

# 낙동강 유역에서의 유량 예측 신경망 모형에 관한 연구

## A Neural Networks Model for Flow Forecasting in Nakdong River Basin

한건연\*, 김동일\*\*, 최현구\*\*\*, 윤영삼\*\*\*\*

Kun Yeun Han, Dong-Il Kim, Hyun Gu Choi, Young Sam Yoon

### 요 지

수자원의 효율적인 관리를 위해서는 신뢰성 있는 유량자료의 획득이 대단히 중요하다. 우리나라는 양질의 유량자료를 획득하기 위해 매년 많은 시간과 돈을 투자하고 있으나 자료의 질적인 면에서 만족할 만한 성과를 얻지 못하고 있다. 현재까지 우리나라의 유량자료는 댐의 수문자료와 수량관리 부처인 건교부에서 운영하는 수위표 지점의 수위-유량곡선에서 산출된 자료에 의존하고 있다. 그러나 수위-유량 관계식을 보정하기 위한 유량측정사업이 지속적이지 못하며, 이 관계식은 유량이 적은 저수기 및 갈수기에는 부정확하다는 한계가 있다. 또한, 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 오염총량관리를 위한 낙동강수계 유량측정사업을 실시하고 있지만, 목적은 낙동강수계의 오염총량관리 단위유역 말단 47개 지점에서 유량측정을 효율적으로 실시하여 수질정책의 기초자료를 제공하는데 있다. 이 자료 역시 오염총량관리를 위하여 유량측정을 실시하여 수자원의 효율적인 관리를 위한 일 유량을 알 수가 없는 한계점을 가지고 있다.

따라서 저수기 및 갈수기에 수질정책의 기초자료를 제공하기 위해서 하천을 포함한 유역의 정확한 강우-유출특성의 파악이 필요하다. 그러나 강우-유출특성 또한 유역 내 강우의 시·공간적 분포가 다르며 그 자체가 비선형성이 강하고 여러 변동성을 포함하므로, 강우로부터 하천의 유출량의 정확한 해석이 불가능하다. 그러나 최근 인공지능 분야에서 신호처리, 지능제어 및 패턴인식 등의 수단으로 사용되고 있는 신경망은 학습이라는 최적화 과정을 통해 입력과 출력으로 구성되는 하나의 시스템을 비선형적으로 구축할 수 있으며 이러한 이점을 활용하여 수자원 분야에서 다양하게 적용되고 있다.

본 연구의 목적은 강우-유출자료 및 댐 방류량 자료의 비선형적인 특성을 가장 잘 반영할 수 있는 신경망모형을 적용하여 수질정책의 기초자료를 제공하기 위하여 신뢰성 있는 유량자료를 산정하는 모형을 개발하는 것이다.

이를 위해서 낙동강물환경연구소에서 오염총량관리를 위한 낙동강수계 유량측정 지점 상류의 댐 방류량의 일 방류량자료와 강우자료를 입력 자료로 하여 유량을 예측할 수 있는 유량예측 신경망 모형 FFBN(Flow Forecasting By Neural)을 개발하였다. 그리고 입력 자료로서 장기유출모형인 SWAT의 모의 결과를 입력 자료로 추가한 FFBNS(Flow Forecasting By Neural and SWAT)을 개발하였다. 신경망 모형의 구조는 입력층과 출력층 사이에 하나의 은닉층이 존재하는 다층 신경망으로 구성하였으며, 학습단계에서는 오류 역전파 알고리즘 학습방법 중 모멘텀법을 사용하였다. 예측된 유출량을 실측치와의 비교를 위하여 낙본 D지점과 낙본 E지점에 대하여 2005~2006년까지의 모의 결과를 낙동 수위측정지점과 구미 수위측정지점의 실측치 통하여 복잡한 비선형성을 가지는 유출 시계열 자료에 대한 효과적인 최적의 신경망모형을 개발하여 유량을 예측하고 적용 가능성을 검토하고자 한다. 모의 결과는 수질정책의 기초자료 제공에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 신경망모형, 유량예측, 갈수기

\* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : kshanj@knu.ac.kr  
\*\* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : kdi5422@hotmail.com  
\*\*\* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : honorguard99@msn.com  
\*\*\*\* 낙동강물환경연구소 연구사 · E-mail : ysyoons3@me.go.kr

