

**การพัฒนาวิธีการจัดสรรน้ำสำหรับระบบอ่างเก็บน้ำด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
: กรณีศึกษาในลุ่มน้ำมูลตอนบน**

**Developing Multireservoir Water Allocation Method using Artificial Neural
Networks: A Case study of Upper Mun Basin.**

ทองเปลว กองจันทร์¹ และ วราวุธ วุฒินิชย์²

¹ นักศึกษาปริญญาเอก, ² รองศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

บทคัดย่อ : การวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการจัดสรรน้ำในสภาวะการขาดน้ำให้เกิดประโยชน์ ยุติธรรมและมีความเชื่อมั่นสูง ใช้ลุ่มน้ำมูลตอนบนเป็นกรณีศึกษา โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multilayer Feed Forward(MLFF) และมีการเรียนรู้แบบ Back-Propagation(BP)จำลองการจัดสรรน้ำของระบบอ่างเก็บน้ำ เมื่อเปรียบเทียบผลการจัดสรรน้ำจากโครงข่ายประสาทเทียมที่มี Hidden Layers ต่างๆกับ HEC-3 ด้วยดัชนีทางสถิติ พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบ (12-16-8-4) มีความเหมาะสมที่สุดคือ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9634 ผลการศึกษาพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมสามารถใช้ในการพัฒนาวิธีการจัดสรรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดความยุ่งยากในการใช้แบบจำลอง

ABSTRACT : The study demonstrated the application of Artificial Neural Networks(ANNs) in developing water allocation method under shortage conditions taking into account of profitability, equity and reliability of multireservoir system. The Upper Mun basin was selected as a case study. Multilayer Feed Forward(MLFF) and Back – Propagation(BP) neural network was applied to model multireservoir water allocation. The outputs of ANNs model with different hidden layers were compared with the outputs of HEC-3 using statistical indicators. The ANN(12-16-8-4) model was the most appropriated. The R^2 was 0.9634. It was found in this study that ANNs can be used in developing an effective multireservoir water allocation method and thus reducing the modelling difficulty.

Keywords : Multireservoir, Water Allocation, Artificial Neural Networks

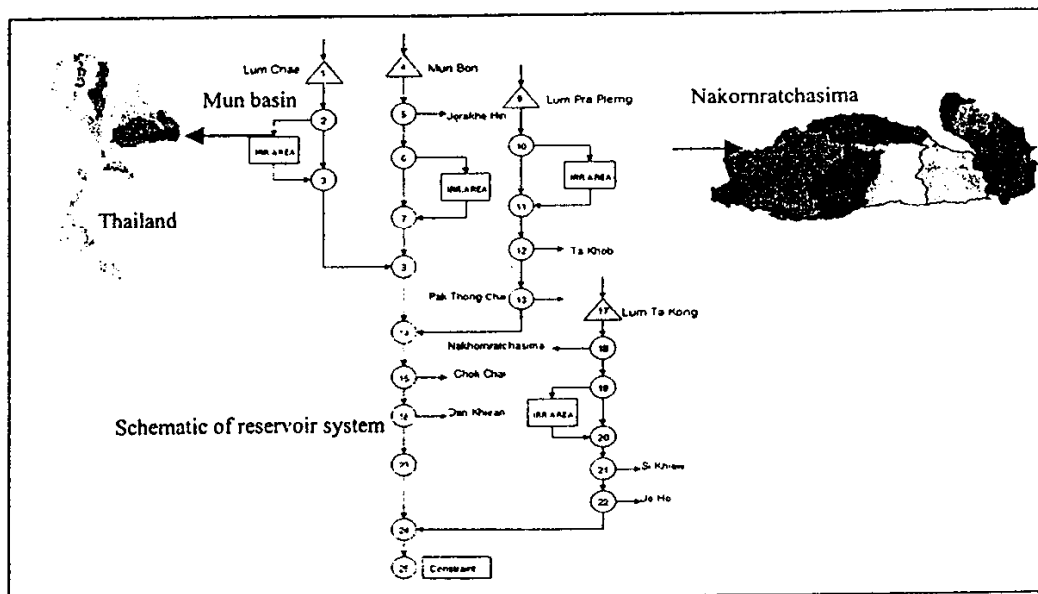
1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้น้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำส่วนใหญ่จะเป็นแบบเอนกประสงค์ ซึ่งมีกิจกรรมสำคัญที่ใช้น้ำได้แก่ การเกษตร การประปา การอุตสาหกรรม การรักษาระบบนิเวศน์ด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ในการจัดสรรน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำมีเป้าหมายคือ ปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้น้ำ โดยเชื่อมโยงกับมิติทางสังคมศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งการจัดสรรน้ำจะต้องให้เกิดความพึงพอใจต่อกลุ่มผู้ใช้น้ำในสถานะปัจจุบัน และพยายามรักษาปริมาณน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำให้เหมาะสมต่อเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามการจัดสรรน้ำที่จะบรรลุเป้าหมายตามที่กล่าวมานั้นจะต้องมีกระบวนการและแบบจำลองที่ยุ่งยาก ซับซ้อนจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ผู้บริหารจัดการน้ำมีข้อมูลไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจในการแก้ปัญหาเร่งด่วน เช่น การเกิดอุทกภัย การขาดแคลนน้ำ เป็นต้น ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธีการจัดสรรน้ำสำหรับระบบอ่างเก็บน้ำของกลุ่มน้ำมูลตอนบนในสถานะการขาดแคลนน้ำ (ทองเปลว และวราวุธ, 2544) ให้เกิดประโยชน์ ผู้ดิชรรณ และมีความน่าเชื่อถือ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

