

# 홍수 예·경보시스템 개선을 위한 인공신경망 이론의 적용

## Application of Artificial Neural Networks Technique for the Improvement of Flood Forecasting and Warning System

박성천\*, 김용구\*\*, 정천리\*\*\*, 진영훈\*\*\*\*

Sung-Chun Park, Yong-Gu Kim, Choen-Lee Jeong, Young-Hoon Jin

### 요 지

본 연구에서는 강우의 시·공간적 분포의 불규칙한 변동성을 고려한 강우-유출예측모형을 위해 인공신경망(Artificial Neural Networks: ANNs)의 기법의 일종인 자기조직화(Self Organizing Map: SOM) 이론과 역전파 학습 알고리즘(Back Propagation Algorithm: BPA) 이론을 복합적으로 이용하였다. 기존의 인공신경망 연구에서 야기된 저·갈수기의 유출량에 대한 과대평가, 홍수기의 유출량에 대한 과소평가, 예측값이 연속적으로 선행 유출량을 나타내는 Persistence 현상을 해결하기 위하여 패턴분류 성능을 지닌 SOM 이론을 예측모형의 전처리 과정으로 이용하였다. 먼저, 본 연구에서 제안한 방법은 SOM에 의해 강우-유출 관계를 분류하고, SOM에 의한 분류에 따라 각각의 모형을 구성한다. 개별적으로 구축된 모형은 유출량의 예측을 위해 각각의 양상에 따라 분류된 자료를 이용한다. 결과적으로 본 연구에서 제안한 방법은 과거의 인공신경망의 일반적인 적용에 의한 결과보다 더 나은 예측능력을 보여주었으며, 더불어 유출량의 과소 및 과대추정과 Persistence 현상과 같은 문제점이 나타나지 않았다. 또한 강우량 및 유출량의 범위에 제한을 받지 않는 강우-유출예측 모형의 개발 및 홍수기로부터 갈수기까지의 보다 넓은 범위의 유출량의 예측에 기여할 것으로 기대된다.

**핵심용어 :** 강우-유출모형, 인공신경망, 자기조직화 이론, 역전파학습알고리즘, Persistence

### 1. 서 론

강한 비선형성의 경향을 보이고 있는 강우-유출간의 관계를 모형화하기 위한 연구는 다양한 방법론으로 적용되어 활발히 연구되고 있다. 그 중에서 인공신경망을 이용하여 강우-유출간의 관계를 모형화하기 위한 대부분의 연구들은 역전파 학습 알고리즘을 이용하였다. 이는 강한 비선형성을 나타내는 입·출력간의 관계를 나타내는데 탁월한 성능을 보이고 있는 것으로 알려져 있으며, 또한 자료들의 급격한 변화에 대한 뛰어난 적응성을 보여주고 있다. 이러한 인공신경망의 장점들은 다른 모형들과의 비교에서 우수한 예측력을 보여주는 것으로 평가받고 있다. 그러나 지금까지 적용되어진 기존의 인공신경망을 이용한 대부분의 연구들은 강우-유출해석에 있어 다양한 강우사상을 반영하는데 미진할 뿐만 아니라, 예측의 대상인 유출량의 경우 저·갈수기의 자료에 대해서

\* 정회원·동신대학교 토목공학과 교수·E-mail : psc@dsu.ac.kr

\*\* 정회원·동신대학교 토목공학과 연구원·E-mail : kyg8987@paran.com

\*\*\* 정회원·동신대학교 토목공학과 박사과정·E-mail : ch1010@mltm.go.kr

\*\*\*\* 정회원·동신대학교 공업기술연구소 연구교수·E-mail : nmdrjin@gmail.com

는 과대평가의 경향이 나타나며, 홍수기의 자료에 대해서는 과소평가되는 경향이 있다. 또한 인공 신경망 모형의 구축에 있어 예측 대상자료인 유출량의 선행값을 이용할 경우 그 예측값이 선행 유출량의 지속성을 갖는 Persistence 현상이 유발된다. 또한 강우-유출관계를 규명하기 위한 대부분의 연구들이 홍수기의 강우 및 유출 자료를 이용하기 때문에 개발된 예측모형이 홍수사상에 한정되는 한계를 보여주고 있다. 이에 본 연구에서는 기존의 인공신경망 연구에서 야기된 현상들을 해결하기 위하여 탁월한 패턴분류 성능을 지닌 자기조직화 이론을 도입하여 자료의 전처리 과정으로 이용하였다. 자기조직화 이론을 강우-유출 예측모형의 전처리 과정으로 도입한 본 연구의 방법을 홍수예경보시스템 개선을 위한 방법론으로 제시하기 위해 영산강 유역을 대표하는 나주지점을 대상지점으로 선정하여 대상지점에 영향을 미치는 광주, 능주, 동곡지점의 평균강우량을 이용하여 유출량 예측을 위한 강우-유출관계를 모형화 하였다.