## 1. 서론

신경망에 대한 이론적인 개념은 1950년대부터 이루어졌으며, 1980년대 말 컴퓨터의 급속한 발달과 함께 실질적인 학습방법이 개발되면서 활발한 연구와 적용이 시작되었다. 수자원 분야에서는 1990년 이후부터 신경망 이론을 이용한 많은 연구가 발표되었다. 해외의 사례를 살펴보면 French 등(1992)은 시공간분포를 활용하여 신경망을 통해 강우의 공간분포를 예측하였고, Hsu 등(1995)은 신경망을 강우-유출과정에, Campolo 등(1999) 하천 홍수위 예측에 전방향 신경망을 적용하였으며 국내에서는 강관원 등(1992)은 신경망을 통해 하천의 일유출량을, 심순보 등(1998)은 다목적댐의 홍수유입량을 예측하였고, 안경수 등(1998)은 신경망을 이용하여 호우의 발생에 따른 하천유역의 홍수유출수문곡선을 모의하였고 윤강훈 등(2004) 댐방류량을 이용한 한강 유역 신경망 유출 예측모형에 관한 연구를 발표하였고, 조용진 등(2004)은 실시간 수질 예측을 위한 신경망 모형을 구성하였다. 그리고 박성천 등(2005)은 신경망 이론을 이용한 상·하류지점간의 수위를 예측하는 등 최근 들어 수자원 분야에서의 신경망을 적용한 사례가 많아지고 있다.

본 연구의 목적은 강우-유출자료 및 댐 방류량의 비선형적인 관계를 신경망모형을 적용하여 수질정책에 기초자료를 제공하기 위하여 낙동강 본류 대표지점에서 일 유량을 예측하는 것이다. 이를 위해 오류 역전파 알고리즘을 이용한 강우예측 신경망 모형을 개발하였으며, 개발된 모형은 2005~2006년 낙본 D지점과 낙본 E지점에 대하여 적용을 실시하였다. 적용된 결과는 낙동 수위관측소와 구미 수위관측소의 실측 자료와 비교·검토되었다.

## 2. 신경망 모형의 개발

SWAT 모형을 이용한 유량 추정 은 간접적인 방법이며 낙동강물환경연구소의 유량 실측치는 일 유량을 알 수가 없는 한계가 있다. 따라서 낙동강물환경연구소의 8일 측정 유량이 가지는 정확성을 이용하면서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 유역별 강우자료와 SWAT 모의 자료 및 건교부의 수위관측소의 수위 자료를 연계하여, 자료들간의 비선형 특성을 가장 잘 반영할 수 있는 신경망 모형을 이용하여 유량예측을 실시하였다. 신경망 모형의 출력값은 낙동강물환경연구소에서 측정하지 않은 기간에 대하여 유량을 예측할 수 있도록 구성하였으며, 신경망 모형의 구조는 기존의 연구에서 주로 이용한 것과 같이 입력층과 출력층 사이에 하나의 은닉층이 존재하는 다층 신경망을 이용하였다.

### 2.1 신경망모형의 구성

상류의 댐방류량과 강우에 의한 하도의 유량은 예측 지점의 특성 및 상황에 따라 다양하게 존재할 수 있으므로, 본 연구의 적용 지점인 낙동 및 왜관 지점의 신경망 유량예측 모형은 그림1과 같이 구성하였다. 은닉층의 뉴런수는 입력층 뉴런의 두 배로 구성하였으며, 학습반복수는 오차값의 수렴성을 고려하여 5,000번을 적용하였다. 또한 학습률과 모멘텀 상수는 각각 0.001과 0.01을 사용하였다. 입력층으로부터 다양한 입력 자료에 적절한 초기 가중치를 선정하여 목표치에 근접하도록 반복 학습을 수행한다. 반복 학습으로부터 각각의 입력 자료가 결과에 미치는 정도에 따라 초기와는 다른 가중치를 구할 수 있다. 따라서 이와 같은 값을 가지로 다른 입력 자료가 주어졌을 때 그 결과를 예측할 수 있게 된다.

