ แต่ไม่ได้ทำให้แบบจำลองหยุดการเรียนรู้จึงมีผลให้แบบจำลองเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลที่ฝึก ดังนั้นเพื่อป้องกันการเรียนรู้มากเกินไป ในกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองได้ใช้ข้อมูล 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วรอบการคำนวณ (Epoch) ที่เหมาะสมของ Hidden Node นั้นสามารถหาได้ 2 วิธี คือ 1. เมื่อความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และตรวจสอบมีแนวโน้มเริ่มลดลงและเริ่มคงที่ ให้แบบจำลองหยุดการคำนวณ เพราะถ้าให้แบบจำลองทำการคำนวณต่อไปจะใช้เวลามากเกินไปเนื่องจากค่าความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นทศนิยมตำแหน่งที่ 6 ตัวอย่างของวิธีการที่ 1 แสดงดังภาพที่ 13 2. เมื่อความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้มีแนวโน้มเริ่มลดลงแต่ชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบมีค่าเพิ่มขึ้น ให้แบบจำลองหยุดการคำนวณ ตัวอย่างของวิธีการที่ 2 แสดงดังภาพที่ 14 การที่แบบจำลองไม่เกิดการเรียนรู้มากเกินไปจะทำให้มีประสิทธิภาพที่ดีทั้งในกระบวนการเรียนรู้และกระบวนการทดสอบ ซึ่งประสิทธิภาพของแบบจำลองพิจารณาจากตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัด



ภาพที่ 13 การหารอบการคำนวณที่เหมาะสมของ Hidden Node ด้วยวิธีที่ 1



ภาพที่ 14 การหาค่าจำนวนที่เหมาะสมของ Hidden Node ด้วยวิธีที่ 2

### 3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการศึกษานี้ใช้ตัวแปรทางสถิติ 3 ชนิดคือ Correlation Coefficient ( $r$ ), Root Mean Square Error (RMSE), Efficiency Index (EI) และ Water Balance Error (WBE) ในการพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งในกระบวนการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลอง

1) Correlation Coefficient ( $r$ ) เป็นตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear Relationship) ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัด มีค่าระหว่าง  $-1$  ถึง  $1$  ซึ่งค่าที่เท่ากับ  $1$  หรือ  $-1$  จะแสดงความสัมพันธ์แบบเส้นตรงที่ดีที่สุด โดยค่าที่เท่ากับ  $1$  จะแสดงความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน ส่วนค่าที่เท่ากับ  $-1$  จะแสดงความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้าม สำหรับค่าที่เท่ากับ  $0$  แสดงว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กัน (No Linear Relation) ซึ่งค่า  $r$  สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{obs,i} \cdot Q_{sim,i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N Q_{obs,i}^2 \cdot \sum_{i=1}^N Q_{sim,i}^2}} \quad (32)$$

2) Root Mean Square Error (RMSE) เป็นตัวแปรทางสถิติที่แสดงความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Absolute Error) ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัด ควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งค่า RMSE สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$RMSE = \left( \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{N} \right)^{1/2} \quad (33)$$

3) Efficiency Index (EI) เป็นตัวแปรทางสถิติที่แสดงระดับความสัมพันธ์ (Degree of Association) ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัด ค่าที่ยอมรับได้ควรมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งค่า EI สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$EI = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2} \right) \times 100 \quad (34)$$

4) Water Balance Error (WBE) เป็นตัวแปรทางสถิติที่แสดงความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าสะสมระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัด ควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งค่า WBE สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$WBE = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{sim,i} - \sum_{i=1}^N Q_{obs,i}}{\sum_{i=1}^N Q_{obs,i}} \times 100 \quad (35)$$

เมื่อ  $Q_{obs}$  = ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด  
 $Q_{sim}$  = ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง  
 $N$  = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

## ผลและวิจารณ์

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลุ่มน้ำกับจำนวนข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าเพื่อใช้ในการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำย่อยต่างๆที่นำมาศึกษาได้แก่ แม่น้ำปิงส่วนที่ 1 (P.20) แม่แดง (P.4A, P.13, P.65) แม่จัด (P.28) แม่ริม (P.21) แม่กวง (P.34) แม่แจ่ม (P.14) แม่ขาน (P.71) แม่กลาง (P.24A) แม่ลี (P.42) และแม่ตื่น (P.64) จำนวน 12 สถานี ซึ่งผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลุ่มน้ำกับจำนวนข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง ผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

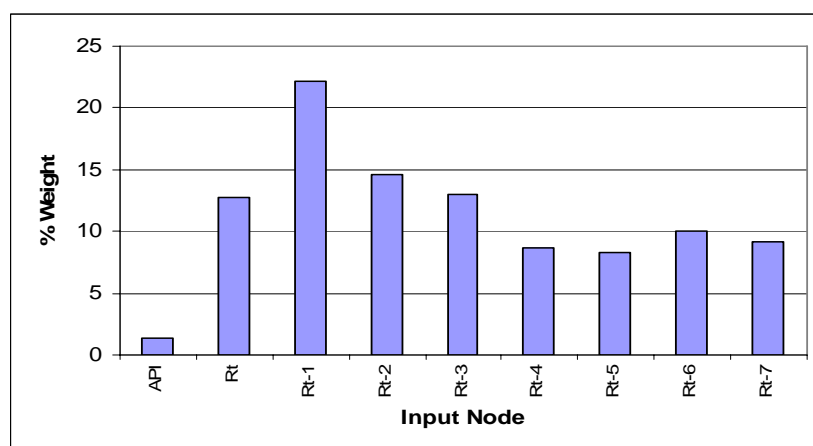
### 1. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลุ่มน้ำกับจำนวนข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลุ่มน้ำกับจำนวนข้อมูลด้านเข้า (Input Node) ของแบบจำลองจะใช้โครงสร้างแบบจำลองที่มีเฉพาะ Input Layer และ Output Layer ซึ่งภายหลังการคำนวณจะพิจารณาสัดส่วนของค่าถ่วงน้ำหนักที่เกิดขึ้นระหว่าง Input Node ต่อ Output Node โดยสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของ Input Node ที่มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ Input Node ตัวอื่นๆ จะถูกตัดออก โดยความสัมพันธ์ของค่าถ่วงน้ำหนักกับ Input Node ของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ แสดงดังภาพที่ 15 - 26 ซึ่งข้อมูลด้านเข้าที่ถูกเลือกจากวิธีการดังกล่าวของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 12 และเมื่อนำค่าปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ (R) ที่เวลาย้อนหลังต่างๆ (lagtime) ของแต่ละสถานีวัดน้ำท่ามาสร้างความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ลุ่มน้ำต่างๆในตารางที่ 9 ผลการศึกษาพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ลุ่มน้ำดังแสดงในภาพที่ 27 - 30 โดยมีค่า  $r$  อยู่ระหว่าง -0.42 ถึง -0.32 แต่เมื่อนำสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน (API) ของแต่ละสถานีวัดน้ำท่ามาสร้างความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ลุ่มน้ำต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 31 - 34 พบว่าการแบ่งกลุ่มของสถานีวัดน้ำท่าโดยใช้พารามิเตอร์ลุ่มน้ำ ไม่ว่าจะใช้พารามิเตอร์ชนิดไหนในการแบ่งกลุ่มจะสามารถแบ่งกลุ่มของสถานีวัดน้ำท่าได้ 2 กลุ่มที่เหมือนกัน แต่เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถหาได้ง่ายที่สุด ดังนั้นต่อไปนี้จะใช้พื้นที่ลุ่มน้ำในการแบ่งกลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำน้อยกว่า 1,000 ตร.กม. ประกอบด้วยสถานี P.65 , P.42

, P.24A , P.64 , P.21 และ P.34 และกลุ่มที่ 2 สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำมากกว่า 1,000 ตร.กม. ประกอบด้วย สถานี P.28 , P.20 , P.13 , P.71 , P.4A และ P.14

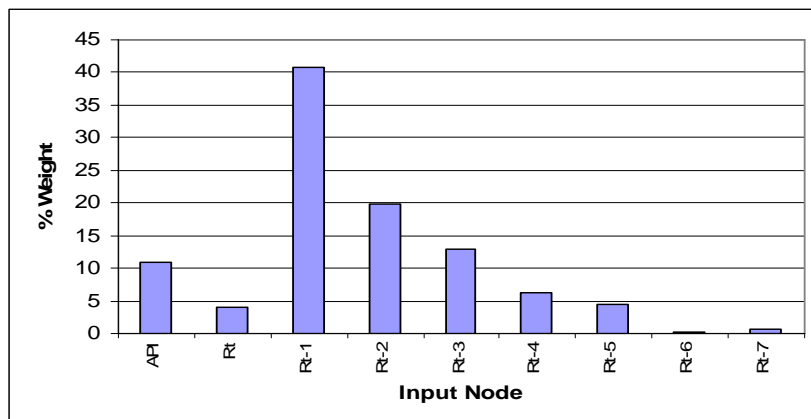
ตารางที่ 12 ข้อมูลด้านเข้าที่ถูกเลือกของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ที่พิจารณา

ลำดับที่	สถานีวัดน้ำท่า	Lagtime (day)	
		API	R
1	P.65	t	t-7
2	P.42	t	t-5
3	P.24A	t	t-7
4	P.64	t	t-7
5	P.21	t	t-6
6	P.34	t	t-4
7	P.28	t	t-4
8	P.20	t	t-3
9	P.13	t	t-3
10	P.71	t	t-5
11	P.4A	t	t-7
12	P.14	t	t-4

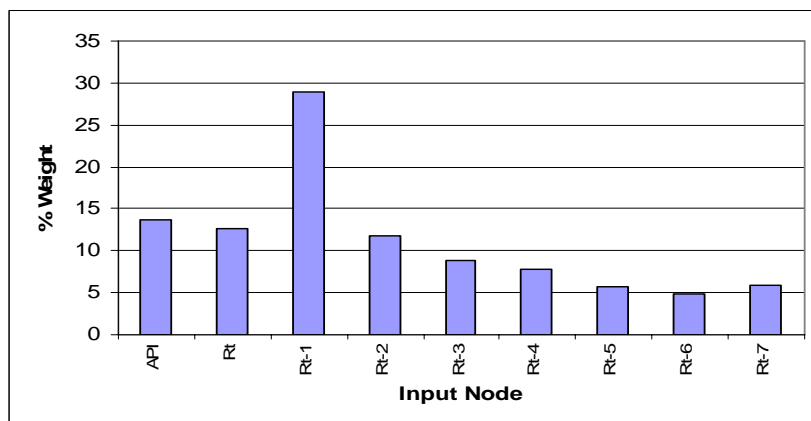


ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.65

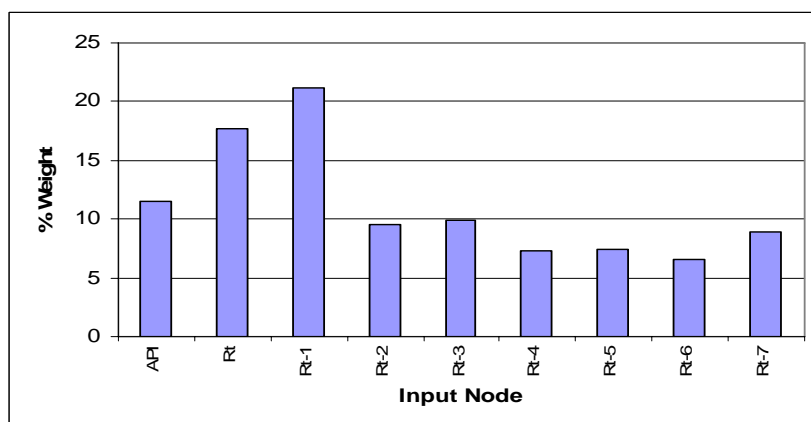




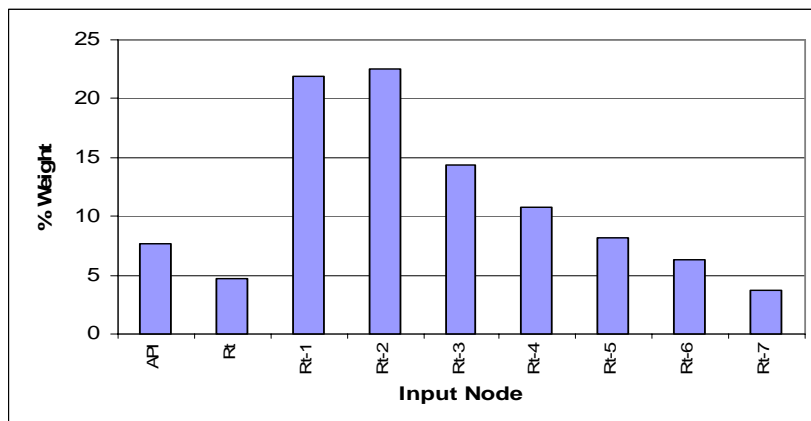
ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.42



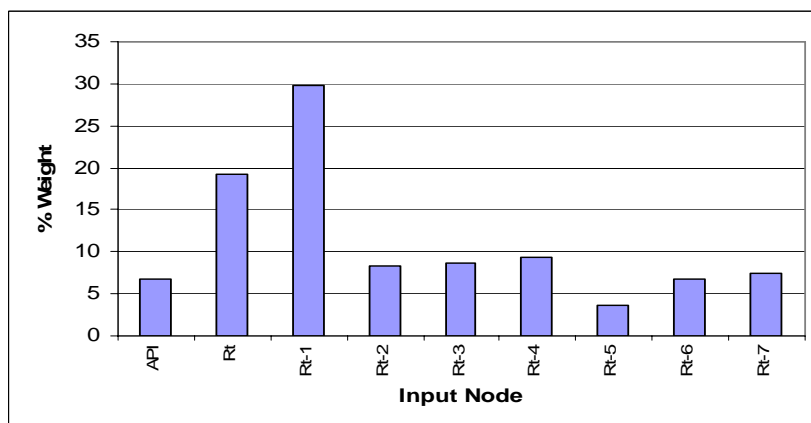
ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.24A



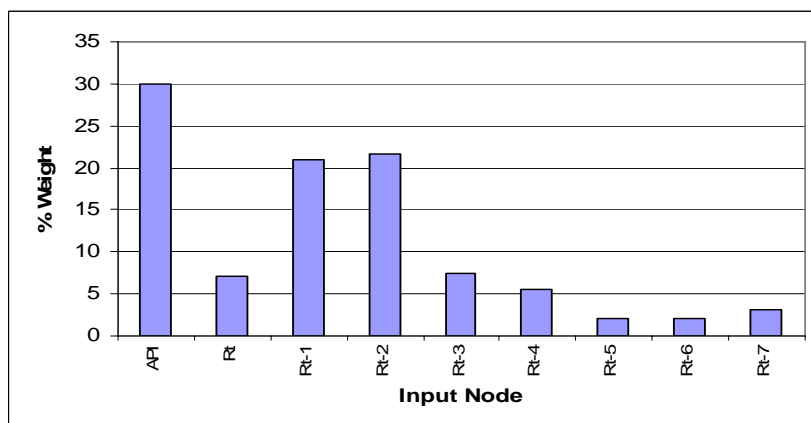
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.64



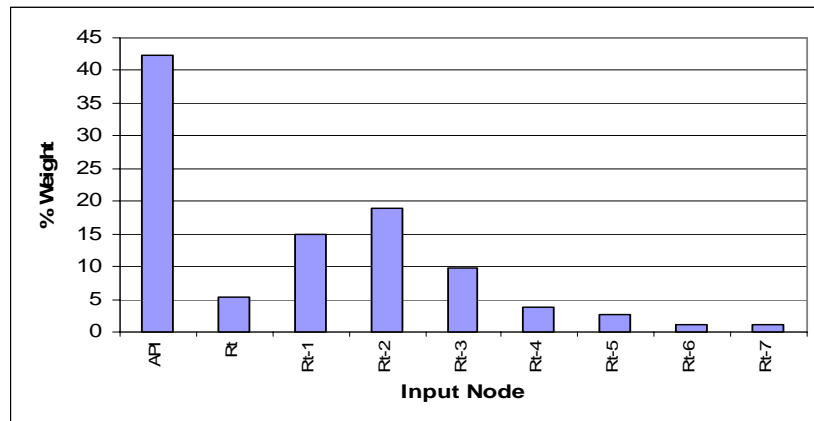
ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.21



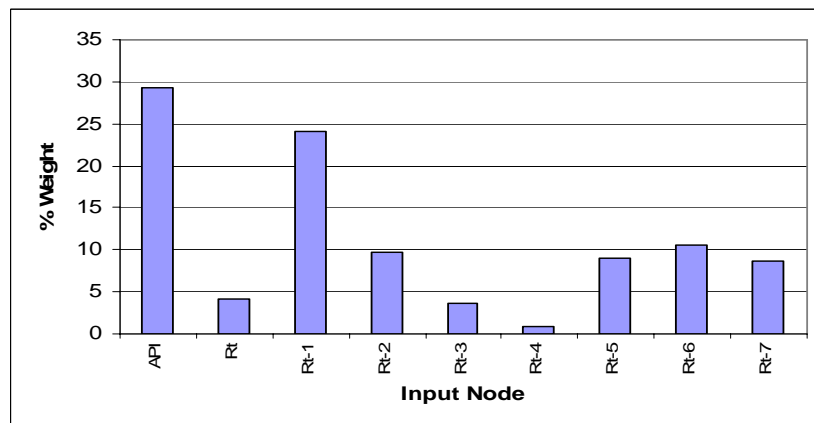
ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.34



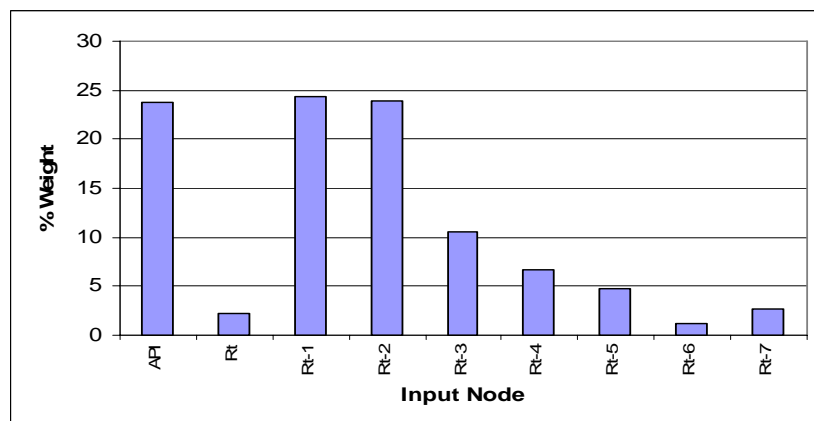
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.28



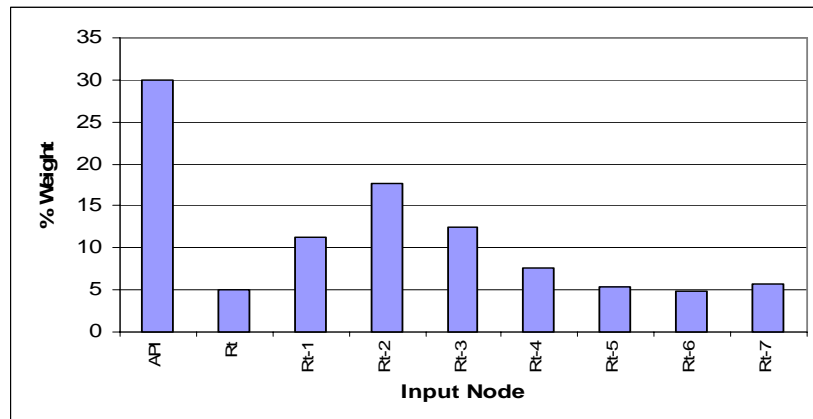
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.20



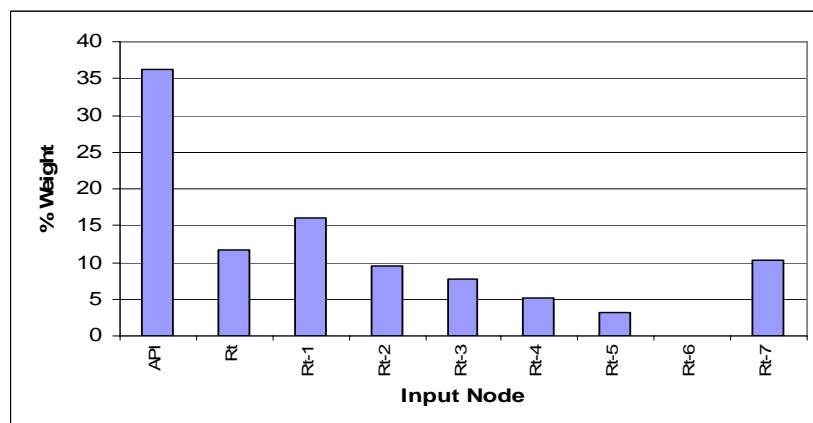
ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.13



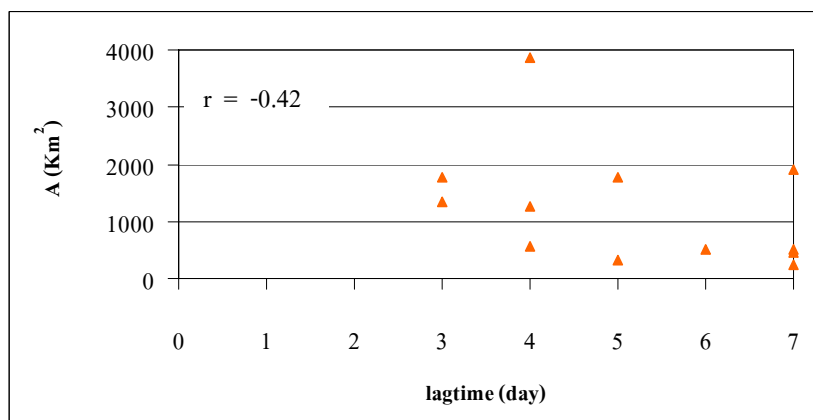
ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.71



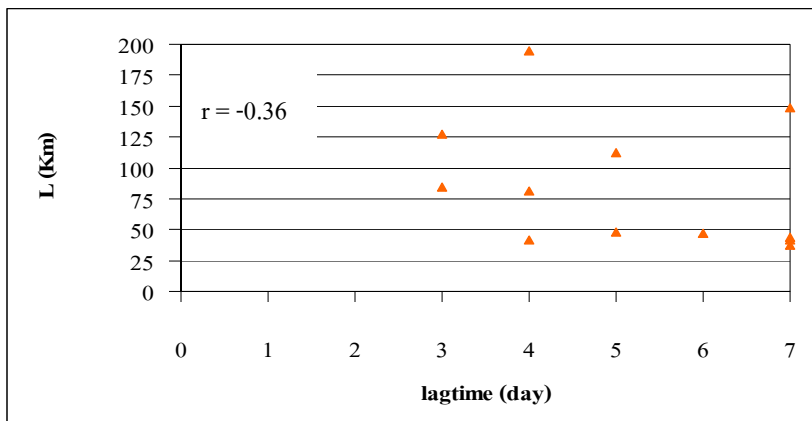
ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.4A



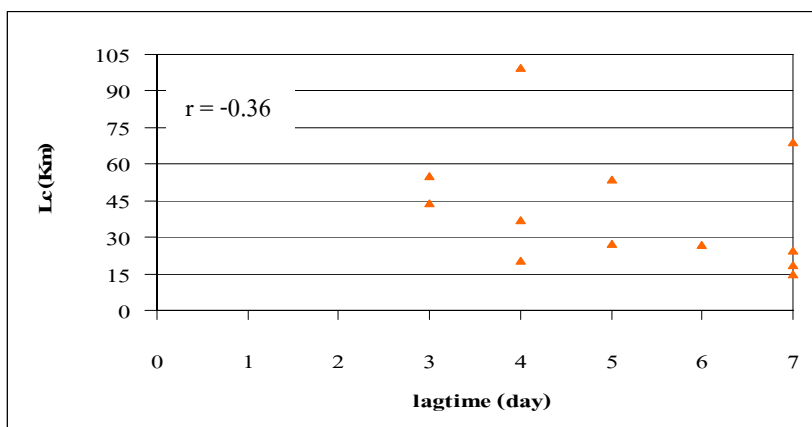
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ของ Input Node กับ ค่าถ่วงน้ำหนักของสถานี P.14



