

인공신경망 이론을 이용한 GUI홍수예측시스템 개발

A Development of GUI Flood Forecasting System Using Artificial Neural Networks Theory

박 성 천*, 오 창 열**, 김 동 렬***

Sung Chun Park, Chang Ryol Oh, Dong Ryeol Kim

요 지

본 연구에서는 우리나라 5대강 유역에 대한 홍수예경보시스템의 홍수추적방법으로 이용되고 있는 물리적인 모형인 저류함수법의 한계점을 극복하고, 영산강 유역의 본류를 대표하는 나주지점과 황룡강 유역을 대표하는 선암지점에 대하여 유역의 수문학적 구조를 나타내지 않는 인공신경망 이론을 이용하여 강우-유출 과정의 비선형 모형을 개발하였다. 또한, 신속한 홍수유출량 예측과 예측 결과에 따른 현장 적용이 가능하도록 CS(Client -Server) 기반에서 인공신경망에 대한 원시 코드(source code)를 GUI(Graphical User Interface)화하여 홍수예측시스템(Flood Forecasting System: FFS)을 개발하였다. 본 연구결과 나주지점에서는 Model II의 ANN_NJ_9 모형이 선암지점에서는 Model III의 ANN_SA_9 모형이 강우-유출 특성을 가장 잘 반영하였다. 또한, 본 연구에서 개발한 GUI_FFS에 대하여 기 확보된 2004년도 강우 및 유출량 적용한 결과 0.98이상의 R^2 값을 보임으로서 향후 수자원 및 하천계획 수립과 그에 따른 운영 및 관리에 효율성을 더할 수 있을 것이라 판단된다.

핵심용어 : 인공신경망, 강우유출, GUI, FFS

1. 서 론

인간의 사회적 활동에 의해 발생한 영향이 투여되는 강우-유출 과정은 두 변수간의 관계에서 강한 비선형성(nonlinearity)을 나타내며, 각각의 변수들 역시 시공간적으로 그 변동이 매우 심하다. 또한 각 변수들 간의 관계에서 매개체 역할을 수행하는 유역의 특성을 결정짓는 인자들의 복잡성은 강우-유출 현상을 모형화하는 데에는 많은 어려움을 수반하게 한다.

일례로 국내의 5대강 유역에 대한 홍수예경보시스템의 홍수추적방법으로 이용되고 있는 저류함수법은 유역과 하도에서의 유출량과 저류량의 관계를 표시하는 저류함수를 홍수파의 운동방정식에 대입하여 홍수파의 연속방정식을 계산함으로써 홍수유출량을 결정한다. 그러나, 저류상수를 포함한 저류함수법에 사용되는 각종 매개변수는 사용자의 수공학적 숙련도에 따라 상이한 값으로 결정되며, 이러한 매개변수 값을 이용해 산정한 홍수유출량의 예측 값 역시 그 출력의 분산이 크다는 문제점을 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 물리적인 모형의 한계점을 극복하기 위하여 영산강과 황룡강 유역을 각각 대표하는 나주지점과 선암지점에 대한 인공신경망 이론을 이용한 강우-유출 과정의 비선형 모형을 개발하였다. 또한, 인공신경망에 대한 이론적인 체계가 정립되어 있지 않는 수공기술자도 쉽

* 정회원-동신대학교 토목공학과 부교수

·E-Mail : psc@dsu.ac.kr

** 정회원-동신대학교 대학원 토목공학과 박사과정 ·E-Mail : new2020@freechal.com

*** 정회원-익산지방관리청 하천공사와

·E-Mail : new2020@freechal.com

게 접근하여 신속한 홍수유출량 예측과 예측 결과에 따른 현장 적용이 가능하도록 CS(Client-Server) 기반에서 인공지능망에 대한 원시코드(source code)를 GUI(Graphical User Interface)화 하여 홍수예측시스템(Flood Forecasting System: FFS)을 개발하였다.

2. 대상지점 및 입력자료

본 연구에서는 영산강 수계를 대상으로 강우-유출 과정의 효율적인 비선형모형을 개발하기 위하여 영산강 본류의 대표지점인 나주지점과 황룡강의 대표지점인 선암지점을 대상으로 하였다.

