

# 미계측 지점에서의 유출 예측

## Runoff Forecasting at Ungaged Location

안상진\*, 연인성\*\*, 박재현\*\*\*, 이무경\*\*\*\*

Sang Jin Ahn, In Sung Yeon, Jae Hyun Park, Mu Kyeong Lee

### 요 지

하천의 수질은 시·공간적으로 지속적인 변화를 보이기 때문에 효과적인 수질관리를 위해서는 연속적인 하천수질 측정과 분석이 요구된다. 또한 유량과 수질측정이 동일시각에 이루어져야 하며 수질측정 지점에서의 보다 정확한 유량산정이 요구된다. 그러나 T/M 수위관측소와 수질자동측정망 지점이 원거리에 위치하여 수질자동측정망 지점에서 정확한 실시간 유량자료를 획득하기에 어려운 지점이 많다. 따라서 연구에서는 신경망 모형을 적용하여 미계측 지점에서의 유출량을 예측하고 강우-유출 모형인 WMS 모형에 의한 계산값과 비교하였으며 미계측 지점에서의 유출예측 가능성을 검토하였다.

**핵심용어** : 미계측, 유출예측, 신경망, WMS

## 1. 서 론

1994년 낙동강 수질오염 사고를 계기로 4대강 유역에 수질자동측정망을 설치하여 운영하고 있다. 실시간으로 측정되는 수질 자료를 수질오염 사고 감시 목적이나 수질관리 차원에서 보다 효과적으로 활용하기 위해서는 적합한 분석 및 실시간 예측 모형과 연계되어야 한다. 오염원을 이송하는 매개체가 유량입을 감안할 때 유량과 수질 관계의 해석은 매우 중요하다. 그러므로 유량과 수질측정이 동일시각에 이루어져야 하며 수질측정 지점에서의 보다 정확한 유량산정이 요구된다. 이를 위해서는 채수 지점에서 유량 산정이 선행되어야 한다. 그러나 T/M 수위관측소와 수질자동측정망 지점이 원거리에 위치하여 수질자동측정망 지점에서 정확한 실시간 유량자료를 획득하기에 어려운 지점이 많다. 따라서 연구에서는 신경망 모형을 적용하여 미계측 지점인 평창강 수질자동측정망 지점에서의 유출량을 예측하고 강우-유출 모형인 WMS 모형에 의한 계산값과 비교·검토하고자 한다.

## 2. 유역특성 및 자료

대상유역은 평창강 유역이며 유량 미계측 지점인 평창강 수질자동측정망 지점은 주천강과 평창강의 합류부로부터 하류에 위치한 충북 제천시 송학면 장곡리에 있다. 평창강 수질자동측정망 지점으로부터 약 11km 하류에 영월1 T/M 수위관측소가 위치하고 있어 유량측정 지점과 수질 자동측정 지점 사이로 지천들이 유입하고 있다. 상류에는 판운 T/M 수위관측소와 주천, 방림, 상안미 등의 자기 수위관측소가 있으며 그림 1에 평창강 유역도를 나타내었다.

\* 정희원 · 충북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : [hydrosys@chungbuk.ac.kr](mailto:hydrosys@chungbuk.ac.kr)  
\*\* 정희원 · 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail : [hifivee@netian.com](mailto:hifivee@netian.com)  
\*\*\* 정희원 · 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : [121212000@hanmail.net](mailto:121212000@hanmail.net)  
\*\*\*\* 정희원 · 충북대학교 대학원 토목공학과 공학석사

평창강 유역내에는 운영중에 있는 T/M 강우관측소가 많아 조밀한 Thiessen망을 구성할 수 있어 보다 정확한 자료 획득이 용이하며 진부, 봉평, 청일, 수항, 대화, 방림, 청옥산, 평창, 운학, 안흥, 연덕, 수주, 신림, 제천의 14개 T/M 강우관측소로부터 시우량 자료를 취득하였다.

모형의 적용을 위해 평창강 유역내 5개의 수위관측소의 수위자료를 이용하였으며 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 유량으로 환산하였다. 강우자료는 14개 강우관측소의 강우 자료를 이용하였으며 자료의 기간은 1997년~2002년이다.

평창강 유역의 DEM 및 Grid 자료를 이용하여 지형학적 인자를 추출하였으며 강우관측소의 경위도좌표를 UTM 좌표로 변환하여 수치 지형도상에서 티센망을 구성하였다. 연구에서 분석한 대상유역의 특성 중 그림 2에 음영도, 수계망, 소유역별 지형학적 특성을 나타내었으며 그림 3에 강우관측소에 의해 구성된 Thiessen망과 표 1에 Thiessen 계수를 나타내었다.