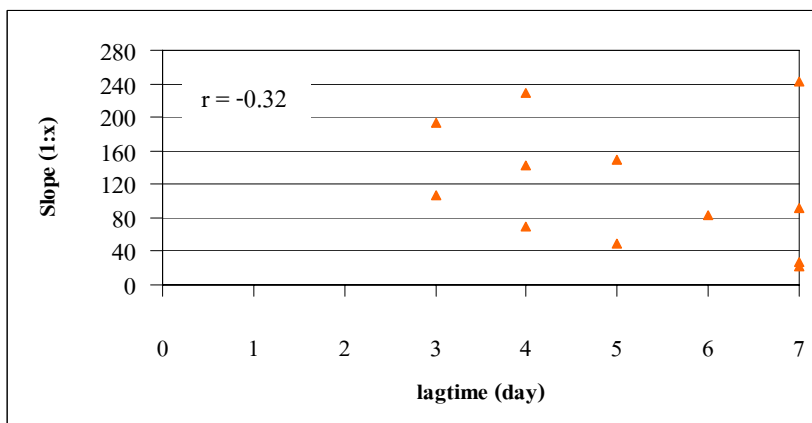
ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ลุ่มน้ำกับ Lagtime ของข้อมูลฝน



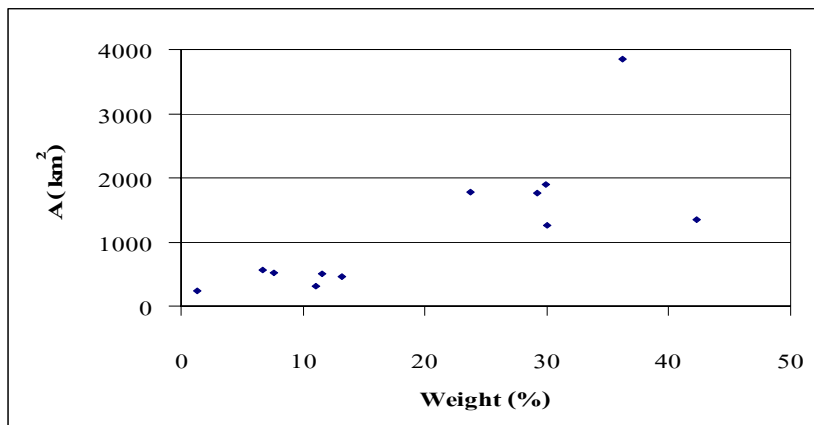
ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ของความยาวแม่น้ำกับ Lagtime ของข้อมูลฝน



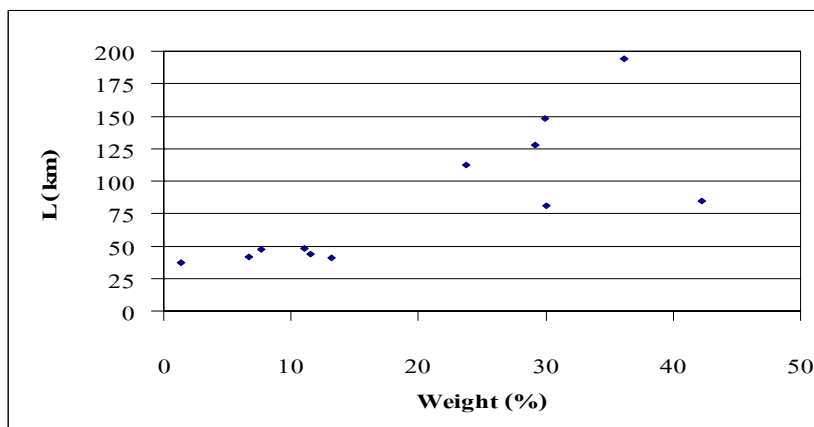
ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ของความยาวแม่น้ำที่จุดเขื่อนทรอยด์กับ Lagtime ของข้อมูลฝน



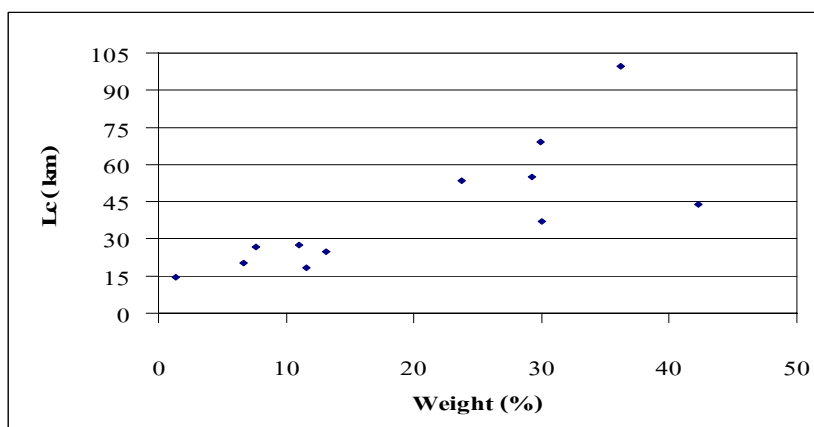
ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ของความลาดชันแม่น้ำกับ Lagtime ของข้อมูลฝน



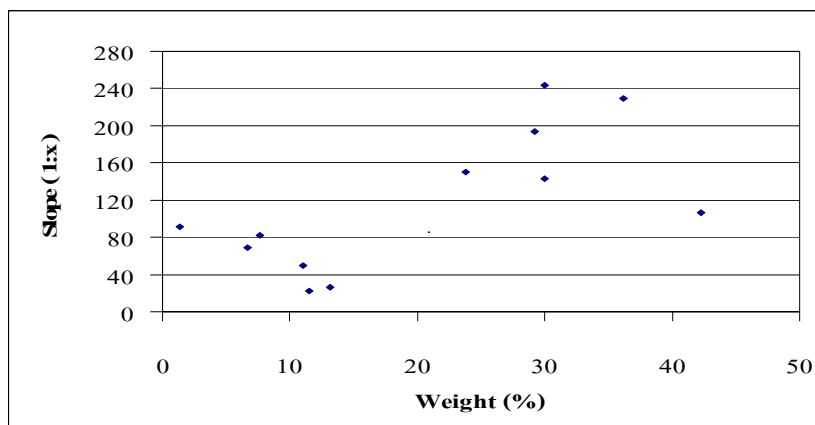
ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ลุ่มน้ำกับสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของ API



ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ของของความยาวแม่น้ำกับสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของ API



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ของความยาวแม่น้ำที่จุดเขื่อนทรอยด์กับสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของ API

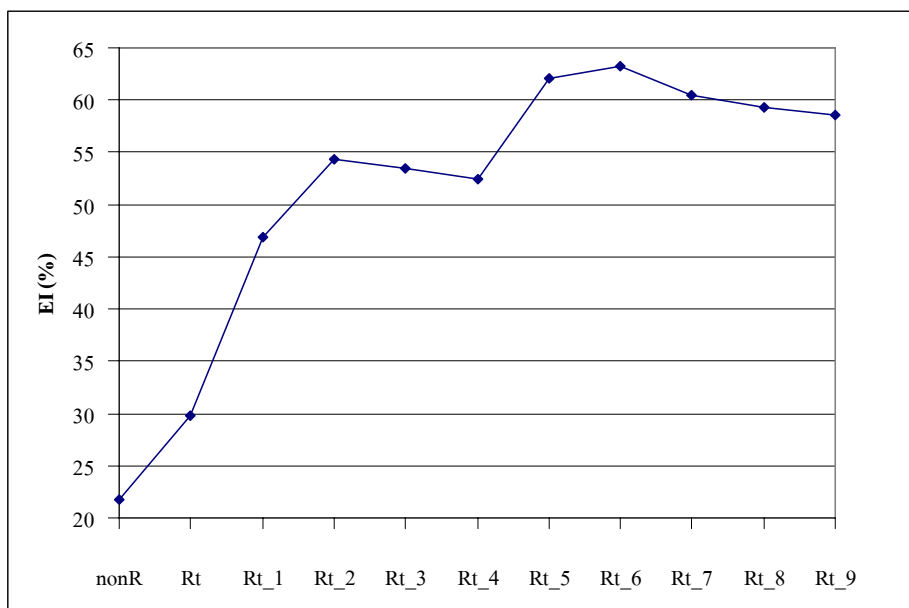


ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ของความลาดชันแม่น้ำกับสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของ API

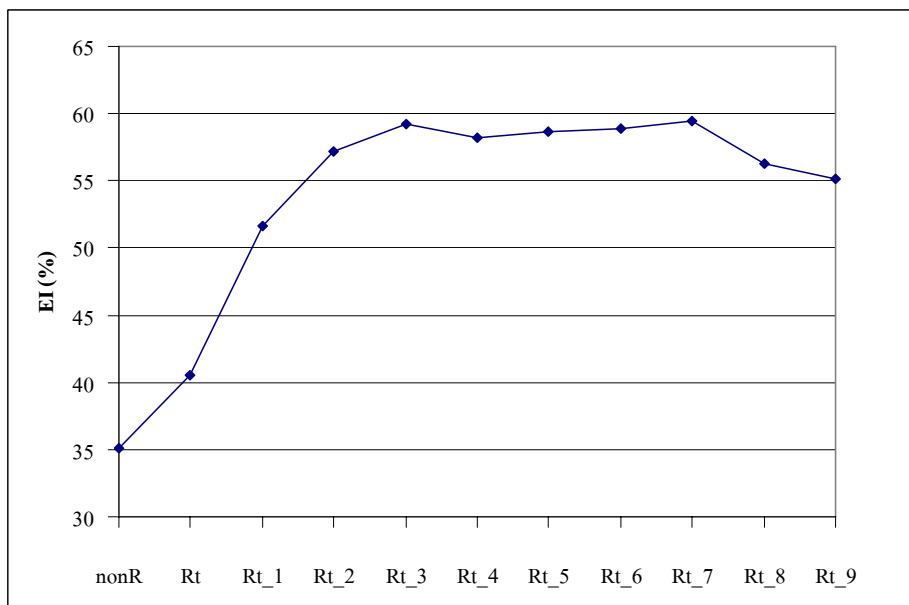
จากนั้นได้ทำการหาจำนวนข้อมูลด้านเข้าที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดของทั้ง 2 กลุ่ม โดยใช้ค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 9 วัน เป็นข้อมูลด้านเข้าซึ่งสาเหตุที่ใช้ค่าปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 9 วันในขั้นตอนนี้เพื่อแสดงให้เห็นว่า การใช้ค่าดังกล่าวมากเกินไปจนความจำเป็น ซึ่งในความเป็นจริงแล้วใช้ค่าปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบัน และวันก่อนหน้า 7 วัน สำหรับการศึกษาก็เพียงพอ โดยผลการศึกษาพบว่าในกลุ่มที่ 1 ข้อมูลด้านเข้าประกอบด้วยค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 6 วัน ในกลุ่มที่ 2 ข้อมูลด้านเข้าประกอบด้วยค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 7 วัน เป็นข้อมูลด้านเข้าที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดแสดงดังภาพที่ 35-36

## 2. โครงสร้างที่เหมาะสมของแบบจำลอง

ในการศึกษานี้การหาโครงสร้างของแบบจำลองเป็นการหาโครงสร้างของกลุ่มสถานีวัดน้ำทำซึ่งกลุ่มของสถานีวัดน้ำทำนี้ได้มาจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลุ่มน้ำและข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยมีหลักในการหาจำนวน Hidden Node คือการปรับค่าจำนวน Hidden Node ให้อยู่ในช่วงที่น้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนของ Input Node จนกระทั่งความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัดที่ได้ทำการ Normalization แล้วมีค่าน้อยหรือสามารถยอมรับได้ โดยสถานีวัดน้ำทำในกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยสถานี P.65 , P.42 , P.24A , P.64 , P.21 และ P.34 มีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 240 - 566 ตร.กม.



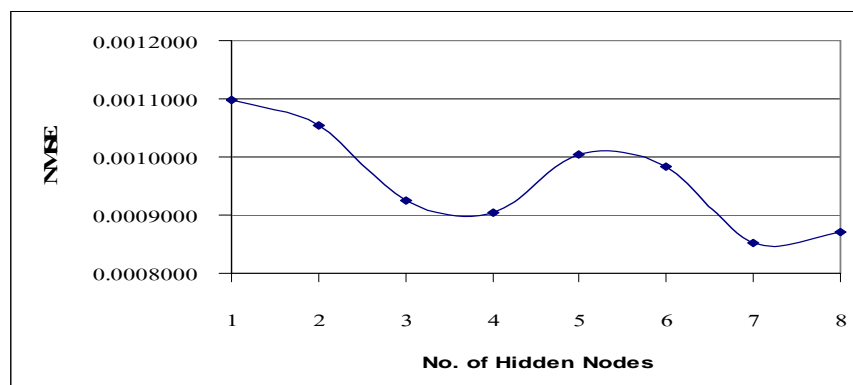
ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับจำนวนข้อมูลด้านเข้าของกลุ่มที่ 1



ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับจำนวนข้อมูลด้านเข้าของกลุ่มที่ 2



มีโครงสร้างของแบบจำลองเป็น 8-7-1 และผลของการหาโครงสร้างแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 37 ซึ่งสถานีวัดน้ำท่าทุกสถานีที่อยู่ในกลุ่มที่ 1 จะใช้โครงสร้างแบบจำลองเหมือนกันหมด โดยที่ Input Node จำนวน 8 Node ประกอบด้วยค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า (API) ณ วันปัจจุบัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ (R) ณ วันปัจจุบัน และวันก่อนหน้า 6 วัน สำหรับสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยสถานี P.28 , P.20 , P.13 , P.71 , P.4A และ P.14 มีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 1,261 – 3,853 ตร.กม. โดยมีโครงสร้างของแบบจำลองเป็น 9-1-1 และผลของการหาโครงสร้างแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 38 ซึ่งสถานีวัดน้ำท่าทุกสถานีที่อยู่ในกลุ่มที่ 2 จะใช้โครงสร้างแบบจำลองเหมือนกันหมด โดยที่ Input Node จำนวน 9 Node ประกอบด้วยค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า (API) ณ วันปัจจุบัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ (R) ณ วันปัจจุบัน และวันก่อนหน้า 7 วัน



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองกับจำนวน Hidden Node ต่างๆ ของกลุ่มที่ 1

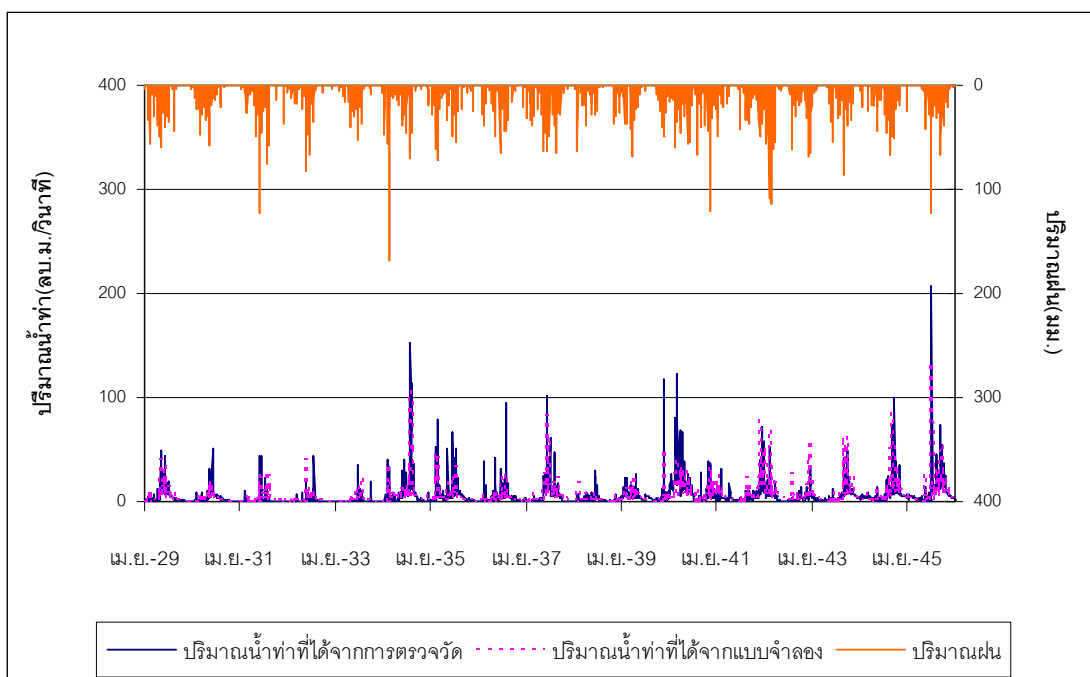


ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองกับจำนวน Hidden Node ต่างๆ ของกลุ่มที่ 2

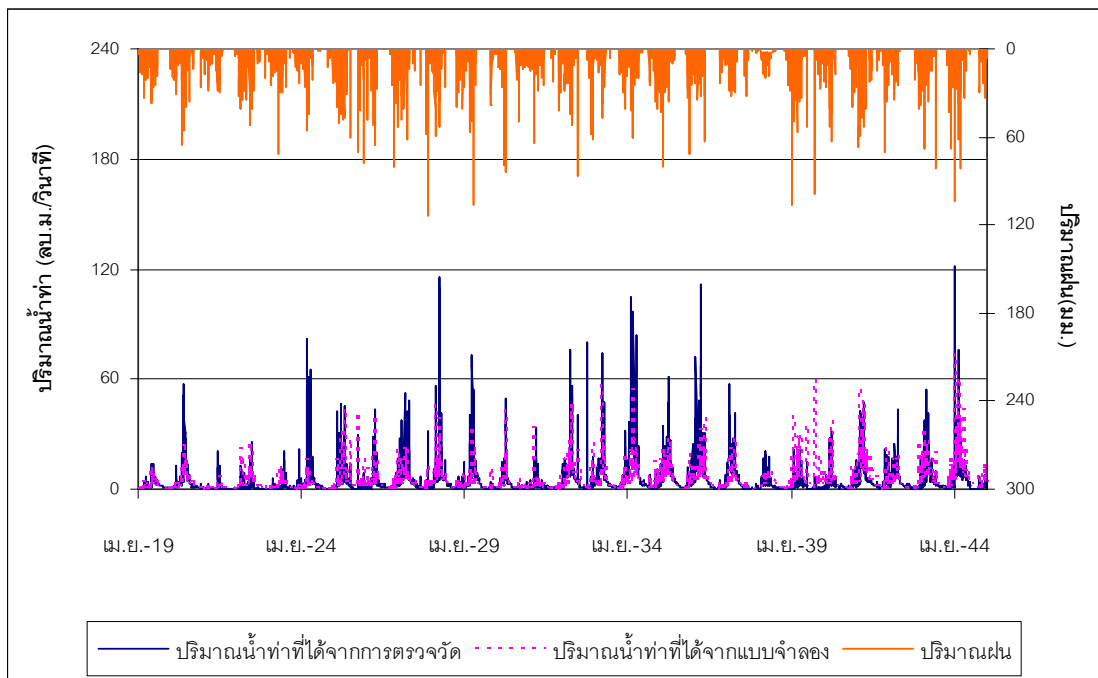
### 3. ผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลอง

#### 3.1 กลุ่มที่ 1

สถานีในกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยสถานี P.65 , P.42 , P.24A , P.64 , P.21 และ P.34 มีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 240 - 566 ตร.กม. และมีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปริมาณน้ำท่าระหว่างปี พ.ศ. 2497 ถึง 2546 ในการการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2529 ถึง 2545 ส่วนการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2519 ถึง 2544 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังภาพที่ 39 และ 40



ภาพที่ 39 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของกลุ่มที่ 1 ช่วงปี พ.ศ. 2529 ถึง 2545



ภาพที่ 40 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของกลุ่มที่ 1 ช่วงปี พ.ศ. 2519 ถึง 2544

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของกลุ่มที่ 1 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัด โดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 13 ซึ่งสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1.1 ความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำ ในด้านสมมูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่ดีกล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 1.02 และ 1.05 มม. ตามลำดับ นอกจากนั้นแล้วความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าไม่มากนัก กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 3.16 เปอร์เซ็นต์ และต่ำกว่า 1.00 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ

ตารางที่ 13 ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของกลุ่มที่ 1

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.80	0.70
EI (%)	64.17	48.79
RMSE (มม.)	1.02	1.05
Water Balance (%)	-3.16	-1.00

3.1.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่ามีความเข้ากันได้ที่ค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ทั้งในช่วงการเรียนรู้และทดสอบ แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันได้ที่ไม่ดีนักโดยเฉพาะช่วงการทดสอบ กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 0.80 และค่า EI เท่ากับ 64.17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่า r ลดลงเป็น 0.70 และค่า EI ลดลงเป็น 48.79 เปอร์เซ็นต์

การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของกลุ่มที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าเมื่อพิจารณาความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำทั้งในช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองมีความสัมพันธ์ที่ดี แต่เมื่อพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวมแบบจำลองให้ผลที่ไม่ค่อยถูกต้อง โดยเฉพาะในช่วงการทดสอบ ทั้งนี้มีสาเหตุสำคัญเนื่องมาจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าไม่ตอบสนองกับปริมาณฝนที่ตกในช่วงเวลานั้น

### 3.2 สถานีวัดน้ำท่า P.65

สถานีวัดน้ำท่า P.65 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่แตง มีพื้นที่รับน้ำฝน 240 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 92.48 ล้านลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 2.93 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 12.21 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลึกรวมของน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 1.05 มม.