### 2.2 입력층 구성

유량예측을 위한 FFBN(Flow Forecasting By Neural)과 FFBNS(Flow Forecasting By Neural and SWAT)의 신경망 모형의 입력층은 공통적으로 상부 댐의 방류량과 지류의 유출을 반영하기 위하여 유역의 면적평균 강우량 자료 및 수위관측소의 수위-유량곡선으로부터 산정된 유량을 활용하였다. 그리고 FFBNS모

형은 SWAT모의를 통한 유출량 자료를 입력층에 추가하여 SWAT모의를 통한 유출량 자료가 유량예측 모형에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

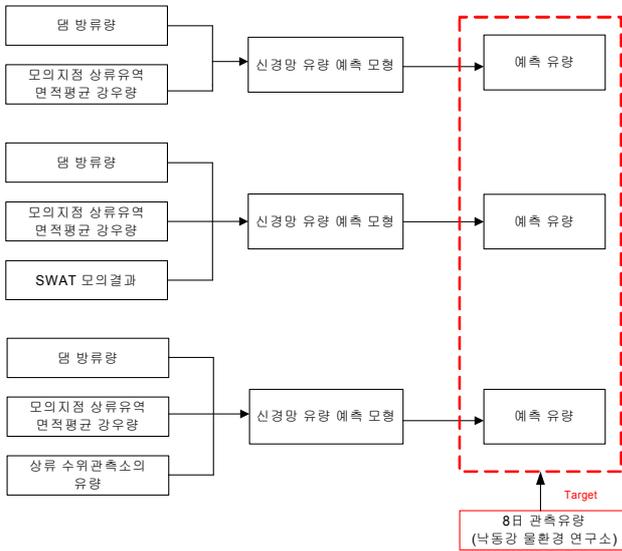


그림 1. 유량예측 신경망 모형의 시나리오

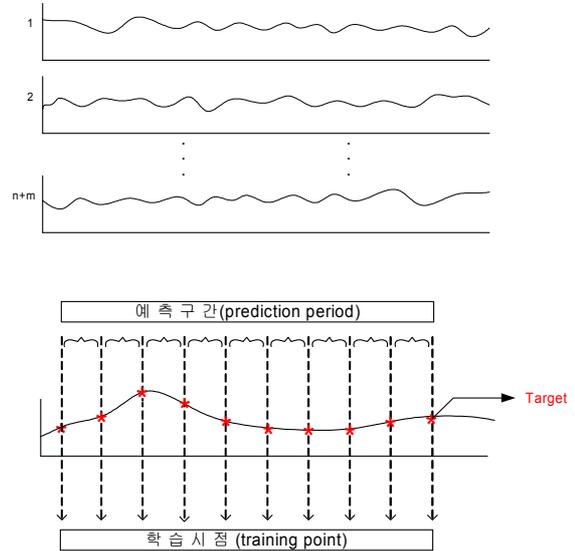


그림 2. 유량예측 신경망 모형의 개요

### 3. 유량예측 신경망 모형의 낙동강유역에 적용

#### 3.1 적용유역 및 적용자료

본 연구에서는 신경망 유량예측 모형의 적용을 위하여 낙동강을 대상유역으로 선정하였다. 낙동강은 유역 면적 23,702.02km<sup>2</sup>, 유로연장 1,097.13km로, 유역 내에 홍수저류 및 용수확보를 위하여 안동댐, 임하댐, 영천댐, 합천댐, 남강댐, 운문댐 등을 운영하고 있다. 건설교통부 60개, 수자원공사 31개, 농업기반공사 1개 총 92개의 수위관측소가 운영 중에 있으며, 건설 교통부 121개, 기상청 14개, 수자원공사 45개, 농업기반공사 1개 총 181개의 유량관측소가 운영 중에 있다. 또한 낙동강물환경연구소의 낙동강수계 유량측정사업을 통하여 낙동강 수계 47개 지점의 유량을 실측하여 산정하였고 모형의 결과를 비교, 검증할 수 있도록 수위관측소와 일치하는 지점을 대상구역으로 선정하였다. 대상구역을 낙동수위관측소와 왜관수위관측소로 지정하였다. 모의 시 각 관측소의 목표치인 8일 측정유량자료는 낙동수위관측소인 경우 낙본D이며 왜관수위관측소의 경우 낙본E이다.

