

Web기반 수질예측 시스템 개발에 관한 연구

The Study on Development of System for Web-Based Water Quality Forecasting

안상진*, 전계원**, 유병로***, 한양수****

Sang Jin Ahn, Kye Won Jun, Byong Ro Ryu, Yang Su Han

요 지

인구의 폭발적 증가, 산업화, 도시화의 급진적, 과학기술의 발달 등으로 물 소비는 급증하는 반면, 이상기 후현상으로 수자원의 절대량이 줄어 수자원의 양적인 문제와 하천 및 저수지의 수질오염에 대한 질적인 문제가 대두되고 있다. 하천의 수질현상 및 이송은 상당히 비선형적이고, 시간에 따라 변화하며, 실제로 수질의 예측은 유량의 변동, 오염물질의 이송 및 확산, 하천 구조물 등의 여러 요인에 의하여 상당히 어렵다고 알려져 왔다. 또한 한정된 수자원으로 하천의 수량과 수질목표를 동시에 달성하기 위해서는 물의 수요와 공급을 실시간으로 감시하면서 기상과 유출예측기술을 활용하여 용수의 수요와 공급을 예측하고 이를 토대로 수량과 수질을 고려한 물관리 운영시스템이 구축되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 모형의 입·출력 구성을 자유롭게 변형할 수 있는 상태공간 모형과 신경망 모형을 이용하여 금강수계 주요 지점의 수질예측 모형을 구성하고 모형의 적용성을 파악한 후 예측력이 우수한 모형을 Web기반 모형의 수질예측 모듈의 기본모형으로 선정하고 Web 상에서 수질예측이 가능하도록 시스템을 개발하였다.

핵심용어 : Web기반, 수질예측, 신경망, 상태공간

1. 서 론

홍수와 가뭄 등 수자원의 양적인 문제와 더불어 가속화되는 하천 및 저수지의 수질오염에 대한 질적인 문제가 대두되고 있다. 우리나라의 경우 하천의 수질관리를 위한 예측 기법으로 주로 확정론적 예측 기법을 사용하고 있어 환경오염 방지시설의 효과, 각종 건설사업 등에 의한 환경영향 등의 단기적영향모의를 중심으로 연구되어 왔고 또 대부분 외국의 모형에 의존하여 왔다. 호수나 대하천의 경우 유입오염물질뿐 아니라 수역의 내부 생산력, 수문기상조건 등에 따라 수질 변동이 다르고 그 특성이 장기적으로 변화하므로 중·장기적인 예측을 위해서는 상태공간 모형이나 지능형 모형인 신경망 모형에 의한 예측이 필요하다. 이를 위해 신경망 모형과 상태공간모형을 이용하여 수질예측모형을 구성하고 금강유역 주요지점에 적용하여 모형의 성능을 비교한 후 최종 예측력이 우수한 지능형 예측모형을 독자적인 소스 코드로 개발하여 Web상에서 수질예측이 가능하도록 기본적인 시스템을 개발하는데 본 연구의 목적이 있다.

* 정희원 · 충북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : hydrosys@chungbuk.ac.kr

** 정희원 · 충북대학교 건설기술연구소 전임연구원 · E-mail : kwiun@mail.chungbuk.ac.kr

*** 정희원 · 한밭대학교 토목·환경·도시공학부 교수 · E-mail : ryub@hanbat.ac.kr

**** 정희원 · 경동대학교 건축·환경공학부 교수 · E-mail : hvsddd@k1.ac.kr

2. 기본이론

2.1 상태공간 모형

상태공간모형(state space model)은 시계열 모형의 한 분야로서 Kalman(1960), Kalman & Buch (1961)에 의해 처음으로 연구되었으며 칼만필터링(Kalman filtering)이라고도 알려져 있다. 시스템의 미래현상을 현재 상태와 미래의 입력을 사용하여 설명하기 위해서는 시스템의 상태(state)는 미래를 예측하기 위해서 필요한 현재와 과거정보의 최소집합으로 정의되어야 한다. 상태공간모형은 시스템이 선형이고 시간에 불변(time invariant)일 때 다음과 같은 상태방정식(state equation)과 출력방정식(output equation)으로 표현할 수 있다.