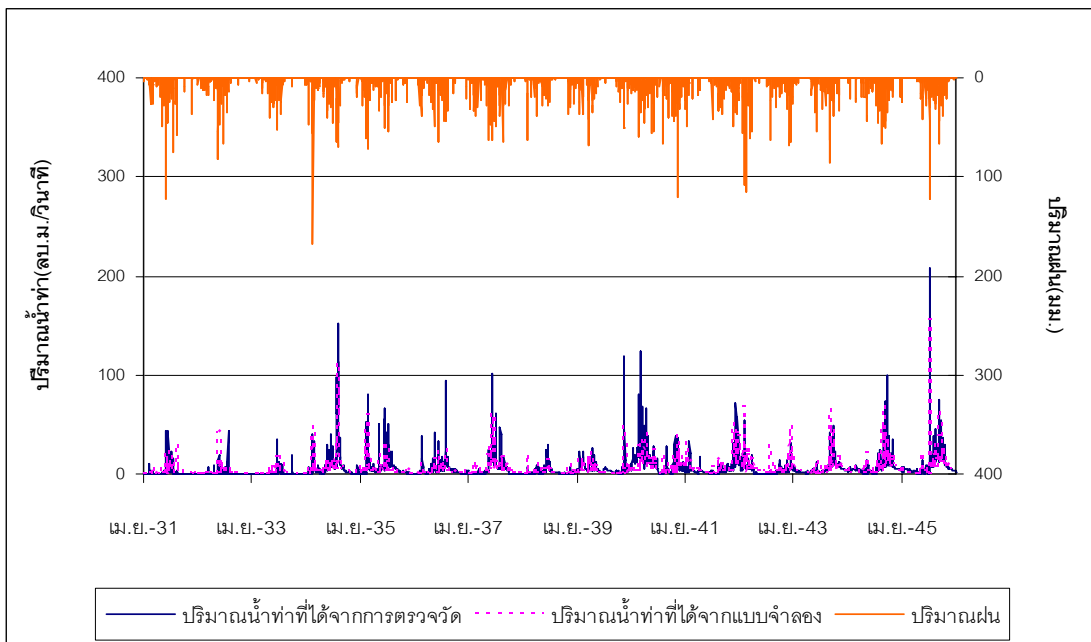
สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2535 ถึง 2544 ในการประเมินปริมาณน้ำทำได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 1 สถานี คือสถานี 07702 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,118.40 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2532 ถึง 2547 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1.00 ในการการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2531 ถึง 2545 ส่วนการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2536 ถึง 2537 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 41 และ 42

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำทำรายวันของสถานีวัดน้ำท่า P. 65 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำทำรายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำทำรายวันที่ได้จากการตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำทำรายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำทำรายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำทำรายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 14 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

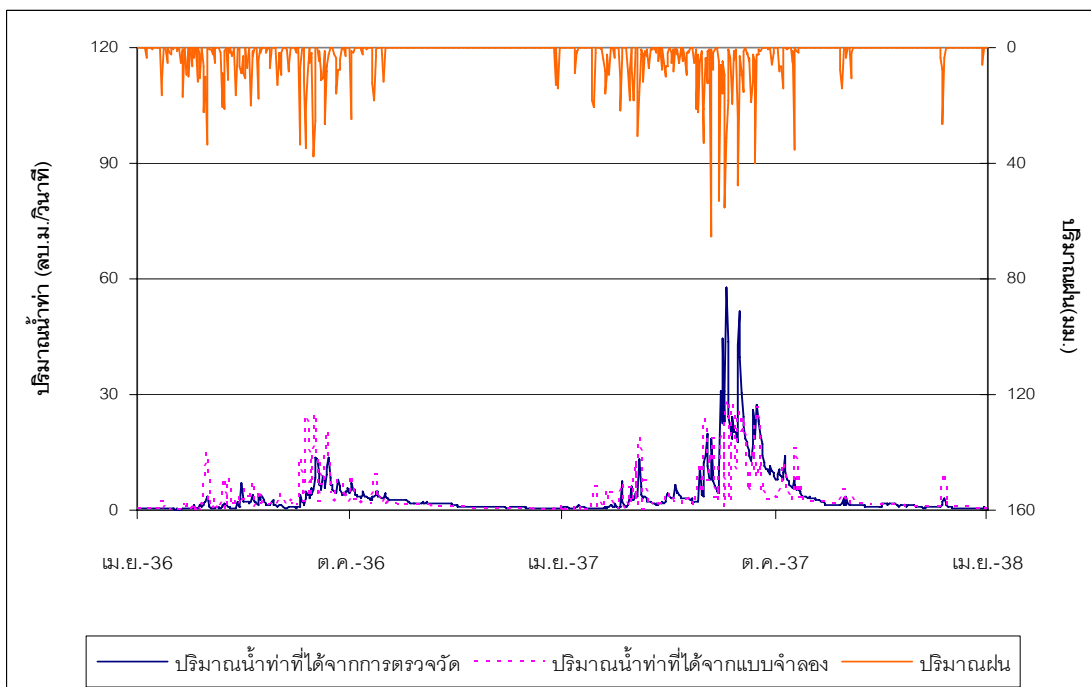
**ตารางที่ 14** ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำทำรายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำทำรายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.65

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.78	0.78
EI (%)	61.50	61.22
RMSE (มม.)	1.00	1.38
Water Balance (%)	-0.61	-9.53

3.2.1 ความเข้ากันได้ดีของสมคูลน้ำ ในด้านสมคูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างดี กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 1.00 และ 1.38 มม. ตามลำดับ นอกจากนั้นแล้วความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าไม่มากนัก กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 0.61 เปอร์เซ็นต์ และต่ำกว่าเป็น 9.53 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ



ภาพที่ 41 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.65 ช่วงปี พ.ศ. 2531 ถึง 2545



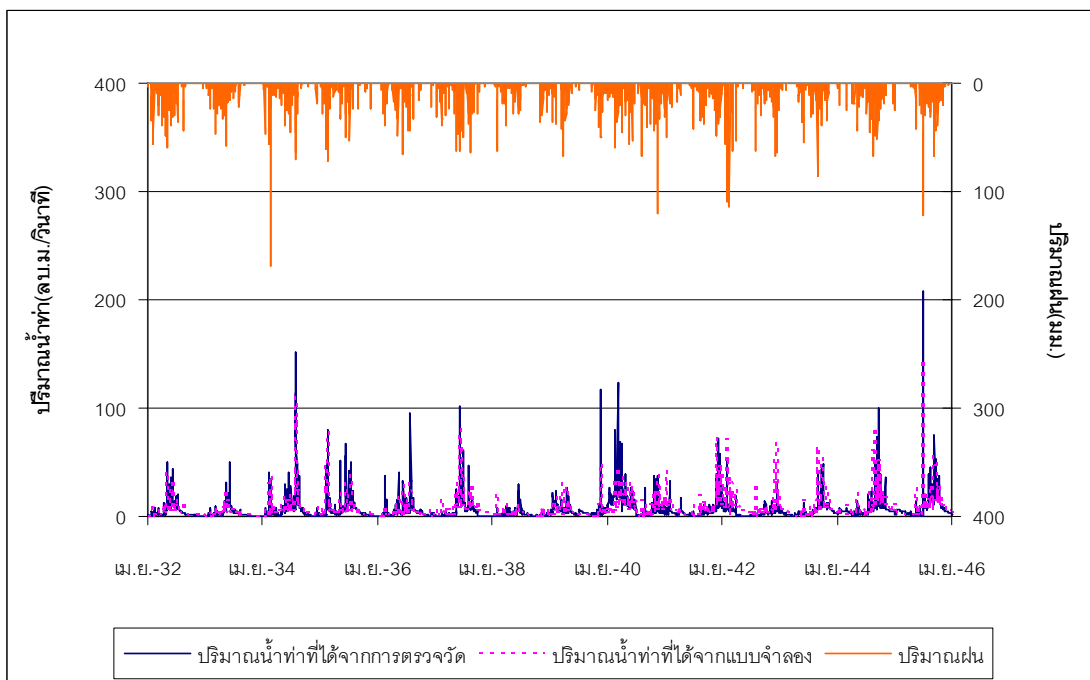
ภาพที่ 42 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.65 ช่วงปี พ.ศ. 2536 ถึง 2537

3.2.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่ามีความเข้ากันที่ค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และเมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันที่สามารถยอมรับได้ กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 0.78 และค่า EI เท่ากับ 61.50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 0.78 และค่า EI เท่ากับ 61.22 เปอร์เซ็นต์

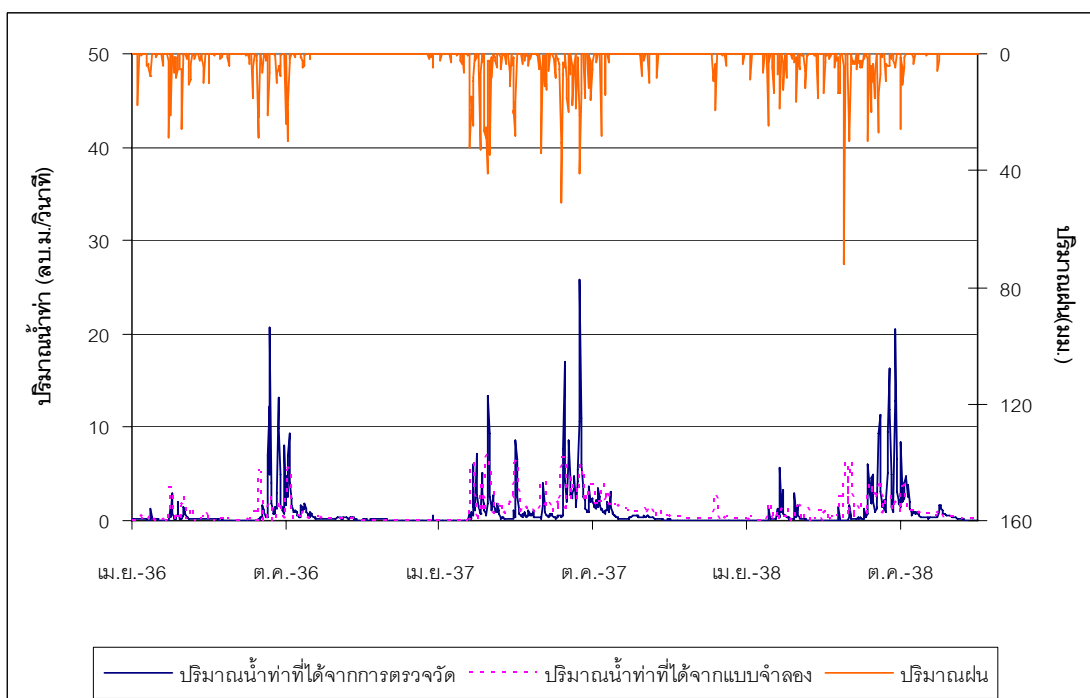
การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากกรคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.65 ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 1.38 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 1.05 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก และเมื่อพิจารณาจากค่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 12.21 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที ซึ่งมีค่ามากกว่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นในกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองมาทดสอบจึงทำให้ความลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยแสดงในรูปของ Water Balance ที่ต่ำกว่า 9.53%

### 3.3 สถานีวัดน้ำท่า P.42

สถานีวัดน้ำท่า P.42 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่ลี่ มีพื้นที่รับน้ำฝน 315 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 34.03 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 1.08 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 3.43 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 0.30 มม. สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2521 ถึง 2544 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 2 สถานี คือสถานี 17022 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,045.40 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2498 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.84 และสถานี 17052 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 992.20 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2405 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.16 ในการการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2545 ส่วนการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2536 ถึง 2538 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 43 และ 44



ภาพที่ 43 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.42 ช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2545



ภาพที่ 44 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.42 ช่วงปี พ.ศ. 2536 ถึง 2538



จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P. 42 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 15 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 15** ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.42

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.81	0.51
EI (%)	65.12	24.96
RMSE (มม.)	1.06	0.52
Water Balance (%)	0.84	7.76

3.3.1 ความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำ ในด้านสมมูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างดี กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 1.06 และ 0.52 มม. ตามลำดับ นอกจากนั้นแล้วความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าไม่มากนัก กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 0.84 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มเป็น 7.76 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ

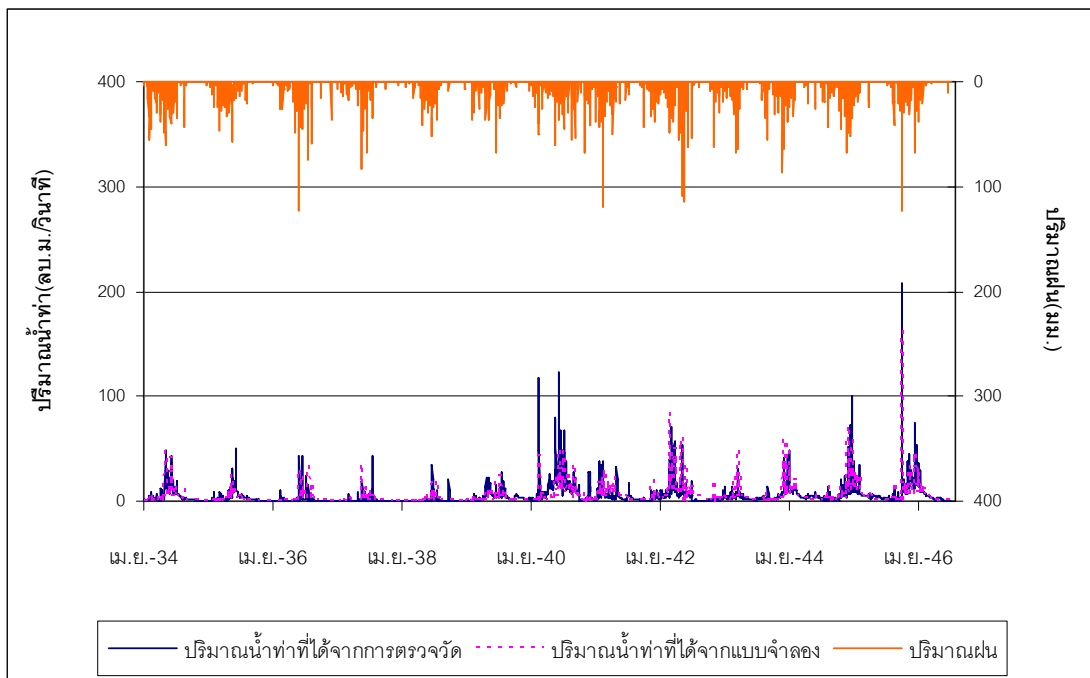
3.3.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่ามีค่าความสัมพันธ์ที่สามารถยอมรับได้ในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลอง กล่าวคือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่า EI เท่ากับ 0.81 และ 65.12 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพิจารณาช่วงการทดสอบของแบบจำลองพบว่ามีค่าความสัมพันธ์ที่ไม่ดีนัก กล่าวคือ ค่า r ลดลงเป็น 0.51 และค่า EI ลดลงเป็น 24.96 เปอร์เซ็นต์

การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.42 ดังแสดงในตารางที่ 15 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 0.52 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 0.30 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EI ที่มีค่า 24.96% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าไม่ตอบสนองกับปริมาณฝนที่ตกในช่วงเวลานั้นดังแสดงในภาพที่ 44

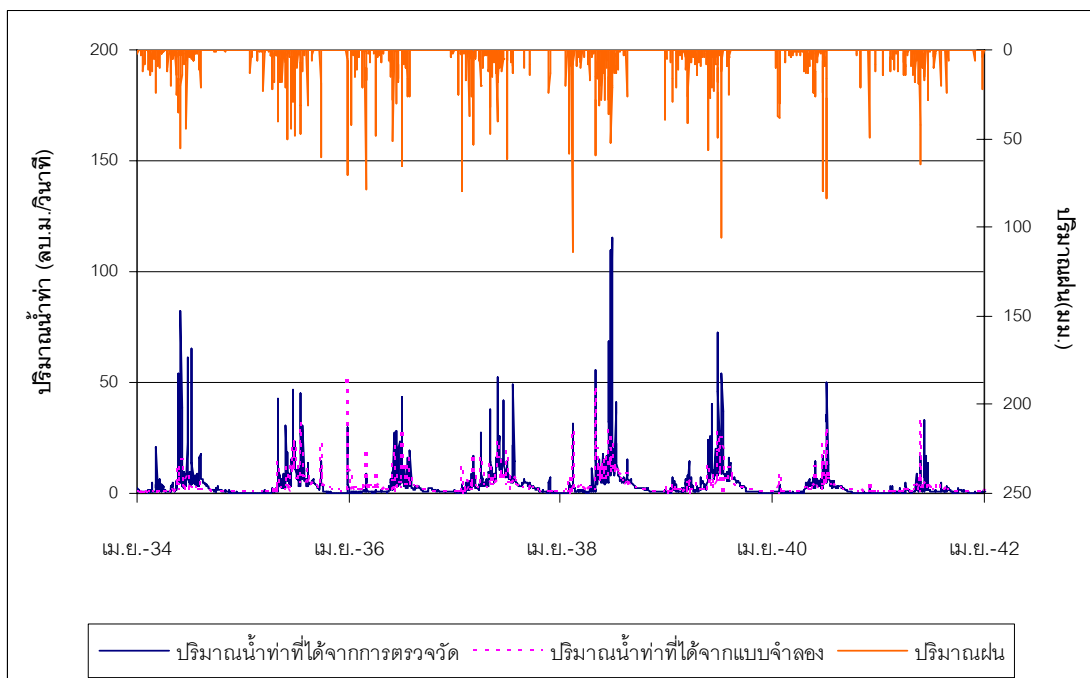
### 3.4 สถานีวัดน้ำท่า P.24A

สถานีวัดน้ำท่า P.24A ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่กลาง มีพื้นที่รับน้ำฝน 460 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 151.14 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 4.79 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 10.41 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 0.90 มม. สถิติ สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2516 ถึง 2546 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 1 สถานี คือสถานี 07182 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 933.10 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2495 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1.00 ในการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2546 ส่วนการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2541 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 45 และ 46

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P. 24A ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 16 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 45 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.24A ช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2546



ภาพที่ 46 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.24A ช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2541

ตารางที่ 16 ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.24A

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.79	0.73
EI (%)	63.00	47.05
RMSE (มม.)	1.00	1.00
Water Balance (%)	4.36	-21.46

3.4.1 ความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำ ในด้านสมมูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่สามารถยอมรับได้กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 1.00 มม. แต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าไม่คั่นัก โดยเฉพาะในช่วงการทดสอบ กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 4.36 เปอร์เซ็นต์ และต่ำกว่า 21.46 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ

3.4.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบที่มีความเข้ากันได้ที่ค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันได้ที่ไม่คั่นัก กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 0.79 และค่า EI เท่ากับ 63.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r ลดลงเป็น 0.73 และค่า EI ลดลงเป็น 47.05 เปอร์เซ็นต์

การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.24A ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 1.00 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลึกรวมของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 0.89 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก แต่เมื่อพิจารณาจากค่า Water Balance ที่มีค่าเท่ากับ -21.46% ถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากสถานีวัดน้ำท่า P.24A อยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่กลางที่สภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่ต้นน้ำถูกเปลี่ยนไปใช้

เป็นพื้นที่การเกษตรมาก ทำให้ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ไม่ตอบสนองกับปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่จริง

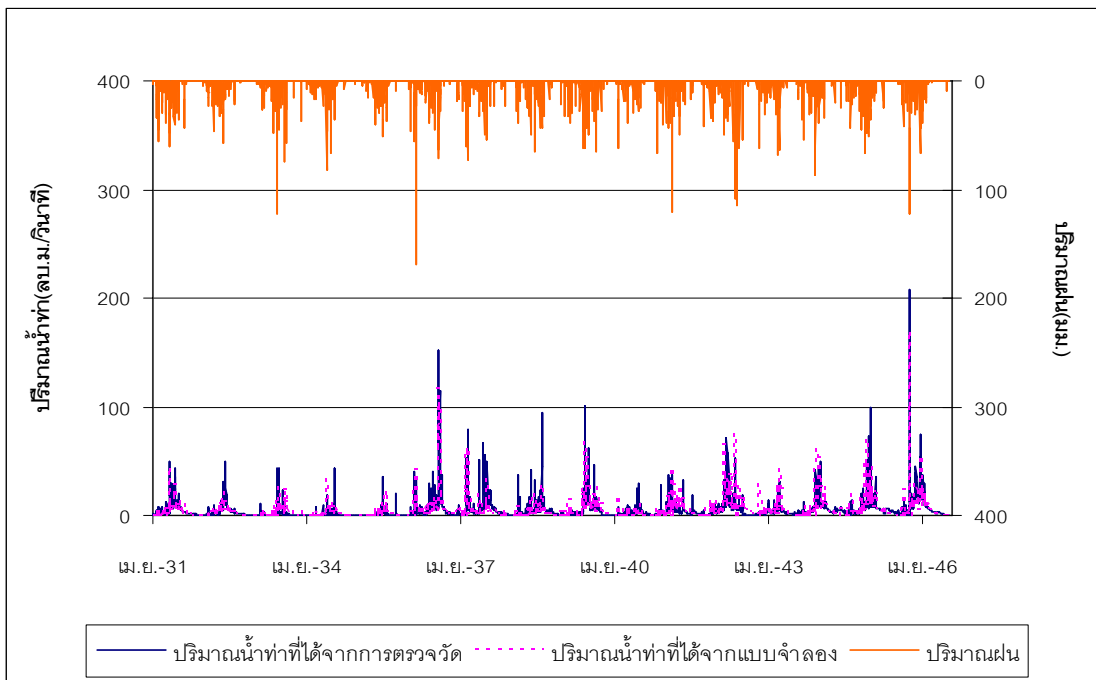
### 3.5 สถานีวัดน้ำท่า P.64

สถานีวัดน้ำท่า P.64 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่ต้น มีพื้นที่รับน้ำฝน 503 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 222.88 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 7.06 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 14.04 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลึกลับปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 1.21 มม. สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2534 ถึง 2545 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 1 สถานี คือสถานี 07162 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 901.50 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2495 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1.00 โดยในการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2531 ถึง 2546 ส่วนในการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2535 ถึง 2540 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 47 และ 48

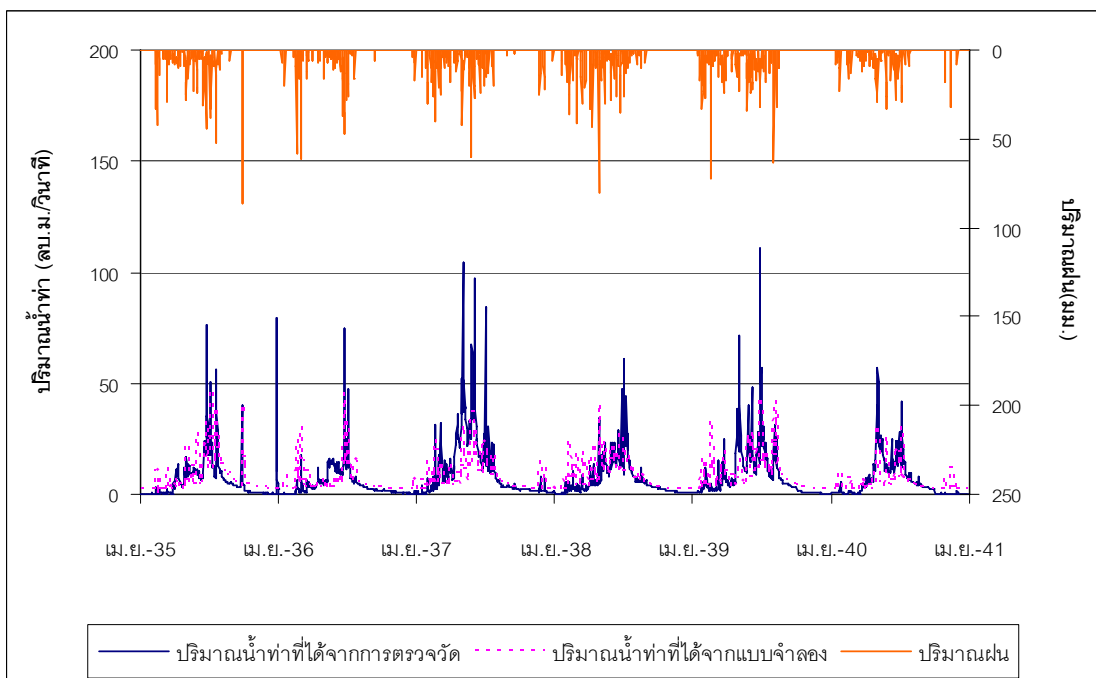
จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P. 64 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัด โดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 17 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 17** ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.64

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.83	0.69
EI (%)	67.62	47.02
RMSE (มม.)	1.74	1.31
Water Balance (%)	-12.11	-1.04



ภาพที่ 47 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.64 ช่วงปี พ.ศ. 2531 ถึง 2546



ภาพที่ 48 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.64 ช่วงปี พ.ศ. 2535 ถึง 2540

3.5.1 ความเข้ากันได้ดีของสมคูลน้ำ ในด้านสมคูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่สามารถยอมรับได้ กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 1.74 และ 1.31 มม. ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าไม่มากนัก กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 12.11 เปอร์เซ็นต์ และต่ำกว่า 1.04 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ

3.5.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่ามีความเข้ากันได้ที่ค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และเมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันได้ที่สามารถยอมรับได้ในช่วงการเรียนรู้ แต่สำหรับในช่วงการทดสอบมีความเข้ากันได้ที่ไม่ดีนัก กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 0.83 และค่า EI เท่ากับ 67.62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่า r ลดลงเป็น 0.69 และค่า EI ลดลงเป็น 47.02 เปอร์เซ็นต์

การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.64 ดังแสดงในตารางที่ 17 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 1.31 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลึกรวมน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 1.22 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก และเมื่อพิจารณาจากค่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 14.04 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที ซึ่งมีค่ามากกว่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นในกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองมาทดสอบจึงทำให้ความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยแสดงในรูปของ Water Balance ที่ต่ำกว่า 1.04 %

### 3.6 สถานีวัดน้ำท่า P.21

สถานีวัดน้ำท่า P.21 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่มิม มีพื้นที่รับน้ำฝน 515 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 139.70 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 4.43 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 8.60 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลึกรวมน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 0.74 มม. สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2497 ถึง 2546 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานี

วัดน้ำฝน 1 สถานี คือสถานี 07013 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,167.10 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2495 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1.00 โดยในการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2546 ส่วนในการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2537 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 49 และ 50

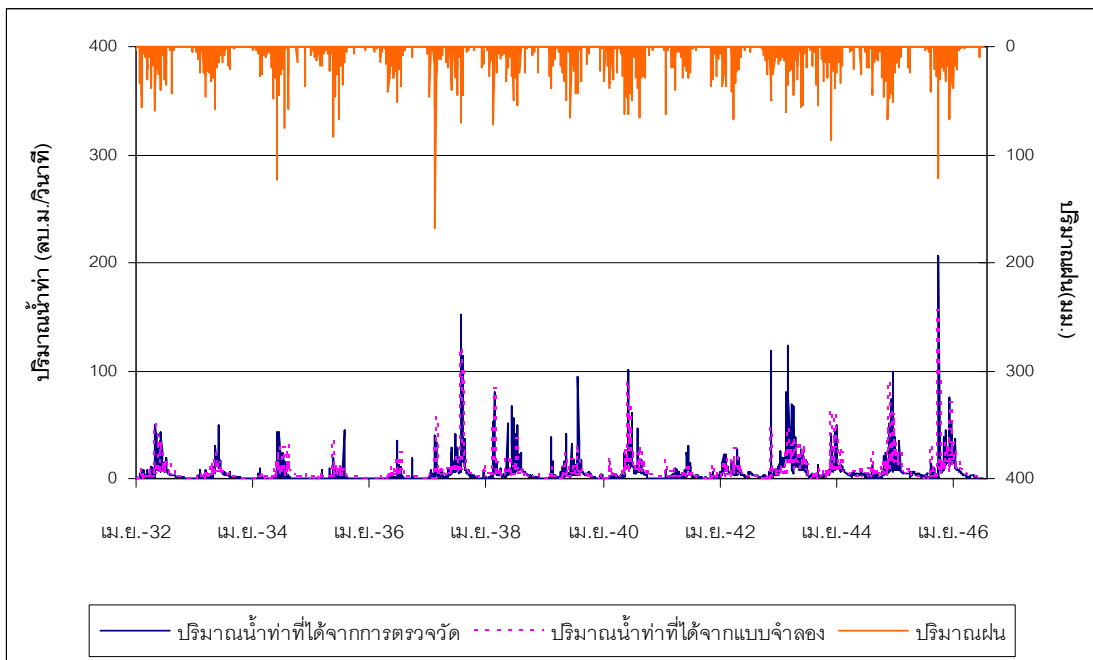
จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P. 21 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 18 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 18** ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.21

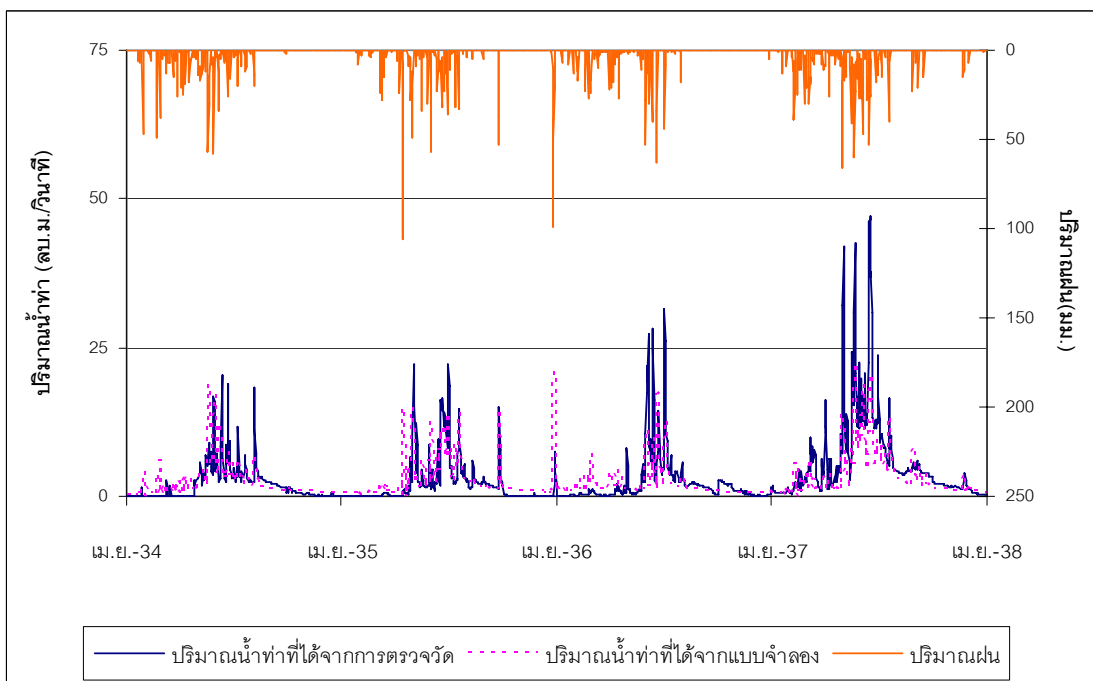
ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.83	0.75
EI (%)	68.67	51.12
RMSE (มม.)	1.01	0.62
Water Balance (%)	3.25	20.77

3.6.1 ความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำ ในด้านสมมูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่สามารถยอมรับได้กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 1.01 และ 0.62 มม. ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าไม่ดิ่งโดยเฉพาอย่างยิ่งในช่วงการทดสอบ กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 3.25 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่า 20.77 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ





ภาพที่ 49 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.21 ช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2546



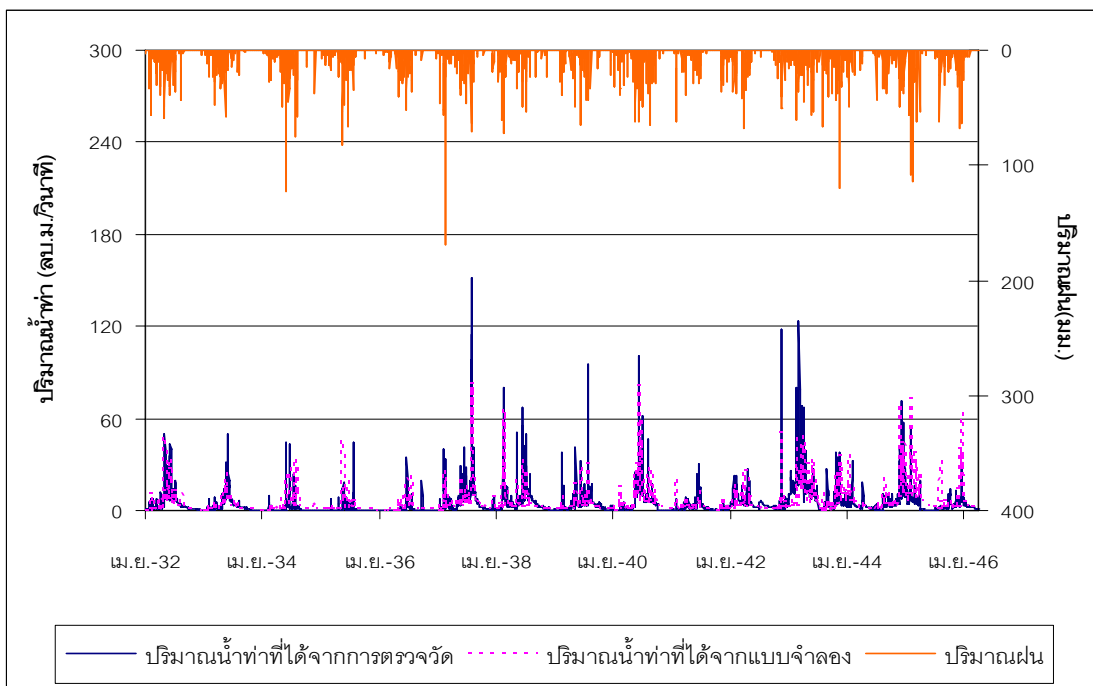
ภาพที่ 50 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.21 ช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2537

3.6.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่ามีความเข้ากันได้ที่ค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) และเมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันได้ที่สามารถยอมรับได้ในช่วงการเรียนรู้ แต่สำหรับในช่วงการทดสอบมีความเข้ากันได้ที่ไม่ดีนัก กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.83 และค่า EI เท่ากับ 68.67 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่า  $r$  ลดลงเป็น 0.75 และค่า EI ลดลงเป็น 51.12 เปอร์เซ็นต์

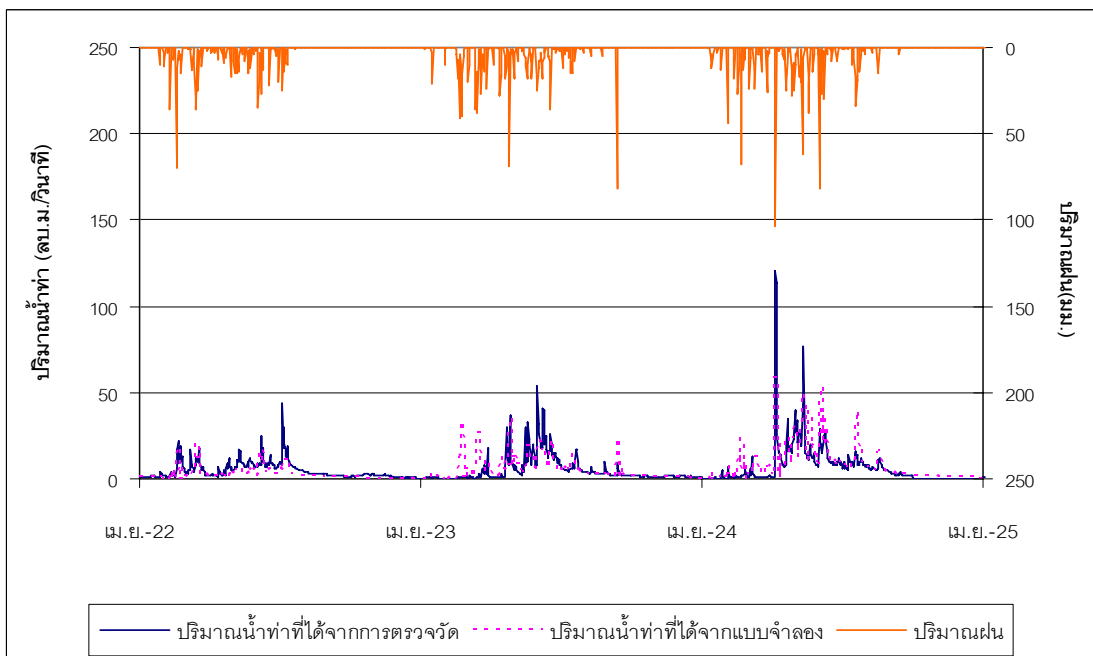
การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.21 ดังแสดงในตารางที่ 18 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 0.62 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 0.74 มม. ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างน้อยมาก แต่เมื่อพิจารณาจากค่า Water Balance ที่มีค่าเท่ากับ 20.77% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากสถานีวัดน้ำท่า P.21 อยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่ริมที่มีชุมชนเมืองและรีสอร์ทค่อนข้างมากทำให้มีการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคปริมาณมากจึงมีการบริหารและจัดการน้ำ ดังนั้นปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจึงถูกควบคุมโดยการบริหารและจัดการน้ำดังกล่าว

### 3.7 สถานีวัดน้ำท่า P.34

สถานีวัดน้ำท่า P.34 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่กวัง มีพื้นที่รับน้ำฝน 566 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 211.00 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 6.68 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 11.80 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 1.02 มม. สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2517 ถึง 2525 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 2 สถานี คือสถานี 07530 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,034.80 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2517 ถึง 2533 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.64 และสถานี 07341 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,180.70 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2507 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.36 ในการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้ พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2546 ส่วนในการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2522 ถึง 2524 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังภาพที่ 51 และ 52



ภาพที่ 51 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.34 ช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2546



ภาพที่ 52 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.34 ช่วงปี พ.ศ. 2522 ถึง 2524

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P. 34 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 19 ซึ่งสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 19** ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.34

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.78	0.71
EI (%)	61.40	61.54
RMSE (มม.)	1.08	0.86
Water Balance (%)	1.21	-7.55

3.7.1 ความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำ ในด้านสมมูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างดี กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 1.08 และ 0.86 มม. ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าไม่มากนัก กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 1.21 เปอร์เซ็นต์ และต่ำกว่า 7.55 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ

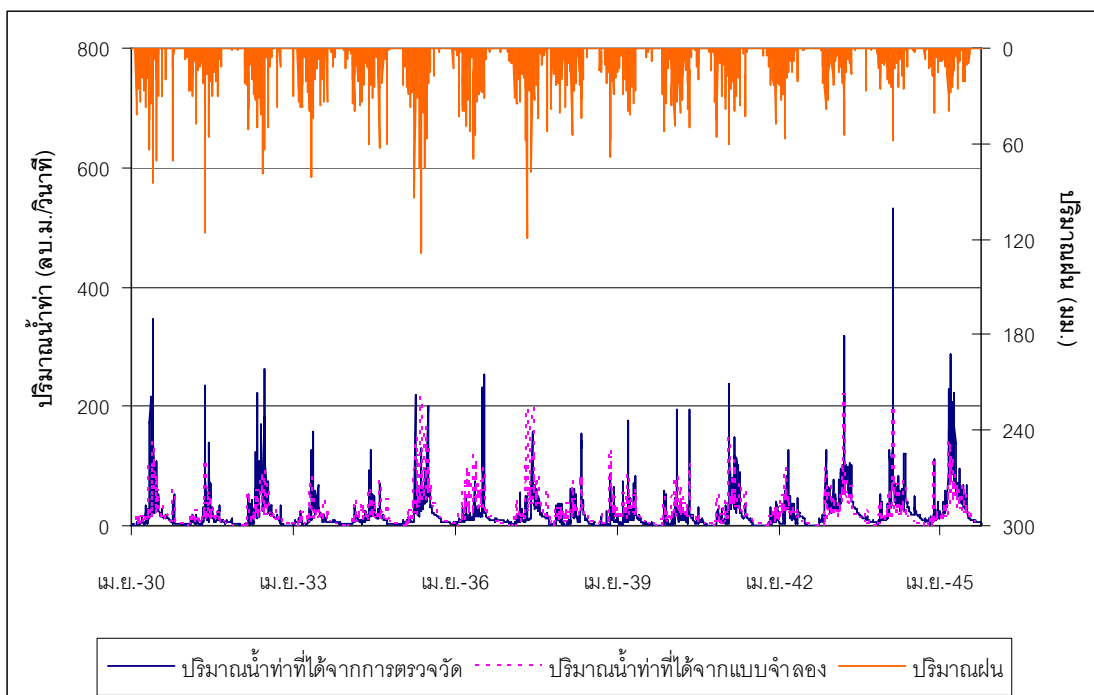
3.7.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่ามีความเข้ากันได้ที่ค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และเมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันได้ที่สามารถยอมรับได้ กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 0.78 และค่า EI เท่ากับ 61.40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่า r ลดลงเป็น 0.71 และค่า EI เพิ่มขึ้นเป็น 61.54 เปอร์เซ็นต์

การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.34 ดังแสดงในตารางที่ 19 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 0.86 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 1.02 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก และเมื่อพิจารณาจากค่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 11.80 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที ซึ่งมีค่ามากกว่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นในกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองมาทดสอบจึงทำให้ความลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยแสดงในรูปของ Water Balance ที่ต่ำกว่า 7.55%

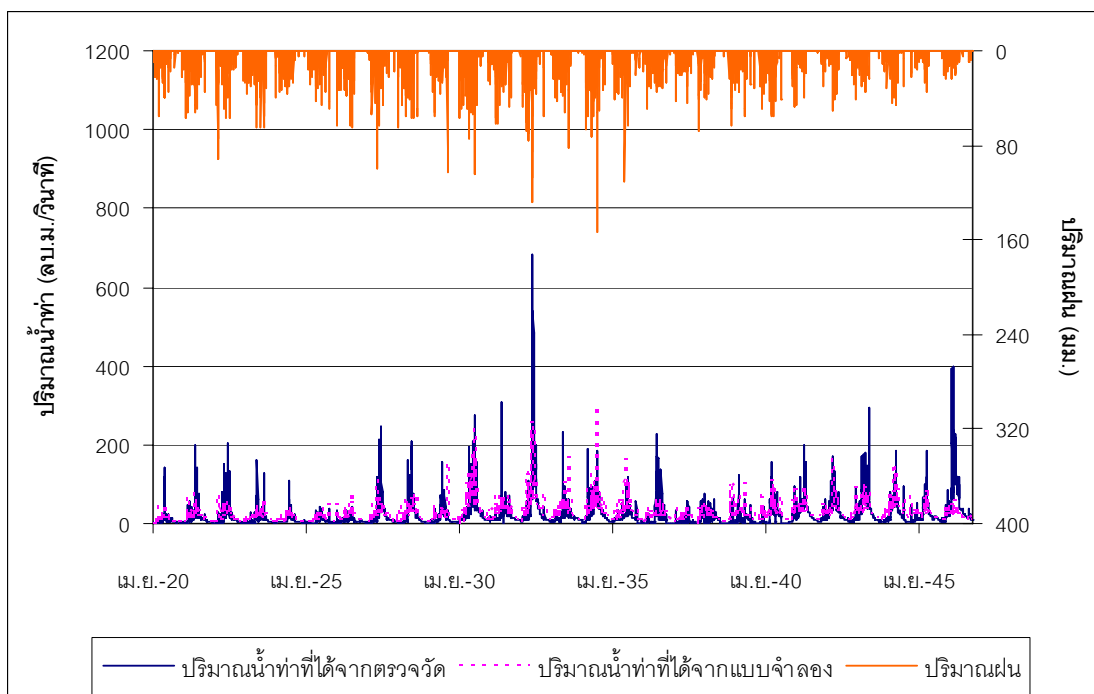
### 3.8 กลุ่มที่ 2

สถานีในกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยสถานี P.28 , P.20 , P.13 , P.71 , P.4A และ P.14 มีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 1,261 – 3,853 ตร.กม. และมีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปริมาณน้ำท่าระหว่างปี พ.ศ. 2495 ถึง 2546 ในการการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2530 ถึง 2545 ส่วนการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2520 ถึง 2546 7 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังภาพที่ 53 และ 54

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของกลุ่มที่ 2 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 20 ซึ่งสรุปผลการศึกษาคือดังต่อไปนี้



ภาพที่ 53 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของกลุ่มที่ 2 ช่วงปี พ.ศ. 2530 ถึง 2545



ภาพที่ 54 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของกลุ่มที่ 2 ช่วงปี พ.ศ. 2520 ถึง 2546

ตารางที่ 20 ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของกลุ่มที่ 2

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.75	0.73
EI (%)	69.27	50.80
RMSE (มม.)	0.86	0.94
Water Balance (%)	0.24	24.30

3.8.1 ความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำ ในด้านสมมูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่สามารถยอมรับได้กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 0.86 และ 0.94 มม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำพบว่ามีความไม่ดัดนักโดยเฉพาะช่วงการทดสอบ กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 0.24 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่า 24.30 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ

3.8.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่ามีความเข้ากันอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันได้ไม่ดัดนัก กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 0.75 และค่า EI เท่ากับ 69.27 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่า r ลดลงเป็น 0.73 และค่า EI ลดลงเป็น 50.80 เปอร์เซ็นต์

การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของกลุ่มที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 20 พบว่าในช่วงการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อพิจารณาความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำและกราฟน้ำท่าโดยรวมมีความสัมพันธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่เมื่อพิจารณาช่วงการทดสอบแบบจำลองให้ผลไม่ค่อยถูกต้องนักทั้งความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำและกราฟน้ำท่า

โดยรวม ทั้งนี้มีสาเหตุสำคัญเนื่องมาจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าไม่ตอบสนองกับปริมาณฝนที่ตกในช่วงเวลานั้น

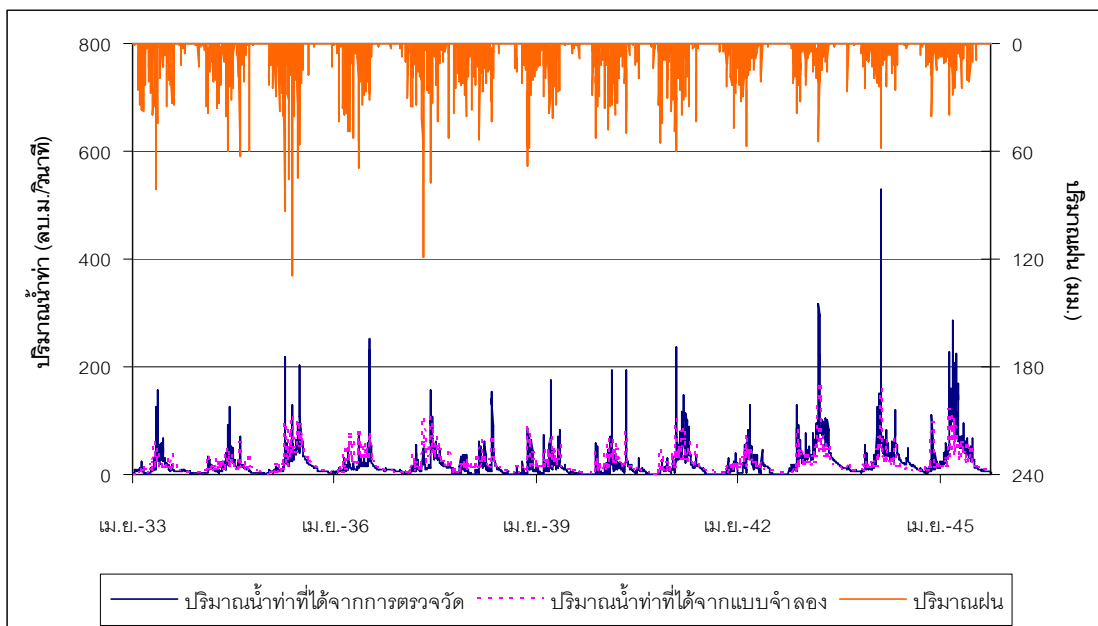
### 3.9 สถานีวัดน้ำท่า P.28

สถานีวัดน้ำท่า P.28 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแมงคืด มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,261 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 379.06 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 12.01 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 9.52 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความขงลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 0.82 มม. สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2509 ถึง 2522 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 1 สถานี คือสถานี 07122 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,168.80 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2495 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1.00 ในการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545 ส่วนในการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2512 ถึง 2514 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 55 และ 56