나주 지점은 2000년~2002년까지 나주대교 개축공사로 인하여 Rating-Curve식이 개발되지 않음에 따라 자료의 일관성을 유지하기 위하여 개축공사 기간을 제외한 1998년~2003년까지의 일유출량 자료와 나주 지점의 상류에 위치한 강우 관측소 중 동곡, 광주, 능주지점 강우량 자료를 사용하였다. 선암 지점의 입력 자료는 1999년~2003년까지 수위자료에 대하여 해당년도의 Rating-Curve식을 이용하여 유출량자료로 환산하여 사용하였으며, Rating-Curve이 미개발된 2001년, 2003년은 전년도 Rating-Curve식을 이용하였다. 또한, 본 연구에서 사용한 강우자료는 동기간에 대하여 선암지점 상류의 북이삼서·장성댐지점의 강우량 자료를 사용하였다.

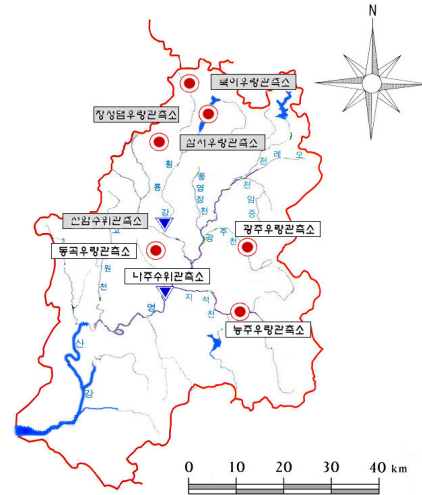


그림 1. 영산강유역도

3. 모형의 구성

본 연구에서는 영산강 유역의 나주지점에 대한 유출량을 예측하기 위하여 시행착오방법에 의해 인공지능망 모형을 다음의 식 (1)~ (4), 선암지점은 식 (5)~ (8)와 같이 구성하였다.

최적의 인공지능망 모형을 탐색하기 위하여 인공지능망 모형의 매개변수인 모멘텀 상수와 초기 학습률은 모든 모형에서 각각 0.1과 0.7를 일괄적으로 사용하여 모형을 선별하였으며, 그 결과는 5장 모의결과 및 고찰에 나타내었다.

$$\text{Model I} \left[\begin{array}{l} Q_{Naju}(t-1), \\ P_{Neungju}(t-1), P_{Neungju}(t-2), \\ P_{Donggok}(t-1), P_{Donggok}(t-2), \\ P_{Gwangju}(t-1), P_{Gwangju}(t-2) \end{array} \right] \cdot \text{식(1)} \quad \text{Model II} \left[\begin{array}{l} Q_{Naju}(t-1), Q_{Naju}(t-2), \\ P_{Neungju}(t-1), P_{Neungju}(t-2), \\ P_{Donggok}(t-1), P_{Donggok}(t-2), \\ P_{Gwangju}(t-1), P_{Gwangju}(t-2) \end{array} \right] \cdot \text{식(2)}$$

$$\text{Model III} \left[\begin{array}{l} Q_{Naju}(t-1), Q_{Naju}(t-2), \\ P_{Neungju}(t-1), P_{Neungju}(t-2), P_{Neungju}(t-3), \\ P_{Donggok}(t-1), P_{Donggok}(t-2), P_{Donggok}(t-3), \\ P_{Gwangju}(t-1), P_{Gwangju}(t-2), P_{Gwangju}(t-3) \end{array} \right] \cdot \text{식(3)} \quad \text{Model IV} \left[\begin{array}{l} Q_{Naju}(t-1), Q_{Naju}(t-2), Q_{Naju}(t-3), \\ P_{Neungju}(t-1), P_{Neungju}(t-2), P_{Neungju}(t-3), \\ P_{Donggok}(t-1), P_{Donggok}(t-2), P_{Donggok}(t-3), \\ P_{Gwangju}(t-1), P_{Gwangju}(t-2), P_{Gwangju}(t-3) \end{array} \right] \cdot \text{식(4)}$$