정상적 d변량 시계열 $\{y_t\}$ 가 VARMA 과정이면 다음과 같은 상태공간모형으로 나타낼 수 있다.

$$Z_{t+1} = Fz_t + GX_{t+1} \quad (1)$$

$$Y_t = HX_t + \xi_t \quad (2)$$

2.2 신경망 모형

신경망에 관한 연구는 인간의 두뇌와 신경세포 모델에 대한 연구에서 시작되었으며 뇌의 구조와 동작 방식을 단순화시켜 수학적 모형으로 뇌를 모방하고 있다. 그림 1과 그림 2는 각각 생물학적 뉴런과 인공뉴런의 구조를 나타내고 있다.

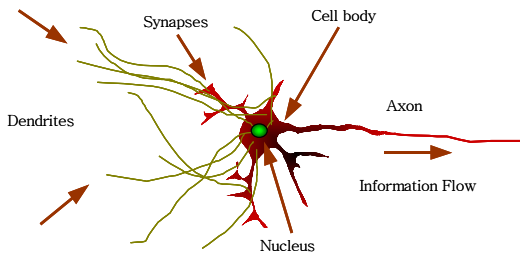


그림 1. 생물학적 뉴런

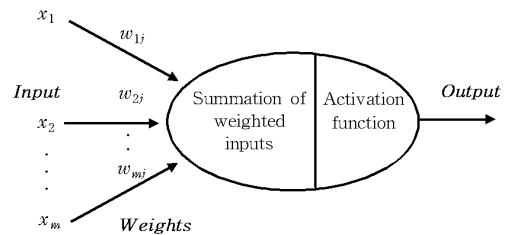


그림 2. 인공 뉴런

본 연구에 사용된 역전파 신경망(Back-Propagation Network: BPN)은 다층 퍼셉트론의 학습방법을 체계적으로 정리한 것으로서, 각각의 입력에 대해 기대하는 출력과 동일하거나 유사한 출력을 얻기 위해 반복학습을 통하여 신경망의 연결강도의 값을 구하는 알고리즘이다.

3. 모형의 적용

3.1 적용자료

수질예측을 위한 대상유역의 수질자료는 상태공간 모형의 모수산정, 모형의 검증 및 예측 그리고 신경망 모형의 학습 및 예측을 위해 필요하며 본 연구에서 분석에 사용된 금강수계 주요지점의 수질자료는 환경부 수질측정 D/B로부터 획득한 월 대표수질을 사용하였다. 수은, DO, BOD, SS, TN 그리고 TP는 분류 및 지류지역에서 1990년 1월부터 2002년 12월까지의 13년간의 월 대표수질을 사용하였고 선택된 수질자료를 분석하여 각 지점의 수질변화 특성을 파악하였다. 실제 수질예측시 수질자료는 시계열 형태로 가정하고 사용하였다. 연구에서 사용된 수질자료 중 1990년부터 2000년까지의 자료는 상태공간 모형 및 신경망 모형의 매개변수 산정 및 검증자료로 사용되었으며 2001년 수질자료는 모형의 검증자료로 2002년 자료는 Test 자료로 사용되었다.

3.2 상태공간 모형

상태공간 모형을 이용해 금강유역 주요지점의 수질예측을 위해 각 지점별로 수온, DO, BOD, SS, TN, TP, COD 등의 수질인자와 유량을 입력변수로 하여 상태공간 모형을 구축하고 각 지점별로 DO, BOD, SS, TN, TP농도의 예측을 수행하였다. 본 연구에서는 VARMA 모형을 활용하여 상태공간 모형을 해석하고 월 수질 예측을 수행하였다. 상태공간 모형의 구축을 위해 정준상관분석을 통해 초기 VAR(p)모형의 시차 및 상태공간 벡터를 선택하여 예측을 위한 상태공간 모형식과 VARMA모형 식을 결정한 후 수질예측을 수행하였다. 그 결과 각 지점별 VARMA 모형의 차수는 표 1에 나타내었다.

표 1. 각 지점별로 결정된 VARMA 차수

Gongju	Okcheon	Buyeo	Gabcheon	Mihocheon
VARMA(1,2)	VARMA(2,2)	VARMA(2,2)	VARMA(1,3)	VARMA(3,3)

그림 3과 그림 4는 각 지점별로 결정된 VARMA 차수에 의해 수질을 모의한 결과를 나타내고 있으며 모의치가 실측치의 경향을 잘 모의하는 것을 알 수 있다.