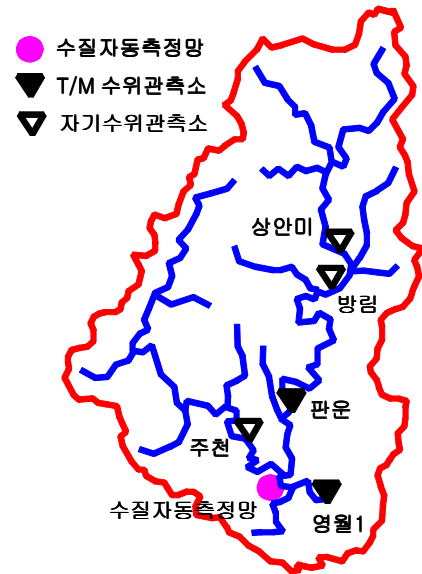
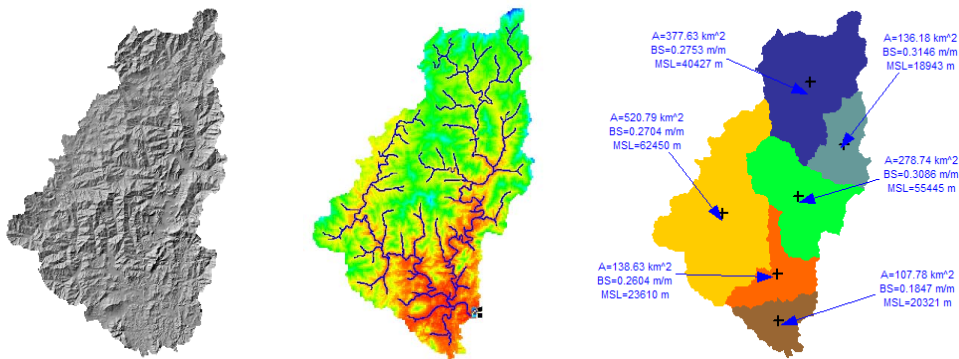


그림 1. 평창강 유역도



a) 음영도

b) 수계망

c) 소유역별 지형학적 특성

그림 2. 유역 특성 분석

표 1. 티센계수

수위관측소		상안미	방림	판운	주천	수질자동측정망	영월1
강우관측소							
No.1	진부	0.1163	0.0855	0.0554		0.0302	0.0282
No.2	봉평	0.6642	0.4881	0.3165	0.0144	0.1779	0.1656
No.3	청일				0.0581	0.0208	0.0194
No.4	수항	0.0256	0.0468	0.0303		0.0166	0.0154
No.5	대화	0.1304	0.3188	0.2066		0.1128	0.1050
No.6	방림	0.0636	0.0468	0.1664	0.1117	0.1319	0.1228
No.7	청옥산		0.0140	0.0447		0.0244	0.0227
No.8	평창		0.0001	0.1474		0.0849	0.0790
No.9	운학				0.3099	0.1112	0.1035
No.10	안흥				0.1728	0.0620	0.0577
No.11	연덕			0.0227		0.0353	0.0477
No.12	수주			0.0100	0.1716	0.1291	0.1356
No.13	신림				0.1615	0.0629	0.0591
No.14	제천						0.0385
계		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

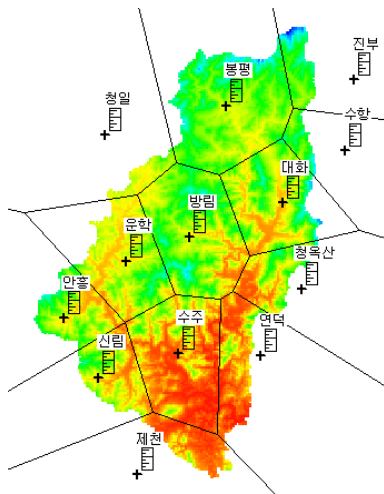


그림 3. Thiessen망 구성

### 3. 모형의 검증

#### 3.1 신경망 모형

실시간 수위기록이 이루어지지 않는 수질자동측정망 지점에서의 유출량을 계산하기 위하여 상하류의 유출 특성과 시간당 총강우량의 크기를 고려하였다.

시간당 총강우량은 시우량 자료로부터 산정된 면적평균강우량에 유역면적을 곱하여 계산하였으며 임의유역에서 1시간동안 강하한 강우의 체적으로 유역면적의 크기와 유출량의 관계를 학습하고자 하였다. 신경망 모형은 입력과 출력만을 고려하여 복잡한 유출해석 과정을 단순화할 수 있다고 판단되어 물리적인 모형에서 고려되는 손실량 및 기타 매개변수 등은 고려하지 않았다.