ทำการศึกษาในพื้นที่ชลประทานของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ 4 อ่างฯ ประกอบด้วย อ่างเก็บน้ำลำแพะ อ่างเก็บน้ำมูลบน อ่างเก็บน้ำลำพระเพลิง และอ่างเก็บน้ำลำตะคอง ซึ่งอยู่ในลุ่มน้ำมูลตอนบนในเขตจังหวัดนครราชสีมา มีพื้นที่ 7,190 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 10.31% ของพื้นที่ลุ่มน้ำมูลตอนบน มีกิจกรรมการใช้น้ำประกอบด้วย การเกษตร การประปา-อุตสาหกรรม การรักษาระบบนิเวศน์ด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ และความต้องการน้ำที่ทางออกของกลุ่มน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาและพื้นที่ลุ่มน้ำมูลทั้งหมด

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

(1) การสร้างทางเลือกของการจัดสรรน้ำในสภาวะการขาดน้ำ

ผลการศึกษาของ ทองเปลว และวราวุธ(2544, 2545) พบว่า ในปี พ.ศ. 2542 กลุ่มน้ำมูลตอนบนมีอัตราการขาดน้ำทุกกิจกรรมการใช้น้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย 17.79% ของความต้องการใช้น้ำต่อปี และอัตราการขาดน้ำจะผันแปรไปตามปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในแต่ละปี จากสภาวะการขาดน้ำดังกล่าวผู้บริหารจัดการน้ำในกลุ่มน้ำมูลตอนบนได้เสนอให้ใช้มาตรการเฉลี่ยการขาดน้ำในทุกกิจกรรมที่ใช้น้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นจึงสร้างทางเลือกของการจัดสรรน้ำโดยใช้ปีที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าระบบอ่างเก็บน้ำน้อยที่สุด และจัดสรรน้ำให้ที่ทางออกของกลุ่มน้ำเท่ากับอัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดจากสถิติ ด้วยโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และเทคนิคของ E-Constraint ทำการ Trade-off ของแต่ละวัตถุประสงค์และหาค่าสูงสุดในแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำตาม สมการที่ (1)

$$\text{Max } Z(x) = [Z_1(x), Z_2(x), Z_3(x)] \quad (1)$$

เมื่อ $Z_1(x)$ = การเกษตร; $Z_2(x)$ = การประปา-อุตสาหกรรม; และ $Z_3(x)$ = การรักษาระบบนิเวศด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ โดยมีสมมติฐานให้การเกษตรได้ผลผลิตสูงสุด (Max. Yield) การประปา-อุตสาหกรรม และการรักษาระบบนิเวศด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ เกิดการขาดน้ำน้อยที่สุด (Min. Shortage) (ทองเปลว และวราวุธ, 2545)

(2) การวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกทางเลือกของการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์