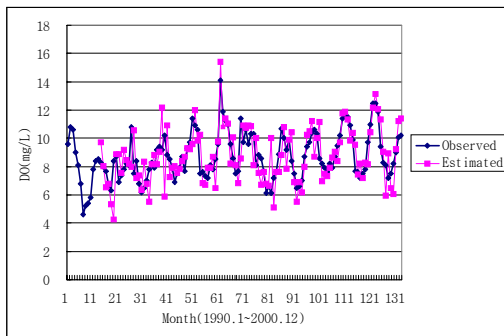


그림 3 공주지점의 DO 모의 결과

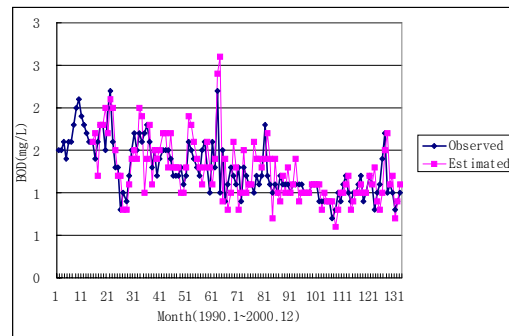


그림 4 옥천지점의 BOD 모의 결과

3.3 신경망 모형

시계열 자료의 분석을 통해 얻은 입력형태에 맞게 각 수질인자들의 학습자료와 검증자료를 구성하였다. 학습자료는 1990년 1월~2000년 12월까지의 자료를 사용하였고, 검증자료는 2001년 1월~2001년 12월까지의 자료를 사용하였다. 학습회수는 1000회~5000회에서 결정되었으며, 은닉층의 수는 2N배~6N배 사이에서 결정하였다. 신경망에 의해 구성된 수질예측 모형을 이용하여 각 지점별로 DO, BOD, SS, TN, TP의 수질인자들의 예측을 위해 학습을 통해 최적모형을 선정하였다. 신경망의 경우 은닉층의 노드수 및 학습회수를 일정 수 이상 증가시키면 오히려 연결강도의 학습이 과소나 과대 추정되므로 구성된 모형의 학습 수행시 여러 가지 구조의 모형을 구성하여 학습을 수행하였다. 학습결과 구성된 모형의 학습회수는 5000회를 초과하는 경우는 학습정도가 낮아지는 경향을 보였으며 은닉층의 노드수의 경우도 입력층의 자료수를 n이라 할 때 6n배 이내에서 최적의 학습을 수행하였다. 그림 4와 그림 5는 신경망 모형의 구성에 따른 금강 주요지점의 수질모의 결과를 나타내고 있다.

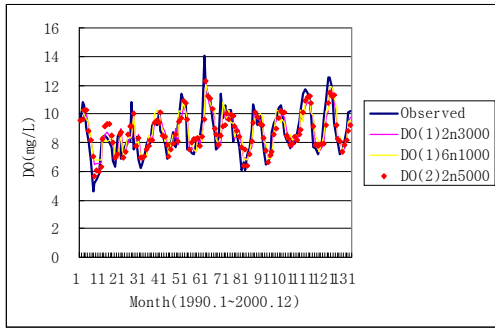


그림 5 신경망 모형에 의한 수질모의 결과(공주)

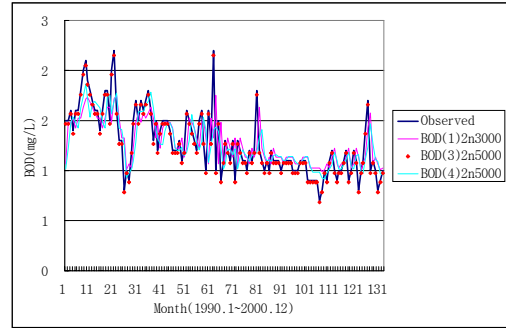


그림 6 신경망 모형에 의한 수질모의 결과(옥천)

3.4 수질 예측 모형 선정

수질예측을 위해 구성된 신경망 모형과 상태공간 모형을 이용하여 적정 연결강도와 차수를 갖는 모형의 적용성을 확인한 후 Web기반 시스템의 개발시 수질예측 모듈에 적합한 모형을 선정하기 위해 금강유역 주요지점에 적용하여 모형의 예측력을 검증한 후 두 모형 중 가장 예측력이 우수한 모형을 최종수질예측 모형으로 결정하였다. 그림 7은 공주지점의 신경망 모형과 상태공간 모형의 수질예측 결과를 나타내며 그림에서 알 수 있듯이 신경망 모형이 상태공간 모형에 비해 예측력이 우수한 모형으로 분석되어 신경망 모형을 Web기반 시스템 구축시 수질예측 모듈의 기본 모형으로 선정하였다.

