



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และ
แบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน

Performance Comparison of Artificial Neural Network and Hydrodynamic Models
on Flood Forecasting in the Upper Ping River Basin

นามผู้วิจัย นายสุประภาพร พัฒน์สิงห์เสนีย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัชย์ ลิปิวัฒนาการ, M.Asc.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ศุภกิจ นนทนานันท์, D.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวัฒนา จิตตลดากร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(ศาสตราจารย์ทัศนีย์ อัดตะนันท์, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๑ เดือน มีนาคม พ.ศ. ๒๕๔๗

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองทาง
อุทกพลศาสตร์ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน

Performance Comparison of Artificial Neural Network and Hydrodynamic Models on Flood
Forecasting in the Upper Ping River Basin

โดย

นายสุประภาพร พัฒน์สิงห์เสถียร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

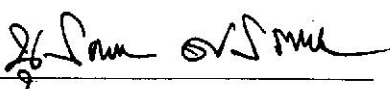
พ.ศ. 2547

ISBN 974-273-141-1

สุประภาพร พัฒน์สิงห์เสณีย์ 2547: การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปึงตอนบน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ปรชานกรรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D. 205 หน้า ISBN 974-273-141-1

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลอง MIKE 11 และ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ (Back-Propagation Neural Network (BPNN) Model) ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมง สำหรับสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปึงตอนบน ซึ่งประกอบด้วยสถานี P.1, P.67, P.73, P. 75 และ PE.2 โดยมีพื้นที่รับน้ำฝน เท่ากับ 6,356, 5,289, 13,353, 3,090 และ 18,932 ตร.กม.ตามลำดับ โดยแบบจำลองย่อยของแบบจำลอง MIKE 11 ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (NAM Model) และแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model; MIKE 11 HD) โดยวัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM คือ การประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างของแม่น้ำปึงในลุ่มน้ำย่อยที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ ในการศึกษาแบบจำลอง MIKE 11 HD ได้กำหนดให้ขอบเขตด้านเหนือน้ำอยู่ที่สถานีวัดน้ำท่า P.20 ซึ่งตั้งอยู่ที่ อ. เชียงดาว จ. เชียงใหม่ และขอบเขตด้านท้ายน้ำที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2 ซึ่งตั้งอยู่ที่ อ. ฮอด จ. เชียงใหม่ รวมความยาวของลำน้ำที่พิจารณาเท่ากับ 216.15 กิโลเมตร ผลการประเมินสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) สำหรับการไหลในลำน้ำ และทุ่งน้ำท่วมของแม่น้ำปึง โดยการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD ที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ พบว่า ค่า Manning's n มีค่าอยู่ระหว่าง 0.028 ถึง 0.040 สำหรับการไหลในลำน้ำ และ 0.050 ถึง 0.063 สำหรับการไหลในทุ่งน้ำท่วม ผลการวิเคราะห์โครงสร้างและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง BPNN โดยการเรียนรู้และการทดสอบแบบจำลอง พบว่า โครงสร้างของแบบจำลองประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นข้อมูลด้านเข้า ชั้นแฝง และ ชั้นแสดงผล โดยจำนวนหน่วยในชั้นข้อมูลด้านเข้าที่เหมาะสมคือ ข้อมูลกราฟน้ำท่ารายชั่วโมงของสถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำ ณ เวลาช่วงหน้าต่าง ๆ กัน จำนวนหน่วยในชั้นข้อมูลแฝงน้อยกว่าจำนวนหน่วยในชั้นข้อมูลด้านเข้า และจำนวนหน่วยในชั้นข้อมูลด้านออก คือ กราฟน้ำท่ารายชั่วโมงของสถานีวัดน้ำท่าด้านท้ายน้ำ ณ เวลาปัจจุบัน สำหรับพารามิเตอร์ของแบบจำลองซึ่งประกอบด้วยอัตราการเรียนรู้และโมเมนตัม พบว่า ค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.3 และ 0.5 ถึง 0.7 ตามลำดับ ในการเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วม พิจารณาจาก 3 องค์ประกอบคือ ความเข้ากันได้ของกราฟน้ำหลากโดยรวม ด้านสมมูลน้ำ และ ปริมาณการไหลสูงสุด ผลการศึกษาความเข้ากันได้ของกราฟน้ำหลากโดยรวมพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และ ค่า Efficiency Index (EI) พบว่าแบบจำลอง BPNN ให้ผลการศึกษาดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 สำหรับการพิจารณาความเข้ากันได้ด้านสมมูลน้ำ โดยพิจารณาจากค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE) และค่าสมมูลน้ำ พบว่าแบบจำลอง BPNN ให้ผลลัพธ์ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 และ สำหรับการพิจารณาความเข้ากันได้ของปริมาณการไหลสูงสุดโดยการพิจารณาจากค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows (Peak_{RRMSE}) พบว่าแบบจำลอง BPNN ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับแบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง BPNN สามารถนำมาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปึงตอนบนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบจำลอง MIKE 11

ผู้ประภาพร พัฒน์สิงห์เสณีย์
ลายมือชื่อนิสิต


ลายมือชื่อประธานกรรมการ

19 / 03 / 2547

Supapap Patsinghasanee 2004: Performance Comparison of Artificial Neural Network and Hydrodynamic Models on Flood Forecasting in the Upper Ping River Basin. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Nutchana Sriwongsitanon, Ph.D. 205 pages. ISBN 974-273-141-1

This study has an objective to compare the performance of the MIKE 11 and the Back-Propagation Neural Network (BPNN) models for hourly flood forecasting at gauging stations in the Upper Ping River Basin. These gauging stations consist of the stations P.1, P.67, P.73, P. 75, and PE.2, which have the catchment areas of 6,356 5,289 13,353 3,090 and 18,932 km², respectively. The MIKE 11 modules used in the study consist of the Rainfall-Runoff module (NAM model) and the hydrodynamic module (MIKE 11 HD model). The objective of an application of the NAM model is to estimate lateral flows of the Ping River from the sub-basin, where there is no gauging station. For the application of the MIKE 11 HD model, the upstream boundary control was situated at the gauging station P.20 located at Amphoe Chiang Dao, Chiang Mai Province, and the downstream boundary was situated at the gauging station PE.2 located at Amphoe Hot, Chiang Mai Province. The total length of the Ping River under the study is 216.15 km. The roughness coefficients (Manning's n) for the channel and floodplain flows of the Ping River - calculated by model calibration and model verification were found to be varied from 0.028 to 0.040 and 0.050 to 0.063, respectively. The suitable structures and parameters of the BPNN model calculated by model training and model testing showed that the general structure of the model consisted of three layers, which are input layer, hidden layer, and output layer. The suitable number of input node was hourly hydrograph data of the upstream stations at different previous hours. The suitable number of hidden node was less than the number of input node. The output node was hourly hydrograph of the downstream station at the present hour. The study of model parameters consisting of the learning rate and momentum were found to be between 0.2 to 0.3 and 0.5 to 0.7, respectively. Performance comparison of both models on flood forecasting was considered in 3 aspects: a good agreement in overall shape of the hydrograph, a good agreement in water balance and a good agreement of peak flows. A good agreement in overall shape of the hydrograph was considered using a correlation coefficient (r) and an efficiency index (EI) statistics. The result showed that the BPNN model performed better than the MIKE 11 model. A good agreement of water balance was considered using a relative root mean square error (RRMSE) and a water balance statistics. The results showed that the BPNN model performed better than the MIKE 11 HD model. A good agreement of peak flow was considered using a relative root mean square error of peak flows (Peak_{RRMSE}) statistic. The results showed that the BPNN model performance was close to the MIKE 11 HD model performance. The results indicated that in overall, the BPNN model was more effective in forecasting flood in the Upper Ping River basin than the MIKE 11 HD model.

S. Patsinghasanee

Student's signature

N. Sriwongsitanon

Thesis Advisor's signature

19 / 03 / 2004

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนและสร้างแนวทางในการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาและแนะนำตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรัชย์ ลิปิวัฒนาการ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภกิจ นนทนานันท์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ อาจารย์ เพ็ญใจ พานิชกุล ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นิสิตวิศวกรรมทรัพยากรน้ำที่ให้กำลังใจ คอยชี้แนะตักเตือน และสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ คุณพ่อคุณแม่คุณป้า และพี่สาวที่น่ารัก ร่วมไปถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า และนางสาวนารีรัตน์ ชูตินันทกุล ซึ่งได้ให้ความกรุณาสนับสนุน รวมไปถึงการให้กำลังใจกับข้าพเจ้ามาโดยตลอดจนสามารถสำเร็จการศึกษาเป็นมหาบัณฑิตได้

สุประภาพร พัฒน์สิงห์เสนีย์

มีนาคม 2547

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปึงตอนบน	8
2	ปริมาณเฉลี่ยฝนรายเดือนและรายปีของสถานีวัดน้ำฝนในจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน	11
3	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปึงตอนบน	14
4	สภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของกลุ่มน้ำปึงตอนบน	15
5	สัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ท้องลำนํ้าของทางน้ำเปิด	50
6	รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่กลุ่มน้ำปึงตอนบนที่ใช้ในการศึกษา	73
7	รายชื่อสถานีวัดน้ำท่ารายชั่วโมงที่ตั้งในกลุ่มน้ำปึงตอนบนที่ใช้ในการศึกษา	74
8	ลักษณะการใช้ที่ดินในปัจจุบันของกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปึงตอนบน	75
9	ช่วงเวลาสำหรับการสอบเทียบ (เรียนรู้) และตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง NAM, MIKE 11 HD และ SNNS ของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า ที่เลือกใช้ในการศึกษา	78
10	ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการไหลเข้า ด้านข้างในแม่น้ำปึง และปริมาณการไหลของลำน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า	80
11	โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำหลาก	89
12	ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณการไหลเข้าด้านข้างเข้าสู่แม่น้ำปึง และสาขา	90
13	ค่าพารามิเตอร์ Manning's (n) ของการไหลในลำน้ำ และทุ่งน้ำท่วมของกลุ่มแม่น้ำปึงตอนบน	91
14	ค่าตัวแปรทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.75 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	96
15	ค่าตัวแปรทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี P.1 ในปีทีกราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก	108
17	ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี P.1 ในปีทีกราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่	114
18	ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี P.73	120
19	ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี PE.2 ในปีทีกราฟน้ำท่ามีขนาดเล็ก	127
20	ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี PE.2 ในปีทีกราฟน้ำท่ามีขนาดใหญ่	133
21	ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดในปีทีกราฟน้ำท่ามีขนาดเล็ก	141
22	ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดในปีทีกราฟน้ำท่ามีขนาดใหญ่	146
23	ค่า Manning's (n) ของการไหลในแม่น้ำปิงตอนบนในปีกราฟน้ำหลากขนาดเล็กที่สถานีวัดน้ำท่า P.1	151
24	ผลลัพธ์ทางสถิติที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่า Manning's n ในลำน้ำ	151

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ที่ตั้งและขอบเขตลุ่มน้ำปึงตอนบน	7
2	ทิศทางลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศของประเทศไทย	9
3	การผันแปรรายเดือนของปริมาณฝนเฉลี่ย	12
4	การกระจายของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำปึงตอนบน	15
5	โครงสร้างของ Model ต่าง ๆ ของแบบจำลอง MIKE 11 ตลอดจน การเชื่อมโยงแต่ละ Modules เข้าด้วยกัน	34
6	โครงสร้างของแบบจำลอง NAM	35
7	ความหมายทางกายภาพของค่า $GWLBF_0$	38
8	Computation Grid ของแต่ละหน้าตัดของลำน้ำ	44
9	จุดกึ่งกลางของสมการต่อเนื่องในรูปแบบของ-6 Point Abbott Scheme	45
10	จุดกึ่งกลางของสมการ โมเมนตัมในรูปแบบของ-6 Point Abbott Scheme	46
11	โครงสร้างของ Neuron ในสมองมนุษย์	52
12	ลักษณะ โครงสร้างของ Back Propagation	53
13	แสดงการเชื่อมโยงของหน่วยใดๆระหว่างชั้น	54
14	รูปแบบของ Logistic Sigmoidal Function	55
15	โครงสร้างของแบบจำลอง BPNN	64
16	แผนภูมิแสดงกระบวนการคำนวณใน Back Propagation	66
17	แผนภูมิแสดงขั้นตอนของวิธีการ Back Propagation	67
18	ที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าและสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำปึงตอนบน	72
19	แผนภูมิแสดงการไหลของน้ำในแม่น้ำปึงตอนบน และลำน้ำสาขา	77
20	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลาก ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของ สถานีวัดน้ำท่า P.75 ในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง	97
21	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลาก ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของ สถานีวัดน้ำท่า P.75 ในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง	98

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11HD และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.67 ในการสอบเทียบแบบจำลอง	102
23	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11HD และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.67 ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง	103
24	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็กในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง	109
25	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็กในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง	110
26	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง	115
27	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง	116
28	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.73 ในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง	121

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.73 ในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง	122
30	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็กในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง	128
31	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็กในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง	129
32	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง	134
33	การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง	135
34	ค่า Efficiency Index ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก	136
35	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก	137
36	ค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE) ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก	138
37	ค่าสมมูลน้ำ (Water Balance) ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก	139
38	ค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$) ในปีที่กราฟน้ำหลากขนาดเล็ก	140

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
39	ค่า Efficiency Index ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่	142
40	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) ในปีที่กราฟน้ำหลาก มีขนาดใหญ่	143
41	ค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE) ในปีที่กราฟน้ำหลาก มีขนาดใหญ่	144
42	ค่าสมดุลน้ำ (Water Balance) ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่	145
43	ค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$) ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่	145
44	ผลกระทบของจำนวน Node ในชั้นแฝงที่มีต่อการประเมินปริมาณ น้ำท่ารายชั่วโมง โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	148
45	ผลกระทบของอัตราการเรียนรู้ที่มีต่อการประเมินปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมง โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	149
46	ผลกระทบของค่าโมเมนตัมที่มีต่อการประเมินปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมง โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	150
47	การเปลี่ยนแปลงค่า r เมื่อค่า Manning's n ในแม่น้ำปิงมีการเปลี่ยนแปลง	152
48	การเปลี่ยนแปลงค่า EI เมื่อค่า Manning's n ในแม่น้ำปิงมีการเปลี่ยนแปลง	153
49	การเปลี่ยนแปลงค่า RRMSE เมื่อค่า Manning's n ในแม่น้ำปิงมีการเปลี่ยนแปลง	153
50	การเปลี่ยนแปลงค่าสมดุลน้ำเมื่อค่า Manning's n ในแม่น้ำปิงมีการเปลี่ยนแปลง	154
51	การเปลี่ยนแปลงค่า $Peak_{RRMSE}$ เมื่อค่า Manning's n ในแม่น้ำปิงมีการเปลี่ยนแปลง	154

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก1	ส่วนประกอบสำคัญของแบบจำลอง SNNS	170
ก2	หน้าต่างการใช้งานของ SNNS manager panel	172
ก3	การเลือกใช้ข้อมูลของแบบจำลอง SNNS	173
ก4	การออกแบบโครงสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แบบ Feed-forward	176
ก5	โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม SNNS	177
ก6	การกำหนดค่าการเชื่อมต่อในแบบจำลอง 2 มิติ	178
ก7	กระบวนการเรียนรู้ และกระบวนการทดสอบของแบบจำลอง SNNS	179
ก8	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความคลาดเคลื่อนในกระบวนการเรียนรู้ และ กระบวนการทดสอบ	180
ก9	การบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง	181
ข1	แบบจำลอง MIKE 11	184
ข2	เมนูหลักในแบบจำลอง River Modelling	184
ข3	การใส่ข้อมูลในลำน้ำของเมนู A	185
ข4	การใส่ข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำในเมนู A.6.5	186
ข5	การใส่ลักษณะทั่วไปของลำน้ำที่ต้องการศึกษา	186
ข6	การใส่ค่าพิกัดของ cross-section	187
ข7	การใส่ระบบของลำน้ำใน Menu A.5	188
ข8	กำหนดการเชื่อมต่อของลำน้ำที่ทำการศึกษา	188
ข9	รายละเอียดของ cross-section ที่ใช้ในการพิจารณา	189
ข10	การนำเข้าข้อมูลของแบบจำลองในเมนู B	190
ข11	ตัวอย่างการใส่ข้อมูลในเมนู B	190
ข12	การ extraction database ในเมนู B	191
ข13	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในเมนู G	192
ข14	ค่า Manning's (M) ที่ใช้ในแบบจำลอง โดยที่ $M=1/n$	192
ข15	เมนูการคำนวณในแบบจำลอง MIKE 11 ในเมนู H	193
ข16	การกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการประยุกต์แบบจำลอง	194

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข17	การแสดงผลการคำนวณในเมนู J	195
ข18	การเลือกข้อมูลใน time series ที่ต้องการพิจารณา	195
ข19	การแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงในสนาม กับค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11	196
ข20	การเลือกรูปตัดด้านข้างของลำน้ำ	196
ข21	การแสดงรูปตัดด้านข้างของลำน้ำ	197
ค1	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.20 ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.75	199
ค2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.20 ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.1	199
ค3	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.4A ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.1	200
ค4	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.21 ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.1	200
ค5	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.73	201
ค6	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.69 ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.73	201
ค7	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.71 ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.73	202
ค8	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.24A ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.73	202
ค9	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2	203
ค10	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.69 ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2	203

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค11	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.24A ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2	204

การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน

Performance Comparison of Artificial Neural Network and Hydrodynamic Models on Flood Forecasting in the Upper Ping River Basin

คำนำ

การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วม นับว่ามีความสำคัญมากในการวางแผน การออกแบบ และการจัดการทรัพยากรน้ำ รวมไปถึงการควบคุมการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ และใช้เป็นข้อมูลประกอบการเตือนภัยที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากสภาวะน้ำท่วม ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมเป็นสิ่งที่มีความซับซ้อนเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ และลำน้ำเช่น ลักษณะของพื้นที่รับน้ำ รูปร่างและความลาดชันของลำน้ำ การกระจายตัวของฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ และกิจกรรมการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ เป็นต้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่วม ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการทางด้านอุทกวิทยา และกระบวนการทางด้านชลศาสตร์ที่มีผลต่อสภาพการเกิดน้ำท่วมของพื้นที่รับน้ำฝน ดังนั้นในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมให้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริงในสนาม จะต้องใช้ข้อมูลด้านเข้าในปริมาณมากประกอบกับแบบจำลองทางชลศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่ได้รับการยอมรับในการใช้งานอย่างแพร่หลาย

สำหรับลุ่มน้ำที่ใช้ในการประเมินน้ำท่วมรายชั่วโมงคือลุ่มน้ำปิงตอนบน ซึ่งประสบกับปัญหาน้ำท่วมหนักในปี พ.ศ. 2538 และ พ.ศ. 2544 ทำให้เกิดความเสียหายทั้งทางด้านชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมงในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับ และใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลอง MIKE 11 นั้นมีความต้องการข้อมูลด้านเข้าในปริมาณมาก ทั้งข้อมูลทางอุทกวิทยา และข้อมูลทางชลศาสตร์ ส่งผลให้ผู้ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 ต้องมีความเข้าใจในขบวนการของการประเมินน้ำท่วม และการเคลื่อนที่ของน้ำท่วม รวมถึงการตีความผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง ดังนั้นเพื่อให้ผลการประเมินกราฟน้ำท่วมได้ผลเป็นที่ยอมรับผู้ใช้งาน

แบบจำลองจำเป็นต้องมีประสบการณ์ในการใช้งานแบบจำลองมากพอสมควร นอกจากนั้นแล้วแบบจำลอง MIKE 11 ก็มีราคาสูงในการจัดซื้อจัดหาประยุกต์ใช้งาน

ในปี พ.ศ. 2523 ได้มีการพัฒนา แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Model) ขึ้นมาใช้แก้ปัญหาการคาดการณ์ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งอาศัยข้อมูลที่ผ่านมาในอดีตมาใช้ในกระบวนการเรียนรู้ (Training Process) และกระบวนการทดสอบ (Testing Process) ซึ่งข้อดีของการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมคือ มีความต้องการข้อมูลน้อยกว่าแบบจำลองด้านกายภาพทั่วไป นอกจากนั้นแล้วผู้ใช้งานแบบจำลองไม่จำเป็นต้องเข้าใจกระบวนการทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับงานที่ทำมากมายเหมือนกับแบบจำลองทางกายภาพ รวมทั้งไม่ต้องสูญเสียงบประมาณในการจัดซื้อจัดหาแบบจำลองดังกล่าวมาใช้งาน ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้กับปัญหาในหลาย ๆ ด้านรวมถึงปัญหาด้านทรัพยากรน้ำ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation Neural Networks (BPNN) ในการประเมินปริมาณกราฟน้ำหลากของเหตุการณ์ที่ผ่านมาในอดีต จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมตลอดจนข้อดีข้อเสียกับแบบจำลอง MIKE 11 HD เพื่อนำไปใช้ในการคาดการณ์กราฟน้ำหลาก และจัดการกับบริเวณพื้นที่น้ำท่วมเพื่อลดความเสียหายที่จะตามมาต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการและทฤษฎีการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมงจากเหตุการณ์ในอดีตของกลุ่มน้ำปึงตอนบน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของผลการประเมินปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมงจากเหตุการณ์ในอดีตในกลุ่มน้ำปึงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
3. เพื่อการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานในแบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ขอบเขตการศึกษา

1. รวบรวมข้อมูลและผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์การเกิดอุทกภัย และการพัฒนาแหล่งน้ำจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในบริเวณลุ่มน้ำปึงตอนบน
2. รวบรวมข้อมูลทางด้านอุคูนิยมวิทยา และอุทกวิทยา เช่นปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าทั้งรายวันและรายชั่วโมง รวมทั้งข้อมูลรูปตัดตามขวางของลำน้ำ และลักษณะทางเรขาคณิตของอาคารชลศาสตร์ต่างๆในบริเวณลุ่มน้ำปึงตอนบน
3. ทำการประเมินปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมงของเหตุการณ์ในอดีต พร้อมทั้งศึกษาค่าของพารามิเตอร์ต่างๆที่เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำปึงตอนบน โดยพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำต้องผ่านการสอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) และการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Model Verification) โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation
4. เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมงโดยการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในกลุ่มน้ำปึงตอนบน

5. ทำการวิเคราะห์ความไวของค่าพารามิเตอร์ในของแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมง

6. สรุปข้อดีข้อเสียในกระบวนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กับปัญหาการประเมินปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมงในอดีต

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

1. ที่ตั้งและอาณาเขต

กลุ่มน้ำปิงเป็นกลุ่มน้ำสาขาหลัก 1 ใน 8 ของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 34,856 ตารางกิโลเมตร โดยน้ำแม่ปิงมีความยาวของลำน้ำทั้งสิ้นประมาณ 740 กิโลเมตร และมีต้นกำเนิดในทิวเขาผีปันน้ำในเขตอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ จากนั้นแม่น้ำปิงได้ไหลลงมาทางทิศใต้ผ่านหุบเขาเข้าสู่เขตอำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีน้ำแม่จัดไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้าย และน้ำแม่แตงไหลมาบรรจบทางฝั่งขวา จากนั้นไหลเข้าสู่พื้นที่ราบลุ่มในเขตจังหวัดเชียงใหม่ และมีน้ำแม่กวังไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้ายที่บริเวณพื้นที่ของจังหวัดลำพูน จากนั้นแม่น้ำปิงไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีน้ำแม่ลีซึ่งไหลจากอำเภอลี่ขึ้นมาจากเหนือมาบรรจบกับแม่น้ำปิง ที่อำเภอจอมทองทางด้านฝั่งซ้าย จากอำเภอจอมทองแม่น้ำปิงไหลได้ลงได้ โดยมีน้ำแม่แจ่มไหลมาบรรจบทางฝั่งขวา ที่อำเภอฮอดก่อนไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลที่อำเภอคอยเต่า สำหรับแม่น้ำปิงตอนล่างได้เขื่อนภูมิพลนั้น แม่น้ำปิงจะไหลผ่านที่ราบและมาบรรจบกับแม่น้ำวัง ซึ่งไหลมาทางฝั่งซ้ายของแม่น้ำปิงที่จังหวัดตาก และไหลผ่านที่ราบกว้างใหญ่ในเขตจังหวัดกำแพงเพชร โดยไปบรรจบกับแม่น้ำน่านที่ปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์ กลุ่มน้ำปิงครอบคลุมพื้นที่ใน 5 จังหวัด คือ จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ตาก กำแพงเพชร และนครสวรรค์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาในพื้นที่กลุ่มน้ำปิงตอนบนเท่านั้น

กลุ่มน้ำปิงตอนบน ครอบคลุมพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนภูมิพลประมาณ 25,345 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 17°14'30" ถึง 19°47'52" เหนือ และระหว่างลองจิจูดที่ 98°4'30" ถึง 99°22'30" ตะวันออก อาณาเขตทิศเหนือและทิศตะวันตกติดกับกลุ่มน้ำสาละวินและกลุ่มน้ำแม่กก ทิศตะวันออกติดกับกลุ่มน้ำแม่วัง ความยาวของลำน้ำตั้งแต่ต้นน้ำถึงเขื่อนภูมิพลประมาณ 514 กิโลเมตร โดยที่ตั้งและขอบเขตกลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในภาพที่ 1 และในตารางที่ 1 แสดงลุ่มน้ำย่อยและพื้นที่รับน้ำของกลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ ในกลุ่มน้ำปิงตอนบน

2. สภาพภูมิประเทศ

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

3. สภาพภูมิอากาศ

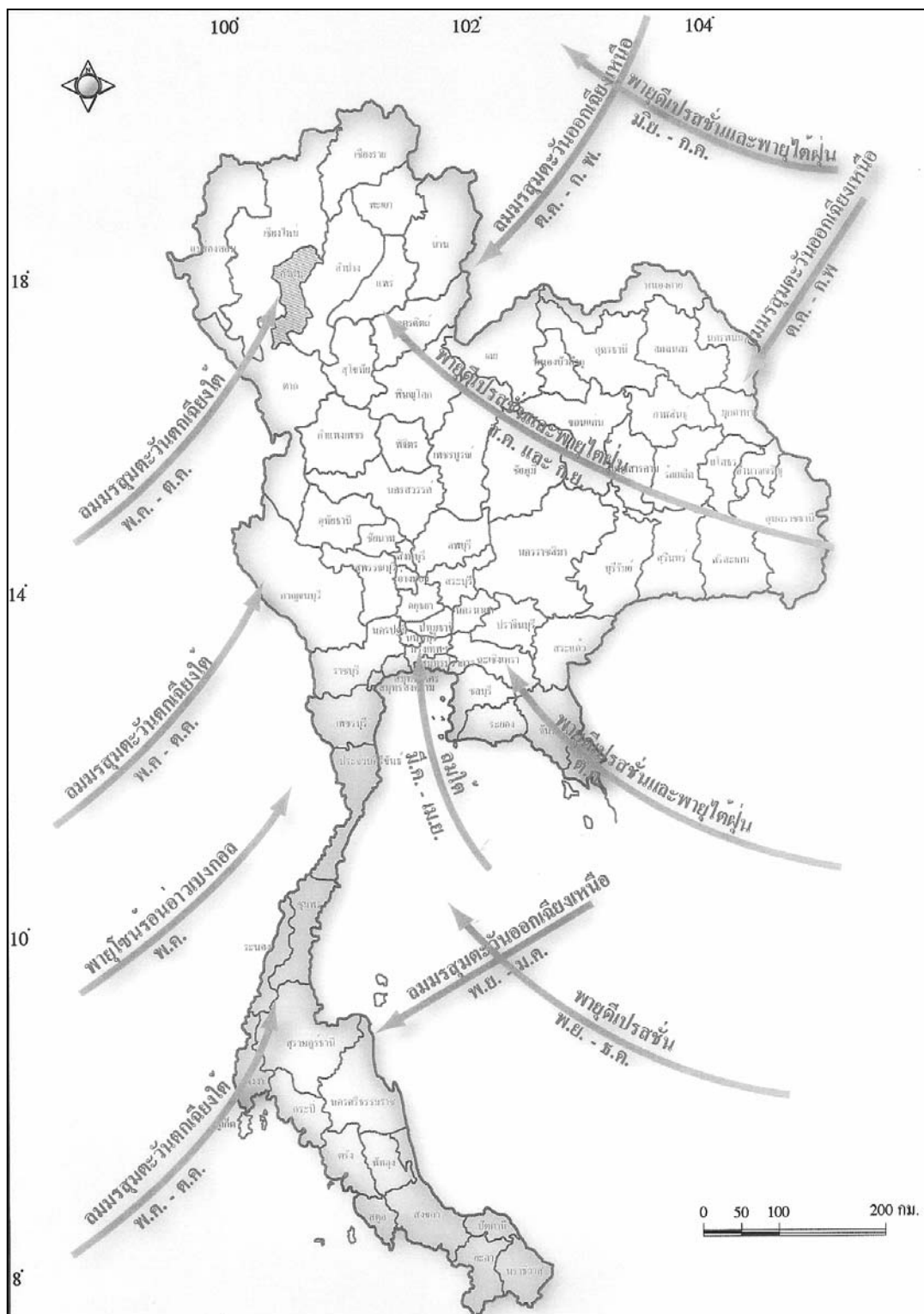
สภาพภูมิอากาศทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นแล้วในแต่ละปีจะได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชัน ซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำปิงมีฝนตกชุกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศต่ำ แสดงในภาพที่ 2

การศึกษาสภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นจากข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา จังหวัดเชียงใหม่ ในคาบสถิติช่วง 30 ปี ในระหว่างปี พ.ศ. 2514 ถึง พ.ศ. 2543 ซึ่งสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปิ้งตอนบน

รหัสกลุ่มน้ำย่อย	รายชื่อกลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)
01	แม่น้ำปิ้งส่วนที่ 1	1,979
02	แม่แตง	1,931
03	แม่จัด	1,287
04	แม่วิม	525
05	แม่น้ำปิ้งส่วนที่ 2	1,480
06	แม่กวง	1,694
07	แม่แจ่ม	3,896
08	แม่ขาน	1,804
09	แม่กลาง	629
10	แม่น้ำปิ้งส่วนที่ 3 (จ.เชียงใหม่)	3,171
11	แม่หาด	533
12	แม่ลี	2,080
13	แม่อาว	172
14	แม่ทา	996
15	แม่ต๋น (จ.เชียงใหม่)	3,168
	รวม	25,345

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)



ภาพที่ 2 ทิศทางลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศของประเทศไทย
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

3.1 อุณหภูมิของอากาศรายเดือนเฉลี่ยจะมีค่าแปรผันอยู่ระหว่าง 20.9-28.8 องศาเซลเซียส โดยมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายนที่อุณหภูมิ 36.0 องศาเซลเซียส และต่ำสุดในเดือนมกราคมที่อุณหภูมิ 14.1 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 25.6 องศาเซลเซียส

3.2 ความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 54 ถึง 81 เปอร์เซ็นต์ โดยเดือนที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดคือเดือนกันยายนมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 93 เปอร์เซ็นต์ เดือนที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดคือเดือนมีนาคมมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 31 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 71 เปอร์เซ็นต์

3.3 ความเร็วลมที่ตรวจวัดได้มีค่าเฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 1.3 ถึง 3.3 นอต โดยในเดือนเมษายน และเดือนธันวาคม เป็นเดือนที่มีความเร็วลมสูงสุดและต่ำสุดตามลำดับ

3.4 ปริมาณการระเหยจากภาควัดการระเหยรายเดือนมีค่าอยู่ระหว่าง 98.3 ถึง 189.4 มิลลิเมตร โดยในเดือนเมษายนและเดือนธันวาคมเป็นเดือนที่มีปริมาณการระเหยสูงสุดและต่ำสุดตามลำดับ โดยมีปริมาณการระเหยเฉลี่ยรวมทั้งปีเท่ากับ 1,639 มิลลิเมตร

4. ข้อมูลด้านอุทกวิทยา

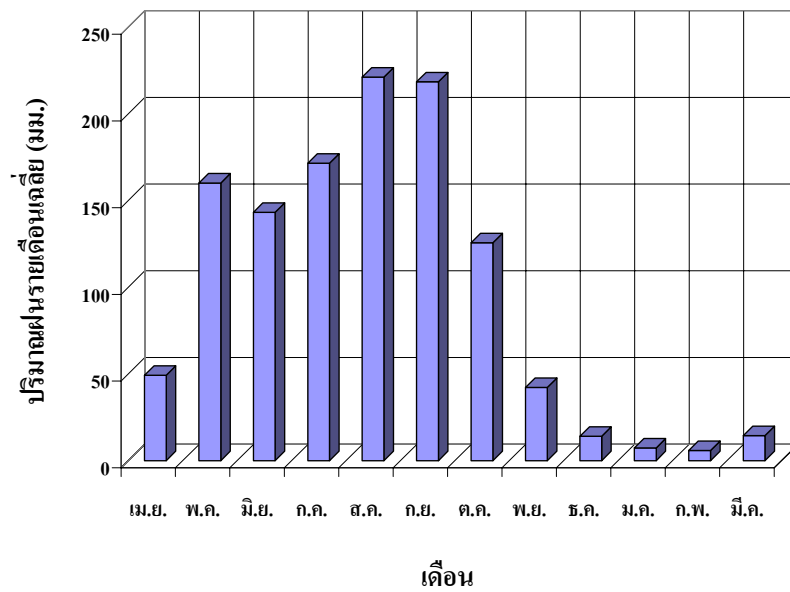
4.1 ปริมาณฝน

ข้อมูลปริมาณฝนในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน มีการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่อดีตถึงปี พ.ศ. 2543 โดยจำนวนสถานีวัดน้ำฝนในเขตพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่มีทั้งสิ้น 79 สถานี และในเขตพื้นที่จังหวัดลำพูนมีจำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งสิ้น 12 สถานี โดยปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนและรายปี สำหรับจังหวัดเชียงใหม่และลำพูนแสดงในตารางที่ 2 และในภาพที่ 3 แสดงการผันแปรรายเดือนของปริมาณฝนเฉลี่ย ในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน

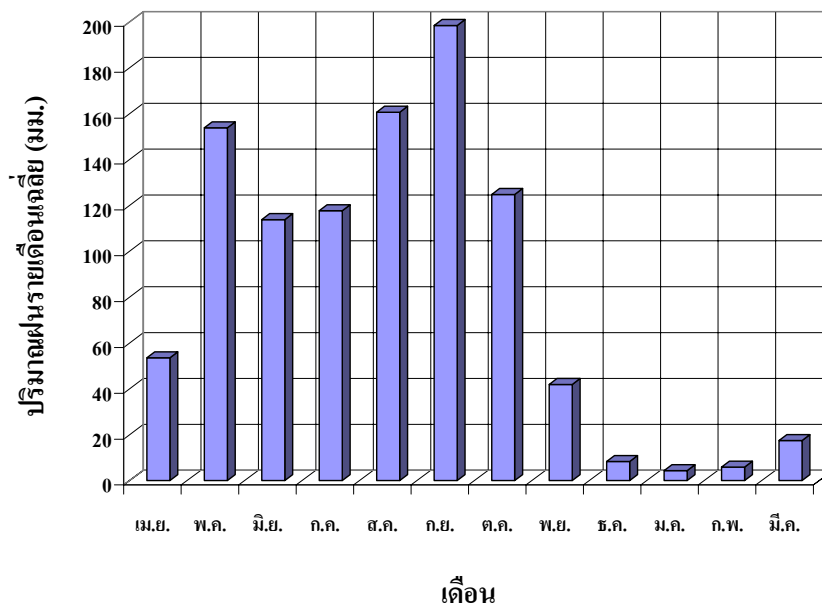
ตารางที่ 2 ปริมาณเฉลี่ยฝนรายเดือนและรายปีของสถานีวัดน้ำฝนในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน

เดือน	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มม.)	
	จังหวัดเชียงใหม่	จังหวัดลำพูน
เมษายน	49.3	53.6
พฤษภาคม	160.2	153.8
มิถุนายน	143.3	113.8
กรกฎาคม	171.6	117.7
สิงหาคม	221.3	160.6
กันยายน	218.6	198.5
ตุลาคม	125.7	124.8
พฤศจิกายน	42.2	41.9
ธันวาคม	14.1	8.3
มกราคม	7.4	4.4
กุมภาพันธ์	5.9	5.9
มีนาคม	14.5	17.5
ฤดูฝน	1,040.7	869.2
ฤดูแล้ง	133.4	131.6
รายปีเฉลี่ย	1,174.1	1,000.8

ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำ (2546)



(ก) จ.เชียงใหม่



(ข) จังหวัดลำพูน

ภาพที่ 3 การผันแปรรายเดือนของปริมาณฝนเฉลี่ย

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

4.2 ปริมาณน้ำท่า

สำหรับข้อมูลปริมาณน้ำท่าในกลุ่มน้ำปิงตอนบนนั้นได้มีการรวบรวมในช่วงปี พ.ศ. 2503 ถึง 2543 โดยในเขตพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่มีจำนวนสถานีวัดน้ำท่า 74 สถานี และในเขตพื้นที่จังหวัดลำพูนมีจำนวนสถานีวัดน้ำท่า 9 สถานี ในด้านการศึกษาปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำปิงตอนบนนั้นประกอบไปด้วย การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปี และการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ

จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน กรมทรัพยากรน้ำ (2546) ได้ทำการรวบรวมการกระจายของปริมาณน้ำท่ารายเดือนซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นช่วงเดือนมิถุนายน ถึง เดือนพฤศจิกายน โดยทำการคำนวณปริมาณน้ำท่ารายเดือนในลักษณะธรรมชาติ (Natural Flow) โดยเลือกสถานีตัวแทนซึ่งอาจจะเป็นหนึ่งสถานีหรือมากกว่าที่ได้ต่อขยายข้อมูลไว้แล้ว จากนั้นคำนวณแฟกเตอร์ปรับค่าเพื่อนำไปคูณปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานีตัวแทน เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำสาขา แฟกเตอร์ปรับค่าจะคำนวณจากอัตราส่วนพื้นที่รับน้ำฝนหรือคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำ ซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการปรับค่าให้เหมาะสมอีกครั้ง โดยพิจารณาการกระจายตามพื้นที่ของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน และจากการกระจายของค่าปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่ารายเดือนของกลุ่มน้ำย่อยได้แสดงสรุปค่าเฉลี่ยรายเดือนโดยแยกตามฤดูกาลต่าง ๆ และรายปีไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงเท่ากับ 6,815.14 ล้าน ลบ.ม. โดยมีค่า Specific Yield เท่ากับ 8.53 ลิตรต่อวินาทีต่อตร.กม. และค่า Specific Yield ของกลุ่มน้ำย่อยอยู่ในช่วงพิสัย 3.20 ถึง 11.95 ลิตรต่อวินาทีต่อตร.กม. และภาพที่ 4 แสดงการผันแปรรายเดือนของปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

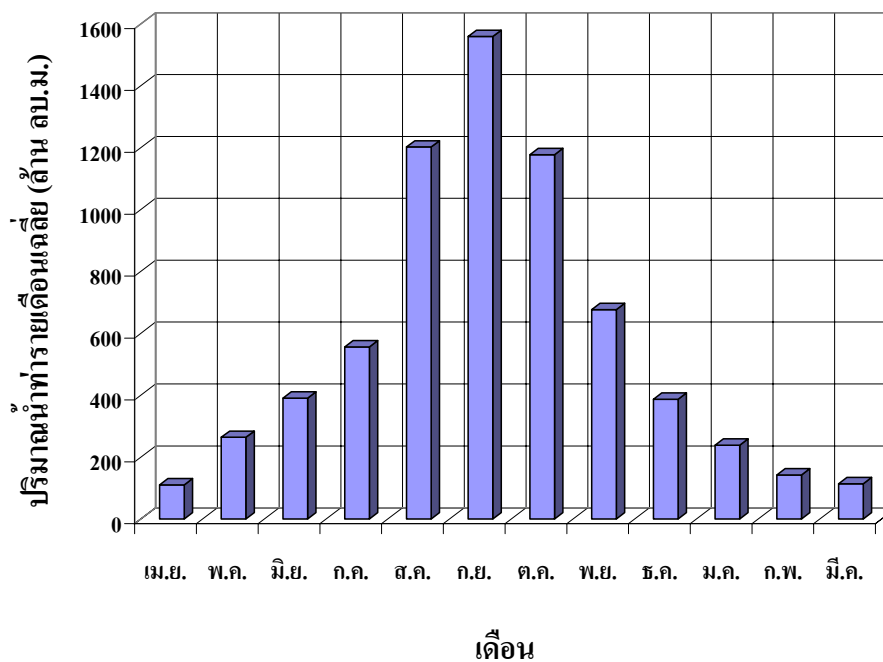
5. สภาพการใช้ที่ดิน

การใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่รวมประมาณ 14.61 ล้าน ไร่ สามารถจำแนกประเภทการใช้ที่ดินออกเป็น 5 ประเภทดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ป่าไม่มีสัดส่วนมากที่สุด 78.18 เปอร์เซ็นต์ และรองลงมาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม 16.17 เปอร์เซ็นต์ และพื้นที่เกษตรกรรมจะอยู่บริเวณริมสองฝั่งแม่น้ำ สำหรับพื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่อื่น ๆ และพื้นที่แหล่งน้ำคิดเป็น 3.32, 1.61 และ 0.72 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำปิงทั้งหมด ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปิงตอนบน

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

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)



ภาพที่ 4 การกระจายของปริมาณน้ำที่สูญหายเดือนละครั้งของกลุ่มน้ำปึงตอนบน
 ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

ตารางที่ 4 สภาพการใช้ที่ดินในปัจจุบันของกลุ่มน้ำปึงตอนบน

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

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

6. อุทกธรณีวิทยา

จากการศึกษาลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนจากการรวบรวมข้อมูล รายงาน และแผนที่อุทกธรณีวิทยาภาคเหนือของประเทศไทย มาตราส่วน 1:500,000 และแผนที่น้ำบาดาลจังหวัด เชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน มาตราส่วน 1:100,000 จากกรมทรัพยากรธรณีทำให้ทราบว่าชั้นตะกอนกรวดทราย ซึ่งพบอยู่ตามลุ่ม แอ่ง ซึ่งมีขนาดพื้นที่แตกต่างกันนั้น เป็นแหล่งน้ำบาดาลที่สำคัญซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นน้ำบาดาลที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีโดยให้ปริมาณ 10 ลบ.ม. ต่อชม. ถึง 200 ลบ.ม.ต่อชม. ในลุ่มน้ำปิงตอนบนซึ่งได้แก่พื้นที่บริเวณ แอ่งเชียงใหม่ แอ่งลำพูน แอ่งลี่ แอ่งพร้าว แอ่งเวียงแหง แอ่งแม่แจ่ม และแอ่งสะเมิง

7. คุณภาพน้ำ

ในการศึกษาสถานภาพด้านคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ ของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ส่วนใหญ่ได้จากการตรวจสอบข้อมูลการสำรวจลำน้ำหลักที่เคยดำเนินการไว้ในอดีต เพื่อนำมาใช้เป็นตัวแทนแสดงสถานภาพในแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยสามารถสรุปสถานภาพด้านคุณภาพน้ำในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนได้ดังนี้

7.1 ลุ่มน้ำย่อยที่มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยเฉลี่ยสูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีการปนเปื้อนของมลสารต่ำประกอบด้วยลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำปิงส่วนที่ 1 แม่แตง แม่จืด แมริม แม่น้ำปิงส่วนที่ 2 แม่แจ่ม แม่ขาน แม่กลาง แม่น้ำปิงส่วนที่ 3 แม่หาด และแม่ต๋น

7.2 ลุ่มน้ำย่อยที่มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำประกอบด้วย ลุ่มน้ำย่อยแม่กวงซึ่งพบว่าน้ำผิวดินในลำน้ำแม่กวง มีคุณภาพอยู่ในระดับเสื่อมโทรม โดยเริ่มมีปัญหาด้านคุณภาพตั้งแต่บริเวณอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ลงมา และมีปัญหารุนแรงเพิ่มขึ้นในบริเวณพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดลำพูน ลักษณะของปัญหาคือน้ำมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้น้ำในลำน้ำแม่กวงเกือบตลอดสาย มีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำในทุกฤดูกาล โดยหลายครั้งที่พบมีปริมาณออกซิเจนละลายในลำน้ำต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

7.3 กลุ่มน้ำสาขาที่ยังไม่ได้มีการสำรวจคุณภาพน้ำประกอบด้วยกลุ่มน้ำย่อยน้ำแม่ลี่ แม่อาว และแม่ทา

8. ปัญหาน้ำท่วม

ปัญหาการเกิดน้ำท่วมในแม่น้ำปิงสายหลัก เกิดจากน้ำในแม่น้ำปิงไหลล้นตลิ่งเนื่องจากฝนตกหนักในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ซึ่งสภาวะของอุทกภัยมีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากปัจจัยด้านอื่นนอกเหนือจากการเกิดสภาวะฝนตกหนักอย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้แก่การตัดไม้ทำลายป่า การสร้างฝายหรืออาคารกั้นน้ำเพื่อการเกษตร การขยายตัวของตัวเมืองอย่างไร้ทิศทาง ตลอดจนการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนกีดขวางรูขุมเส้นทางไหลของน้ำ และการตื้นเขินของแม่น้ำปิงเนื่องจากการตกตะกอนในแม่น้ำ ปัญหาน้ำท่วมตามลำน้ำสาขาหรือลุ่มน้ำย่อยเกิดขึ้นจากสภาพภูมิประเทศและความลาดชันของพื้นที่และลำน้ำสาขา เมื่อฝนตกหนักในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ปริมาณน้ำหลากจึงไหลลงสู่ลำน้ำธรรมชาติอย่างรวดเร็วประกอบกับสภาพลำน้ำซึ่งบางแห่ง และบางช่วงมีสภาพตื้นเขิน หรือมีสิ่งก่อสร้างกีดขวางการไหลของน้ำ พื้นที่บางแห่งจึงประสบกับปัญหาน้ำท่วมในบริเวณที่ราบลุ่มเชิงเขา ที่ลุ่มน้ำแม่ริมลำน้ำและที่ราบลุ่มต่ำซึ่งลักษณะของน้ำท่วมจะมีทั้งแบบน้ำท่วมขัง น้ำเอ่อล้นตลิ่ง และน้ำป่าไหลหลาก และจากการที่ไม่มีแหล่งเก็บกักน้ำอย่างเพียงพอในการเก็บกักและชะลอปริมาณน้ำหลาก จึงไม่สามารถจัดการเก็บปริมาณน้ำหลากจำนวนมากได้ ในพื้นที่ลุ่มน้ำทางตอนบนในส่วนของลุ่มน้ำสาขาปิงส่วนที่ 1 ลุ่มน้ำแม่แดง ลุ่มน้ำแม่จืด และลุ่มน้ำแม่ริม มีเพียงลำน้ำแม่จืดเท่านั้นที่มีเขื่อนเก็บกักน้ำสภาวะน้ำท่วมในเขตอำเภอเมืองเชียงใหม่ เกิดจากปริมาณน้ำทางตอนบนของลุ่มน้ำปิงตอนบนและน้ำแม่แดงเป็นส่วนใหญ่ โดยมีน้ำจากน้ำแม่ริมมาช่วยเสริมทำให้ระดับน้ำท่วมเพิ่มสูงขึ้นทำให้น้ำจากลำน้ำสาขาไหลมารวมกันในแม่น้ำปิงเป็นผลให้น้ำในแม่น้ำปิงไหลล้นตลิ่งจากบริเวณเหนือตัวเมืองเชียงใหม่จะไหลเข้าท่วมพื้นที่ในเขตอำเภอเมืองเชียงใหม่ อำเภอหางดง อำเภอสันป่าตอง และอำเภอจอมทอง ซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของตัวจังหวัด และไหลลงมาถึงอำเภอป่าซาง และอำเภอเมืองจังหวัดลำพูน ทำให้ราษฎรได้รับความเดือดร้อน โดยเฉพาะบ้านเรือนและที่ดินทำกิน ที่อยู่ใกล้กับแม่น้ำปิงจะได้รับความเสียหายอย่างมาก โดยปริมาณน้ำในแม่น้ำปิงช่วงที่มีการไหลผ่านตัวเมืองเชียงใหม่จะเริ่มมีปริมาณน้ำที่ไหลล้นตลิ่ง เมื่อปริมาณน้ำในลำน้ำที่ไหลผ่านมีมากกว่า 340 ลบ.ม.ต่อวินาที หรือที่ระดับประมาณ 3.40 ม. (รทก.) ที่สะพานนวรัตน์

กระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า

1. กราฟน้ำท่า (Hydrograph)

กราฟน้ำท่าคือ กราฟที่แสดงให้เห็นการผันแปรของปริมาณน้ำหรือระดับน้ำตามเวลาที่ผ่านไป กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำใด ๆ จะรวมและแสดงสภาพต่าง ๆ ของกลุ่มน้ำเข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้นถ้าลักษณะของกลุ่มน้ำเปลี่ยนแปลงไป ลักษณะของกราฟน้ำท่าก็เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยทั่วไปแล้วที่มาของน้ำในลำน้ำก็คือปริมาณน้ำฝน ซึ่งโดยปกติแล้วจะปรากฏเป็นน้ำในลำน้ำลักษณะต่าง ๆ ดังนั้นในขั้นแรกของการวิเคราะห์กราฟน้ำท่าจำเป็นต้องทราบองค์ประกอบของน้ำท่า ที่เกิดขึ้นจากน้ำฝนหรือน้ำจากอากาศเมื่อตกลงมาสู่พื้นดินที่จุดใดก็ตาม น้ำที่ไม่สูญเสียบไปในลักษณะของการคายน้ำ การระเหย หรือลักษณะอื่น ๆ ก็จะเดินทางไปปรากฏในลำน้ำ แม่น้ำ ได้สามลักษณะด้วยกัน ดังนี้ (วีระพล, 2538)

1.1 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลบนผิวดิน (Overland Flow) หมายถึงปริมาณน้ำที่เดินทางหรือไหลไปตามผิวดินสู่ลำน้ำ ซึ่งการไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ในขณะที่ฝนตกหนักและเวลาที่ฝนหยุดตกช่วงเวลาหนึ่ง ลำน้ำเล็ก ๆ ดังกล่าวมีจำนวนมากและระยะทางที่ปริมาณน้ำไหลบนผิวดินในรูปของน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินจะสั้นเพียงไม่กี่ร้อยฟุต ดังนั้นปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดินจะใช้เวลาในการเดินทางเพียงเล็กน้อยก็ถึงลำน้ำ และถ้าปริมาณน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินนี้ค่ามากพอที่จะเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการเกิดน้ำนองหรือน้ำท่วมสูงสุด

1.2 ปริมาณน้ำที่ไหลใต้ผิวดิน (Interflow) หมายถึงปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงไปใต้ดินผ่านดินชั้นต่าง ๆ จนกระทั่งถึงชั้นที่น้ำสามารถซึมผ่านไปได้ยาก ซึ่งในระหว่างนั้นปริมาณน้ำส่วนหนึ่งจะไหลไปตามแนวนอนในชั้นดินจนกระทั่งบรรจบและไหลลงสู่ลำน้ำ ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ห่างออกไปทางด้านท้ายน้ำของบริเวณที่น้ำเริ่มไหลซึมลงไปใต้ดิน ปริมาณน้ำที่ไหลใต้ผิวดินนี้จะมีลักษณะการไหลช้ากว่าปริมาณน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินมาก และจะถึงลำน้ำในเวลาต่อมา

1.3 น้ำใต้ดิน (Groundwater Flow) หมายถึงปริมาณน้ำฝนบางส่วนที่ซึมลึกลงไปจนถึงระดับน้ำใต้ดิน และกลายเป็นส่วนหนึ่งของน้ำใต้ดิน ปริมาณน้ำใต้ดินที่เพิ่มขึ้นนี้จะเคลื่อนตัวและไหลไปสมทบกับน้ำในลำน้ำ และกลายเป็นน้ำในลำน้ำ เนื่องจากน้ำใต้ดินมีการเคลื่อนตัวที่ช้ามาก

จึงต้องใช้เวลา นานกว่าจะ ไปปรากฏที่ลำน้ำ และลักษณะการปรากฏที่ลำน้ำจะไม่ทำให้กราฟน้ำท่าเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

2. การเคลื่อนตัวของน้ำท่า (Flood Routing)

การเคลื่อนตัวของน้ำท่า หมายถึงวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับคำนวณหาขนาด และเวลาของกราฟน้ำท่าที่จุดทางด้านท้ายน้ำ จากการทราบข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะทางกายภาพของขนาด และกราฟน้ำท่าที่จุดทางด้านเหนือน้ำ ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของกราฟน้ำท่าสามารถทำได้ด้วยกันสองวิธีใหญ่ ๆ คือ วิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบลัมพ์ (Lumped System Routing) และวิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบดิสตริบิวท์ (Distributed System Routing) (นุชนารถ, 2545)

2.1 วิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบลัมพ์ (Lumped System Routing) หมายถึงการเคลื่อนที่ทางอุทกวิทยา (Hydrologic Routing) โดยปริมาณน้ำท่าจะถูกคำนวณให้เป็นฟังก์ชันของเวลาเพียงอย่างเดียวที่จุดพิจารณา สำหรับระบบทางอุทกวิทยานั้นมีความสัมพันธ์กันตามสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t) \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) กำหนดให้

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการเก็บกัก (Storage) ในช่วงเวลา } dt \\ I(t) &= \text{ปริมาณการไหลเข้า (Inflow)} \\ Q(t) &= \text{ปริมาณน้ำไหลออก (Outflow)} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (1) ปริมาณการไหลเข้า $I(t)$ เป็นตัวแปรที่ทราบค่าแต่ก็ยังไม่สามารถแก้สมการเพื่อหาค่าปริมาณการไหลออก $Q(t)$ ได้โดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากยังมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าอยู่ด้วยกันอีกสองตัวแปรคือ ปริมาณการเก็บกัก S และปริมาณการไหลออก Q ดังนั้นจึงมีความสัมพันธ์ของฟังก์ชันการเก็บกัก (Storage Function) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง S , I และ Q โดยฟังก์ชันการเก็บกักจะเขียนอยู่ในรูปของอนุพันธ์เวลา (Time Derivative) ดังแสดงตาม

สมการที่ (2) เมื่อนำฟังก์ชันการเก็บกักร่วมกับสมการความต่อเนื่องแล้ว ก็สามารถแก้สมการเพื่อหาตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 2 ตัวได้ตามความต้องการ

$$S = f\left(I, \frac{dI}{dt}, \frac{d^2I}{dt^2}, \dots, Q, \frac{dQ}{dt}, \frac{d^2Q}{dt^2}, \dots\right) \quad (2)$$

2.2 วิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบกระจาย (Distributed System Routing) หมายถึงการเคลื่อนที่ทางชลศาสตร์ (Hydraulic Routing) โดยปริมาณน้ำท่าที่ถูกคำนวณเป็นฟังก์ชันของเวลาและสถานที่ (Space) แบบจำลองประเภทนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของ partial differential equation (the Saint-Venant Equations) สำหรับการไหลในหนึ่งมิติ (นุชนารถ, 2545)

การใช้หลักการของการไหลแบบ One-Dimensional Unsteady Flow จะได้ผลเป็นสมการ Nonlinear Hyperbolic Partial Differential Equations สองสมการ ซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่าสมการเซนต์-เวแนนท์ หรือสมการคลื่นพลศาสตร์ (Dynamic Wave Equation) โดยประกอบด้วยสมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4) ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_o + S_f + S_e \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (4)$$

จากสมการที่ (3) และ (4) กำหนดให้ A และ Q เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variables) x และ t เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variables) โดยที่ A คือพื้นที่หน้าตัดขวางที่เปียกน้ำ (Wetted Cross-Area) Q คืออัตราการไหล x คือระยะทางในแนวระนาบซึ่งมีค่าเป็นบวกไปทางด้านท้ายน้ำ t คือเวลา S_o และ S_f คือความลาดชันของพื้นคลอง และของ Energy Gradient ตามลำดับ S_e คือ Eddy Loss Slope ($S_e = \frac{K_e}{2g} \frac{\partial (Q/A)^2}{\partial x}$: K_e คือสัมประสิทธิ์ของการขยายขนาด (Expansion) หรือการลดขนาด (Contraction) ของทางน้ำ) y คือความลึกของการไหล g คือความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง (Gravitational Acceleration) q คืออัตราการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow Rate) v_x คือความเร็วในแนวแกน x β คือสัมประสิทธิ์การกระจายความเร็วโบสสิเนส (Boussinesq Velocity

Distribution Coefficient) W_f คือแฟกเตอร์ของแรงเฉือนเนื่องจากลม (Wind Shear Factor) และ B คือความกว้างส่วนบน (Top Width) ของทางน้ำ (นุชนารถ, 2545)

การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา

1. การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า NAM (NAM Model)

แบบจำลอง NAM เป็นคำย่อของ “Nedbor-Afstromnings-Model” ในภาษา Danish แปลว่าแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) โดยแบบจำลอง NAM จะจำลองการเกิดปริมาณน้ำท่าเพื่อนำมาใช้เป็นปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow) สำหรับ Hydrodynamic Module (HD) (นุชนารถ, 2545) โดยตัวอย่างการศึกษาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า NAM (NAM Model) ที่ผ่านมาในอดีตมีดังต่อไปนี้

ไพร์ตัน (2536) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ในการประเมินหาค่าปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสวย แต่เนื่องจากสถานีวัดน้ำท่าในบริเวณกลุ่มน้ำสวยได้รับอิทธิพลจาก Backwater จากแม่น้ำโขง จึงทำให้ต้องเลือกใช้สถานีวัดน้ำท่าที่บ้านสมสะอาดเป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำ เนื่องจากสถานีวัดน้ำท่านี้ไม่ได้รับอิทธิพลจาก Backwater มาใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง จากการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM มีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำท่าที่ได้ตรวจวัดจริงในสนาม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการศึกษาสามารถใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำสวยได้

Kawinpoomstan (1998) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าวมของกลุ่มน้ำยมในพื้นที่จังหวัดแพร่ และจังหวัดสุโขทัย เพื่อจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในการประเมินปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองของกลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ ได้มีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองเพื่อให้ค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง เวลาที่เกิดการไหลสูงสุด และค่าอัตราการไหลสูงสุด มีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีความสอดคล้องกัน จากผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ปรากฏว่าค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง กับค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีความสอดคล้องกัน แต่จะมีบางสถานีและบางปีที่ทำการศึกษาพบว่าค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงไม่ค่อยมี

ความสอดคล้องกัน เนื่องมาจากสาเหตุของข้อมูลของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบของปีนั้น ๆ ขาดหายไป

ยุพิน (2542) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ในการพยากรณ์สภาพน้ำท่วมในกลุ่มน้ำบางประกง โดยทำการประเมินปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำย่อยจำนวน 5 สถานี ปรากฏว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง กับค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนามมีความสอดคล้องกัน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.76-0.97 และจากการศึกษายังพบว่าบางปีค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง มีความคลาดเคลื่อนอยู่มากอันเนื่องมาจาก ข้อมูลปริมาณฝนที่ใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำย่อยนั้น ๆ ไม่มีความเหมาะสม และบางพื้นที่ที่ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองไม่มีสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำย่อยจึงส่งผลกระทบต่อค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