ใช้เทคนิคของการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process; AHP) (Huizingh และ Vrolijk, 1994) ในการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกทางเลือก (Alternative) โดยมีเป้าหมาย (Goal) คือการจัดสรรน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมระหว่างผู้ใช้น้ำประเภทต่าง ๆ ในสภาวะการขาดน้ำ เกณฑ์ (Criteria) ที่ใช้พิจารณาเลือกทางเลือกประกอบด้วย ผลประโยชน์ (Profitability) ความยุติธรรม (Equity) และความเชื่อมั่น (Reliability) (ทองเปลว และวราวุธ, 2545) ในการวิเคราะห์ของ AHP จะใช้ข้อมูลจากตัวแทนของผู้ได้เสียประโยชน์ในพื้นที่กลุ่มน้ำมูลตอนบนซึ่งจะเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise) ในลำดับชั้นของเกณฑ์ และในลำดับชั้นของทางเลือก แล้วตัดสินใจให้น้ำหนักด้วยผลการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพ และคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ในแต่ละลำดับชั้นด้วยหลักการของ eigenvalue และ eigenvector ดัง สมการ (2)

$$Ax = \lambda x \quad (2)$$

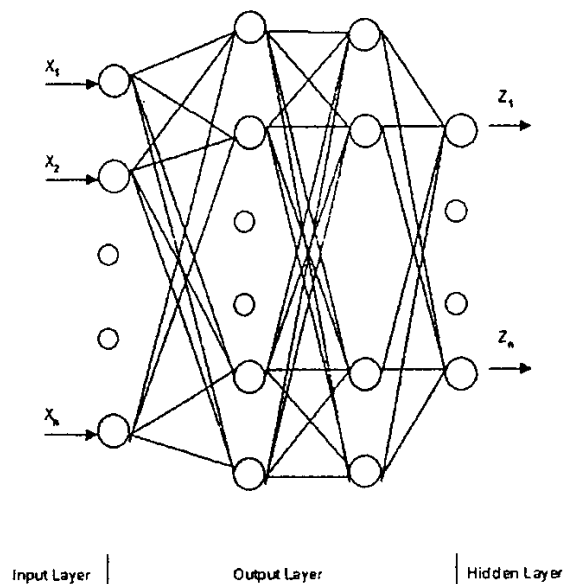
เมื่อ A = สแควร์เมตริกของการเปรียบเทียบจากผู้บริหารและผู้เกี่ยวข้องกับการจัดสรรน้ำ ในแต่ละลำดับชั้น ; x = eigenvector แสดงน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ในแต่ละลำดับชั้น ; และ λ = eigenvalue

(3) การจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ

ใช้ทางเลือกที่คัดเลือกมาได้จาก AHP ใช้ข้อมูลปีที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าระบบอ่างเก็บน้ำเป็น 6 กรณี คือ น้อยจัด น้อย ก่อนข้างน้อย ก่อนข้างปานกลาง ปานกลาง และก่อนข้างมาก และจัดสรรน้ำให้ที่ทางออกของกลุ่มน้ำเท่ากับอัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดจากสถิติข้อมูล ในการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำมูลตอนบนด้วย HEC-3 (ทองเปลว และวราวุธ, 2545)

(4) การพัฒนาวิธีการจัดสรรน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

ใช้ข้อมูลจากผลการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำด้วย HEC-3 อันประกอบด้วย ปริมาณความต้องการน้ำ (Demand, D) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Storage, S) ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow, I) และปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ (Release, R) ของระบบอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะจัดข้อมูลรายเดือนทั้งหมด 72 ชุด แล้วแบ่งข้อมูลสำหรับการสอน (Training) 80% หรือ 58 ชุด และสำหรับการทดสอบ (Testing) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANNs) 20% หรือ 14 ชุด เพื่อพัฒนาวิธีการจัดสรรน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำในสถานการณ์การขาดน้ำ โดยให้ D, S และ I เป็นข้อมูลในชั้นป้อนเข้า (Input Layer) และ R เป็นข้อมูลในชั้นแสดงผลลัพธ์ (Output Layer) ส่วนในชั้นซ่อน (Hidden Layer) ต้อง Trial-Error เพื่อหาจำนวนชั้นและจำนวนหน่วย (Node) ที่เหมาะสม (วรารุณ, 2544 ; Hagan และ Demuth, 1996) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