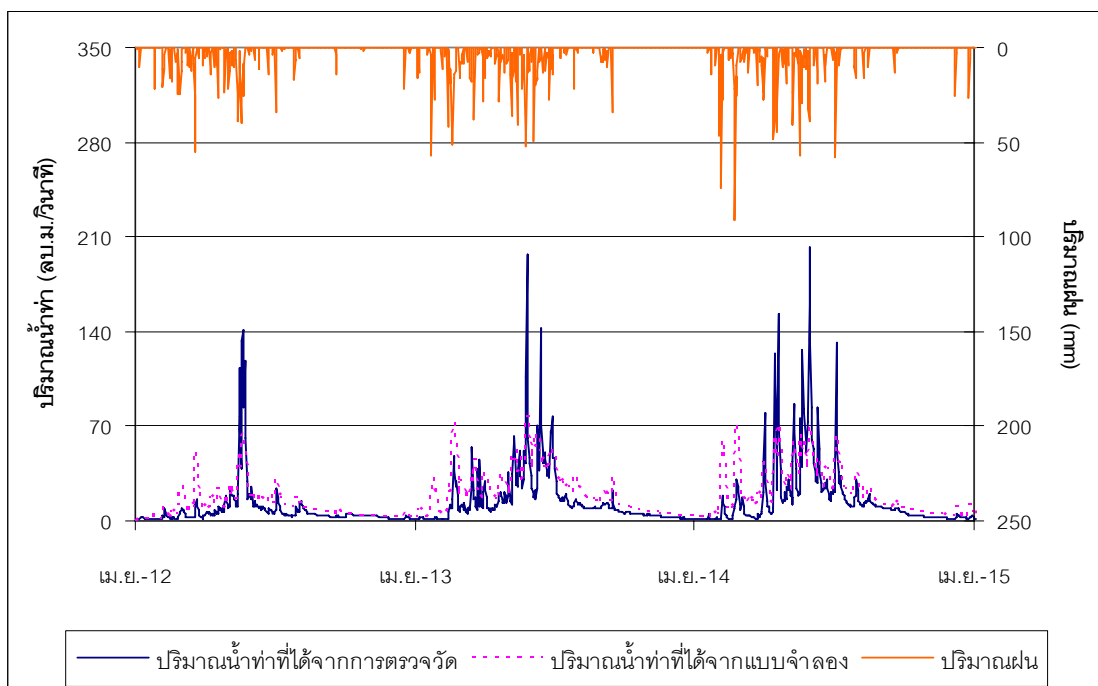
จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P.28 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 21 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

3.9.1 ความเข้ากันได้ดีของสมคูลน้ำ ในด้านสมคูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่สามารถยอมรับได้กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 0.70 และ 0.95 มม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของความลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำพบว่ามีความค่อนข้างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการทดสอบ กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลิกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 0.02 เปอร์เซนต์ และต่ำกว่า 21.10 เปอร์เซนต์ ในช่วงการทดสอบ





ภาพที่ 55 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.28 ช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545



ภาพที่ 56 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.28 ช่วงปี พ.ศ. 2512 ถึง 2514

**ตารางที่ 21** ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.28

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.74	0.78
EI (%)	54.12	53.65
RMSE (มม.)	0.70	0.95
Water Balance (%)	0.02	-21.10

3.9.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่ามีความเข้ากันได้ที่ค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันได้ไม่ดีนัก กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 0.74 และค่า EI เท่ากับ 54.12 เปอร์เซนต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 78 และค่า EI เท่ากับ 53.65 เปอร์เซนต์

การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.28 ดังแสดงในตารางที่ 21 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 0.95 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 0.82 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก แต่เมื่อพิจารณาจากค่า Water Balance ที่มีค่าเท่ากับ -21.10% ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุสำคัญมาจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ามีความสัมพันธ์ที่ไม่ดีดังแสดงในภาพที่ 56

### 3.10 สถานีวัดน้ำท่า P.20

สถานีวัดน้ำท่า P.20 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำปิงส่วนที่ 1 มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,355 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 366.01 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 11.60 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 8.56 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 0.74 มม. สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2522 ถึง 2546 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 2 สถานี คือสถานี 07112 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,150.20 มม. มีสถิติข้อมูล

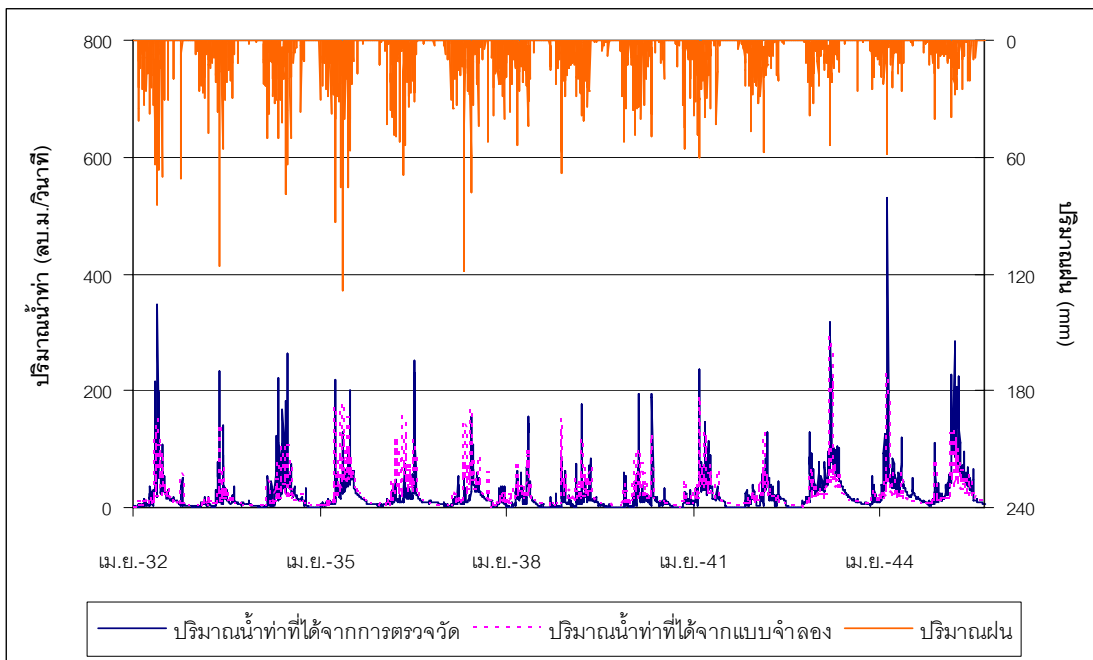
ที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2495 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.86 และสถานี 07252 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,492.90 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2507 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.14 ในการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2545 ส่วนในการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2539 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังภาพที่ 57 และ 58

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P.20 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 22 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

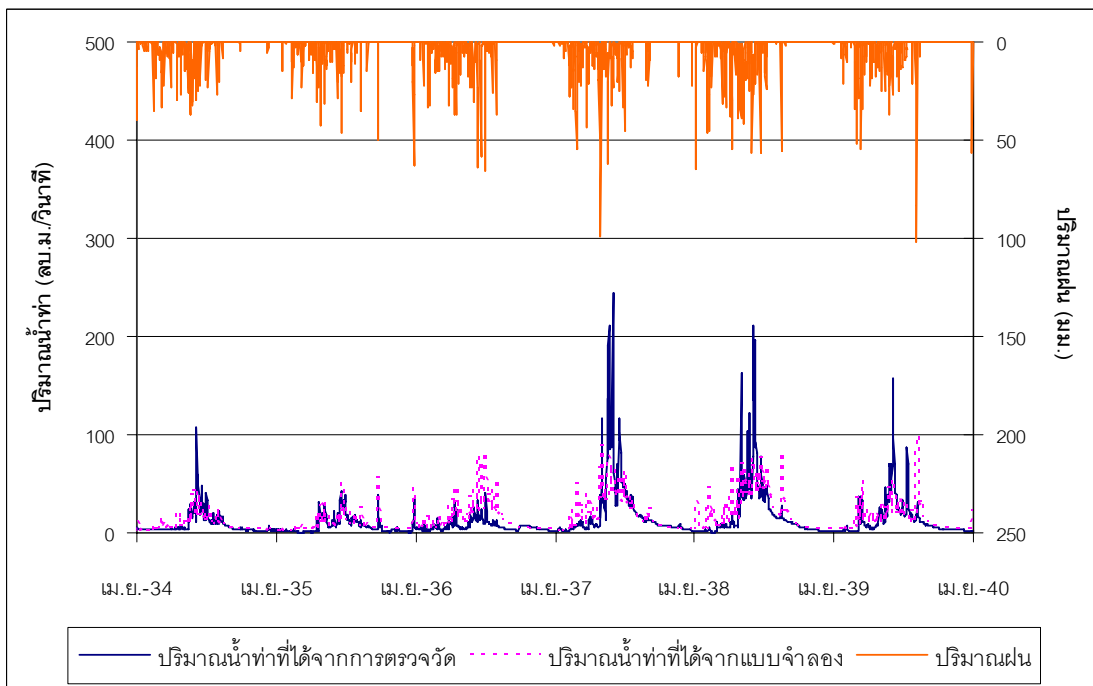
**ตารางที่ 22** ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.20

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.76	0.73
EI (%)	58.14	52.53
RMSE (มม.)	0.87	0.93
Water Balance (%)	0.11	9.25

3.10.1 ความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำ ในด้านสมมูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างดี กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 0.87 และ 0.93 มม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำพบว่ามีความไม่มากนัก กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 0.11 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่า 9.25 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ



ภาพที่ 57 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.20 ช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2545



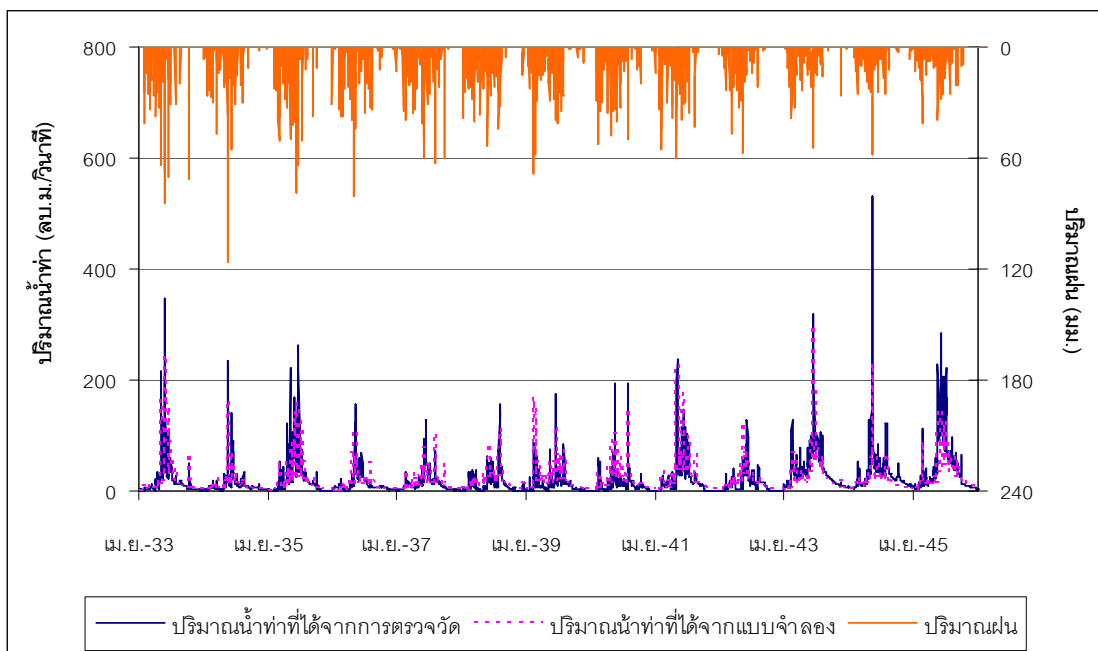
ภาพที่ 58 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.20 ช่วงปี พ.ศ. 2534 ถึง 2539

3.10.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่ามีความเข้ากันได้ที่ดีค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันได้ไม่ดีนัก กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.76 และค่า EI เท่ากับ 58.14 เปอร์เซนต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่า  $r$  ลดลงเป็น 0.73 และค่า EI ลดลงเป็น 52.53 เปอร์เซนต์

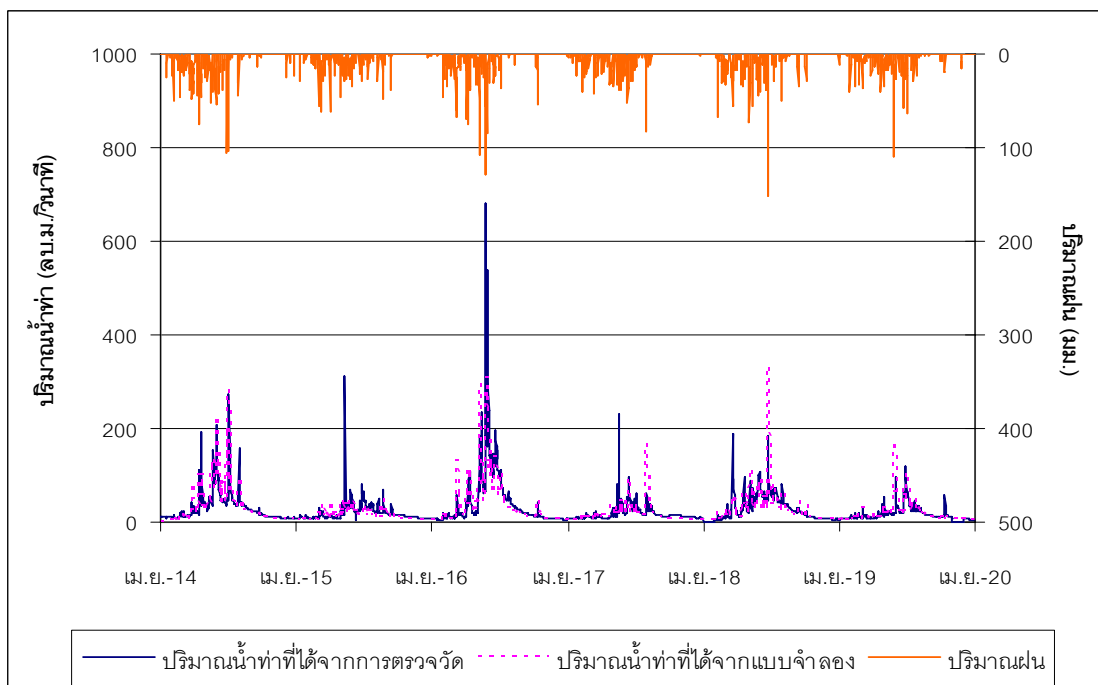
การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากกรคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.20 ดังแสดงในตารางที่ 22 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 0.93 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 0.74 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก และเมื่อพิจารณาจากค่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 8.56 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นในกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองมาทดสอบจึงทำให้ความลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยแสดงในรูปของ Water Balance ที่สูงกว่า 9.25 %

### 3.11 สถานีวัดน้ำท่า P.13

สถานีวัดน้ำท่า P.13 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่แดง มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,765 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 674.84 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 21.39 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 12.12 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 1.04 มม. สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2495 ถึง 2523 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 1 สถานี คือสถานี 07331 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,702.30 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2495 ถึง 2523 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1.00 ในการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้ พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545 ส่วนในการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2514 ถึง 2519 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 59 และ 60



ภาพที่ 59 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.13 ช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545



ภาพที่ 60 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.13 ช่วงปี พ.ศ. 2514 ถึง 2519

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P.13 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัด โดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 23 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 23** ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.13

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.84	0.82
EI (%)	71.25	67.37
RMSE (มม.)	0.72	1.05
Water Balance (%)	0.04	-6.84

3.11.1 ความเข้ากันได้ดีของสมคูลน้ำ ในด้านสมคูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างดี กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 0.72 และ 1.05 มม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่พบว่ามีค่าไม่มากนัก กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 0.04 เปอร์เซ็นต์ และต่ำกว่า 6.84 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ

3.11.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบที่มีความเข้ากันได้ที่ค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 0.84 และค่า EI เท่ากับ 71.25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่า r ลดลงเป็น 0.82 และค่า EI ลดลงเป็น 67.37 เปอร์เซ็นต์

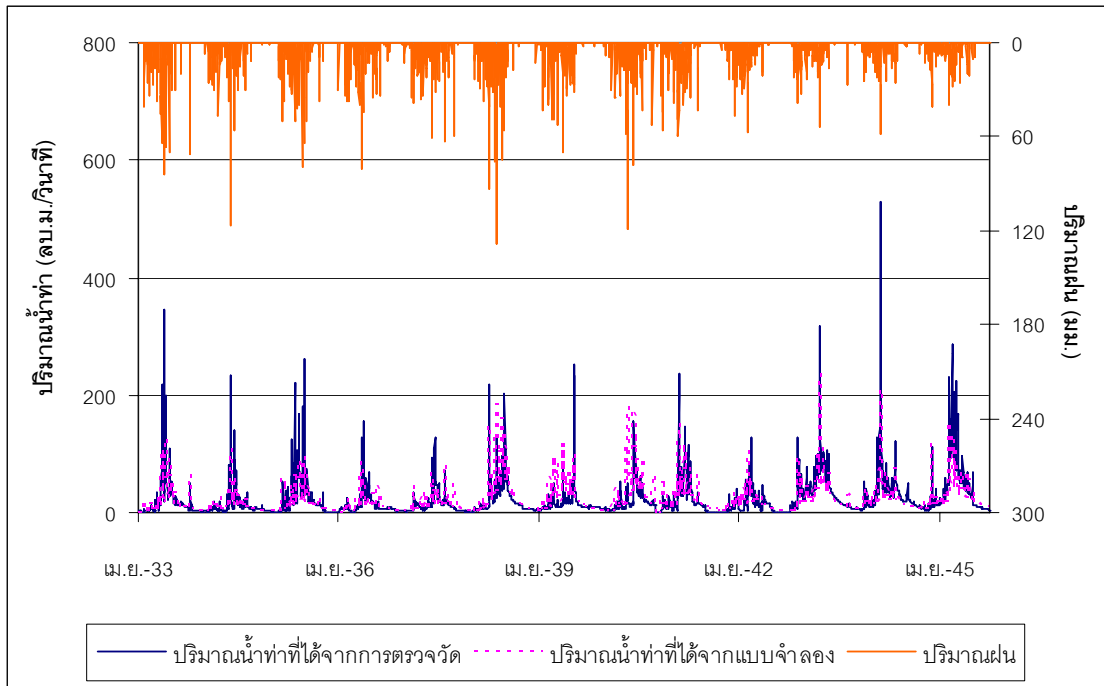
การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.13 ดังแสดงในตารางที่ 23 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 1.05 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 1.04 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก และเมื่อพิจารณาจากค่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 12.12 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที ซึ่งมีค่ามากกว่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นในกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองมาทดสอบจึงทำให้ความลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยแสดงในรูปของ Water Balance ที่ต่ำกว่า 6.84%

### 3.12 สถานีวัดน้ำท่า P.71

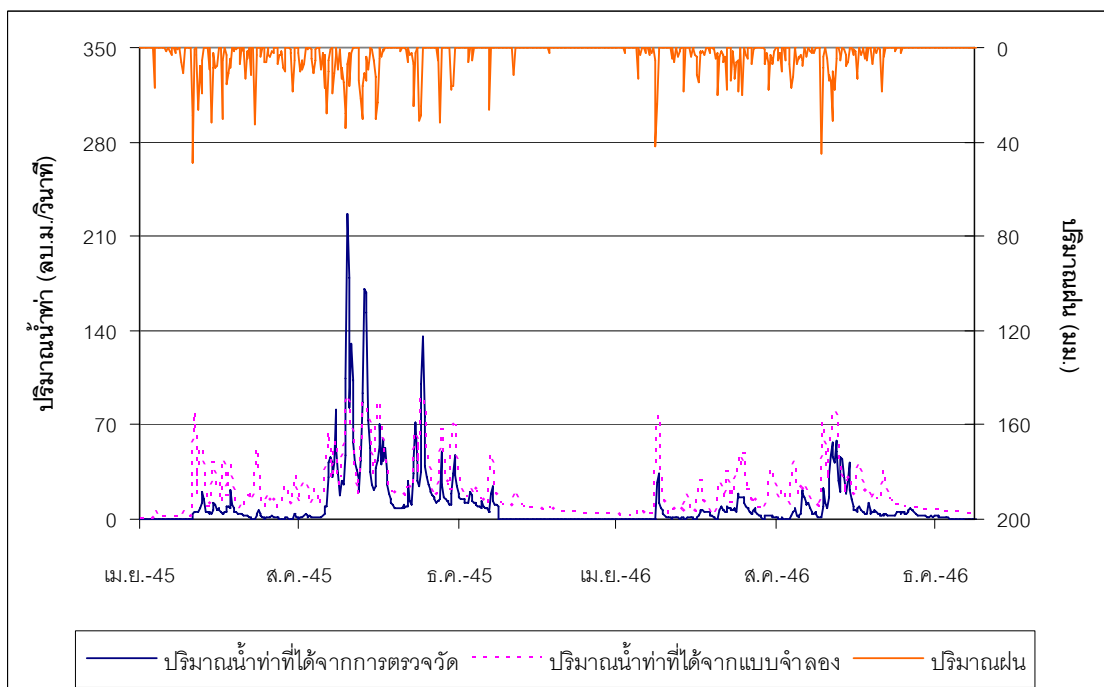
สถานีวัดน้ำท่า P.71 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่ฆาน มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,771 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 249.62 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 7.92 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 4.47 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 0.39 มม. สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2539 ถึง 2546 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 2 สถานี คือสถานี 07142 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,163.10 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2495 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.80 และสถานี 07292 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 962.50 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2505 ถึง 2547 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.20 ในการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545 ส่วนในการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2545 ถึง 2546 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 61 และ 62

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P.71 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัด โดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 24 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้





ภาพที่ 61 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.71 ช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545



ภาพที่ 62 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.71 ช่วงปี พ.ศ. 2545 ถึง 2546

ตารางที่ 24 ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.71

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.77	0.78
EI (%)	57.20	45.43
RMSE (มม)	0.90	0.82
Water Balance (%)	0.07	18.71

3.12.1 ความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำ ในด้านสมมูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่สามารถยอมรับได้กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 0.90 และ 0.82 มม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำพบว่ามีความมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการทดสอบ กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลึกปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 0.07 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่า 18.71 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ

3.12.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบที่มีความเข้ากันได้ที่ค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันได้ที่ไม่ดีนักกล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า r เท่ากับ 0.77 และค่า EI เท่ากับ 57.20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่า r เพิ่มขึ้นเป็น 0.78 และค่า EI ลดลงเป็น 45.43 เปอร์เซ็นต์

การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.71 ดังแสดงในตารางที่ 24 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 0.82 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 0.39 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันมาก และเมื่อพิจารณาจากค่า Water Balance ที่มีค่าเท่ากับ 18.71% ถือว่าเป็นค่าค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากสถานีวัดน้ำท่า P.71 อยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่ขานที่มีพื้นที่เกษตรกรรมมากปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจึงมีลักษณะไม่เป็นการไหลตามธรรมชาติเนื่องจากถูกควบคุมโดยฝายในลำน้ำ