Madsen (2000) ได้ทำการประยุกต์ ใช้แบบจำลอง NAM ในการศึกษาการสอบเทียบแบบอัตโนมัติ ซึ่งหลักการสอบเทียบแบบอัตโนมัติคือ การศึกษาค่าสมมูลน้ำ ,รูปร่างของกราฟน้ำท่า , ปริมาณการไหลสูงสุด และปริมาณการไหลต่ำสุด ใช้เข้ากันได้ดีระหว่างค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม จากการศึกษาพบว่าไม่มีค่าพารามิเตอร์ชุดใด ที่ให้ผลลัพธ์เข้ากันได้ดีทั้งนี้ขึ้นนี้ ดังนั้นในการสอบเทียบแบบจำลองเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าที่เหมาะสมจึงควรที่จะต้องพิจารณาวัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้ตามลำดับความสำคัญของเหตุการณ์นั้น ๆ

Arcelus (2000) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS และแบบจำลอง NAM ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับกลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า โดยการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้งสองในกลุ่มน้ำที่มีสถานีวัดน้ำท่า และนำพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS ไปปรับใช้กับกลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตามสภาพภูมิประเทศและการใช้ที่ดิน จากนั้นจึงทำการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ในกลุ่มน้ำเดียวกันเพื่อให้กราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง NAM เข้ากันได้ดีกับที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS พบว่าวิธีการนี้ให้ผลเป็นที่ยอมรับได้สำหรับกลุ่มน้ำที่ไม่มีการเก็บข้อมูล

กานดา (2545) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM เพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองในกลุ่มน้ำน่าน โดยทำการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวัน ในการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์

แบบจำลองกระทำได้โดยการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง กับค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง โดยในการศึกษานี้ได้ทำการพิจารณาสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำน่านจำนวน 11 สถานี จากผลศึกษาพบว่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงดังนี้คือ U_{max} มีค่าระหว่าง 10 ถึง 25 มม. L_{max} มีค่าระหว่าง 100 ถึง 250 มม. CQOF มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.6 CKIF มีค่าเท่ากับ 1,000 ซม. TOF มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.7 CK_1 และ CK_2 มีค่าระหว่าง 9 ถึง 60 ซม. CAREA มีค่าเท่ากับ 1 TG มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.8 Sy มีค่าเท่ากับ 0.1 และ CKBF มีค่าระหว่าง 500 ถึง 4,300 ซม. โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวอยู่ในช่วงที่ได้มีการแนะนำไว้ในคู่มือการใช้งานของแบบจำลอง NAM สำหรับผลการเปรียบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่า กราฟปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีความใกล้เคียงกันคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.57 ถึง 0.98 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความไวของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สถานี N.17 พบว่าการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์แต่ละตัวมีผลต่อองค์ประกอบของน้ำท่าด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ตลอดจนมีความไวที่แตกต่างกันต่ออัตราการไหลสูงและอัตราการไหลต่ำ

2. การประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) MIKE 11 HD

การประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) MIKE 11 HD ที่ผ่านมาในอดีตยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานได้ดังนี้

Akhlar (1993) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำในแม่น้ำและทุ่งน้ำท่วม โดยที่แบบจำลองสามารถแก้สมการ 1 มิติของสมการ Continuity และ Momentum โดยใช้วิธีการ Implicit Difference Scheme โดยแบบจำลองสามารถแก้ปัญหาการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วม โดยใช้แนวความคิดของ Quasi 2-D แบบจำลองยังถูกสอบเทียบสำหรับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในปี 1986 ซึ่งผลที่ได้จากการสอบเทียบเป็นที่น่าพอใจทางสถิติ และแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการทำนายการไหลของน้ำภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ในการก่อสร้างเขื่อนกั้นน้ำ

DHI and Bangladesh Flood Plain Organization (1994) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 GIS ในการจัดการปัญหาน้ำท่วมในประเทศบังกลาเทศ โดยนำผลของการศึกษาของโครงการมาจัดทำแผนที่น้ำท่วม เพื่อเป็นข้อมูลในการควบคุมน้ำท่วม การระบายปริมาณน้ำท่วม และการ

ควบคุมโครงสร้างที่ใช้ในการควบคุมและป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วม และกำหนดแนวทางเลือกในการแก้ไขปัญหาที่น้ำท่วมซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดแผนและนโยบายในการป้องกันน้ำท่วมต่อไป

นุชนารถ (2540) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 ในส่วนของ HD module (Hydrodynamic) ในการศึกษาสถานะการน้ำท่วมของกลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อจำลองสภาวะการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนตั้งแต่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ จนถึงเขื่อนภูมิพล อำเภอสามเงา จังหวัดตาก โดยการศึกษาได้วิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจำนวน 2 เหตุการณ์ คือ กราฟน้ำหลากขนาดเล็กที่มีการไหลเฉพาะในแม่น้ำ และกราฟน้ำหลากขนาดใหญ่ที่มีการไหลล้นตลิ่งลงสู่ทุ่งน้ำท่วม และจากการสอบเทียบแบบจำลองแสดงให้เห็นว่ากราฟน้ำหลากจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 เข้ากันได้ดีกับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม และผลการสอบเทียบแบบจำลองทำให้สามารถประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Roughness Coefficient) หรือค่า Manning's n ทั้งในแม่น้ำและทุ่งน้ำท่วมได้ โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาแนวทางการป้องกันและแผนการบรรเทาอุทกภัยได้หลายทางเลือก คือ การผันน้ำเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาน้ำท่วมตัวเมืองเชียงใหม่ การปรับปรุงลำน้ำของแม่น้ำปิงให้ลึกและกว้างขึ้นเพื่อเพิ่มความจุของลำน้ำ ตลอดจนการสร้างผนังป้องกันน้ำเพื่อป้องกันน้ำไหลล้นตลิ่ง เป็นต้น

Wongwitaya (2001) ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อแสดงผลแผนที่น้ำท่วมโดยใช้โปรแกรมทางสารสนเทศภูมิศาสตร์และโปรแกรมทางอุทกพลศาสตร์ โดยการประยุกต์ผลของระดับน้ำท่วมสูงสุดจากแบบจำลอง MIKE 11 ร่วมกับข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการศึกษาได้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์โดยใช้ฟังก์ชันของ Arc-View GIS ที่มีอยู่มาจัดทำเป็นเมนูที่ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่าย ผลของการจัดทำแผนที่แสดงขอบเขตน้ำท่วมสรุปได้ว่าคุณภาพของแผนที่แสดงขอบเขตน้ำท่วมจะขึ้นอยู่กับมาตราส่วนของข้อมูลเส้นชั้นความสูง โดยถ้าใช้ข้อมูลเส้นชั้นความสูงมีมาตราส่วนใหญ่จะมีค่าความถูกต้องของแผนที่แสดงขอบเขตน้ำท่วมสูงกว่าข้อมูลเส้นชั้นความสูงที่มีมาตราส่วนเล็ก

ภูวอล (2544) ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 โดยกำหนดขอบเขตด้านเหนือน้ำที่จุดเริ่มต้นของแม่น้ำปราจีนบุรี และที่ประตูระบายน้ำบางแม่ซึ่งตั้งอยู่บนแม่น้ำนครนายก สำหรับขอบเขตด้านท้ายน้ำกำหนดที่แม่น้ำบางปะกง ในการเปรียบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่

เหมาะสม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.020-0.035 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของแบบจำลองย่อยการพา-แพร่กระจายมีค่าอยู่ระหว่าง 50-500 ตร.ม./ วินาที และค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองคุณภาพน้ำซึ่งประกอบไปด้วย ผลผลิตออกซิเจนสูงสุดจากการสังเคราะห์แสงของพืชมีค่าเท่ากับ 3.5 กรัม ออกซิเจนต่อตารางเมตรต่อวัน อัตราการหายใจของพืช และสัตว์น้ำมีค่าเท่ากับ 3.0 กรัม ออกซิเจนต่อตารางเมตรต่อวัน ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศใช้สมการของ O'Connor & Dubbins และค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.3 วัน⁻¹ จากผลการศึกษาพบว่าแหล่งมลพิษที่ทำให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกงเสื่อมโทรมลงมากที่สุดเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ แหล่งมลพิษเกษตรกรรม ชุมชน และอุตสาหกรรม

อัคราวุฒิ (2544) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11 ในการพยากรณ์สภาพน้ำท่วม เนื่องจากการสร้างอาคารบังคับน้ำบนลำน้ำท่าตอนบน จังหวัดนครพนม ผลการสอบเทียบแบบจำลองพบว่าการใช้ค่า Manning's n เท่ากับ 0.066ทำให้การทำนายปริมาณและระดับน้ำถูกต้อง และมีความเหมาะสมที่สุด จากผลการทำนายสภาพน้ำท่วมพบว่าก่อนและหลังสร้างอาคารบังคับน้ำ ระดับน้ำท่วมที่จะเกิดขึ้นมีระดับแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ธีรพันธ์ (2545) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 ในการศึกษาสภาพน้ำท่วมในลำพังซุ และลำน้ำสาขา จากการศึกษาแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's, n) ในลำน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.025 ถึง 0.035 และในทุ่งน้ำท่วมมีค่าเท่ากับ 0.06 จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาประกอบการศึกษาสภาพน้ำท่วมสำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ 2 5 10 50 และ 100 ปี ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากที่จุดควบคุมด้านเหนือน้ำ และการไหลเข้าด้านข้าง ได้พิจารณาใช้การแจกแจงความถี่ปริมาณฝนสูงสุดรายปีโดยวิธีการแบบกัลเบลสำหรับช่วงเวลาฝนตก 1 ถึง 5 วัน ของแต่ละรอบปีการเกิดซ้ำ และนำมาประเมินกราฟน้ำท่าโดยใช้แบบจำลองกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า เนื่องจากสภาพน้ำท่วมที่เคยเกิดขึ้นสูงสุดในลำพังซุเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2543 ที่มีรอบปีการเกิดซ้ำ 40 ปี ดังนั้นจึงได้เสนอแนวทางการป้องกันน้ำท่วมสำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี

นุชนารถ (2545) ได้ทำการประยุกต์แบบจำลอง MIKE11ในการพยากรณ์สภาพการไหลของน้ำในแม่น้ำบางปะกงรวมไปถึงลำน้ำสาขา โดยใช้สถานีวัดน้ำท่า KGT.3 เป็นจุดควบคุมด้านเหนือน้ำบนแม่น้ำปราจีนบุรี และใช้สถานีวัดน้ำท่าที่ประตูระบายน้ำบางเม่าเป็นจุดควบคุมด้านท้ายน้ำ ในการประเมินปริมาณการไหลเข้าด้านข้างระหว่างจุดควบคุมด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำได้

ประยุกต์แบบจำลอง SCS และเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า การจำลองสภาพการไหลได้ทำการสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n ทั้งในลำน้ำและในทุ่งน้ำท่วมสำหรับแต่ละรูปตัดขวางของลำน้ำ เพื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่วิเคราะห์ได้มาประกอบการพยากรณ์สภาพการเกิดน้ำท่วมสำหรับรอบปีการเกิดซ้ำเท่ากับ 10 5 2 25 และ 50 ปี ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง พบว่ากราฟน้ำหลากที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง และที่ได้จากการบันทึกข้อมูลเข้ากันได้ดี

3. การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Model)

การประยุกต์ใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในด้านอุทกวิทยาที่ผ่านมาในอดีตในรูปแบบต่าง ๆ ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานได้ดังต่อไปนี้

Siang (1992) ได้ใช้แบบจำลอง BP Model ชนิด Feed Forward และการเรียนรู้ชนิด Supervised Learning มาใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของแม่น้ำโขงจำนวน 5 สถานี ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนโดยใช้แบบจำลอง BP Model ขนาดเล็กที่ประกอบด้วย จำนวนชั้นแฝงเพียง 1 ชั้น และจำนวนหน่วยในชั้นแฝงมีค่าตั้งแต่ 1-3 หน่วย เท่านั้น จากการศึกษาแบบจำลอง BP Model ในครั้งนี้พบว่า การเพิ่มจำนวนหน่วยในชั้นแฝงไม่ได้ช่วยให้ผลลัพธ์ที่ได้รับดีขึ้น

Dartus *et al.* (1993) ได้ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการศึกษาการเคลื่อนตัวของคลื่นน้ำท่วมในทางน้ำเปิด โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองชนิดนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการกับระบบบำบัดน้ำเสียได้ ซึ่งผลงานวิจัยได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริง โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้อย่างเข้มข้น

Gul (1993) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation ที่มีชั้นแฝงจำนวน 1 ชั้น มาใช้คาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้ากับแม่น้ำน่านที่อำเภอเมือง และที่บ้านแก่งสร้าง จังหวัดน่าน โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายวันของแต่ละสถานี และข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของแต่ละสถานีทั้งสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย้อนหลัง 5 วัน จากการศึกษาพบว่า การที่จะคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก

การตรวจวัดได้นั้นตัวแปรนำเข้าจะต้องประกอบด้วยข้อมูลปริมาณฝนรายวัน และข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีที่ต้องการคาดการณ์ย้อนหลัง และค่าปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีทางด้านเหนือหน้า และข้อมูลปริมาณฝนรายวันของสถานีในพื้นที่ทางด้านเหนือของสถานีที่จะทำการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน

Karunanithi *et al.* (1994) ได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองระบบโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ข้อมูลการปริมาณไหลรายวันของแม่น้ำ Huron ในรัฐมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา และได้มีการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Analytic Nonlinear Power Model ซึ่งผลที่ออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

Minns and Hall (1996) ได้ทำการสอบเทียบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ hidden layer 1 ชั้น และ 2 ชั้น ซึ่งพบว่า การเพิ่ม hidden layer เข้าไปในระบบโครงข่ายประสาทเทียม จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลองได้เล็กน้อย แต่ต้องใช้เวลาและมีความยุ่งยากในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

Gautam (1997) ได้ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation มาประยุกต์ใช้กับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า หนึ่งและสองวันตามลำดับ ที่แม่น้ำป่าสัก อ.หล่มสัก อ.วิเชียรบุรี และ อ.บัวชุม จ.เพชรบูรณ์ โดยได้นำผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้ ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Tank และ แบบจำลอง NAM ทั้งนี้ได้นำแบบจำลองเชิงคาดการณ์ (Stochastic Model) ชนิด Multiple Linear Regression มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับ แบบจำลอง Tank และแบบจำลอง NAM จากผลลัพธ์การศึกษาพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับแบบจำลอง Tank และแบบจำลอง NAM ที่ประยุกต์ร่วมกับแบบจำลองเชิงคาดการณ์

Sureerattanan and Phien (1997) ได้นำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation มาใช้กับปัญหาการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณน้ำหลากและควบคุมการเกิดอุทกภัยที่จะเกิดขึ้น โดยศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง โดยมีข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ปริมาณฝนและข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันจากข้อมูลในอดีตของสถานีในลุ่มน้ำจำนวน 5 สถานี พบว่าผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดี

Nam (1998) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของแม่น้ำ Black ในประเทศเวียดนาม ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองชนิด Back Propagation สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนได้เป็นอย่างดีโดยมีความถูกต้องของผลพยากรณ์เป็นที่น่าพอใจ

Campolo *et al.* (1999) ได้พัฒนาแบบจำลองระบบโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารวมในแม่น้ำ Tagliamento ประเทศอิตาลี ในช่วงที่ฝนตกหนัก พบว่าแบบจำลองให้ผลพยากรณ์ที่มีความถูกต้องสูง และพบว่าการพยากรณ์สามารถทำได้ล่วงหน้านานเท่ากับเวลาที่ฝนเริ่มตกจนถึงสถานีที่ตรวจสอบ โดยยังคงมีความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ

Sajikumar and Thandaveswara (1999) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Temporal Back Propagation กับการวิเคราะห์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่ารายเดือน และได้ตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองนี้โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Functional Series พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพสูงกว่า โดยเฉพาะในกรณีที่ข้อมูลมีปริมาณน้อย

ธวัชชัย (2543) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน ในลุ่มน้ำน่านตอนบน ที่สถานีวัดน้ำท่า อ.ท่าวังผา โดยอาศัยข้อมูลฝน ข้อมูลการระเหย และข้อมูลน้ำท่าที่วัดได้ในอดีต ในการศึกษาครั้งนี้มีจุดประสงค์หลักคือ การประเมินผลการทำงานของระบบโครงข่ายประสาทเทียม และความแม่นยำ โดยตั้งสมมติฐานว่า ข้อมูลพยากรณ์น้ำฝนเป็นข้อมูลที่ต้องมีค่าเท่ากับข้อมูลที่วัดได้จากสถานี ผลที่ได้ออกมาให้เห็นผลดี ทั้งในด้านการเรียนรู้แบบจำลองและในด้านการทดสอบ

Anmala *et al.* (2000) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Feed Forward กับการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน โดยเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ พบว่ามีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน และหากเพิ่มกระบวนการ Feedback จะทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่จะทำให้แบบจำลองทำงานได้ช้าลง

Coulibaly *et al.* (2000) ได้พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation โดยอาศัยหลักการ Stop Training Approach (STA) ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่า

รายงาน โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองเชิงสถิติ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพสูงกว่าในด้านความถูกต้องของการพยากรณ์

Manusthiparom (2000) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation ในการพยากรณ์ระดับและปริมาณการไหลของน้ำรายชั่วโมง ที่บริเวณสะพานกรุงเทพ โดยทำการพยากรณ์ที่เวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมงล่วงหน้า โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการปรับเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองจากข้อมูลที่ได้จากการวัดจริง และที่ได้จากการคำนวณ โดยแบบจำลอง MIKE 11 โดยแบ่งการตรวจสอบความถูกต้องออกเป็นสองกรณีคือ จำนวนข้อมูลด้านออกหนึ่งและสองหน่วย คือ ระดับน้ำและอัตราการไหล ในกรณีที่จำนวนหน่วยในชั้นข้อมูลด้านออกมีสองหน่วยประกอบด้วยระดับน้ำและอัตราการไหล จะให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องน้อยกว่ากรณีที่จำนวนชั้นข้อมูลด้านออกแยกกันระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหล

กิตติพงษ์ และ รียาร์ด (2544) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation ในการทำนายอัตราการไหลรายวันในลำน้ำ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ประกอบด้วยชั้นนำเข้า 1 ชั้น ชั้นแฝง 2 ชั้น และชั้นแสดงผล 1 ชั้น โดยจำนวนหน่วยในชั้นนำเข้าขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและปริมาณฝนรายวันของวันก่อนหน้า ส่วนจำนวนหน่วยในชั้นแฝงที่หนึ่งและสองกำหนดให้เป็น 0.6 และ 0.5 เท่าของจำนวนหน่วยในชั้นนำเข้า และชั้นแฝงชั้นที่หนึ่งตามลำดับ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปทดสอบในการทำนายข้อมูลอัตราการไหลรายวันสำหรับหนึ่งและสามวันล่วงหน้าของแม่น้ำชีวัดที่จังหวัดยโสธร แม่น้ำมูลวัดที่อำเภอราษีไศล จังหวัดศรีสะเกษ และจังหวัดอุบลราชธานี ผลการทดสอบพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสูงมากในการทำนายอัตราการไหลรายวัน โดยผลการทำนายอัตราการไหลสามวันล่วงหน้าของสถานีแม่น้ำชีที่ยโสธร แม่น้ำมูลที่สถานีราษีไศลและจังหวัดอุบลราชธานีให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.987 0.990 และ 0.992 ตามลำดับ

วุฒิชัย (2544) ได้ทำการประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation ชนิด Full Link Multilayer Feed Forward มาใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า โดยการนำไปประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ใน แม่น้ำจันทบุรีที่สถานีวัดน้ำท่า Z.13 และแม่น้ำคลองอุตะเถาที่สถานีวัดน้ำท่า X.90 โดยผลการศึกษาพบว่าการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้ามีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน 1 วันล่วงหน้า โดยให้ค่า EI เท่ากับ 98.8 เปอร์เซ็นต์ ที่สถานีวัดน้ำท่า Z.13 และให้ EI ค่าเท่ากับ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ที่สถานีวัด

น้ำท่า X.90 และค่าความน่าเชื่อถือมีค่าลดลงสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน 2 วันล่วงหน้า โดยให้ค่า EI เท่ากับ 98.8 เปอร์เซ็นต์ ที่สถานีวัดน้ำท่า Z.13 และให้ค่า EI เท่ากับ 99.0 เปอร์เซ็นต์ ที่สถานีวัดน้ำท่า X.90

เสรี (2544) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation ในการประยุกต์ใช้เพื่อการทำนายระดับน้ำรายวันของสถานีวัดน้ำลุ่มน้ำยม บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ในการนี้ได้ทำการออกแบบโครงสร้างหลาย ๆ แบบแล้วพิจารณาโครงสร้างที่ดีที่สุด จากการศึกษาพบว่า โครงสร้าง 7-6-1 เป็นโครงสร้างที่เหมาะสมซึ่งให้ผลการคำนวณที่นำพามาใจมากคือ มีค่าประสิทธิภาพมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดจริงในสนาม

เทอดเกียรติ และคณะ (2545) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) ที่ใช้เทคนิคของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation ทำนายน้ำท่วม โดยใช้ภาษา JAVA ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยประยุกต์ใช้กับเหตุการณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำยม อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย โดยข้อมูลในขั้นนำเข้าประกอบไปด้วย ข้อมูลฝน และระดับน้ำรายวัน สามวันย้อนหลัง เพื่อทำนายระดับน้ำในวันที่สี่ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมสำหรับการใช้งานในการเตือนภัยล่วงหน้า เพื่อลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

นลินี และ เสรี (2545) ได้ทำการพยากรณ์ระดับน้ำเพื่อใช้ในการเตือนภัยน้ำท่วม โดยการศึกษาเป็นการพยากรณ์อนุกรมเวลาระดับน้ำโดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Back Propagation (NeuroGenetic Optimizer) ในการศึกษาใช้ข้อมูลระดับน้ำในช่วงปี พ.ศ.2538-พ.ศ.2544 จากผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถให้ผลการคำนวณเป็นที่น่าพอใจสำหรับการพยากรณ์ระยะสั้น ๆ โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้า 1, 2 และ 3 วัน มีค่าเท่ากับ 0.938 0.812 และ 0.686 ตามลำดับ

ภูวคณ และ ชูโชค (2545) ได้ทำการทำนายปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Back Propagation โดยข้อมูลที่ใช้ ประกอบด้วย ข้อมูลรายวันของฝนและปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2536 ถึง พ.ศ.2542 ซึ่งผลการคำนวณโดยการเลือกโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดคือ โครงสร้างขนาด 5-3-1 มี

ประสิทธิภาพของแบบจำลองในช่วงการเรียนรู้และการทดสอบในระดับสูง และสามารถนำไปใช้ในการทำนายปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างล่องหน้าหนึ่งวันได้เป็นอย่างดี

ทรงศักดิ์ (2546) ได้ทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมรายวันในกลุ่มน้ำลำภาชีโดยแบบจำลอง MIKE11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยข้อมูลในชั้นนำเข้าของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วยข้อมูลฝนของสถานี 47271 (K25.A) สถานี 47161 (K.17) สถานีวิจัยโรคมมาเลเซียในเขตร้อน (ราชบุรี) และข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันที่สถานี K.59 (กาญจนบุรี) แบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อย Unit Hydrograph และ Hydrodynamic ซึ่งต้องการข้อมูลชนิดของดิน การใช้ที่ดิน สภาพทางกายภาพของพื้นที่ คุณลักษณะของลำน้ำ ข้อมูลฝน และข้อมูลน้ำท่า ในขณะที่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมต้องการข้อมูลฝนและน้ำท่าในการทำนายปริมาณน้ำด้วยวิธี Feed Forward Back Propagation โดยใช้โครงสร้างของแบบจำลอง 5-5-1 ผลการเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบจำลองโดยประสิทธิภาพ (EI) พบว่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง MIKE 11 มีค่าเท่ากับ 64.4 เปอร์เซ็นต์ ในการสอบเทียบและเท่ากับ 18.0 เปอร์เซ็นต์ ในการตรวจพิสูจน์ ส่วนแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีประสิทธิภาพของแบบจำลอง เท่ากับ 99.8 เปอร์เซ็นต์ ในการเรียนรู้ และเท่ากับ 59.0 เปอร์เซ็นต์ ในการทดสอบ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงสรุปว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำนายปริมาณน้ำท่วมของแม่น้ำลำภาชีมากกว่าแบบจำลอง MIKE 11

ทฤษฎีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

1. แบบจำลอง NAM (NAM Model)

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (NAM Model) เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Danish Hydraulic Institute (DHI) ในปี ค.ศ. 1972 ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จำลองการไหลของน้ำที่เป็นการไหลในทิศทางเดียว (One Dimension) และการไหลที่ไม่คงที่ตามเวลา (Unsteady Flow) โดยที่แบบจำลอง MIKE 11 ประกอบด้วยแบบจำลองย่อย (Module) หลักคือ 1. แบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model, HD) ซึ่งใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำ และระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วม 2. แบบจำลองการเคลื่อนตัวของตะกอน (Sediment Transport, ST) ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของตะกอน การจำลองสภาพการตกตะกอนในลำน้ำ 3. แบบจำลองย่อยการแพร่กระจายตัว (Transport Dispersion, TD) ซึ่ง

ใช้วิเคราะห์การเคลื่อนตัวและการกระจายตัวของสารละลาย และสารแขวงลอยรวมไปถึงแรงยึดเกาะระหว่างตะกอน และ 4. แบบจำลองย่อยคุณภาพน้ำ (Water Quality, WQ) ซึ่งใช้ร่วมกับแบบจำลองย่อย TD ในการจำลองสถานะความเข้มข้นของดัชนีคุณภาพน้ำ และปฏิกิริยาภายในของวัตถุต่างๆที่มีอยู่ในน้ำ โดยที่เป็นแบบจำลอง MIKE 11 มีความคล่องตัวสูง และมีความสะดวกในการใช้งาน เนื่องจาก สามารถแยกใช้งานในแต่ละโปรแกรมย่อยต่างๆได้ สามารถถ่ายโอนข้อมูลหรือผลการคำนวณระหว่างโปรแกรมย่อยได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถคำนวณผลลัพธ์ออกมาได้อย่างรวดเร็ว

แบบจำลองย่อยที่จะนำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ประกอบไปด้วย แบบจำลองย่อยน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Module) และแบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ Hydrodynamic (HD Module) โดยแบบจำลองย่อย Hydrodynamic นั้นผลการคำนวณที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและระยะทาง โดยที่โครงสร้างของ Modules ต่าง ๆ ของแบบจำลอง MIKE 11 ตลอดจนการเชื่อมโยงของแต่ละ Module เข้าด้วยกันนั้นแสดงรายละเอียดดังในภาพที่ 5

1.1 โครงสร้างของแบบจำลอง (Model Structure)

ในการใช้งานแบบจำลอง NAM นั้นจะต้องทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อย โดยจะมีค่าพารามิเตอร์และตัวแปรสำหรับแต่ละลุ่มน้ำย่อย ผู้ใช้งานจะต้องทำการสอบเทียบ (Calibrate) ค่าเหล่านั้น สำหรับโครงสร้างของแบบจำลองแสดงในภาพที่ 6 เป็นการจำลองลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งปริมาณน้ำจะถูกแบ่งไปเก็บกักไว้ในส่วนของการเก็บกัก 4 ส่วน ดังนี้ (นุชนารถ, 2545)

1.1.1 การเก็บกักของหิมะ (Snow Storage) จะขึ้นอยู่กับอัตราการละลายตัวของหิมะ Q_{melt} ซึ่งจะไปเพิ่มปริมาณน้ำให้กับการเก็บกักของผิวดิน ส่วนประกอบนี้ไม่ใช้ในการศึกษาในประเทศไทย

1.1.2 การเก็บกักบนผิวดิน (Surface Storage) คือปริมาณน้ำที่ค้างอยู่บนพืช และเก็บกักอยู่ในแอ่งบนผิวดิน โดยที่ U_{max} คือปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะเก็บได้ในส่วนของการเก็บกักบนผิวดิน ปริมาณน้ำในชั้นนี้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณฝนแต่เมื่อปริมาณน้ำขึ้นถึงระดับ U_{max} น้ำ

ส่วนเกิน (P_N) จะไหลออกเป็น Overland Flow และมีบางส่วนไหลซึมลงสู่ Lower Zone Storage และ Groundwater Storage

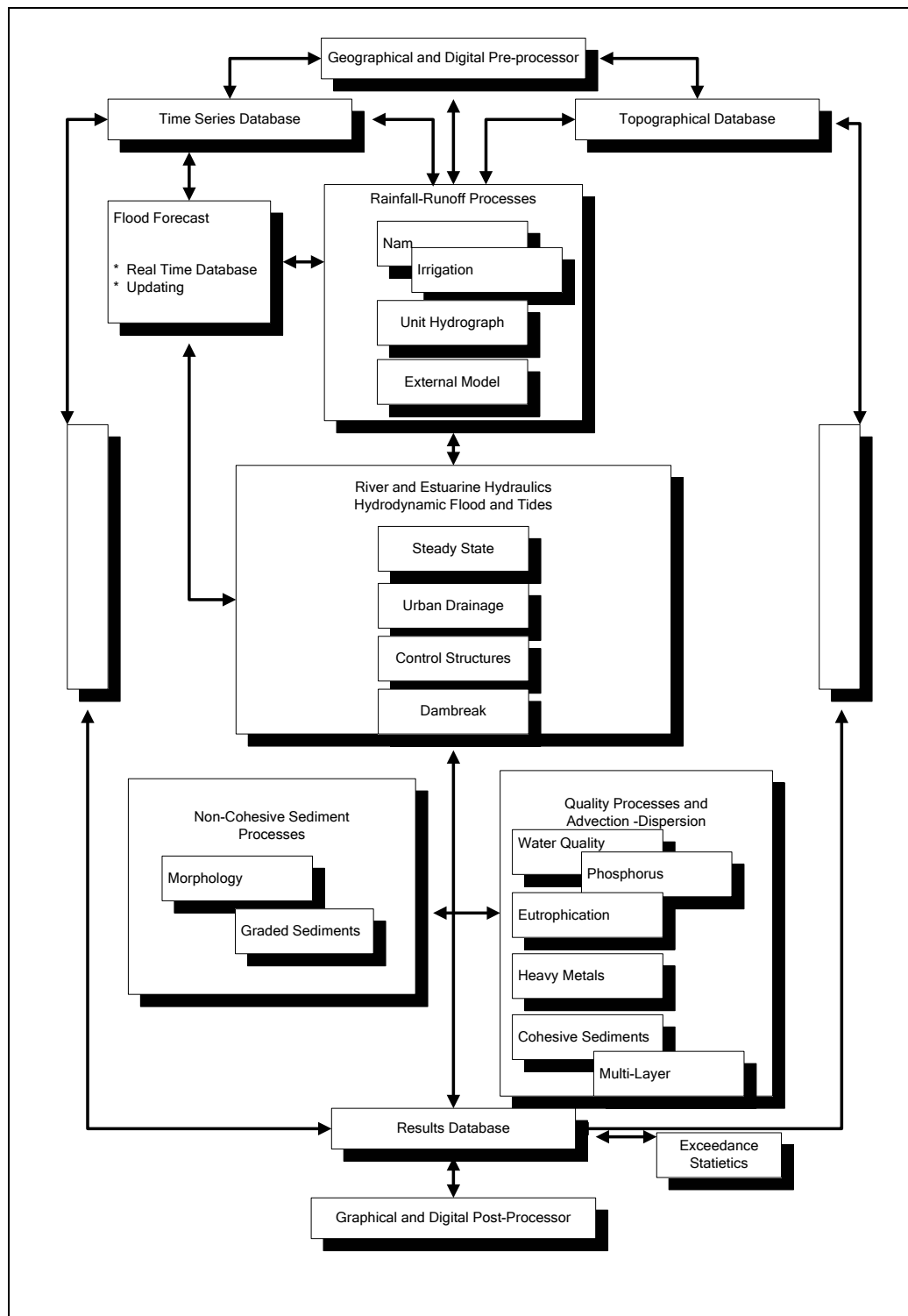
1.1.3 การเก็บกักของชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage) คือปริมาณความชื้นของชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปจากผิวดิน โดยที่ L_{max} คือปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะเก็บได้ในส่วนของการเก็บกักของชั้นดินส่วนล่าง

1.1.4 การเก็บกักของชั้นน้ำใต้ดิน (Groundwater Storage) คือปริมาณน้ำที่ซึมผ่านการเก็บกักบริเวณชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage) มาเก็บกักที่ชั้นนี้

1.2 การคำนวณของแบบจำลอง NAM

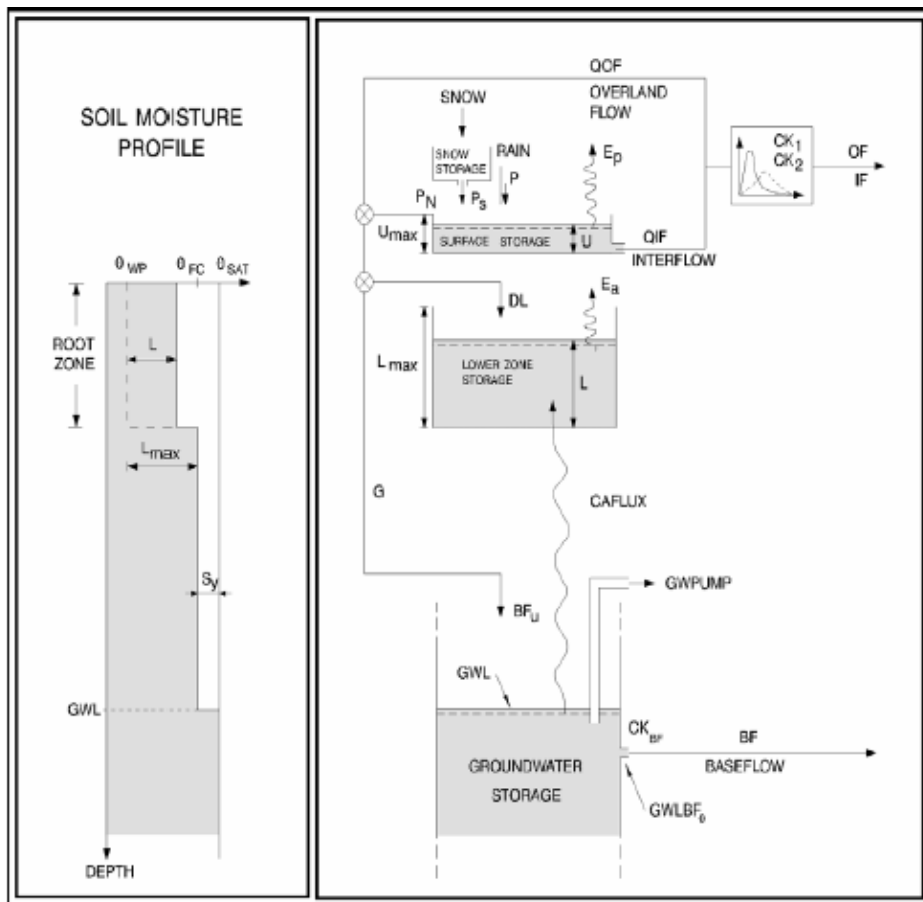
1.2.1 การเก็บกักบนผิวดิน (Surface Storage)

การเก็บกักบนผิวดิน (Surface Storage) เป็นการเลียนแบบวัฏจักรทางอุทกวิทยาบนผิวดิน โดยน้ำจะถูกเก็บกักตามแหล่งต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่ฝนที่ตกลงมาจะถูกดักโดยพืช และท่วมขังตามทีลุ่มในบริเวณชั้นผิวดิน โดยจะอยู่ในรูปของปริมาณเก็บกักบนผิวดิน โดยจะมีค่าเก็บกักบนผิวดินสูงสุดเท่ากับ U_{max} และในเขต Root Zone ในส่วนที่ต่ำกว่าพื้นผิวที่เรียกว่า Lower Zone Storage จะมีค่าเก็บกักสูงสุดเท่ากับ L_{max} โดยปริมาณน้ำใน Surface Storage (U) จะลดลงอย่างต่อเนื่องโดยการระเหย การใช้น้ำของพืช และการไหลในแนวราบ (Interflow) ปริมาณน้ำในชั้นนี้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณฝน แต่เมื่อปริมาณน้ำขึ้นถึงระดับ U_{max} น้ำฝนส่วนเกินสุทธิ P_N (Net Excess Rainfall) จะไหลออกมาในรูปของ Overland Flow และมีบางส่วนไหลซึมลงสู่ Lower Zone Storage และ Groundwater Storage โดย QOF จะเป็นส่วนของฝนส่วนเกินสุทธิ P_N ที่แปรสภาพเป็นปริมาณน้ำที่ไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow) โดยจะเป็นสัดส่วนกับ P_N และแปรผันโดยตรงกับค่าความจุของความชื้นสัมพัทธ์ (Soil Moisture Content) ในชั้นดินส่วนล่าง ซึ่งสามารถแสดงดังสมการต่อไปนี้



ภาพที่ 5 โครงสร้างของ Model ต่าง ๆ ของแบบจำลอง MIKE 11 ตลอดจนการเชื่อมโยงแต่ละ Modules เข้าด้วยกัน

ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)



ภาพที่ 6 โครงสร้างของแบบจำลอง NAM

ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

$$\begin{aligned}
 QOF &= CQOF \frac{L/L_{max} - TOF}{1 - TOF} P_N && \text{สำหรับ } L/L_{max} > TOF \\
 &= 0 && \text{สำหรับ } L/L_{max} \leq TOF
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

เมื่อ $CQOF$ = สัมประสิทธิ์ของปริมาณน้ำท่าที่ไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow Runoff Coefficient) ($0 \leq CQOF \leq 1$)

TOF = ค่าคงที่ที่น้ำเริ่มแปรสภาพเป็นปริมาณน้ำที่ไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow) ($0 \leq TOF \leq 1$)

ปริมาณน้ำส่วนที่กลายเป็นปริมาณน้ำที่ไหลระหว่างผิวดิน และชั้นน้ำใต้ดิน (Interflow) จะกำหนดให้เป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำเก็บกักชั้นบน (U) และแปรผันโดยตรงกับ

ปริมาณความชื้นในชั้นการเก็บกักบริเวณชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage) (L/L_{\max}) ซึ่งสามารถแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$QIF = (CKIF)^{-1} \frac{L/L_{\max} - TIF}{1 - TIF} U \quad \text{สำหรับ } L/L_{\max} > TIF \quad (6)$$

$$= 0 \quad \text{สำหรับ } L/L_{\max} \leq TIF$$

เมื่อ CKIF = Time Constant for Interflow
 TIF = ค่าคงที่สำหรับ Root Zone ที่น้ำเริ่มแปรสภาพเป็น Interflow
 ($0 \leq TIF \leq 1$)

1.2.2 การเก็บกักในชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage)

ปริมาณฝนส่วนเกิน P_N (Excess Rainfall) ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นปริมาณน้ำที่ไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow) จะมีการไหลลงสู่การกักเก็บในชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage) ในปริมาณที่เท่ากับ $P_N - QOF$ ซึ่งปริมาณน้ำบางส่วนจะไหลแยกออกไปในชั้นเก็บกักของชั้นน้ำใต้ดิน (Groundwater Storage) โดยมีปริมาณมาเท่ากับ G และมีส่วนที่เหลือในการเก็บกักในชั้นดินส่วนล่างเท่ากับ DL ดังแสดงได้ตามสมการ

$$G = (P_n - QOF) \frac{L/L_{\max} - TG}{1 - TG} \quad \text{สำหรับ } L/L_{\max} > TG \quad (7)$$

$$= 0 \quad \text{สำหรับ } L/L_{\max} \leq TG$$

$$DL = (P_n - QOF) - G \quad (8)$$

โดยที่ TG = ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืช (Root Zone Threshold Value) ที่น้ำจะเริ่มไหลซึมลงสู่การเก็บกักในชั้นน้ำใต้ดิน ($0 \leq TG \leq 1$)

ปริมาณการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration) เป็นข้อมูลแรกที่ต้องทราบค่าเพื่อในการพิจารณาในการเก็บกักบนผิวดิน ในกรณีปริมาณน้ำ U น้อยกว่าปริมาณการคายระเหยนี้

พืชจะใช้น้ำในการเก็บกักบริเวณชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage) ในอัตรา E_a โดยจะเป็นสัดส่วนกับศักยภาพการคายระเหย E_p (Potential Evapotranspiration) ดังสมการที่ (9X)

$$E_a = E_p (L / L_{\max}) \quad (9)$$

1.2.3 การเก็บกักของชั้นน้ำใต้ดิน (Groundwater Storage)

$GWLFL_1$ คือค่าความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Table) ซึ่งทำให้ Capillary Flux มีค่าเท่ากับ 1 มม./วัน ในสภาพที่การเก็บกักส่วนล่าง (Lower Zone Storage) แห่งสนิท ($L=0$)

ระดับน้ำใต้ดินจะคำนวณจากปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้ามาคือ G และ Capillary Flux (CAFLUX) การสูบน้ำออก (GWPUMP) และปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow) (BF) ซึ่งการสูบน้ำออกสามารถกำหนดได้โดยอัตราการสูบน้ำต่อเดือน ส่วนปริมาณการไหลพื้นฐานจะคำนวณเป็นการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำแบบเส้นตรง (Linear Reservoir) โดยค่าคงที่ของเวลา (Time Constant) คือ CKBF

$$BF = (GWLBF_0 - GWL)S_y (CKBF)^{-1}; \text{เมื่อ } GWL \leq GWLBF_0 \quad (10)$$

$$= 0 \quad ; \text{เมื่อ } GWL > GWLBF_0$$

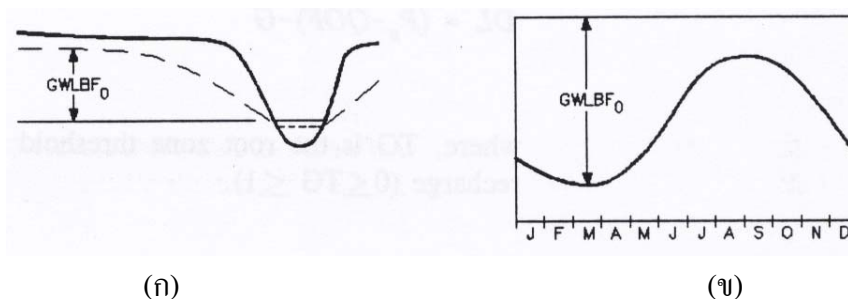
เมื่อ GWL = ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Table) จากระดับผิวดิน

$GWLBF_0$ = ความลึกน้ำใต้ดินมากที่สุดที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow)

S_y = Specific yield ของน้ำใต้ดิน

โดยสามารถอธิบายความหมายทางกายภาพของตัวแปร $GWLBF_0$ โดยแสดงดัง

ภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความหมายทางกายภาพของค่า $GWLBF_0$

ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

(ก) ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Table) มากที่สุดที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow) โดยมีค่าแปรผันอยู่ระหว่างค่าระดับผิวดินเฉลี่ยกับระดับน้ำต่ำสุดในลำน้ำ และจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลตลอดปี

(ข) ค่า $GWLBF_0$ จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลตลอดปี ค่า Capillary Flux ของระดับน้ำใต้ดินมาจากการเก็บกักของชั้นดินส่วนล่าง จะทำให้ขึ้นอยู่กับความลึกของระดับน้ำใต้ดินจากผิวดิน (GWL) และค่าความจุของความสัมพันธ์ในชั้นการเก็บกักของชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage) (L/L_{max}) โดยคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$CAFLUX = \left(1 - \frac{L}{L_{max}}\right)^{1/2} \left(\frac{GWL}{GWLFL_1}\right)^{-\alpha} \quad (11)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \alpha = 1.5 + 0.45GWLFL_1 \quad (12)$$

1.2.4 การเคลื่อนตัวของน้ำท่า (Flow Routing)

ปริมาณน้ำในส่วนของการไหลระหว่างผิวดิน และชั้นน้ำใต้ดิน (Interflow) และปริมาณน้ำที่ไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow) จะถูกทำให้เคลื่อนตัวในลักษณะเชิงเส้น (Routing) 2 ครั้ง ด้วยค่าคงที่ของเวลา CK_1 และ CK_2 ดังสมการต่อไปนี้

$$CK = CK_{par} \quad ; \text{เมื่อ } OF \leq OF_{min} \quad (13)$$

$$CK = CK_{par} \left(\frac{OF}{OF_{min}} \right)^{-\beta} ; \text{เมื่อ } OF > OF_{min} \quad (14)$$

โดย OF = ความลึกของปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow)
(มม./ชม.)

CK_{par} = ค่าพารามิเตอร์ CK_1 หรือ CK_2 (ชม.)

OF_{min} = ชีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการเคลื่อนตัวของน้ำท่าแบบพลศาสตร์
(Non-Linear Routing Dynamics) มีค่าเท่ากับ 0.4 มม./ชม

β = ค่าสัมประสิทธิ์ทางพลศาสตร์การไหลของ Chezy ซึ่งมีค่า
เท่ากับ 0.33

1.3 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง NAM (Model Parameter)

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลอง NAM มีรายละเอียดดังนี้ (บุษนารถ, 2545)

1.3.1 ความจุเก็บกัก (Storage Capacities)

ก. U_{max} (Maximum Water Content in Surface Storage) หมายถึง ปริมาณการเก็บกักบนผิวดิน เป็นการเก็บกักบนต้นไม้ใบหญ้า การเก็บกักตามแอ่งบนพื้นผิว และการเก็บกักบนดินส่วนบนซึ่งมีความลึกไม่มากนักโดยทั่วไป U_{max} มีค่าประมาณ 10-20 มม. หรือ $0.1L_{max}$

ข. L_{max} (Maximum Water Content in Root Zone Storage) หมายถึง ปริมาณความจุเก็บกักสูงสุดของชั้นรากพืช เป็นความชื้นสูงสุดของชั้นรากพืชที่พร้อมจะใช้ในขบวนการคายน้ำของพืช สามารถประมาณได้จากผลคูณระหว่างความสามารถของดินที่อุ้มน้ำไว้ได้ กับความลึกของชั้นรากพืช โดยค่าของความสามารถของดินที่อุ้มน้ำไว้ได้ หมายถึง ผลต่างระหว่างค่า Field Capacity กับค่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Wilting Point) ของดินที่สามารถประมาณค่าได้จากข้อมูลดิน โดยทั่วไปใช้ค่า L_{max} ประมาณ 100-250 มม.

1.3.2 สัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow Runoff Coefficient)

CQOF (Overland Flow Runoff Coefficient) หมายถึง สัมประสิทธิ์การไหลบ่าบนผิวดิน เป็นพารามิเตอร์ที่แบ่งแยกปริมาณฝนส่วนเกิน (Excess Rainfall) ไปเป็นการไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow Runoff) และปริมาณการซึมลงสู่ผิวดิน (Infiltration) ค่า CQOF มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และมีแนวโน้มที่จะมีค่ามากสำหรับดินที่มีความสามารถในการซึมผ่านต่ำ มีสิ่งที่ควรสังเกตข้อหนึ่งคือ CQOF จะมีความสำคัญน้อยลงในกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน ทั้งนี้เนื่องมาจากแบบจำลองไม่ได้พิจารณาการซึมลงสู่ผิวดินในกรณีนี้

1.3.3 ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการไหลระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน (Time Constant for Interflow)

CKIF (Time Constant for Interflow) หมายถึง เวลาคงที่สำหรับการไหลระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน เนื่องจากปริมาณไหลระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน ไม่ได้เป็นส่วนสำคัญของปริมาณน้ำท่า ดังนั้น CKIF จึงเป็นค่าที่ไม่สำคัญมากนัก โดยค่า Interflow จะลดลงเมื่อ CKIF เพิ่มขึ้น โดยที่ค่า CKIF มีค่าอยู่ระหว่าง 500-1,000 ชั่วโมง

1.3.4 วัฏจักรของหิมะ (Snow Routine)

CSNOW หมายถึง อัตราการละลายของหิมะ ถ้ากำหนดให้เป็น 0 ปริมาณฝนที่ตกลงมากก็จะผ่านชั้นตอนนี้ไปยัง Surface Storage

1.3.5 พารามิเตอร์ปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow Parameters)

ก. CAREA หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ลุ่มน้ำของน้ำใต้ดิน (Groundwater Catchments) กับพื้นที่ลุ่มน้ำ (Topographical Catchment)

ข. S_y หมายถึง Specific Yield สำหรับการเก็บกักของน้ำใต้ดิน โดยทั่วไปค่า S_y สามารถประเมินค่าได้จากประเภทของดินที่แตกต่างกัน โดยค่าน้อย ๆ จะพบในดินเหนียว (1-10 เปอร์เซ็นต์) และค่ามาก ๆ จะพบในดินทราย (10-30 เปอร์เซ็นต์)

ค. CKBF หมายถึง เวลาคงที่สำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลพื้นฐาน (Time Constant for Routing Baseflow) สามารถประมาณได้จากกราฟน้ำท่าที่ไค้การลดลงของปริมาณการไหลพื้นฐาน ในช่วงของฤดูแล้งหรือดินมีสภาพแห้ง มีค่าประมาณ 500-5,000 ชั่วโมง

ง. $GWLBF_0$ หมายถึง ความลึกของน้ำใต้ดินสูงสุดที่ทำให้เกิดปริมาณการไหลพื้นฐาน (Maximum Groundwater Depth Causing Baseflow) ค่าความลึกมีหน่วยเป็นเมตร แปรผันอยู่ระหว่างค่าระดับผิวดินเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำกับระดับน้ำต่ำสุดที่จุดไหลออกสู่ลำน้ำ ที่ระดับน้ำใต้ดินเกือบถึงระดับผิวดินจะได้ค่าที่เหมาะสมคือ $GWLBF_0$ มีค่า 20 เมตรและค่า S_y ใช้ค่า 0.5 โดยมีข้อกำหนดว่าระดับน้ำใต้ดินต้องอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินเฉลี่ย เพราะฉะนั้นค่า Baseflow คำนวณได้จากค่าเริ่มต้นค่านี้

1.3.6 Capillary Flux and Waterlogging

ก. $GWLFL_1$ (Groundwater Depth for Unit Capillary Flux) หมายถึง ความลึกของน้ำใต้ดินสำหรับหนึ่งหน่วยของ Capillary Flux (1 มม./วัน) เมื่อปริมาณความชื้นของดินชั้นบนอยู่ที่จุดแห้ง

ข. GWL_{min} หมายถึง ความลึกของน้ำใต้ดินต่ำสุดจากระดับน้ำใต้ดินถึงการเก็บกักบนผิวดิน และเริ่มที่จะมีปริมาณน้ำไหลออกมา

3.3.7 ค่าเริ่มต้น (Threshold Values)

ก. TOF (Root Rone Threshold Value for Overland Flow) หมายถึง ค่าที่เป็นตัวกำหนดให้เกิด Overland Flow ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีน้ำมากและน้ำน้อยสลับกัน โดยจะเกิด Overland Flow ก็ต่อเมื่อความชื้นในเขตรากพืช (Root Zone) ต้องมากกว่าค่า TOF ค่านี้มีผลอย่างมากต่อเวลาเริ่มต้นของการเกิด Overland Flow หลังจากช่วงน้ำน้อย ปกติจะใช้ค่า 0-70 เปอร์เซ็นต์ของ L_{max}

ข. TIF (Root Zone Threshold Value for Interflow) หมายถึง ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการไหลในระหว่างชั้นผิวดิน และชั้นน้ำใต้ดิน โดยค่า TIF ไม่มีความสำคัญมากนัก ในการศึกษาส่วนใหญ่กำหนดให้มีค่าเป็น 0

ค. TG (Root Zone Threshold Value for Groundwater Recharge) หมายถึง ค่าเริ่มต้นของชั้นรากพืชสำหรับการเติมปริมาณน้ำใต้ดิน ค่า TG มีผลกระทบในด้านการเติมน้ำใต้ดิน เป็นปัจจัยที่สำคัญในการสอบเทียบ

ง. CK_1 , CK_2 (Time Constant for Routing Interflow and Overland Flow) หมายถึง ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการเคลื่อนที่ของปริมาณการไหลในระหว่างชั้นน้ำผิวดิน กับชั้นน้ำใต้ดิน และปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการอธิบายรูปร่างของค่าสูงสุดของปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน พารามิเตอร์ใช้เพื่อการอธิบายรูปร่างของกราฟน้ำท่า สำหรับ Overland Flow, Interflow และระยะเวลาการเกิด Peak โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากัน ทำให้เหลือพารามิเตอร์ระหว่างการปรับเทียบแบบจำลองเพียงตัวเดียว

2. แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) MIKE 11 HD

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) ใช้การแก้ปัญหาแบบ Implicit Finite Difference ในการคำนวณสภาพการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) ในลำน้ำและบริเวณปากแม่น้ำ โดยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์สามารถอธิบายสภาพการไหลได้ทั้งการไหลแบบต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical Flow) และการไหลแบบเหนือวิกฤต (Supercritical Flow) ตลอดจนสามารถคำนวณการไหลในระบบลำน้ำที่มีการไหลเข้าด้านข้าง และแสดงผลการคำนวณเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time) และสถานที่ (Space)

2.1 สมการเซนต์-เวแนนท์ (Saint-Venant Equations)

MIKE 11 HD ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับลักษณะของคลื่นแบบพลศาสตร์ (Dynamic Wave Description) โดยการแก้สมการของการอินทิเกรชันในแนวตั้ง (Vertically

Integrated Equations) ของสมการต่อเนื่อง (Conservation of Continuity) และสมการโมเมนตัม ซึ่งรวมเรียกว่า Saint Venant Equations โดยมีสมมติฐานดังนี้ (นุชนารถ, 2545)

2.1.1 การไหลเป็นแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Flow) โดยที่ความลึกและความเร็วในการไหลเปลี่ยนแปลงในทิศทางกรไหลตามความยาวของลำน้ำ ซึ่งหมายความว่าความเร็วมีค่าคงที่ และพิกัดอยู่ในแนวระดับกับหน้าตัดใด ๆ ที่ตั้งฉากกับแกนตามแนวความยาว (Longitudinal Axis)

2.1.2 สมมุติให้การไหลเป็นแบบค่อย ๆ เปลี่ยนแปลง (Gradually Varied flow) ตามแนวลำน้ำ ดังนั้นแรงดันของน้ำแบบสถิต (Hydrostatic Pressure) และความเร่งในแนวตั้ง (Vertical Accelerations) สามารถไม่นำมาพิจารณาได้

2.1.3 แกนตามแนวความยาวของลำน้ำเป็นเส้นตรงโดยประมาณ

2.1.4 ความลาดชันของท้องน้ำมีน้อย และท้องน้ำมีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งหมายความว่าผลของการกัดเซาะ (Scour) และการทับถม (Deposition) ของท้องน้ำไม่นำมาพิจารณาในสมการ Saint Venant

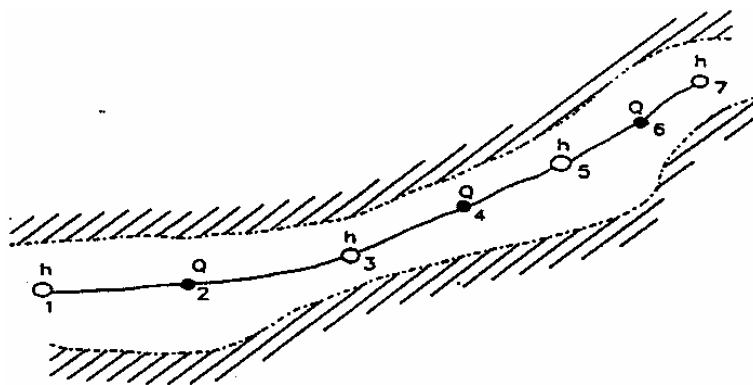
2.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Resistance Coefficients) สำหรับการไหลแบบ Steady Uniform Turbulent Flow สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ เช่น สมการของแมนนิงสามารถนำมาใช้เพื่ออธิบายผลที่เกิดจากความเสียดทานได้

2.1.6 น้ำมีลักษณะที่ไม่สามารถถูกกดอัดได้ (Incompressible) และเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งหมายความว่า จะไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของน้ำ

โดยที่สมการเซนต์-เวแนนท์ ได้แสดงไว้ในหัวข้อ การเคลื่อนตัวของน้ำท่า (Flood Routing) โดยวิธีการเคลื่อนที่ของระบบแบบกระจาย (Distributed System Routing)

2.2 Implicit Finite Difference Equation

การแก้สมการต่อเนื่อง และสมการโมเมนต์ กระทำได้โดยใช้วิธี Implicit Finite Difference Equations แบบ 6-points โดยกำหนดให้ Computational Grid ของ Q (อัตราการไหล) หรือ h (ระดับน้ำ) อันใดอันหนึ่งสามารถนำมาใช้ดังแสดงในภาพที่ 8 โดยที่ Computational Grid จะถูกสร้างขึ้นมาโดยอัตโนมัติตามความต้องการของผู้ใช้ จุดต่าง ๆ ของ Q (Q point) จะถูกกำหนดไว้ที่จุดกึ่งกลางระหว่างจุดของ h ที่อยู่ติดกัน และตำแหน่งที่มีอาคารชลศาสตร์ ในขณะที่จุดของ h นั้น จะกำหนดไว้ที่รูปหน้าตัดขวางใด ๆ หรือในระหว่างกึ่งกลางของระยะทางระหว่างหน้าตัดขวางใด ๆ ที่มีระยะห่างมากกว่า dx_{max} โดยอัตราการไหลถูกกำหนดให้เป็นบวกในแนวแกน x ที่มีค่าเป็นบวกตามแนวระยะทางที่เพิ่มขึ้น (นุชนารถ, 2545)



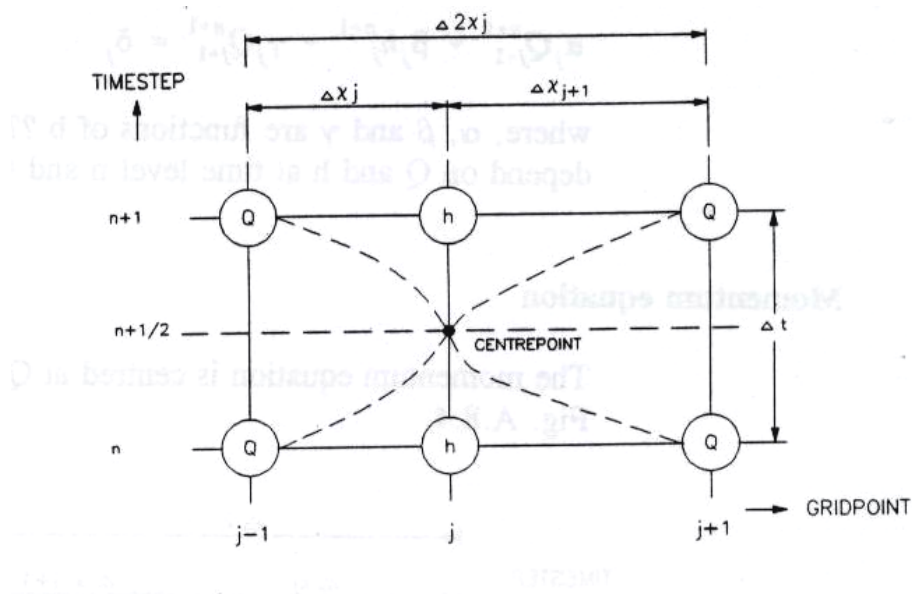
ภาพที่ 8 Computation Grid ของแต่ละหน้าตัดของลำน้ำ

ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

จากสมการต่อเนื่อง

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (\text{ดูภาพที่ 9 ประกอบ})$$

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + b_s \frac{\partial h}{\partial t} = q \quad (15)$$



ภาพที่ 9 จุดกึ่งกลางของสมการต่อเนื่องในรูปแบบของ-6 Point Abbott Scheme
ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