3. ผลและวิจารณ์

(1) ทางเลือกของการจัดสรรน้ำในสถานการณ์การขาดน้ำ

จากการ Trade-off เพื่อสร้างทางเลือกของการจัดสรรน้ำในสถานการณ์การขาดน้ำจำนวน 16 ทางเลือก ดังแสดงในตารางที่ 1 ใน 16 ทางเลือกของการจัดสรรน้ำจะมีผลผลิตรวมสูงสุดอยู่ระหว่าง 49-60% ของผลผลิตสูงสุด การประปา-อุตสาหกรรม จะมีการขาดน้ำระหว่าง 0-100% ของความต้องการสูงสุด และการรักษาระบบนิเวศน์ด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ จะขาดน้ำระหว่าง 0-19.72% ของความต้องการปกติ

(2) ทางเลือกที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น (AHP)

จากความเห็นของผู้ได้เสียประโยชน์ในพื้นที่ศึกษาของกลุ่มน้ำมูลตอนบนรวมทั้งหมด 26 คน ประกอบด้วย ผู้บริหารจัดการน้ำระบบอ่างเก็บน้ำ 10 คน นักวิชาการ 1 คน ผู้แทนเกษตรกร 6 คน ผู้แทนการประปา-อุตสาหกรรม 2 คน ผู้แทนระบบนิเวศน์ 6 คน และผู้วิจัย 1 คน เมื่อวิเคราะห์ความสำคัญสัมพัทธ์ในชั้นของ

ตารางที่ 1 การ Trade-off เพื่อสร้างทางเลือกของการจัดสรรน้ำในสภาวะการขาดน้ำ

ทางเลือก	การเกษตร		การประปา-อุตสาหกรรม		การรักษาระบบนิเวศน์	
	ผลผลิตสูงสุด (%)	ผลผลิตลดลง (%)	ขาดน้ำน้อยสุด (mcm.)	การใช้น้ำลดลง (%)	ขาดน้ำน้อยสุด (mcm.)	ระดับน้ำลดลง (%)
1	60	40	30.24	100.00	55.43	19.72
2	59	41	20.16	72.80	55.43	19.72
3	57	43	10.08	36.40	55.43	19.72
4	56	44	0.00	0.00	55.43	19.72
5	58	42	30.24	100.00	37.14	12.97
6	56	44	20.16	72.80	37.14	12.97
7	55	45	10.08	36.40	37.14	12.97
8	54	46	0.00	0.00	37.14	12.97
9	55	45	30.24	100.00	18.69	6.34
10	54	46	20.16	72.80	18.69	6.34
11	52	48	10.08	36.40	18.69	6.34
12	51	49	0.00	0.00	18.69	6.34
13	53	47	30.24	100.00	0.00	0.00
14	51	49	20.16	72.80	0.00	0.00
15	50	50	10.08	36.40	0.00	0.00
16	49	51	0.00	0.00	0.00	0.00

เกณฑ์ (Criteria) ด้วย AHP พบว่าจะให้ความสำคัญด้านผลประโยชน์ 41% ความเชื่อมั่น 32.3% และความยุติธรรม 26.7% ดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าภาพรวมของการตัดสินใจเพื่อการจัดสรรน้ำในสภาวะของการขาดน้ำ จะให้น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ทางด้านผลประโยชน์สูงสุด ความเชื่อมั่น และความยุติธรรมจะรองลงมาตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ความสำคัญสัมพัทธ์ในชั้นของทางเลือก (Alternative) จะให้ความสำคัญของทางเลือกที่ 4 สูงสุดคือ 29.38% ดังแสดงในตารางที่ 3 ทางเลือกที่ 4 เป็นทางเลือกที่ไม่ให้การประปา-อุตสาหกรรมขาดน้ำ การรักษาระบบนิเวศน์ด้านท้ายอ่างเก็บน้ำให้มีระดับน้ำในลำน้ำลดลง 19.72% จากระดับปกติ (2.46 ม.) และ