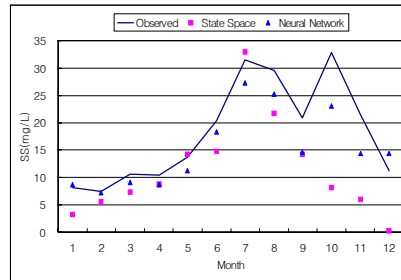
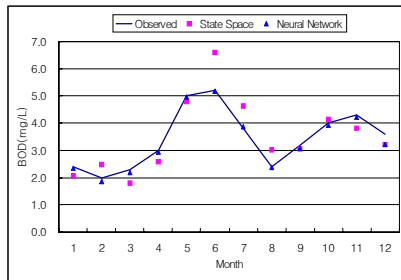


그림 7. 신경망 모형과 상태공간 모형의 수질예측 결과(공주지점)

4. Web 기반 수질예측 시스템

신경망 모형과 상태공간 모형의 수질예측결과 적정 모형으로 선정된 신경망 모형을 이용하여 Web 상에서 수질예측을 위한 시스템을 구성하고 수질예측을 수행하였다. 데이터의 크기 및 서버환경 등을 고려하여 적정 예측 시스템을 설계하고 Web기반 모형을 구축하였다. 그림 8는 Web상에서 구성된 수질예측시스템의 기본 화면을 나타내고 있고 그림 9는 Web상에서 수질예측을 수행한 결과를 나타내고 있다.

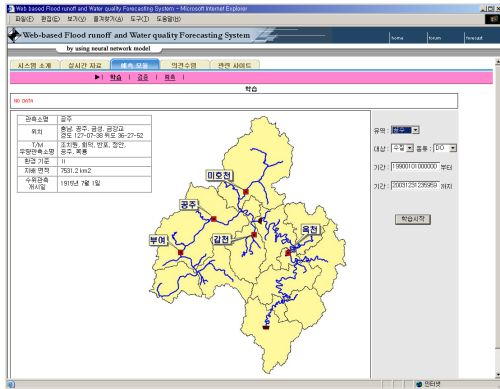


그림 8 Web기반 수질예측 시스템

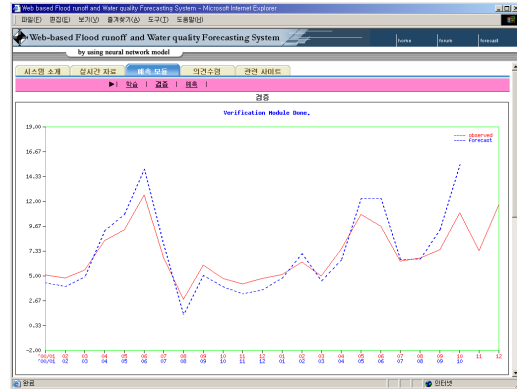


그림 9 Web에서의 수질예측 결과

5. 결론

본 연구에서는 Web기반 수질예측 모형을 구성하기 위해 신경망 모형과 상태공간 모형을 이용하여 수질예측을 위한 기본모형을 구성하였다. 신경망 모형과 상태공간 모형의 학습 및 상태벡터 모형화에 따른 수질예측 결과 신경망 모형의 경우 DO예측모형은 DO(2)4n, BOD예측 모형은 BOD(3)4n, SS예측모형은 SS(2)2n, TN예측모형은 TN(2)2n, TP예측모형은 TP(1)6n으로 결정되었으며 최종 예측력이 우수한 모형으로 신경망 모형이 결정되었고 신경망 모형을 이용하여 Web기반 모형을 구성하고 Web상에서 수질예측의 적용성을 검토하였다.

참 고 문 헌

1. 김만식, 한재석(1999), “하천 수계의 장기 수질예측을 위한 신경망모형”, *환경관리학회지*, Vol.5, No.1, pp. 145~152
2. 안상진, 전계원, 함창학, 한양수 (2001) ANFIS를 이용한 용존산소의 예측, 대한토목학회 학술발표회논문집, 대한토목학회.
4. Haykin, S.(1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation Second Edition*, Prentice Hall, pp. 1~317.