평창강 수질자동측정망 지점은 영월1 T/M 수위관측소와 원거리에 있으므로 정확한 유량 산정이 실시간적으로 이루어질수 없다. 미계측지점인 수질자동측정망 지점에서 취득할 수 있는 것은 T/M 강우관측소의 강우 기록이므로 강우량의 크기에 따른 유출예측이 이루어져야 한다. 따라서 수질자동측정망 지점으로부터 상류에 위치한 관운 지점에서의 유량(t), 하류에 위치한 영월1 지점에서의 유량(t), 수질자동측정망 지점의 시간당 총강우량(t)을 입력 자료로 하였으며 수질자동측정망 지점에서의 유출량(t+1)을 출력하도록 구성하였다. 유출예측 신경망 모형의 입출력 구성을 표 2에 나타내었다.

표 2. 유출예측 신경망 모형의 입출력구성

Input 1	Input 2	Input 3	Output
관운지점의 유량(t)	영월1 지점의 유량(t)	예측지점에서의 시간당 총강우량(t)	예측지점의 유량(t+1)

미계측지점인 수질자동측정망 지점은 유출량 자료가 없으므로 원하는 목표값인 유출량에 대한 학습을 할 수 없다. 따라서 유출량 자료가 존재하는 관운 지점의 시간당 총강우량을 입력으로 유출량을 학습하고 또한 영월1 지점에서의 시간당 총강우량을 입력으로 유출량을 학습하도록 하였다. 또한 유출량의 시간적 변화량을 학습하기위해 예측시점(t+1)에서 한단계 이전(t)인 관운과 영월1 지점의 유량자료를 입력항에 추가하였다. 강우량의 총량과 유출량과의 관계를 해석하도록 학습된 유출예측 신경망 모형의 학습결과를 그림 4에 나타내었다. 유출예측 신경망 모형의 검증시 실측치가 존재하지 않으므로 모형의 검증은 학습오차 0.01을 기준으로 충분한 학습을 수행하였다.

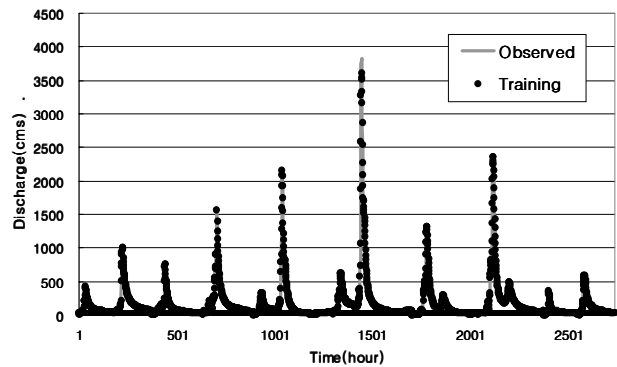


그림 4. 신경망 모형의 학습결과

#### 3.2 WMS 모형

연구에서는 유역의 DEM 자료를 이용하여 지형학적 특성을 분석하였으며 유출량 산정이 요구되는 미계측 지점과 수위관측소가 위치한 계측지점들을 중심으로 소유역을 분할하고 SCS 방법을 이용하여 유출모의를 수행하였다. 수질자동 측정망 지점의 상류에 위치한 관운지점에서의 유출모의 결과를 그림 5에 나타내었다. 단일호우사상인 2002년 4월 29일 사상과 2002년 8월 31일 사상에 대한 모의결과, 첨두유량퍼센트오차(PEP)가 각각 1.895%, 3.112%로 복합호우 사상인 2002년 8월 5일 사상의 19.380%보다 작게 산정되었으며 유출용적퍼센트오차(VE) 또한 각각 3.964%, 3.387%로 복합호우사상의 유출용적퍼센트오차 13.785%보다 좋은 결과를 보였다. 단일호우사상의 상관계수는 각각 0.994, 0.973, RMSE는 각각 9.141cms, 38.397cms였으며 복합호우사상의 상관계수는 0.960, RMSE는 247.114cms로 분석되었다.