이와 같은 과정으로 본 연구에서 제안한 모형과 기존의 인공신경망 모형을 이용하여 홍수 예경보발령을 위해 필요한 선행예보 최소시간인 3시간 후의 유출량을 예측하여 그 결과를 비교하였다.

## 2 . 대상지점 및 입력자료

본 연구의 대상지점인 영산강 유역은 우리나라 서남부에 위치하며, 총 유역면적은 3,455km<sup>2</sup>이고, 본류의 유로연장은 129.5km이며, 유출량 예측을 위하여 영산강 본류의 대표지점인 나주수위관측소와 그에 영향을 미치는 상류의 광주, 동곡, 능주강우관측소를 선정하였다. 수위 및 강우자료는 영산강홍수통제소의 30분 자료를 이용하였고, 나주지점의 수위자료를 유출량자료로 환산하기 위해 『영산강 유량측정 보고서』(영산강홍수통제소, 2006, 2007)의 나주지점의 수위-유량관계곡선을 이용하였다. 본 연구를 위한 전체 자료는 각 우량관측소의 우량과 나주유출량의 30분 자료로부터 2006년 6월 1일부터 2007년 10월 31일까지의 자료의 홍수사상을 선별하여 이용하였다.

SOM 모형의 입력자료 구축을 위해 광주, 동곡, 능주우량관측소의 강우량이 나주지점 유출량에 기여하는 시차를 산정하기 위해 무강우를 제외한 각 강우관측소의 강우자료와 그에 대한 지체시간을 적용한 나주지점의 유출량자료 사이의 상관분석을 실시한 결과 Fig. 2와 같이 광주강우관측소는 15시간, 동곡, 능주우량관측소 모두 16시간 후가 가장 높은 상관성을 갖는 값으로 분석되었다. 그러므로 입력벡터  $x(t)$ 는 나주지점의 유출량과 각 우량관측소의 지체시간을 고려한 평균강우량에 1시간 30분의 시차를 고려하면 식 1과 같은 6차원 구조의 SOM 훈련 데이터의 구조가 된다.

$$x(t) = (P_{(t-2)}, P_{(t-1)}, P_{(t)}, Q_{(t-2)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t)}) \quad (1)$$



Fig. 1. 유역도

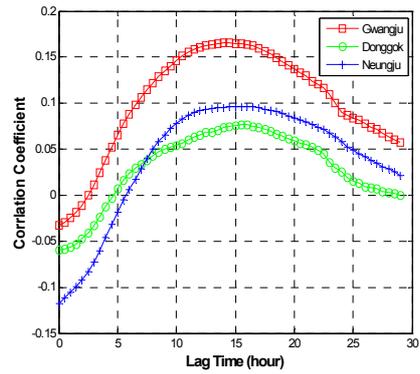


Fig. 2. 시차결정을 위한 상관분석 결과

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 SOM 모형의 적용

SOM의 적용을 위해 광주, 동곡, 능주우량관측소의 평균 우량과 나주유출량의 30분 자료로부터 2006년 6월 1일부터 2007년 10월 31일까지의 홍수사상 2,833쌍의 자료를 선택하여 각 우량관측소와 나주유출량간의 상관분석으로부터 산정된 시차를 적용하여 2,833×6 행렬의 SOM 입력자료를 구축하였다. 선택된 자료의 정규화 과정을 거친 후 SOM 훈련을 위해 Map 크기를 결정하는데 우선, Map을 구성하는 단위구조의 총 수(M)의 결정은 Garcia 등(2003)에 의해 연구 보고된 식 ( $M = 5\sqrt{N}$ )을 이용하였다. Map 크기 결정시 Map의 종(세로)·횡(가로)방향의 크기를 결정 할 수 있는 확정론적인 방법이나 이론식이 없어  $M = 5\sqrt{N}$ 에 의해 선정된 Map을 구성하는 단위구조의 총 수의 근사치로부터 24×12의 구조로 결정하였다.