สำหรับ Q แสดงค่าสมการอนุพันธ์เทียบกับระยะทางได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial X} \approx \frac{(Q_{j+1}^{n+1} + Q_{j+1}^n) - (Q_{j-1}^{n+1} + Q_{j-1}^n)}{2 \Delta X_j} \quad (16)$$

สำหรับ h แสดงค่าสมการอนุพันธ์เทียบกับเวลาได้ดังนี้

$$\frac{\partial h}{\partial X} \approx \frac{(h_j^{n+1} - h_j^n)}{\Delta t} \quad (17)$$

สำหรับ b_s สามารถประมาณค่าได้ดังนี้

$$b_s = \frac{A_{o,j} + A_{o,j+1}}{2 \Delta X_j} \quad (18)$$

เมื่อ $A_{0,j}$ คือ พื้นที่ระหว่าง grid point $j-1$ และ j
 $A_{0,j+1}$ คือ พื้นที่ระหว่าง grid point j และ $j+1$
 $2\Delta x_j$ คือ ระยะทางระหว่าง $j-1$ และ $j+1$

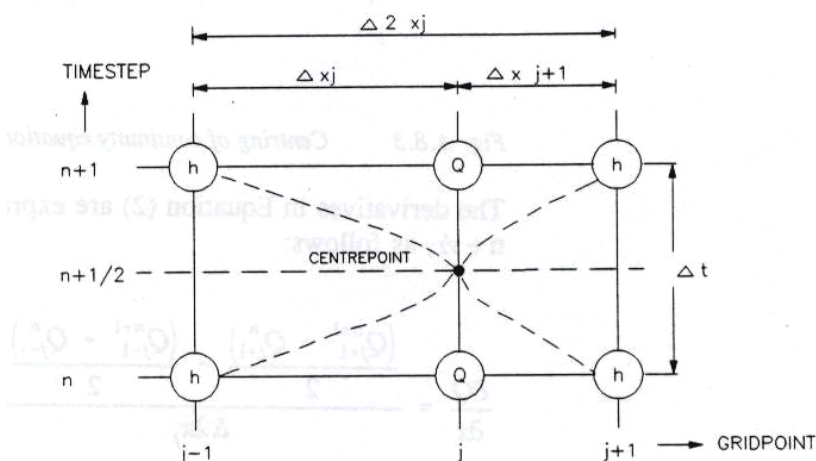
เมื่อแทนค่าสมการที่ (16), (17) และ (18) ลงในสมการต่อเนื่อง (15) และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\alpha_j Q_{j-1}^{n+1} + \beta_j h_j^{n+1} + \gamma_j Q_{j+1}^{n+1} = \delta_j \tag{19}$$

เมื่อ α , β และ γ เป็นองค์ประกอบของ b และ δ โดยขึ้นอยู่กับ Q และ h ที่ $t = n$ และ Q ที่ $t = n+1/2$

สมการโมเมนตัม $\frac{\partial Q}{\partial t} + \partial \left[\frac{\alpha Q^2}{A} \right] + gA \frac{\partial h}{\partial X} + g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} = 0$ (ดูภาพที่ 10 ประกอบ) แทนค่าในสมการโมเมนตัมด้วยค่าต่อไปนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{(Q_j^{n+1} - Q_j^n)}{\Delta t} \tag{20}$$



ภาพที่ 10 จุดกึ่งกลางของสมการ โมเมนตัมในรูปแบบของ-6 Point Abbott Scheme
 ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

$$\frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial X} \approx \frac{\left(\left[\alpha \frac{Q^2}{A} \right]_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} - \left[\alpha \frac{Q^2}{A} \right]_{j-1}^{n+\frac{1}{2}} \right)}{2 \Delta X_j} \quad (21)$$

แปลงเป็น Quadratic term ได้ดังนี้คือ $Q^2 \approx f Q_j^{n+1} Q_j^n - (f-1) Q_j^n Q_j^n$ เมื่อ f คือค่าคงที่มีค่าระหว่าง 0-1

$$\frac{\partial h}{\partial X} \approx \frac{(h_{j+1}^{n+1} + h_{j+1}^n) - (h_{j-1}^{n+1} + h_{j-1}^n)}{2 \Delta X_j} \quad (22)$$

จะได้สมการโมเมนต์ในรูปแบบสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\alpha_j h_{j-1}^{n+1} + \beta_j Q_j^{n+1} + \gamma_j h_{j+1}^{n+1} = \delta_j \quad (23)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \alpha_j &= f(A) \\ \beta_j &= f(Q_j^n, \Delta t, \Delta X, C, A, R) \\ \gamma_j &= f(A) \\ \delta_j &= f(A, \Delta X, \Delta t, \alpha, q, v, \phi, Q, h) \end{aligned}$$

4.3 ความต้านทานที่ท้องลำน้ำ

แบบจำลอง MIKE 11 จะสามารถทำการวิเคราะห์ความต้านทานของการไหลเนื่องจากความเสียดทานที่ท้องคลอง ได้สองวิธีจากสมการของ Chezy หรือ Manning สำหรับสมการ Chezy แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 24

$$Q = AC\sqrt{RS} \quad (24)$$

เมื่อ	Q	= อัตราการไหล (m^3/s)
	A	= พื้นที่หน้าตัดการไหล (m^2)
	R	= รัศมีชลศาสตร์ (m)
	C	= สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Chezy

สำหรับสมการ Manning แสดงความสัมพันธ์ได้สมการที่ 25 ดังนี้

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} = MAR^{2/3} S^{1/2} \quad (25)$$

เมื่อ	n	= สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning
	M	= Manning number ซึ่งมีค่าสมมูลกับสัมประสิทธิ์ของ Strickler

โดยที่ค่า M คือ ส่วนกลับของ Manning coefficient n ($M = 1/n$) โดยค่า Manning's n มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.01 จนถึง 0.10 ดังนั้นค่า M ที่สอดคล้องกันจะมีค่าตั้งแต่ 100 ถึง 10

สัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ของ Manning ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กัน ดังสมการที่ 26

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = MR^{1/6} \quad (26)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล เนื่องจากความขรุขระของทางน้ำ ซึ่งหมายถึงค่า C, n หรือ M นั้นสามารถประเมินได้โดยการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) โดยการเปรียบเทียบระหว่างลักษณะทางกายภาพที่ได้จากแบบจำลอง และลักษณะทางกายภาพของสภาพความเป็นจริงที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในสนาม นอกจากนั้นแล้วยังสามารถประเมินค่า Manning's n ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) ของระบบการทำงานอื่น ๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพของภูมิประเทศที่คล้ายคลึงกัน สำหรับค่า Manning's n โดยประมาณของการไหลทางน้ำเปิดทั่วไปแสดงดังตารางที่ 5 (นุชนารถ, 2545)

2.5 สภาพเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions)

เงื่อนไขขอบเขตที่ต้องกำหนดในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขขอบเขตคือ

2.5.1 ขอบเขตด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลอัตราการไหลคงที่จากอ่างเก็บน้ำ และข้อมูลอัตราการไหลของกราฟน้ำท่าจากเหตุการณ์ต่าง ๆ

2.5.2 ขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำคงที่ เช่น ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ข้อมูลระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น ระดับน้ำขึ้นลงของน้ำทะเล และข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับและอัตราการไหล (Rating Curve)

เงื่อนไขเสถียรภาพ (Stability Condition)

เสถียรภาพ และความถูกต้องแม่นยำของวิธีการในการแก้สมการ Finite Difference ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้ คือ Courant Condition (Cr) โดยทั่วไปค่าของ Cr จะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 (MIKE 11 Reference Manual, 1992)

$$Cr = \frac{\Delta t(v + \sqrt{gy})}{\Delta x} \leq 10-15 \quad (26)$$

เมื่อ	v	= ความเร็วที่หน้าตัดการไหล (m/s)
	g	= ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s ²)
	y	= ความลึก (m)
	t	= ช่วงเวลา (s)
	x	= ระยะทางระหว่างกริดที่คำนวณ (m)

ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ท้องลำนน้ำของทางน้ำเปิด

ชนิดทางน้ำเปิด	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning' n
คอนกรีต	0.012
คลองลาด	
คลองลาดคอนกรีตแบบผิวเรียบ	0.020
คลองลาดคอนกรีตแบบธรรมดา	0.023
หินทิ้ง	0.033
ทางน้ำธรรมชาติ	
คลองสะอาด และเป็นคลองตรง	0.030
คลองสะอาด และเป็นคลองคดเคี้ยว	0.040
คลองคดเคี้ยวมีวัชพืช และหลุมบ่อ	0.050
พุ่มไม้หนาแน่น และมีเศษท่อนไม้	0.100
ทุ่งน้ำท่วม	
ทุ่งหญ้า	0.035
พื้นที่เกษตรกรรม (ทุ่งนา)	0.040
พุ่มไม้เตี้ย ๆ และวัชพืช	0.050
พุ่มไม้หนาแน่น	0.070
ต้นไม้หนาแน่น	0.100

ที่มา: Chow (1959)

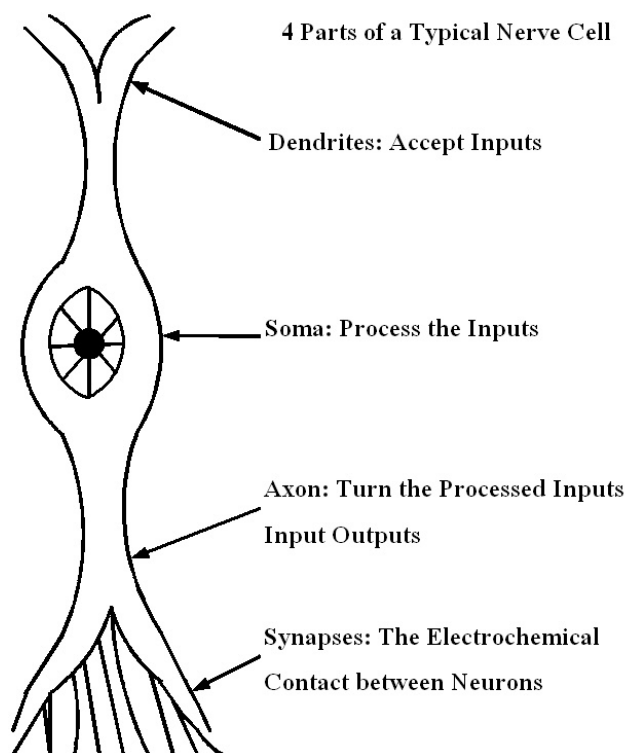
3. แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANNs) เป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่ง ในระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ซึ่งมีโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม และการทำงาน คล้ายคลึงกับเซลล์สมองและระบบประสาทของมนุษย์ โดยได้นำข้อดีของเซลล์สมองมาใช้คือ ความสามารถในการจำแนกลักษณะสิ่งของที่มีความใกล้เคียงกัน ความสามารถในการเรียนรู้จาก ประสบการณ์ ความสามารถในการแปลความหมายของสัญลักษณ์และภาพ ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมา

อยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือ ถึงแม้ว่าข้อมูลที่ป้อนเข้าไปนั้นจะมีความผิดพลาดอยู่บ้าง หรือมีความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลที่ป้อนเข้าไป เมื่อนำระบบโครงข่ายประสาทเทียมมาทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการคำนวณค่าทางคณิตศาสตร์ได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง สามารถทำให้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมมีศักยภาพในการทำงานสูงขึ้น โดยระบบโครงข่ายประสาทเทียมใหม่ที่ได้มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะได้แก่ ความสามารถในการจำลองปัญหาโดยไม่จำเป็นต้องทราบรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูล โดยผลลัพธ์ที่ออกมามีความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่จำกัดและสามารถยอมรับได้ จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการนำมาใช้ในการแก้ปัญหาได้ใกล้เคียงกับการคำนวณของเซลล์สมองและระบบประสาทในมนุษย์ แต่ในระบบโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการคำนวณสูงกว่า โดยมีรูปแบบการทำงานผ่านฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อน โดยการทำงานของระบบไม่ได้ทำงานซ้ำๆ ตามชุดคำสั่งเหมือนดังโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไป และผลลัพธ์ที่ออกมาีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ถึงแม้ว่าจะมีความผิดพลาดอยู่บ้างก็ตาม แต่ระบบโครงข่ายประสาทเทียมยังมีความสามารถที่จะทำงานได้ แม้ว่าข้อมูลที่ป้อนจะมีความบกพร่อง ผิดพลาด หรือขาดความสมบูรณ์ในตัวข้อมูลนั้นๆ ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่มีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง เช่นรูปแบบการทำงานหรือการแก้ปัญหาที่แน่นอน ถ้าข้อมูลที่ป้อนเข้าในแบบจำลองมีความผิดพลาด ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์อื่น ๆ ก็จะมีผลผิดพลาด หรือไม่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ซึ่งจะแตกต่างกับแบบจำลองระบบโครงข่ายประสาทเทียมดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น (เสรี, 2544)

3.1 ระบบ Neurons ในสมองมนุษย์

การทำงานของระบบ Neurons ว่าองค์ประกอบพื้นฐานของสมองมนุษย์คือ Neurons ซึ่งก็คือกลุ่มเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่ในการจดจำ คิด นำความรู้ และประสบการณ์ที่บันทึกไว้ในสมองมาใช้ตัดสินใจในชีวิตประจำวัน แต่ละ Neurons อาจจะเชื่อมต่อกับ Neurons อื่นๆมากถึง 200,000 Neurons พลังสมองของมนุษย์เกิดจาก Neurons มากมาย และระบบการเชื่อมต่อแบบซับซ้อนของ Neurons จำนวนมากเหล่านี้ Neurons ของมนุษย์ตามหลักวิชาประสาทวิทยา (Neuroscience) จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังภาพที่ 11 แต่ละส่วนมีฟังก์ชันในการทำงานดังนี้ (วรารุช, 2544)



ภาพที่ 11 โครงสร้างของ Neuron ในสมองมนุษย์
ที่มา: วราวุธ (2544)

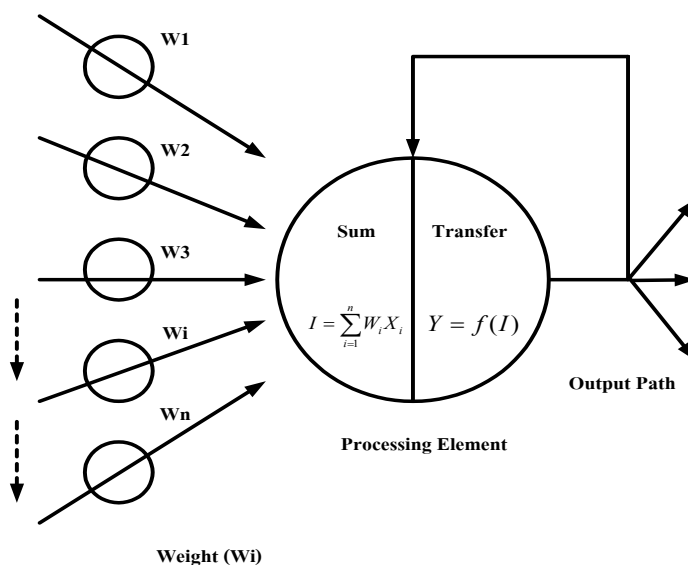
องค์ประกอบของโครงสร้างของ Neuron ในสมองมนุษย์ในภาพที่ 11 อธิบายได้ดังนี้

Dendrites	คือ ส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูล (Accept Inputs)
Soma	คือ ส่วนที่ประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น (Process Inputs)
Axon	คือ ส่วนที่แปลงข้อมูลที่ได้ประมวลเบื้องต้นเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการ (Turn the Processed Input into Outputs)
Synapses	คือ เส้นประสาทที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารกับ Neurons อื่น ในระบบสมอง (Electrochemical Contact between Neuron)

ในระบบประสาทของสมองมนุษย์ Dendrites ทำหน้าที่รับข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ แล้วส่งให้ Soma ประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น หลังจากนั้น Axon จะแปลงข้อมูลต่าง ๆ เป็นผลลัพธ์แล้ว Synapses จะส่งผลให้ Neurons อื่น เพื่อช่วยกันสร้างผลลัพธ์ขั้นสุดท้าย

3.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation (BP)

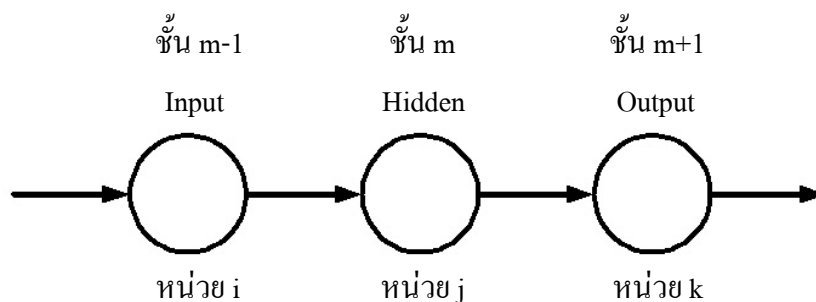
โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมประเภท Back Propagation (BP) ว่าโครงสร้างที่ได้รับความนิยมอย่างสูงคือ โครงสร้างประเภท Multilayer Preceptor ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวประกอบด้วยโครงสร้าง 3 ชั้น คือ ชั้นข้อมูลด้านเข้า (Input Layer) ชั้นแฝง (Hidden Layer) และชั้นแสดงผล (Output Layer) ดังแสดงในภาพที่ 12 สำหรับกระบวนการเรียนรู้ จะใช้วิธีการเรียนรู้จากรูปแบบของข้อมูลด้านเข้า และข้อมูลด้านออกที่มีอยู่ โดยที่ข้อมูลด้านเข้าจะถูกป้อนเข้าไปในแต่ละหน่วยในชั้นแรก จากนั้นแต่ละข้อมูลด้านเข้าจะถูกคูณด้วยค่าน้ำหนัก (Weight) เฉพาะการเชื่อมโยงระหว่างชั้น ซึ่งค่าเริ่มต้นของน้ำหนักอาจถูกกำหนดโดยการสุ่ม ผลคูณที่ได้จะนำมารวมกันเพื่อแปลงเป็นค่าในชั้นแสดงผล โดยผ่านฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) จากนั้นค่าผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง เพื่อนำไปสู่การปรับแก้ค่าน้ำหนัก และเพื่อลดค่าความแตกต่างหรือความผิดพลาดในแต่ละรอบการคำนวณ การปรับค่าน้ำหนักจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งข้อผิดพลาดมีค่าน้อยและยอมรับได้ การคำนวณจึงสิ้นสุด (เสรี, 2544)



ภาพที่ 12 ลักษณะ โครงสร้างของ Back Propagation

ที่มา: ธวัชชัย (2543)

รูปแบบของหน่วยและชั้นที่นำมาใช้หาความสัมพันธ์ของตัวแปรนำเข้าและตัวแปรด้านออกของทฤษฎีการเรียนรู้ชนิด Back Propagation เมื่อพิจารณาหน่วยเพียงหน่วยเดียวของชั้นใดๆ ซึ่งมีการเชื่อมโยงของหน่วยระหว่างชั้น ดังภาพที่ 13 สามารถแสดงเป็นตัวแปร และสมการต่างๆตามลำดับชั้นตอนได้ดังนี้



ภาพที่ 13 แสดงการเชื่อมโยงของหน่วยใดๆระหว่างชั้น

ที่มา: Tsoukalas and Uhrig (1997)

กำหนดให้

$w_{ji,m}(n)$ = ค่าน้ำหนักระหว่างการเชื่อมจากหน่วยที่ i ในชั้น $m-1$ ไปยังหน่วยที่ j ในชั้น m ในรอบการคำนวณที่ n

$o_{j,m}$ = ค่าของข้อมูลด้านออกที่หน่วยที่ j ในชั้น m ($m=1, 2, \dots, I$)

$I_i = o_{i,0}$ = ค่าของข้อมูลนำเข้าในหน่วยที่ i ในชั้นแรก

T_j = ค่าของข้อมูลด้านออกที่ต้องการ (Desired or Target Output)

n_m = จำนวนหน่วยทั้งหมดของชั้น m ($m=1, 2, \dots, I$)

$o_{i,m-1} = I_{j,m}$ = ค่าของข้อมูลนำเข้าที่หน่วยที่ j ในชั้น m ($m=1, 2, \dots, I$)

$\theta_{j,m}$ = ค่าเบี่ยงเบนที่หน่วยที่ j ในชั้น m

$N_{j,m}$ = ผลรวมของผลคูณระหว่างค่าน้ำหนักกับข้อมูลนำเข้ารวมกับค่า

เบี่ยงเบน

Rumelhart *et al.* (1986) ได้เสนอให้ใช้กลุ่มของฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นที่เรียกว่า “กึ่งเชิงเส้น” (Semi Linear) ซึ่งทำให้ผลลัพธ์มีค่าไม่ลดลงและสามารถหาอนุพันธ์ไปยังผลรวมได้ดังสมการที่ (27)

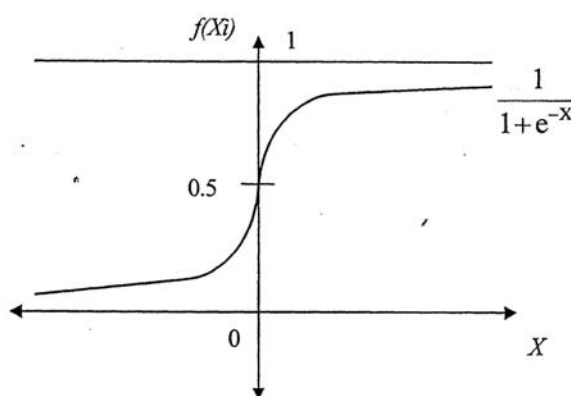
$$o_{j,m} = f(N_{j,m}) \quad (27)$$

จากข้อกำหนด $N_{j,m} =$ ผลรวมของผลคูณระหว่างค่านำหนักกับข้อมูลนำเข้ารวมกับค่าเบี่ยงเบน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (28)

$$N_{j,m} = \sum_{i=1}^{n_{m-1}} w_{ji,m} o_{i,m-1} + \theta_{j,m} \quad (28)$$

ฟังก์ชันแปลง Logistic Sigmoidal Transfer Function ที่ใช้แสดงดังภาพที่ 14 มีรูปแบบดังสมการที่ (29)

$$o_{j,m} = f(N_{j,m}) = \frac{1}{1 + e^{-N_{j,m}}} \quad (29)$$



ภาพที่ 14 รูปแบบของ Logistic Sigmoidal Function

ที่มา: Tsoukalas and Uhrig (1997)

จากคุณสมบัติของ Logistic Sigmoidal Transform Function ที่เป็น Semi-Linear Function เป็นฟังก์ชันที่มีขอบเขตแน่นอน โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง 0-1 ซึ่งสามารถหาค่าอนุพันธ์ได้ และค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันที่ได้จะอยู่ในรูปของผลลัพธ์เพียงอย่างเดียวดังแสดงในสมการที่ (30)

$$\begin{aligned}
f(N_{j,m}) &= \frac{1}{(1+e^{-N_{j,m}})} \\
\frac{\partial f(N_{j,m})}{\partial(N_{j,m})} &= \frac{\partial(1+e^{-N_{j,m}})^{-1}}{\partial(N_{j,m})} \\
\frac{\partial f(N_{j,m})}{\partial(N_{j,m})} &= -1(1+e^{-N_{j,m}})^{-2} \frac{\partial(1+e^{-N_{j,m}})}{\partial(N_{j,m})} \\
\frac{\partial f(N_{j,m})}{\partial(N_{j,m})} &= -1(1+e^{-N_{j,m}})^{-2} e^{-N_{j,m}} \frac{\partial(-N_{j,m})}{\partial(N_{j,m})} \\
\frac{\partial f(N_{j,m})}{\partial(N_{j,m})} &= \left[\frac{1}{(1+e^{-N_{j,m}})} \right] \left[\frac{e^{-N_{j,m}}}{(1+e^{-N_{j,m}})} \right] \\
\frac{\partial f(N_{j,m})}{\partial(N_{j,m})} &= f(N_{j,m}) \left[\frac{e^{-N_{j,m}} + 1 - 1}{(1+e^{-N_{j,m}})} \right] \\
\frac{\partial f(N_{j,m})}{\partial(N_{j,m})} &= f(N_{j,m}) \left[1 - \frac{1}{(1+e^{-N_{j,m}})} \right] \\
\frac{\partial f(N_{j,m})}{\partial(N_{j,m})} &= f(N_{j,m}) [1 - f(N_{j,m})] \\
\frac{\partial f(N_{j,m})}{\partial(N_{j,m})} &= o_{j,m} (1 - o_{j,m}) \tag{30}
\end{aligned}$$

ชุดของข้อมูลที่คำนวณในขั้นสุดท้ายเมื่อนำไปลบออกจากข้อมูลที่ได้จากการวัดจริง จะได้ผลลัพธ์ของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการคำนวณซึ่งอยู่ในรูปของผลรวมของผลต่างกำลังสอง (the Mean Squared Difference between the Output and the Target; E_p) ซึ่งจะแสดงดังสมการที่ (31)

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{nl} (T_j - o_{j,l})^2 \tag{31}$$

โดยที่ผลรวมของความผิดพลาดทั้งหมดแสดงดังสมการที่ (32)

$$E = \sum_p E_p \tag{32}$$

โดยทฤษฎีการเรียนรู้แบบ Back Propagation ที่นำมาหาค่าความผิดพลาดต่ำสุด (Minimize Error) เพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าน้ำหนัก และค่าเบี่ยงเบนระหว่างการเชื่อมโยงในรูปแบบสมการอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง แสดงดังสมการที่ (33)

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji,m}} = \frac{\partial E_p}{\partial N_{j,m}} \frac{\partial N_{j,m}}{\partial w_{ji,m}} \quad (33)$$

กำหนดให้

$$\delta_{j,m} = \frac{\partial E_p}{\partial N_{j,m}} \quad (34)$$

คำนวณค่าสมการอนุพันธ์จากสมการที่ (28) เทียบกับ $w_{ij,m}$ จะได้

$$\frac{\partial N_{j,m}}{\partial w_{ij,m}} = o_{i,m-1} \quad (35)$$

จากสมการที่ (33), (34) และ (35) จะได้

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji,m}} = \delta_{j,m} o_{i,m-1} \quad (36)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial \theta_{j,m}} = \frac{\partial E_p}{\partial N_{j,m}} \frac{\partial N_{j,m}}{\partial \theta_{j,m}} \quad (37)$$

จากนั้นทำการคำนวณหาค่าอนุพันธ์ของสมการที่ (28) เทียบกับ $\theta_{j,m}$ ซึ่งแสดงในสมการที่ (38)

$$\frac{\partial N_{j,m}}{\partial \theta_{j,m}} = 1 \quad (38)$$

จากสมการที่ (35), (37) และ (38) จะได้

$$\frac{\partial E_p}{\partial \theta_{j,m}} = \delta_{j,m} \quad (39)$$

จากสมการที่ (34) โดยใช้กฎของ Chain Rule จะได้

$$\delta_{j,m} = \frac{\partial o_{j,m}}{\partial N_{j,m}} \frac{\partial E_p}{\partial o_{j,m}} \quad (40)$$

ค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันผลรวมของผลคูณระหว่างตัวแปรนำเข้ากับค่าน้ำหนักของหน่วยน้ำหนัก แต่ละหน่วยในชั้นแสดงผล หาได้จากสมการที่ (30)

$$\frac{\partial o_{j,m}}{\partial (N_{j,m})} = \frac{\partial f(N_{j,m})}{\partial (N_{j,m})} = f'(N_{j,m}) = o_{j,m} (1 - o_{j,m}) \quad (41)$$

จากนั้นคำนวณค่าสมการอนุพันธ์ของสมการที่ (31) เทียบกับ $o_{j,m}$ จะได้ดังนี้

$$\frac{\partial E_p}{\partial o_{j,m}} = -(T_j - o_{j,m}) \quad (42)$$

จากสมการที่ (40), (41) และ (42) จะได้

$$\delta_{j,m} = -o_{j,m} (1 - o_{j,m}) (T_j - o_{j,m}) \quad (43)$$

ค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันผลรวมของผลคูณระหว่างตัวแปรนำเข้ากับค่าน้ำหนักของหน่วยน้ำหนักแต่ละหน่วยในชั้นแฝง หาได้จากสมการที่ (41)

จากสมการที่ (34) โดยใช้กฎของ Chain Rule จะได้

$$\frac{\partial E_p}{\partial o_{j,m}} = \frac{\partial E_p}{\partial (N_{k,m+1})} \frac{\partial (N_{k,m+1})}{\partial o_{j,m}} \quad (44)$$

จากสมการที่ (28) เมื่อเปลี่ยนหน่วยและชั้นเป็น k และ $m+1$ ตามลำดับจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นดังสมการที่ (45)

$$N_{k,m+1} = \sum_{k=1}^{n_{m+1}} w_{kj,m+1} o_{j,m} + \theta_{k,m+1} \quad (45)$$

หาค่าสมการอนุพันธ์ของสมการที่ (45) เทียบกับ $o_{j,m}$ จะได้ผลลัพธ์เป็น

$$\frac{\partial(N_{k,m+1})}{\partial o_{j,m}} = \sum_{k=1}^{n_{m+1}} w_{kj,m+1} \quad (46)$$

จากสมการที่ (34) เมื่อเปลี่ยนหน่วยและชั้นเป็น k และ $m+1$ ตามลำดับ จะได้ผลลัพธ์เป็น

$$\delta_{k,m+1} = \frac{\partial E_p}{\partial(N_{k,m+1})} \quad (47)$$

จากสมการที่ (44), (46) และ (47) ได้ผลดังนี้

$$\frac{\partial E_p}{\partial o_{j,m}} = \sum_{k=1}^{n_{m+1}} \delta_{k,m+1} w_{kj,m+1} \quad (48)$$

จากสมการที่ (40), (44) และ (48) ได้ผลดังนี้

$$\delta_{j,m} = o_{j,m} (1 - o_{j,m}) \left[\sum_{k=1}^{n_{m+1}} \delta_{k,m+1} w_{kj,m+1} \right] \quad (49)$$

กำหนดให้ค่า η เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

ค่าน้ำหนักที่ต้องการปรับแก้สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณในรอบถัดไปคือรอบที่ $(m+1)$ หาได้ดังนี้

$$\Delta w_{ji,m}(n+1) = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} \quad (50)$$

เมื่อแทนค่า $\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji,m}}$ จากสมการที่ (36) จะได้ผลลัพธ์เป็น

$$\Delta w_{ji,m}(n+1) = -\eta \delta_{j,m} o_{i,m-1} \quad (51)$$

เมื่อแทนค่า $\delta_{j,m}$ จากสมการที่ (43) จะได้ค่านำหนักที่ต้องการปรับแก้สำหรับนำไปใช้คำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ n+1) ในชั้นแสดงผลดังนี้

$$\Delta w_{ji,m}(n+1) = \eta [o_{j,m}(1-o_{j,m})(T_j - o_{j,m})] o_{i,m-1} \quad (52)$$

เมื่อแทนค่า $\delta_{j,m}$ จากสมการที่ (49) จะได้ค่านำหนักที่ต้องการปรับแก้สำหรับนำไปใช้คำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ n+1) ในชั้นแฝงดังนี้

$$\Delta w_{ji,m}(n+1) = -\eta \left[o_{j,m}(1-o_{j,m}) \left[\sum_{k=1}^{n_{m+1}} \delta_{k,m+1} w_{kj,m+1} \right] \right] o_{i,m-1} \quad (53)$$

ค่าเบี่ยงเบนที่ต้องปรับแก้ สำหรับนำไปใช้คำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ n+1) หาได้ดังนี้

$$\Delta \theta_{j,m}(n+1) = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial \theta_{j,m}} \quad (54)$$

เมื่อแทนค่า $\frac{\partial E_p}{\partial \theta_{j,m}}$ จากสมการที่ (39) จะได้ผลลัพธ์เป็น

$$\Delta \theta_{j,m}(n+1) = -\eta \delta_{j,m} \quad (55)$$

เมื่อแทนค่า $\delta_{j,m}$ จากสมการที่ (43) จะได้ค่าเบี่ยงเบนที่ต้องการปรับแก้สำหรับนำไปใช้คำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ $n+1$) ในชั้นแสดงผลดังนี้

$$\Delta\theta_{j,m}(n+1) = \eta[o_{j,m}(1-o_{j,m})(T_j - o_{j,m})] \quad (56)$$

เมื่อแทนค่า $\delta_{j,m}$ จากสมการที่ (49) จะได้ค่าเบี่ยงเบนที่ต้องการปรับแก้สำหรับนำไปใช้คำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ $n+1$) ในชั้นแฝงดังนี้

$$\Delta\theta_{j,m}(n+1) = -\eta \left[o_{j,m}(1-o_{j,m}) \left[\sum_{k=1}^{n_{m+1}} \delta_{k,m+1} w_{kj,m+1} \right] \right] \quad (57)$$

โดยที่ค่า η คือค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ซึ่งเป็นค่าคงที่ในช่วง 0 ถึง 1 ค่าอัตราการเรียนรู้มีผลต่อความเร็วในการเรียนรู้ เพื่อหาค่าชุดของค่าน้ำหนัก และค่าเบี่ยงเบนที่เหมาะสม จากหลักการเรียนรู้โดยการปรับแก้ค่าน้ำหนักระหว่างการเชื่อมโยงของหน่วยในระบบโครงข่ายประสาทเทียม โดยการปรับแก้ใช้ค่าสมการอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง ของค่าความผิดพลาดทั้งหมดเทียบกับค่าน้ำหนัก โดยที่ยังมีความบกพร่องในการหาค่าชุดน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณเพื่อเข้าสู่ค่าของน้ำหนัก และค่าเบี่ยงเบนที่เหมาะสม ต้องใช้เวลาในการคำนวณที่ใช้เวลานาน และอาจจะได้ค่าชุดน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนที่ไม่ใช้ชุดที่ทำให้ ค่าอนุพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดเทียบกับค่าน้ำหนักแต่ละค่า และค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละค่า มีค่าต่ำสุดที่ไม่แท้จริงเรียกว่า Local Minima of the Error Surface แต่เราต้องการค่าต่ำสุดที่แท้จริง Global Minima ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว และเป็นการปรับปรุงคุณภาพของระบบโครงข่ายประสาทเทียมให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น จึงได้นำทอมของ Momentum Term เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนที่ใช้ในการคำนวณใหม่ในรอบต่อไป โดยการบวกเพิ่มตัวโมเมนตัมทอม ค่าโมเมนตัมทอมที่นำมาใช้จะช่วยให้กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายระบบประสาทเทียมลดการสั่น (Oscillation) และยังเป็นการลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อเข้าสู่ค่าชุดของน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนที่เหมาะสม นอกจากนั้นยังทำให้การเรียนรู้ไม่ตกอยู่ในสถานะภาพของจุดต่ำสุดของค่าความผิดพลาดที่ไม่แท้จริง หรือไม่ทำให้การเรียนรู้ข้ามจุดต่ำสุดที่แท้จริงของค่าความผิดพลาด ไปสู่จุดต่ำสุดของค่าความผิดพลาดที่ไม่แท้จริง

ค่า α เป็นค่าโมเมนตัมแฟกเตอร์ (Momentum Factor) ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 0.9 โดยนำมาคูณกับผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของการคำนวณในรอบก่อนหน้า เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาทิศทางในการปรับแก้ค่าน้ำหนัก และค่าเบี่ยงเบนในรอบปัจจุบัน

ค่าน้ำหนักที่ต้องปรับแก้สำหรับนำไปใช้คำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ $n+1$) เมื่อนำเอาผลของค่าโมเมนตัม มาพิจารณาร่วมด้วยจะมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$\Delta w_{ji,m}(n+1) = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} + \alpha \Delta w_{ji,m}(n) \quad (58)$$

จากสมการที่ (36) เมื่อแทนค่า $\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji,m}}$ จะได้ผลลัพธ์เป็น

$$\Delta w_{ji,m}(n+1) = -\eta \delta_{j,m} o_{i,m-1} + \alpha \Delta w_{ji,m}(n) \quad (59)$$

จากสมการที่ (43) เมื่อแทนค่า $\delta_{j,m}$ จะได้ค่าน้ำหนักที่ต้องการปรับแก้สำหรับนำไปใช้คำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ $n+1$) ในชั้นแสดงผลดังนี้

$$\Delta w_{ji,m}(n+1) = \eta [o_{j,m}(1-o_{j,m})(T_j - o_{j,m})] o_{i,m-1} + \alpha \Delta w_{ji,m}(n) \quad (60)$$

จากสมการที่ (49) เมื่อแทนค่า $\delta_{j,m}$ จะได้ค่าน้ำหนักที่ต้องการปรับแก้สำหรับนำไปใช้คำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ $n+1$) ในชั้นแฝงดังนี้

$$\Delta w_{ji,m}(n+1) = -\eta \left[o_{j,m}(1-o_{j,m}) \left[\sum_{k=1}^{n_{m+1}} \delta_{k,m+1} w_{kj,m+1} \right] \right] o_{i,m-1} + \alpha \Delta w_{ji,m}(n) \quad (61)$$

ค่าเบี่ยงเบนที่ต้องปรับแก้ สำหรับนำไปใช้คำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ $n+1$) เมื่อนำผลของโมเมนตัมมาพิจารณาด้วยจะได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\Delta\theta_{j,m}(n+1) = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial \theta_{j,m}} + \alpha \Delta\theta_{j,m}(n) \quad (62)$$

จากสมการที่ (39) เมื่อแทนค่า $\frac{\partial E_p}{\partial \theta_{j,m}}$ จะได้ผลลัพธ์เป็น

$$\Delta\theta_{j,m}(n+1) = -\eta \delta_{j,m} + \alpha \Delta\theta_{j,m}(n) \quad (63)$$

จากสมการที่ (43) เมื่อแทนค่า $\delta_{j,m}$ จะได้ค่าเบี่ยงเบนที่ต้องการปรับแก้สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ n+1) ในชั้นแสดงผลดังนี้

$$\Delta\theta_{j,m}(n+1) = \eta [o_{j,m}(1-o_{j,m})(T_j - o_{j,m})] + \alpha \Delta\theta_{j,m}(n) \quad (64)$$

จากสมการที่ (49) เมื่อแทนค่า $\delta_{j,m}$ จะได้ค่าเบี่ยงเบนที่ต้องการปรับแก้สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณในรอบถัดไป (รอบที่ n+1) ในชั้นแฝงดังนี้

$$\Delta\theta_{j,m}(n+1) = -\eta \left[o_{j,m}(1-o_{j,m}) \left[\sum_{k=1}^{n_{m+1}} \delta_{k,m+1} w_{kj,m+1} \right] \right] + \alpha \Delta\theta_{j,m}(n) \quad (65)$$

ค่าน้ำหนักที่ใช้คำนวณในรอบต่อไปของระบบโครงข่ายประสาทเทียมจะได้จากค่าน้ำหนักในรอบก่อนหน้ารวมกับค่าน้ำหนักที่ต้องการปรับแก้ดังนี้

$$w_{ji,m}(n+1) = w_{ji,m}(n) + \Delta w_{ji,m}(n+1) \quad (66)$$

เมื่อค่า $\Delta w_{ji,m}(n+1)$ เป็นไปตามสมการที่ (52) หรือ (60) และ (53) หรือ (61) สำหรับชั้นแสดงผลและชั้นแฝงตามลำดับ โดยสมการที่ (60) และ (61) เป็นกรณีที่มีการรวมโมเมนตัมเทอมในสมการปรับแก้ค่าน้ำหนัก

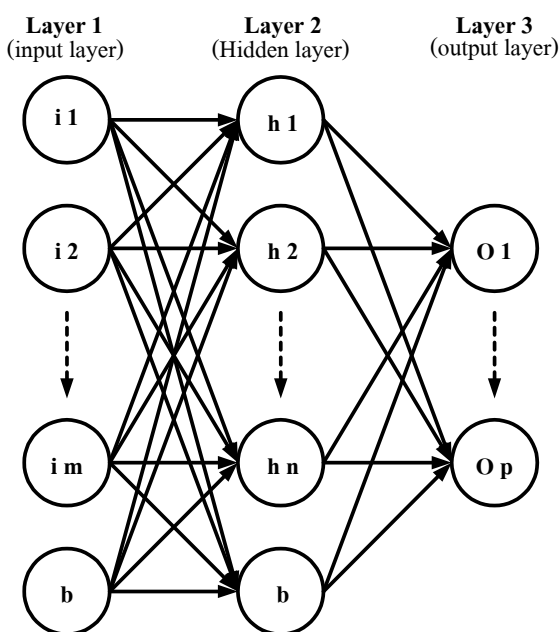
ค่าเบี่ยงเบนที่ใช้คำนวณในรอบต่อไปจะได้ค่าเบี่ยงเบนในรอบก่อนหน้ารวมกับค่าเบี่ยงเบนที่ต้องปรับแก้ดังนี้

$$\theta_{j,m}(n+1) = \theta_{j,m}(n) + \Delta\theta_{j,m}(n+1) \quad (67)$$

เมื่อค่า $\Delta\theta_{j,m}(n+1)$ มีค่าเป็นไปตามสมการที่ (56) หรือ (64) และ (57) หรือ (65) สำหรับชั้นแสดงผลและชั้นแฝงตามลำดับโดยสมการที่ (64) และ (65) เป็นกรณีที่มีการรวมโมเมนต์มทอมในสมการปรับแก้ค่าเบี่ยงเบน

3.3 กระบวนการทำงานและขั้นตอนการวิเคราะห์ของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back Propagation

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Multi Layer Feed Forward Network ที่ Rumelhart *et al.* (1986) ได้เสนอไว้ดังแสดงตามภาพที่ 15



ภาพที่ 15 โครงสร้างของแบบจำลอง BPNN

ที่มา: Rumelhart *et al.* (1986)

จากภาพที่ 15 แสดงถึงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างด้วยกันสามชั้นคือ ชั้นรับข้อมูล (Input Layer, Layer 1) ชั้นแฝง (Hidden Layer, Layer 2) และชั้นแสดงผล (Output Layer, Layer 3) โดยส่วนประกอบของชั้นรับข้อมูลจะประกอบด้วย i_1, i_2, \dots, i_m

แสดงให้เห็นว่าชั้นรับข้อมูลประกอบด้วยหน่วย (Node) ทั้งหมด m หน่วยซึ่งในที่นี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางอุทกวิทยาที่ใช้กันทั่วไปในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำท่วม เช่น ข้อมูลฝน และข้อมูลของปริมาณน้ำทำในอดีต เป็นต้น ในส่วนของชั้นแสดงผลจะเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการซึ่งในที่นี้จะเป็นการประเมินปริมาณน้ำท่วม สำหรับในชั้นแฝงโดยทั่วไปแล้วจะมีจำนวนหน่วยเท่ากับ จำนวนหน่วยในชั้นรับข้อมูลหรือมากกว่าก็ได้

ในการใช้งานนั้นจะมีการแยกชุดข้อมูลออกเป็นสองส่วนคือ ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโดย Back Propagation ซึ่งจะคล้ายคลึงกับแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ ที่มีการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วนเช่นกันคือ ส่วนที่ใช้ในการสอบเทียบ กับส่วนที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์ โดยแผนภูมิแสดงกระบวนการคำนวณด้วยวิธี Back Propagation แสดงในภาพที่ 16

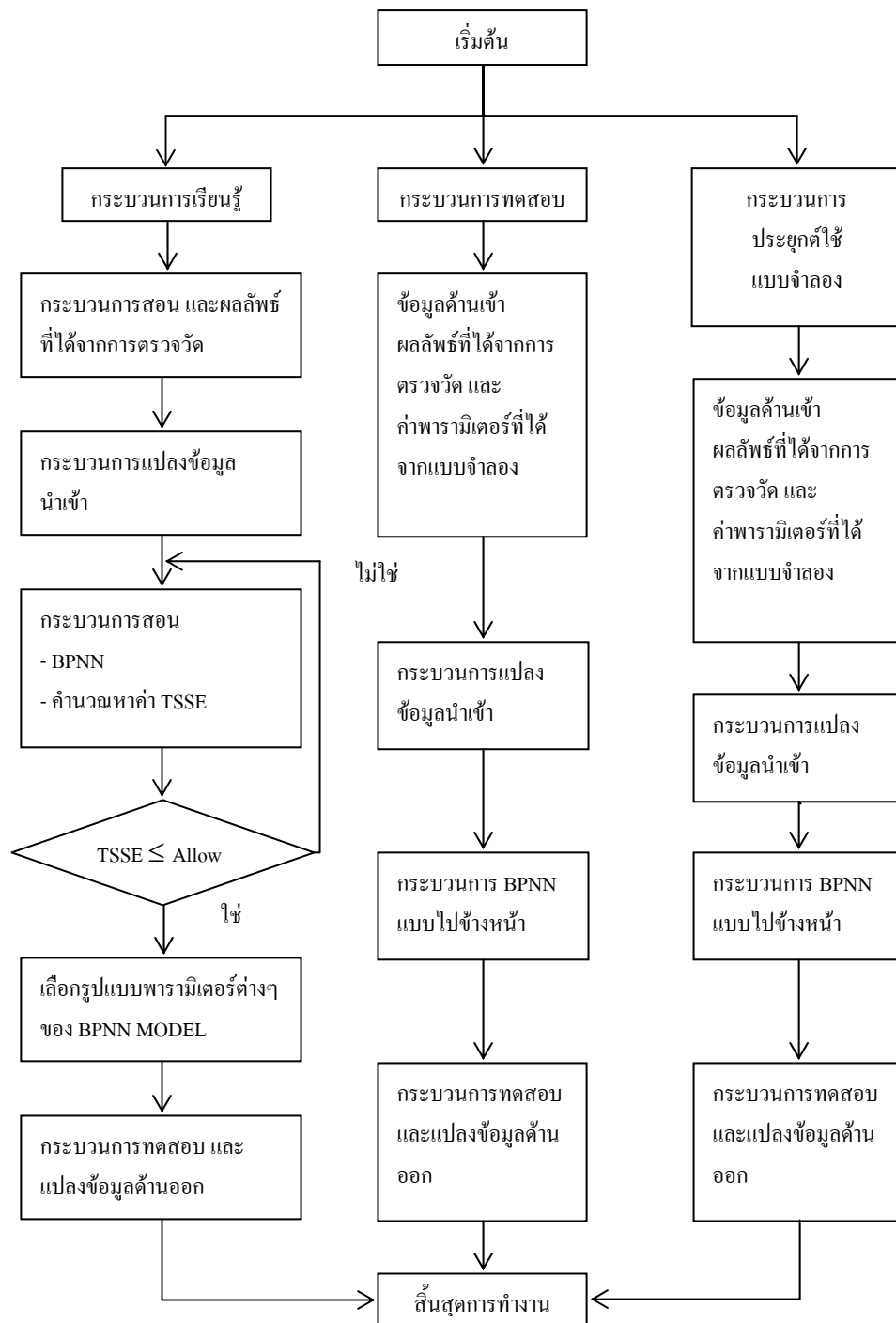
3.3.1 ขั้นตอนการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ก. กำหนดโครงสร้างของระบบโครงข่ายประสาทเทียม และการกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าเบี่ยงเบนให้กับโครงสร้างของระบบโครงข่ายประสาทเทียม รวมไปถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยค่า Learning rate (η), Momentum (α) และ Activation Function

ข. เริ่มกระบวนการเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบน ที่ทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดจริง โดยที่ขั้นตอนการทำงานของ Back Propagation จะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนขั้นตอนไปข้างหน้า (Forward Pass) และส่วนขั้นตอนย้อนหลัง (Backward Pass) ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนและรายละเอียดดังต่อไปนี้ และแสดงขั้นตอนเป็นแผนภูมิการทำงานในภาพที่ 17

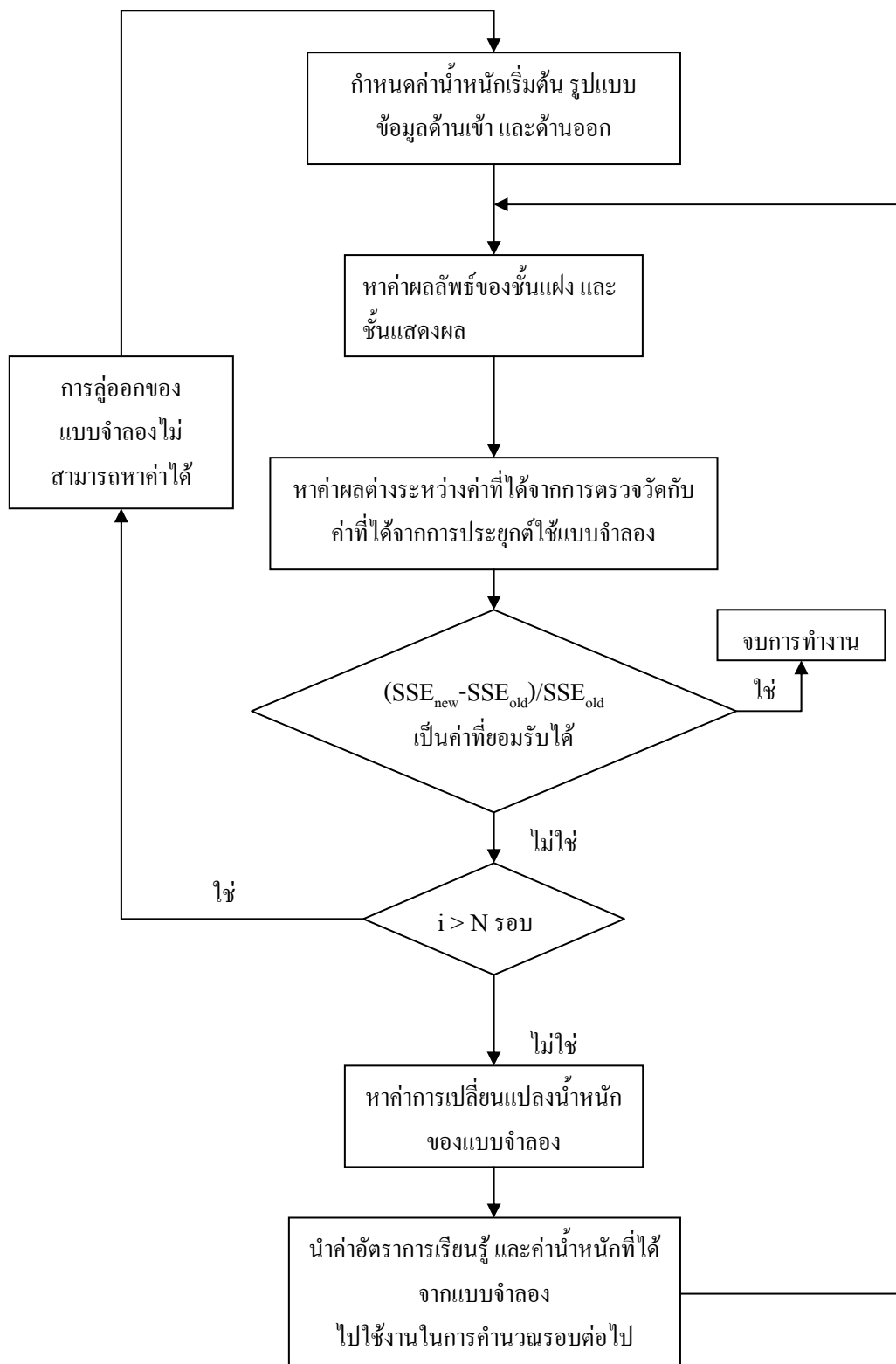
ขั้นตอนไปข้างหน้า (Forward Pass) ประกอบด้วย

1) กำหนดค่าของข้อมูลด้านเข้า (I_1, I_2, \dots, I_{n_0}) และกำหนดค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ (t_1, t_2, \dots, t_{n_1})



ภาพที่ 16 แผนภูมิแสดงกระบวนการคำนวณใน Back Propagation

ที่มา: Manusthiparom (2000)



ภาพที่ 17 แผนภูมิแสดงขั้นตอนของวิธีการ Back Propagation

ที่มา: Manusthiparom (2000)

2) สำหรับในแต่ละชั้นที่ $m = 1, 2, \dots, L$ ทำการคำนวณค่าต่อไปนี้

$$N_{j,m} = \sum_{i=1}^{n_{m-1}} W_{ji,m} O_{i,m-1} + \theta_{j,m}$$

โดยที่กำหนดให้ $O_{i,0} = I_i$

คำนวณค่าข้อมูลด้านออกในหน่วยที่ j^{th} ในชั้น m ได้ดังนี้

$$O_{j,m} = \frac{1}{1 + e^{-N_{j,m}}} ; j = 1, 2, \dots, n_m$$

3) ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ($O_{1,1}, O_{2,1}, \dots, O_{n_1,1}$) กับผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดจริง ถ้าค่าความแตกต่างระหว่างสองผลลัพธ์อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้จะสิ้นสุด แต่ในทางกลับกันถ้าผลต่างระหว่างสองผลลัพธ์ยังมีค่ามากไม่สามารถที่จะยอมรับได้โครงข่ายประสาทเทียมจะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆใหม่ หรือไม่ก็เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนย้อนหลัง (Backward Pass) ประกอบด้วย

4) สำหรับชั้น (Layer) $m = L, L-1, L-2, \dots, 1$

สำหรับ $J = 1, 2, \dots, n_m$ คำนวณค่าดังนี้

$$\delta_{j,m} = O_{j,m} (1 - O_{j,m}) (t_j - O_{j,m}) \quad ; m \text{ คือชั้นแสดงผล}$$

$$\delta_{j,m} = O_{j,m} (1 - O_{j,m}) \sum_{k=1}^{n_{m+1}} W_{kj,m+1} \delta_{k,m+1} \quad ; m \text{ คือชั้นแฝง}$$

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักใหม่กระทำได้ดังนี้

$$\Delta W_{ji,m}(n+1) = \eta \delta_{j,m} O_{i,m-1} + \alpha \Delta W_{ji,m}(n)$$

การคำนวณค่าน้ำหนักใหม่กระทำดังนี้

$$W_{ji,m}(n+1) = W_{ji,m}(n) + \Delta W_{ji,m}(n+1)$$

(5) ย้อนกลับไปทำในขั้นตอนที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. แบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อย NAM (NAM Module) และแบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Module, MIKE 11 HD)
3. แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator)
4. แผนที่ภูมิประเทศบริเวณลุ่มน้ำปึงตอนบน มาตรฐาน 1:250,000
5. ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาในลุ่มน้ำปึงตอนบน ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ปริมาณน้ำท่ารายวันและรายชั่วโมง ปริมาณการระเหยรายวัน รวมทั้งข้อมูลด้านชลศาสตร์คือ รูปตัดขวางของแม่น้ำปึง และลำน้ำสาขาต่าง ๆ
6. เครื่องวัดพื้นที่ลุ่มน้ำและระยะทางของแม่น้ำ (Planimeter)

วิธีการ

1. การรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล

1.1 ศึกษาผลการวิจัยที่ผ่านมาของแบบจำลอง MIKE 11 ในส่วนของแบบจำลองย่อย NAM และแบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ รวมถึงแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยการประยุกต์แบบจำลอง SNNS ตลอดจนการศึกษากลุ่มมือของแบบจำลองดังกล่าว

1.2 รวบรวมแผนที่ภูมิประเทศของลุ่มน้ำปึงตอนบนจากกรมแผนที่ทหารมาตรฐาน 1:250,000 เพื่อใช้ศึกษาลักษณะภูมิประเทศ พื้นที่ลุ่มน้ำ ความยาวของลำน้ำ และพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยดังแสดงในภาพที่ 1

1.3 ข้อมูลอุตุนิยมิวิทยา อุทกวิทยา และชลศาสตร์

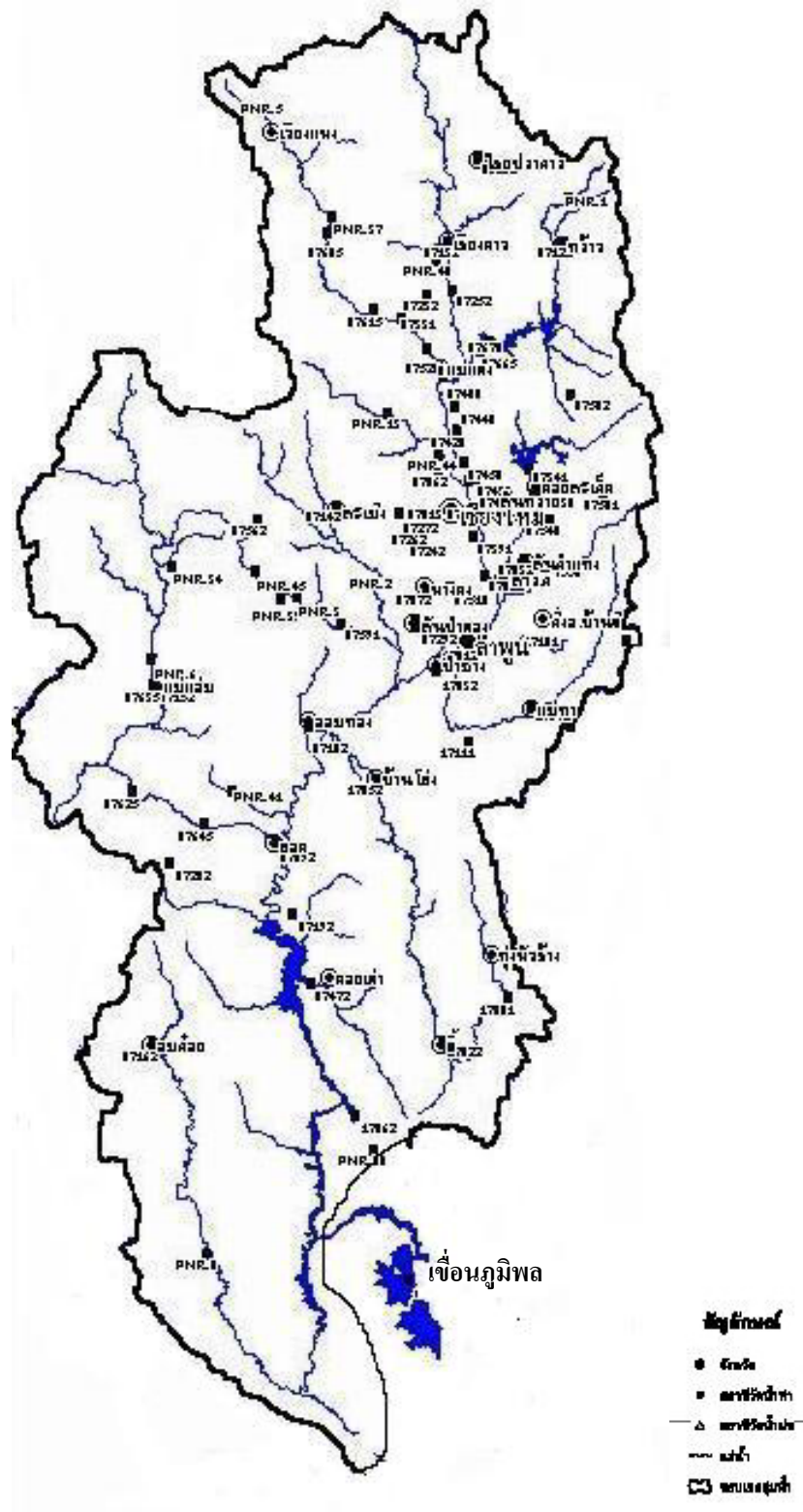
1.3.1 รวบรวมข้อมูลน้ำฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนในบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน จากกรมชลประทาน ดังแสดงที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนในภาพที่ 18 และแสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 6

1.3.2 รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันและรายชั่วโมงในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน จากกรมชลประทาน ดังแสดงที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าในภาพที่ 18 และแสดงรายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 7

1.3.3 รวบรวมข้อมูลปริมาณการระเหยรายวันซึ่งได้จากข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยรายวันที่สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมิวิทยา จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน คุณด้วยสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.7

1.3.4 รวบรวมข้อมูลรูปตัดตามขวางของแม่น้ำปิง และลำน้ำสาขาที่ทำการสำรวจไว้โดยกรมชลประทานซึ่งประกอบด้วย รูปตัดขวางของแม่น้ำปิงจากสถานีวัดน้ำท่า P.20 ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ จนถึงสถานีวัดน้ำท่า PE.2 ซึ่งตั้งอยู่เหนือเขื่อนภูมิพล จำนวน 172 รูปตัดขวาง รวมถึงรูปตัดขวางของสถานีวัดน้ำท่าในลำน้ำสาขาต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า P.4A , P.21, P.71, P.24A, P.14 และ P.69 ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำท่าของลำน้ำแม่แตง แม่ริม แม่ขาน แม่กลาง แม่แจ่ม และแม่กวง ตามลำดับ นอกจากนั้นแล้วในลำน้ำแม่กวงได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลรูปตัดขวางจากสถานีวัดน้ำท่า P.69 ถึงจุดบรรจบแม่น้ำปิงจำนวน 23 กม. โดยมีการเก็บข้อมูลรูปตัดขวางทุก ๆ ระยะทาง 1 กม.