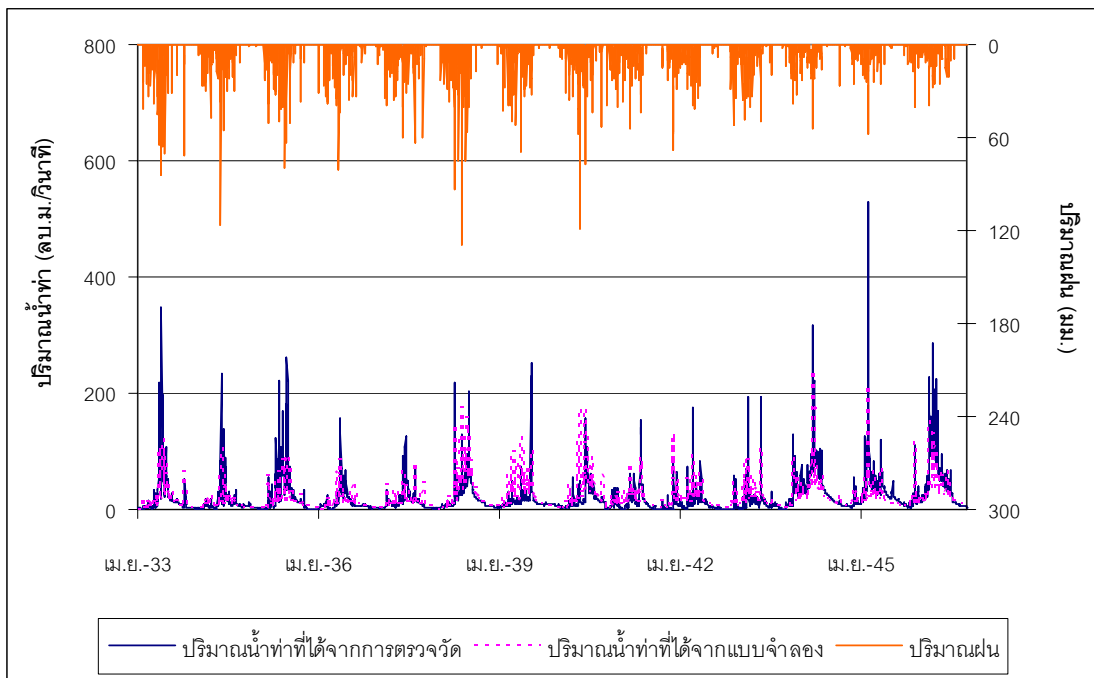
### 3.13 สถานีวัดน้ำท่า P.4A

สถานีวัดน้ำท่า P.4A ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่แดง มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,902 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 481.82 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 15.26 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 8.02 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลิกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 0.69 มม. สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2498 ถึง 2546 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 1 สถานี คือสถานี 07252 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1492.90 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2507 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1.00 ในการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2546 ส่วนในการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2543 ถึง 2545 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 63 และ 64

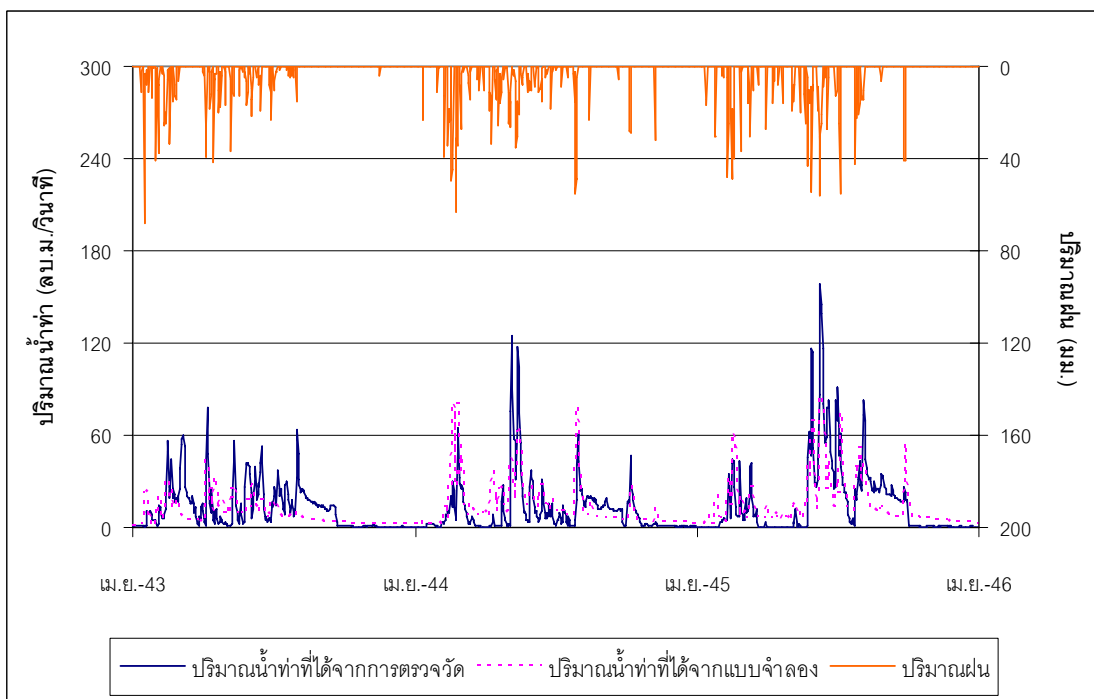
จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P.4A ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 25 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 25** ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.4A

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.75	0.70
EI (%)	55.84	48.12
RMSE (มม.)	0.89	0.63
Water Balance (%)	0.03	8.59



ภาพที่ 63 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.4A ช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2546



ภาพที่ 64 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.4A ช่วงปี พ.ศ. 2543 ถึง 2545

3.13.1 ความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำ ในด้านสมมูลน้ำมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างดี กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 0.89 และ 0.63 มม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสม พบว่ามีค่าไม่มากนัก กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 0.03 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่า 8.59 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ

3.13.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบที่มีความเข้ากันได้ที่สามารถยอมรับได้เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EI พบที่มีความเข้ากันได้ที่ไม่ดีนัก กล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.75 และค่า EI เท่ากับ 55.84 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่า  $r$  ลดลงเป็น 0.70 และค่า EI ลดลงเป็น 48.12 เปอร์เซ็นต์

การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.4A ดังแสดงในตารางที่ 25 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 0.63 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลึกรวมน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 0.69 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก และเมื่อพิจารณาจากค่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 8.02 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลผลิตของพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นในกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองมาทดสอบจึงทำให้ความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยสะสมทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยแสดงในรูปของ Water Balance ที่มีค่าสูงกว่า 8.59%

### 3.14 สถานีวัดน้ำท่า P.14

สถานีวัดน้ำท่า P.14 ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำย่อยแม่แจ่ม มีพื้นที่รับน้ำฝน 3,853 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 1,076.43 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน 34.11 ลบ.ม.ต่อวินาที ค่าผลผลิต 8.85 ลิตร ต่อตร.กม. ต่อวินาที และความของลึกรวมน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ 0.76 สถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2497 ถึง 2546 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าได้พิจารณาใช้สถานีวัดน้ำฝน 2 สถานี คือสถานี 07152 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 935.50 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ.

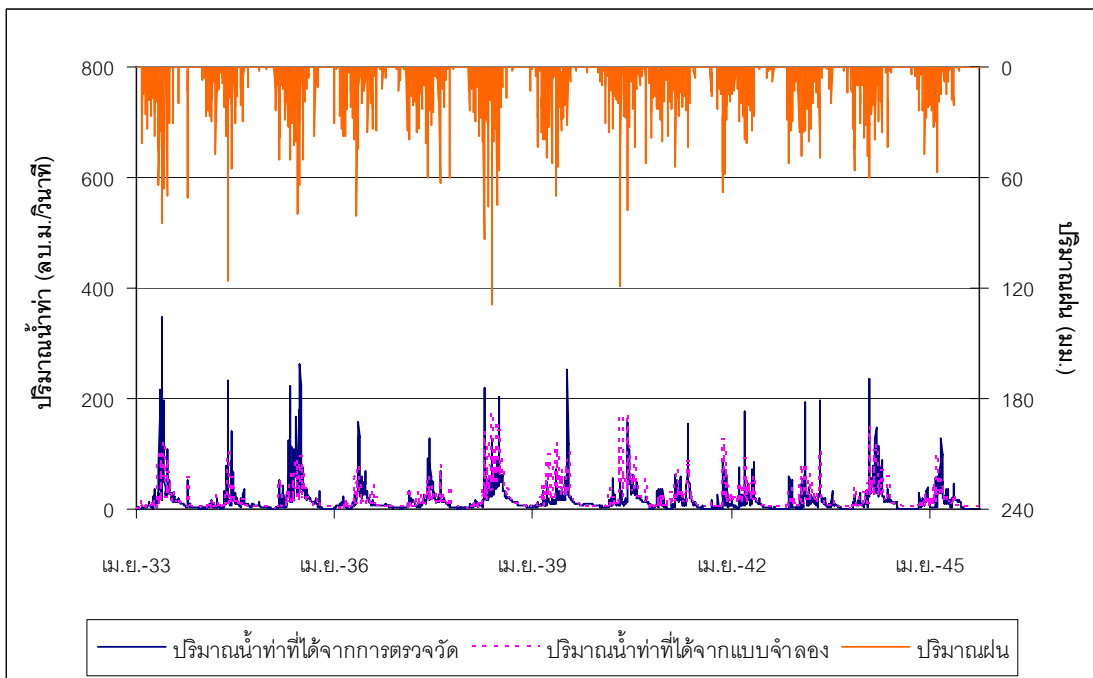
2495 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.57 และสถานี 07282 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,092.00 มม. มีสถิติข้อมูลที่ตรวจวัดปี พ.ศ. 2509 ถึง 2546 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.43 ในการเรียนรู้ (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้ พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545 ส่วนในการทดสอบ (Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2537 สำหรับผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 65 และ 66

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า P.14 ได้นำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรทางด้านสถิติซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกราฟน้ำท่ารายวันจากแบบจำลองโดยตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 26 ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

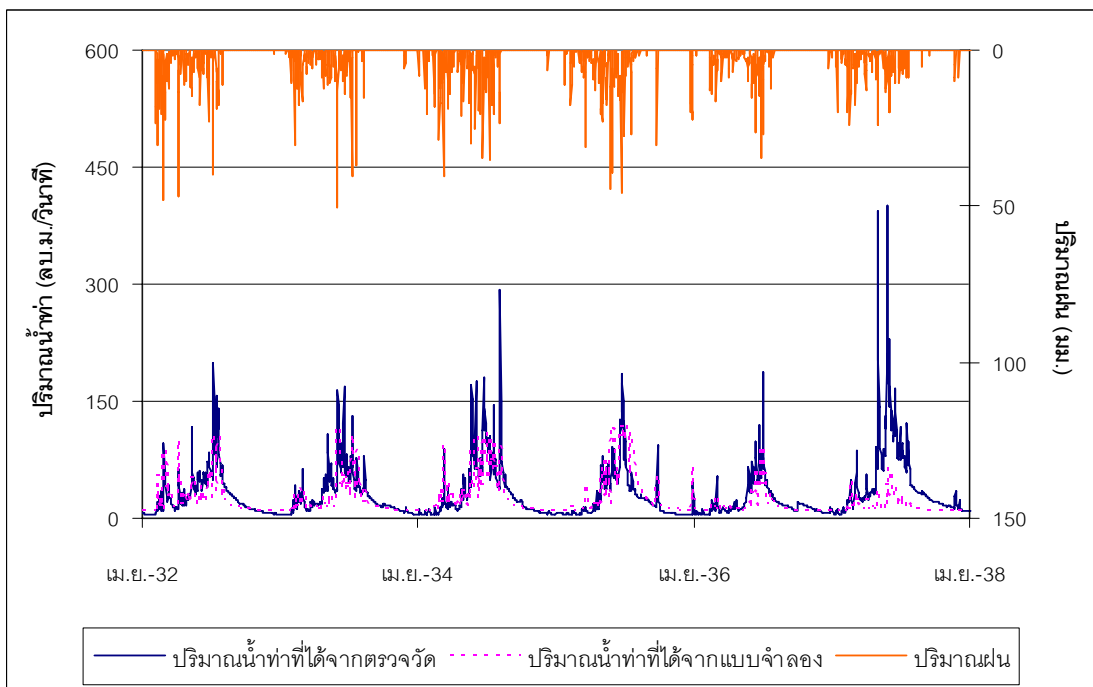
**ตารางที่ 26** ตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.14

ค่าทางสถิติ	เรียนรู้	ทดสอบ
r	0.76	0.68
EI (%)	57.64	40.60
RMSE (มม.)	0.90	0.59
Water Balance (%)	0.04	-25.00

3.14.1 ความเข้ากันได้ดีของสมคุณน้ำ ในด้านสมคุณน้ำมีความสัมพันธ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้กล่าวคือช่วงการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า RMSE เท่ากับ 0.90 และ 0.59 มม. ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างของความลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย สะสมพบว่ามีค่าไม่คี่นักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการทดสอบ กล่าวคือช่วงการเรียนรู้แบบจำลองความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าความลึกของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด 0.04 เปอร์เซ็นต์ และต่ำกว่า 25.00 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงการทดสอบ



ภาพที่ 65 ผลการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่ไม่มีสถานี P.14 ช่วงปี พ.ศ. 2533 ถึง 2545



ภาพที่ 66 ผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สถานี P.14 ช่วงปี พ.ศ. 2532 ถึง 2537

3.14.2 ความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยรวม จากผลการศึกษาพบว่ามีความเข้ากันได้ที่สามารถยอมรับได้เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EI พบว่ามีความเข้ากันได้ที่ไม่ดีนักกล่าวคือในช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่า  $r$  เท่ากับ 0.76 และค่า EI เท่ากับ 57.64 เปอร์เซนต์ ส่วนช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมค่า  $r$  ลดลงเป็น 0.68 และค่า EI ลดลงเป็น 40.60 เปอร์เซนต์

การพิจารณาภาพรวมของกราฟน้ำท่ารายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบกับตัวแปรทางสถิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.14 ดังแสดงในตารางที่ 26 พบว่าในช่วงการทดสอบมีค่า RMSE เท่ากับ 0.59 มม. เมื่อเปรียบเทียบกับความของลึกปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่า 0.76 มม. ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก แต่เมื่อพิจารณาจากค่า Water Balance ที่มีค่าเท่ากับ -25% ถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุสำคัญมาจากสถานีวัดน้ำท่า P.14 มีพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ และมีสถานีวัดน้ำฝนที่เลือกใช้เพียง 2 สถานี ดังนั้นข้อมูลน้ำฝนที่ใช้จึงไม่เป็นตัวแทนของฝนสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำที่พิจารณา ทำให้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าไม่ตอบสนองกับปริมาณฝนที่ตกในช่วงเวลานั้น

### 3.15 สรุปภาพรวมผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

จากผลการเรียนรู้แบบจำลองในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า และผลการทดสอบแบบจำลองในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบนจำนวน 12 สถานี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 240 ถึง 3,853 ตร.กม. คิดเป็นพื้นที่รับน้ำฝนเฉลี่ย 1,116 ตร.กม. ซึ่งสามารถสรุปโครงสร้างแบบจำลองของสถานีวัดน้ำท่าในแต่ละกลุ่มได้คือ 1) กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า P.65 , P.42 , P.24A , P.64 , P.21 และ P.34 โดยที่สถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มที่มีพื้นที่ลุ่มน้ำน้อยกว่า 1,000 ตร.กม. และมีโครงสร้างแบบจำลองเป็น 8-7-1 ซึ่งในชั้น Input Layer ประกอบด้วย Input Node ที่เป็นค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 6 วัน 2) กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า P.28 , P.20 , P.13 , P.71 , P.4A และ P.14 โดยที่สถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มที่มีพื้นที่ลุ่มน้ำมากกว่า 1,000 ตร.กม. และมีโครงสร้างแบบจำลอง 9-1-1 ซึ่งในชั้น Input Layer ประกอบด้วย Input Node ที่เป็นค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 7 วัน



ประสิทธิภาพการประยุกต์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปึงตอนบนจำนวน 12 สถานี สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 27 ผลการศึกษาพบว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันที่ผลอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้สำหรับสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 6 สถานีคือ P.65 , P.21 , P.34 , P.28 , P.20 และ P.13 โดยมีค่า r ระหว่าง 0.71 ถึง 0.82 ค่า EI ระหว่าง 51.12 ถึง 67.37 เปอร์เซ็นต์ ค่า RMSE ระหว่าง 0.62 ถึง 1.38 มม. และค่า WBE ระหว่าง -21.10 ถึง 20.77 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสถานีวัดน้ำท่าที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 จำนวน 3 สถานีคือ P.65 , P.21 และ P.34 และสถานีวัดน้ำท่าที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 จำนวน 3 สถานีคือ P.28 , P.20 และ P.13

สำหรับสถานีวัดน้ำท่าที่ได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการประเมินปริมาณน้ำท่าแต่ให้ประสิทธิผลค่อนข้างต่ำมีจำนวน 6 สถานีคือ P.42 , P.24A , P.64 , P.71 , P.4A และ P.14 โดยมีค่า r ระหว่าง 0.51 ถึง 0.78 ค่า EI ระหว่าง 24.96 ถึง 48.12 เปอร์เซ็นต์ ค่า RMSE ระหว่าง 0.52 ถึง 1.31 มม. และค่า WBE ระหว่าง -25.00 ถึง 18.71 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสถานีวัดน้ำท่าที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 จำนวน 3 สถานีคือ P.42 , P.24A และ P.64 สถานีวัดน้ำท่าที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 จำนวน 3 สถานีคือ P.4A , P.71 และ P.14

**ตารางที่ 27** สรุปผลการเรียนรู้และการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปึงตอนบนจำนวน 12 สถานี

กลุ่มที่	สถานีวัดน้ำท่า	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	การเรียนรู้				การทดสอบ			
			r	EI %	RMSE (มม.)	WBE %	r	EI %	RMSE (มม.)	WBE %
กลุ่มที่ 1	P.65	240	0.78	61.50	1.00	-0.61	0.78	61.22	1.38	-9.53
	P.42	315	0.81	65.12	1.06	0.84	0.51	24.96	0.52	7.76
	P.24A	460	0.79	63.00	1.00	4.36	0.73	47.05	1.00	-21.46
	P.64	503	0.83	67.62	1.74	-12.11	0.69	47.02	1.31	-1.04
	P.21	515	0.83	68.67	1.01	3.25	0.75	51.12	0.62	20.77
	P.34	566	0.78	61.40	1.08	1.21	0.71	61.54	0.86	-7.55

ตารางที่ 27 (ต่อ)

กลุ่มที่	สถานี วัดน้ำท่า	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	การเรียนรู้				การทดสอบ			
			r	EI %	RMSE (มม.)	WBE %	r	EI %	RMSE (มม.)	WBE %
กลุ่มที่ 1	รวม	2,599	0.80	64.17	1.02	-3.16	0.70	48.79	1.05	-1.00
กลุ่มที่ 2	P.28	1,261	0.74	54.12	0.70	0.02	0.78	53.65	0.95	-21.10
	P.20	1,355	0.76	58.14	0.87	0.11	0.73	52.53	0.93	9.25
	P.13	1,765	0.84	71.25	0.72	0.04	0.82	67.37	1.05	-6.84
	P.71	1,777	0.77	57.20	0.90	0.07	0.78	45.43	0.82	18.71
	P.4A	1,902	0.75	55.84	0.89	0.03	0.70	48.12	0.63	8.59
	P.14	3,853	0.76	57.64	0.90	0.04	0.68	40.60	0.59	-25.00
	รวม	11,913	0.75	69.27	0.86	0.24	0.73	50.80	0.94	24.30

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Lavenberg-Marquardt ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบน ซึ่งวิธี Lavenberg-Marquardt มีความสามารถในการเคลื่อนตัวเพื่อหาจุดต่ำสุดที่แท้จริงได้เร็วและมีความคลาดเคลื่อนน้อย โดยโครงสร้างแบบจำลองมีทั้งหมด 3 ชั้น คือ Input Layer, Hidden Layer และ Output Layer ซึ่งข้อมูลที่ใช้ใน Input Layer จะใช้ข้อมูลเป็นค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า (Antecedent Precipitation Index , API) และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ (Areal Rainfall) ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้าที่เหมาะสมของแต่ละโครงสร้าง สำหรับจำนวน Hidden node ได้จากการทายค่าจำนวน Hidden node ที่มีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนของ Input node จากนั้นเลือกจำนวน Hidden node ที่สามารถทำให้ผลการเรียนรู้ของแบบจำลองมีประสิทธิภาพมากที่สุดมาเป็นโครงสร้างของแบบจำลองและเพื่อป้องกันการเรียนรู้มากเกินไป (Overtraining หรือ Overfitting) ควรแบ่งชุดข้อมูลเป็น 3 ชุด คือ ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Set) การตรวจสอบ (Validation Set) และการทดสอบ (Testing Set) โดยในกระบวนการเรียนรู้จะใช้ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบทำการคำนวณพร้อมกัน จากนั้นพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในชุดข้อมูลทั้งสอง โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และการตรวจสอบควรมีค่าที่ลดลง

การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันได้ประยุกต์ใช้กับสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำย่อยต่างๆ ดังนี้ กลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำปิงส่วนที่ 1 คือสถานีวัดน้ำท่า P.20 กลุ่มน้ำย่อยแม่แตงคือสถานีวัดน้ำท่า P.4A P.13 และ P.65 กลุ่มน้ำย่อยแม่จัดคือสถานีวัดน้ำท่า P.28 กลุ่มน้ำย่อยแม่ริมคือสถานี P.21 กลุ่มน้ำย่อยแม่กวังคือสถานีวัดน้ำท่า P.34 กลุ่มน้ำย่อยแม่แจ่มคือสถานีวัดน้ำท่า P.14 กลุ่มน้ำย่อยแม่ขานคือสถานีวัดน้ำท่า P.71 กลุ่มน้ำย่อยแม่กลางคือสถานีวัดน้ำท่า P.24A กลุ่มน้ำย่อยแม่ลีคือสถานีวัดน้ำท่า P.42 และกลุ่มน้ำย่อยแม่ตันคือสถานีวัดน้ำท่า P.64 รวมจำนวนทั้งสิ้น 12 สถานี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนระหว่าง 240 ถึง 3,853 ตร.กม. คิดเป็นพื้นที่รับน้ำฝนเฉลี่ย 1,116 ตร.กม. โดยผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันสรุปได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ลุ่มน้ำกับจำนวนข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองพบว่าข้อมูลด้านเข้าที่ใช้ใน Input Layer ประกอบด้วยดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า (Antecedent Precipitation Index , API) และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ (Areal Rainfall) ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ 1.) สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำน้อยกว่า 1,000 ตร.กม. ประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า P.65 , P.42 , P.24A , P.64 , P.21 และ P.34 จะใช้ข้อมูลด้านเข้าที่เหมือนกันคือค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน (API) และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 6 วัน ( $R_t-R_{t-6}$ ) 2.) สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำมากกว่า 1,000 ตร.กม. ประกอบด้วยสถานี P.28 , P.20 , P.13 , P.71 , P.4A และ P.14 จะใช้ข้อมูลด้านเข้าที่เหมือนกันคือค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า ณ วันปัจจุบัน (API) และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่ ณ วันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 7 วัน ( $R_t-R_{t-7}$ )

2. ผลการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถสรุปโครงสร้างของแบบจำลองได้ดังนี้คือ กลุ่มที่ 1 มีโครงสร้างแบบจำลอง 8-7-1 และกลุ่มที่ 2 มีโครงสร้างแบบจำลอง 9-1-1 ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าแบบจำลองให้ผลอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ที่ค่า  $r$  ระหว่าง 0.71 ถึง 0.82 ค่า EI ระหว่าง 51.12 ถึง 67.37 เปอร์เซ็นต์ ค่า RMSE ระหว่าง 0.62 ถึง 1.38 มม. และค่า WBE ระหว่าง -21.10 ถึง 20.77 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แบบจำลองให้ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำนั้นมีค่า  $r$  ระหว่าง 0.51 ถึง 0.78 ค่า EI ระหว่าง 24.96 ถึง 48.12 เปอร์เซ็นต์ ค่า RMSE ระหว่าง 0.52 ถึง 1.31 มม. และค่า WBE ระหว่าง -25.00 ถึง 18.71 เปอร์เซ็นต์ โดยความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองมีสาเหตุมาจาก 1) การมีพื้นที่ชลประทานทำให้การไหลของน้ำถูกควบคุมด้วยอาคารชลศาสตร์ (Regulated Flow) 2) สถานีวัดน้ำฝนไม่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำทำให้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนไม่เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำที่ดี

3. การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันสำหรับพื้นที่ๆ ก่อสร้างโครงการสามารถทำได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