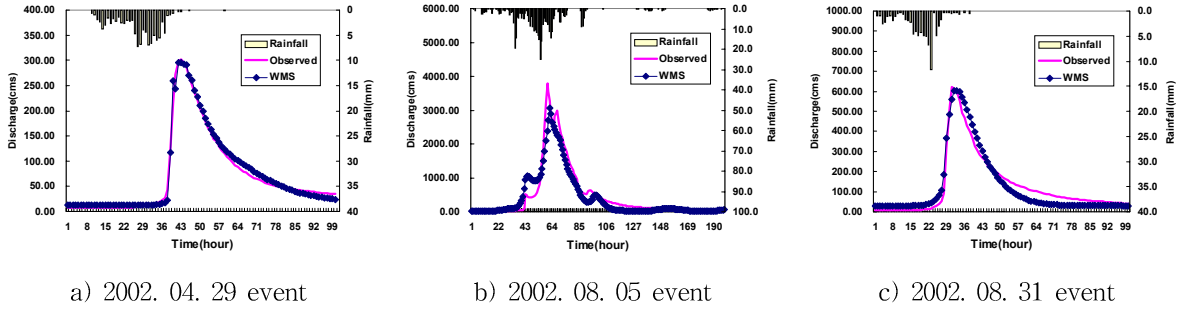


그림 5. 관운 지점에서의 WMS 유출모의 결과

영월1 지점에서의 모의결과를 그림 6에 나타내었다. 단일호우사상인 2002년 4월 29일 사상과 2002년 8월 31일 사상에 대한 모의결과, 유출용적퍼센트오차(VE)가 각각 3.722%, 0.879%로 복합호우사상에 대한 모의 용적퍼센트오차 23.916%보다 작게 산정되었으며 단일호우 사상에서 평균값에 근사하고 상관계수 또한 0.964~0.979로 높았다. 그러나 침투유량퍼센트오차(PEP)는 2002년 4월 29일 사상에서 0.484%로 작게 산정되었으나 2002년 8월 31일 사상에서는 7.261%로 복합호우사상인 2002년 8월 5일 사상에서의 3.636%보다 크게 모의되었다.

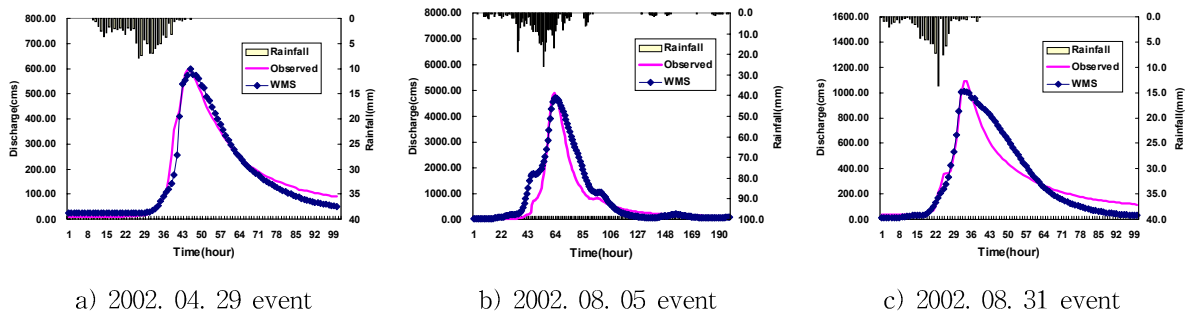


그림 6. 영월1 지점에서의 WMS 유출모의 결과

#### 4. 미계측 지점에서의 유출량 산정 및 예측

미계측 지점에서 SCS 방법에 따른 유출량을 산정하였으며 유출예측 신경망 모형에 의해 예측된 유출량과의 비교에 사용되었다. 미계측 지점인 수질자동측정망 지점에 SCS 방법을 적용하기 위해 WMS 모형을 이용하였다. 수질자동측정망 지점과 영월1 지점이 지배하는 유역면적으로부터 면적비유량(Discharge per Unit Drainage Area; DUDA)을 산정하여 확정론적 모형인 WMS 모형의 모의결과와 추계학적 형태로 구성된 신경망 모형의 예측결과와 비교하여 그림 7에 나타내었다.

2002년 4월 29일 사상에서는 침투유량의 크기가 WMS 모형, 비유량, 신경망 모형 순으로 산정되었으며 유출용적은 유사한 것으로 나타났다. 2002년 8월 5일 사상에서는 신경망 모형과 비유량에 비해 WMS 모형이 유출용적을 크게 산정한 것으로 나타났으나 침투유량은 유사하게 산정되었다. 2002년 8월 31일 사상에서도 침투유량은 모두 유사하였으나 WMS 모형이 유출용적을 크게 산정하였다. 신경망 모형은 WMS 모형보다 비유량과 유사한 결과를 보였으며 이는 영월1 수위관측지점에서 측정된 유량을 학습하였기 때문으로 판단된다. 신경망 모형에 의해 예측된 유출량과 WMS 모형에 의해 모의된 유출량은 진행상황과 침투유량이 유사하였으나 WMS 모형에 의해 산정된 유출용적이 전반적으로 크게 나타났다.