1.4 รวบรวมข้อมูลการใช้ที่ดินเพื่อหาลักษณะของดิน และการใช้ที่ดินในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ซึ่งลักษณะการใช้ที่ดินแบ่งออกเป็น 5 ประเภทประกอบด้วย พื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ โดยลักษณะการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำย่อยลุ่มน้ำปิงตอนบนสามารถแสดงดังตารางที่ 8



ภาพที่ 18 ที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าและสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำปิงตอนบน
 ที่มา: กรมชลประทาน (2540)

ตารางที่ 6 รายชื่อสถานีวิคน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี		ตำแหน่งที่ตั้ง		ช่วงปีสถิติ ข้อมูล พ.ศ.
		อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด	
1	07013	เมือง	เชียงใหม่	18-50-23	98-58-32	2457-2544
2	07062	แม่ริม	เชียงใหม่	18-54-46	99-56-52	2464-2544
3	07112	แม่แตง	เชียงใหม่	19-07-08	98-56-52	2464-2544
4	07132	เชียงดาว	เชียงใหม่	19-21-53	98-58-00	2464-2544
5	07142	สะเมิง	เชียงใหม่	18-50-52	98-44-09	2464-2544
6	07152	แม่แจ่ม	เชียงใหม่	18-29-54	98-21-54	2474-2544
7	07182	จอมทอง	เชียงใหม่	18-24-57	98-40-47	2465-2544
8	07242	คอยสุเทพ	เชียงใหม่	18-48-10	98-55-30	2540-2544
9	07252	เชียงดาว	เชียงใหม่	19-16-07	98-58-32	2507-2544
10	07292	สันป่าตอง	เชียงใหม่	18-36-40	98-54-02	2505-2544
11	07302	สันทราย	เชียงใหม่	-	-	2516-2544
12	17022	ลี่	ลำพูน	17-48-01	98-57-17	2464-2544
13	17042	แม่ทา	ลำพูน	18-27-35	99-08-14	2466-2544
14	17052	บ้านโฮ่ง	ลำพูน	18-18-52	98-49-21	2465-2544
15	17080	บ้านคอยน้ำ	ลำพูน	-	-	2522-2544

ที่มา : กรมชลประทาน (2546)

ตารางที่ 7 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่ารายชั่วโมงที่ตั้งในกลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ ที่	รหัส สถานี	รายชื่อสถานี	ตำแหน่งที่ตั้ง				พื้นที่ รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปีสถิติ ข้อมูล
			อำเภอ	จังหวัด	Latitude	Longitude		
1	P.1	สะพานนวรรัตน์	เมือง	เชียงใหม่	18-47-09	99-00-29	6,356	2538-2544
2	P.4A	สะพานแม่แดง	แม่แดง	เชียงใหม่	19-07-15	98-56-51	1,902	2536-2544
3	P.14	แก่งออบพลวง	ฮอด	เชียงใหม่	18-13-49	98-33-35	3,853	2538-2543
4	P.20	อ.เชียงดาว	เชียงดาว	เชียงใหม่	19-21-09	98-58-25	1,355	2538-2544
5	P.21	สะพานแม่ริม	แม่ริม	เชียงใหม่	18-55-29	98-56-34	515	2521-2544
6	P.24A	สะพานประชาอุทิศ	จอมทอง	เชียงใหม่	18-25-01	98-40-29	460	2535-2544
7	P.67	บ้านแม่แต	สันทราย	เชียงใหม่	19-01-11	98-57-42	5,289	2539-2544
8	P.69	บ้านฮ่องกอก	เมือง	ลำพูน	18-39-06	99-04-07	1,602	2538-2544
9	P.71	แม่ขาน	สันป่าดอง	เชียงใหม่	18-32-14	98-51-47	1,771	2539-2544
10	P.73	อ.จอมทอง	จอมทอง	เชียงใหม่	18-17-18	98-39-11	13,353	2541-2544
11	P.75	บ้านช่อแล	แม่แดง	เชียงใหม่	19-08-52	99-00-36	3,090	2542-2544
12	PE.2 [*]	บ้านกองหิน	ฮอด	เชียงใหม่	18-10-30	98-36-00	18,932	2513-2544

หมายเหตุ สถานีวัดน้ำท่า PE.2 เป็นข้อมูลน้ำท่าแบบรายวัน
ที่มา: กรมชลประทาน (2540)

ตารางที่ 8 ลักษณะการใช้ที่ดินในปัจจุบันของกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับ ที่	กลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่อยู่อาศัย		พื้นที่เกษตรกรรม		พื้นที่ป่าไม้		พื้นที่แหล่งน้ำ		พื้นที่อื่นๆ		รวมทั้งหมด	
		ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ
1	แม่ปิงส่วนที่ 1	12,761	1.12	169,197	14.85	953,543	83.69	456	0.04	3,418	0.30	1,139,375	100.00
2	แม่แตง	18,578	1.46	220,652	17.34	1,031,870	81.09	1,018	0.08	382	0.03	1,272,500	100.00
3	แม่จัด	43,968	4.92	129,602	14.50	708,561	79.28	7,776	0.87	3,843	0.43	893,750	100.00
4	แม่ริม	32,714	7.19	57,421	12.62	363,909	79.98	592	0.13	364	0.08	455,000	100.00
5	แม่ปิงส่วนที่ 2	140,932	22.00	314,681	49.12	177,453	27.70	3,587	0.56	3,972	0.62	640,625	100.00
6	แม่กวาง	82,738	7.97	357,530	34.44	567,128	54.63	14,742	1.42	15,987	1.54	1,038,125	100.00
7	แม่แจ่ม	14,731	0.57	190,985	7.39	2,361,602	91.38	1,550	0.06	15,507	0.60	2,584,375	100.00
8	แม่ขาน	36,048	3.07	146,450	12.47	956,998	81.49	1,292	0.11	33,587	2.86	1,174,375	100.00
9	แม่กลาง	7,611	1.77	71,982	16.74	338,711	78.77	946	0.22	10,750	2.50	430,000	100.00
10	แม่ปิงส่วนที่ 3	4,702	0.76	22,214	3.59	557,617	90.12	33,227	5.37	990	0.16	618,750	100.00
11	แม่หาด	16,371	1.53	149,265	13.95	835,242	78.06	34,347	3.21	34,775	3.25	1,070,000	100.00
12	แม่ลี	46,248	3.28	287,358	20.38	995,460	70.60	4,089	0.29	76,845	5.45	1,410,000	100.00
13	แม่อาว	12,577	7.83	69,743	43.42	60,331	37.56	1,044	0.65	16,930	10.54	160,625	100.00
14	แม่ทา	11,984	2.14	83,832	14.97	445,816	79.61	336	0.06	18,032	3.22	560,000	100.00
15	แม่ตื่น	2,781	0.24	91,078	7.86	1,064,659	91.88	116	0.01	116	0.01	1,158,750	100.00
กลุ่มน้ำปิงตอนบน		484,744	3.32	2,361,990	16.17	11,418,900	78.18	105,118	0.72	235,498	1.61	14,606,250	100.00

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

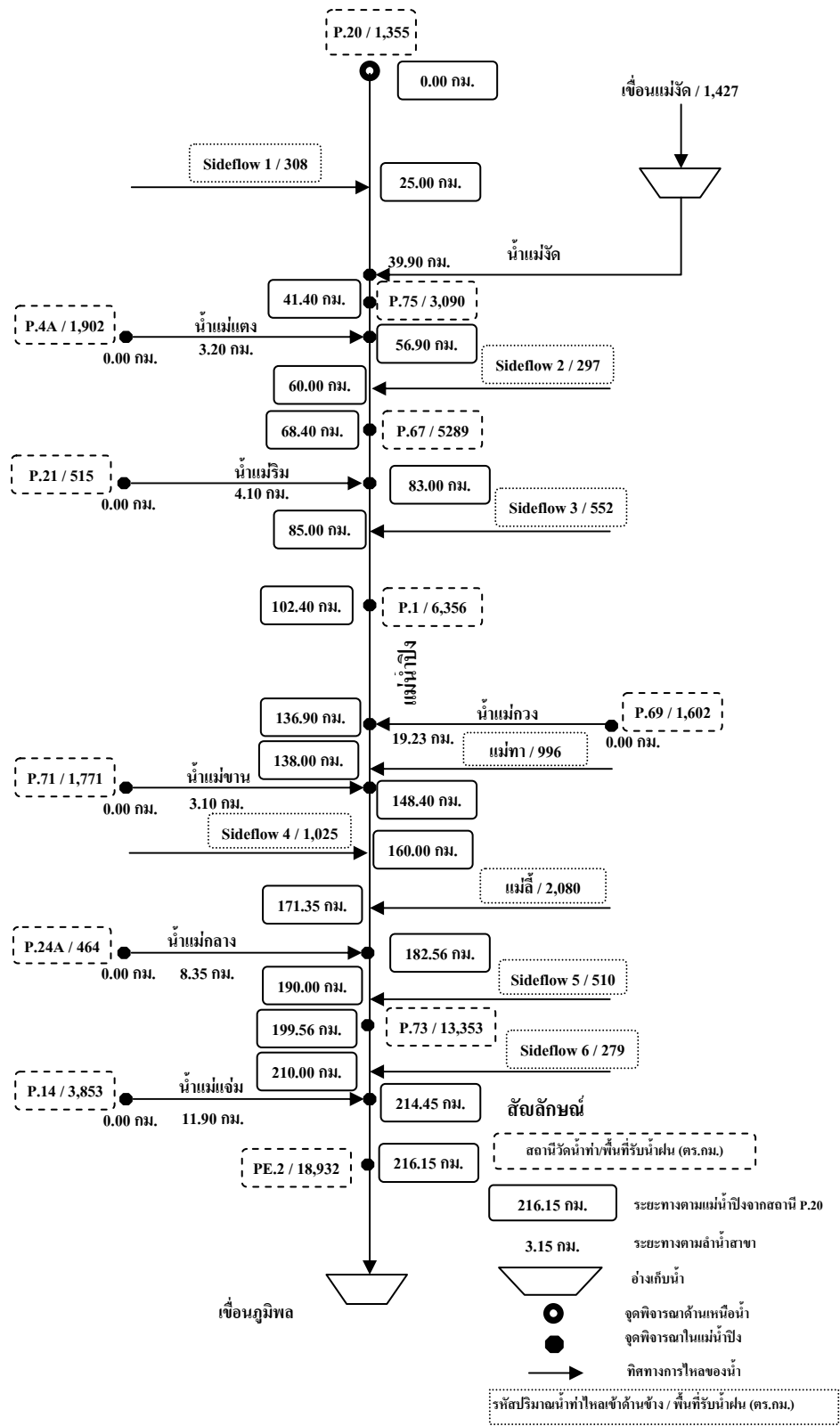
2. ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการศึกษาแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของแบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองย่อย NAM และแบบจำลองย่อยอุทกพลศาสตร์ (MIKE 11 HD) และส่วนของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

โดยขั้นตอนแรกในการประยุกต์ใช้แบบจำลองต่าง ๆ นั้นเริ่มด้วยการเลือกเหตุการณ์กราฟน้ำหลาก 4 เหตุการณ์ โดยแบ่งเหตุการณ์กราฟน้ำหลากออกเป็นสองชุดคือ ชุดข้อมูลในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็กที่มีการไหลเฉพาะในลำน้ำ และชุดข้อมูลที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ที่มีการไหลในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วม แผนภูมิแสดงการไหลของน้ำในแม่น้ำปิงตอนบนและลำน้ำสาขาแสดงดังภาพที่ 19 ซึ่งในการศึกษารั้งนี้ได้ทำการเลือกกราฟน้ำหลากในช่วงปี พ.ศ. 2542 และ พ.ศ. 2543 ซึ่งเป็นปีที่มีกราฟน้ำหลากขนาดเล็ก ยกเว้นที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 ซึ่งได้ทำการเลือกกราฟน้ำหลากในช่วงปี พ.ศ. 2541 และ พ.ศ. 2543 มาใช้ในการศึกษาเนื่องจากในปี พ.ศ. 2542 ไม่มีการตรวจวัดข้อมูลที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 และสำหรับกราฟน้ำหลากขนาดใหญ่เลือกกราฟน้ำหลากในปี พ.ศ. 2538 และปี พ.ศ. 2544 มาใช้ในการศึกษา โดยข้อมูลในปีที่กราฟน้ำหลากขนาดเล็ก และปีที่กราฟน้ำหลากขนาดใหญ่ ได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองชุดข้อมูล สำหรับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งข้อมูลออกเป็น ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training) และข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing) ซึ่งเปรียบเทียบได้กับกระบวนการสอบเทียบ (Calibration) และกระบวนการตรวจพิสูจน์ (Verification) ของแบบจำลอง MIKE 11 HD ซึ่งช่วงเวลาในการสอบเทียบ (การเรียนรู้) และการตรวจพิสูจน์ (การทดสอบ) แบบจำลองในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าสำหรับกราฟน้ำหลากขนาดเล็กและขนาดใหญ่สามารถดังตารางที่ 9 สำหรับรายละเอียดของขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองแต่ละแบบจำลองสรุปได้ดังนี้

2.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองย่อย NAM

ในการศึกษารั้งนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM เพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างของแม่น้ำปิง เนื่องจากพื้นที่รับน้ำบางส่วนไม่มีสถานีวัดน้ำท่า โดยแสดงขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ได้ดังนี้



ภาพที่ 19 แผนภูมิแสดงการไหลของน้ำในแม่ น้ำปิ้งตอนบน และลำน้ำสาขา

ตารางที่ 9 ช่วงเวลาสำหรับการสอบเทียบ (เรียนรู้) และตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง NAM, MIKE 11 HD และ SNNS ของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่เลือกใช้ในการศึกษา

ลำดับที่	รหัสสถานีวัดน้ำท่า	ช่วงเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบหรือการเรียนรู้	ช่วงเวลาที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์ หรือการทดสอบ
กราฟน้ำหลากขนาดเล็ก			
1	P.75, P.1, P.73	6 ส.ค. 2543 ถึง	2 ส.ค. 2542 ถึง
	และ PE.2	3 ก.ย. 2543	18 ต.ค. 2542
2	P.67	6 ส.ค. 2543 ถึง	2 ส.ค. 2541 ถึง
		3 ก.ย. 2543	30 ก.ย. 2541
กราฟน้ำหลากขนาดใหญ่			
1	P.1 และ PE.2	15 ก.ค. 2538 ถึง	2 ส.ค. 2544 ถึง
		30 ก.ย. 2538	31 ต.ค. 2544

2.1.1 ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง

การประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างในลำน้ำสายหลัก ตามระยะทางต่าง ๆ ในลำน้ำดังแสดงในภาพที่ 20 ซึ่งในการสอบเทียบแบบจำลอง NAM ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองประกอบด้วย

ก. พารามิเตอร์ของแบบจำลองและเงื่อนไขเริ่มต้น โดยพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ประกอบด้วย ค่าความจุเก็บกัก (Storage Capacities) สัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow Runoff Coefficient) ค่าคงที่ของเวลาสำหรับการไหลในระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นน้ำใต้ดิน (Time Constant for Interflow) ค่าพารามิเตอร์ของปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow Parameter) ค่า Capillary Flux and Water Logging และ Time Constants for Overland Flow Routing และค่าสำหรับเงื่อนไขเริ่มต้นซึ่งประกอบด้วย ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow) ปริมาณการเก็บกักในระหว่างชั้นผิวดินและชั้นน้ำใต้ดิน (Interflow) และความลึกของน้ำใต้ดิน (Ground Water Depth)

ข. ขอบเขตของข้อมูลได้แก่ ข้อมูลฝนรายวัน ข้อมูลการระเหยรายวันและ ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน

ค. ข้อมูลฝนตามพื้นที่ที่ใช้ประกอบการประเมินปริมาณน้ำท่าของการไหล เข้าด้านข้างในลำน้ำสายหลัก ซึ่งสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของสถานีน้ำฝน โดยวิธีธีเอสเซน (Thiessen Polygon) แสดงดังตารางที่ 10

2.1.2 การสอบเทียบแบบจำลอง NAM โดยในทางทฤษฎีแล้วจะได้จากการปรับ พารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM จนกระทั่งกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง กับ กราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดเข้ากันได้ดี อย่างไรก็ตามสำหรับในกรณีการศึกษานี้ เนื่องจาก พื้นที่รับน้ำฝนที่ต้องการประเมินกราฟน้ำหลากไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำท่าตั้งอยู่ ดังนั้นในการ ประเมินกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง NAM จึงนำมาเปรียบเทียบกับกราฟน้ำหลากที่เกิดจาก ผลต่างระหว่างกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD กับกราฟน้ำหลากที่ ได้จากการตรวจวัดจริงตัวอย่างเช่น กรณีการศึกษากราฟน้ำหลากของสถานี P.1 โดยมีสถานีด้าน เหนือน้ำคือ สถานี P.20, P.4A และ P.21 เป็นข้อมูลด้านเข้าจะทำการประยุกต์แบบจำลอง MIKE 11 HD ในช่วงลำน้ำจาก P.20 ถึง P.1 โดยไม่พิจารณาการไหลเข้าด้านข้างระหว่างสถานีวัดน้ำท่าทั้ง สอง ยกเว้นปริมาณการไหลของสถานีวัดน้ำท่า P.4A และ P.21 ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำในลุ่มน้ำย่อยแม่ แดง และแม่ริม ตามลำดับ จากนั้นนำผลลัพธ์ของกราฟน้ำหลากของสถานี P.1 ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มาหาผลต่างจากกราฟน้ำหลากที่สถานี P.1 ที่ได้จากการตรวจวัด ต่อจากนั้นนำกราฟ น้ำหลากของความแตกต่างมาใช้เปรียบเทียบกับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ของสถานี P.1 เพื่อการปรับเทียบให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง NAM

2.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD

2.2.1 ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง

การประเมินกราฟน้ำหลากทั้งในส่วนของการไหลในลำน้ำ และในทุ่งน้ำท่วมของ แม่น้ำปิง และลำน้ำสาขาสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากที่พิจารณา โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD ต้องการข้อมูลด้านเข้าซึ่งประกอบด้วย

ตารางที่ 10 ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการไหลเข้าด้านข้างในแม่น้ำปิง และปริมาณการไหลของลำน้ำสาขาที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า

ลำดับที่	การไหลเข้า ด้านข้าง หรือลำ น้ำสาขาที่ไม่มี สถานีวัดน้ำท่า	ระยะทางตาม แม่น้ำปิง (กม.)	พื้นที่รับ น้ำฝน (ตร.กม.)	สถานีวัดน้ำฝน (ค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนัก)
1	sideflow 1	25	308	07132 (0.3), 07252 (0.7)
2	sideflow 2	60	297	07112 (0.8), 07302 (0.2)
3	sideflow 3	85	552	07013 (0.5), 07062 (0.2), 07242 (0.3)
4	แม่ทา	138	996	17042 (1)
5	แม่ขาน	148.40	1,025	07142 (0.7), 07292 (0.3)
6	sideflow 4	160	2,080	07182 (1)
7	แม่ถ้ำ	171.35	510	17022 (0.8), 17080 (0.2)
8	sideflow 5	190	279	17052 (0.7), 17182 (0.3)
9	sideflow 6	210	1,771	07152 (0.8), 07292 (0.3)

ก. แผนภูมิแสดงการไหลของน้ำในแม่น้ำปิงตอนบน และลำน้ำสาขา (Schematic) ซึ่งมีสถานีวัดน้ำท่า P.20 เป็นสถานีควบคุมด้านเหนือน้ำ และสถานีวัดน้ำท่า PE.2 เป็นสถานีควบคุมด้านท้ายน้ำ โดยมีระยะทางตามแนวแม่น้ำปิงรวมทั้งสิ้น 216.15 กม. และประกอบด้วยลำน้ำสาขาจำนวน 9 ลำน้ำ ที่ไหลมาบรรจบกับแม่น้ำปิงตามระยะทางต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ลำน้ำแม่จืด แม่แดง แม่ริม แม่กวง แม่ทา แม่ขาน แม่ลี แม่กลาง และแม่แจ่มซึ่งไหลมาบรรจบกับแม่น้ำปิงที่ระยะทาง 39.90, 56.90, 83.00, 136.90, 138.00, 148.40, 171.35, 182.56 และที่ระยะทาง 214.45 กม. ตามลำดับ

ข. ข้อมูลรูปตัดขวางของแม่น้ำปิง และลำน้ำสาขาที่ทำการสำรวจไว้โดยกรมชลประทาน ดังแสดงไว้แล้วในข้างต้น

ค. ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง MIKE 11 HD คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Roughness Coefficient) หรือค่า Manning's n สำหรับในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วมของแม่น้ำปิงและลำน้ำสาขาต่าง ๆ

ง. ขอบเขตการทำงานของแบบจำลอง MIKE 11 HD ประกอบด้วย การกำหนดเงื่อนไขของขอบเขตภายนอกของระบบในลำน้ำปิงตอนบน จุดควบคุมด้านเหนือน้ำ และจุดควบคุมด้านท้ายน้ำ โดยจุดควบคุมทางด้านเหนือน้ำคือ กราฟน้ำหลากของสถานีวัดน้ำท่าที่เป็นอิสระซึ่งไม่ต่อกับลำน้ำใด ๆ ซึ่งประกอบด้วยกราฟน้ำหลากของสถานีวัดน้ำท่า P.20, P.14, P.21, P.69, P.71, P.24A และ P.14 และสำหรับจุดควบคุมทางด้านท้ายน้ำคือ สถานีวัดน้ำท่า PE.2 ต้องใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ และปริมาณการไหลของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 (Rating Curve) เป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง

2.2.2 การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม คือ การปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน Manning's n สำหรับแต่ละรูปตัดขวางของแม่น้ำปิง และลำน้ำสาขาทั้งในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วม โดยในการศึกษานี้ได้ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD สำหรับกราฟน้ำหลากจำนวน 4 เหตุการณ์ โดยสองเหตุการณ์ซึ่งประกอบด้วยเหตุการณ์กราฟน้ำหลากในระหว่างวันที่ 6 ส.ค. พ.ศ.2543 ถึงวันที่ 3 ก.ย. พ.ศ.2543 และวันที่ 2 ส.ค. พ.ศ.2542 ถึงวันที่ 18 ต.ค. พ.ศ.2542 และที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 ในช่วงเวลาวันที่ 2 ส.ค. พ.ศ.2541 ถึงวันที่ 30 ก.ย. พ.ศ.2541 เพื่อใช้สำหรับการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

เพื่อหาค่า Manning's n ในลำน้ำ และอีกสองเหตุการณ์ซึ่งประกอบด้วยช่วงเวลาระหว่างวันที่ 15 ก.ค. พ.ศ.2538 ถึงวันที่ 30 ก.ย. พ.ศ.2538 และวันที่ 2 ส.ค. พ.ศ.2544 ถึงวันที่ 31 ต.ค. พ.ศ.2544 เพื่อใช้ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง เพื่อหาค่า Manning's n ของทุ่งน้ำท่วม โดยในขั้นตอนการตรวจพิสูจน์แบบจำลองต้องใช้ค่า Manning's n สำหรับการไหลในลำน้ำ และการไหลในทุ่งน้ำท่วมสำหรับทุก ๆ รูปตัดขวางที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง โดยการประยุกต์ใช้เหตุการณ์ที่แตกต่างจากขั้นตอนการสอบเทียบแบบจำลอง เมื่อกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงเข้ากันได้ดีกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองในขั้นตอนการตรวจพิสูจน์ สามารถนำค่า Manning's n ดังกล่าวเป็นตัวแทนของการไหลในทางน้ำได้

2.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม SNNS

2.3.1 ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง

ก. ขอบเขตของข้อมูลด้านเข้าคือ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าเหนือจุดที่พิจารณา ตัวอย่างเช่น ต้องการประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1 ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองประกอบด้วย ข้อมูลของปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 และ P.21 โดยจำนวนหน่วย (Node) ของข้อมูลด้านเข้าที่เหมาะสมกับสถานีที่ต้องการประเมินปริมาณน้ำท่า ได้จากการศึกษาความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) ของอัตราการไหลตามระยะเวลาการเกิดน้ำท่าที่แตกต่างกัน (Lag Time) ระหว่างสถานีวัดน้ำท่านั้น ๆ กับสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการประเมินปริมาณน้ำท่าโดยใช้ค่าระยะเวลาการเดินทางของน้ำท่าที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด และรองลงมาสองลำดับตัวอย่างเช่น การประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 มีข้อมูลด้านเข้า 6 หน่วย ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.67 ที่เวลาช้อยหลัง 5, 6 และ 7 ชั่วโมง และข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.21 ที่เวลาช้อยหลัง 13, 14 และ 15 ชั่วโมง ตามลำดับ

ข. โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย ชั้นข้อมูลด้านเข้า (Input Layer) ชั้นแฝง (Hidden Layer) และชั้นแสดงผล (Output Layer) สำหรับในชั้นแฝงกำหนดให้มีชั้นแฝงเพียงชั้นเดียว แต่จำนวนหน่วยในชั้นแฝงได้จากการทายค่าจำนวนโดยเปลี่ยนแปลงจำนวนหน่วยในชั้นแฝงตั้งแต่ไม่มีจำนวนหน่วยในชั้นแฝงจนกระทั่งจำนวนหน่วยในชั้นแฝงมีค่าประมาณสองเท่าของจำนวนหน่วยในชั้นข้อมูลด้านเข้าหลัง จากนั้นทำการเลือกใช้จำนวนหน่วยในชั้นแฝงในกรณีที่เป็นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าทางสถิติที่ดีที่สุด และ

สำหรับชั้นแสดงผลมีเพียงหน่วยเดียวได้แก่ ปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

ค. พารามิเตอร์ของแบบจำลอง ประกอบด้วยค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate, η) และค่าโมเมนตัมแฟกเตอร์ (Momentum Factor, α) โดยค่าอัตราการเรียนรู้จะมีค่ามากกว่า 0 ส่วนค่าโมเมนตัมแฟกเตอร์มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ง. ค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าเบี่ยงเบน (Bias) จากนั้นค่าที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลจะได้จากการสุ่ม (Random) ของแบบจำลองต่อไป โดยในการใช้งานแบบจำลองจะต้องกำหนดค่าน้ำหนัก และค่าเบี่ยงเบนเริ่มต้นให้กับแบบจำลอง

จ. ฟังก์ชันแปลง (Transfer Function) โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ฟังก์ชันแปลงชนิด Sigmoid Function ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยฟังก์ชันแปลงชนิดนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

2.3.2 กระบวนการเตรียมชุดข้อมูลของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผลได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และส่วนข้อมูลสำหรับการทดสอบ ซึ่งช่วงเวลาในแต่ละส่วนแสดงไว้ดังตารางที่ 9

เนื่องจากข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงมีความแตกต่างกันจากมากไปหาน้อย ดังนั้นข้อมูลจะต้องนำมาผ่านกระบวนการ Normalization ก่อนนำไปใช้ในแบบจำลองสำหรับแบบจำลอง BPNN ที่เสนอจะใช้ฟังก์ชันลอการิทึมในการปรับข้อมูลให้อยู่ในช่วง $[0, 1]$ แต่ทั้งนี้ในการดำเนินการจริงจะใช้ช่วง $[0.05, 0.95]$ แทนช่วง $[0, 1]$ เนื่องจากค่าลอการิทึมจะเข้าใกล้ค่า 0 และ 1 โดยการปรับข้อมูลก่อนและหลังการประมวลผลสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

สมมติให้ค่า a และ A เป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดของอนุกรมข้อมูลที่จะนำมาใช้ ดังนั้นค่าข้อมูลจริง x_i จะถูกปรับเป็น x'_i ในช่วง $[0.05, 0.95]$ โดยใช้สมการที่ (68) ดังนี้

$$x'_i = \frac{0.9(x_i - a)}{A - a} + 0.05 \quad (68)$$

เมื่อได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกปรับให้เป็นค่าข้อมูลจริงเพื่อนำไปใช้งาน โดยสมการที่ (69)

$$x_i = \frac{(A - a)(x'_i - 0.05)}{0.9} + a \quad (69)$$

2.3.3 กระบวนการเรียนรู้

กระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าเบี่ยงเบน (Bias) ที่เหมาะสมต่อแบบจำลองโดยการปรับค่าพารามิเตอร์คือ ค่าอัตราการเรียนรู้ และค่าโมเมนตัมในรอบการคำนวณที่เหมาะสม จนกระทั่งค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เสรี (2544) ได้กล่าวว่า กระบวนการในขั้นตอนนี้อาจทำให้เกิดการเรียนรู้มากเกินไปจนเกิดความจำเกิน (overtraining) หรือ overfitting ซึ่งเป็นข้อเสียของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากโครงข่ายพยายามเรียนรู้แนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าและข้อมูลผลลัพธ์กลับไปเรียนรู้หรือจดจำลักษณะของข้อมูลบางตัวซึ่งอาจรวมไปถึง noisy data ดังนั้นโครงข่ายจะให้ผลการศึกษาที่ดีสำหรับข้อมูลในส่วนกระบวนการการเรียนรู้ แต่จะให้ผลการคำนวณที่ไม่ดีสำหรับข้อมูลส่วนของข้อมูลที่ให้ในการทดสอบ วิธีการที่จะหยุดวิธีการเรียนรู้เกินความจำเป็นคือ การทำให้เกิดการเรียนรู้ข้ามโดยใช้ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ข้าม (cross training) ซึ่งจะทำให้โครงข่ายเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นในกระบวนการเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนที่เหมาะสมของแบบจำลอง จึงทำการทลายค่าพารามิเตอร์การเรียนรู้ที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้มีแนวโน้มลดลงและเริ่มคงที่ ซึ่งจะทำได้ในรอบการคำนวณ (Epoch) ที่เหมาะสมสำหรับหยุดการคำนวณ แต่หากทำการคำนวณต่อไปที่รอบการคำนวณมากขึ้น ถึงแม้ความคลาดเคลื่อนยังคงที่หรือหรือมีแนวโน้มลดลงอีกแต่แบบจำลองอาจเกิดการเรียนรู้มากเกินไป ซึ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีในช่วงของการทดสอบ

2.3.4 กระบวนการทดสอบ

เป็นกระบวนการที่นำค่าน้ำหนัก (Weight) ค่าเบี่ยงเบน (Bias) ตลอดจนโครงสร้างของแบบจำลองที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้มาใช้ทดสอบกับข้อมูลอีกชุดหนึ่ง ถ้าผลที่ได้จากการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าน้ำหนัก และค่าเบี่ยงเบนชุดนั้นสามารถใช้เป็นตัวแทนได้ แต่ถ้าผลลัพธ์ที่ออกมาแตกต่างกันมากต้องกลับไปในกระบวนการเรียนรู้อีกครั้งหนึ่ง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นค่าอัตราการเรียนรู้ ค่าโมเมนตัม รวมไปถึงค่าน้ำหนัก และค่าเบี่ยงเบนเริ่มต้นของแบบจำลอง เพื่อให้ผลการประเมินปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงมีค่าใกล้เคียงกับ ปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงที่ทำการตรวจวัดไว้ทั้งในกรณีการเรียนรู้และการทดสอบ

3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

จากผลการประเมินกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ได้นำมาเปรียบเทียบกับกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่มีการตรวจวัดจริงตามสถานีน้ำท่าที่ศึกษา โดยการเปรียบเทียบความเข้ากันได้ของน้ำหลากรายชั่วโมงนั้น ได้ทำการศึกษาโดยใช้ตัวแปรทางสถิติซึ่งประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ของ Efficiency Index (EI), Relative Root Mean Square Error (RRMSE), Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) และค่าสมดุลน้ำ (Water Balance) โดยค่าของ EI และ r แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม สำหรับค่า RRMSE และค่าสมดุลน้ำ แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ดีของสมดุลน้ำ และค่า $Peak_{RRMSE}$ พิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด โดยสมการการคำนวณค่าสถิติแต่ละตัวแปรแสดงได้ดังนี้

3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ Efficiency Index (EI) เป็นตัวแปรทางสถิติที่แสดงระดับความสัมพันธ์ (Degree of Association) ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยค่าที่ยอมรับได้ควรมีค่าเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสมการแสดงการคำนวณดังนี้

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \times 100\% \quad (70)$$

โดยที่ Q_i = ค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการวัดจริงที่เวลา i
 \bar{Q} = ค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการวัดจริง
 F_i = ค่าปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ที่เวลา i
 N = จำนวนของข้อมูล

3.2 Relative Root Mean Square Error (RRMSE) เป็นตัวแปรทางสถิติที่แสดงความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Absolute Error) ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ โดยมีสมการแสดงการคำนวณดังนี้

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2}}{\bar{Q}} \quad (71)$$

3.3 Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$) เป็นตัวแปรแสดงความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Absolute Error) ของปริมาณน้ำท่าสูงสุด โดยค่าเริ่มต้นของปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ 98% Exceedance Probability โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ได้จากการตรวจวัดซึ่งควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ โดยมีสมการแสดงการคำนวณดังนี้

$$Peak_{RRMSE} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{98\%}} \sum_{i=1}^{N_{98\%}} (Q_{i\ 98\%} - F_{i\ 98\%})^2}}{\bar{Q}_{98\%}} \quad (72)$$

เมื่อ $Q_{i\ 98\%}$ = ค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ 98 % Exceedance Probability ที่ได้จากการวัดจริงที่เวลา i

$F_{i98\%}$ = ค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการพยากรณ์ที่ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่
98 % Exceedance Probability ที่เวลา i

$N_{98\%}$ = จำนวนของข้อมูลของปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ 98 %
Exceedance Probability

$\bar{Q}_{98\%}$ = ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ 98 % Exceedance Probability
จากการวัดจริงที่เวลา i

3.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) ในกรณีที่มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าความสัมพันธ์แบบเส้นตรงที่ดีที่สุด (Perfect Positive Linear Association) และสำหรับกรณีที่ค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (No Linear Relation) โดยมีสมการแสดงการคำนวณดังนี้

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})(F_i - \bar{F})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F})^2 \right]}} \quad (73)$$

3.5 ค่าสมดุลน้ำ (Water Balance) เป็นค่าที่ใช้วัดความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าสะสมระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยค่าที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยมีสมการแสดงการคำนวณดังนี้

$$\text{Water Balance}(\%) = \left(\frac{\sum_{i=1}^N F_i - \sum_{i=1}^N Q_i}{\sum_{i=1}^N Q_i} \right) \times 100\% \quad (74)$$

ผลและวิจารณ์

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการประเมินกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงของแบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยแบบจำลอง MIKE 11 ประกอบด้วย 2 แบบจำลองย่อยคือ แบบจำลอง NAM และ MIKE 11 HD ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองกระทำโดยการพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงใน 3 ส่วนคือ 1) การพิจารณาความเข้ากันได้ของกราฟน้ำหลากโดยรวม โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่า Efficiency Index (EI) 2) ความเข้ากันได้ดีด้านสมดุลน้ำ โดยพิจารณาจากค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE) และค่าสมดุลน้ำ (Water Balance) และ 3) ความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด โดยพิจารณาจากค่า $Peak_{RRMSE}$ โดยในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงของสถานีวัดน้ำท่า P.75 P.67 P.1 P.73 และ PE.2 ตามลำดับ นอกจากนี้ได้มีการกำหนดขอบเขตข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประเมินกราฟน้ำหลากของสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ โดยการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ใช้เป็นข้อมูลด้านเข้า กับข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลแสดงผล ดังแสดงรายละเอียดได้ในตารางที่ 11

จากผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM และ MIKE 11 HD ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแต่ละแบบจำลอง โดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM เพื่อการประเมินปริมาณการไหลเข้าด้านข้างของกลุ่มน้ำย่อยเข้าสู่แม่น้ำปิงตอนบน และสาขาแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 12 โดยค่า U_{max} มีค่าระหว่าง 10 ถึง 50 ค่า L_{max} มีค่าอยู่ระหว่าง 100 ถึง 500 ค่า CQOF มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.5 ค่า TOF มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.1 ค่า TG มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.9 ค่า CK_1 และ CK_2 มีค่าอยู่ระหว่าง 24 ถึง 42 และค่า CKBF มีค่าอยู่ระหว่าง 500 ถึง 2,000 นอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีค่าคงที่ประกอบด้วย ค่า CKIF มีค่าเท่ากับ 1,000 ค่า TIF มีค่าเท่ากับ 0 ค่า S_y มีค่าเท่ากับ 0.1 ค่า CAREA มีค่าเท่ากับ 1 ค่า $GWLBF_0$ มีค่าเท่ากับ 10 และค่า $GWLBF_1$ มีค่าเท่ากับ 0 สำหรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD แสดงดังตารางที่ 13 โดยค่า Manning's n ของการไหลในลำน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.026 ถึง 0.040 และค่า Manning's n ของการไหลในทุ่งน้ำท่วมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.050 ถึง 0.063 ซึ่งผลการสอบเทียบ (การเรียนรู้) และตรวจพิสูจน์ (การทดสอบ) รวมทั้งการวิเคราะห์ความไวของแบบจำลองดังกล่าวแสดงรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 11 โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินปริมาณน้ำหลาก

ลำดับที่	ข้อมูล	เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้	จำนวนชุด	ข้อมูลในชั้น	เวลาของข้อมูล
	ด้านเข้า	และการทดสอบ	ข้อมูลด้านเข้า	แสดงผล	ในชั้นแสดงผล
1	P.20	t-3, t-4, t-5	3	P.75	t
2	P.20	t-24, t-25, t-26	9	P.1	t
	P.4A	t-23, t-24, t-25			
	P.21	t-12, t-13, t-14			
3	P.1	t-12, t-13, t-14	12	P.73	t
	P.69	t-30, t-31, t-32			
	P.71	t-26, t-27, t-28			
	P.24A	t-20, t-21, t-22			
4	P.1	t-1	3	PE.2	t
	P.69	t-1			
	P.24A	t-1			

ตารางที่ 12 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณการไหลเข้าด้านข้างเข้าสู่แม่น้ำปิง และสาขา

ค่าตัวแปร ต่าง ๆ	Sideflow 1	Sideflow 2	Sideflow 3	แม่ทา	Sideflow 4	แม่ลี้	Sideflow 5	Sideflow 6	แม่ฆาน
U_{max}	30	25	20	30	50	25	20	10	30
L_{max}	300	250	200	300	500	250	200	100	300
CQOF	0.5	0.2	0.25	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2
CKIF	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
TOF	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1
TIF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TG	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.2	0.1	0.9
CK_1	30	24	39	42	25	42	33	39	42
CK_2	30	24	39	42	25	42	33	39	42
S_y	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CAREA	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CKBF	2,000	1,500	2,000	500	800	500	1,200	1,300	500
$GWLBF_0$	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$GWLBF_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 13 ค่าพารามิเตอร์ Manning's (n) ของการไหลในลำน้ำ และทุ่งน้ำท่วมของกลุ่มแม่น้ำปิง
ตอนบน

เส้นลำน้ำ	ระยะทาง (ก.ม.)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (n)
การไหลในลำน้ำ		
แม่น้ำปิง	0.00-182.57	0.028
แม่จืด	0.00-4.90	0.028
แม่แตง	0.00-3.30	0.026
แม่ริม	0.00-4.10	0.028
แม่กวัง	0.00-64.00	0.035
แม่ขาน	0.00-3.10	0.040
แม่กลาง	0.00-8.35	0.040
แม่แจ่ม	0.00-11.90	0.040
แม่น้ำปิง	182.58-216.15	0.035
การไหลในทุ่งน้ำท่วม		
แม่น้ำปิง	102.40-182.57	0.050
แม่น้ำปิง	182.58-216.15	0.063

การสอบเทียบ (การเรียนรู้) และการตรวจพิสูจน์ (การทดสอบ) แบบจำลอง

1. สถานีวัดน้ำท่า P.75

สถานีวัดน้ำท่า P.75 ตั้งอยู่ที่บ้านซ้อแล อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่ มีพื้นที่รับน้ำ 3,090 ตร.กม. และตั้งอยู่ที่ระยะทาง 41.40 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนของทำการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 19 สถานีวัดน้ำท่า P.75 มีช่วงสถิติข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ.2542 ถึง พ.ศ.2544 มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 521.78 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันเท่ากับ 16.55 ลบ.ม.ต่อวินาที โดยปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98% Exceedance Probability เท่ากับ 60.55 ลบ.ม.ต่อวินาที ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า P.75 ได้ประยุกต์ใช้เหตุการณ์กราฟน้ำหลากที่มีการไหลเฉพาะในลำน้ำจำนวนสองเหตุการณ์ โดยเหตุการณ์กราฟน้ำหลากในระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2543 ถึง วันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2543 ใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการเรียนรู้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และเหตุการณ์กราฟน้ำหลากระหว่างวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2542 ถึงวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2542 ใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการทดสอบในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ผลการศึกษา สรุปได้ดังนี้

1.1 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM

การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sidelow 1 ที่ระยะทาง 25 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนของทำศึกษานั้น ได้พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝน 2 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07132 และ 07252 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนเท่ากับ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ สำหรับปริมาณการระเหยรายวันพิจารณาใช้ข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยของสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดเชียงใหม่

ผลการประเมินกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sidelow 1 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลต่างระหว่างกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่สถานีวัดน้ำท่า P.75 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD โดยไม่พิจารณาปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างในระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึง P.75 ผลการเปรียบเทียบ

กราฟน้ำหลากพบว่ามีความสอดคล้องกันพอสมควร โดยความสัมพันธ์ทางสถิติของกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าดังนี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.540 และ 0.677 และค่า RRMSE มีค่าเท่ากับ 0.152 และ 0.359 สำหรับการสอบเทียบ และการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ตามลำดับ โดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM แสดงดังตารางที่ 12

1.2 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

1.2.1 ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.75 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 20 และภาพที่ 21 โดยในการศึกษาการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากจากสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึงสถานีวัดน้ำท่า P.75 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD ได้นำกราฟน้ำหลากที่ประเมินได้โดยแบบจำลอง NAM ทั้งสองเหตุการณ์มาใช้เป็นกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้างที่ระยะทาง 25 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษา ดังแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาแล้วข้างต้น โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD ดังตารางที่ 13

1.2.2 ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.75 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 20 และภาพที่ 21 โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างของแบบจำลองเป็น 3-5-1 ประกอบด้วยหน่วยในชั้นข้อมูลด้านเข้า หน่วยในชั้นแฝง และหน่วยในชั้นแสดงผลตามลำดับ โดยโครงสร้างชั้นข้อมูลด้านเข้า 3 หน่วยประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.20 ที่เวลาย้อนหลัก 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ และสำหรับข้อมูลด้านออกคือ กราฟน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า P.75 ที่ชั่วโมงปัจจุบันที่พิจารณา สำหรับอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนตัมมีค่าเท่ากับ 0.2 และ 0.5 ตามลำดับ

1.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยตัวแปรทางสถิติ

1.3.1 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม พบว่ามีความเข้ากันได้ดีในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ใกล้เคียงกันคือ 0.94 และ 0.96 ตามลำดับ และให้ค่า Efficiency Index (EI) เท่ากับ 86.38 และ 91.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลของกราฟน้ำหลากที่มีความเข้ากันได้ดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD เพียงเล็กน้อย สำหรับช่วงตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม พบว่ากราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ดีใกล้เคียงกับกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.95 และ 0.91 ตามลำดับ สำหรับค่า EI มีค่าเท่ากับ 57.03 และ 62.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาตัวแปรทางสถิติ r และ EI พบว่ามีความขัดแย้งกันพอสมควร กล่าวคือ ค่า r ที่สูงไม่จำเป็นต้องใช้ค่า EI สูงตามเสมอไป โดยค่าตัวแปรทางสถิติได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.75 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้ง 2 ประเภท แสดงในตารางที่ 14

1.3.2 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่มีค่า 16.55 ลบ.ม.ต่อวินาที พบว่าในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำที่ยอมรับได้ กล่าวคือมีค่า RRMSE เท่ากับ 0.15 และ 0.12 ตามลำดับ และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ -2.81 และ 3.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่สำหรับในช่วงการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความเข้ากันได้ของสมมูลน้ำไม่ดีพอ กล่าวคือ มีค่า RRMSE เท่ากับ 0.38 และ 0.35 และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ 17.49 และ 25.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

1.3.3 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด การศึกษาความสัมพันธ์ในกรณีนี้พิจารณาจากค่าปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98 % Exceedance Probability ซึ่งมีค่า 60.55 ลบ.ม.ต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่าค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการสอบเทียบของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่ามากกว่าช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเล็กน้อยโดยมีค่า

เท่ากับ 0.32 และ 0.21 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่ามากกว่าช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีค่าเท่ากับ 0.86 และ 0.20 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประเมินปริมาณการไหลสูงสุดในช่วงของการทดสอบแบบจำลองได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในช่วงของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

1.4 บทสรุปการเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ผลการเปรียบเทียบตัวแปรทางสถิติในตารางที่ 14 และภาพที่ 20 และ 21 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานของแบบจำลองทั้งสองประเภทสามารถสรุปภาพรวมของผลการประเมินกราฟน้ำหลากของแบบจำลองได้คือ กราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองของแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริง พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีกราฟน้ำหลากโดยรวมเข้ากันได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในกระบวนการเรียนรู้ แต่แบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ของกราฟน้ำหลากโดยรวมในช่วงของการตรวจพิสูจน์ได้ดีกว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับในกรณีของสมมูลน้ำ พบว่าไม่แตกต่างกันมากนักในแบบจำลองทั้งสองประเภทในช่วงการสอบเทียบ และการเรียนรู้ โดยมีค่าที่ยอมรับได้ แต่สำหรับในช่วงของการทดสอบ และการตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่ามีค่าไม่ดีทั้ง 2 แบบจำลอง สำหรับค่าความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด $Peak_{RRMSE}$ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD

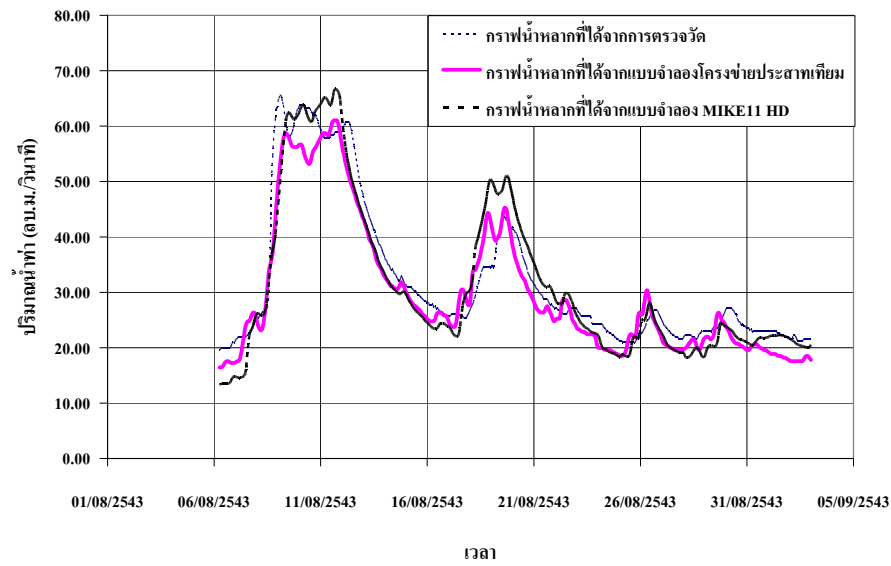
ตารางที่ 14 ค่าตัวแปรทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.75 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ตัวแปรทางสถิติ	แบบจำลอง MIKE 11 HD		แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	
	การสอบเทียบ	การตรวจพิสูจน์	การเรียนรู้	การทดสอบ
EI (%)	86.38	57.03	91.74	62.22
r	0.94	0.95	0.96	0.91
RRMSE	0.15	0.38	0.12	0.35
Peak _{RRMSE}	0.32	0.86	0.21	0.20
Water Balance (%)	-2.81	17.49	3.77	25.91

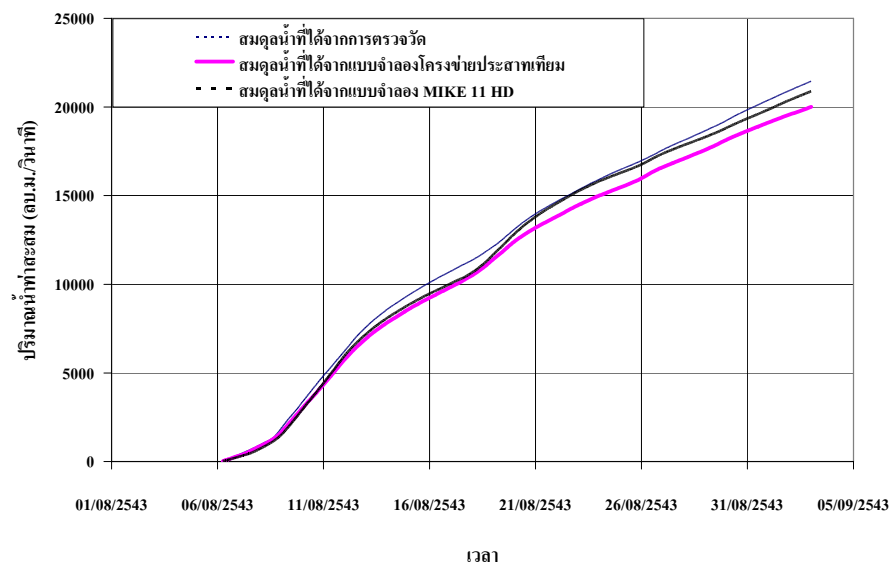
หมายเหตุ ตัวเลขเข้มหมายถึง ค่าทางสถิติที่ดีกว่าจากการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 ประเภท โดยเปรียบเทียบการสอบเทียบกับการเรียนรู้ และการตรวจพิสูจน์กับการทดสอบ สำหรับตัวแปรทางสถิติที่พิจารณา

2. สถานีวัดน้ำท่า P.67

สถานีวัดน้ำท่า P.67 ตั้งอยู่ที่บ้านแม่แตง อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ มีพื้นที่รับน้ำ 5,289 ตร.กม. และตั้งอยู่ที่ระยะทาง 68.40 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 19 สถานีวัดน้ำท่า P.67 มีช่วงสถิติข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ.2539 ถึง พ.ศ.2541 และปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2544 มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 942.00 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันเท่ากับ 29.89 ลบ.ม.ต่อวินาที โดยปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98% Exceedance Probability เท่ากับ 108.36 ลบ.ม.ต่อวินาที ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 ได้ประยุกต์ใช้เหตุการณ์กราฟน้ำหลากที่มีการไหลเฉพาะในลำน้ำจำนวนสองเหตุการณ์ โดยเหตุการณ์กราฟน้ำหลากในระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2543 ถึง วันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2543 ใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD

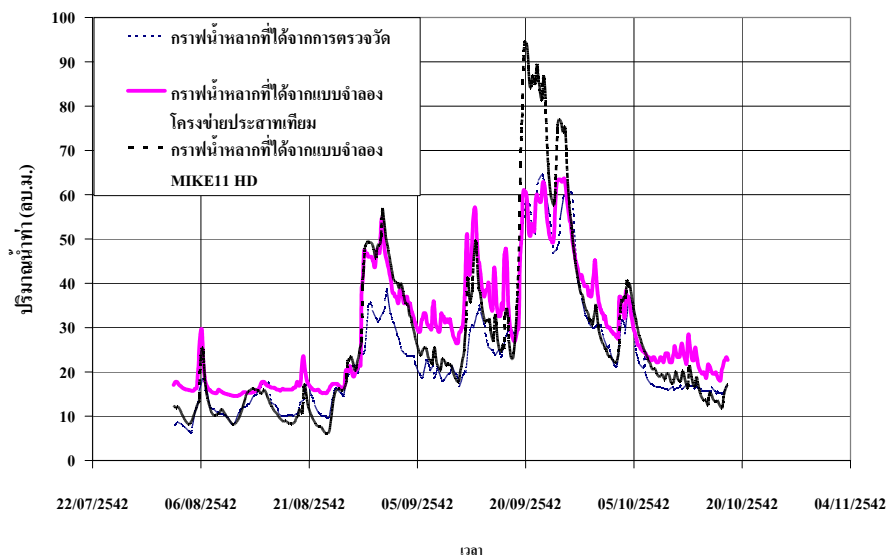


ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง

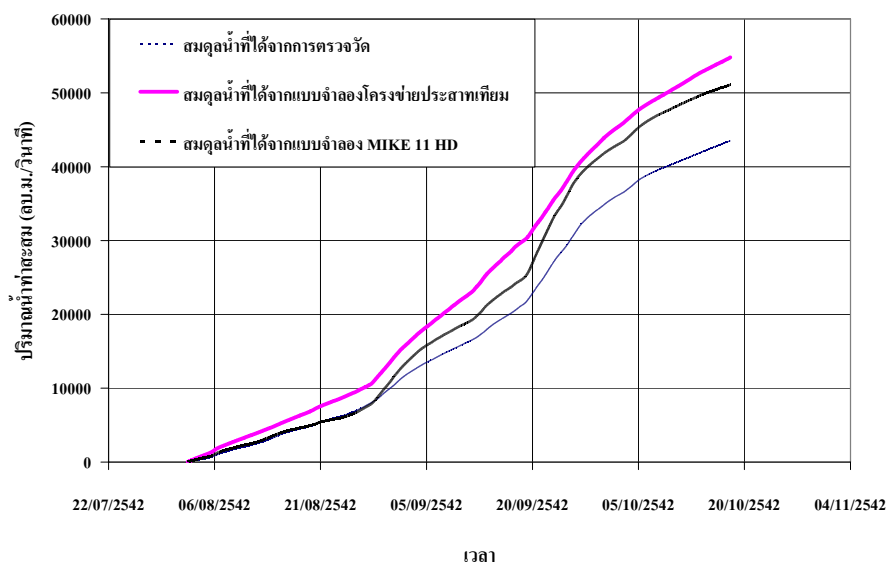


ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 20 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.75 ในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง



ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง



ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 21 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.75 ในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง

และแบบจำลอง NAM และเหตุการณ์กราฟน้ำหลากระหว่าง วันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2541 ถึงวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2541 ใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์ แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM ผลการศึกษา สรุปได้ดังนี้

2.1 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM

การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sidelow 2 ที่ระยะทาง 60 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษานั้น ได้พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝน 2 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07112 และ 07302 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนเท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ สำหรับปริมาณการระเหยรายวันพิจารณาใช้ข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยของสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดเชียงใหม่

ผลการประเมินกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sidelow 2 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลต่างระหว่างกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD โดยไม่พิจารณาปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างในระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึง P.67 ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากพบว่ามีความสอดคล้องกันพอสมควร โดยความสัมพันธ์ทางสถิติของกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าดังนี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.11 และ 0.06 และค่า RRMSE มีค่าเท่ากับ 0.07 และ 0.23 สำหรับการสอบเทียบ และการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ตามลำดับ โดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM แสดงดังตารางที่ 12

2.2 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD

ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 22 และภาพที่ 23 โดยในการศึกษาการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากจากสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึงสถานีวัดน้ำ P.67 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD ได้นำกราฟน้ำหลากที่ประเมินได้โดยแบบจำลอง NAM ทั้งสองเหตุการณ์มาใช้เป็นกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้างที่ระยะทาง 60 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่

ทำการศึกษา ดังแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาล้างข้างต้น โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD ดังตารางที่ 13

2.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11

2.3.1 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม พบว่ามีความเข้ากันได้ดีในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD กล่าวคือ ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) คือ 0.97 และให้ค่า Efficiency Index (EI) เท่ากับ 85.19 เปอร์เซ็นต์ สำหรับช่วงตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD พบว่ากราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ดีพอใช้ กล่าวคือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.81 สำหรับค่า EI มีค่าเท่ากับ 64.30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการศึกษาดัชนีทางสถิติ r และ EI พบว่าในการสอบเทียบแบบจำลองให้ผลลัพธ์ดีกว่าการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง โดยค่าดัชนีทางสถิติได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.67 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง แสดงในตารางที่ 15

2.3.2 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำเมื่อนำเปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่มีค่า 29.89 ลบ.ม.ต่อวินาที พบว่าในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำที่ยอมรับได้ กล่าวคือมีค่า RRMSE เท่ากับ 0.15 และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ 1.64 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับในช่วงการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำไม่ดีพอกกล่าวคือ มีค่า RRMSE เท่ากับ 0.55 และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ -2.74 เปอร์เซ็นต์

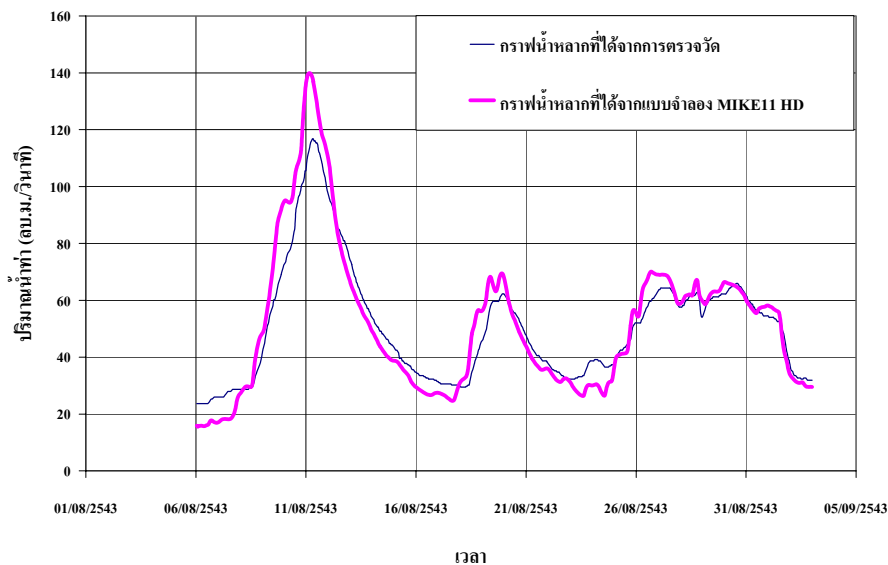
2.3.3 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด การศึกษาความสัมพันธ์ในกรณีนี้พิจารณาจากค่าปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98 % Exceedance Probability ซึ่งมีค่า 108.36 ลบ.ม.ต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่าค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการสอบเทียบของแบบจำลอง MIKE 11 HD มีค่าเท่ากับ 0.38 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่าใกล้เคียงกับการสอบเทียบแบบจำลอง โดยมีค่าเท่ากับ 0.35 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD สามารถประเมินปริมาณการไหลสูงสุดในช่วงของการตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้ดีกว่าช่วงของการสอบเทียบแบบจำลอง