### 3.1 หาขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำของโครงการที่ต้องการก่อสร้าง

3.2 เลือกสถานีวัดน้ำฝนและช่วงปีข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่โครงการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบแบบจำลอง

3.3 เลือกสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่ในลุ่มน้ำเดียวกันกับพื้นที่โครงการและมีระยะทางห่างจากพื้นที่โครงการน้อยที่สุด

3.4 เลือกข้อมูลปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าที่มีช่วงปีเดียวกันกับข้อ 3.2 และเลือกโครงสร้างที่เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำย่อยจากการหาขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำของโครงการ เพื่อใช้ในการเรียนรู้แบบจำลอง

3.5 ทำการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลอง โดยผลจากการทดสอบแบบจำลองสามารถแสดงปริมาณน้ำท่ารายวันในพื้นที่โครงการได้

4. ข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าคือ 1) ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ต้องการประเมินปริมาณน้ำท่าต้องมีขนาดน้อยกว่า 4,000 ตร.กม. 2) สถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการเรียนรู้แบบจำลองควรถูกควบคุมด้วยอาคารชลศาสตร์น้อยที่สุด 3) พื้นที่ศึกษาควรมีจำนวนสถานีวัดน้ำฝนครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ 4) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าที่ใช้ในการเรียนรู้ควรมีความสอดคล้องกันที่ดี

#### ข้อเสนอแนะ

ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในลุ่มน้ำย่อยที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองมีความสามารถเป็นที่ยอมรับได้ในกรณีที่ข้อมูลปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่ามีความสัมพันธ์สอดคล้องกัน จากประสบการณ์ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองได้นำมาประมวลเป็นข้อเสนอแนะเพื่อประกอบการพิจารณาหรือเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาต่อไปดังนี้

1. ควรมีการศึกษาวีธีต่างๆ เช่นวิธี Fuzzy Logic ในการหาจำนวนข้อมูลด้านเข้าที่เหมาะสมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

2. การประเมินปริมาณน้ำท่ารายวัน โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ใน การศึกษานี้ใช้ค่าดัชนีปริมาณฝนก่อนหน้า และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยตามพื้นที่เป็นข้อมูลด้านเข้า ซึ่งควรมีการศึกษาข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาเพิ่มด้วย

3. ในการประเมินปริมาณน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำย่อย สถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา ควรเป็นสถานีที่ถูกควบคุมโดยฝายหรืออ่างเก็บน้ำน้อยที่สุด เพื่อให้ปริมาณน้ำท่ามีลักษณะเป็น ธรรมชาติ (Natural Flow) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติจะถูกควบคุมโดยอาคารชล ศาสตร์หรือเรียกว่า Regulated Flow ซึ่งทำให้ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าจะไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

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

นุชนารถ ศรีวงศ์ตานนท์. 2545. **เอกสารประกอบการสอนวิชาการจำลองสถานะการเกิดน้ำท่วม.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไมตรี ฝอยทอง. 2538. **ศักยภาพการพัฒนาแหล่งน้ำในลุ่มน้ำบางปะกง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีระพล เต็มสมบัติ. 2538. **หลักสูตรกฏวิทยา.** ห้างหุ้นส่วนจำกัด สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

ศิริกัญญา แสงสว่าง. 2547. **การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองทางอุทกวิทยา ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักพัฒนาอตุณิยมวิทยา กรมอตุณิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2548. **สรุปข้อมูลอตุณิยมวิทยาในรอบ 30 ปี.**

สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2548. **ข้อมูลปริมาณฝนรายวันและปริมาณน้ำท่ารายวัน.**

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

Braga, A.F. and E.E. Figueiredo. 2000. **Effects of the climate variability on the simulated runoff in a semiarid region of Brazil.** Water Resources Research Engineering Area Department of Civil Engineering, n.p.

- Campolo, M., P. Andreussi and A. Soldati. 1999. A river flood forecasting with a neural network model. **Water Resour. Res.** 35 (4): 1191-1197.
- Chibanga, R., J. Berlamont and J. Vandewalle. 2001. **Artificial Neural Networks in Hydrological Watershed Modeling: Surface flow Contribution from the Ungaged Parts of a Catchment.** ESAT-SISTA/COSIC, Belgium, n.p.
- Collischonn, R. Hass, I. Androlli and C.M. Tucci. 2005. Forecasting River Uruguay flow using rainfall Forecasts from a regional weather - prediction model. **Journal of Hydrology.** 305 (2005) : 87-98.
- Compolo, M., A. Soldati and P. Andreussi. 2003. Artificial neural network approach to flood forecasting in the River Arno. **J. Hydrol. Sci.** 48 (3): 381–398.
- Dastorani, M.T. 2004. Evaluation of the application of neural networks on real-time river flood prediction. *Hydraulic of Dams and River Structures-Yazdandoost & Attari (eds) (2004):* 431-440.
- Denis, Pr.D., Pr.A. Michel and E.B. Valerie. 2002. **Forecast of flash floods in ungaged basins with satellite data.** Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, France, n.p.
- Descroix, L., Nouvelot, J.-F. and M. Vauclin. 2002. Evaluation of an Antecedent Precipitation Index to Model Runoff Yield in the Western Sierra Madre (North-West Mexico). **Journal of Hydrology.** Vol. 263, 114-130.
- Dooge, L.C.I., 1974. Problems and Methods of Rainfall-Runoff Modeling, *Mathematical Models for Surface Water Hydrology*, John Wiley and Sons, 71-108.
- Donnelly-Makowecki, L.M. and R.D. Moore. 1999. Hierarchical testing of three rainfall–runoff models in small forested catchments. **Journal of Hydrology** 219 (1999): 136–152.



- Han, Jy S. Wu, P.E., S. Annambhotla and S. Bryant. 2005. Artificial Neural Networks for Forecasting Watershed Runoff and Stream Flows. **Journal of Hydrologic Engineering** (2005): 216-222.
- Imrie, C.E., S. Durucan and A. Korre. 2000. River flow prediction using artificial neural networks: generalisation beyond the calibration range. **Journal of Hydrology** 233 (2000) : 138±153.
- Labib, R., S. Birikundavyi, H.T. Trung and J. Rousselle. 2002. Performance of Neural Networks in Daily Streamflow Forecasting. **Journal of Hydrologic Engineering** (2002): 392-398.
- Loke, E., Warnaars, E.A., Jacobsen, P., Nelen, F., do CeÂu Almeida, M., 1997. Artificial neural networks as a tool in urban storm drainage. **Water Sci. Technol.** 36, 101-109.
- Rajurkar, M.P., U.C. Kothyari and U.C. Chaube. 2004. Modeling of the daily rainfall-runoff relationship with artificial neural network. **Journal of Hydrology** 285 (2004): 96–113.
- Raman, H., Sunilkumar, R., 1995. Multivariate modelling of water resources time series using artificial neural networks. **J. Hydrol. Sci.** 40: 145 -163.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J., 1986. Learning Internal Representations by Error Propagation. In **Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructures of Cognition**. Rumelhart, D.E., Mc.Clelland, J.L. (Eds), Vol. 1,318-362.
- Shamseldin, A.Y., O'Connor, K.M., Liang, G.C., 1997. Methods for combining the Output of different rainfall - runoff models. **J. Hydrol.** 197: 203 -229.
- Smith, J., and Eli, R. N. 1995. Neural-network models of rainfall – runoff process. **J. Water Resour. Plan. Manage.** 121 (6): 499–508.

Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Section 4 Hydrology, U.S. Dept. Of Agriculture, available from U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1972.

Thirumalaiah, K., and Deo, M. C. 1998. River stage forecasting using artificial neural networks. **J. Hydrologic Eng.** 3 (1): 26-31.

\_\_\_\_\_. 2000. Hydrological forecasting using artificial neural networks. **J. Hydrologic Eng.** 5 (2): 180-189.

Tokar, A. S., and Markus, M. 2000. Precipitation-runoff modeling using artificial neural networks and conceptual models. **J. Hydrologic Eng.** 5 (2): 156–161.

Tsoukalas, L.H. and R.E. Uhrig. 1997. **Fuzzy and Neural Approaches in Engineering.** First Edition. John Wiley & Sons. New York.

The US Climate Change Science Program (USCCSP). 2003. **Strategic Plan for the Climate Change Science Program.** n.p.

Zealand, C.M., D.H. Burn and S.P. Simonovic. 1999. Short term streamflow forecasting using artificial neural networks. **Journal of Hydrology** 214 (1999): 32–48.

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่าในกลุ่มน้ำปิงตอนบน

ตารางผนวกที่ ก1 ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พิกัด		ช่วงปีสถิติข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
1. อ.เมือง	เชียงใหม่	07013	18-50-23	98-58-32	2495-2546
2. อ.สารภี	เชียงใหม่	07022	18-42-48	99-02-29	2495-2546
3. อ.สันกำแพง	เชียงใหม่	07032	18-44-39	99-07-28	2495-2546
4. อ.สันทราย	เชียงใหม่	07042	18-50-51	99-02-54	2495-2546
5. อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	07052	18-52-08	99-08-22	2495-2546
6. อ.แม่ริม	เชียงใหม่	07062	18-54-47	99-56-52	2495-2546
7. อ.หางดง	เชียงใหม่	07072	18-41-10	98-55-19	2495-2546
8. อ.สันป่าตอง	เชียงใหม่	07082	18-37-37	98-53-56	2495-2546
9. อ.ฮอด	เชียงใหม่	07092	18-11-26	98-36-52	2495-2545
10. อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07112	19-07-08	98-56-52	2495-2546
11. อ.พร้าว	เชียงใหม่	07122	19-21-52	99-12-17	2495-2546
12. อ.เชียงดาว	เชียงใหม่	07132	19-21-53	98-58-00	2495-2546
13. อ.สะเมิง	เชียงใหม่	07142	18-50-52	98-44-09	2495-2546
14. อ.แม่แจ่ม	เชียงใหม่	07152	18-29-54	98-21-54	2495-2546
15. อ.อมก๋อย	เชียงใหม่	07162	17-47-45	98-21-36	2495-2546
16. อ.จอมทอง	เชียงใหม่	07182	18-24-57	98-40-47	2495-2546
17. บ้านแอน กิ่ง อ.ดอยเต่า	เชียงใหม่	07192	18-03-00	98-38-43	2502-2547
18. วังหลวง	เชียงใหม่	07202	-	-	2502-2511
19. บ้านหมุดกา	เชียงใหม่	07212	-	-	2502-2510
20. นิคมสร้างตนเอง ดอยเชียงดาว	เชียงใหม่	07232	19-15-36	98-55-19	2504-2515
21. อุทยานแห่งชาติ ดอยสุเทพ – ปุย	เชียงใหม่	07242	18-48-10	98-55-30	2504-2546
22. ศูนย์วิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำ ดอยเชียงดาว	เชียงใหม่	07252	19-16-07	98-58-32	2507-2546
23. พระตำหนักภูพิงศ์ ดอยบวกห้า	เชียงใหม่	07262	18-48-24	98-54-12	2508-2546
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	2509-2546
26. สถานีทดลองข้าว สันป่าตอง	เชียงใหม่	07292	18-36-40	98-54-02	2505-2547
27. สถานีอากาศเกษตรแม่โจ้ อ.สันทราย	เชียงใหม่	07304	18-53-48	99-00-39	-
28. สถานีทดลองป่าไม้ จ.เชียงใหม่	เชียงใหม่	07314	-	-	2502-2507
29. โครงการปรับปรุงห้วยแม่ใน	เชียงใหม่	07322	-	-	2513-2517
30. แก่งกืด (P. - 13) อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07331	19-12-45	98-52-12	2495-2523
31. แม่กว้ง (P. - 25) อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	07341	18-55-04	99-07-50	2507-2546
32. แม่จืด	เชียงใหม่	07361	-	-	2511-2541

### ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พิกัด		ช่วงปีสถิติข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
33. ศูนย์อุทกวิทยาที่ 1 สำนักงานชลประทานที่1	เชียงใหม่	07391	18-47-21	99-01-01	2514-2547
34. ไซฟอนห้วยแม่แฝก อ.สันทราย	เชียงใหม่	07420	18-59-44	98-59-00	2495-2546
35. ไซฟอนห้วยแม่โจ้	เชียงใหม่	07430	18-54-06	99-01-14	2495-2533
36. ไซฟอนห้วยแก้ว	เชียงใหม่	07440	19-02-33	98-58-52	2495-2533
37. ไซฟอนห้วยแม่เตาไห	เชียงใหม่	07450	18-55-57	99-00-02	2495-2533
38. ประตูระบายน้ำโครงการ แม่แฝก	เชียงใหม่	07460	18-52-40	99-05-08	2503-2533
39. นิคมสร้างตนเองเขื่อนภูมิพล กิ่ง อ.คอยเต่า	เชียงใหม่	07472	17-55-00	98-41-00	2512-2546
40. ฝ่ายสนธิกิจปรีชา (ฝ่ายแม่แฝก)	เชียงใหม่	07480	19-06-08	98-57-21	2495-2533
41. สวนป่าแม่หอพระ อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07502	19-04-00	99-13-00	2516-2547
42. โครงการแม่ปิงเก่า	เชียงใหม่	07510	18-41-22	98-58-20	2513-2546
43. ห้วยงานแม่แตง	เชียงใหม่	07520	19-09-16	98-55-22	2517-2533
44. ไซฟอนแม่ฮ่องฮัก (ตอน 1) อ.คอยสะแก	เชียงใหม่	07530	18-52-35	99-08-48	2517-2533
45. ไซฟอนแม่โป่ง (ตอน 2) อ.คอยสะแก	เชียงใหม่	07540	18-49-17	99-10-32	2517-2533
46. บ้านส้มวัวแดง (ตอน 3) อ.สันกำแพง	เชียงใหม่	07550	18-44-26	99-09-37	2502-2533
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.สันป่าดง	เชียงใหม่	07591	18-37-00	98-44-43	2522-2542
51. เมืองโขง อ.เชียงดาว	เชียงใหม่	07605	19-23-00	98-43-06	2515-2537
52. โครงการขุด	เชียงใหม่	07614	-	-	2515-2537
53. ห้วยแม่กา อ.แม่แตง	เชียงใหม่	07625	18-17-21	98-19-12	2514-2522
54. แม่แจ่ม	เชียงใหม่	07634	-	-	2513-2524
55. แก่งออบหลวง อ.แม่แจ่ม	เชียงใหม่	07645	18-13-30	98-28-00	2514-2533
56. สำนักโครงการเกษตรกรรมจอมทอง	เชียงใหม่	07652	-	-	2525-2546
57. เขื่อนแม่งัด	เชียงใหม่	07665	19-09-00	99-02-00	2526-2530
58. โครงการแม่งัด (P. -28A)	เชียงใหม่	07670	19-10-10	99-03-09	2527-2541
59. บ้านคลองหิน อ.ฮอด	เชียงใหม่	07695	18-10-30	98-36-00	2528-2540
60. กิ่ง อ.เวียงแหง	เชียงใหม่	07702	-	-	2532-2547
61. สวนป่าแม่แจ่ม	เชียงใหม่	07714	-	-	2531-2547
62. หน่วยพัฒนาเคลื่อนที่ 32 กรป.กลาง	เชียงใหม่	07722	-	-	2532-2547
63. บ้านแม่ตั้น (P. - 46) อ.อมก๋อย	เชียงใหม่	07731	-	-	2533-2547
64. วิจัยการใช้น้ำชลประทานแม่แตง	เชียงใหม่	07740	-	-	2529-2540

### ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พิกัด		ช่วงปีสถิติข้อมูล
			ละติจูด	ลองจิจูด	
65. แม่น้ำแม่แตง (P. - 65) อ.เวียงแหง	เชียงใหม่	07751	-	-	2538-2546
66. อ.เมือง	ลำพูน	17012	18-34-38	99-00-34	2495-2546
67. อ.ลี้	ลำพูน	17022	17-48-01	98-57-17	2498-2546
68. อ.ป่าซาง	ลำพูน	17032	18-31-25	98-56-38	2498-2546
69. อ.แม่ทา	ลำพูน	17042	18-27-35	99-08-14	2495-2546
70. อ.บ้านโฮ้ง	ลำพูน	17052	18-18-52	98-49-21	2405-2546
71. บ้านเกาะ	ลำพูน	17062	17-39-20	98-46-30	2502-2547
72. สถานีทดลองป่าไม้ อ.แม่ลี้	ลำพูน	17074	-	-	2516-2547
73. บ้านคอนหมื่น (P.42)	ลำพูน	17080	-	-	2521-2546
74. สถานีอากาศเกษตร จ.ลำพูน	ลำพูน	17093	18-35-00	99-20-00	2523-2546
75. บ้านหนองหอย (P.44)	ลำพูน	17101	18-35-12	99-09-27	2526-2529
76. แม่ขันธ์ (P.53)	ลำพูน	17111	18-23-11	99-00-37	2529-2530

ที่มา: กรมชลประทาน (2548)

### ตารางผนวกที่ ก2 ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปิงตอนบน

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	พิกัด		ช่วงปีสถิติข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
1. แม่น้ำปิง ที่สะพานนารัฐ	เชียงใหม่	P.1	6,355	18-47-09	99-00-29	2495-2546
2. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าแค	ตาก	P.2A	38,862	16-51-14	99-07-50	2495-2547
3. น้ำแม่แตง ที่บ้านห้วยเหี้ย	เชียงใหม่	P.4	1,834	19-09-49	98-55-03	-
4. น้ำแม่แตง ที่แม่แตง	เชียงใหม่	P.4A	1,902	19-07-15	98-56-51	2498-2546
5. น้ำแม่แตง ที่บ้านห้วยเหี้ย	เชียงใหม่	P.4B	1,833	19-10-20	98-55-05	2500-2507
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 ที่ผาวิงจู้	เชียงใหม่	P.6A	19,233	18-05-37	98-36-53	-
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	2521-2547
11. แม่น้ำปิง ที่วังกระเจ้า	ตาก	P.12	26,396	17-14-30	99-00-45	2495-2539
12. น้ำแม่แตง 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	2497-2546

## ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	พิกัด		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
14. น้ำแม่แจ่ม ที่ฮอด	เชียงใหม่	P.14A	3,909	18-12-02	98-37-01	2502-2511
15. แม่น้ำปิง ที่คลองขลุง	กำแพงเพชร	P.15	43,805	16-12-50	99-43-26	2521-2547
16. แม่น้ำปิง ที่ขามเฒ่า	กำแพงเพชร	P.16	45,677	16-03-42	99-51-51	2522-2547
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	-
20. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าศาลา	เชียงใหม่	P.19A	14,023	18-25-19	98-42-11	2501-2539
21. แม่น้ำปิง ที่เชียงดาว	เชียงใหม่	P.20	1,355	19-21-09	98-58-25	2522-2546
22. น้ำแม่ริม ที่แม่ริม	เชียงใหม่	P.21	515	18-55-29	98-56-34	2497-2546
23. น้ำแม่สา ที่บ้านแม่สาเหนือ	เชียงใหม่	P.22	135	18-53-45	98-57-12	2497-2511
24. น้ำแม่ขาน ที่บ้านแม่ขาน	เชียงใหม่	P.23	1,777	18-31-37	98-51-42	2498-2530
25. น้ำแม่กลาง ที่บ้านสบใต้	เชียงใหม่	P.24	616	18-23-15	98-40-51	2498-2516
26. น้ำแม่กลาง ที่สะพานประชาอุทิศ	เชียงใหม่	P.24A	460	18-25-01	98-40-29	2516-2546
27. น้ำแม่กวง ที่บ้านผาแตก	เชียงใหม่	P.25	572	18-55-04	99-07-50	2507-2512
28. คลองสวนหมากที่บ้านใหญ่	กำแพงเพชร	P.26	968	16-26-54	99-25-57	2507-2542
29. คลองสวนหมากที่ท้ายฝายท่า กระดาน	กำแพงเพชร	P.26A	969	16-26-57	99-26-27	2515-2547
30. ห้วยแม่ใน ที่บ้านปาม่วง	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. น้ำแม่จืด 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	2513-2530
34. น้ำแม่กวง ที่เคียงคาใหม่	เชียงใหม่	P.30	466	18-56-35	99-08-20	2510-2522
35. คลองแม่ระกา ที่บ้านคลองประคู้	ตาก	P.32	342	16-55-27	99-18-09	2514-2544
36. น้ำแม่กวง ที่บ้านผาแตก	เชียงใหม่	P.34	566	18-56-22	99-07-25	2517-2525
37. คลองขลุง ที่บ้านปางหวาย	กำแพงเพชร	P.35	730	16-04-22	99-24-18	2517-2547
38. น้ำแม่ลาย ที่บ้านห้วยแก้ว	เชียงใหม่	P.36	35	18-51-26	99-17-12	2520-2547
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	2521-2544
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	2526-2547



ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

รายชื่อสถานี	จังหวัด	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	พิกัด		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
45. น้ำแม่สะปวด ที่บ้านแม่สะปวดใน	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. น้ำแม่ตั้น ที่บ้านแม่ตั้น	เชียงใหม่	P.63	45	18-32-31	98-42-22	2530-2534
48. น้ำแม่ตั้น ที่สะพานทางหลวง	เชียงใหม่	P.64	336	17-47-01	98-22-31	2534-2545
49. แม่แดง ที่บ้านเหมืองป้อก	เชียงใหม่	P.65	240	19-38-10	98-38-19	2535-2544
50. แม่น้ำปิง ที่บ้านท่าใหม่อิ	เชียงใหม่	P.66	6,367	18-43-12	98-59-23	2537-2537

ที่มา: กรมชลประทาน (2548)