표 1. 유량예측 신경망 모형의 입력자료

지점	댐 방류량	강우량(유역)	수위관측소	비고
낙동지점	안동댐, 임하댐	안동댐하류, 내성천, 영강, 병성천, 위천, 낙동상주, 낙동구미(낙동수위표)	지보, 사벌	(낙동수위지점과 비교)
왜관지점 (I)	안동댐, 임하댐	안동댐하류, 내성천, 영강, 병성천, 위천, 낙동상주, 낙동구미, 감천, 낙동왜관(왜관수위표)	지보, 사벌, 낙동, 일선교, 구미	안동댐 및 임하댐에서 모의시작 (왜관수위지점과 비교)
왜관지점 (II)		낙동구미(감천합류부), 감천, 낙동왜관(왜관수위표)	일선교, 구미, 왜관	낙동지점의 유량자료를 입력자료로 하여 모의

신경망 유량예측 모형의 학습 및 검증을 위한 자료는 표1과 같으며, 각 지점에 대하여 2005년~2006년 기간 동안에 대하여 모의하였다. 유량분석에 사용한 각 입력자료는 건교부의 T/M과 기상청의 T/M 및 자기관측기로부터 수집하였다. 그리고 낙본D와 낙본E를 유출구로 하여 SWAT을 모의한 결과를 적용하였다.

### 3.2 적용 결과

낙동수위표 지점에서의 모형 학습 횟수에 따른 오차와 상관계수 및 모형개선지수를 표2에 나타내었다. 표2에서 볼 수 있듯이 학습 횟수가 적을수록 예측치와 관측치가 잘 일치하였고 왜관에서도 학습 횟수가 적을수록 잘 일치하였다. 따라서 초기 입력 값의 중요성이 커짐을 알 수 있다. 표3은 각각의 모형에 대하여 반복 횟수 500일 경우에 대하여 오차와 상관계수 및 모형개선지수를 나타내고 있다. 다음 그림 4~6은 각 모형의 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

표 2. 학습횟수에 따른 검정결과

	RPE	RVE	AMB	RMSE	CC	SS
500회	-0.80	-0.01	104.32	357.40	0.72	0.45
1000회	-0.80	-0.03	104.83	358.67	0.71	0.44
1500회	-0.80	-0.04	106.45	360.57	0.70	0.44
2000회	-0.80	-0.04	107.63	361.85	0.69	0.43
2500회	-0.80	-0.05	108.39	362.94	0.69	0.43
3000회	-0.80	-0.05	108.88	364.10	0.68	0.43
3500회	-0.80	-0.05	108.88	364.10	0.68	0.43
4000회	-0.80	-0.06	109.30	365.36	0.68	0.42
4500회	-0.80	-0.07	109.70	366.70	0.67	0.42
5000회	-0.80	-0.80	110.27	368.07	0.66	0.41

표 3. 각 모형에 따른 검정결과

모형	RPE	RVE	AMB	RMSE	CC	SS
$HN^N$	-0.80	-0.01	104.32	357.40	0.72	0.45
$HN^M$	-0.80	-0.05	88.82	335.35	0.77	0.51
$HN^S^N$	-0.80	0.01	104.26	357.63	0.73	0.45
$HN^M$ - I	-0.79	-0.11	116.34	413.03	0.72	0.48
$HN^W$ - I	-0.79	-0.21	102.71	374.98	0.77	0.57
$HN^S^W$ - I	-0.79	-0.11	117.47	416.40	0.70	0.47
$HN^M$ - II	-0.79	-0.52	135.64	420.91	0.80	0.46
$HN^W$ - II	-0.79	-0.18	87.79	374.37	0.81	0.57
$HN^S^W$ - II	-0.79	-0.41	117.41	403.37	0.80	0.50