여기서, $Q_{Naju}(t)$ 는 나주 지점의 예측 시유출량이며, $Q_{Naju}(t-1 \sim 3)$ 는 나주 지점의 1~3시간 전의 선행 유출량, $P_{Neungju}(t-1 \sim 3)$ 는 능주, $P_{Donggok}(t-1 \sim 3)$ 동곡, $P_{Gwangju}(t-1 \sim 3)$ 는 광주지점의 1~3시간 전의 선행 강우량

$$\text{Model I} \left[\begin{array}{l} Q_{Sunam}(t-1), Q_{Sunam}(t-2), \\ P_{Bokdee}(t-1), P_{Bokdee}(t-2), \\ P_{Samsseo}(t-1), P_{Samsseo}(t-2), \\ P_{Jangsungdam}(t-1), P_{Jangsungdam}(t-2) \end{array} \right] \cdot \text{식(5)} \quad \text{Model II} \left[\begin{array}{l} Q_{Sunam}(t-1), Q_{Sunam}(t-2), Q_{Sunam}(t-3), \\ P_{Bokdee}(t-1), P_{Bokdee}(t-2), P_{Bokdee}(t-3), \\ P_{Samsseo}(t-1), P_{Samsseo}(t-2), P_{Samsseo}(t-3), \\ P_{Jangsungdam}(t-1), P_{Jangsungdam}(t-2), P_{Jangsungdam}(t-3) \end{array} \right] \cdot \text{식(6)}$$

$$\text{Model III} \left[\begin{array}{l} Q_{Sunam}(t-1), Q_{Sunam}(t-2), \\ P_{Bokdee}(t-1), P_{Bokdee}(t-2), \\ P_{Samsseo}(t-1), P_{Samsseo}(t-2) \end{array} \right] \cdot \text{식(7)} \quad \text{Model IV} \left[\begin{array}{l} Q_{Sunam}(t-1), Q_{Sunam}(t-2), Q_{Sunam}(t-3), \\ P_{Bokdee}(t-1), P_{Bokdee}(t-2), P_{Bokdee}(t-3), \\ P_{Samsseo}(t-1), P_{Samsseo}(t-2), P_{Samsseo}(t-3) \end{array} \right] \cdot \text{식(8)}$$

여기서, $Q_{Sunam}(t)$ 는 선암지점의 예측 시유출량이며, $Q_{Sunam}(t-1 \sim 3)$ 는 선암지점의 1~3시간 전의 선행 유출량, $P_{Bokdee}(t-1 \sim 3)$ 는 복이, $P_{Samseo}(t-1 \sim 3)$ 는 삼서, $P_{Jangsungdam}(t-1 \sim 3)$ 는 장성댐지점의 1~3시간 전의 선행 강우량

4. 모의결과 및 고찰

본 연구에서 나주지점에 대한 유출량 예측 모형으로 최종 선택한 모형은 Model II의 ANN_NJ_9로써 네트워크 구성은 8-9-1의 형태를 갖고 있으며, 예측결과에 따른 통계적 특성치는 표 1과 같다.

표 1. 나주지점 Model II의 은닉층 수에 따른 통계적 특성치

Model	Hidden layer	Training			Testing			Verification		
		R ²	RMSE	PEP	R ²	RMSE	PEP	R ²	RMSE	PEP
ANN_NJ_9	9	0.997	52.719	-0.121	0.994	79.274	-4.272	0.990	66.339	-1.938

본 연구에서 선암지점에 대한 유출량 예측 모형으로 최종 선택한 모형은 Model III의 ANN_SA_9로써 네트워크 구성은 8-9-1의 형태를 갖고 있으며, 예측결과에 따른 통계적 특성치는 표 2와 같다.

표 2. 선암지점 Model III의 은닉층 수에 따른 통계적 특성치

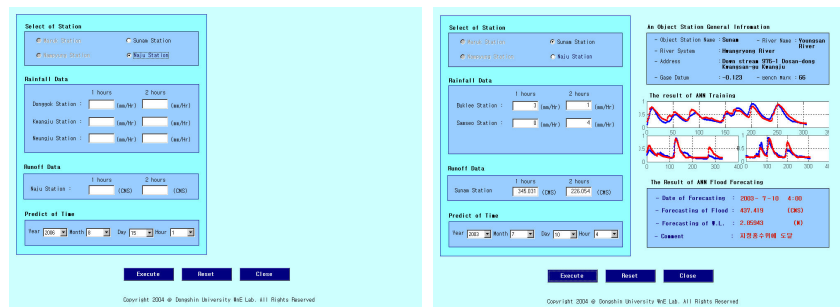
Model	Hidden layer	Training			Testing			Verification		
		R ²	RMSE	PEP	R ²	RMSE	PEP	R ²	RMSE	PEP
ANN_SA_9	9	0.995	9.666	0.182	0.996	15.615	7.458	0.986	8.774	0.130

5. GUI_FFS의 개발 및 적용

5. 1 GUI_FFS의 구성

본 연구에서 개발한 GUI_FFS는 수문정보 입력과 유출량 예측 단위시스템으로 구성하였다.