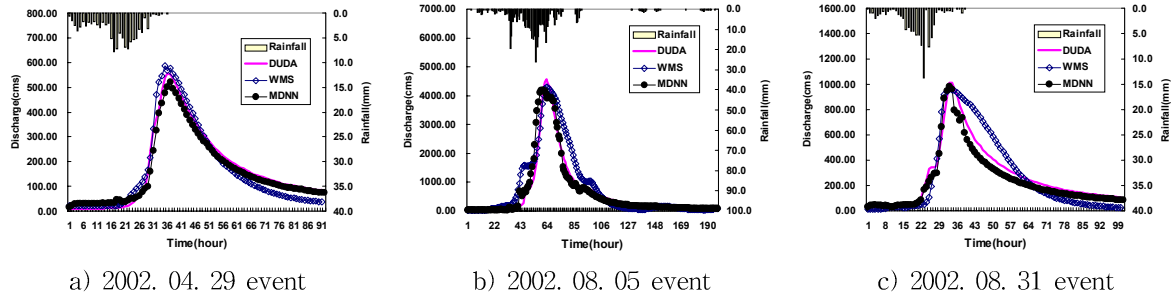


그림 7. 수질자동측정망(미계측) 지점에서의 유출량 계산 결과

## 5. 결론

미계측 지점인 수질자동측정망 지점에서 유출예측 신경망 모형에 의한 예측유출량과 SCS 방법을 적용한 WMS 모형의 계산치 및 면적비유량을 비교한 결과 신경망 모형은 WMS 모형에 의해 모의된 유출량과 진행 성향 및 첨두유량은 유사하였으나 유출용적이 전반적으로 적게 예측되었다. 또한 신경망 모형은 면적비유량과 보다 유사한 결과를 보였으며 면적비유량을 산정할 때 이용한 영월1 지점의 유출량을 학습하였기 때문에 판단된다. 이상의 연구로부터 미계측 지점에서의 유출량 예측에 대한 신경망 모형의 적용 가능성을 검토하였으며 보다 정확한 유출량 예측을 위해 입력자료의 선정 및 알고리즘의 연구가 요구된다. 수질예측을 위한 추계학적 모형과 미계측 지점에서의 유출예측 신경망 모형이 연계된다면 유출량과 수질측정지점이 원거리에 위치한 유역에서 실시간적인 수질예측이 가능할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 김만식(1998) 다목적 저수지의 홍수유입량 예측을 위한 신경회로망. 박사학위논문, 충북대학교.
2. 김성원, 호세살라스(2000) 하천수위표지점에서 신경망기법을 이용한 홍수위의 예측. 한국수자원학회논문집, 제33권, 제2호, pp. 247-262.
3. 김주환(1993) 신경회로망을 이용한 하천유출량의 수문학적 예측에 관한 연구. 박사학위논문, 인하대학교.
4. 신현석, 박무중(1999b) 신경망을 이용한 우리나라의 시공간적 가뭄의 해석. 한국수자원학회논문집, 제32권, 제1호, pp. 15-29.
5. 안상진, 연인성, 한양수, 이재경(2001) 신경망 모형을 적용한 금강 공주지점의 수질예측. 한국수자원학회논문집, 제34권, 제6호, pp. 701-711.
6. 안상진, 전계원, 김광일(2000) 신경망 알고리즘을 적용한 유출수문곡선의 예측. 한국수자원학회논문집, 제33권, 제4호, pp. 505-515.
7. 오경두, 전병호(1994) 미계측 중소유역 유출 시뮬레이션을 위한 신경회로망 모형의 적용. 제36회 수공학연구발표회 논문집, 한국수문학회, pp. 317-323.
8. Dawson, C.W. and Wilby, R. (1998) An artificial neural network approach to rainfall-runoff modeling. Hydrological Sciences, Vol. 43, No. 1, pp.47-66.
9. Fernando, D.A.K. and Jayawardena, A.W.(1999) Runoff forecasting using RBF network with OLS algorithm. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, Vol. 3, No. 3, pp. 203-209.
10. Ken-ichi, Y., Masaaki, H. and Akihiho, M. (1997) Novel Application of a Back-propagation Artificial Neural Network Model Formulated to Predict Algal Bloom. Water Science and Technology, Vol.36, pp. 89-97