#### 3.2 분할구역별 특성분석

결정된 Map 크기에 대해 최적의 분할구역 구분은 24×12의 Map 크기를 적용할 경우 SOM에 의해 8개 분할구역으로 구분되었다. 8개의 분할구역으로 구분된 강우-유출특성을 Fig. 3과 Fig. 4에 도시하였다.

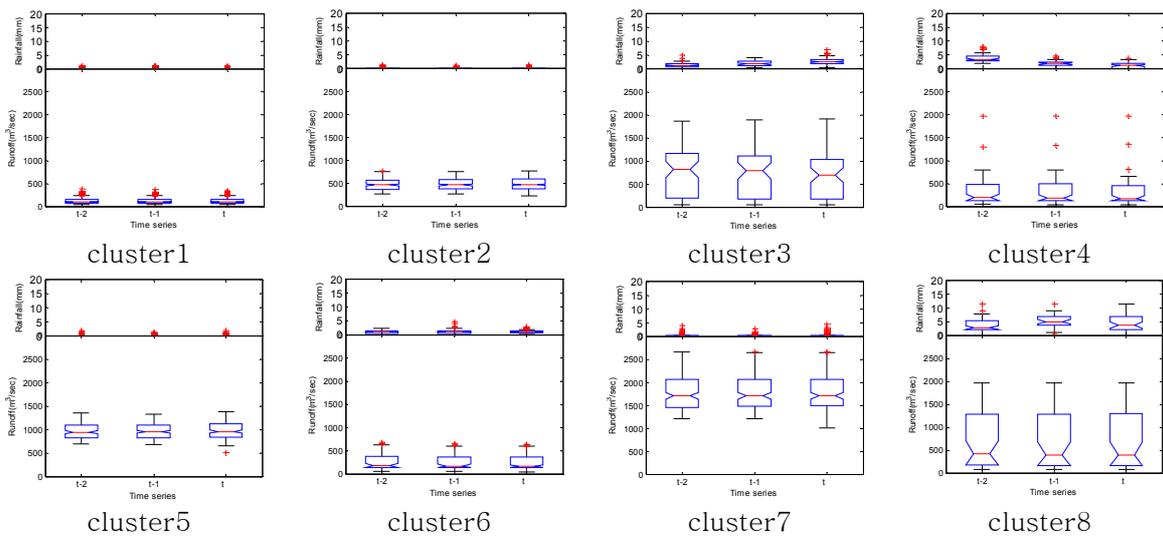


Fig. 3. 분할구역별 특성 분석

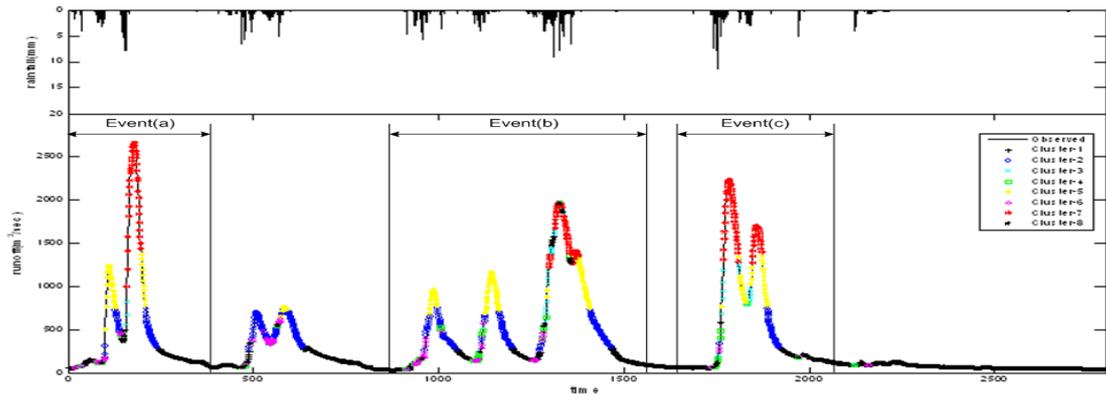


그림 4. 8개의 분할구역으로 구분된 강우-유출관계 분석

#### 4. 모형의 비교 분석

강우-유출관계의 패턴분류를 수행하지 않은 기존의 인공신경망 예측모형과 본 연구에서 적용한 SOM에 의해 패턴분류를 수행한 후 예측모형에 적용한 결과를 상호 비교하여 Fig. 5에 나타내었다.