수문정보 입력 단위시스템은 수위관측소 선택, 강우자료 입력, 유출량자료 입력, 예측시간 선택 모듈로 구성하였고, 유출량 예측 단위시스템은 수위관측



(a) 나주지점

(b) 선암지점

그림 2. GUI_FFS의 수문정보 입출력시스템

소 기본정보, 해당 지점에 대한 인공지능망 모형의 훈련 결과, 해당 지점에 대한 예측결과 모듈로 구성하였으며 화면구성은 그림 2와 같다. 또한, 강우량자료 및 유출량자료 입력 모듈은 최종 선택된 모형에 따라 동적으로 구성하였다.

5. 2 GUI_FFS의 적용 및 결과

본 연구에서 개발한 GUI_FFS에 대한 현장 적용 가능성을 검토하기 위하여 기 확보된 2004년도

강우 및 유출량자료를 이용하여 유출량 예측을 수행하였으며 대상 자료는 표 3과 같다.

표 3. 각 지점별 입력자료

지점	기 간
나주지점	2004년 6월 19일 16시 ~ 6월 23일 10시, 2004년 7월 3일 18시 ~ 7월 9일 16시,
	2004년 7월 14일 14시 ~ 7월 17일 14시, 2004년 8월 18일 13시 ~ 8월 26일 02시,
	2004년 9월 11일 11시 ~ 9월 14일 19시
선암지점	2004년 6월 20일 18시 ~ 6월 22일 05시, 2004년 7월 7일 12시 ~ 7월 8일 11시,
	2004년 8월 18일 15시 ~ 8월 20일 00시, 2004년 8월 22일 8시 ~ 8월 25일 03시,
	2003년 9월 11일 18시 ~ 9월 13일 06시

본 연구에서 개발한 GUI_FFS에 대하여 강우 및 유출량 자료를 적용한 결과, 나주지점 및 선암지점에서의 R²값은 0.983, 0.978, RMSE값은 100.920, 18.747, 첨두 유출량에 대한 예측 정확도를 나타내는 PEP 값은 각각 -5.163, -2.231로 나타났으며 표 4와 그림 3과 같다.

표 4. GUI_FFS의 적용결과

구 분	R ²	RMSE	PEP	구 분	R ²	RMSE	PEP
나주지점	0.983	100.920	-6.067	선암지점	0.991	18.747	-5.230