จะได้ผลผลิตทางการเกษตรรวม 56% ของผลผลิตสูงสุด ซึ่งทางเลือกนี้การรักษาระบบนิเวศน์ด้านท้ายอ่างเก็บน้ำจะ
ใช้น้ำจาก Return Flow

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์การจัดสรรน้ำด้วย AHP(%)

Informant	Profitability	Equity	Reliability	Informant	Profitability	Equity	Reliability
1	69.6	22.9	7.5	14	62.7	28.0	9.4
2	19.9	73.3	6.8	15	75.0	7.8	17.1
3	24.3	5.6	70.1	16	33.3	33.3	33.3
4	76.3	6.1	17.6	17	33.3	33.3	33.3
5	70.9	6.0	23.1	18	77.8	11.1	11.1
6	68.2	23.6	8.2	19	33.3	33.3	33.3
7	6.7	29.3	64.0	20	6.4	13.8	79.8
8	6.8	73.3	19.9	21	6.8	19.9	73.3
9	73.3	6.8	19.9	22	6.4	13.8	79.8
10	48.1	46.3	5.8	23	6.8	19.9	73.3
11	6.0	70.9	23.1	24	79.8	6.4	13.8
12	76.4	11.5	12.1	25	6.6	14.9	78.5
13	15.3	77.7	7.0	26	76.3	6.1	17.6
Mean					41.0	26.7	32.3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของทางเลือกการจัดสรรน้ำด้วย AHP(%)

Alternatives	Overall	Priority	Alternatives	Overall	Priority
2	0.37	16	12	14.47	3
3	5.78	5	14	1.19	11
4	29.38	1	15	0.63	14
6	1.30	10	16	8.36	4
7	4.67	6	17	1.57	9
8	24.49	2	18	1.11	12
10	2.75	7	19	0.70	13
11	2.74	8	20	0.46	15

(3) จำลองระบบอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำด้วย HEC-3

ตัวอย่างผลจากการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลจากการจำลองระบบอ่างเก็บน้ำด้วย HEC-3

i	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
1	10.34	0.02	0.11	6.72	51.33	33.69	40.98	47.62	71.62	29.20	27.25	49.01	54.10	26.25	25.71	34.02
2	17.39	1.05	5.70	6.19	19.15	7.00	6.03	20.00	9.05	2.13	7.76	23.35	2.33	0.03	6.22	5.70
3	35.61	8.32	38.00	58.58	7.00	7.00	10.31	20.00	47.93	20.53	31.61	63.91	36.03	8.81	30.07	57.02
4	9.37	2.25	7.61	13.91	54.23	28.11	39.88	64.72	13.71	4.53	7.27	14.16	11.78	3.21	6.95	12.59
5	28.02	10.03	48.21	61.48	10.62	7.00	4.00	20.00	43.05	19.60	25.08	101.29	32.40	10.37	23.59	61.95
6	36.83	14.60	16.10	30.28	7.00	7.00	29.05	20.00	34.36	13.10	23.37	80.56	27.59	10.98	21.70	30.53
7	9.94	0.46	0.51	1.32	34.43	11.79	18.93	20.00	4.93	2.66	1.78	7.07	4.39	0.80	1.61	0.54
8	11.98	5.16	13.43	10.99	45.89	26.82	34.57	65.94	11.22	6.49	1.72	6.29	9.85	5.44	1.70	5.96
9	6.99	1.63	3.94	6.99	82.13	21.72	44.54	20.00	3.24	2.09	1.38	9.88	2.20	1.61	1.17	3.75
10	16.95	1.89	19.60	22.60	42.68	27.27	63.96	68.11	11.46	6.54	1.85	6.09	10.11	5.18	1.83	5.96
11	50.01	23.38	0.00	31.79	16.44	7.00	49.74	66.43	56.67	19.37	15.82	63.69	49.82	17.14	11.25	57.05
12	10.68	9.02	0.00	27.19	54.43	14.27	68.28	20.00	8.53	2.55	10.87	42.92	3.94	1.56	5.18	26.70
13	5.36	1.15	0.00	7.31	159.80	63.23	104.87	118.59	4.74	2.09	1.67	11.19	2.20	1.61	1.17	5.62
14	1.43	0.68	0.00	5.88	158.90	61.07	103.84	116.79	22.76	6.73	6.11	12.77	21.77	5.81	5.96	12.10