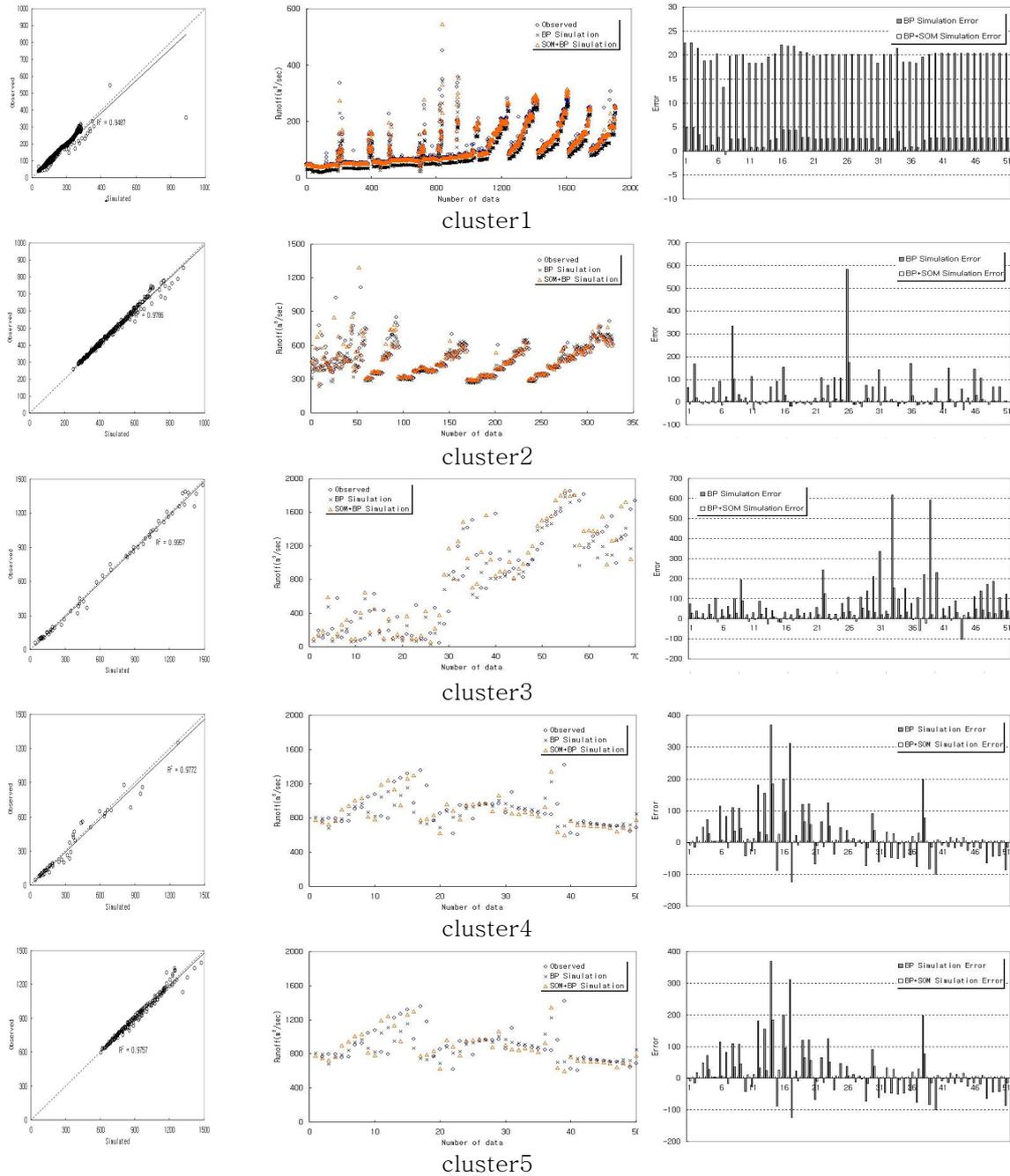


Fig. 5. 분할구역별 예측값과 관측값의 비교 및 오차분석

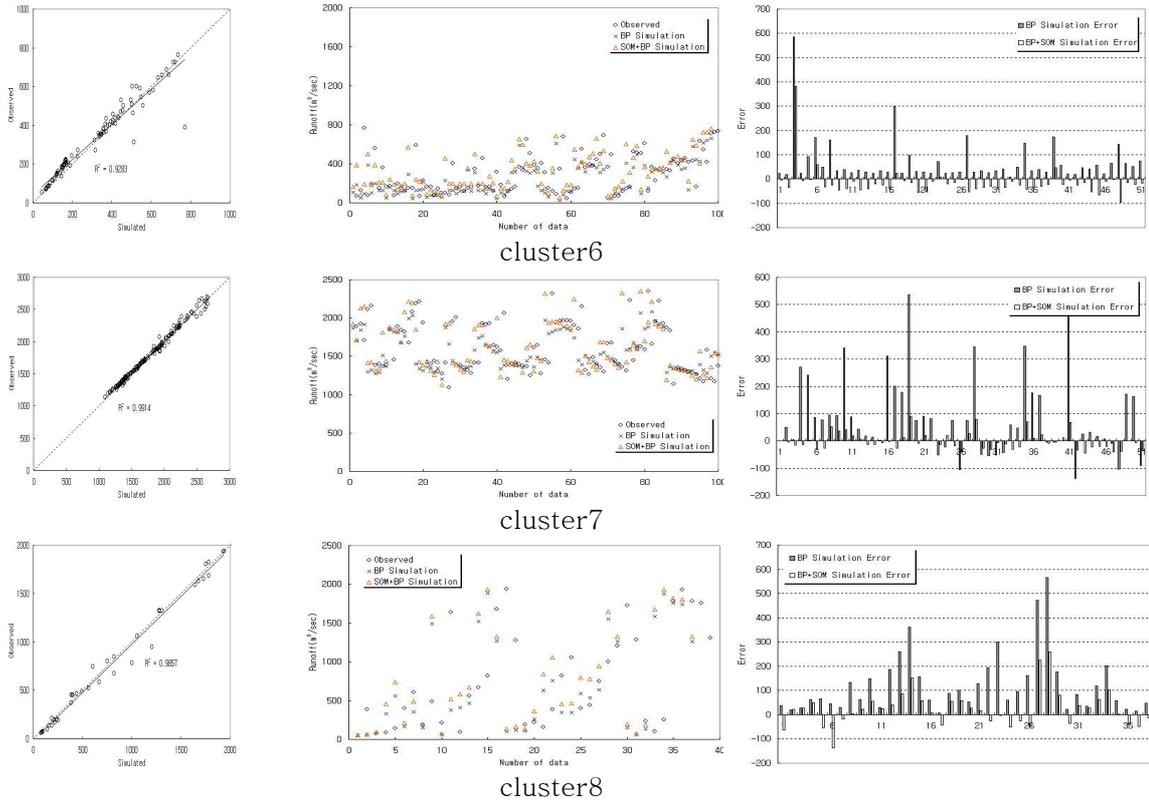


Fig. 5. 분할구역별 예측값과 관측값의 비교 및 오차분석(계속)

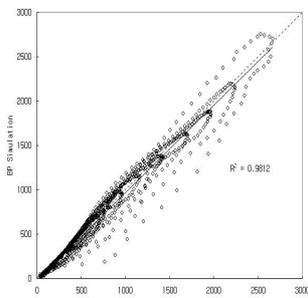


Fig. 6. BP simulated와 관측값의 산포도

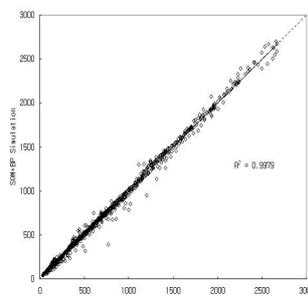


Fig. 7. SOM+BP simulated와 관측값의 산포도

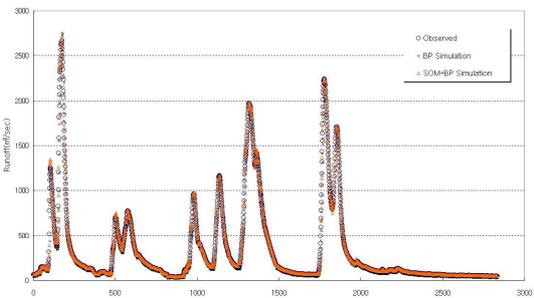


Fig. 8. SOM simulated와 BP simulated의 예측값 비교

일반적으로 인공신경망 모형의 구축에 있어 예측 대상자료인 유출량의 선행값을 이용할 경우 그 예측값이 선행 유출량의 지속성을 갖는 Persistence 현상의 문제점은 모형의 예측값이 이전의 시간의 유출량에 지대한 영향을 받아 과소 또는 과대 추정으로 발생하는 현상으로 판단된다.