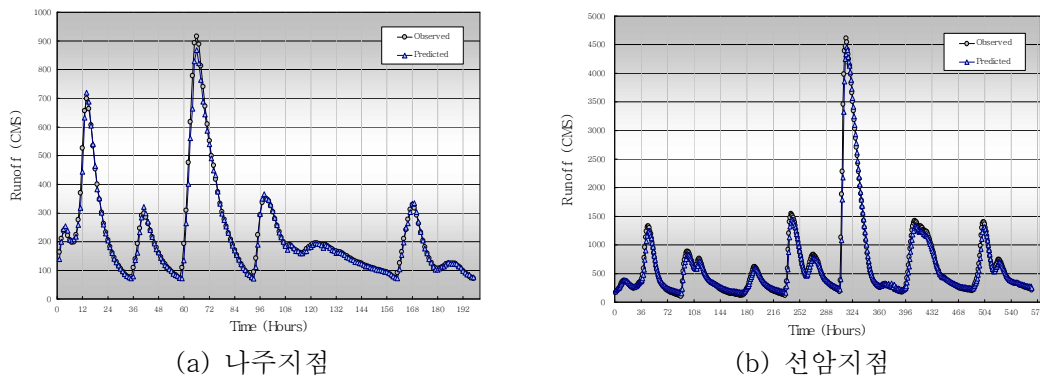


그림 3. GUI_FFS의 적용결과

6. 결론

본 연구에서는 영산강 유역의 분류를 대표하는 나주지점과 황룡강 유역을 대표하는 선암지점에 대하여 유역의 수문학적 구조를 나타내지 않는 인공지능망 이론을 이용하여 강우-유출 과정의 비선형 모형을 개발하였다. 또한, 인공지능망에 대한 배경지식을 필요로 하지 않을 뿐만 아니라 신속한 홍수유출량 예측이 가능할 수 있도록 Client-Server 환경에서 범용적인 소프트웨어인 GUI_FFS(Graphical User Interface, Flood runoff Forecasting System) 개발하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 나주지점의 강우-유출 특성을 가장 잘 반영한 모형은 입력자료의 수가 8개, 은닉층의 노드의 수는 9개, 출력층 자료의 수가 1개인 Model II의 ANN_NJ_9 모형으로 나타났다. 또한, 선암지점의 강우-유출 특성을 가장 잘 반영한 모형은 입력자료의 수가 8개, 은닉층의 노드의 수는 9개, 출력층 자료의 수가 1개인 Model III의 ANN_SA_9 모형으로 나타났다.

2. ANN_NJ_9 모형은 훈련 및 검증1, 검증2 과정에서의 R^2 값이 각각 0.997, 0.994, 0.990으로 가장 큰 값을 나타냈고, $RMSE$ 값은 52.719, 79.274, 66.339, PEP 값은 살펴보면 전 과정에서 0.121 ~ 4.272CMS의 오차를 갖는 것으로 나타났다. 또한, ANN_SA_9 훈련 및 검증1, 검증2 과정에서의 R^2 값이 각각 0.995, 0.996, 0.986으로 가장 큰 값을 나타냈고, $RMSE$ 값은 9.666, 15.615, 8.774값을 가졌으며, PEP 값은 전 과정에서 0.130 ~ 7.458CMS의 오차를 갖는 것으로 나타났다.
3. 본 연구에서 개발한 GUI_FFS에 대하여 기 확보된 2004년 강우 및 유출량 자료에 대하여 모의한 결과 나주지점 및 선암지점에서의 R^2 값은 각각 0.983, 0.991로 나타났으며, PEP 값은 각각 -6.067, -5.230으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 개발한 GUI_FFS에 의한 R^2 값은 0.9이상임에 따라 모형의 예측력의 우수성이 입증되었다고 할 수 있다.

[참고문헌]

1. 영산강 홍수통제소, "한국수문조사연보", 건교부, 1998 ~ 2004.
2. 이관수·박성천·이한민·진영훈, "인공신경망 이론의 B.P. 알고리즘을 적용한 영산강의 유출량 예측에 관한 연구", 대한토목학회논문지, Vol. 20·No. 5-B, pp. 679 ~ 688, 2000.
3. 오창열·박성천·이한민·표영평, 신경망을 이용한 하천의 수질예측, 대한토목학회논문집, Vol. 22, No. 3-B, pp. 371 ~ 382, 2002
4. 박성천·하수정, GANN에 의한 하천의 수질예측, 대한토목학회논문집, Vol. 23, No. 6-B, pp. 507 ~ 514, 2003
5. 전계원, "홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 활용", 충북대학교 토목공학과 박사학위 논문, 2004.
6. Cameron M. Zealand, Donald H. Burn, Slobodan P. Simonovic, "Short term streamflow forecasting using artificial neural networks", Journal of Hydrology, Vol 214, pp 32 ~ 48, 1999.
7. Chin-Teng Lin, C. S. George Lee, "Neural Fuzzy Systems", Prentice Hall, 1996.
8. Kuo-lin Hsu, Hoshin Vijai Gupta, and Soroosh Sorooshian, "Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process", Water Resources Research, Vol.31, No.10, pp. 2517 ~ 2530, 1995.
9. Laurene Fausett, "Fundamentals of Neural Networks", Prentice Hall, 1994.
10. Mark N. French, Witold F. Krajewski and Robert R. Cuykendall, "Rainfall forecasting in space and time using a neural network", Journal of Hydrology, Vol.137, pp. 1 ~ 31, 1992.
11. Qi, M. and G. P. Zhang, "An investigation of model selection criteria for neural network time series forecasting", European Journal of Operational Research, Vol. 132, pp. 666 ~ 680, 2001.
12. Sajikumar, N. and B. S. Thandaveswara, "A non-linear rainfall-runoff model using an artificial neural network", Journal of Hydrology, Vol 216, pp. 32 ~ 55,1999.
13. Simon Haykin, "Neural Networks", Prentice Hall, 1999.