หมายเหตุ: I = ชุดข้อมูล; I = ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างฯ; S = ปริมาณน้ำในอ่างฯ; D = ปริมาณความต้องการน้ำ; R = ปริมาณการปล่อยน้ำ; 1-อ่างฯลำพระยา; 2-อ่างฯขุนทด; 3-อ่างฯท่าพระเพลิง; 4-อ่างฯสระคอง

(4) พัฒนาวิธีการจัดสรรน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำด้วย ANNs

เลือกโครงสร้าง ANNs เป็นแบบ Multilayer Feed Forward (MLFF) และการเรียนรู้แบบ Back-Propagation (BP) ใช้อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate, LR) เท่ากับ 0.1 และโมเมนตัม (Momentum Rate, MR) เท่ากับ 0.8 ผลจากการใช้โครงสร้างที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 5 และ 6 และพบว่า ANNs (12-16-8-4) ดังแสดงในภาพที่ 3 มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากใช้เวลา และจำนวนรอบเข้าสู่เป้าหมาย (Target) น้อยที่สุดเพียง 85 วินาที และ 17,964 รอบ ตามลำดับ ค่าดัชนีทางสถิติของผลลัพธ์เฉลี่ยที่ดีที่สุดคือ R^2 เท่ากับ 0.9634

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์และประสิทธิภาพของโครงข่ายที่มี Hidden Layer ต่างกัน

Algorithm	Network		Configuration		Iterations	Time (Second)	Avg.error
	I		H	O			
	1		2				
BP	12	16	-	4	23,611	98	.00005
BP	12	12	-	4	79,190	286	.00005
BP	12	8	-	4	2,223,491	6,696	.00021
BP	12	16	8	4	17,964	85	.00005
BP	12	12	8	4	28,078	120	.00005
BP	12	8	8	4	146,227	557	.00005

หมายเหตุ : BP, back-propagation; I, input nodes; H, hidden nodes; and O, output nodes.

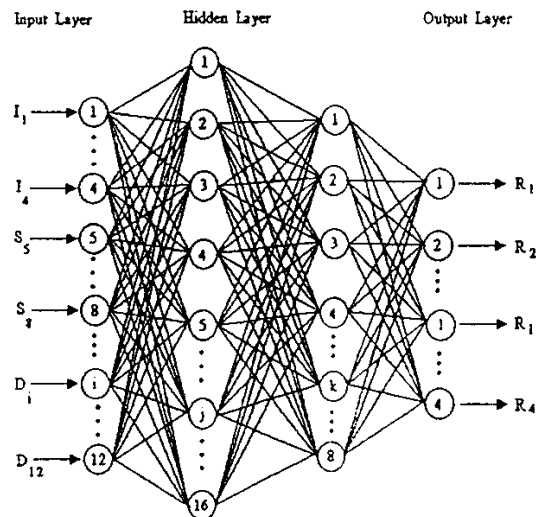
ตารางที่ 6 ค่าดัชนีทางสถิติสำหรับการ Training และ Testing ของ ANNs.

Model	R_1						R_2					
	MSE		R^2		CORR		MSE		R^2		CORR	
	Training Testing		Training Testing		Training Testing		Training Testing		Training Testing		Training Testing	
	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing
ANN(12,16,4)	4.820	17.114	.9764	.9434	.9906	.9824	2.728	4.442	.9415	.9112	.9798	.9650
ANN(12,12,4)	15.604	15.759	.9235	.9478	.9693	.9801	4.221	7.978	.9095	.8404	.9637	.9317
ANN(12,8,4)	4.948	15.892	.9757	.9474	.9895	.9844	3.138	5.695	.9327	.8861	.9739	.9535
ANN(12,16,8,4)	2.231	28.325	.9891	.9063	.9965	.9728	2.612	4.047	.9440	.9191	.9804	.9876
ANN(12,12,8,4)	3.029	21.970	.9852	.9273	.9954	.9778	2.793	7.344	.9401	.8531	.9784	.9534
ANN(12,8,8,4)	1.869	33.044	.9908	.8906	.9964	.9536	2.580	5.473	.9447	.8905	.9807	.9867