2.4 บทสรุปการเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 HD

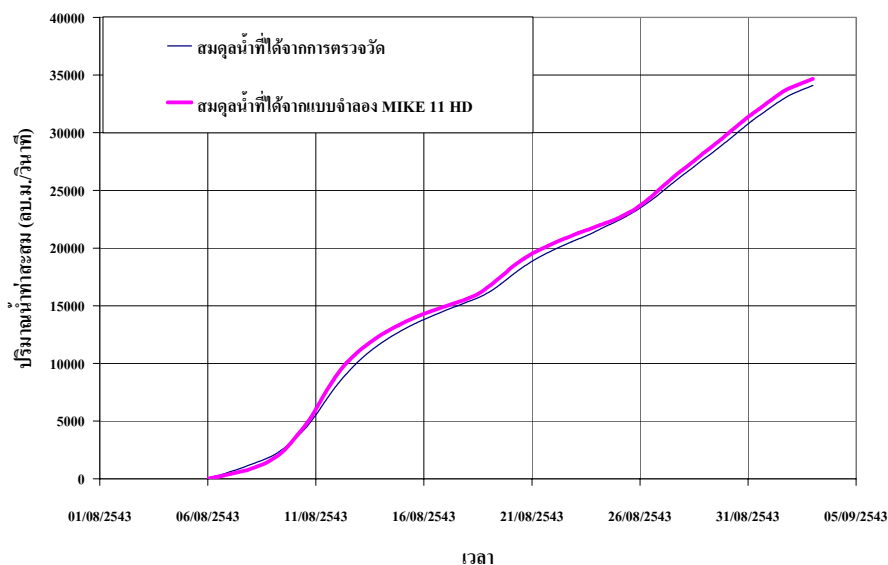
ผลการเปรียบเทียบตัวแปรทางสถิติในตารางที่ 15 และภาพที่ 22 ถึง 23 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานของแบบจำลอง โดยสามารถสรุปภาพรวมของผลการประเมินกราฟน้ำหลากของแบบจำลองได้คือ กราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 HD กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริง พบว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD มีกราฟน้ำหลากโดยรวมเข้ากันได้ดีในกระบวนการเรียนรู้ สำหรับในกรณีของค่าสมมูลน้ำ พบว่าไม่แตกต่างกันมากนักในแบบจำลองทั้งช่วงการสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง โดยในช่วงการสอบเทียบมีค่าที่ยอมรับได้ แต่สำหรับในช่วงของการตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่ามีค่าดีพอประมาณ สำหรับค่าความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด $Peak_{RRMSE}$ พบว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ใช้ผลการเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ตารางที่ 15 ค่าตัวแปรทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.67 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD

ตัวแปรทางสถิติ	แบบจำลอง MIKE 11 HD	
	การสอบเทียบ	การตรวจพิสูจน์
EI (%)	85.19	64.30
r	0.97	0.81
RRMSE	0.15	0.55
$Peak_{RRMSE}$	0.38	0.35
Water Balance (%)	1.64	-2.74

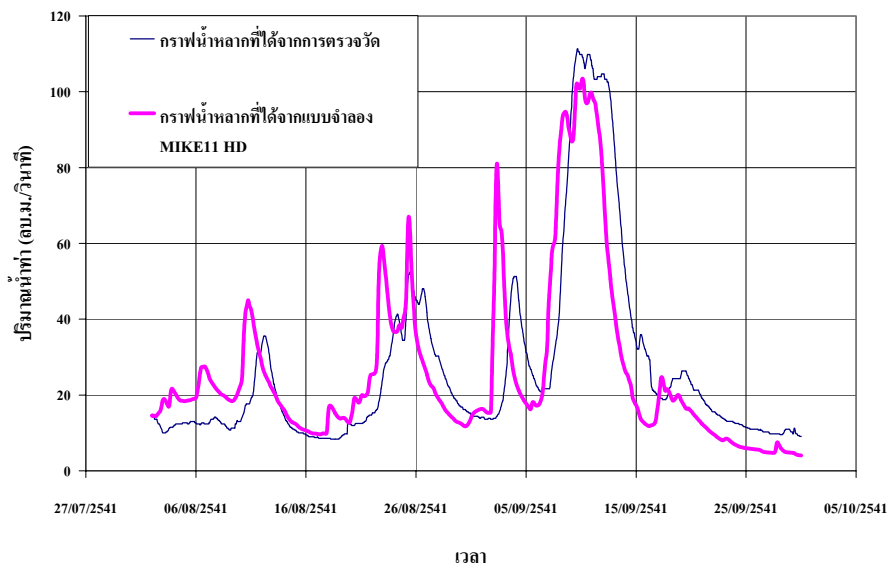


ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง

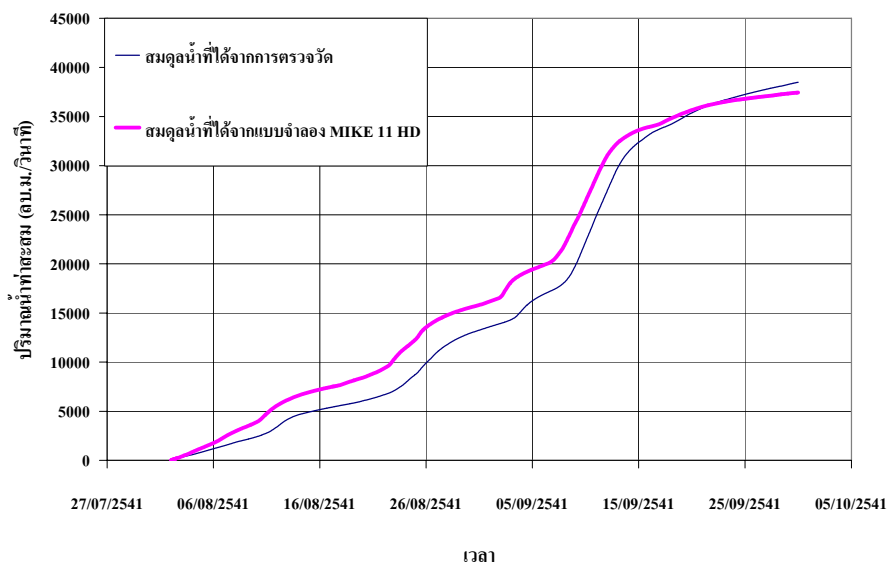


ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 22 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11HD และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.67 ในการสอบเทียบแบบจำลอง



ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง



ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 23 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11HD และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.67 ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

3. สถานีวัดน้ำท่า P.1

สถานีวัดน้ำท่า P.1 ตั้งอยู่ที่สะพานนวรรตน์ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ มีพื้นที่รับน้ำ 6,355 ตร.กม. และตั้งอยู่ที่ระยะทาง 102.4 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 19 สถานีวัดน้ำท่า P.1 มีช่วงสถิติข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ.2538 ถึง พ.ศ.2544 มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,818.62 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันเท่ากับ 57.67 ลบ.ม.ต่อวินาที โดยปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98% Exceedance Probability เท่ากับ 146.80 ลบ.ม.ต่อวินาทีในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก และมีค่าเท่ากับ 468.00 ลบ.ม.ต่อวินาทีในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 ได้ประยุกต์ใช้เหตุการณ์กราฟน้ำหลากที่มีการไหลในลำน้ำ และไหลลงสู่ทุ่งน้ำท่วมจำนวนสี่เหตุการณ์ โดยเหตุการณ์กราฟน้ำหลากที่มีการไหลเฉพาะในลำน้ำใช้ข้อมูลระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2543 ถึง วันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2543 ใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการเรียนรู้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และเหตุการณ์กราฟน้ำหลากระหว่างวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2542 ถึงวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2542 ใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์ แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการทดสอบในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และเหตุการณ์กราฟน้ำหลากที่มีการไหลล้นลงสู่ทุ่งน้ำท่วมใช้ข้อมูลระหว่างวันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2538 ถึง วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2538 ใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการเรียนรู้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และเหตุการณ์กราฟน้ำหลากระหว่างวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2544 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2544 ใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์ แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการทดสอบในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

3.1 ผลลัพธ์ในปีที่กราฟน้ำหลากขนาดเล็ก

3.1.1 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM

การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sidelow 3 ที่ระยะทาง 85 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษานั้นได้พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝน 3 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07013, 07062 และ 07242 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนเท่ากับ 0.5, 0.2 และ 0.3

ตามลำดับ สำหรับปริมาณการระเหยรายวันพิจารณาใช้ข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยของสถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลการประเมินกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sideflow 3 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลต่างระหว่างกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD โดยไม่พิจารณาปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างในระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึง P.1 ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากพบว่ามีความสอดคล้องกันพอสมควร โดยความสัมพันธ์ทางสถิติของกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าดังนี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.49 และ 0.09 และค่า RRMSE มีค่าเท่ากับ 0.09 และ 0.14 สำหรับการสอบเทียบ และการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ตามลำดับ โดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM แสดงดังตารางที่ 12

3.1.2 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ก. ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 24 และภาพที่ 25 โดยในการศึกษาการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากจากสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึงสถานีวัดน้ำท่า P.1 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD ได้นำกราฟน้ำหลากที่ประเมินได้โดยแบบจำลอง NAM ทั้งสองเหตุการณ์มาใช้เป็นกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้างที่ระยะทาง 85 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษา ดังแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาแล้วข้างต้น โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD แสดงดังตารางที่ 13

ข. ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 24 และภาพที่ 25 โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างของแบบจำลองเป็น 9-12-1 ประกอบด้วยหน่วยในชั้นข้อมูลด้านเข้า หน่วยในชั้นแฝง และหน่วยในชั้นแสดงผลตามลำดับ โดยโครงสร้างชั้นข้อมูลด้านเข้า 9 หน่วยประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.20 ที่เวลาย้อนหลัก 24, 25 และ 26 ชั่วโมง

ตามลำดับ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.4A ที่เวลาย้อนหลัก 23, 24 และ 25 ชั่วโมง ตามลำดับ และ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.21 ที่เวลาย้อนหลัก 12, 13 และ 14 ชั่วโมง ตามลำดับและสำหรับ ข้อมูลด้านออกคือ กราฟน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 ที่ชั่วโมงปัจจุบันที่พิจารณาสำหรับอัตราการ เรียนรู้และค่าโมเมนตัมมีค่าเท่ากับ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ

3.1.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยตัวแปรทางสถิติ

ก. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม พบว่ามีความเข้ากันได้ดีในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากันคือ 0.98 และให้ค่า Efficiency Index (EI) เท่ากับ 87.95 และ 94.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลของกราฟน้ำหลากที่มีความเข้ากันได้ดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD เพียงเล็กน้อย สำหรับช่วงตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมพบว่า กราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ดีใกล้เคียงกับกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกล่าวคือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.95 และ 0.93 ตามลำดับ สำหรับค่า EI มีค่าเท่ากับ 86.50 และ 81.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยค่าตัวแปรทางสถิติได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.1 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้ง 2 ประเภท แสดงในตารางที่ 16

ข. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำ เมื่อนำเปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่มีค่า 55.67 ลบ.ม.ต่อวินาที พบว่าในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำเป็นที่ยอมรับได้ กล่าวคือมีค่า RRMSE เท่ากับ 0.13 และ 0.09 ตามลำดับ และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ 2.92 และ 6.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่สำหรับในช่วงการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความเข้ากันได้ของสมมูลน้ำไม่ดีนัก กล่าวคือมีค่า RRMSE เท่ากับ 0.20 และ 0.23 และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ 3.46 และ 3.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ค. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด การศึกษาความสัมพันธ์ในกรณีนี้พิจารณาจากค่าปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98 % Exceedance Probability ซึ่งมีค่า 146.80 ลบ.ม.ต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่าค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการสอบเทียบของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่าน้อยกว่าช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 0.31 และ 0.42 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ที่พอยอมรับได้ สำหรับค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่าน้อยกว่าช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีค่าเท่ากับ 0.33 และ 0.81 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประเมินปริมาณการไหลสูงสุดในช่วงของการทดสอบแบบจำลองได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในช่วงของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

3.1.4 บทสรุปการเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลาก โดยแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ผลการเปรียบเทียบตัวแปรทางสถิติในตารางที่ 16 และภาพที่ 24 ถึง 25 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานของแบบจำลองทั้งสองประเภทสามารถสรุปภาพรวมของผลการประเมินกราฟน้ำหลากของแบบจำลองได้คือ กราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองของแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริง พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีกราฟน้ำหลากโดยรวมเข้ากันได้แก่กว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในกระบวนการเรียนรู้ รวมไปถึงกระบวนการทดสอบ สำหรับในกรณีของค่าสมมูลน้ำ พบว่าไม่แตกต่างกันมากนักในแบบจำลองทั้งสองประเภทในช่วงการสอบเทียบ และการเรียนรู้โดยมีค่าที่ยอมรับได้ แต่สำหรับในช่วงของการทดสอบ และการตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าไม่ดีนัก สำหรับค่าความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด $Peak_{RRMSE}$ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดแก่กว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD

ตารางที่ 16 ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี P.1 ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก

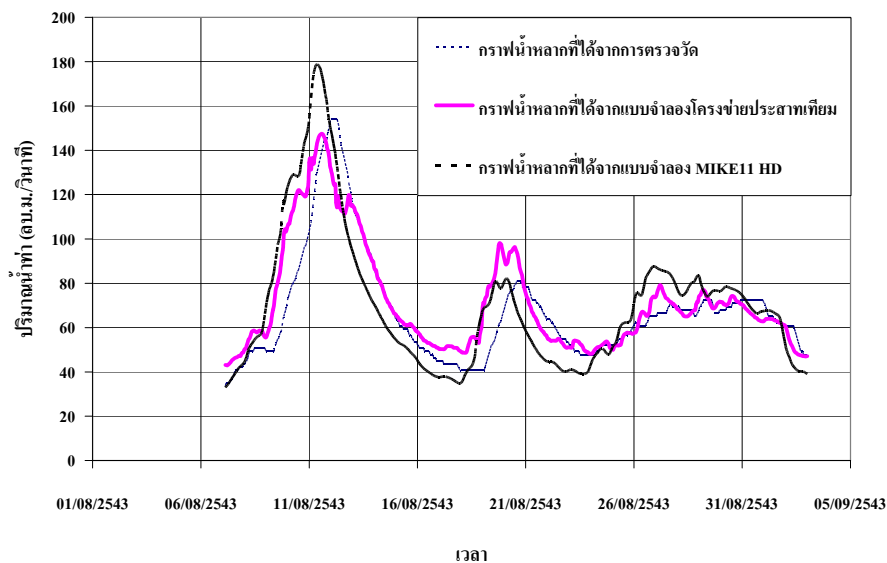
ตัวแปรทางสถิติ	แบบจำลอง MIKE 11 HD		แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	
	การสอบเทียบ	การตรวจพิสูจน์	การเรียนรู้	การทดสอบ
EI (%)	87.95	86.50	94.49	81.91
r	0.98	0.95	0.98	0.93
RRMSE	0.13	0.20	0.09	0.23
Peak _{RRMSE}	0.31	0.33	0.42	0.81
Water Balance (%)	2.92	3.46	6.09	3.59

หมายเหตุ ตัวเลขเข้มหมายถึง ค่าทางสถิติที่ดีกว่าจากการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 ประเภท โดยเปรียบเทียบการสอบเทียบกับการเรียนรู้ และการตรวจพิสูจน์กับการทดสอบ สำหรับตัวแปรทางสถิติที่พิจารณา

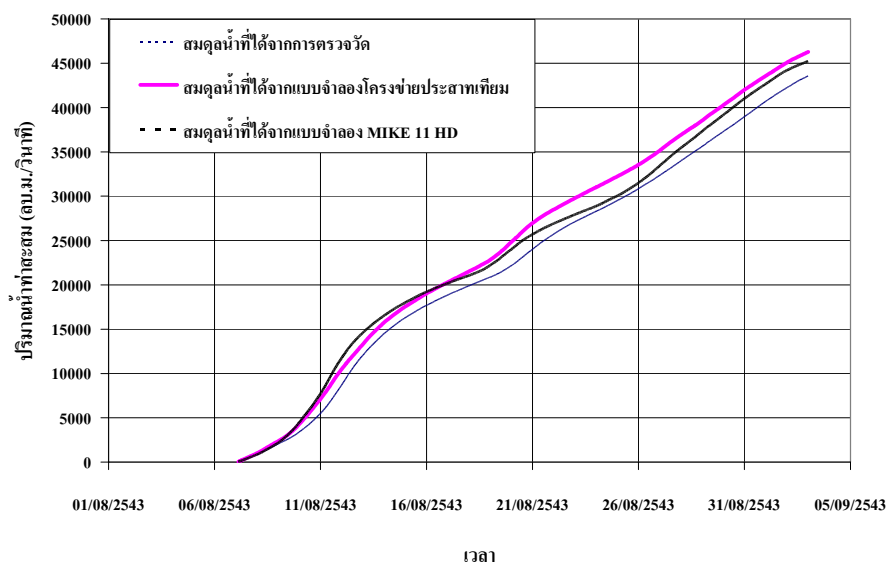
3.2 ผลลัพธ์ในปีที่กราฟน้ำหลากขนาดใหญ่

3.2.1 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM

การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sideflow 1 Sideflow 2 และ Sideflow 3 ที่ระยะทาง 25, 60 และ 85 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษานั้นได้ โดย Sideflow 1 พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝน 2 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07132 และ 07252 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนเท่ากับ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ Sideflow 2 พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝน 2 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07112 และ 07302 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนเท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ และ Sideflow 3 พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝน 3 สถานีซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07013, 07062 และ 07242 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนเท่ากับ 0.5, 0.2 และ 0.3 ตามลำดับสำหรับปริมาณการระเหยรายวันพิจารณาใช้ข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่

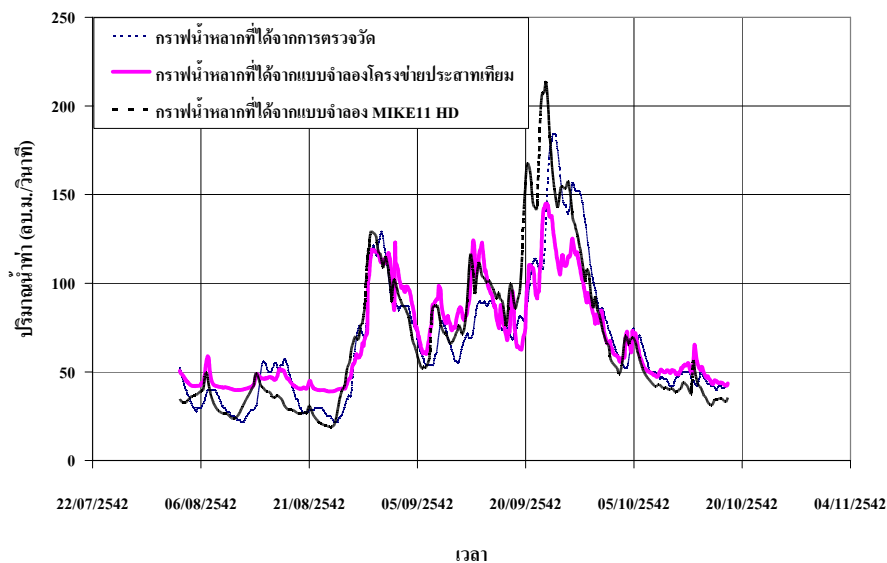


ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง

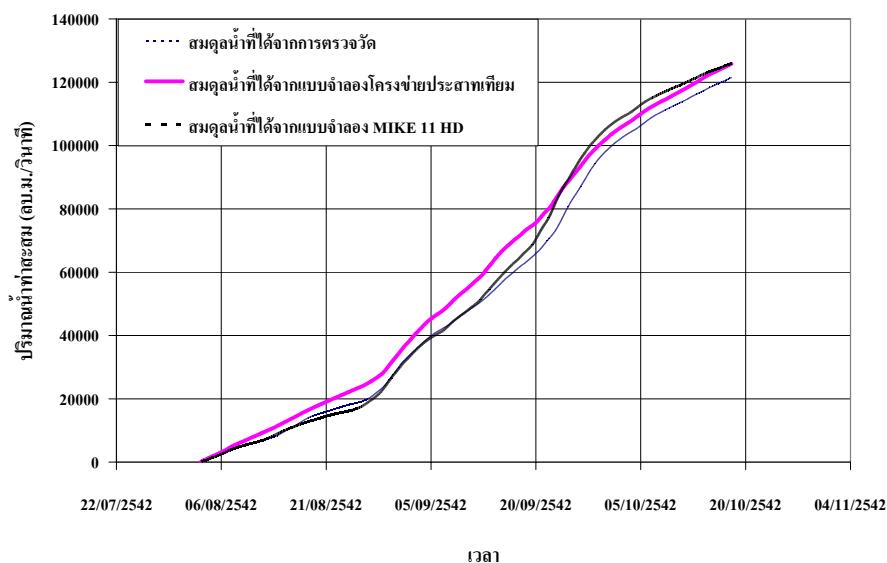


ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็กในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง



ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง



ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็กในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง

ผลการประเมินกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sideflow 1 Sideflow 2 และ Sideflow 3 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลต่างระหว่างกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD โดยไม่พิจารณาปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างในระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึง P.1 ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากพบว่ามีความสอดคล้องกันพอสมควรโดยความสัมพันธ์ทางสถิติของกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าดังนี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.32 และ 0.49 และค่า RRMSE มีค่าเท่ากับ 0.34 และ 0.20 สำหรับการสอบเทียบ และการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ตามลำดับ โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM แสดงดังตารางที่ 12

3.2.2 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ก. ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 26 และภาพที่ 27 โดยในการศึกษาการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากจากสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึงสถานีวัดน้ำท่า P.1 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD ได้นำกราฟน้ำหลากที่ประเมินได้โดยแบบจำลอง NAM ทั้งสองเหตุการณ์มาใช้เป็นกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้างที่ระยะทาง 25, 60 และ 80 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษาดังแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาแล้วข้างต้น โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD แสดงดังตารางที่ 13

ข. ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 26 และภาพที่ 27 โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างของแบบจำลองเป็น 9-12-1 ประกอบด้วยหน่วยในชั้นข้อมูลด้านเข้า หน่วยในชั้นแฝง และหน่วยในชั้นแสดงผลตามลำดับ โดยโครงสร้างชั้นข้อมูลด้านเข้า 9 หน่วยประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.20 ที่เวลาช้อนหลัก 24, 25 และ 26 ชั่วโมง ตามลำดับ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.4A ที่เวลาช้อนหลัก 23, 24 และ 25 ชั่วโมง ตามลำดับ และข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.21 ที่เวลาช้อนหลัก 12, 13 และ 14 ชั่วโมง ตามลำดับ

และสำหรับข้อมูลด้านออกคือ กราฟน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า P.1 ที่ช่วงโงมปัจจุบันที่พิจารณา สำหรับอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนต์มีค่าเท่ากับ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ

3.2.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยตัวแปรทางสถิติ

ก. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม พบว่ามีความเข้ากันได้ดีในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ได้แก่ช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) คือ 0.81 และ 0.94 ตามลำดับ และให้ค่า Efficiency Index (EI) เท่ากับ 53.48 และ 83.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลของกราฟน้ำหลากที่มีความเข้ากันได้ดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มาก สำหรับช่วงตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมพบว่า กราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ดีกว่ากราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.93 และ 0.88 ตามลำดับ สำหรับค่า EI มีค่าเท่ากับ 85.94 และ 72.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยค่าตัวแปรทางสถิติได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.1 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้ง 2 ประเภท แสดงในตารางที่ 17

ข. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำ เมื่อนำเปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่มีค่า 57.67 ลบ.ม.ต่อวินาที พบว่าในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำเป็นที่ยอมรับได้ โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมใช้ค่าดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD กล่าวคือมีค่า RRMSE เท่ากับ 0.41 และ 0.24 ตามลำดับ และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ -18.79 และ -9.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับในช่วงการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำได้ดี กล่าวคือ มีค่า RRMSE เท่ากับ 0.27 และ 0.38 และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ -0.94 และ 0.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ค. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด การศึกษาความสัมพันธ์ในกรณีนี้พิจารณาจากค่าปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98 % Exceedance Probability ซึ่งมี

ค่า 468.0 ลบ.ม.ต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่าค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการสอบเทียบของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่ามากกว่าช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 0.56 และ 0.26 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ที่พอยอมรับได้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่ามากกว่าช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยมีค่าเท่ากับ 0.69 และ 0.30 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประเมินปริมาณการไหลสูงสุดในช่วงของการทดสอบแบบจำลองได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในช่วงของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

3.2.4 บทสรุปการเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลาก โดยแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ผลการเปรียบเทียบตัวแปรทางสถิติในตารางที่ 17 และภาพที่ 26 ถึง 27 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานของแบบจำลองทั้งสองประเภทสามารถสรุปภาพรวมของผลการประเมินกราฟน้ำหลากของแบบจำลองได้คือ กราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองของแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริง พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีกราฟน้ำหลากโดยรวมเข้ากันได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในกระบวนการเรียนรู้ แต่แบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ของกราฟน้ำหลากโดยรวมในช่วงของการตรวจพิสูจน์ได้ดีกว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับในกรณีของสมมูลน้ำ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ทั้งในกระบวนการเรียนรู้ และกระบวนการตรวจพิสูจน์ สำหรับค่าความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด $Peak_{RRMSE}$ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD

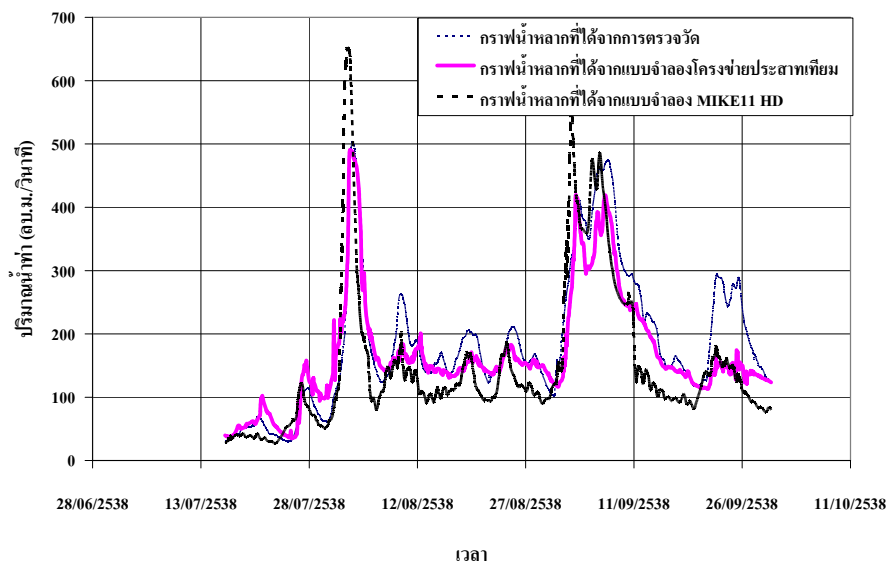
ตารางที่ 17 ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี P.1 ในปีที่เกิดน้ำหลากมีขนาดใหญ่

ตัวแปรทางสถิติ	แบบจำลอง MIKE 11 HD		แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	
	การสอบเทียบ	การตรวจพิสูจน์	การเรียนรู้	การทดสอบ
EI (%)	53.48	85.94	83.03	72.76
r	0.81	0.93	0.94	0.88
RRMSE	0.41	0.27	0.24	0.38
Peak _{RRMSE}	0.56	0.69	0.26	0.30
Water Balance (%)	-18.79	-0.94	-9.57	0.35

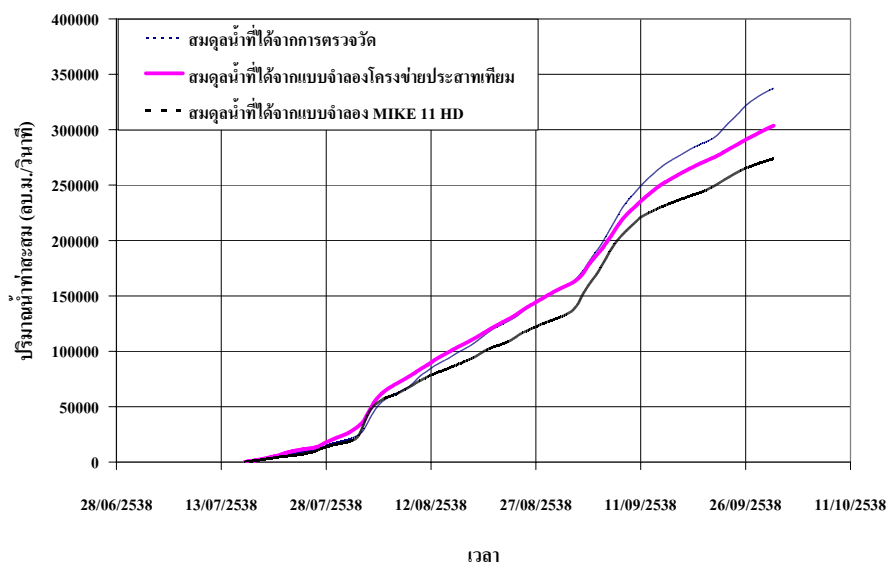
หมายเหตุ ตัวเลขเข้มหมายถึง ค่าทางสถิติที่ดีกว่าจากการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 ประเภท โดยเปรียบเทียบการสอบเทียบ กับการเรียนรู้ และการตรวจพิสูจน์กับการทดสอบ สำหรับตัวแปรทางสถิติที่พิจารณา

4. สถานีวัดน้ำท่า P.73

สถานีวัดน้ำท่า P.73 ตั้งอยู่ที่บ้านสบสอย อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ มีพื้นที่รับน้ำ 13,353 ตร.กม. และตั้งอยู่ที่ระยะทาง 199.56 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 19 สถานีวัดน้ำท่า P.73 มีช่วงสถิติข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ.2541 ถึง พ.ศ.2544 มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 2,826.83 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันเท่ากับ 89.64 ลบ.ม.ต่อวินาที โดยปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98% Exceedance Probability เท่ากับ 383.20 ลบ.ม.ต่อวินาที ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 ได้ประยุกต์ใช้เหตุการณ์กราฟน้ำหลากที่มีการไหลเฉพาะในลำน้ำจำนวนสองเหตุการณ์ โดยเหตุการณ์กราฟน้ำหลากในระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2543 ถึง วันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2543 ใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการเรียนรู้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และเหตุการณ์กราฟน้ำหลากระหว่างวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2542 ถึงวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2542 ใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการทดสอบในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ผลการศึกษา สรุปได้ดังนี้

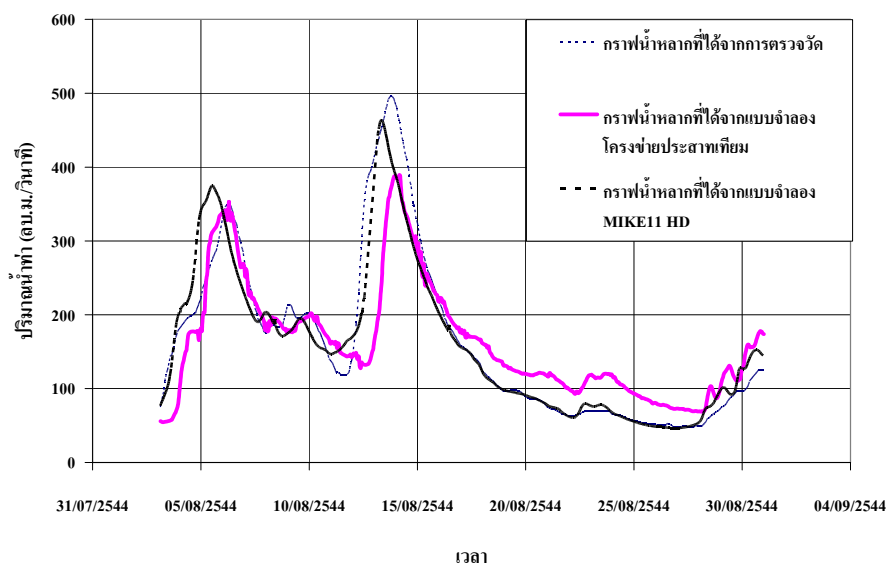


ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง

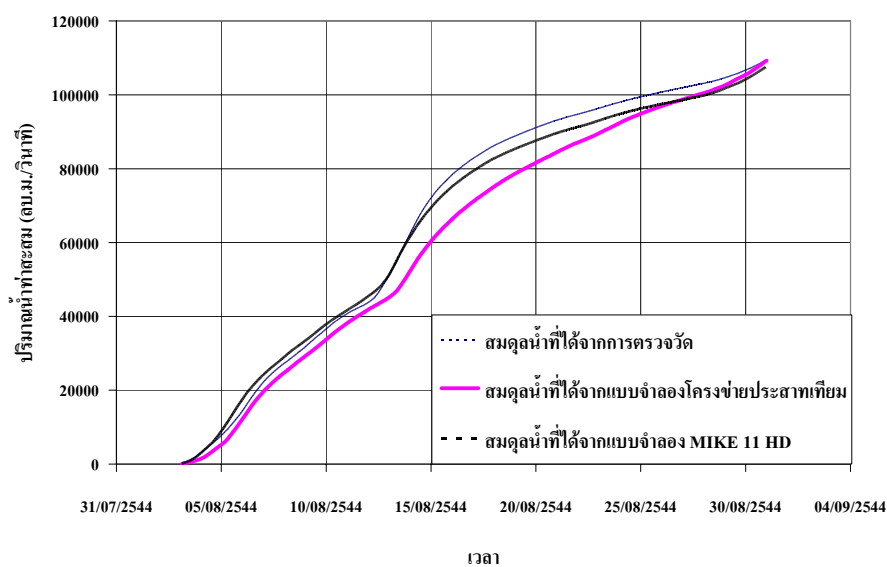


ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 26 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง



ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง



ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง

4.1 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM

การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sidelow แม่ทา ที่ระยะทางที่ 138 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิง ส่วนที่ทำการศึกษาคือพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่ทา ที่มีพื้นที่รับน้ำเท่ากับ 996 ตร.กม. พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝนจำนวนหนึ่งสถานีคือ 17042 Sidelow 4 ที่ระยะทางที่ 160 กม. พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝนจำนวนหนึ่งสถานีคือ 07182 Sidelow แม่ลี ที่ระยะทางที่ 171.35 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงส่วนที่ทำการศึกษาคือพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่ลี ที่มีพื้นที่รับน้ำเท่ากับ 2,256 ตร.กม. พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝนจำนวนสองสถานีคือ 17022 และสถานีวัดน้ำฝน 17080 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ และ Sidelow 5 ที่ระยะทางที่ 190 กม. พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝนจำนวนสองสถานีดังนี้ สถานีวัดน้ำฝน 17052 และสถานีวัดน้ำฝน 07182 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0.7 และ 0.3 ตามลำดับ สำหรับปริมาณการระเหยรายวันพิจารณาใช้ข้อมูลการระเหยจากภาคการระเหยของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน

ผลการประเมินกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลต่างระหว่างกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD โดยไม่พิจารณาปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างในระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึง P.73 ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากพบว่ามีความสอดคล้องกันพอสมควร โดยความสัมพันธ์ทางสถิติของกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าดังนี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.07 และ 0.09 และค่า RRMSE มีค่าเท่ากับ 0.42 และ 0.05 สำหรับการสอบเทียบ และการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ตามลำดับ โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM แสดงดังตารางที่ 12

4.2 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 28 และภาพที่ 29 โดยในการศึกษาการ

เคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากจากสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึงสถานีวัดน้ำ P.73 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD ได้นำกราฟน้ำหลากที่ประเมินได้โดยแบบจำลอง NAM ทั้งสองเหตุการณ์มาใช้เป็นกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้างที่ระยะทาง 138, 160, 171.35 และ 190 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษาดังแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาลแล้วข้างต้น โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD แสดงดังตารางที่ 13

4.2.2 ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 28 และภาพที่ 29 โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างของแบบจำลองเป็น 12-14-1 ประกอบด้วยหน่วยในชั้นข้อมูลด้านเข้า หน่วยในชั้นแฝง และหน่วยในชั้นแสดงผลตามลำดับ โดยโครงสร้างชั้นข้อมูลด้านเข้า 12 หน่วยประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1 ที่เวลาย้อนหลัก 12, 13 และ 14 ชั่วโมง ตามลำดับ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.69 ที่เวลาย้อนหลัก 30, 31 และ 32 ชั่วโมง ตามลำดับ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.71 ที่เวลาย้อนหลัก 26, 27 และ 28 ชั่วโมง ตามลำดับ และข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.24A ที่เวลาย้อนหลัก 20, 21 และ 22 ชั่วโมง ตามลำดับ และสำหรับข้อมูลด้านออกคือ กราฟน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า P.73 ที่ชั่วโมงปัจจุบันที่พิจารณาสำหรับอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนตัมมีค่าเท่ากับ 0.2 และ 0.6 ตามลำดับ

4.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยตัวแปรทางสถิติ

4.3.1 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม พบว่ามีความเข้ากันได้ดีในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) คือ 0.92 และ 0.89 ตามลำดับ และให้ค่า Efficiency Index (EI) เท่ากับ 51.20 และ 76.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลของกราฟน้ำหลากที่มีความเข้ากันได้ดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD เพียงเล็กน้อย สำหรับช่วงตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมพบว่า กราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ดีใกล้เคียงกับกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกล่าวคือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.96 และ 0.94 ตามลำดับ สำหรับค่า EI มีค่าเท่ากับ 92.30 และ 76.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากผล

การศึกษาตัวแปรทางสถิติ r และ EI พบว่ามีความขัดแย้งกันพอสมควรกล่าวคือ ค่า r ที่สูงไม่จำเป็นต้องใช้ค่า EI สูงตามเสมอไป โดยค่าตัวแปรทางสถิติได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า P.73 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้ง 2 ประเภท แสดงในตารางที่ 18

4.3.2 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำ เมื่อนำเปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่มีค่า 89.64 ลบ.ม.ต่อวินาที พบว่าในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำเป็นที่ยอมรับได้ กล่าวคือมีค่า RRMSE เท่ากับ 0.31 และ 0.19 ตามลำดับ และความแตกต่างของค่าสมมูลน้ำเท่ากับ -24.20 และ -7.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับในช่วงการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความเข้ากันได้ของสมมูลน้ำไม่ดีพอ กล่าวคือ มีค่า RRMSE เท่ากับ 0.14 และ 0.25 และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ -4.63 และ 5.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.3.3 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด การศึกษาความสัมพันธ์ในกรณีนี้พิจารณาจากค่าปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98 % Exceedance Probability ซึ่งมีค่า 383.20 ลบ.ม.ต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่าค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการสอบเทียบของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่ามากกว่าช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีค่าเท่ากับ 0.33 และ 0.14 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ที่พอยอมรับได้ สำหรับค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่ามากกว่าช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีค่าเท่ากับ 0.59 และ 0.07 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประเมินปริมาณการไหลสูงสุดในช่วงของการทดสอบแบบจำลองได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในช่วงของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

4.4 บทสรุปการเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

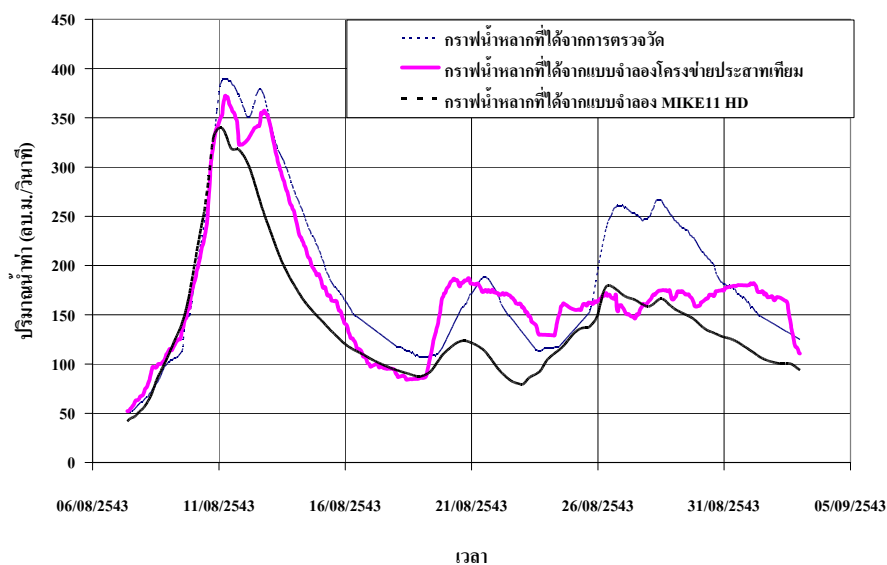
ผลการเปรียบเทียบตัวแปรทางสถิติในตารางที่ 18 และภาพที่ 28 ถึง 29 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานของแบบจำลองทั้งสองประเภทสามารถสรุปภาพรวมของผลการ

ประเมินกราฟน้ำหลากของแบบจำลองได้คือ กราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองของแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริง พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีกราฟน้ำหลากโดยรวมเข้ากันได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในกระบวนการเรียนรู้ แต่แบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ของกราฟน้ำหลากโดยรวมในช่วงของการตรวจพิสูจน์ได้ดีกว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับในกรณีของสมมูลน้ำ พบว่ามีความแตกต่างกันมากในแบบจำลองทั้งสองประเภท ในช่วงการเรียนรู้ แต่ช่วงของการทดสอบมีค่าที่ยอมรับได้ สำหรับค่าความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด $Peak_{RRMSE}$ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD

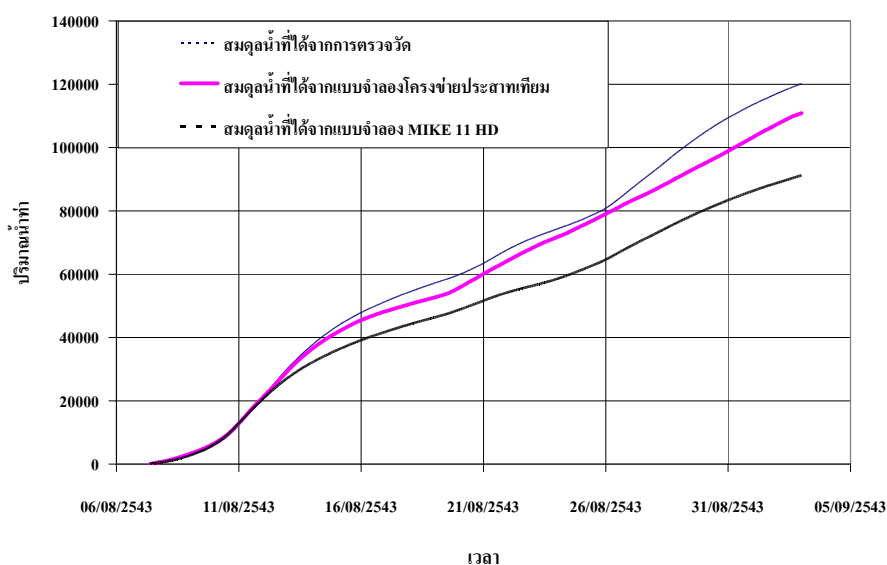
ตารางที่ 18 ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี P.73

ตัวแปรทางสถิติ	แบบจำลอง MIKE 11 HD		แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	
	การสอบเทียบ	การตรวจพิสูจน์	การเรียนรู้	การทดสอบ
EI (%)	56.20	92.30	76.75	76.27
r	0.92	0.96	0.89	0.94
RRMSE	0.31	0.14	0.19	0.25
$Peak_{RRMSE}$	0.33	0.59	0.14	0.07
Water Balance (%)	-24.20	-4.63	-7.75	5.38

หมายเหตุ ตัวเลขเข้มหมายถึง ค่าทางสถิติที่ดีกว่าจากการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 ประเภท โดยเปรียบเทียบการสอบเทียบ กับการเรียนรู้ และการตรวจพิสูจน์กับการทดสอบ สำหรับตัวแปรทางสถิติที่พิจารณา

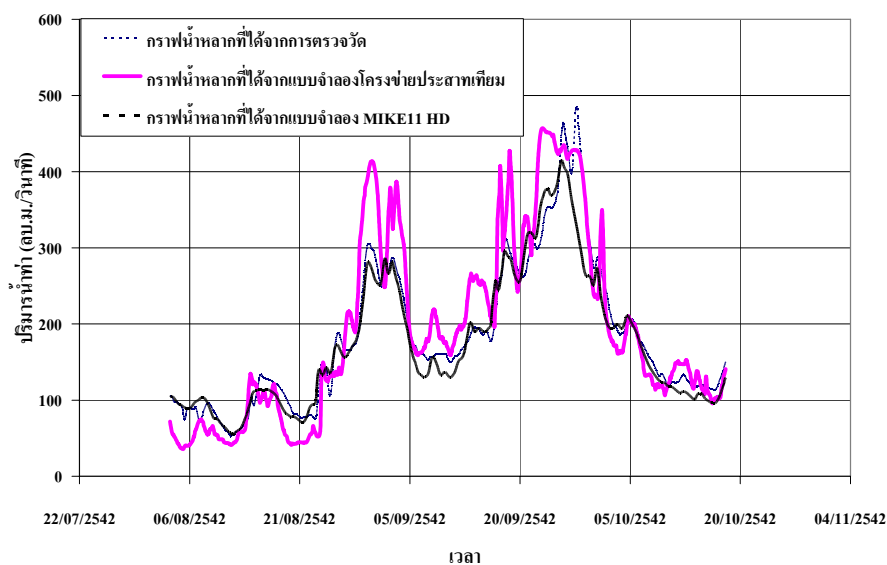


ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง

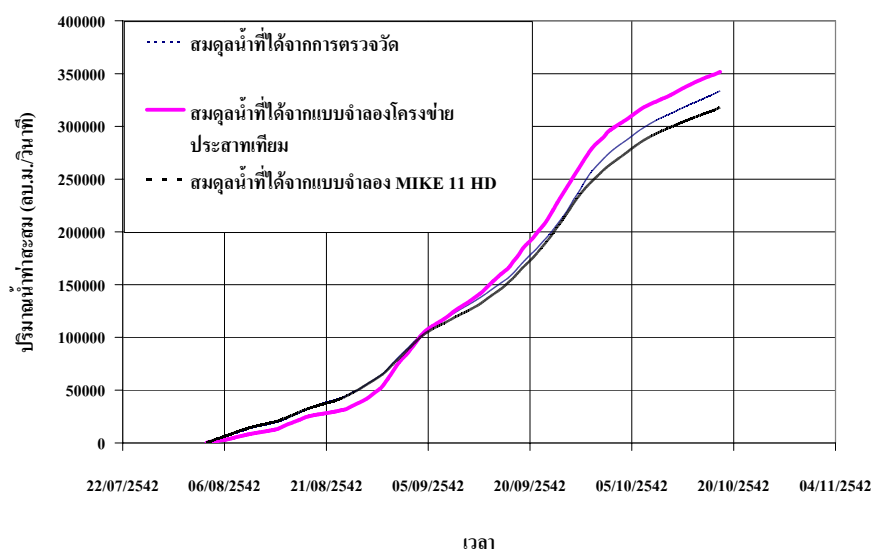


ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 28 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.73 ในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง



ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง



ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 29 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า P.73 ในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง

5. สถานีวัดน้ำท่า PE.2

สถานีวัดน้ำท่า PE.2 ตั้งอยู่ที่บ้านกองหิน อ.ฮอด จ.เชียงใหม่ มีพื้นที่รับน้ำ 18,932 ตร.กม. และตั้งอยู่ที่ระยะทาง 216.15 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษาดังแสดง ในภาพที่ 19 สถานีวัดน้ำท่า PE.2 มีช่วงสถิติข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ.2513 ถึง พ.ศ.2544 มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 3,895.25 ล้าน ลบ.ม. โดยปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98% Exceedance Probability เท่ากับ 373.96 ลบ.ม.ต่อวินาทีในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก และมีค่าเท่ากับ 1,225.02 ลบ.ม.ต่อวินาทีในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2 ได้ประยุกต์ใช้เหตุการณ์กราฟน้ำหลากที่มีการไหลในลำน้ำและบริเวณทุ่งน้ำท่วมจำนวนสี่เหตุการณ์ โดยเหตุการณ์กราฟน้ำหลากในระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2543 ถึง วันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2543 ใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการเรียนรู้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และเหตุการณ์กราฟน้ำหลากระหว่างวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2542 ถึงวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2542 ใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์ แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการทดสอบในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก และเหตุการณ์กราฟน้ำหลากที่มีการไหลลดลงสู่ทุ่งน้ำท่วมใช้ข้อมูลระหว่างวันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2538 ถึง วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2538 ใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการเรียนรู้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และเหตุการณ์กราฟน้ำหลากระหว่างวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2544 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2544 ใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์ แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลอง NAM และการทดสอบในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ ผลการศึกษา สรุปได้ดังนี้

5.1 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก

5.1.1 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM

การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sideflow 6 ที่ระยะทาง 210 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษานั้นได้ พิจารณาเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝน 2 สถานีซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07152 และ 07282 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนเท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ

สำหรับปริมาณการระเหยรายวันพิจารณาใช้ข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยของสถานี อุตุณิยวิทยาจังหวัดเชียงใหม่

ผลการประเมินกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง Sidelow 6 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลต่างระหว่างกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD โดยไม่พิจารณาปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างในระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึง PE.2 ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากพบว่ามีความสอดคล้องกันพอสมควร โดยความสัมพันธ์ทางสถิติของกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าดังนี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.49 และ 0.16 และค่า RRMSE มีค่าเท่ากับ 0.11 และ 0.08 สำหรับการสอบเทียบ และการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ตามลำดับ โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM แสดงดังตารางที่ 12

5.1.2 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ก. ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 30 และภาพที่ 31 โดยในการศึกษาการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากจากสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึงสถานีวัดน้ำท่า PE.2 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD ได้นำกราฟน้ำหลากที่ประเมินได้โดยแบบจำลอง NAM มาใช้เป็นกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้างที่ระยะทาง 210 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษา ดังแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาแล้วข้างต้น โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD แสดงดังตารางที่ 13

ข. ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 30 และภาพที่ 31 โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างของแบบจำลองเป็น 3-3-1 ประกอบด้วยหน่วยในชั้นข้อมูลด้านเข้า หน่วยในชั้นแฝง และหน่วยในชั้นแสดงผลตามลำดับ โดยโครงสร้างชั้นข้อมูลด้านเข้า 3 หน่วยประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1 ที่เวลาย้อนหลัง 1 วัน ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่

สถานี P.69 ที่เวลาช้อนหลัก 1 วัน และข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.24A ที่เวลาช้อนหลัก 1 วัน สำหรับข้อมูลด้านออกคือ กราฟน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2 ที่วันปัจจุบันที่พิจารณาสำหรับ อัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนต์มีค่าเท่ากับ 0.2 และ 0.7 ตามลำดับ

5.1.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยตัวแปรทางสถิติ

ก. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม พบว่ามีความเข้ากันได้ดีในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) คือ 0.79 และ 0.92 ตามลำดับ และให้ค่า Efficiency Index (EI) เท่ากับ 53.90 และ 84.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลของ กราฟน้ำหลากที่มีความเข้ากันได้ดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มาก สำหรับช่วงตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมพบว่ากราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้ใกล้เคียงกับกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกล่าวคือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.95 และ 0.91 ตามลำดับ สำหรับค่า EI มีค่าเท่ากับ 88.37 และ 89.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยค่าตัวแปรทางสถิติได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้ง 2 ประเภท แสดงในตารางที่ 19

ข. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำ พบว่าในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำเป็นที่ยอมรับได้ กล่าวคือมีค่า RRMSE เท่ากับ 0.25 และ 0.13 ลบ.ม.ต่อวินาที ตามลำดับ และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ -6.31 และ 0.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับในช่วงการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำดีพอประมาณกล่าวคือ มีค่า RRMSE เท่ากับ 0.13 และ 0.12 และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ 4.10 และ 0.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ค. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด การศึกษาความสัมพันธ์ในกรณีนี้พิจารณาจากค่าปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98 % Exceedance Probability ซึ่งมีค่า 373.96 ลบ.ม.ต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่าค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการสอบเทียบของแบบจำลอง

MIKE 11 HD ให้ค่าดีกว่าช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยมีค่าเท่ากับ 0.02 และ 0.42 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ที่พอยอมรับได้ สำหรับค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่ามากกว่าช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีค่าเท่ากับ 0.61 และ 0.04 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประเมินปริมาณการไหลสูงสุดในช่วงของการทดสอบแบบจำลองได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในช่วงของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

5.1.4 บทสรุปการเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ผลการเปรียบเทียบตัวแปรทางสถิติในตารางที่ 19 และภาพที่ 30 ถึง 31 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานของแบบจำลองทั้งสองประเภทสามารถสรุปภาพรวมของผลการประเมินกราฟน้ำหลากของแบบจำลองได้คือ กราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองของแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริง พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีกราฟน้ำหลากโดยรวมเข้ากันได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในกระบวนการเรียนรู้และกระบวนการทดสอบสำหรับในกรณีของสมดุลงน้ำ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมใช้ได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ทั้งกระบวนการเรียนรู้และกระบวนการทดสอบ สำหรับค่าความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด $Peak_{RRMSE}$ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD

ตารางที่ 19 ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี PE.2 ในปีที่กราฟน้ำท่ามีขนาดเล็ก

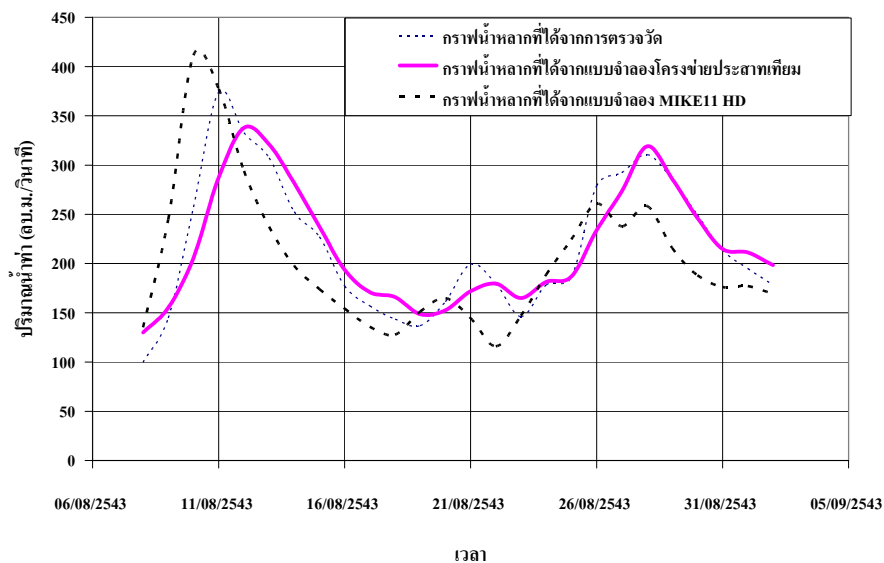
ตัวแปรทางสถิติ	แบบจำลอง MIKE 11 HD		แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	
	การสอบเทียบ	การตรวจพิสูจน์	การเรียนรู้	การทดสอบ
EI (%)	53.90	88.37	84.99	89.79
r	0.79	0.95	0.92	0.91
RRMSE	0.25	0.13	0.13	0.12
Peak _{RRMSE}	0.02	0.61	0.42	0.04
Water Balance (%)	-6.31	4.10	0.32	0.57

หมายเหตุ ตัวเลขเข้มหมายถึง ค่าทางสถิติที่ดีกว่าจากการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 ประเภท โดยเปรียบเทียบการสอบเทียบ กับการเรียนรู้ และการตรวจพิสูจน์กับการทดสอบ สำหรับตัวแปรทางสถิติที่พิจารณา

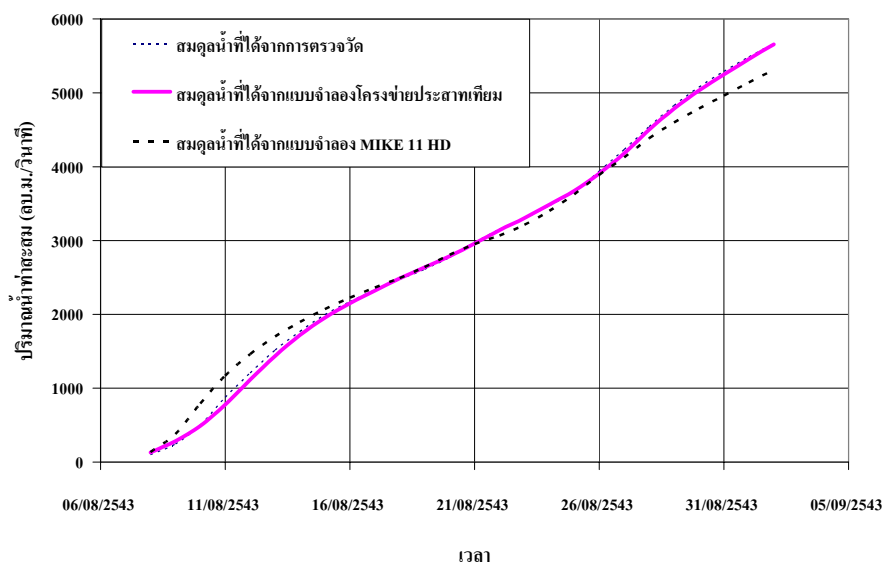
5.2 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่

5.2.1 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM

การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง ที่ระยะทาง 138 กม. (ลุ่มน้ำย่อยแม่ทา) 148.4 กม. (ลุ่มน้ำย่อยแม่ขาน) 160 กม. 171.35 กม. (ลุ่มน้ำย่อยแม่ลิ) และ 190.00 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษา สามารถเลือกใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีผลต่อการคำนวณหาปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง ดังนี้ที่ระยะทาง 138 กม. ประกอบด้วยสถานีวัดน้ำฝนสองสถานีคือ สถานีวัดน้ำฝน 17022 และ สถานี 17080 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนมีค่าเท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ และสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้า ด้านข้างที่ระยะทาง 190.00 กม. ประกอบด้วยสถานีวัดน้ำฝนสองสถานีคือ สถานีวัดน้ำฝน 17052 และสถานี 07182 ซึ่งค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนมีค่าเท่ากับ 0.7 และ 0.3 ตามลำดับ สำหรับปริมาณการระเหยรายวันพิจารณาใช้ข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน