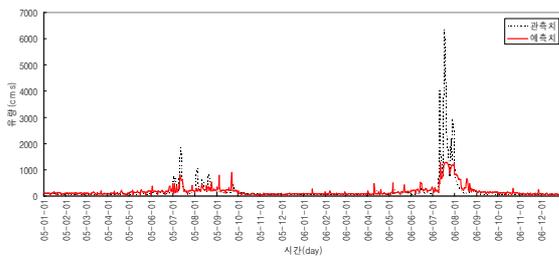


그림 3.  $HN^N$  모형에 의한 예측 및 낙동수위관측소 관측 유량

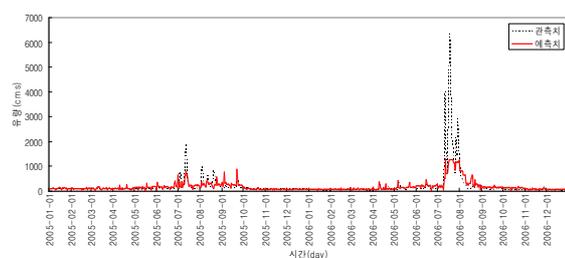


그림 4.  $HN^S^N$  모형에 의한 예측 및 낙동수위관측소 관측 유량

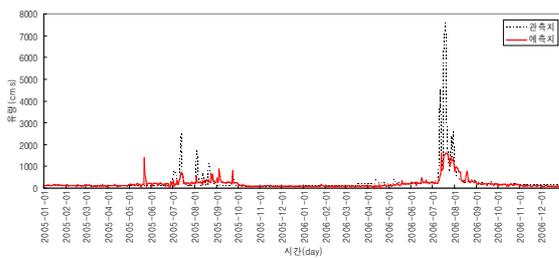


그림 5.  $HN^S^W$  - I 모형에 의한 예측 및 왜관수위관측소 관측 유량

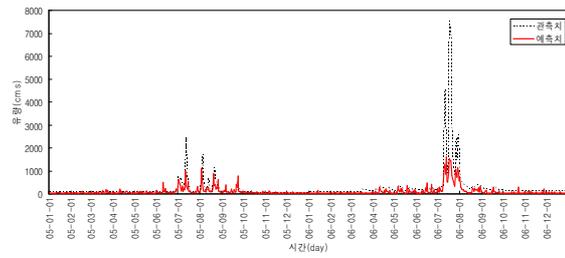


그림 6.  $HN^M$  - II 모형에 의한 예측 및 왜관수위관측소 관측 유량

위의 그래프에서 볼 수 있듯이 7~8월경의 유량 예측치와 관측치 사이의 오차가 큰 것을 확인할 수 있다. 이것은 이 시기에 낙동강물환경연구소에서 측정한 목표값이 다른 시기에 비하여 많이 존재하지 않고 있기 때문이다. 낙동강물환경연구소는 갈수기의 수질에 대한 영향을 고려하기 때문에 홍수기에는 많은 유량을 측정하지 않으므로 자료가 상대적으로 부족하였다. 그러나 7~8월경을 제외한 다른 시기에는 유량 예측치가 관측치와 거의 일치함을 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 낙동강 유역의 유량 예측을 위해 낙동강물환경연구소의 유량측정결과를 이용한 역전파 신경망 모델을 사용하여 일 유량량 예측모형을 개발하였다. 예측지점으로는 낙동수위관측소와 왜관수위관측소를 선정하였으며, 각 지점 상류의 댐방류량과 강우자료, SWAT에 의한 모의결과를 이용한 모형의 적용결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 모든 유량예측 모형은 예측 지점의 상류지점에 대한 일 유량자료가 있는 경우 더 높은 상관관계를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 SWAT 모의 결과를 이용한 신경망모형에서도 높은 상관관계를 보여줌으로써 유량관측소의 관측유량이 존재하지 않아도 유량을 예측할 수 있을 것으로 예상된다.
2. 목표값이 대부분 갈수기에 분포하여 홍수기에는 좀 더 부정확한 결과를 낳아 절대평균편차(AMB)와 평균 제곱오차(RMSE)가 전반적으로 매우 큰 값을 보였으나 갈수기의 유량은 관측치와 잘 일치하여 향후 수질정책을 위한 기초자료로서 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구를 통하여 댐방류량과 강우자료 및 SWAT 모의 결과를 이용한 유량예측 신경망모형의 일 유량결과의 적용가능성을 검증하였으며, 제시된 모형은 지속적인 수문자료의 질적 향상과 유출패턴의 축적으로 그 성능을 향상시킬 수 있을 것이다. 또한 홍수기의 정확한 유량예측을 위한 연구가 병행되어야 할 것이다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 2008년 낙동강 수계관리위원회환경기초사업의 “낙동강 수계 특성을 고려한 오염총량 지원 모델 시스템 구축”에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 최혁준 (2005). “위성정보에 의한 강우예측과 홍수유출 및 범람 연계 해석”, 박사학위논문, 경북대학교
2. 윤강훈, 서봉철 (2004). “댐방류량을 이용한 한강 유역 신경망 유출 예측모형에 관한 연구” 한국수자원학회 논문집, 제24권. 제1B호, pp. 47-53.
3. 박성천, 이용, 진영훈, 오창열 (2005). “신경망 이론을 이용한 상·하류지점간의 수위 예측” 한국수처리학회지, 제13권. 제3호, pp. 45-54.