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Model	R_3						R_4					
	MSE		R^2		CORR		MSE		R^2		CORR	
	Training Testing		Training Testing		Training Testing		Training Testing		Training Testing		Training Testing	
	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing
ANN(12,16,4)	6.997	11.581	.9469	.8839	.9809	.9702	11.125	37.858	.9640	.9160	.9871	.9732
ANN(12,12,4)	14.531	22.331	.8897	.7762	.9486	.9160	29.828	46.558	.9034	.8967	.9591	.9725
ANN(12,8,4)	7.523	10.316	.9429	.8966	.9798	.9604	11.696	71.304	.9621	.8418	.9868	.9179
ANN(12,16,8,4)	5.971	13.230	.9547	.8674	.9833	.9682	10.526	38.701	.9659	.9141	.9870	.9640
ANN(12,12,8,4)	6.248	10.086	.9526	.8989	.9829	.9642	11.679	43.178	.9622	.9042	.9867	.9516
ANN(12,8,8,4)	6.035	5.778	.9542	.9421	.9833	.9778	10.346	34.737	.9665	.9229	.9875	.9805

หมายเหตุ : MSE= mean square error; R^2 = Coefficient of determination; and CORR=correlation statistic



ภาพที่ 3 โครงสร้างของ ANNs(12-16-8-4) แบบ MLFF-BP

4. สรุป

ทางเลือกของการจัดสรรน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำในสภาวะการขาดน้ำของกลุ่มน้ำมูลตอนบนในพื้นที่ศึกษาคือ ทางเลือกที่ไม่ให้การประปา-อุตสาหกรรมขาดน้ำ ให้การรักษาระบบนิเวศด้านท้ายอ่างเก็บน้ำมีระดับน้ำในลำน้ำลดลง 19.72% จากระดับปกติ และมีผลผลิตในการเกษตรรวม 56% ของผลผลิตสูงสุด ซึ่งทางเลือกนี้การรักษาระบบนิเวศด้านท้ายอ่างเก็บน้ำจะได้ใช้น้ำจาก Return Flow เมื่อใช้ทางเลือกนี้ และข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ 6 กรณีคือ น้อยจัด น้อย ค่อนข้างน้อย ค่อนข้างปานกลาง ปานกลาง และค่อนข้างมาก จำลองระบบอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำด้วย HEC-3 แล้วนำข้อมูล และผลลัพธ์จากการจำลองซึ่งประกอบด้วย I, S, D และ R มาใช้สำหรับการสอนและทดสอบ ANNs เพื่อพัฒนาวิธีการจัดสรรน้ำจะได้โครงสร้างของ ANNs แบบ MLFF- BP (12-16-8-4) มีความเหมาะสมที่สุด การพัฒนาวิธีการจัดสรรน้ำด้วย ANNs มีจุดเด่น คือความมีประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับ HEC-3 จะมีค่าใกล้เคียงกัน และลดความยุ่งยากในการใช้แบบจำลอง แต่ก็มีจุดด้อยคือ ถึงแม้จะมีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ระดับต่ำสุด และไม่มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ แต่ ANNs ยังให้ปล่อยน้ำ และมีบางครั้งที่มีปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ มากกว่าความต้องการ ดังนั้นเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของวิธีการที่ได้จากการพัฒนาด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการให้ทุนสนับสนุน

6. เอกสารอ้างอิง

1. Hagan T, Demuth B. Neural Network Design . PWS Publ. Co., Boston, 1996.
2. Huizingh E, Vrolijk J. Decision Support for Information Systems Management : Applying Analytic Hierarchy Process, Organization and Management 1994; 15p
3. ทองเปลว กองจันทร์, วราวุธ วุฒิวิณชัย. สภาวะการขาดน้ำของกลุ่มน้ำมูลตอนบน .เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 1, 20-21 ธันวาคม 2544. 9 หน้า
4. ทองเปลว กองจันทร์, วราวุธ วุฒิวิณชัย. การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อการจัดสรรน้ำในสภาวะการขาดน้ำจากระบบอ่างเก็บน้ำ . เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 4], 3-5 กุมภาพันธ์ 2546. 10 หน้า
5. วราวุธ วุฒิวิณชัย . Artificial Neural Networks . ชลกร ฉบับวันชาติ , 4 มกราคม 2544. 14 หน้า