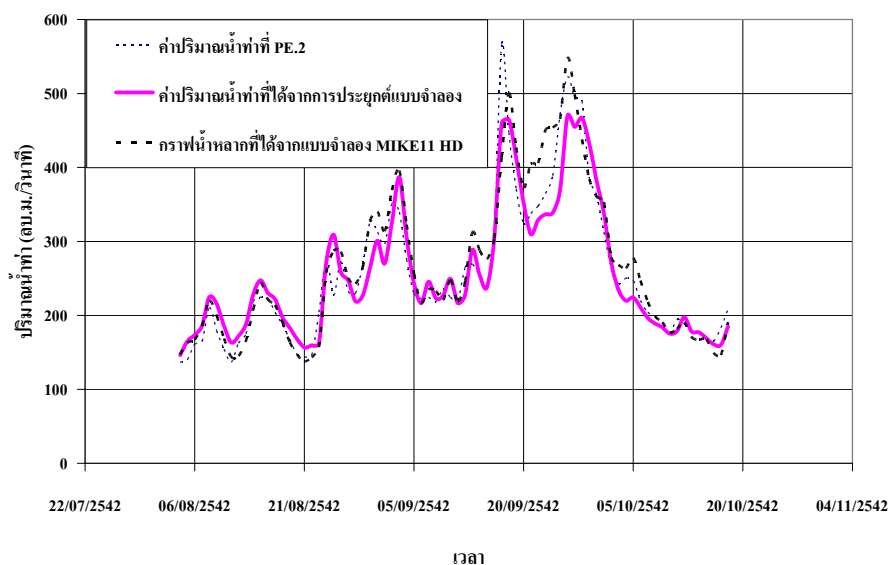


ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง

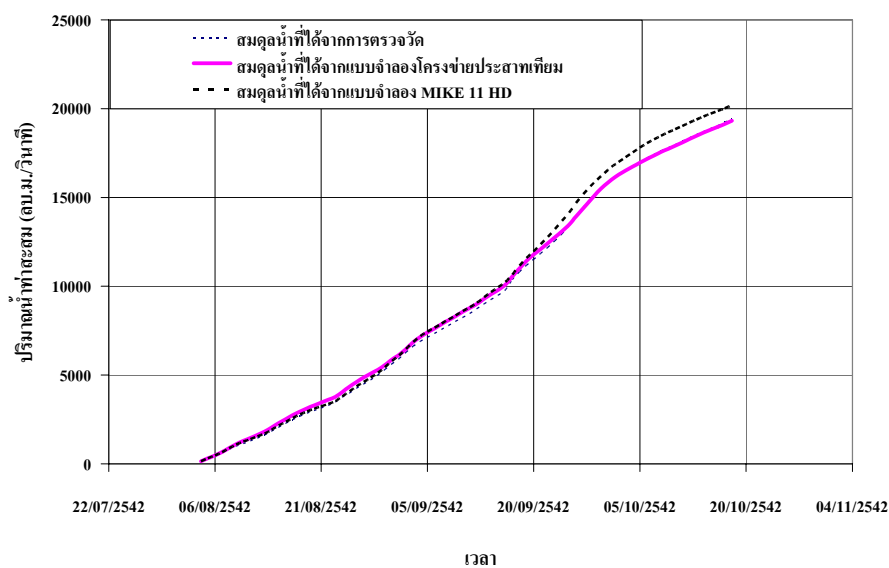


ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 30 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็กในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง



ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง



ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็กในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง

ผลการประเมินกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้าง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง NAM ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลต่างระหว่างกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริงที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD โดยไม่พิจารณาปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างในระหว่างสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึง PE.2 ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากพบว่ามีความสอดคล้องกันพอสมควร โดยความสัมพันธ์ทางสถิติของกราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าดังนี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.72 และ 0.59 และค่า RRMSE มีค่าเท่ากับ 0.16 และ 0.27 สำหรับการสอบเทียบ และการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ตามลำดับ โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM แสดงดังตารางที่ 12

5.2.2 การสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ก. ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 32 และภาพที่ 33 โดยในการศึกษาการเคลื่อนตัวของกราฟน้ำหลากจากสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึงสถานีวัดน้ำ PE.2 โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD ได้นำกราฟน้ำหลากที่ประเมินได้โดยแบบจำลอง NAM ทั้งสองเหตุการณ์มาใช้เป็นกราฟน้ำหลากที่ไหลเข้าด้านข้างที่ระยะทาง 138, 148.40, 160, 171.35 และ 190 กม. ตามแผนภูมิการไหลของแม่น้ำปิงในส่วนที่ทำการศึกษาดังแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาแล้วข้างต้น โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD แสดงดังตารางที่ 13

ข. ผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายวันที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมมูลน้ำสำหรับเหตุการณ์กราฟน้ำหลากทั้งสองเหตุการณ์แสดงในภาพที่ 32 และภาพที่ 33 โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างของแบบจำลองเป็น 3-3-1 ประกอบด้วยหน่วยในชั้นข้อมูลด้านเข้า หน่วยในชั้นแฝง และหน่วยในชั้นแสดงผลตามลำดับ โดยโครงสร้างชั้นข้อมูลด้านเข้า 3 หน่วยประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1 ที่เวลาย้อนหลัง 1 วัน ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.69 ที่เวลาย้อนหลัง 1 วัน และข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.24A ที่เวลาย้อนหลัง 1 วัน สำหรับข้อมูลด้านออกคือ กราฟน้ำหลากที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2 ที่วันปัจจุบันที่พิจารณาสำหรับอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนตัมมีค่าเท่ากับ 0.2 และ 0.7 ตามลำดับ

5.2.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยตัวแปรทางสถิติ

ก. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม พบว่ามีความเข้ากันได้ดีในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กล่าวคือ ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ใกล้เคียงกันคือ 0.90 และ 0.98 ตามลำดับ และให้ค่า Efficiency Index (EI) เท่ากับ 72.48 และ 96.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลของกราฟน้ำหลากที่มีความเข้ากันได้ดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มาก สำหรับช่วงตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมพบว่า กราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD มีความเข้ากันได้น้อยกว่ากราฟน้ำหลากที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกล่าวคือ ค่า r มีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.90 ตามลำดับ สำหรับค่า EI มีค่าเท่ากับ 72.14 และ 78.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยค่าตัวแปรทางสถิติได้จากการเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้ง 2 ประเภท แสดงในตารางที่ 19

ข. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำ พบว่าในช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD และการเรียนรู้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความเข้ากันได้ดีของสมมูลน้ำเป็นที่ยอมรับได้ กล่าวคือมีค่า RRMSE เท่ากับ 0.19 และ 0.08 ตามลำดับ และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ -3.42 และ 4.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่สำหรับในช่วงการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง MIKE 11 HD และการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความเข้ากันได้ของสมมูลน้ำดีพอใช้กล่าวคือ มีค่า RRMSE เท่ากับ 0.33 และ 0.30 และความแตกต่างของสมมูลน้ำเท่ากับ 4.49 และ -8.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ค. การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด การศึกษาความสัมพันธ์ในกรณีนี้พิจารณาจากค่าปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98 % Exceedance Probability ซึ่งมีค่า 1,225.02 ลบ.ม.ต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่าค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการสอบเทียบของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่ามากกว่าช่วงการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 0.09 และ 0.08 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับค่า $Peak_{RRMSE}$ ของช่วงการตรวจพิสูจน์ของแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่ามากกว่าช่วงการทดสอบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีค่าเท่ากับ 0.80 และ

0.70 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประเมินปริมาณการไหลสูงสุดในช่วงของการทดสอบแบบจำลองได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในช่วงของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

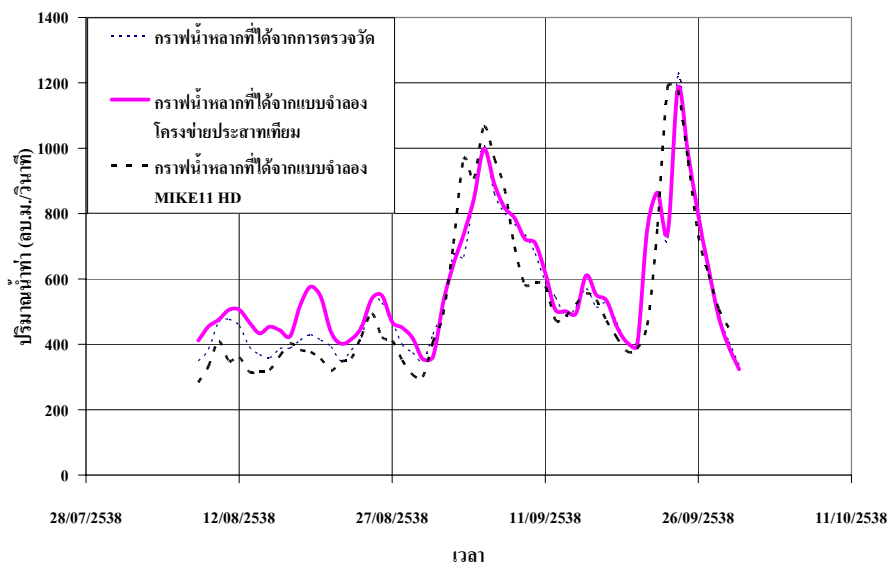
5.2.4 บทสรุปการเปรียบเทียบผลการประเมินกราฟน้ำหลากโดยแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ผลการเปรียบเทียบตัวแปรทางสถิติในตารางที่ 19 และภาพที่ 32 ถึง 33 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานของแบบจำลองทั้งสองประเภทสามารถสรุปภาพรวมของผลการประเมินกราฟน้ำหลากของแบบจำลองได้คือ กราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองของแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริง พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีกราฟน้ำหลากโดยรวมเข้ากันได้ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ในกระบวนการเรียนรู้และกระบวนการทดสอบสำหรับในกรณีของค่าสมมูลน้ำ พบว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่าดีกว่าทั้งในกระบวนการสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์ สำหรับค่าความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด $Peak_{RRMSE}$ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดดีกว่าที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD

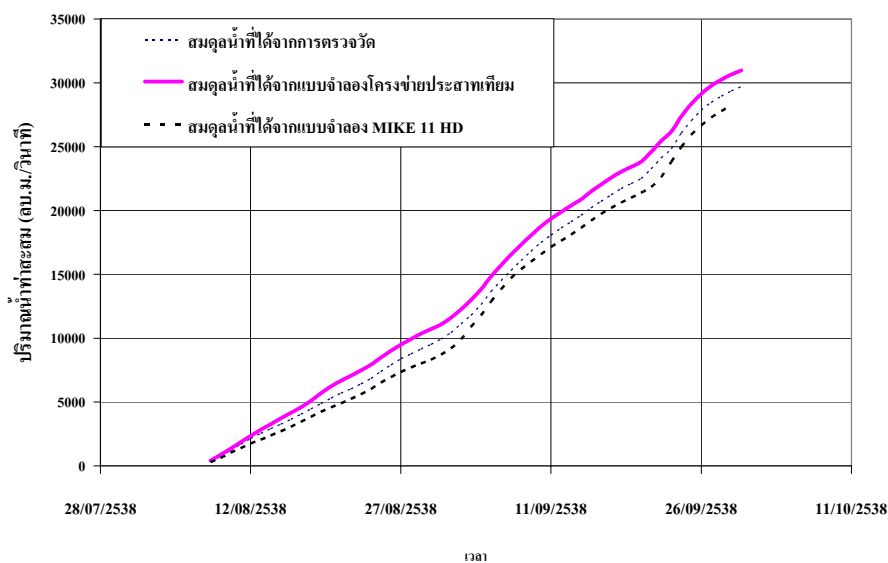
ตารางที่ 20 ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดของสถานี PE.2 ในปีที่กราฟน้ำท่ามีขนาดใหญ่

ตัวแปรทางสถิติ	แบบจำลอง MIKE 11 HD		แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	
	การสอบเทียบ	การตรวจพิสูจน์	การเรียนรู้	การทดสอบ
EI (%)	72.48	72.14	96.54	78.14
r	0.90	0.85	0.98	0.90
RMSE/MEAN	0.19	0.33	0.08	0.30
Peak _{RMSE} /MEAN	0.09	0.80	0.08	0.70
Water Balance (%)	-3.42	4.49	4.13	-8.95

หมายเหตุ ตัวเลขเข้มหมายถึง ค่าทางสถิติที่ดีกว่าจากการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 ประเภท โดยเปรียบเทียบการสอบเทียบ กับการเรียนรู้ และการตรวจพิสูจน์กับการทดสอบ สำหรับตัวแปรทางสถิติที่พิจารณา

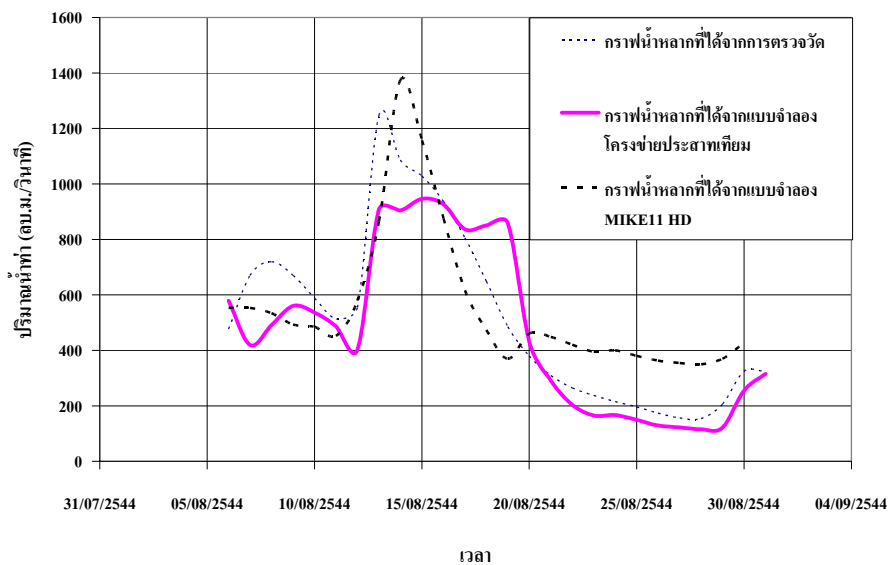


ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง

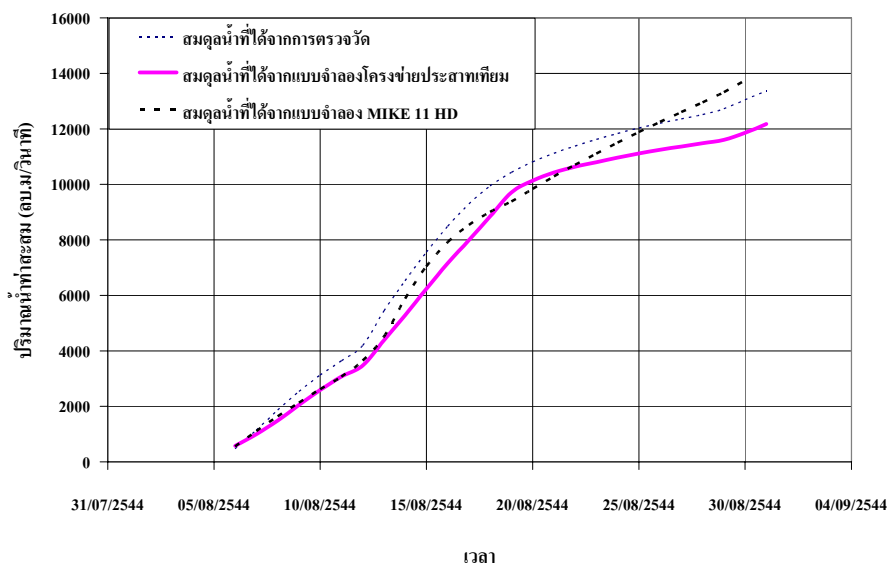


ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

ภาพที่ 32 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ในการสอบเทียบ (เรียนรู้) แบบจำลอง



ก. การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากรายชั่วโมง



ข. การเปรียบเทียบสมมูลน้ำ

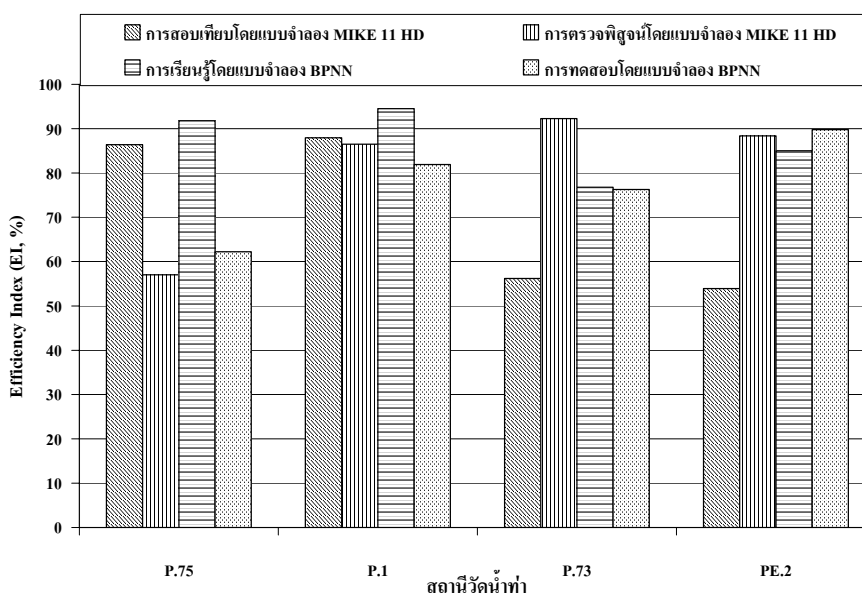
ภาพที่ 33 การเปรียบเทียบกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัด กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และการเปรียบเทียบสมมูลน้ำของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 ปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่ในการตรวจพิสูจน์ (ทดสอบ) แบบจำลอง

**การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลอง
MIKE 11 HD ในการพยากรณ์กราฟน้ำหลากรายชั่วโมงของสถานีวัดน้ำท่า โดยใช้ค่าทางสถิติ**

1. ผลการประเมินกราฟน้ำหลากขนาดเล็กที่มีการไหลเฉพาะในลำน้ำ

1.1 ค่า Efficiency Index (EI)

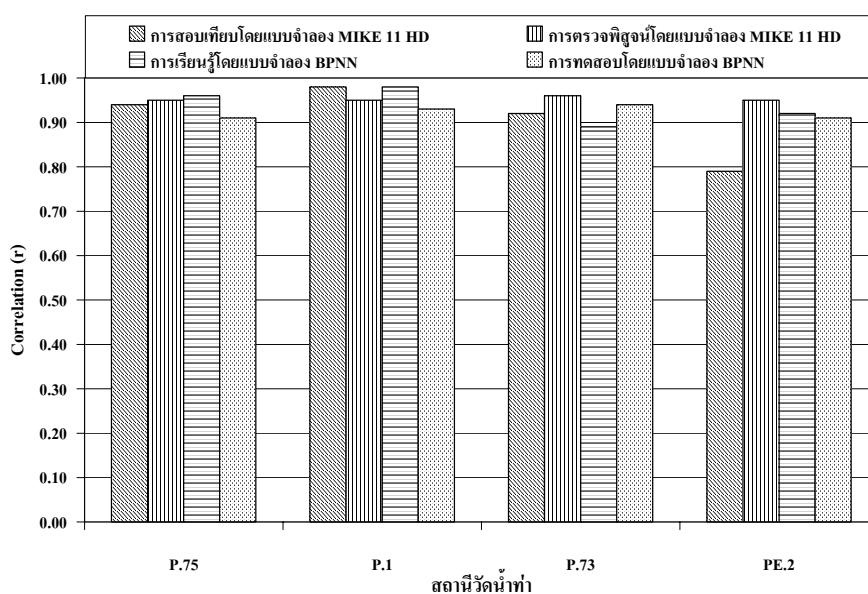
ค่า Efficiency Index เป็นค่าทางสถิติตัวหนึ่ง que แสดงถึงการพิจารณาความเข้ากันได้
ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม จากผลการศึกษาสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า EI ได้ดังตาราง
ที่ 21 และในภาพที่ 34 โดยค่า EI ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าสูงกว่าแบบจำลอง
MIKE 11 HD โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า EI อยู่ระหว่าง 62.22 เปอร์เซ็นต์ ถึง
94.49 เปอร์เซ็นต์ แต่แบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่า EI อยู่ระหว่าง 53.90 เปอร์เซ็นต์ ถึง 92.30
เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 34 ค่า Efficiency Index ในปีทีกราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก

1.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) เป็นค่าทางสถิติตัวหนึ่ง que แสดงถึงการพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม จากผลการศึกษสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า r ได้ดังตารางที่ 21 และในภาพที่ 35 โดยค่า r ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า r อยู่ระหว่าง 0.89 ถึง 0.98 และแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.79 ถึง 0.98 ตามลำดับ



ภาพที่ 35 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) ในปีทีกราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก

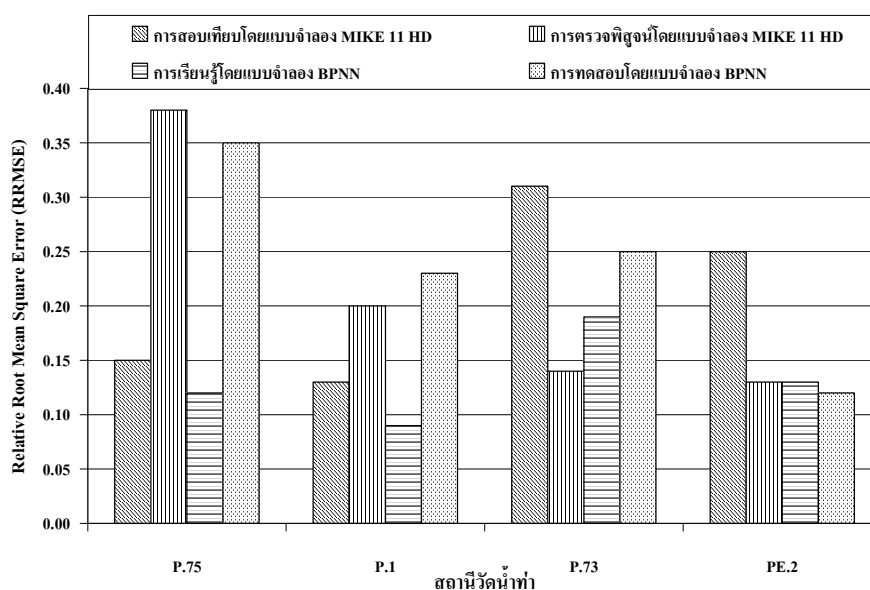
1.3 ค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE)

ค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE) เป็นค่าทางสถิติตัวหนึ่ง que แสดงถึงการพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำ จากผลการศึกษสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า RRMSE ได้ดังตารางที่ 21 และในภาพที่ 36 จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า RRMSE ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า

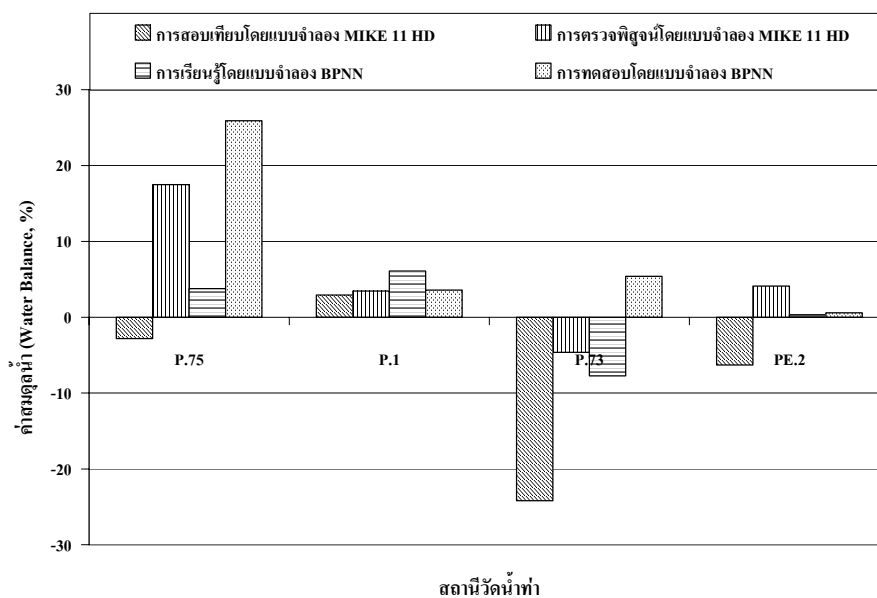
RRMSE อยู่ในช่วงระหว่าง 0.09 ถึง 0.35 และแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่า RRMSE อยู่ในช่วงระหว่าง 0.13 ถึง 0.38 ตามลำดับ

1.4 ค่าสมดุลน้ำ (Water Balance)

ค่าสมดุลน้ำ (Water Balance) เป็นค่าทางสถิติตัวหนึ่ง que แสดงถึงการพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมดุลน้ำ จากผลการศึกษาสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสมดุลน้ำได้ดังตารางที่ 21 และในภาพที่ 37 โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมใช้ค่าที่ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ค่อนข้างเห็นได้อย่างชัดเจน โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าสมดุลน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง -7.75 เปอร์เซ็นต์ ถึง 25.91 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่าสมดุลน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง -24.20 เปอร์เซ็นต์ ถึง 17.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



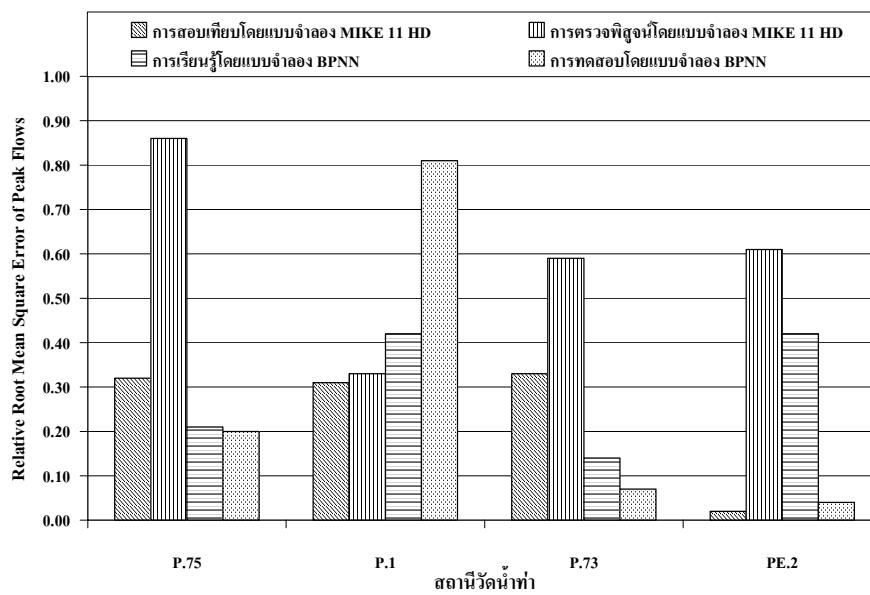
ภาพที่ 36 ค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE) ในปีทีกราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก



ภาพที่ 37 ค่าสมดุลน้ำ (Water Balance) ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็ก

1.5 ค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$)

ค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$) เป็นค่าทางสถิติตัวหนึ่งซึ่งแสดงถึงการพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด จากผลการศึกษาสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสมดุลน้ำได้ดังตารางที่ 21 และในภาพที่ 38 พบว่าโดยภาพรวมแล้วแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า $Peak_{RRMSE}$ ใกล้เคียงกับแบบจำลอง MIKE 11 HD โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า $Peak_{RRMSE}$ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.04 ถึง 0.81 และแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่า $Peak_{RRMSE}$ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.02 ถึง 0.86 ตามลำดับ



ภาพที่ 38 ค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$) ในปีที่กราฟน้ำหลากขนาดเล็ก

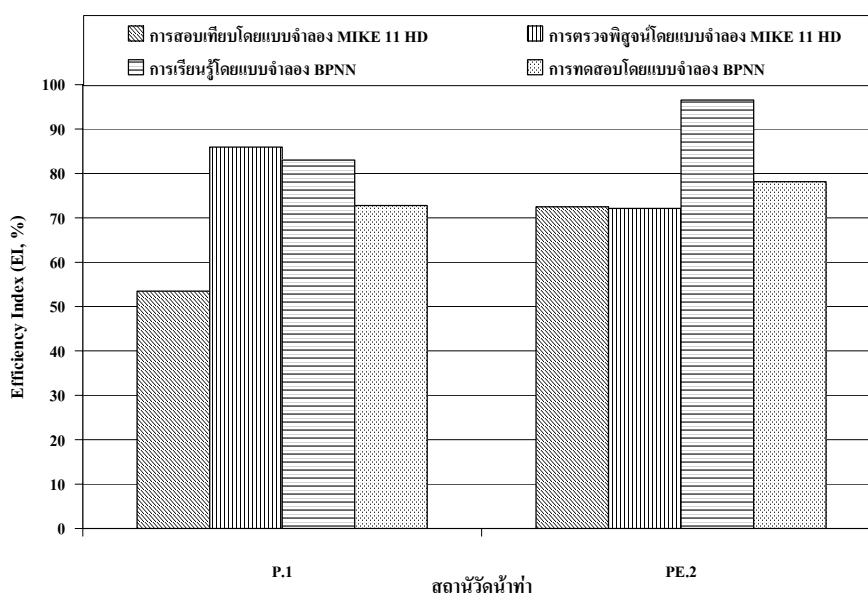
ตารางที่ 21 ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดในปีที่กราฟน้ำท่ามีขนาดเล็ก

ค่าตัวแปรทาง สถิติ	แบบจำลอง	สถานีวัดน้ำท่า									
		P.75		P.67		P.1		P.73		PE.2	
		สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์	สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์	สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์	สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์	สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์
EI (%)	MIKE 11 HD	86.38	57.03	85.19	64.3	87.95	86.5	56.2	92.3	53.9	88.37
	BPNN	91.74	62.22	-	-	94.49	81.91	76.75	76.27	84.99	89.79
Correlation (r)	MIKE 11 HD	0.94	0.95	0.97	0.81	0.98	0.95	0.92	0.96	0.79	0.95
	BPNN	0.96	0.91	-	-	0.98	0.93	0.89	0.94	0.92	0.91
RRMSE	MIKE 11 HD	0.15	0.38	0.15	0.55	0.13	0.2	0.31	0.14	0.25	0.13
	BPNN	0.12	0.35	-	-	0.09	0.23	0.19	0.25	0.13	0.12
Peak _{RRMSE}	MIKE 11 HD	0.32	0.86	0.38	0.35	0.31	0.33	0.33	0.59	0.02	0.61
	BPNN	0.21	0.2	-	-	0.42	0.81	0.14	0.07	0.42	0.04
Water Balance (%)	MIKE 11 HD	-2.81	17.49	1.64	-2.74	2.92	3.46	-24.2	-4.63	-6.31	4.1
	BPNN	3.77	25.91	-	-	6.09	3.59	-7.75	5.38	0.32	0.57

2. ผลการประเมินกราฟน้ำหลากขนาดใหญ่ที่มีการไหลในลำน้ำ และทุ่งน้ำท่วม

2.1 ค่า Efficiency Index (EI)

ค่า Efficiency Index (EI) เป็นค่าทางสถิติตัวหนึ่ง que แสดงถึงการพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม จากผลการศึกษาสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า EI ได้ดังตารางที่ 22 และในภาพที่ 39 โดยค่า EI ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าสูงกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า EI อยู่ระหว่าง 72.76 เปอร์เซ็นต์ ถึง 96.54 เปอร์เซ็นต์ แต่แบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่า EI อยู่ระหว่าง 53.48 เปอร์เซ็นต์ ถึง 85.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

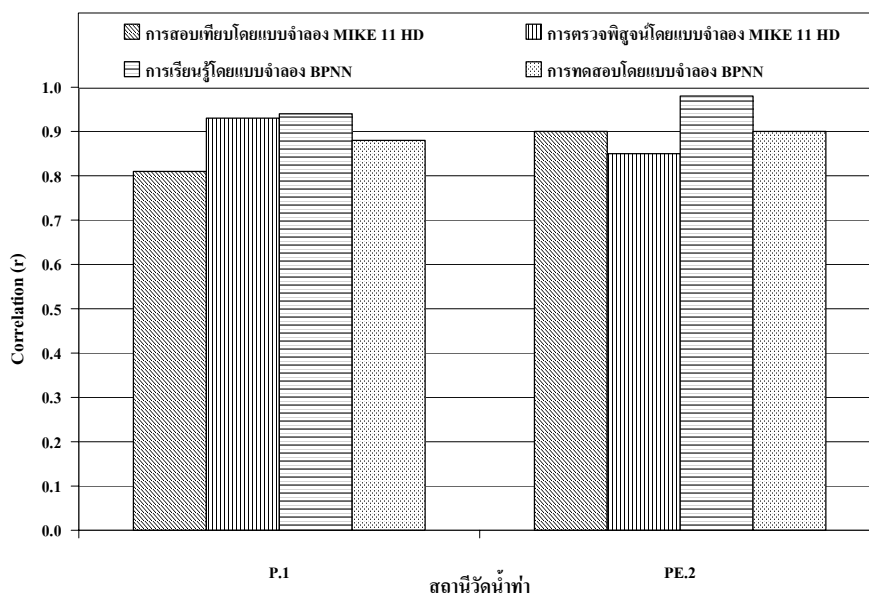


ภาพที่ 39 ค่า Efficiency Index ในปีที่เกิดกราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่

2.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) เป็นค่าทางสถิติตัวหนึ่ง que แสดงถึงการพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม จากผลการศึกษาสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า r ได้ดังตารางที่ 22 และในภาพที่ 40 โดยค่า r ของแบบจำลองโครงข่ายประสาท

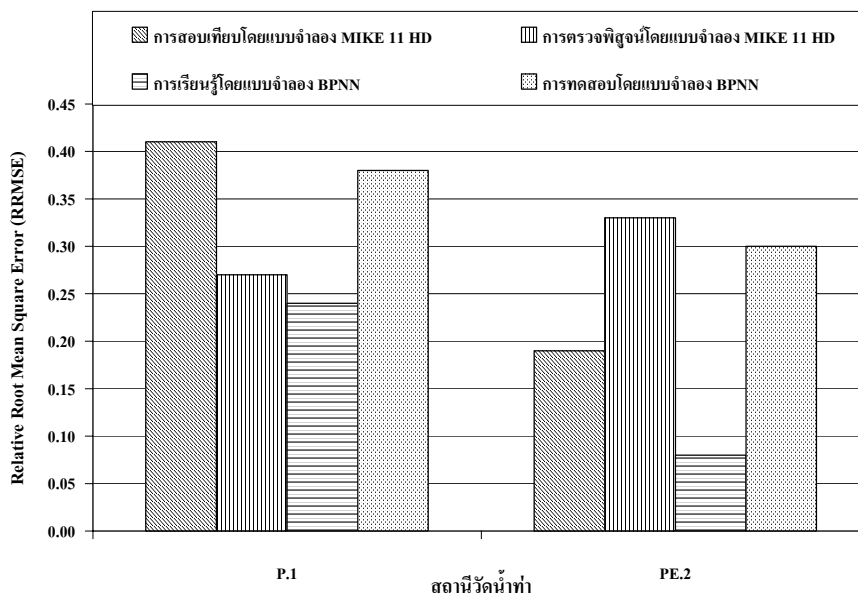
เทียมให้ค่าดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า r อยู่ระหว่าง 0.88 ถึง 0.98 และแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.81 ถึง 0.93 ตามลำดับ



ภาพที่ 40 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) ในปีที่เกิดน้ำหลากมีขนาดใหญ่

2.3 ค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE)

ค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE) เป็นค่าทางสถิติตัวหนึ่ง que แสดงถึงการพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำ จากผลการศึกษสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า RRMSE ได้ดังตารางที่ 22 และในภาพที่ 41 จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า RRMSE ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า RRMSE อยู่ในช่วงระหว่าง 0.08 ถึง 0.38 และแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่า RRMSE อยู่ในช่วงระหว่าง 0.19 ถึง 0.41 ตามลำดับ



ภาพที่ 41 ค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE) ในปีที่เกิดกราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่

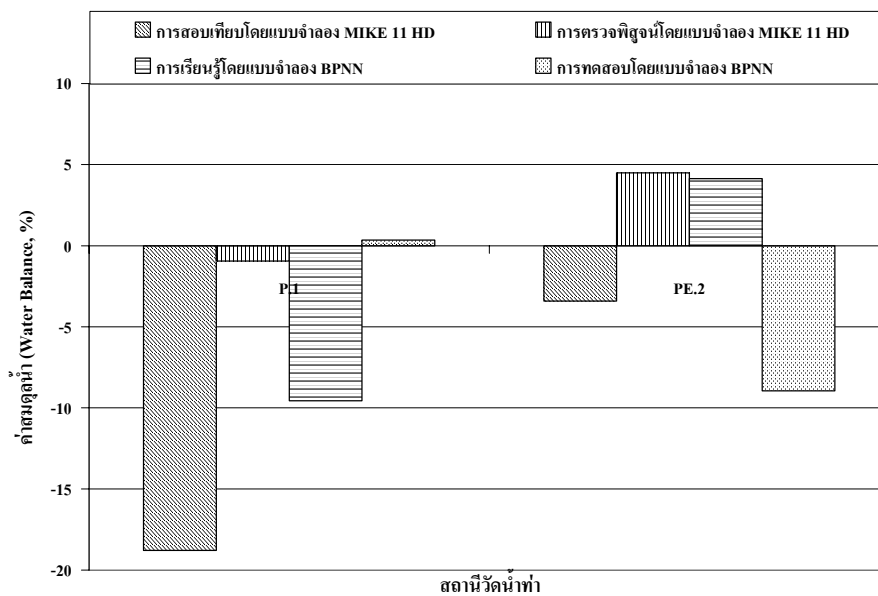
2.4 ค่าสมดุลน้ำ (Water Balance)

ค่าสมดุลน้ำ (Water Balance) เป็นค่าทางสถิติตัวหนึ่ง que แสดงถึงการพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมดุลน้ำ จากผลการศึกษาสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสมดุลน้ำได้ดังตารางที่ 22 และในภาพที่ 42 โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมใช้ค่าที่ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ค่อนข้างเห็นได้อย่างชัดเจน โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าสมดุลน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง -9.57 เปอร์เซ็นต์ ถึง 4.13 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่าสมดุลน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง -18.79 เปอร์เซ็นต์ ถึง 4.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

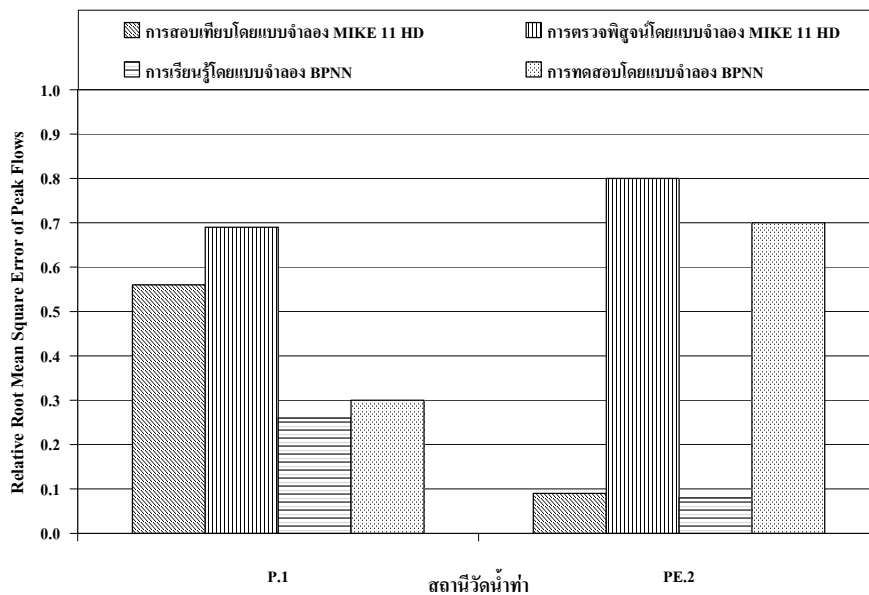
2.5 ค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$)

ค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$) เป็นค่าทางสถิติตัวหนึ่ง que แสดงถึงการพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด จากผลการศึกษาสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสมดุลน้ำได้ดังตารางที่ 22 และในภาพที่ 43 พบว่าโดยภาพรวมแล้วแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า $Peak_{RRMSE}$ ใกล้เคียงกับแบบจำลอง MIKE 11 HD โดย

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า $Peak_{RRMSE}$ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.08 ถึง 0.70 และแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ค่า $Peak_{RRMSE}$ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.09 ถึง 0.80 ตามลำดับ



ภาพที่ 42 ค่าสมดุลน้ำ (Water Balance) ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่



ภาพที่ 43 ค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$) ในปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดใหญ่

ตารางที่ 22 ค่าทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดในปีที่กราฟน้ำท่ามีขนาดใหญ่

ค่าตัวแปรทางสถิติ	แบบจำลอง	สถานีวัดน้ำท่า			
		P.1		PE.2	
		สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์	สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์
EI (%)	MIKE 11 HD	53.48	85.94	72.48	72.14
	BPNN	83.03	72.76	96.54	78.14
Correlation (r)	MIKE 11 HD	0.81	0.93	0.9	0.85
	BPNN	0.94	0.88	0.98	0.9
RRMSE	MIKE 11 HD	0.41	0.27	0.19	0.33
	BPNN	0.24	0.38	0.08	0.3
Peak _{RRMSE}	MIKE 11 HD	0.56	0.69	0.09	0.8
	BPNN	0.26	0.3	0.08	0.7
Water Balance (%)	MIKE 11 HD	-18.79	-0.94	-3.42	4.49
	BPNN	-9.57	0.35	4.13	-8.95

การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

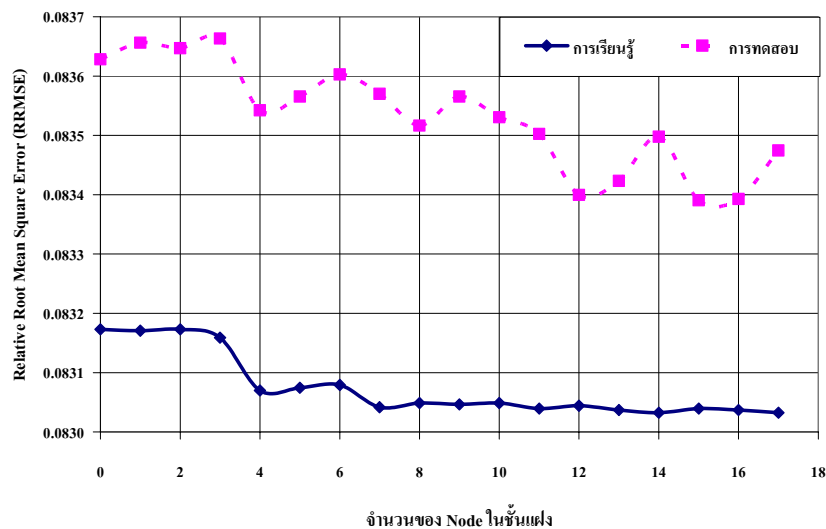
พื้นที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลอง MIKE 11 HD คือ พื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน โดยมีสถานีวัดน้ำท่า P.20 P.21 และ P.4A เป็นสถานีด้านเหนือน้ำ ซึ่งตั้งอยู่ในแม่น้ำปึงส่วนที่ 1 แมริม และแม่แดง ตามลำดับ และสถานีวัดน้ำท่า P.1 เป็นสถานีด้านท้ายน้ำ ซึ่งตั้งอยู่ในแม่น้ำปึงโดยสถานีวัดน้ำท่า P.1 มีพื้นที่รับน้ำเท่ากับ 6,355 ตร.กม. สำหรับความยาวลำน้ำจากสถานีวัดน้ำท่า P.20 ถึง สถานีวัดน้ำท่า P.1 เท่ากับ 102.5 กม. โดยช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลองเลือกใช้ข้อมูลในช่วงปีที่กราฟน้ำท่ามีขนาดเล็กทั้งสองแบบจำลอง

1. การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ในการศึกษาจำนวนข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ใช้ประกอบในการประเมินปริมาณน้ำท่ารวมล่วงหน้ารายชั่วโมงนั้น กระทำได้โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) ที่ลู่ระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานีด้านเหนือน้ำ (P.20 P.21 และ P.4A) และสถานีด้านท้ายน้ำ (P.1) ตามระยะเวลาในการเดินทางของน้ำท่าจากสถานีด้านเหนือน้ำต่าง ๆ ถึงสถานีด้านท้ายน้ำ โดยการนำข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่าเหล่านั้นนี้มาวางเรียงกันตามเวลาการเกิดน้ำท่าสำหรับแต่ละสถานี เพื่อเปรียบเทียบเวลาการเกิดน้ำท่าที่แตกต่างกัน (Lag Time) กับ สถานีวัดน้ำท่า P.1 พบว่าจำนวนของข้อมูลด้านเข้าที่เหมาะสมของสถานี P.20, P.4A และ P.21 ได้จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอัตราการไหลตามระยะเวลาการเกิดน้ำท่าที่แตกต่างกันระหว่างสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ กับ สถานีวัดน้ำท่า P.1 โดยเลือกช่วงเวลาที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ กับ สถานีวัดน้ำท่า P.1 ให้ค่าสูงสุดและค่ารองลงมาสองลำดับ ทำให้การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.1 ประกอบด้วยโครงสร้างชั้นข้อมูลด้านเข้า 9 หน่วย ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.20 ที่เวลาช้อนหลัง 24, 25 และ 26 ชั่วโมงตามลำดับ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.4A ที่เวลาช้อน 13, 14 และ 15 ชั่วโมงตามลำดับ และข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานี P.21 ที่เวลา 12, 13 และ 14 ชั่วโมงตามลำดับ

1.1 ผลกระทบของจำนวน Node ในชั้นแฝง

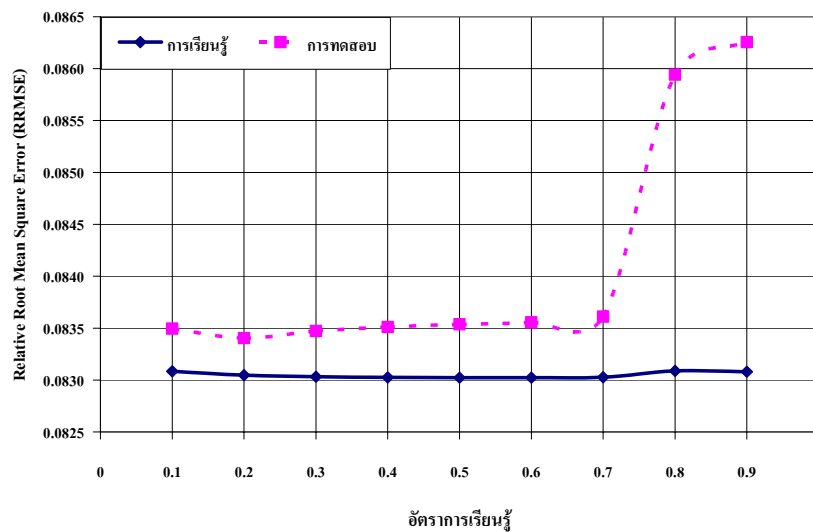
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวน Node ในชั้นแฝง โดยการเปลี่ยนจำนวน Node ตั้งแต่ 0-17 Nodes พบว่าจำนวน Node ในชั้นแฝงมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยเมื่อจำนวน Node ในชั้นแฝงมีจำนวนน้อยกว่าจำนวน Node ของข้อมูลด้านเข้า (0-6 Nodes) ค่า RRMSE จะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และเมื่อจำนวน Node มีค่าใกล้เคียงกับจำนวน Node ในชั้นข้อมูลด้านเข้า (7-13 Nodes) ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองจะอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนในกรณีที่มีจำนวน Node มากกว่าจำนวน Node ในชั้นข้อมูลด้านเข้าค่อนข้างมาก (มากกว่า 13 Nodes) พบว่าผลการคำนวณจะมีลักษณะที่แกว่งมากในช่วงการคำนวณของรอบต้น ๆ และผลการคำนวณจะลู่เข้าสู่ค่าจริงได้ช้า ทำให้แบบจำลองต้องใช้เวลาในการเรียนรู้ สำหรับจำนวน Node ที่เหมาะสมพบว่า จำนวน Node ที่เหมาะสมเท่ากับ 12 Nodes ซึ่งให้ค่าของ RRMSE ดีที่สุดทั้งในการเรียนรู้ (Learning) และการทดสอบ (Testing) ดังแสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ผลกระทบของจำนวน Node ในชั้นแฝงที่มีต่อการประเมินปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

1.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

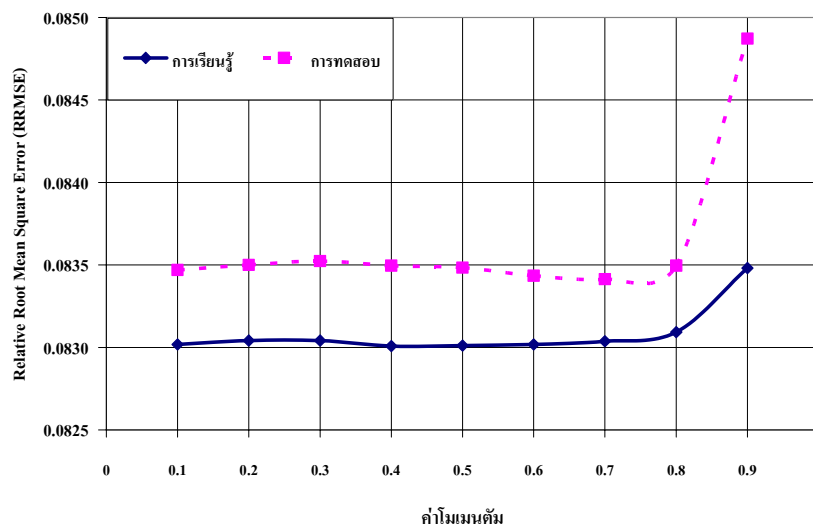
เนื่องจากค่าอัตราการเรียนรู้มีผลกระทบต่อความเร็วในการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในการหาค่าชุดน้ำหนัก (Weights) และค่าเบี่ยงเบน (Bias) ที่เหมาะสม ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเรียนรู้ในช่วง 0.1-0.9 ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 45 โดยพบว่าเมื่อค่าอัตราการเรียนรู้มีค่าไม่สูงมาก (0.1-0.7) จะไม่มีผลต่อค่า RRMSE มากนัก แต่เมื่อค่าอัตราการเรียนรู้มีค่าสูงขึ้น คือมีค่าตั้งแต่ 0.8 ขึ้นไปจะส่งผลให้กระบวนการการเรียนรู้ต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก และค่าความคลาดเคลื่อนก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมคือ 0.2 โดยจะให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยค่าของ RRMSE ของการเรียนรู้และการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.0830 และ 0.0834 ตามลำดับ



ภาพที่ 45 ผลกระทบของอัตราการเรียนรู้ที่มีต่อการประเมินปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

1.3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัม (Momentum Factor)

การกำหนดค่าโมเมนตัมในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการปรับรูปร่างน้ำหนัก และค่าเบี่ยงเบนที่ใช้ในการคำนวณในรอบต่อไป การเพิ่มค่าโมเมนตัม จะช่วยให้กระบวนการการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมลดการสั่น (Oscillation) และลดระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อให้แบบจำลองเข้าสู่ค่าสุดของน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนที่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็วขึ้น จึงได้ทำการทดสอบค่าโมเมนตัมตั้งแต่ 0.1-0.9 ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 46 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าโมเมนตัมในช่วง 0.1-0.8 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติใกล้เคียงกัน แต่เมื่อค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.9 ค่า RRMSE จะสูงขึ้นมาก แสดงว่าแบบจำลองอาจก้าวข้ามจุดต่ำสุดแท้จริง (Global Minima) ไปสู่จุดต่ำสุดเทียม (Local Minima) ผลการศึกษาพบว่าค่าโมเมนตัมที่เหมาะสมเท่ากับ 0.7 ซึ่งให้ผลลัพธ์ทางสถิติดีที่สุด โดยค่าของ RRMSE ของการเรียนรู้และการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.0830 และ 0.0834 ตามลำดับ



ภาพที่ 46 ผลกระทบของค่าโมเมนต์ที่มีต่อการประเมินปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

2. การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง MIKE 11 HD

ในการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง MIKE 11 HD ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน Manning's n โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียด Manning's n 5 กรณีคือ กรณีที่ 1 ทำการลดค่า Manning's n ที่ได้จากผลการศึกษาลงไป 0.010, กรณีที่ 2 เป็นค่า Manning's n ที่ได้จากผลการศึกษา กรณีที่ 3 ทำการเพิ่มค่า Manning's n ที่ได้จากผลการศึกษาขึ้นไป 0.007 กรณีที่ 4 ทำการเพิ่มค่า Manning's n ที่ได้จากผลการศึกษาขึ้นไป 0.012 และกรณีที่ 5 ทำการเพิ่มค่า Manning's n ที่ได้จากผลการศึกษาขึ้นไป 0.015 ดังแสดงในตารางที่ 23 โดยผลการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยกัน 5 ตัวแปร ซึ่งประกอบด้วย 1) ค่า Efficiency Index (EI) 2) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) 3) ค่า Relative Root Mean Square Error (RRMSE) 4) สมดุลน้ำ (Water Balance) และ 5) ค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$) เมื่อพิจารณาค่าเริ่มต้นของปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ 98% Exceedance Probability ระหว่างปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง MIKE 11 HD กับปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 23 ค่า Manning's (n) ของการไหลในแม่น้ำปิงตอนบนในปีกราฟน้ำหลากขนาดเล็ก ที่สถานีวัดน้ำท่า P.1

แม่น้ำ	ระยะทางที่ (กม.)	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5
แม่น้ำปิง	0.00-102.40	0.018	0.028	0.035	0.040	0.043
แม่จัด	0.00-4.90	0.018	0.028	0.035	0.040	0.043
แม่แดง	0.00-3.30	0.016	0.026	0.033	0.038	0.041
แม่ริม	0.00-4.10	0.018	0.028	0.035	0.040	0.043

หมายเหตุ ตัวเข้มหมายถึงค่า Manning's n ที่ได้จากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

ตารางที่ 24 ผลลัพธ์ทางสถิติที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่า Manning's n ในลำน้ำ

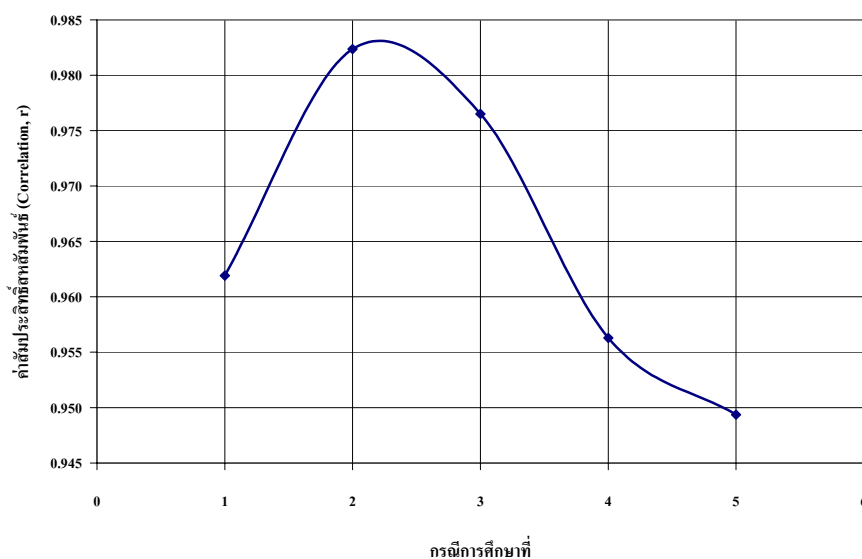
กรณีการศึกษาที่	ค่าผลลัพธ์ทางสถิติ				
	r	EI (%)	RRMSE	สมมูลน้ำ (%)	Peak _{RRMSE}
1	0.96	81.02	0.16	3.55	0.32
2	0.98	87.95	0.13	2.92	0.31
3	0.97	85.76	0.14	3.03	0.33
4	0.95	79.98	0.16	3.22	0.30
5	0.94	77.96	0.18	3.23	0.29

หมายเหตุ ตัวเข้มหมายถึงผลลัพธ์ทางสถิติที่ดีที่สุดในการพิจารณาค่าทางสถิตินั้น ๆ

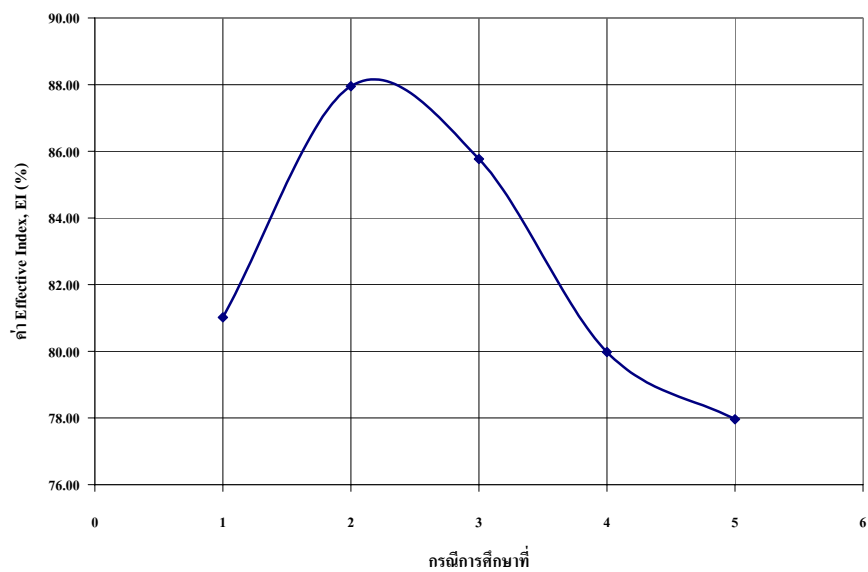
2.1 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม จากการพิจารณาค่า r พบว่าในกรณีที่ 2 ให้ค่าสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.98 และในกรณีที่ 5 ให้ค่าต่ำสุดคือมีค่าเท่ากับ 0.94 ดังแสดงในภาพที่ 47 และจากการพิจารณาค่า Efficiency Index (EI) พบว่าในกรณีที่ 2 ให้ค่าสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 87.95 เปอร์เซ็นต์ และในกรณีที่ 5 ให้ค่าต่ำสุดคือมีค่าเท่ากับ 77.96 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 48

2.2 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำโดยผลที่ได้จากการศึกษาค่า RRMSE พบว่า ในกรณีที่ 2 ให้ค่า RRMSE ดีที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.13 และในกรณีที่ 5 ให้ค่าที่ไม่ดีที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.18 ดังแสดงในภาพที่ 49 และจากผลการศึกษาสมมูลพบว่า สมมูลน้ำที่ดีที่สุดคือ ในกรณีที่ 2 กล่าวคือสมมูลน้ำเท่ากับ 2.92 เปอร์เซ็นต์ และในกรณีที่ 1 ให้ค่าสมมูลน้ำไม่ดีที่สุดคือ เท่ากับ 3.55 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 50

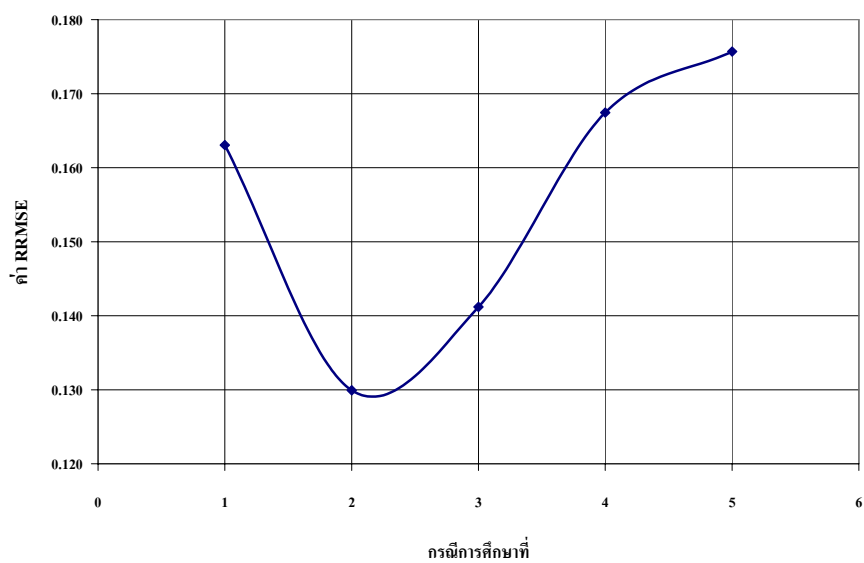
2.3 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดคือ ค่า Relative Root Mean Square Error of Peak Flows ($Peak_{RRMSE}$) เมื่อพิจารณาค่าเริ่มต้นของปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ 98% Exceedance Probability โดยจากการศึกษาพบว่าในกรณีที่ 5 ให้ค่า $Peak_{RRMSE}$ ดีที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.29 และในกรณีที่ 3 ให้ค่าไม่ดีที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 0.33 ดังแสดงได้ในภาพที่ 51