BPA만을 적용한 모형과 본 연구에서 제안한 SOM과 BPA의 복합적 적용에 의한 모형에 대하여 관측값과 예측값의 산포도 결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 각각 나타내었다. Fig 6에서와 같이 기존의 인공신경망의 경우 수문곡선의 상승부는 산포도 상에서 정확한 일치를 나타내는 이상선(ideal line)의 우상향으로 진행되는 결과를 나타내어 과소추정하고 있는 현상을 나타내고 있다. 또한 수문곡선의 하강부는 이상선의 좌하향으로 진행하고 있어 과대추정하고 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 이로부터 반시계방향으로 진행되는 Persistence 현상을 명확하게 확인할 수 있었다.

그러나 Fig. 7에서와 같이 SOM을 전처리 과정으로 이용한 인공신경망의 경우는 관측값과 예측값의 도시가 이상선 상에 집중 분포되어 있으며 전이현상이 나타나지 않아 이전단계의 예측값에 지속성을 갖는 Persistence 현상이 제거되었음을 확인할 수 있었다. 또한 결정계수의 비교에서도 기존의 방법을 적용한 0.9812보다 더 정도 높은 0.9979로 우수한 예측력을 보여주었다.

## 6. 결론

본 연구에서는 영산강 유역을 대표하는 나주지점의 유출량을 예측하기 위하여 대상지점에 영향을 미치는 광주와 능주 및 동곡지점의 세 지점에 대한 평균 강우자료를 이용하여 강우-유출관계를 모형화하고자 하였다. 연구방법으로는 예측모형의 구성을 위해 자기조직화 이론을 인공신경망 모형의 전처리 과정으로 적용하였다. 또한 본 연구에서 제안한 모형과 기존의 인공신경망 모형을 이용하여 홍수 예경보발령을 위해 필요한 선행예보 최소시간인 3시간 후의 유출량을 예측하여 그 결과를 비교하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) SOM을 전처리 과정으로 적용한 결과 강우-유출관계에 따라 다양한 패턴으로 구분할 수 있었으며, 구분된 패턴들은 강우현상과 유출 양상이 복합적으로 잘 반영되어 있었다.

(2) 기존의 인공신경망 모형과 SOM을 전처리 과정으로 이용한 인공신경망 모형을 상호 비교한 결과 훈련의  $RMSE$ 는 0.076과 0.0624로,  $R^2$ 은 0.8942와 0.9797로 각각 나타났으며, 검증의  $RMSE$ 는 0.09217에서 0.0778로 개선되었고,  $R^2$ 은 0.8957에서 0.9971로 향상되어 과소 및 과대평가되는 현상을 개선할 수 있었다.

(3) 관측값과 예측값의 산포도 결과에 의하면 수문곡선의 상승부(이상선의 우측)의 과소평가가 하강부(이상선의 좌측)의 과대평가로 반시계방향으로 전이되는 Persistence 현상이 명확하게 나타나고 있으나, SOM을 전처리 과정으로 이용한 인공신경망의 경우는 이상선 상에 집중 분포되어 있으며 전이현상이 나타나지 않아 Persistence 현상이 제거되었다.

(4) 향후 심화 연구를 위하여 강우자료 또는 유출량자료만을 이용한 단일변량의 패턴분류를 위해 SOM의 적용이 가능할 것으로 판단되며, 이는 각 변량의 본질적인 특성을 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

1. 김주환(1993) 신경회로망을 이용한 하천 유출량의 수문학적 예측에 관한 연구, 박사학위논문, 인하대학교.
2. 김용구(2006). 자기조직화 이론을 적용한 강우-유출 예측모형 개발. 박사학위논문, 동신대학교.
3. 박성천, 진영훈, 김용구(2006). "강우-유출 예측모형 개발을 위한 자기조직화 이론의 적용." 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제26권, 제4B호, pp. 389-398
4. 김용구, 진영훈, 박성천, 정천리(2008). "나주지점의 강우-유출 해석을 위한 최적의 SOM 구조 결정" 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제41권, 제10호, pp. 995-1007
5. Garcia, H. L. and Gonzalez, I. M.(2004) Self-organizing map and clustering for wastewater treatment monitoring, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 17, pp. 215-225.
6. Hsu, K. L., Gupta, H. V., Gao, X., Soroochian, S. and Imam, B.(2002). "Self-organizing linear output map(SOLO): An artificial neural network suitable for hydrologic modeling and analysis." *Water Resources Research*, Vol. 38, No. 12, pp. 38-1-38-17.