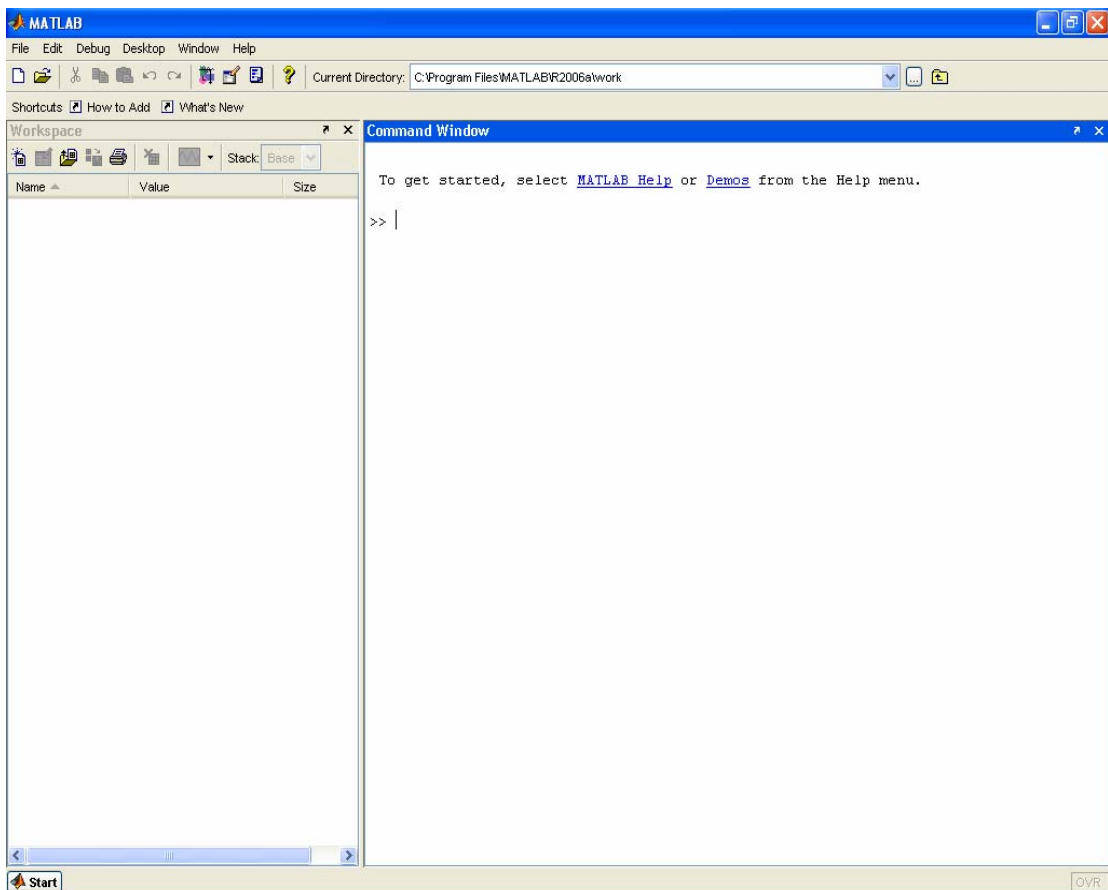
**ภาคผนวก ข**

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

## ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

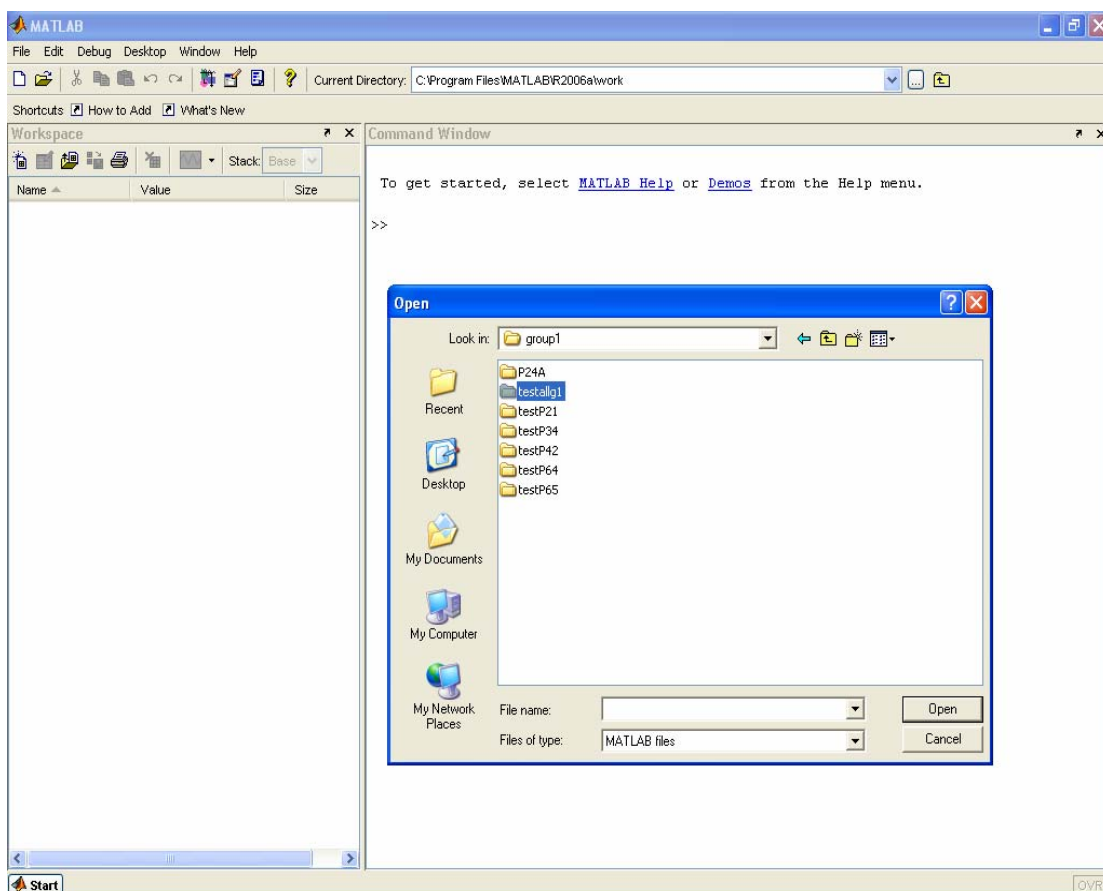
แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับการจำลองกระบวนการนำฝน-น้ำท่าหรือการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันในกลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าในการศึกษานี้อยู่ในโปรแกรม Matlab โดยมีขั้นตอนการทำงาน 8 ขั้นตอน มีรายละเอียดแสดงได้ดังนี้

1. การใช้โปรแกรม Matlab เริ่มจากการเปิดหน้าต่างหลักของตัวโปรแกรม ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข1



ภาพผนวกที่ ข1 หน้าต่างใช้งานของโปรแกรม Matlab

2. ทำการเรียกไฟล์ข้อมูลนำเข้าที่ได้เตรียมไว้ในรูป .mat file เข้าโปรแกรม โดยเลือกที่หน้าต่าง Workspace และคลิกไปที่ Open เพื่อเลือกไฟล์ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข2



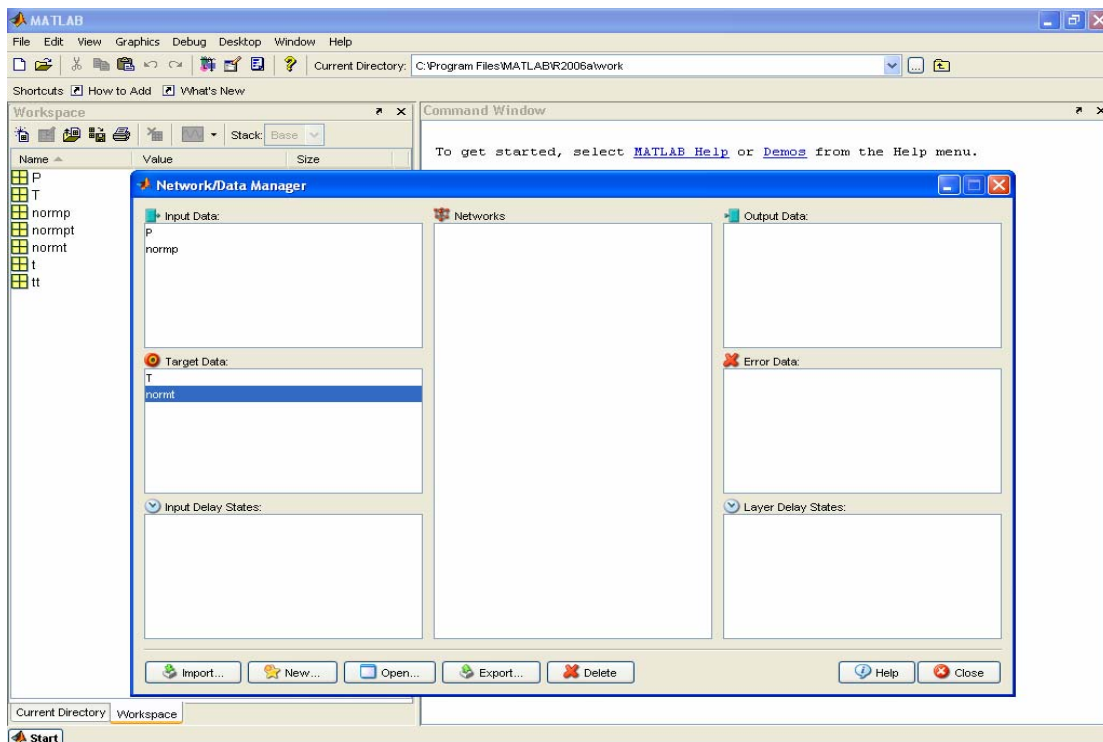
## ภาพผนวกที่ ข2 การเรียกไฟล์เพื่อใช้ใน Program Matlab

3. ทำการพิมพ์คำสั่ง nntool ที่ Command Window จากนั้น Import ค่า Inputs และ Targets จากไฟล์ที่เรียกไว้แล้วลงในหน้าต่าง Network/Data Manager ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข3

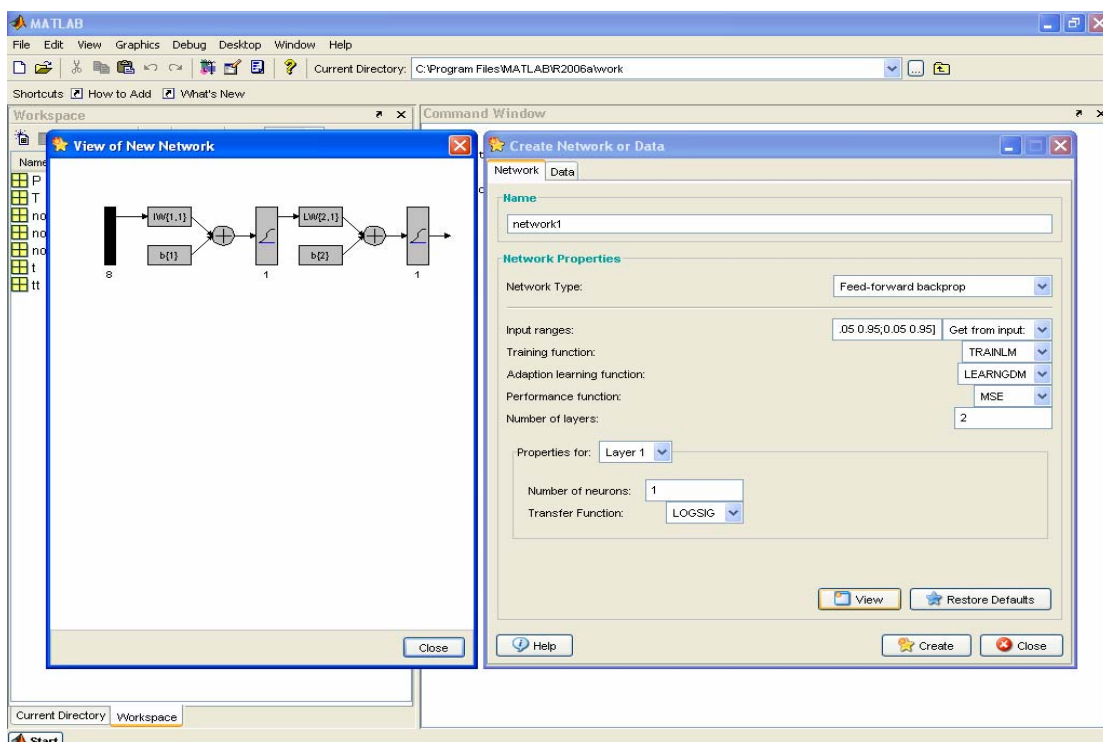
4. ทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมและกำหนดชนิดของการเรียนรู้ รูปแบบค่า Total error และฟังก์ชันการแปลงค่า ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข4

5. ต่อมาทำการ Train แบบจำลอง ซึ่งต้องกำหนดค่าของ Inputs และ Targets ที่นำไปใช้ใน แต่ละชุดข้อมูลของโครงข่ายที่ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข5

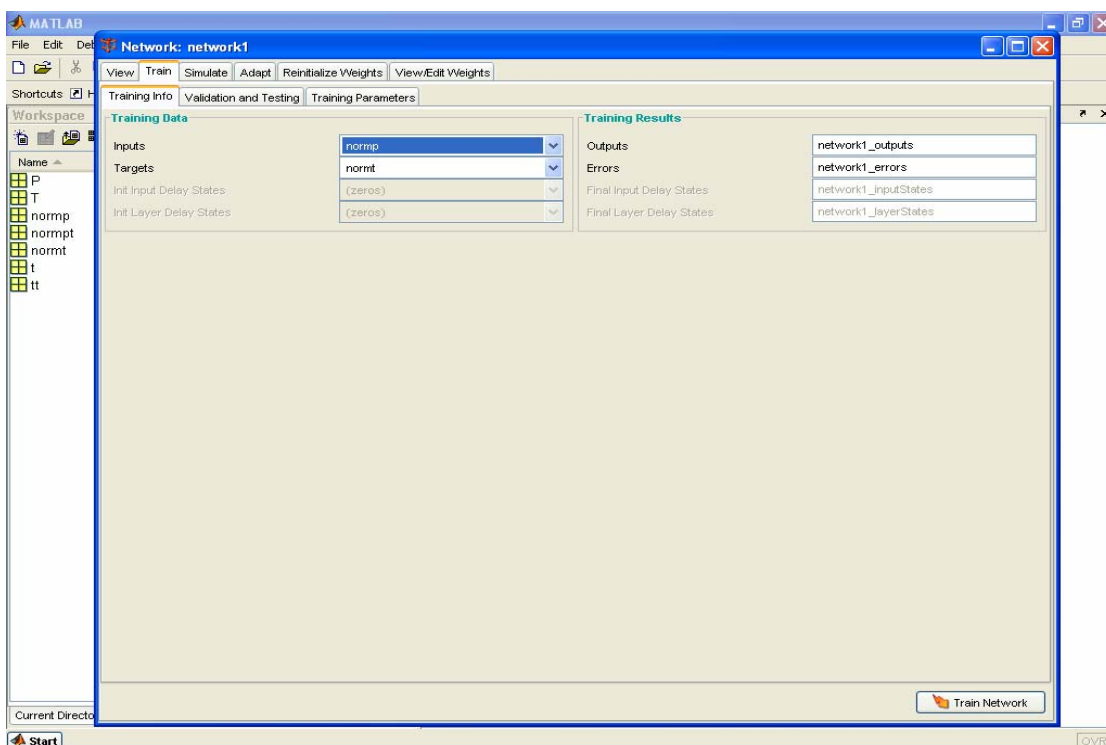
6. เมื่อ Train โครงข่ายเสร็จ จะปรากฏกราฟแสดงค่า Total errors และ จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อบอกผลของการ Train ในโครงข่าย ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข6



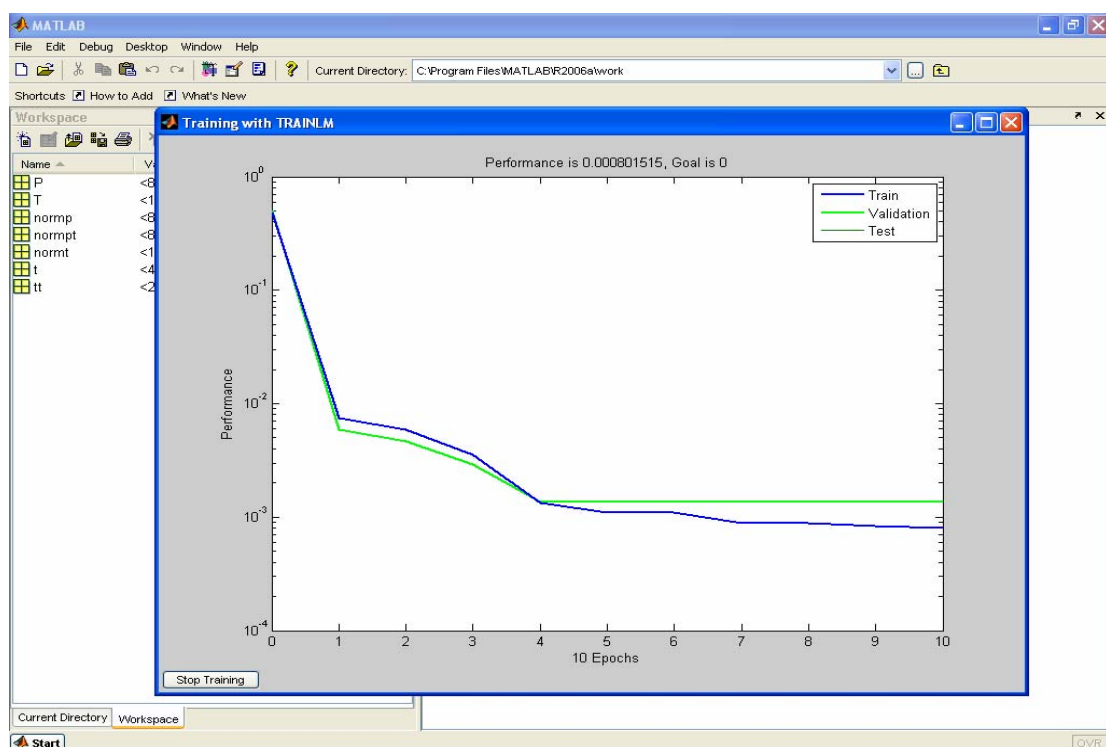
ภาพผนวกที่ ข3 การนำเข้าไฟล์ใน Network/Data Manager



ภาพผนวกที่ ข4 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม

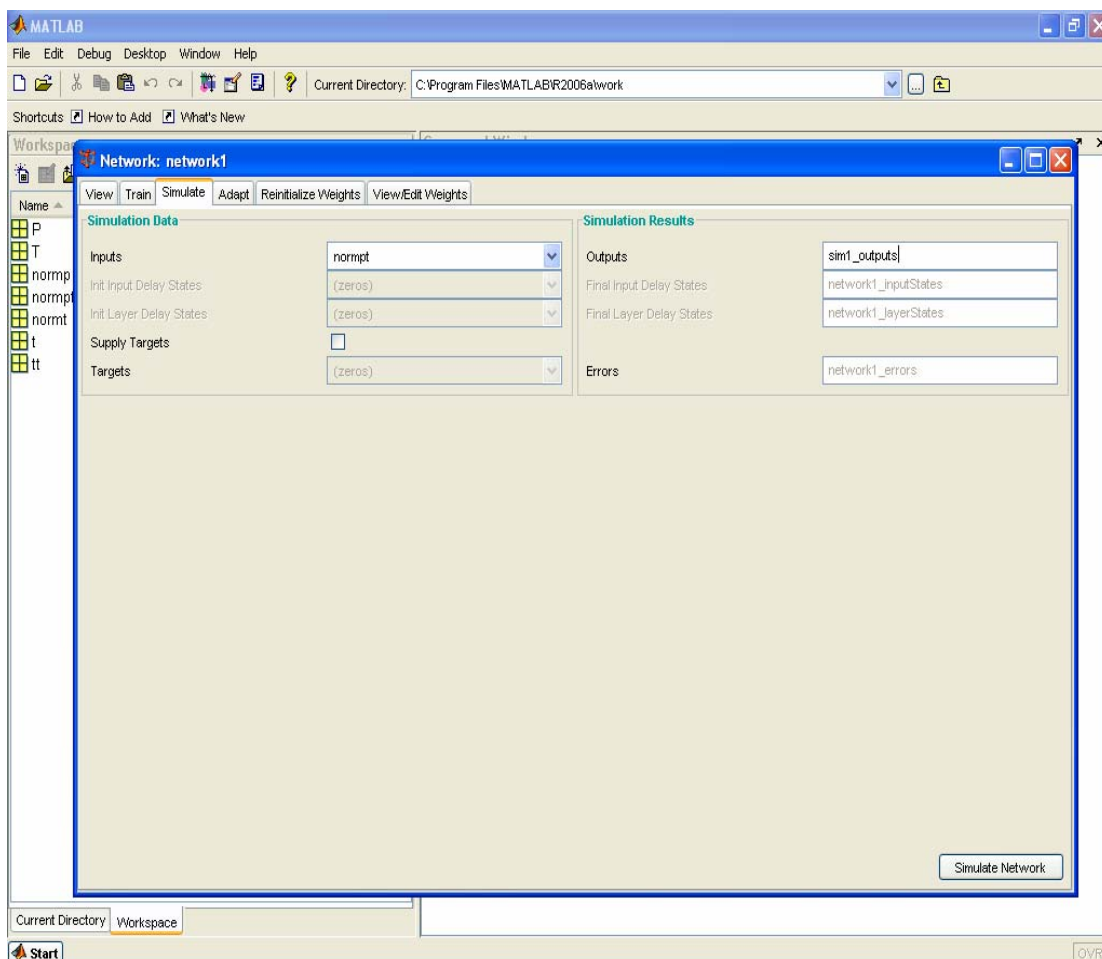


ภาพผนวกที่ ๖5 แสดงการกำหนดชุดข้อมูลที่ใช้ในการ Train แบบจำลอง



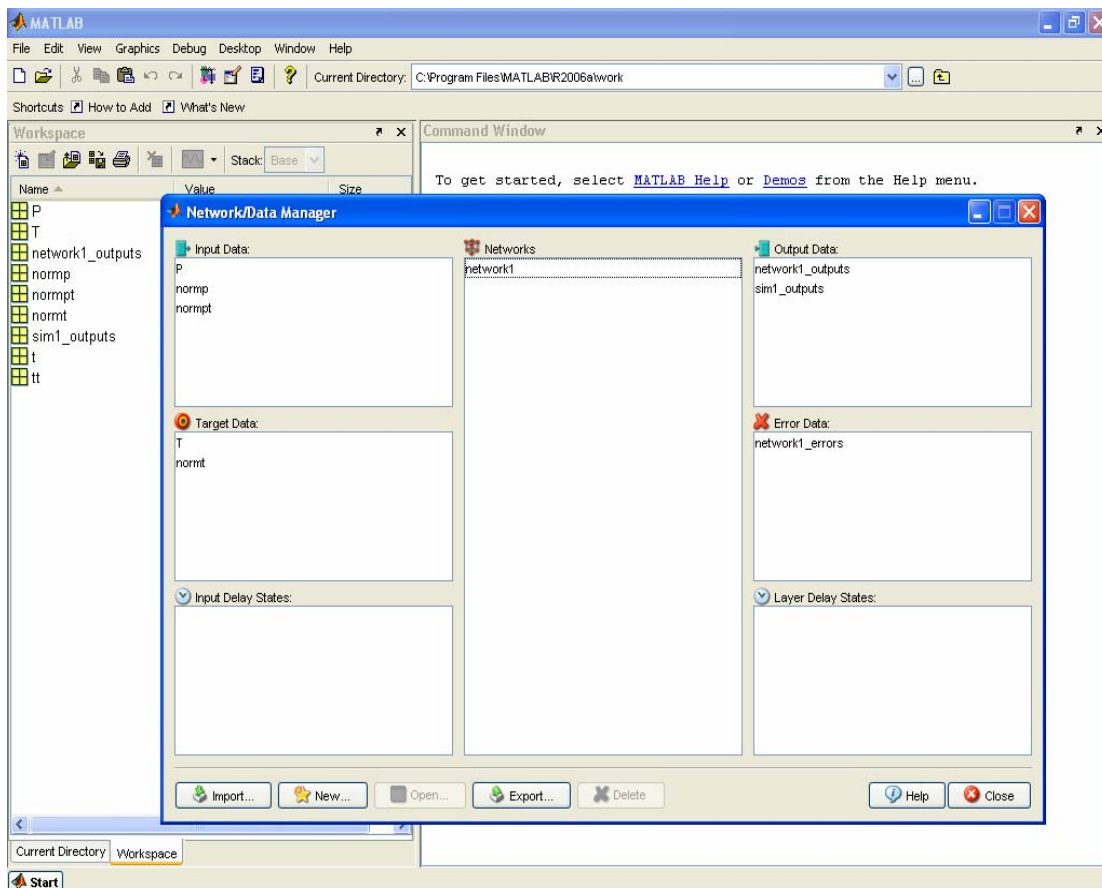
ภาพผนวกที่ ๖6 กราฟแสดงผลของการ Train แบบจำลอง

7. จากนั้นทำการ Simulate โครงข่าย โดยการนำข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบใส่ในโครงข่ายที่ทำการ Train ไว้ในขั้นตอนที่แล้ว ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข7



ภาพผนวกที่ ข7 การกำหนดชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับทดสอบแบบจำลอง

8. เมื่อคำนวณเสร็จก็ทำการบันทึกค่า Outputs ที่ได้จากโครงข่ายทั้งในขั้นตอนการ Train และ Simulate แบบจำลอง ซึ่งปรากฏอยู่ในหน้าต่าง Network/Data Manager ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข8



ภาพผนวกที่ ข8 หน้าต่างค่า Outputs ที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง



## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล

นายโอม ไทยสวัสดิ์

วัน เดือน ปี ที่เกิด

วันที่ 18 มิถุนายน 2526

สถานที่เกิด

กรุงเทพฯ

ประวัติการศึกษา

วศ.บ.(วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)