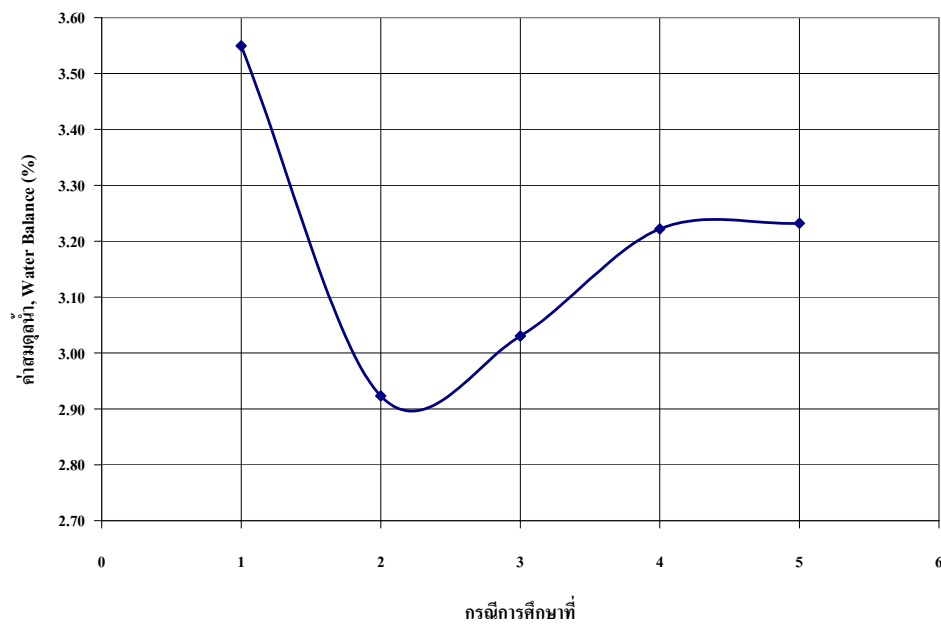
ภาพที่ 47 การเปลี่ยนแปลงค่า r เมื่อค่า Manning's n ในแม่น้ำปิงมีการเปลี่ยนแปลง



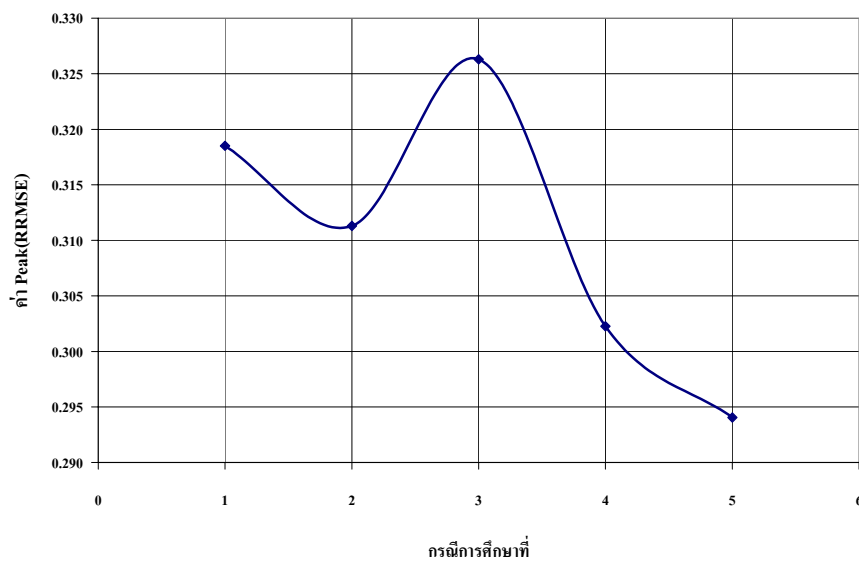
ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลงค่า EI เมื่อค่า Manning's n ในแม่น้ำปิงมีการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลงค่า RRMSE เมื่อค่า Manning's n ในแม่น้ำปิงมีการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 50 การเปลี่ยนแปลงค่าสมดุลน้ำเมื่อค่า Manning's n ในแม่น้ำปิงมีการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 51 การเปลี่ยนแปลงค่า Peak_{RRMSE} เมื่อค่า Manning's n ในแม่น้ำปิงมีการเปลี่ยนแปลง

จากผลการศึกษาความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง MIKE 11 HD พบว่าค่าผลลัพธ์ทางสถิติที่ได้จากศึกษาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม และการพิจารณาความเข้ากันได้ด้านสมคุณน้ำ ในกรณีการศึกษาที่ 2 ซึ่งใช้ผลลัพธ์ทางสถิติดีที่สุดในทุก ๆ ค่า นั้นไม่จำเป็นที่จะต้องให้ค่าผลลัพธ์จากการพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดดีที่สุดเสมอไป ทั้งนี้เนื่องจากเวลาในการเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำท่าสูงสุด (Time to Peak) ในกรณีที่ 2 ในที่จุดที่มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดเกิดขึ้นเร็วกว่าจุดที่มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่ได้จากการตรวจวัด จึงส่งผลให้ค่า $Peak_{RRMSE}$ ไม่เป็นค่าที่ดีที่สุด ดังนั้นในการใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE 11 HD เพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมนั้น ได้เลือกใช้กรณีการศึกษาที่ 2 โดยเป็นกรณีที่ใช้ผลลัพธ์ทางสถิติโดยรวมแล้วดีที่สุดจากทั้ง 5 กรณีการศึกษา และในการประยุกต์ใช้งานกับแบบจำลอง MIKE 11 HD กับลุ่มน้ำอื่น ๆ ด้วยมีการศึกษาถึงสภาพภูมิประเทศของกลุ่มน้ำนั้น ๆ เพื่อเป็นการกำหนดค่า Manning's n อย่างคร่าว ๆ ก่อนหลังจากนั้นจึงทำการศึกษาหาค่า Manning's n ที่เหมาะสมกับลุ่มน้ำนั้น ๆ ต่อไป

สรุป

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลอง MIKE 11 โดยแบบจำลอง MIKE 11 ประกอบด้วย แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (NAM Model) และแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (MIKE 11 HD) กับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ (Back-Propagation Neural Network Model) ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปึงตอนบน โดยสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่ารายชั่วโมง P.1, P.67, P.73 และ P.75 และสถานีวัดน้ำท่ารายวัน PE.2 ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนเท่ากับ 6,356 5,289 13,353 3,090 และ 18,932 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

1. ผลการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

1.1 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (NAM Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าเพื่อนำมาใช้เป็นปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Inflow) สำหรับแบบจำลอง MIKE 11 HD โดยข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองประกอบด้วย ปริมาณฝนรายวัน และปริมาณการระเหยรายวัน นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยค่าเงื่อนไขเริ่มต้นและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง NAM สำหรับค่าเงื่อนไขเริ่มต้นประกอบด้วย ปริมาณน้ำในส่วนเก็บกักบนผิวดิน (Water Content in Surface Storage) ปริมาณน้ำในส่วนของรากพืช (Water Content in Root Zone) ปริมาณการไหลบ่าบนผิวดิน (Overland Flow) ปริมาณการไหลระหว่างชั้นผิวดินกับชั้นใต้ดิน (Interflow) และความลึกของน้ำใต้ดิน (Groundwater Depth) ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองที่ต้องกำหนดประกอบไปด้วยค่า U_{max} , L_{max} , CQOF, CKIF, TOF, TIF, CK1, CK2, CAREA, TG, Sy, CKBF, GWL_{min} , $GWLBF_0$ และ $GWLFL_1$ โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลองเป็นไปตามข้อกำหนดของกลุ่มการใช้งาน

1.2 แบบจำลอง MIKE 11 HD ใช้เพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมงของแม่น้ำปึง โดยข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองประกอบด้วย แผนภูมิแสดงการไหลของน้ำในแม่น้ำปึงตอนบน และลำน้ำสาขา (Schematic) ซึ่งมีสถานีวัดน้ำท่า P.20 เป็นสถานีควบคุมด้านเหนือน้ำ และสถานีวัดน้ำท่า PE.2 เป็นสถานีควบคุมด้านท้ายน้ำ โดยมีระยะทางตามแนวแม่น้ำปึงรวมทั้งสิ้น 216.15 กม. ข้อมูลรูปตัดขวางของแม่น้ำปึง และลำน้ำสาขา ค่า Manning's n สำหรับในลำน้ำและทุ่งน้ำท่วมของแม่น้ำปึงและลำน้ำสาขาต่าง ๆ และขอบเขตการทำงานของแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วยข้อกำหนด

เงื่อนไขของขอบเขตภายนอกของระบบในลำน้ำปิงตอนบน จุดควบคุมด้านเหนือน้ำ และจุดควบคุมด้านท้ายน้ำ โดยจุดควบคุมทางด้านเหนือน้ำคือ กราฟน้ำหลากของสถานีวัดน้ำท่าที่เป็นอิสระซึ่งไม่ต่อกับลำน้ำใด ๆ และสำหรับจุดควบคุมทางด้านท้ายน้ำคือ สถานีวัดน้ำท่า PE.2 ต้องใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ และปริมาณการไหลของสถานีวัดน้ำท่า PE.2 (Rating Curve) เป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง ผลการสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองพบว่าค่า Manning's n ที่ได้จากการไหลในลำน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.028 ถึง 0.040 และในทุ่งน้ำท่วมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.050 ถึง 0.063

1.3 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ใช้เพื่อการประเมินปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมงของแม่น้ำปิง โดยทำการเลือกโครงสร้าง และวิธีการเรียนรู้ให้เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่า โดยข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลองประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงและข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองประกอบด้วย ค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) และค่าโมเมนตัมแฟกเตอร์ (Momentum Factor) และค่าเงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลองประกอบด้วย ค่าน้ำหนัก (Weight), ค่าเบี่ยงเบน (Bias) และชนิดของฟังก์ชันแปลง (Transfer Function) จากผลการเรียนรู้ และการทดสอบแบบจำลองพบว่า โครงสร้างของแบบจำลองประกอบด้วย 3 ชั้นคือ ชั้นข้อมูลด้านเข้า ชั้นแฝง และชั้นแสดงผล โดยชั้นข้อมูลด้านเข้าประกอบด้วย Node จำนวนตั้งแต่ 3 ถึง 12 Nodes จำนวน Node ในชั้นแฝงมีค่าระหว่าง 3 ถึง 14 Nodes และจำนวน Node ในชั้นแสดงผลมี 1 Node สำหรับค่าอัตราการเรียนรู้ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.3 และค่าโมเมนตัม มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.7

2. การพิจารณาการเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากระหว่างแบบจำลอง MIKE 11 HD กับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

2.1 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD เพียงเล็กน้อย และค่า EI (Efficiency Index) ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าสูงกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD

2.2 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า RRMSE ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD เพียงเล็กน้อย และสำหรับค่าสมมูลน้ำ (Water

Balance) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมใช้ค่าที่ดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD ก่อนข้างเห็นได้อย่างชัดเจน

2.3 การพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด การศึกษาความสัมพันธ์ในกรณีนี้พิจารณาจากค่าปริมาณการไหลสูงสุดที่ 98 % Exceedance Probability พบว่าโดยภาพรวมแล้วแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่า $Peak_{RRMSE}$ ใกล้เคียงกับแบบจำลอง MIKE 11 HD

2.4 การศึกษาประสิทธิภาพ และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของผลการประเมินปริมาณน้ำท่วมรายชั่วโมง และรายวันจากเหตุการณ์ในอดีตของกลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม จากการพิจารณาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม การพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำ และการพิจารณาความเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุด พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลอง MIKE 11 HD ให้ผลลัพธ์ทางสถิติ และรูปแบบของกราฟน้ำหลากอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ซึ่งเมื่อนำแบบจำลองทั้งสองมาเปรียบเทียบกันพบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณน้ำท่วมดีกว่าแบบจำลอง MIKE 11 HD

3. การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง MIKE 11 HD และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้กรณีศึกษาของสถานีวัดน้ำท่า P.1 และช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลองเลือกใช้ข้อมูลในช่วงปีที่กราฟน้ำหลากมีขนาดเล็กทั้งสองแบบจำลอง โดยสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม จำนวนหน่วยในชั้นแฝงมีผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับชุดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย พบว่าจำนวนหน่วยในชั้นแฝง จะต้องมามีค่าใกล้เคียงกับจำนวนหน่วยในชั้นข้อมูลด้านเข้าจึงจะทำให้ผลลัพธ์ของการประเมินปริมาณน้ำท่วมดีที่สุด สำหรับค่าอัตราการเรียนรู้มีผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลอง สำหรับข้อมูลที่ศึกษาพบว่า ควรกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ที่ไม่สูงจนเกินไป เนื่องจากค่าที่สูงเกินไปจะทำให้แบบจำลองเกิดการเรียนรู้ช้าลง และมี

การแกว่งตัวของผลลัพท์มากขึ้น และค่าโมเมนต์มีผลกระทบต่อแบบจำลอง สำหรับข้อมูลที่ศึกษาพบว่าค่าที่เหมาะสมมีอยู่ในช่วง 0.1-0.8 โดยให้ค่าความผิดพลาดใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อค่าโมเมนต์สูงเกินไปเท่ากับ 0.9 ปรากฏว่ามีค่าความผิดพลาดสูงมาก เนื่องจากค่าโมเมนต์ที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดการกระโดดข้ามจุดต่ำสุดที่แท้จริง ส่งผลให้มีค่าความผิดพลาดมาก

3.2 จากผลการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง MIKE 11 HD พบว่าค่าผลลัพท์ทางสถิติที่ได้จากศึกษาความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำหลากโดยรวม และการพิจารณาความเข้ากันได้ดีด้านสมมูลน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีเมื่อค่า Manning's n ในลำน้ำที่มีค่าน้อย ๆ แต่จากการพิจารณาการเข้ากันได้ดีของปริมาณการไหลสูงสุดอาจอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีนัก ทั้งนี้ต้องทำการพิจารณาถึงสถานีวัดน้ำท่าทุกสถานีที่ใช้ในการสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์ว่า ภาพรวมแนวโน้มของค่าทางสถิติที่เหมาะสมกับทุกสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์ว่าอยู่ที่ใด โดย Manning's n ยังขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ และการใช้งานของพื้นที่ในลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบการใช้งานแบบจำลองให้เหมาะสมกับลุ่มน้ำปิงตอนบน ซึ่งการเลือกใช้นั้นต้องคำนึงถึงความต้องการข้อมูลของแบบจำลองและข้อมูลเบื้องต้นที่มีอยู่ จึงได้สรุปข้อเสนอแนะในการใช้งานและแก้ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ดังนี้

1. การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง NAM ในการประเมินปริมาณน้ำที่ไหลเข้าด้านข้างของแม่น้ำปิงตามระยะทางต่างในลำน้ำ เนื่องจากพื้นที่บางส่วนไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ อาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนสะสมในแบบจำลอง เมื่อนำค่าปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าด้านข้างไปใช้งาน โดยใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง MIKE 11 HD ดังนั้นด้วยที่จะมีการติดตั้งสถานีวัดน้ำท่าเพิ่มเติมในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำตั้งอยู่ และบำรุงรักษาสถานีวัดน้ำท่า และสถานีภูมิอากาศของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

2. การพิจารณาสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของข้อมูลฝน โดยวิธี Thiessen Polygon เพื่อกำหนดสัดส่วนน้ำหนักของสถานีวัดน้ำฝนแต่ละสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา ควรทำการพิจารณาควบคู่ไปกับกราฟปริมาณฝนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝน และกราฟปริมาณน้ำท่าที่ได้จากผลต่างระหว่างกราฟหลากที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการตรวจวัดจริง เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างสถานีวัดน้ำฝนแต่ละสถานีต่อสถานีวัดน้ำท่า

3. การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 HD ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน ประสพกับปัญหาหลักคือ ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมงของสถานีที่วัดน้ำท่าบางสถานีมีข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง หรือข้อมูลบางช่วงขาดหายไปจึงจำเป็นต้องประมาณค่าข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ขาดหายไปด้วยวิธีการเชิงเส้น ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดของผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองได้ และข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำในบางช่วงไม่มีการตรวจวัด หรือข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดบางรูปตัดขวางมีความคลาดเคลื่อนตัวอย่างเช่น ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำสาขาบริเวณจุดบรรจบแม่น้ำปิง ส่งผลให้ระดับที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองต่ำกว่าระดับท้องลำน้ำ ดังนั้นด้วยมีการตรวจสอบและซ่อมบำรุงสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมีความต่อเนื่อง และมีความถูกต้องมากที่สุด รวมไปถึงทำการตรวจวัด หรือรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำรวมถึงความยาวของลำน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

4. ในการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม อาจประสบกับปัญหาค่าต่ำสุดของความผิดพลาดไม่ใช่จุดต่ำสุดที่แท้จริง (Local Minima) สามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าเบี่ยงเบน (Bias) ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองครั้งใหม่

5. ปัญหาการเรียนรู้ช้าของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม สามารถแก้ปัญหาได้โดยการเพิ่มค่าอัตราการเรียนรู้ในช่วงแรกให้มีค่ามาก และเมื่อแบบจำลองเรียนรู้ได้ระยะเวลาหนึ่ง หรือจำนวนรอบการคำนวณหนึ่ง จึงทำการปรับค่าอัตราการเรียนรู้ให้มีค่าน้อยลง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Local Minima

6. ปัญหาการเรียนรู้ที่มากเกินไป (Overtraining หรือ Overfitting) และขาดประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม สามารถแก้ไขได้โดยแบ่งชุดข้อมูลเป็น 3 ชุด ประกอบด้วยชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Set) ชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบการเรียนรู้มากเกินไป (Validation Set) และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Set) โดยกระบวนการเรียนรู้ใช้ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ และชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบทำการคำนวณพร้อมกัน จากนั้นพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในชุดข้อมูลทั้งสองโดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากชุดสำหรับการเรียนรู้ และการตรวจสอบควรมีค่าลดลง จากนั้นนำโครงสร้างของแบบจำลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ หากผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ดี แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างนั้น ๆ เป็นโครงสร้างที่มีความเหมาะสม อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มีการแบ่งชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง โดยมีสาเหตุเนื่องมาจากข้อจำกัดของข้อมูล

7. เพื่อที่จะทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมควรมีการนำแบบจำลองไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในกลุ่มน้ำอื่น ๆ ที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลทางอุทกวิทยาที่มีความถูกต้องและสมบูรณ์ขึ้นอีกในอนาคต

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2540. การศึกษาความเหมาะสมและศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการบรรเทาอุทกภัยและการขาดแคลนน้ำลุ่มน้ำปิงตอนบน.

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

กานดา คงธรรม . 2545. การศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สำหรับลุ่มน้ำ่าน .
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,กรุงเทพฯ.

กิตติพงษ์ จิระยุดิ และ ธิยารัต อัสชูฟี. 2544. การประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายอัตราการไหลรายวันของแม่น้ำชีและมูล. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 7: WRE-117 – WRE-112.

เทอดเกียรติ สุวัฒน์กุล และ คณะ. 2545. การพัฒนา SOFTWARE ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับทำนายน้ำท่วม. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 8 (2): WRE-74 – WRE-79

ทรงศักดิ์ ภัทรารุณชัย. 2546. การพยากรณ์สภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำลำภาชีโดยแบบจำลองMIKE11 และโครงข่ายประสาทประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธวัชชัย ดิงสัญชลี. 2543. การใช้แบบจำลอง Neural Network สำหรับการพยากรณ์น้ำท่า, น. 1-12.
ในการประชุมวิชาการเรื่องการพยากรณ์และเตือนภัยน้ำท่วม. จัดโดยชมรมนักอุทกวิทยาและวิทยาลัยชลประทาน, กรมชลประทาน, อำเภอปากเกร็ด, จังหวัดนนทบุรี.

ธีรพันธุ์ เต็ดขาด. 2545. การศึกษาสภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำลำปางชูโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นลินี จันทกมล และ เสรี สุภราทิตย์. 2545. การพยากรณ์อนุกรมเวลาระดับน้ำเพื่อการเตือนภัยน้ำท่วม. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 8 (2): WRE-80 – WRE-85.

นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2540. การศึกษาสถานะน้ำท่วมของกลุ่มน้ำปึงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11. วิศวกรรมสารเกษตรศาสตร์(35)12 : น.113-145.

นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2545. เอกสารประกอบวิชาการจำลองสถานะการเกิดน้ำท่วม .ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพรัตน์ วิรุฒมเสน. 2536. การพัฒนาแหล่งน้ำในกลุ่มน้ำสวย .วิทยานิพนธ์ปริญญาโท .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,กรุงเทพฯ.

ภูวดล พรหมชา. 2544. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 .วิทยานิพนธ์ปริญญาโท .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,กรุงเทพฯ.

ภูวดล สุขชา และ ชูโชค आयुพงศ์. 2545. การทำนายปริมาณน้ำรายวันไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธาราโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม .เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 8 (2): WRE-86 – WRE-90.

ยุพิน จันดา. 2542. การพยากรณ์สภาพน้ำท่วมในกลุ่มน้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,กรุงเทพฯ.

วราวุธ วุฒินิชย์. 2544. Artificial Neural Networks. **ชลกรฉบับวันชาติ**. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์. มกราคม 2544. : 89-102.

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

- วุฒิชัย บุญผ่อง. 2544. การประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหานคร.
- เสรี สุภราทิตย์. 2544. การทำนายน้ำท่วมฉับพลันโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม .เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 7: WRE-35 – WRE-40.
- เสรี สุภราทิตย์. 2544. คู่มือพยากรณ์น้ำโดยโครงข่ายประสาทเทียม. คณะอนุกรรมการศึกษาวิจัยด้านบริหารจัดการน้ำ, สถาบันพัฒนาการชลประทาน, นนทบุรี. 96 น.
- อัศราวุฒิ อินทรพานิชย์. 2544. การพยากรณ์สภาพน้ำท่วมเนื่องจากสร้างอาคารบังคับน้ำบนลำน้ำท่าตอนบน จังหวัดนครพนม โดยใช้แบบจำลองMIKE11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Aklhtar, A. 1993. **Flood Control Study of the Sukkur-kotri Reach of the Indus River, Pakistan. Thesis**, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Anmala, J., B. Zhang and R.S. Govindaraju. 2000. Comparison of ANNS and empirical approaches for predicting watershed runoff. **Journal of Water Resources and Management**, Vol.126 (3): 156-166.
- Arcelus, E.A. 2000. Coupling Two Hydrological Models to Compute Runoff in Ungauged Basins. **Journal of Hydrology**. 101 (2000): 301-309.
- Campolo, M., P. Andreussi and A. Soldali. 1999. River flood forecasting with a neural network model. **Water Resources Research**, Vol.35(4): 1191-1197.
- Coulibaly, P., F. Anctil and B. Bobee. 2000. Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural network with stopped training approach. **Journal of Hydrology**: 244-257

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

_____. 1992. **MIKE 11 User Manual** 385 p.

Danish Hydraulic Institute (DHI) and Bangladesh Floodplain Organization. 1994. **Flood Management Model. Bangladesh.**

Available: //www.dhi.dk/project/Bangla/flood/flood.htm, March 15, 1999.

Dartus, D., J.M. Courivaud and L. Dedeker. 1993. Use of a Neural Net for the study of the flood wave propagation in an open channel. **Journal of Hydraulic Research**, Vol. 31(2): 161-170.

Gautum, M.R. 1997. **Flood Forecasting Model for Pasak River Basin Thailand.** Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Gul, R. 1993. **The Application of Back Propagation Model to Daily Flow Forecasting.** Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Kawinpoomstan, W. 1998. **Flood Risk Mapping of the Yom River Basin : Phrae and Sukhothai Areas.** M.S. Thesis. Asian Institute of Technology, Bangkok.

Karunanithi, N., J. Grenney, D. Whitley and K. Bovee. 1994. Neural network for river flow prediction. **Journal of Computing in Civil Engineering**, Vol. 8(2): 201-220.

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

- Manusthiparom, C. 2000. **Neural Network Models for Forecasting Hourly Water Levels and Discharges of Choa Phraya River at Bangkok Memorial Bridge.** Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Minns, A.W., and J. Hall. 1996. Artificial neural networks as rainfall-runoff models. **Hydrological Sciences Journal**, Vol. 41(3): 399-471.
- Nam, L.H. 1998. **Simulation and forecasting of monthly streamflow using a Back-Propagation model a case study: Back river in Vietnam.** Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Rumelhart, D.E. and J.L. McClelland (Eds). 1986. Parallel distributed processing, **Exploration in the microstructures of Cognition**, Vol. 1, The MIT Press.
- Sajikumar, N. and B.S. Thandaveswara. 1999. A non-linear rainfall-runoff model using an artificial neural network. **Journal of Hydrology**, Vol. 216: 31-55.
- Siang, J.J. 1992. **Application of Back Propagation Method in Forecasting Problem.** Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Sureeratnan, S. and H.N. Phien. 1997. Back-propagation network for daily streamflow forecasting. **Water Resources Journal**, St/SCAP/SER-C/195: 1-7.
- Tsoukalas, L.H. and R.E. Uhrig. 1997. **Fuzzy and Neural Approaches in Engineering.** First Edition. John Wiley & Sons. New York.
- University of Stuttgart. 1998. **SNNS User Manual, Version 4.2** 338 p.

Wongwitaya, C. 2001. **A new view of an old foe: Using GIS and hydrology software to produce 3D animation of potential flooding event.** Thesis, Mahidol University, Bangkok, Thailand.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

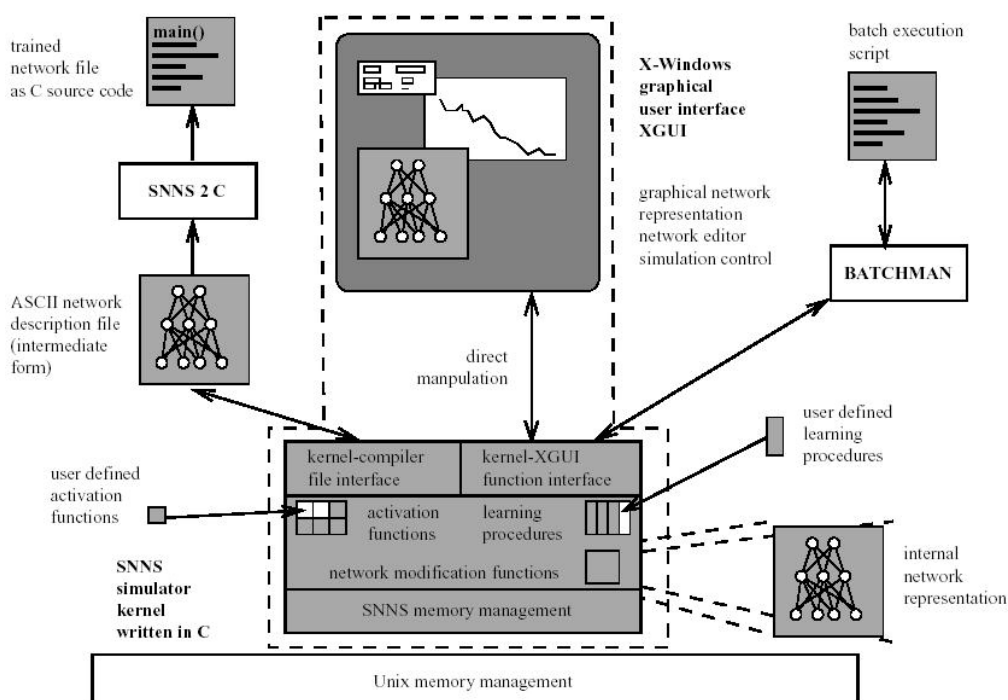
ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ใช้งานแบบจำลอง SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator)

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ใช้งานแบบจำลอง SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator)

1. คำนำของแบบจำลอง SNNS

แบบจำลอง SNNS เป็นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการพัฒนาจาก The Institute for Parallel and Distributed and High Performance Systems ที่ University of Stuttgart ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1989 โดยเป้าหมายหลักในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ต้องการนำมาใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงขึ้น

แบบจำลอง SNNS ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนด้วยกันได้แก่ simulator kernel, graphical user interface (XGUI), batch execution interface batchman และ net-work compiler snns2c ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก1



ภาพผนวกที่ ก1 ส่วนประกอบสำคัญของแบบจำลอง SNNS

ที่มา: SNNS User Manual, Version 4.2

โดยความสำคัญของส่วนประกอบต่าง ๆ ของแบบจำลอง SNNS มีหน้าที่ต่างกันออกไป ดังนี้ ในส่วนของ simulator kernel มีหน้าที่ในการปฏิบัติการต่อโครงสร้างภายในของแบบจำลอง รวมไปถึงการจัดการชุดของข้อมูลและการแสดงผลของการปฏิบัติการในแบบจำลอง, graphical user interface (XGUI) เป็นส่วนประกอบที่ถูกสร้างขึ้นบน simulator kernel ที่ทำหน้าที่ในการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง รวมไปถึงใช้เป็นส่วนควบคุมการทำงานของแบบจำลองจึงมีความเหมาะสมสำหรับผู้ที่จะใช้งานแบบจำลองที่ให้ใช้งานแบบจำลองได้ง่ายขึ้นเป็นต้น

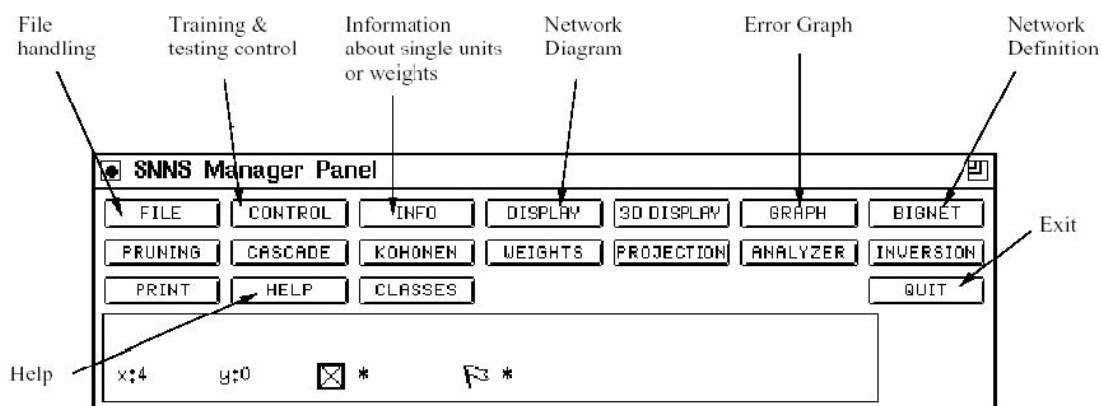
การติดตั้งแบบจำลอง SNNS โดยแบบจำลองนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้บนจอคอมพิวเตอร์ที่เป็นจอสีหรือจอขาวดำก็ได้ แต่แบบจำลอง SNNS ต้องทำงานบนระบบปฏิบัติการ Unix โดยแบบจำลองนี้ต้องใช้งานควบคู่ไปกับแบบจำลองอื่น ๆ ที่ทำให้แบบจำลองใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Windows แบบจำลองที่ใช้งานในที่นี้ได้แก่แบบจำลอง XWIN32 Demo โดยต้องเรียกใช้งานโปรแกรม XWIN32 ก่อนที่จะเรียกใช้งานแบบจำลอง SNNS บนระบบปฏิบัติการ Windows

2. การใช้งานแบบจำลอง SNNS

ในการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองในครั้งนี้จะทำการแนะนำการใช้งานแบบจำลอง SNNS ที่ทำงานควบคู่ไปกับ X-Window (XWIN32) โดยระบบการใช้งานนี้แบบจำลองจะทำงานบนระบบ graphical user interface สามารถแสดงขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.1 เริ่มต้นการใช้งานแบบจำลอง SNNS

เรียกการใช้งานโปรแกรม XWIN32 หลังจากนั้นเรียกใช้งานแบบจำลอง SNNS.bat ภายหลังจากการเรียกใช้งานโปรแกรมทั้งสองแล้วจะปรากฏหน้าต่างการใช้งานของแบบจำลองที่มีชื่อว่า SNNS manager panel สามารถแสดงดังภาพผนวกที่ ก2



ภาพผนวกที่ ก2 หน้าต่างการใช้งานของ SNNS manager panel

ที่มา: SNNS User Manual, Version4.2

2.2 ชนิดของข้อมูลที่ใช้ในการอ่านและเขียนในแบบจำลอง SNNS

โดยทั่วไปแบบจำลอง SNNS จะรองรับข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองอยู่ 5 ชนิดด้วยกันได้แก่

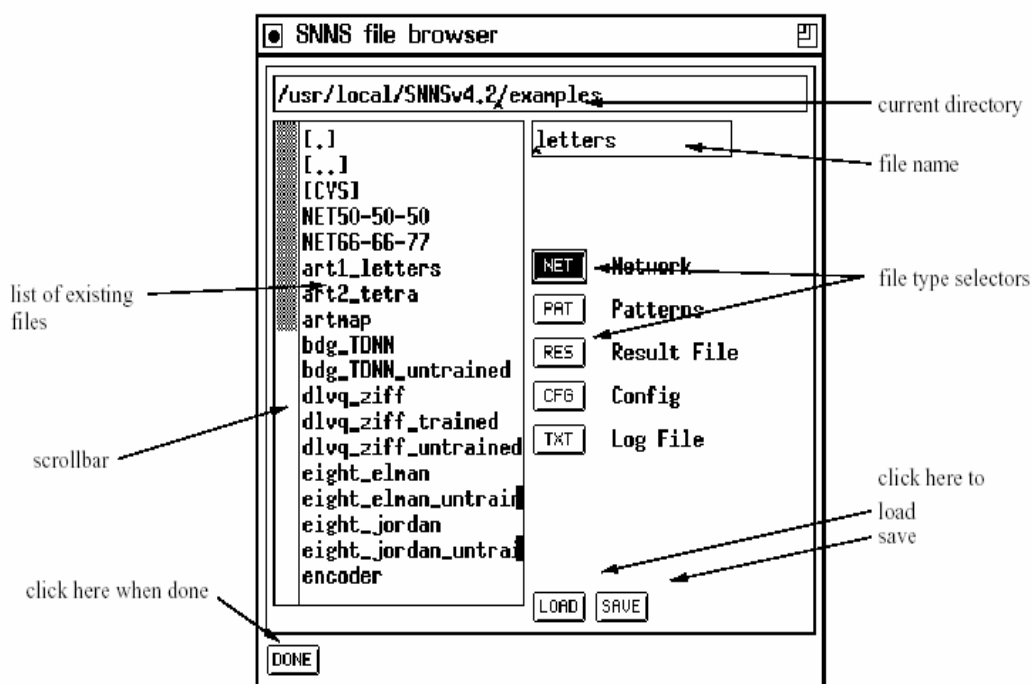
2.2.1 NET คือ รูปแบบโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่บ่งบอกว่าโครงสร้างนั้น ๆ ประกอบไปด้วยชั้นรับข้อมูลด้านเข้า, ชั้นแฝง และชั้นแสดงผล รวมไปถึงจำนวนหน่วย (node) ในแต่ละชั้นว่ามีจำนวนเท่าใด และจะบ่งบอกถึงรูปแบบฟังก์ชันของการเรียนรู้ในโครงสร้างนั้น ๆ โดยข้อมูลชุดนี้จะอยู่ในนามสกุล “.net”

2.2.2 PAT คือ รูปแบบของข้อมูลที่นำเข้าสู่แบบจำลองทั้งข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ โดยข้อมูลชุดนี้จะอยู่ในนามสกุล “.pat”

2.2.3 RES คือ การแปลความหมายของโครงสร้างที่ได้จากผลลัพธ์หลังจากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง SNNS โดยข้อมูลชุดนี้จะอยู่ในนามสกุล “.res”

นอกจากนี้ที่เหลืออีกสองรูปแบบของข้อมูลด้วยกันได้แก่ “.cfg” และ “.txt” นั้นไม่มีความสำคัญมากนักในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SNNS

เริ่มต้นขั้นตอนแรกโดยการเลือกที่ FILE ใน SNNS Manager panel ตามภาพผนวกที่ 2 โดยจะปรากฏหน้าต่างของแบบจำลอง (SNNS file browser) ให้เลือกของแบบของชนิดข้อมูล ดังแสดงในภาพผนวกที่ 3 ดังนี้



ภาพผนวกที่ 3 การเลือกใช้ข้อมูลของแบบจำลอง SNNS

ที่มา: SNNS User Manual, Version4.2

จากภาพผนวกที่ 3 ด้านบนสุดของภาพจะแสดงที่ตั้งของชุดข้อมูลนั้น ๆ ในที่นี้ได้แก่ (/usr/local/SNNSv4.2/examples) โดยชุดของข้อมูลที่จะใช้งานจะแบ่งออกเป็นชนิดของข้อมูลนั้น ๆ เป็น 5 ส่วนด้วยกันดังได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ตัวอย่างเช่นต้องการที่จะเรียกข้อมูลด้านเข้าในกระบวนการการเรียนรู้สิ่งแรกที่ต้องทำคือ เลือกไปที่ PAT (patterns) จะปรากฏรายชื่อของรูปแบบข้อมูลด้านซ้ายมือเฉพาะข้อมูลที่มีนามสกุลเป็น “.pat” เมื่อปรากฏชื่อของข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการใช้งานแล้วเลือกไปที่ชื่อของข้อมูลที่ต้องการเรียกขึ้นมาใช้งาน ดังตัวอย่างทำการเรียกใช้งานชุดข้อมูลชื่อ “letters.pat” หลักจากนั้นทำการเลือกไปที่ LOAD ข้อมูลที่เลือกไว้จะถูกเรียกขึ้นมาใช้งานในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

2.3 การเตรียมชุดข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง SNNS

การเตรียมชุดข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง SNNS หลักจากนำข้อมูลดิบ (raw data) ได้ผ่านกระบวนการ Normalization ก่อนนำไปใช้งานในแบบจำลอง SNNS โดยข้อมูลที่ผ่านกระบวนการ Pre-processing ค่าของข้อมูลจะอยู่ในช่วง [0.05-0.95] ตามฟังก์ชันแปลงในชั้นแฝง (transfer functions) ในที่นี้ใช้แบบ Logistic Sigmoidal Transform Function เป็นแบบ Semi-Linear Function เป็นฟังก์ชันที่มีขอบเขตที่แน่นอน ที่มีช่วงอยู่ระหว่าง 0-1 โดยแบบจำลอง SNNS ต้องมีหัวเรื่องชุดข้อมูลด้านเข้าทั้งกระบวนการการเรียนรู้และกระบวนการทดสอบดังนี้

แถวที่ 1 SNNS pattern definition file V4.2

แถวที่ 2 generated at Mon Apr 25 17:11:43 1994

แถวที่ 3 No. of patterns : 675

แถวที่ 4 No. of input units : 6

แถวที่ 5 No. of output units : 1

แถวที่ 6 # Input pattern

แถวที่ 7 0.2158 0.2158 0.2158 0.0509 0.0505 0.0500 0.0500

แถวที่ 8 0.2158 0.2158 0.2158 0.0514 0.0509 0.0505 0.0605

แถวที่ 9 0.2158 0.2158 0.2158 0.0518 0.0514 0.0509 0.0605

แถวที่ 10 0.2185 0.2158 0.2158 0.0523 0.0518 0.0514 0.0605

แถวที่ 11 0.2212 0.2185 0.2158 0.0523 0.0523 0.0518 0.0605

แถวที่ 12 0.2265 0.2212 0.2185 0.0523 0.0523 0.0523 0.0605

.

.

.

แถวที่ 680 0.2292 0.2265 0.2212 0.0534 0.0523 0.0523 0.0709

แถวที่ 681 0.2292 0.2292 0.2265 0.0534 0.0534 0.0523 0.0709

แถวที่ 1 อธิบายถึงชนิดของแบบจำลอง SNNS ว่าเป็น version ที่เท่าไรในที่นี้ใช้แบบจำลอง SNNS V4.2 ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปึงตอนบน

แถวที่ 2 อธิบายถึงช่วงวันเวลาที่ทำการสร้างชุดข้อมูลด้านเข้าทั้งในกรณีการเรียนรู้และการทดสอบให้กับแบบจำลอง SNNS

แถวที่ 3 อธิบายถึงจำนวนของชุดข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการการเรียนรู้และการทดสอบนั้น ๆ ว่ามีอยู่ที่ชุดข้อมูลในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 675 ชุดข้อมูล

แถวที่ 4 อธิบายถึงจำนวนของข้อมูลที่กำหนดให้เป็นข้อมูลด้านเข้า (input data) ในที่นี้กำหนดให้มีค่าของข้อมูลด้านเข้าเท่ากับ 6 หน่วยด้วยกันโดยนับจากซ้ายไปขวา

แถวที่ 5 อธิบายถึงจำนวนของข้อมูลที่กำหนดให้เป็นผลลัพธ์ (output data) ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 หน่วย

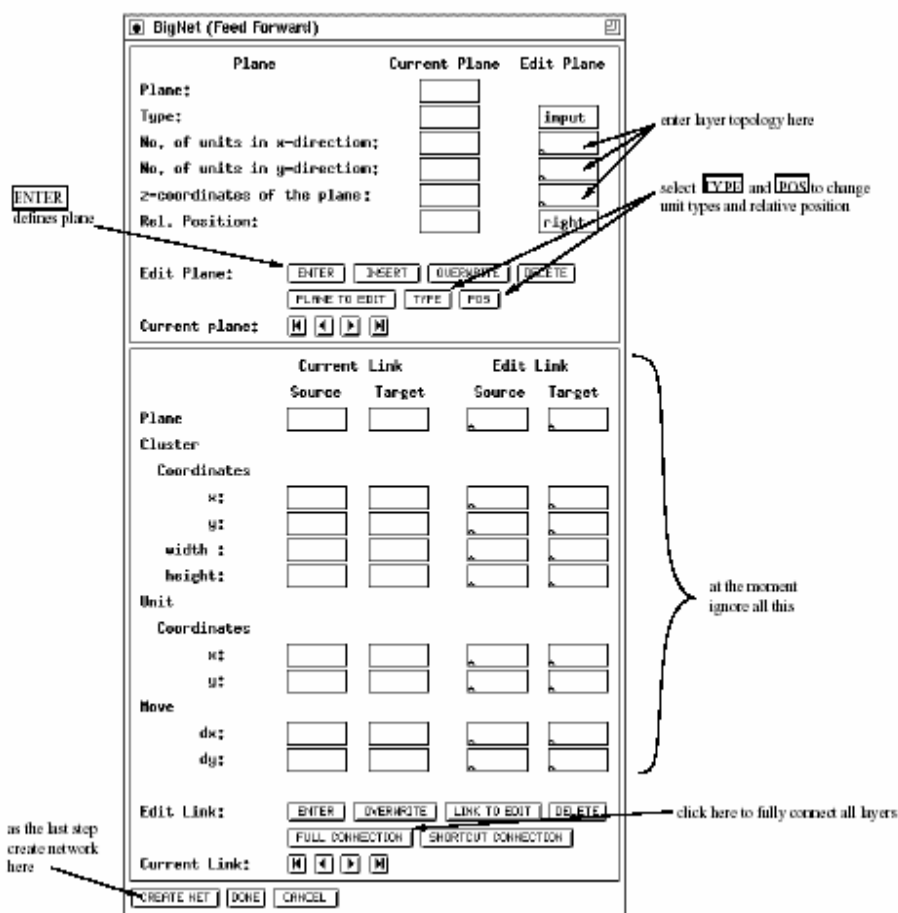
แถวที่ 6 อธิบายถึงการเริ่มต้นของชุดข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง SNNS โดยคำอธิบายจะตั้งอยู่หลังเครื่องหมาย “#”

แถวที่ 7-681 อธิบายถึงชุดข้อมูลที่ใช้งานในแบบจำลอง SNNS โดยประกอบไปด้วยชุดข้อมูลด้านเข้าจำนวน 6 หน่วย และชุดของผลลัพธ์จำนวน 1 หน่วย รวมกันทั้งหมด 675 ชุดข้อมูล

2.4 การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในแบบจำลอง SNNS

เมื่อมีความต้องการที่จะสร้างโครงสร้างของแบบจำลอง SNNS ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองได้หลายรูปแบบด้วยกัน โดยในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการเชื่อมต่อแบบ feed forward network (fully connected)

เริ่มต้นจากการสร้างโครงสร้างของแบบจำลองโดยการเลือกที่ BIGNET ที่ปรากฏบน SNNS Manager panel ดังสามารถแสดงได้ตามภาพผนวกที่ ก4

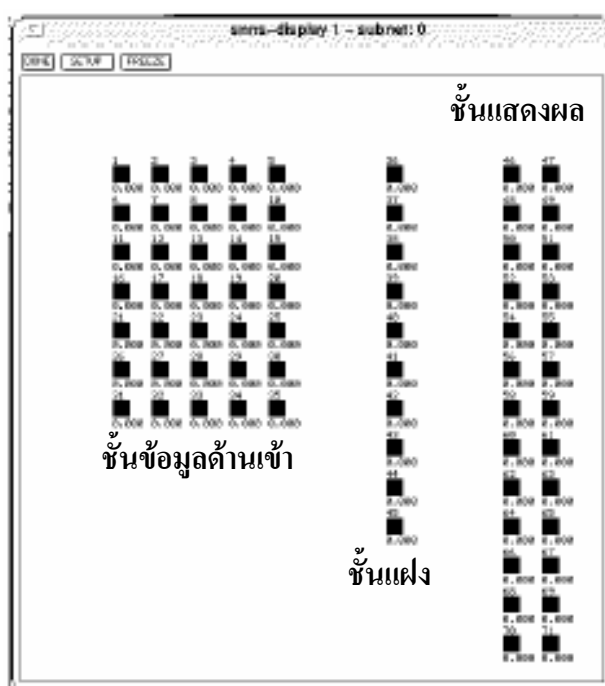


ภาพผนวกที่ ก4 การออกแบบโครงสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed-forward
ที่มา: SNNS User Manual, Version4.2

ในด้านบนของภาพผนวกที่ ก4 แสดงถึงรูปแบบของโครงสร้างของแบบจำลอง ในตอนล่างของภาพผนวกที่ ก4 แสดงถึงการเชื่อมต่อของโครงสร้างแบบจำลองว่าเป็นแบบชนิด fully connect และการสร้างโครงสร้างแบบจำลอง (create net)

การสร้างโครงสร้างของแบบจำลองจะเริ่มต้นจากการสร้างจำนวนชั้นข้อมูลในแบบจำลองไม่ว่าจะเป็นชั้นข้อมูลด้านเข้า (input layer), ชั้นแฝง (hidden layer) และชั้นแสดงผล (output layer) โดยต้องทำการเลือกชนิดของชั้นต่าง ๆ ในแบบจำลองโดยทำการเลือกที่ปุ่ม TYPE ที่อยู่ในหัวข้อ (Edit Plane) เพื่อเปลี่ยนชนิดของชั้นในแบบจำลอง หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าพิกัดของข้อมูลในแนวแกน x, y และ z โดยส่วนใหญ่แล้วจะพิจารณาแบบจำลองเป็น 2 มิติคือไม่พิจารณา

ในแนวแกน z โดยกำหนดค่าในแนวแกน x และค่าในแนวแกน y ให้มีค่าเท่ากับจำนวนของชุดข้อมูลด้านเข้า หลังจากนั้นเลือกไปที่ปุ่ม ENTER ใน BIGNET (Feed-Forward) แล้วทำการเปลี่ยนชนิดของชั้นข้อมูลในแบบจำลองที่ปุ่ม TYPE เมื่อกำหนดโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเรียบร้อยแล้วทั้งชั้นข้อมูลด้านเข้า, ชั้นแฝง และชั้นแสดงผล เลือกไปที่ปุ่ม FULL CONNECTION ที่อยู่ในหัวข้อ Edit Link หลังจากนั้นเลือกใช้งานที่ปุ่ม CREATE NET จะได้โครงสร้างของแบบจำลองตามที่กำหนด โดยสามารถแสดงโครงสร้างของแบบจำลองที่ได้จากการกำหนดนี้โดยเลือกไปที่ปุ่ม DISPLAY ใน SNNS Manager panel ดังแสดงตามภาพผนวกที่ ก5

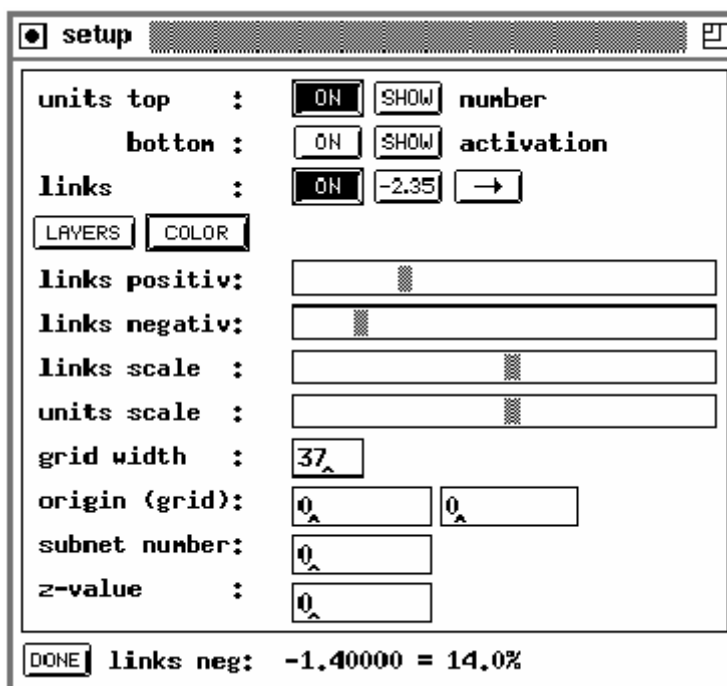


ภาพผนวกที่ ก5 โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม SNNS

ที่มา: SNNS User Manual, Version4.2

ในภาพผนวกที่ ก5 สามารถแสดงการเชื่อมต่อของ node ต่าง ๆ ในแต่ละชั้นข้อมูล, ค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อแต่ละ node ในแบบจำลอง และทิศทาง การเชื่อมต่อของแบบจำลองในแต่ละชั้นในแบบจำลอง SNNS โดยเลือกไปที่ปุ่ม SETUP จะปรากฏหน้าต่างการกำหนดค่าต่าง ๆ ในแบบจำลอง 2 มิติดังแสดงดังภาพผนวกที่ ก6 โดยเลือกการทำงานที่ปุ่ม ON, -2.35 และ \rightarrow ตามลำดับ โดยที่ปุ่มการทำงาน ON แสดงการเชื่อมต่อในแต่ละ node ของโครงสร้างในแบบจำลอง,

ปุ่ม -2.35 แสดงค่าน้ำหนักระหว่างการเชื่อมต่อในแต่ละ node และ \longrightarrow แสดงทิศทางการเชื่อมต่อในแต่ละ node ของแบบจำลอง SNNS

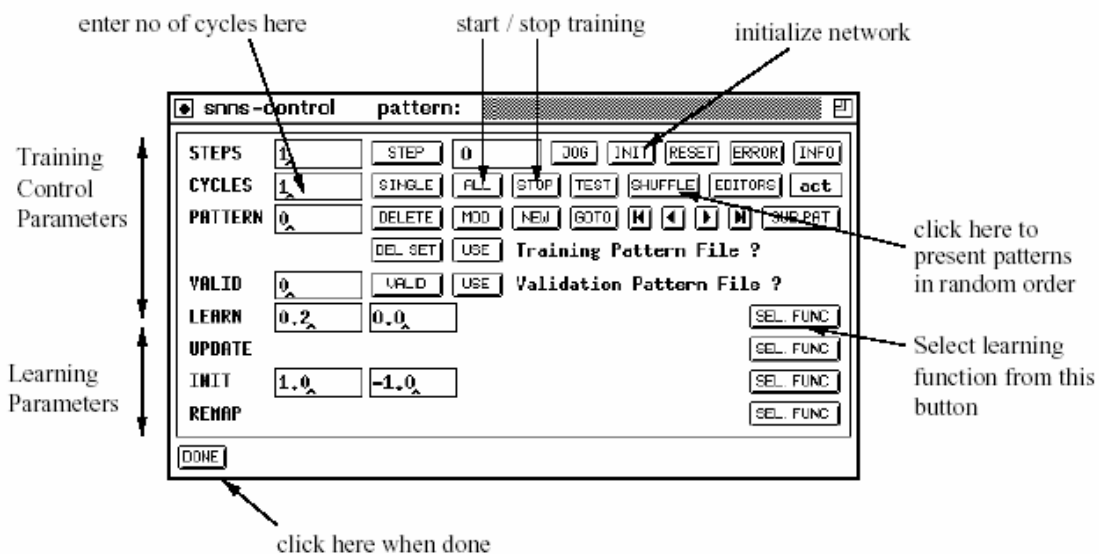


ภาพผนวกที่ 6 การกำหนดค่าการเชื่อมต่อในแบบจำลอง 2 มิติ

ที่มา: SNNS User Manual, Version4.2

2.5 การเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

กระบวนการการเรียนรู้ และกระบวนการทดสอบเป็นส่วนสำคัญของการศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และในแบบจำลอง SNNS สามารถเรียกใช้งานในส่วนนี้ได้โดยเลือกใช้งานที่ปุ่ม CONTROL ในหน้าต่าง SNNS-Manager panel ในส่วนของ SNNS-CONTROL มีการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันได้แก่ส่วนที่ใช้ในกระบวนการการเรียนรู้ (training control parameter) และในส่วนของการใส่ค่าอัตราการเรียนรู้ และค่าเริ่มต้นที่ใช้ในแบบจำลอง (learning parameter) ในที่นี้กำหนดให้ค่าอัตราการเรียนรู้มีค่าอยู่ระหว่าง (0, 0.2) และมีค่าเริ่มต้นอยู่ระหว่าง (-1, 1) ดังแสดงในภาพผนวกที่ 7



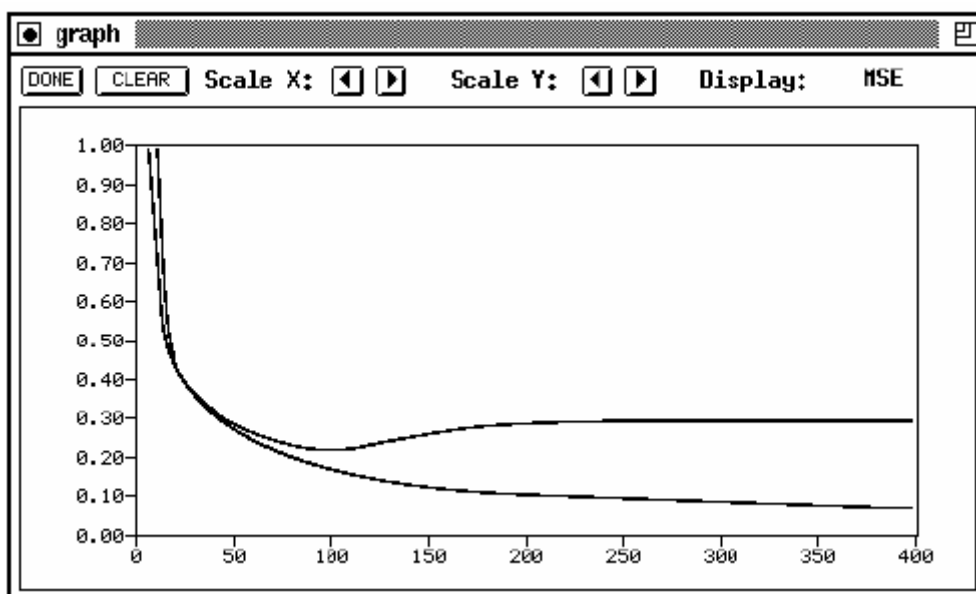
ภาพผนวกที่ ก7 กระบวนการเรียนรู้และกระบวนการทดสอบของแบบจำลอง SNNS

ที่มา: SNNS User Manual, Version4.2

2.5.1 ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น (initialization) ในโครงสร้างของแบบจำลองส่วนใหญ่ ก่อนที่จะทำการประมวลผลจากแบบจำลองต้องทำการกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้นก่อน โดยการกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้นกระทำได้จากการเลือกที่ปุ่ม INIT ซึ่งอยู่ส่วนบนของภาพผนวกที่ ก7 และนอกจากนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงค่าเงื่อนไขเริ่มต้นจากช่วง (-1, 1) เป็นช่วงค่าอื่น ๆ ได้โดยทำการเปลี่ยนแปลงที่ “INIT” ที่อยู่ส่วนของ Learning Parameters ซึ่งอยู่บริเวณส่วนล่างของภาพผนวกที่ ก7

2.5.2 การเลือกใช้ฟังก์ชันการเรียนรู้ (selecting a learning function) โดยค่าเริ่มต้นที่แบบจำลอง SNNS ได้กำหนดให้กับแบบจำลองคือ การใช้ฟังก์ชันการเรียนรู้แบบ Std_Backpropagation ที่มีการเชื่อมต่อระหว่าง node เป็นแบบ feed-forward ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันการเรียนรู้โดยการเลือกที่ปุ่ม SEL_FUNC (select learning function) โดยมีฟังก์ชันการเรียนรู้ที่คู่มือแนะนำอยู่ 3 ชนิดด้วยกันได้แก่ Std_Backpropagation, BackpropMomentum และRprop ในที่นี้ทำการกำหนดฟังก์ชันการเรียนรู้เป็นแบบ BackpropMomentum การกำหนดจำนวนรอบในกระบวนการการเรียนรู้สามารถกำหนดได้ที่ “CYCLES” (enter no of cycles) โดยกระบวนการการเรียนรู้สามารถเลือกการเรียนรู้แบบสุ่มได้โดยการเลือกใช้งานที่ปุ่ม SHUFFLE ก่อนที่จะเริ่มต้นกระบวนการเรียนรู้สามารถแสดงกราฟการ

เปลี่ยนแปลงค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองโดยเลือกใช้งานที่ปุ่ม GRAPH ใน SNNS-manager panel ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก8 โดยค่าในแนวแกน Y เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมีด้วยกันสองค่าคือ ค่า SSE (sum square error) และค่า MSE (mean square error) และค่าในแนวแกน X เป็นค่าจำนวนรอบที่ประยุกต์ใช้แบบจำลอง



ภาพผนวกที่ ก8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความคลาดเคลื่อนในกระบวนการเรียนรู้ และกระบวนการทดสอบ

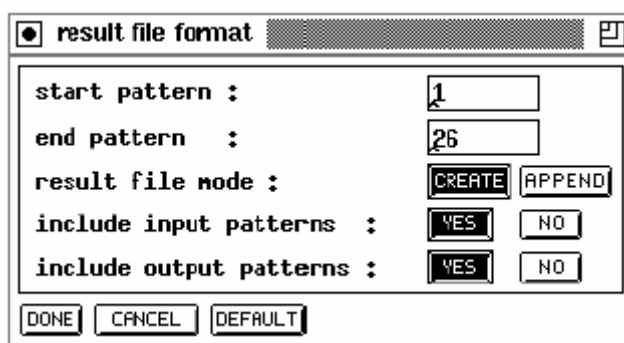
ที่มา: SNNS User Manual, Version4.2

การเริ่มต้นกระบวนการการเรียนรู้กระทำได้โดยเลือกใช้งานที่ปุ่ม ALL และเมื่อมีความต้องการที่จะหยุดการทำงานของแบบจำลองในระหว่างการประมวลผลของข้อมูล สามารถกระทำได้โดยเลือกใช้งานที่ปุ่ม STOP เมื่อเริ่มต้นการประมวลผลของแบบจำลอง SNNS ค่าความคลาดเคลื่อนก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยโดยแสดงดังภาพผนวกที่ ก8 นอกจากนั้นแบบจำลอง SNNS ยังสามารถทำกระบวนการการเรียนรู้ควบคู่ไปกับกระบวนการทดสอบด้วยกันได้โดยการทำการเลือกชุดข้อมูลที่ต้องการใช้ในกระบวนการการเรียนรู้ที่ปุ่ม USE ในช่อง “Training Pattern File?” และเลือกชุดข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการทดสอบที่ปุ่ม USE ในช่อง “Validation Pattern File?” ต้องทำการกำหนดจำนวนรอบในกระบวนการทดสอบที่ “VALID” ว่าแบบจำลองจะต้องทำกระบวนการเรียนรู้กี่รอบถึงจะทำกระบวนการทดสอบ

นอกจากนี้ยังมีการใช้งานอื่น ๆ ที่จะแนะนำได้แก่ เมื่อต้องการที่จะประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง SNNS ใหม่ให้ใช้งานปุ่ม RESET เพื่อที่จะให้แบบจำลอง SNNS ลบค่าน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณในรอบก่อนหน้าเพื่อที่จะคำนวณในรอบใหม่ หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าเริ่มต้นใหม่โดยใช้ปุ่ม INIT นอกจากนี้สามารถดูค่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่เป็นค่าทางสถิติที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองโดยเลือกใช้งานที่ปุ่ม ERROR ใน SNNS-CONTROL PATTERN

2.6 การบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง SNNS

การบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง SNNS เริ่มต้นหลังจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองใช้ผลลัพธ์เป็นที่น่าสนใจโดยการเลือกใช้งานที่ปุ่ม FILE ใน SNNS-Manager panel จะปรากฏหน้าต่างของ SNNS file browser ที่ใช้ในการเรียกข้อมูลขึ้นมาใช้งาน (LOAD) และการบันทึกข้อมูล (SAVE) โดยเริ่มจากการบันทึกโครงสร้างของแบบจำลอง SNNS ที่ NET และบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ RES ดังแสดงภาพผนวกที่ ก9 จะปรากฏหน้าต่าง result file format โดยต้องป้อนค่าต่าง ๆ ที่ต้องการบันทึกค่าดังนี้ start pattern, end pattern, result file mode, include input pattern และ include output patterns ตามลำดับ



ภาพผนวกที่ ก9 การบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

ที่มา: SNNS User Manual, Version4.2

ภาคผนวก ข

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11

1. คำนำของแบบจำลอง MIKE 11

MIKE 11 เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ.1972 โดย Danish Hydraulic Institute เพื่อนำมาใช้ในการจำลองลักษณะการไหลของน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอน การศึกษาคุณภาพของน้ำในบริเวณปากแม่น้ำและระบบชลประทาน แบบจำลอง MIKE 11 สามารถประยุกต์ใช้งานได้กับ PC-DOS, PC-UNIX และ Workstation โดยการใช้งานของแบบจำลอง MIKE 11 เป็นระบบการใช้งานแบบง่าย ๆ และแบบจำลอง MIKE 11 ประกอบด้วยชุดข้อมูล (file) ที่ใช้งานในแบบจำลองดังต่อไปนี้

1.1 Editing File หมายถึงชุดของข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นชั่วคราวในขณะการป้อนและการแก้ไขข้อมูล โดยชุดข้อมูลชุดนี้จะถูกลบเมื่อออกไปสู่ Main Menu นอกจากนี้มีการบันทึกข้อมูลลงใน System Menu

1.2 System File หมายถึงชุดข้อมูลถาวรซึ่งแบบจำลองจะทำการประยุกต์ใช้งาน โดยใช้ชุดข้อมูลที่เก็บไว้ในนี้

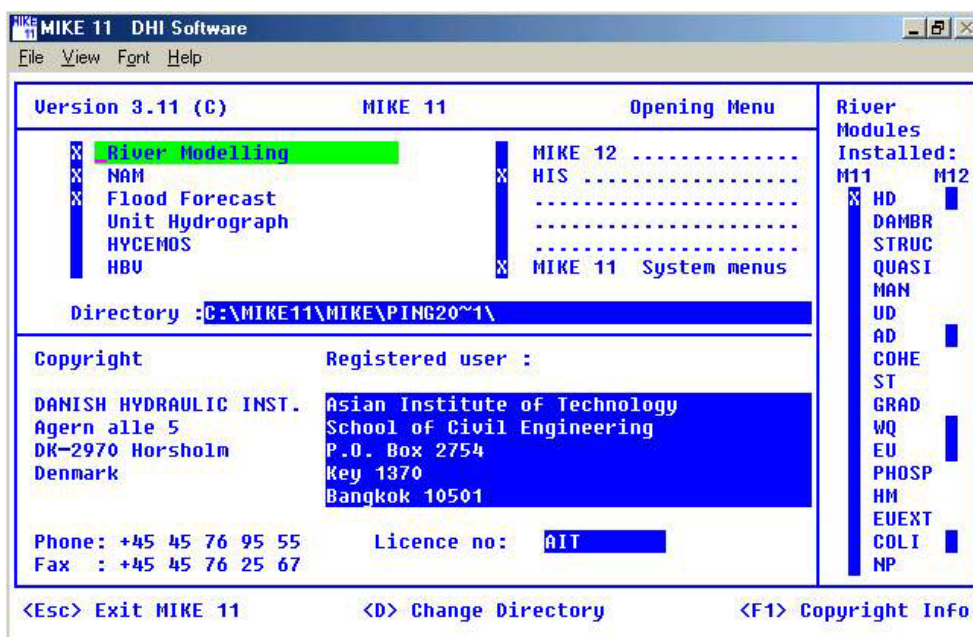
1.3 Database File หมายถึงชุดข้อมูลที่สามารถเรียกใช้ในการคำนวณได้ เช่นข้อมูลหน้าตัดขวาง (cross section database) และข้อมูลขอบเขตการทำงาน (boundary database)

1.4 Text File หมายถึง system file ซึ่งข้อมูลถูกเปลี่ยนจากระบบตัวเลข (binary format) มาเป็นแบบ a portable text format หรือภาษาที่โปรแกรมอื่น ๆ สามารถเข้าใจได้

2. ขั้นตอนการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 ในส่วนของ HD Module

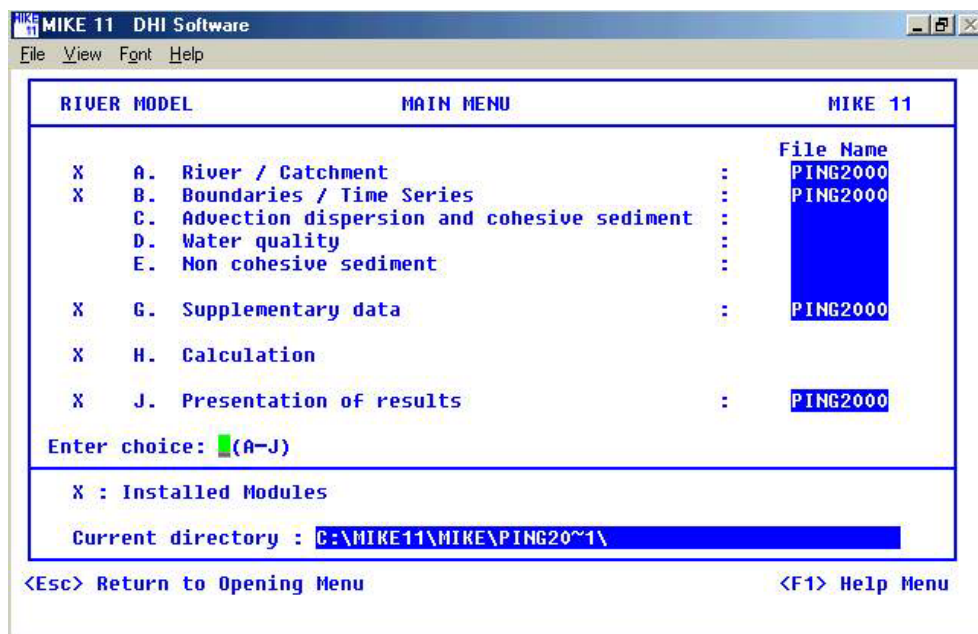
การประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 มีขั้นตอนดังนี้

2.1 เรียกใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 ดังภาพผนวกที่ ข1



ภาพผนวกที่ ข1 แบบจำลอง MIKE 11

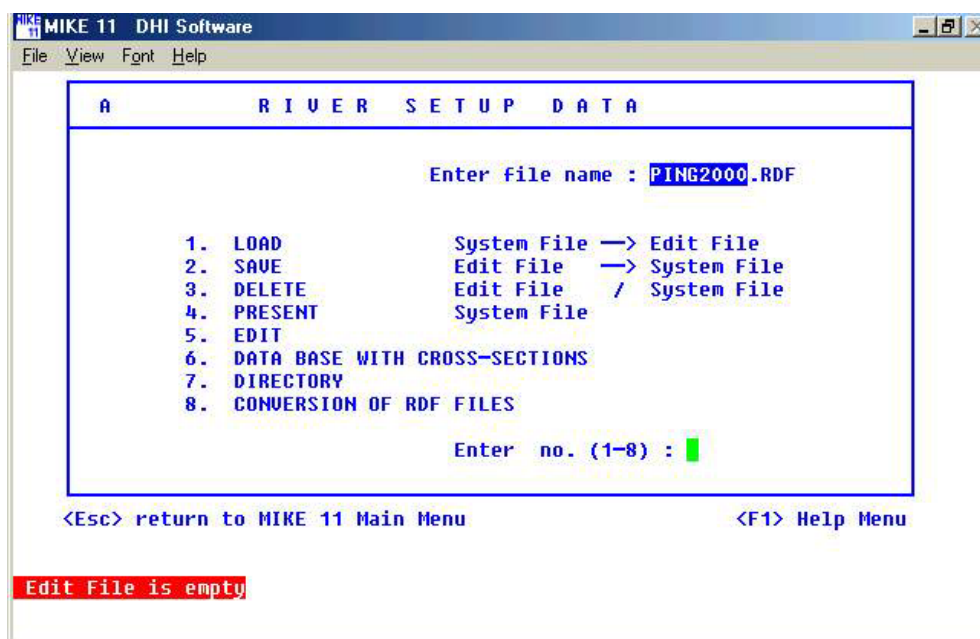
2.2 เรียกใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 ที่ River Modelling ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข2



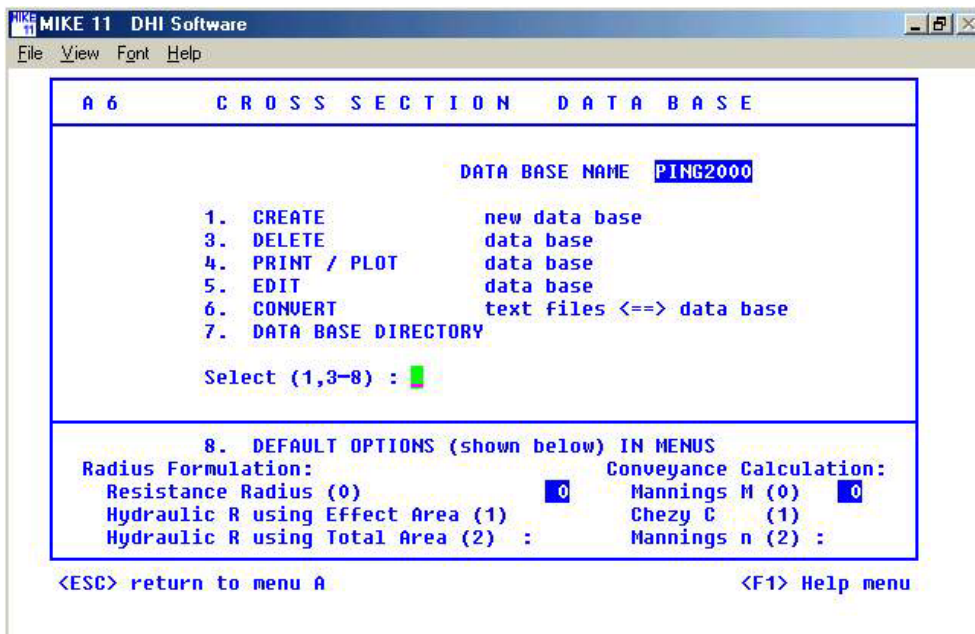
ภาพผนวกที่ ข2 เมนูหลักในแบบจำลอง River Modelling

2.3 เรียกใช้งานเมนู A (River/Catchment)

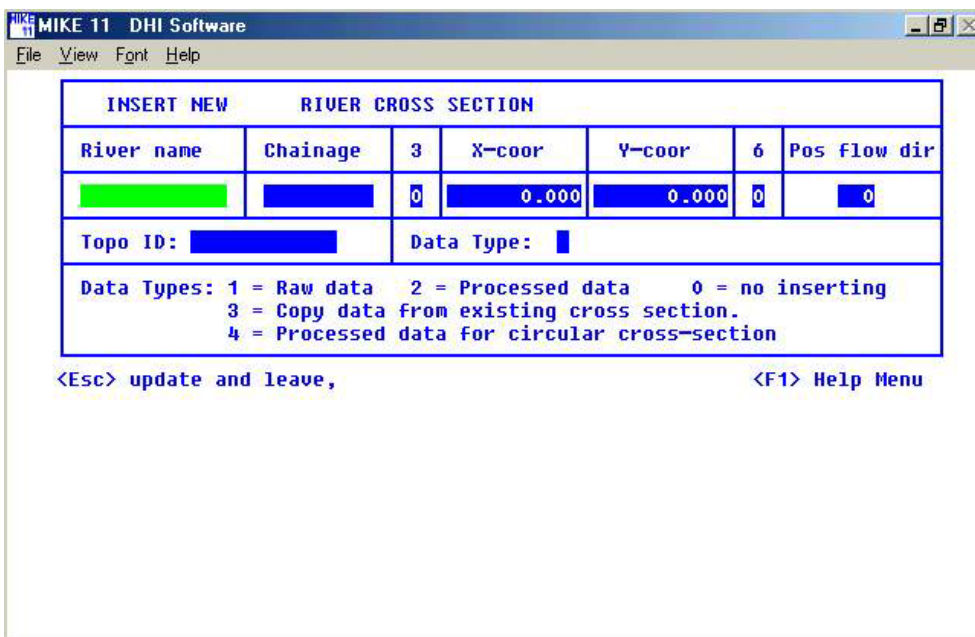
ในเมนู A จะใช้ในการบ่งบอกถึงลักษณะทั่วไปของแม่น้ำไม่ว่าจะเป็น รูปร่างของแม่น้ำ, หน้าตัดของแม่น้ำ, ความยาวของแม่น้ำ, รายละเอียดการเชื่อมต่อของแม่น้ำสายต่าง ๆ ที่นำมาศึกษา, ลักษณะทางเลขาคณิตรวมไปถึงโครงสร้างทางชลศาสตร์, หมายกำหนดการในการจัดสรรน้ำในพื้นที่ ๆ ทำการศึกษา และลักษณะของพื้นที่และการระบายน้ำ ดังแสดงดังภาพผนวกที่ ข3 การใส่ข้อมูลของหน้าตัดลำน้ำใช้เมนู A.6.5 ดังแสดงดังภาพผนวกที่ ข4 ซึ่งประกอบไปด้วย (1) การสร้างฐานข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำใหม่, (2) การลบฐานข้อมูล, (3) การแสดงผลของรูปหน้าตัดในลำน้ำ, (4) การแก้ไขข้อมูลของหน้าตัดในลำน้ำ, (5) การนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลอง, (6) การแสดงหน้าตัดในลำน้ำ และ (8) การตั้งค่าเงื่อนไขเริ่มต้นไม่ว่าจะเป็น radius formulation และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ใช้



ภาพผนวกที่ ข3 การใส่ข้อมูลในลำน้ำของเมนู A



ภาพผนวกที่ ๖4 การใส่ข้อมูลหน้าตัดของลำน้ำในเมนู A.6.5



ภาพผนวกที่ ๖5 การใส่ลักษณะทั่วไปของลำน้ำที่ต้องการศึกษา

จากภาพผนวกที่ ข5 ใช้สำหรับการป้อนข้อมูลของลำน้ำที่กำลังทำการศึกษาซึ่งประกอบไปด้วย การใส่ชื่อลำน้ำ (river name), Topo ID, ช่วงของลำน้ำ (chainage) และการใส่พิกัดของ cross-section (x คือพิกัดตามแนวนอน, z คือพิกัดตามแนวตั้ง) การใส่ค่าพิกัดของลำน้ำสามารถใส่ข้อมูลได้ดังภาพผนวกที่ ข6 ซึ่งประกอบไปด้วยการใส่ค่าข้อมูลดิบ (raw data) ต่าง ๆ ดังนี้คือ พิกัด cross-section ของลำน้ำในแนวแกน x-z, relative resistance, ค่าระดับตลิ่งขวาและซ้ายของลำน้ำ, ค่าระดับอ้างอิง เป็นต้น

A.6.5.R RAW CROSS SECTION DATA					
Topo ID	PING94	*Resistance Radius		Section:	
River Name	MAE CHAEM	Hydraulic Rad/Effect Area		*Open	
Chainage	0.000 km	Hydraulic Rad/Total Area		Closed	
Datum Adjustment:	0.00 m	33	<*>	X (m)	Z (m)
Morphological Model:					Rel Res
Divide X-Section (Y/N)?	N	1	<1>	0.00	284.85
Level of Divide:	0.00 m	2		2.00	283.57
X-Sect Param Levels (m) No:	0	3		4.00	282.51
		4		5.00	282.01
		5		7.00	280.63
		6		9.00	279.69
		7		10.00	279.51
		8		12.00	278.72
		9		14.00	277.66
		10		15.00	277.47
		11	<2>	20.00	277.29
		12		25.00	277.38

Sel: (E/I/D/T/B/F/N/P/esc) Edit Insert Delete Top Bottom Forr. Next Plot <esc>

ภาพผนวกที่ ข6 การใส่ค่าพิกัดของ cross-section

จากภาพผนวกที่ ข7 เป็นเมนูที่ใช้ระบุลักษณะต่าง ๆ ของลำน้ำ และโครงข่ายของทางน้ำต่าง ๆ โดยรายละเอียดของ Menu A.5 ประกอบไปด้วยการระบุจำนวนของเส้นลำน้ำ (Menu A.5.1), ลักษณะของฝ่ายชนิดต่าง ๆ (Menu A.5.3-A.5.5) และโครงสร้างต่าง ๆ ในลำน้ำ (Menu A.5.6-A.5.10)

จากภาพผนวกที่ ข8 เป็นการกำหนดการเชื่อมต่อของลำน้ำสาขาซึ่งประกอบไปด้วย Topo-ID คือ Topo-ID ที่ได้ทำการใส่ cross-section แล้ว, River name คือชื่อของลำน้ำ, Km. upstr คือ chainage ที่ตั้งอยู่ที่จุดควบคุมด้านเหนือน้ำของลำน้ำ, Km. dwnstr คือ chainage ที่ตั้งอยู่ที่จุดควบคุมด้านท้ายน้ำของลำน้ำ และUpstream connection และDownstream connection ซึ่งช่องแรกใส่ชื่อของลำน้ำที่บรรจบกับจุดควบคุมด้านเหนือน้ำ หรือจุดควบคุมด้านท้ายน้ำของลำน้ำที่อยู่ในช่องบน ช่องที่สองใส่ chainage ของลำน้ำในช่องแรกที่จุดบรรจบ

River specifications		Cross-sections				
Topo - ID	Name	Upstream	Dwnstream	Upstr.	Dnstr.	No.
PING94	MAIN PING	0.000	216.150	0.000	216.150	172
PING94	MAE NGAT	0.000	4.900	0.000	4.900	2
PING94	MAE TAENG	0.000	3.300	0.000	3.300	2
PING94	MAE RIM	0.000	4.100	0.000	4.100	2
PING94	MAE KUANG	40.920	64.000	41.000	64.000	24
PING94	MAE KHAN	0.000	3.100	0.000	3.100	2
PING94	MAE KLANG	0.000	8.350	0.000	6.350	2
PING94	MAE CHAEM	0.000	11.900	0.000	11.900	2

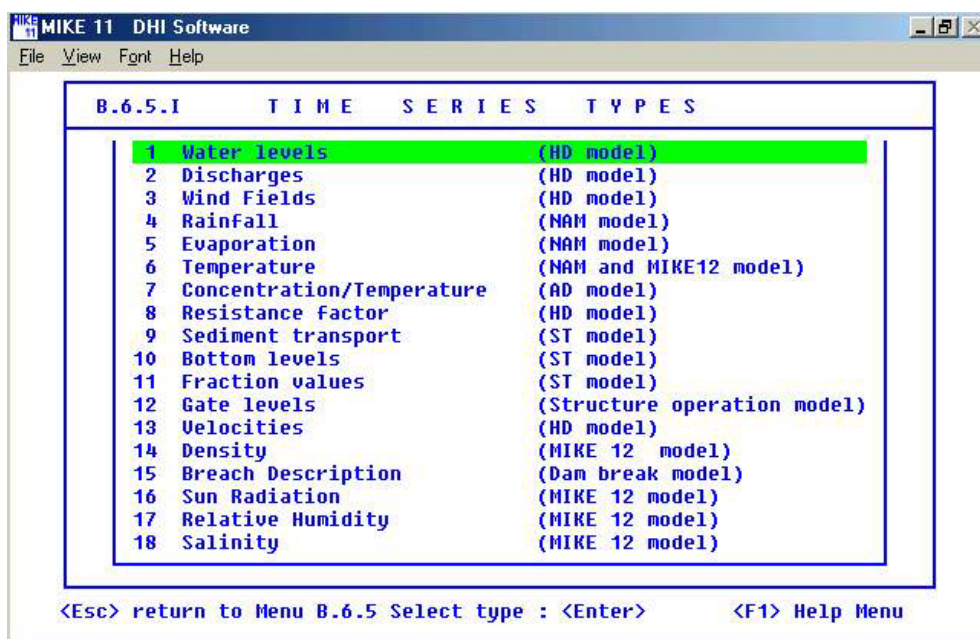
<ENTER>: listing of cross-sections <Esc> return to A.5 <F1> Help Menu

ภาพผนวกที่ ข9 รายละเอียดของ cross-section ที่ใช้ในการพิจารณา

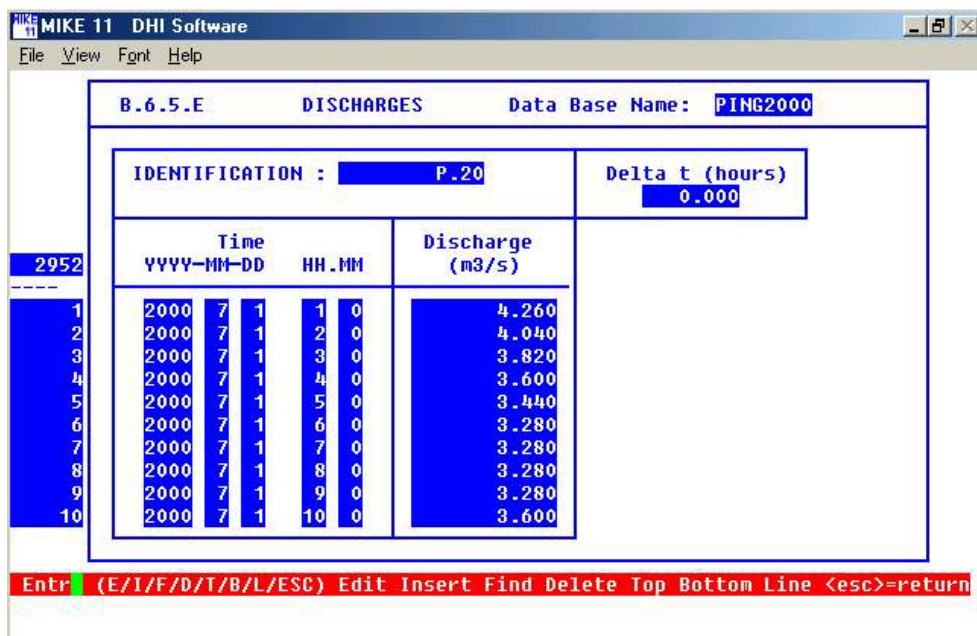
จากภาพผนวกที่ ข9 อธิบายถึงรายละเอียดของ cross-section ที่ใช้ในการพิจารณาแบบจำลอง ซึ่งประกอบไปด้วย Topo-ID, ชื่อของลำน้ำ, ระยะทางของจุดควบคุมด้านเหนือน้ำและจุดควบคุมด้านท้ายน้ำ และจำนวนของ cross-section ที่มีอยู่ในลำน้ำ

2.4 การเรียกใช้เมนู B (Boundaries/Time series)

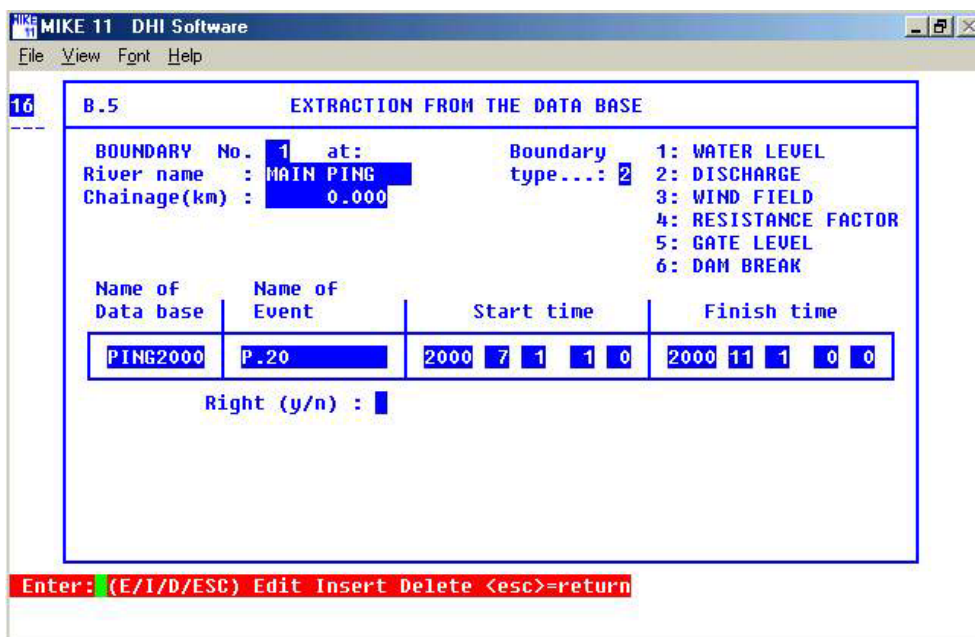
เมื่อต้องการที่จะนำเข้าสู่ข้อมูลในเมนู B จะต้องเลือกใช้เมนู B.6.5.I ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข10 และ ข11 โดยข้อมูลที่จะนำเข้าไปในแบบจำลองจะต้องจัดให้อยู่ในรูปแบบที่แบบจำลองต้องการ



ภาพผนวกที่ ข10 การนำเข้าข้อมูลของแบบจำลองในเมนู B



ภาพผนวกที่ ข11 ตัวอย่างการใส่ข้อมูลในเมนู B



ภาพผนวกที่ ข12 การ extraction database ในเมนู B

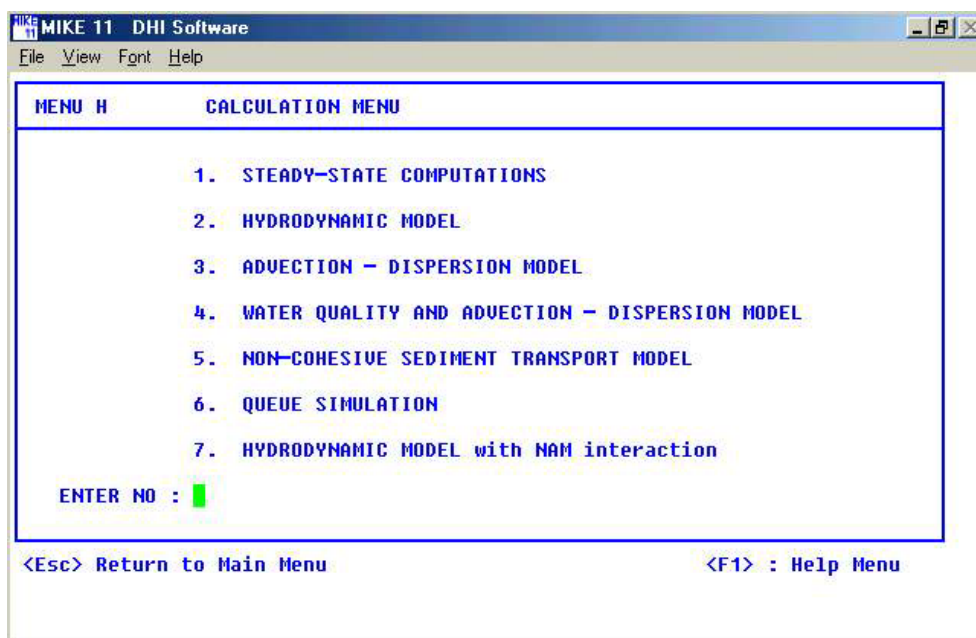
จากภาพผนวกที่ ข12 การทำ extraction database สิ่งที่ต้องกำหนดให้กับแบบจำลองประกอบไปด้วย ชื่อของลำน้ำ (river name), chainage ที่มีค่าของ time series (upstream, downstream และ local flow), การเลือกใส่ boundary type, การเลือกชื่อของ database ที่มีค่าของ time series (กด * สำหรับการเลือก) และการเลือกชื่อเหตุการณ์ของ time series

2.5 การเรียกใช้เมนู G (supplementary data)

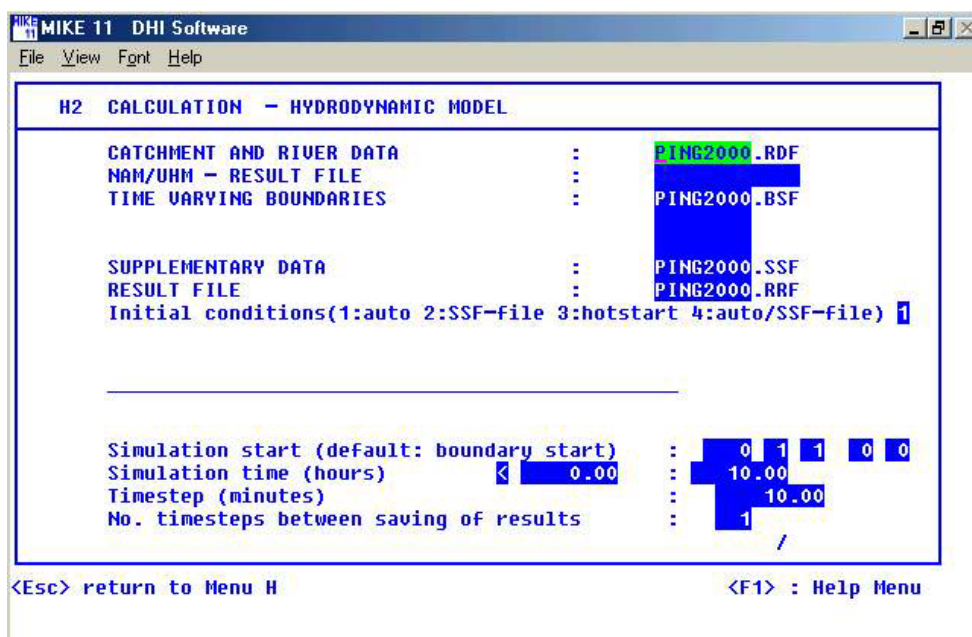
การเรียกใช้เมนู G เป็นการใส่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้กับแบบจำลองที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการประยุกต์ใช้แบบจำลองตัวอย่างเช่น ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition), wind factors, ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (resistance number), ลักษณะการไหล (flow description), default values, quasi-steady control parameter, water loss parameter, additional output และ flood plain resistance ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข13 และภาพผนวกที่ ข14 เป็นตัวอย่างการใส่ค่า Manning's (M) ในเมนู G

2.6 การเรียกใช้เมนู H (calculation menu)

เมนู H เป็นเมนูที่ใช้ในการคำนวณแบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบไปกับการคำนวณต่าง ๆ หลายรูปแบบ แต่ในที่นี้จะให้การคำนวณแบบ hydrodynamic model ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข15 รวมไปถึงการกำหนดชุดข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองเช่น ข้อมูล catchments and river data, time varying boundaries, supplementary data และ result file รวมไปถึงการกำหนดช่วงเวลาที่ จะใช้ในการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง, ค่าช่วงเวลาในการคำนวณ (time step, minutes) และช่วงเวลาในการบันทึกชุดข้อมูลที่ได้จากการประยุกต์แบบจำลอง (No. timesteps between saving of results) ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข16



ภาพผนวกที่ ข15 เมนูการคำนวณในแบบจำลอง MIKE 11 ในเมนู H



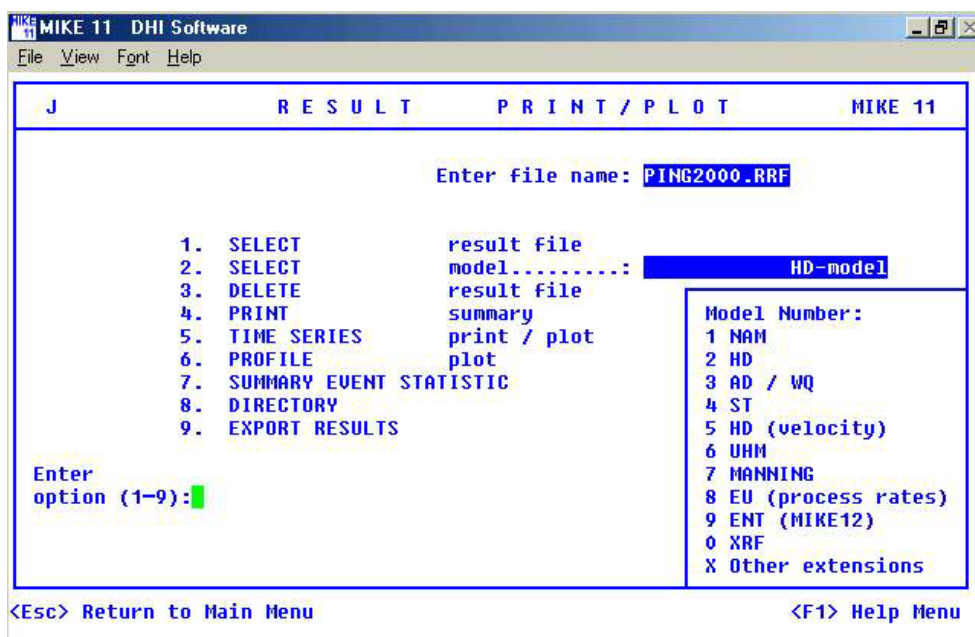
ภาพผนวกที่ ข16 การกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการประยุกต์แบบจำลอง

2.7 การเรียกใช้เมนู J (result print/plot)

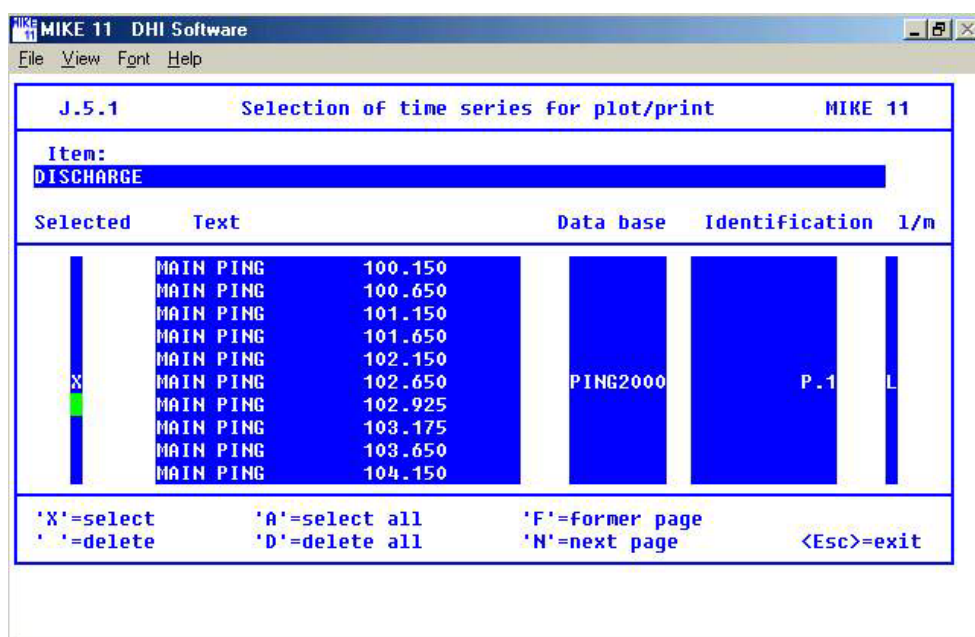
ภายหลังจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองสิ้นสุดลง ผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองสามารถแสดงผลออกมาได้หลายรูปแบบด้วยกันเช่น กราฟแสดงผล, ผลลัพธ์ในรูปแบบตัวเลข โดยการแสดงผลต่าง ๆ สามารถเรียกใช้งานได้ในเมนู J ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข17

การเริ่มต้นแสดงผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11 เริ่มจากการเลือกข้อมูลใน time series ที่ต้องการพิจารณาในเมนู J.5.1 ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข18 และทำการสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม กับข้อมูลที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง โดยเลือกใช้งานที่เมนู J.5.2 ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข19

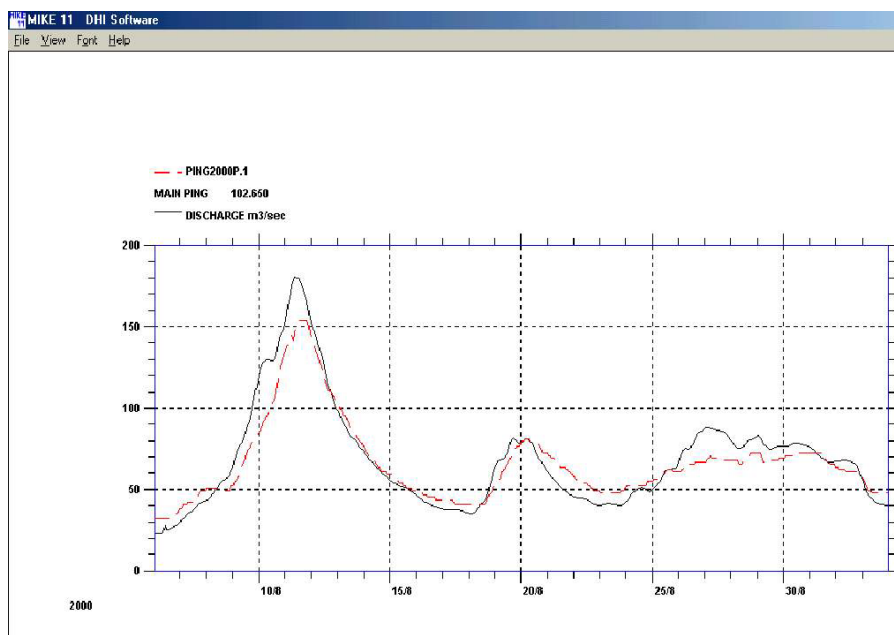
นอกจากนั้นแบบจำลอง MIKE 11 ยังสามารถแสดงรูปตัดด้านข้าง (profile) ของลำน้ำที่พิจารณาได้โดยเลือกใช้งานที่เมนู J.6 ดังแสดงได้ตามภาพผนวกที่ ข20 และ ข21



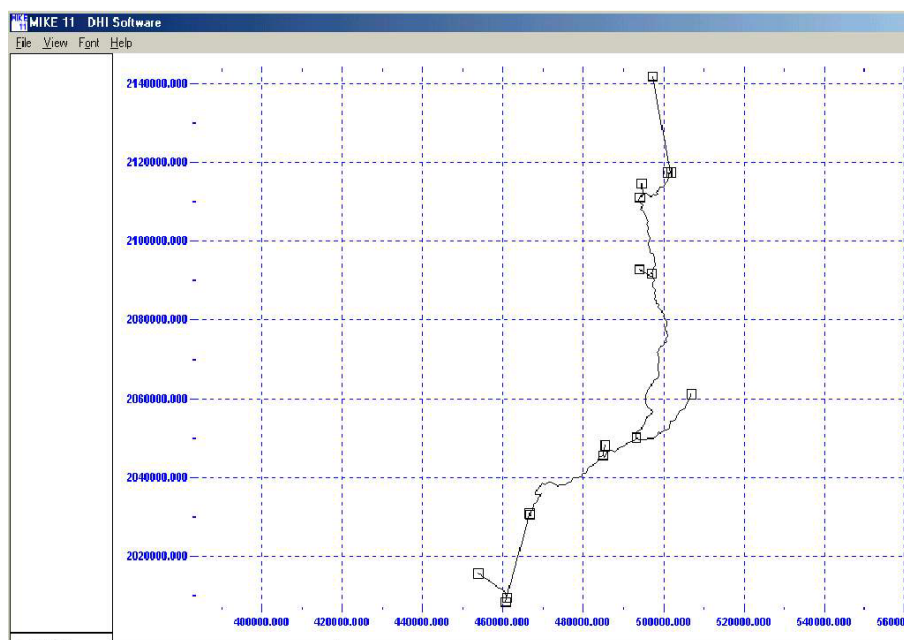
ภาพผนวกที่ ข17 การแสดงผลการคำนวณในเมนู J



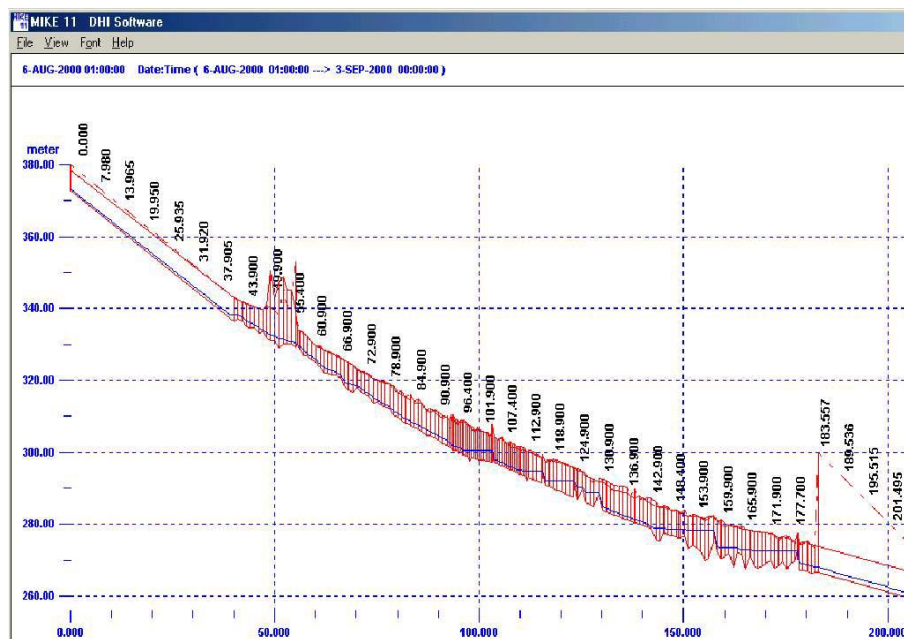
ภาพผนวกที่ ข18 การเลือกข้อมูลใน time series ที่ต้องการพิจารณา



ภาพผนวกที่ ข19 การแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงในสนาม กับค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE 11



ภาพผนวกที่ ข20 การเลือกรูปตัดด้านข้างของลำน้ำ

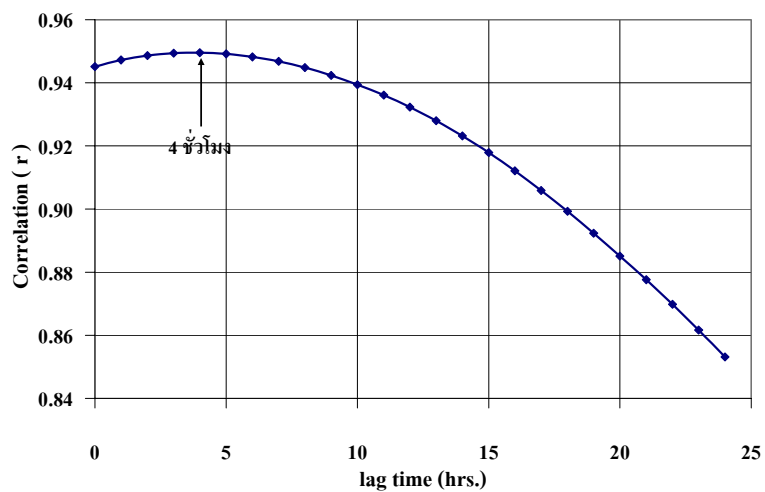


ภาคผนวกที่ ข21 การแสดงรูปตัดด้านข้างของลำน้ำ

ภาคผนวก ค

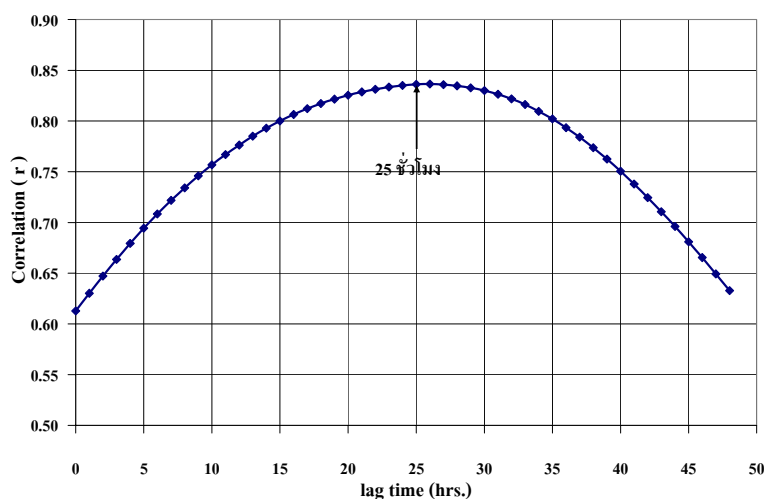
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าในการประเมินปริมาณน้ำท่วมโดย
แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

1. การประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.75

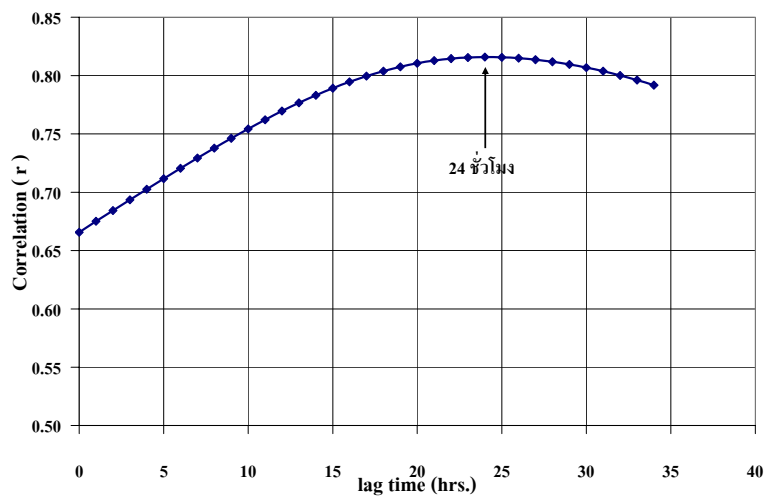


ภาพผนวกที่ ค1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.20 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.75

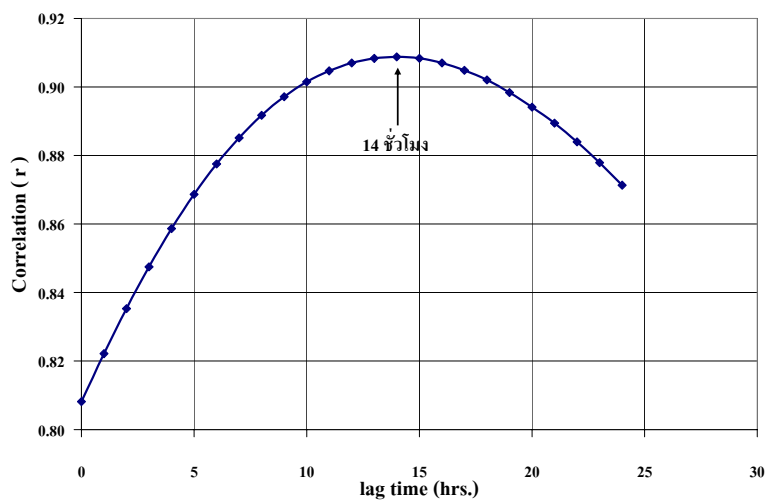
2. การประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.1



ภาพผนวกที่ ค2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.20 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.1

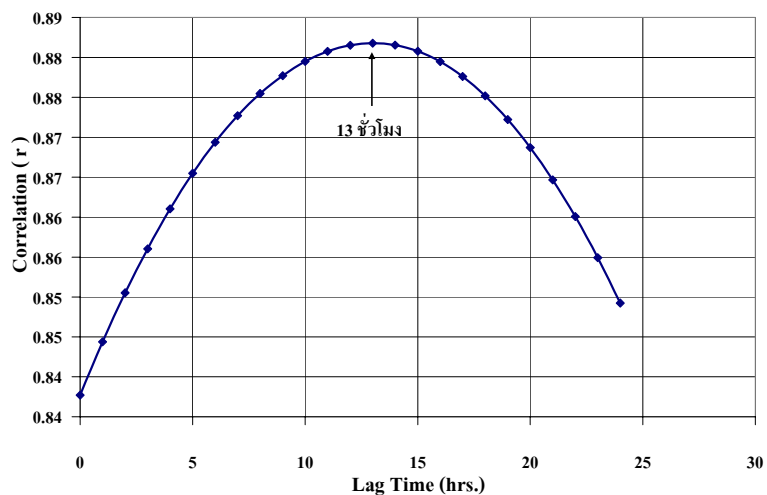


ภาพผนวกที่ ค3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.4A ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.1

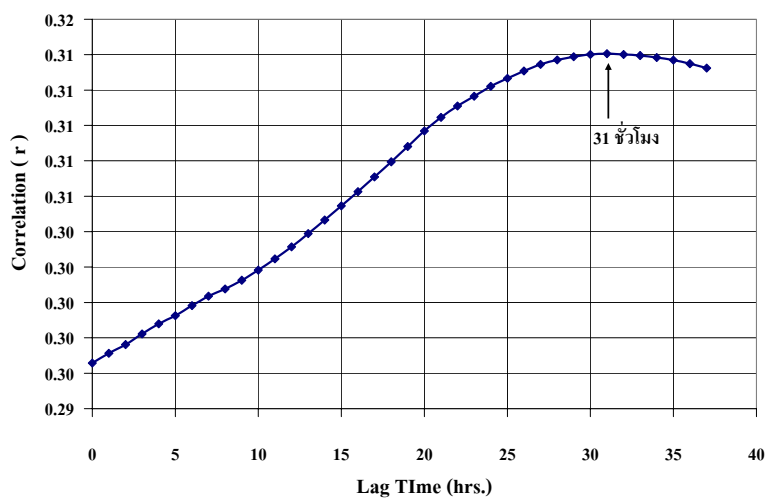


ภาพผนวกที่ ค4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.21 ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.1

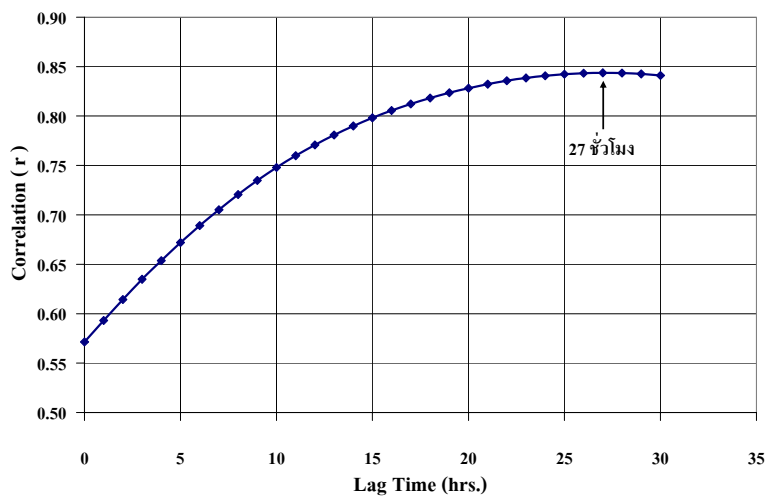
3. การประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.73



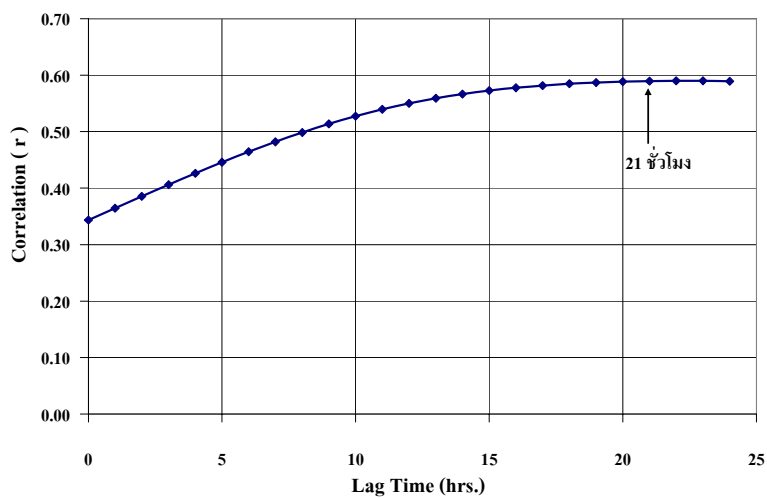
ภาพผนวกที่ ๑๕ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.73



ภาพผนวกที่ ๑๖ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.69 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า P.73

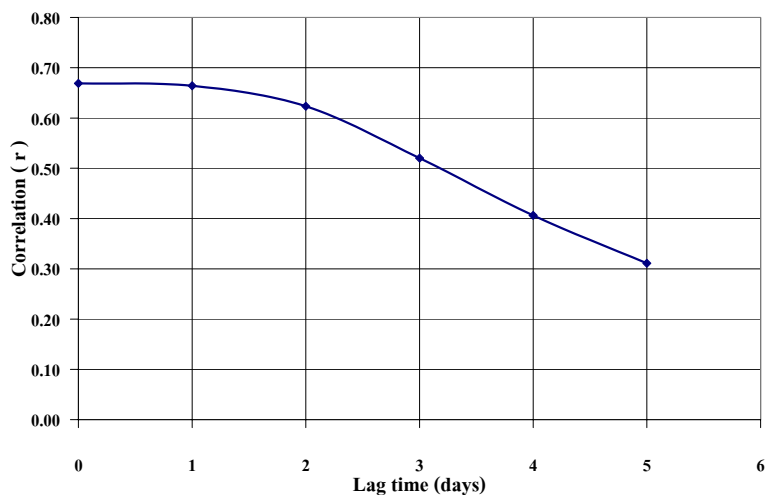


ภาพผนวกที่ ค7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.71 ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.73

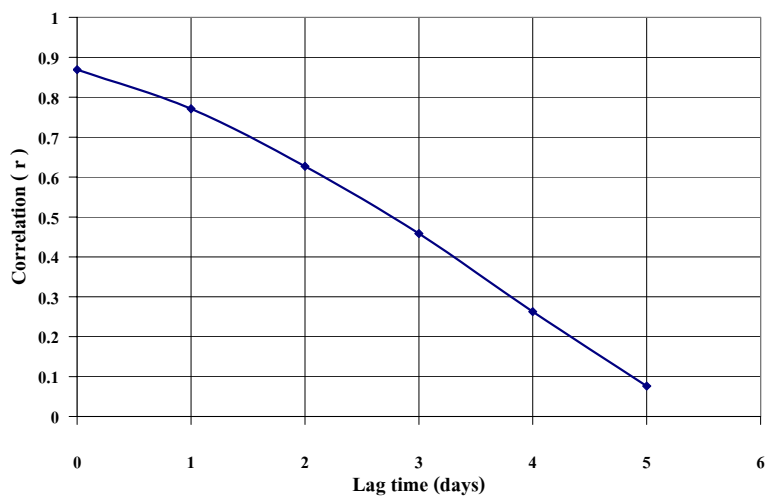


ภาพผนวกที่ ค8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.24A ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า P.73

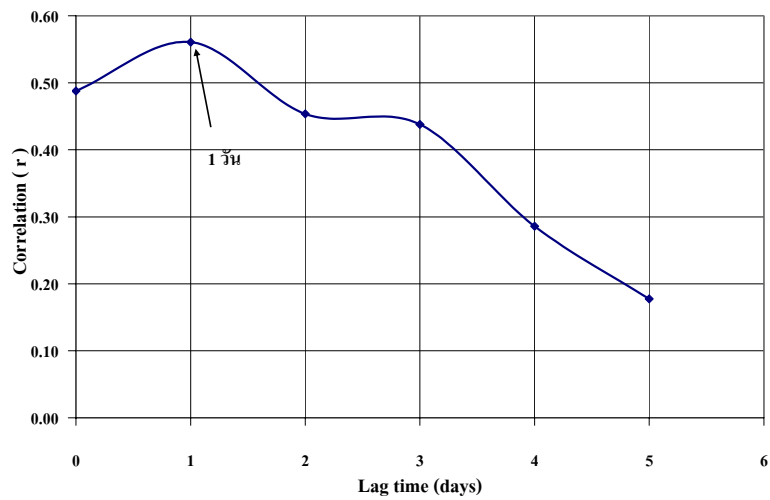
4. การประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2



ภาพผนวกที่ ๙ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลค่าน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.1 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2



ภาพผนวกที่ ๑๐ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลค่าน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า P.69 ในการประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2



ภาพผนวกที่ ค11 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลด้านเข้าของสถานีวัดน้ำท่า P.24A ในการประเมินปริมาณน้ำท่วมที่สถานีวัดน้ำท่า PE.2

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการศึกษา	3
การตรวจเอกสาร	5
ลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำปึงตอนบน	5
กระบวนการน้ำฝน-น้ำท่า	18
การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการศึกษา	21
ทฤษฎีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง	31
อุปกรณ์และวิธีการ	70
อุปกรณ์	70
วิธีการ	70
ผลและวิจารณ์	88
การสอบเทียบ (การเรียนรู้) และการตรวจพิสูจน์ (การทดสอบ) แบบจำลอง	92
การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียม	
และแบบจำลอง MIKE 11 HD ในการพยากรณ์กราฟน้ำหลากรายชั่วโมง	
ของสถานีวัดน้ำท่า โดยใช้ค่าทางสถิติ	136
การวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง	146
สรุป	156
ข้อเสนอแนะ	160
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	162
ภาคผนวก	168

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นายสุประภาพร พัฒน์สิงห์เสนีย์

เกิดวันที่ 23 สิงหาคม พ.ศ. 2523

สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ประวัติการศึกษา วศ.บ. (โยธา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (พ.ศ. 2543)

ทุนการศึกษาที่ได้รับ ได้รับเงินทุนสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2546)