

미계측 지점에서의 유출 모의 및 예측 Runoff Simulation and Forecasting at Ungaged Station

안상진* / 최병만** / 연인성*** / 곽현구**

Ahn, Sang Jin / Choi, Byong Man / Yeon, In Sung / Kwark, Hyun Gu

Abstract

It is very important to analyze the correlation between discharge and water quality. The observation of discharge and water quality are effective at same point as well as same time for real time management. But no less significant is the fact that there are some of real time water quality monitoring stations far from the T/M water stage. Pyeongchanggang station is one of them. In this case, it need to observe accurate discharge data, and to develop forecasting program or system using real time data. In this paper, discharge on Pyeongchanggang station was calculated by developed runoff neural network model, and compared with discharge using WMS(Watershed Modeling System) model. WMS shows better results when peak discharge is small and hydrograph is smooth. Forecasted discharge of neural network model have achieved the highest overall accuracy of specific discharge and WMS. Neural network model forecast change of discharge well on unrecored station.

keywords : neural network, WMS model, discharge, ungaged station

요 지

유량과 수질의 관계를 분석하는 것은 매우 중요하다. 하천의 실시간적 관리를 위해서는 유량과 수질의 측정이 동일한 지점에서 동시간적으로 이루어져야 보다 효과적이다. 그러나 수질자동측정망 지점과 T/M 수위관측소가 원거리에 위치한 경우들이 있으며, 평창강 수질자동측정망 지점이 그 중 하나이다. 이러한 지점에서는 보다 정확한 유량 산정과 이를 활용한 예측 프로그램이나 시스템이 요구된다. 이번 연구에서는 미계측 지점인 평창강 수질자동측정망 지점에 유량예측 신경망 모형을 적용하고, 적용성을 검토하기 위해 WMS 모형의 모의결과와 비교하였다. WMS 모형은 첨두유량이 작고, 수문곡선이 단조로운 사상에 적합한 것으로 나타났다. 신경망 모형의 유출량 예측값은 비유량과 WMS 모형의 모의값에 근사하였으며, 미계측 지점에서의 유출량 변화성향을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 신경망, WMS 모형, 유량, 미계측 지점

* 정회원, 충북대학교 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National Univ., Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea
(e-mail: hydrosys@chungbuk.ac.kr)

** 정회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

Doctoral Student, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National Univ., Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

*** 정회원, 충북대학교 토목공학과 강사

Part-Time Lecturer, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National Univ., Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea
(e-mail: isyeon@chungbuk.ac.kr)

1. 서론

수자원 수급의 불균형에 따른 양적 문제와 도시화, 산업화의 가속으로 인한 질적 문제는 서로 분리하여 관리할 수 없는 사안이다. 오염원의 이송량은 유량에 의해 영향을 받기 때문이다. 특히 최근에는 하수처리율이 증가함에 따라 비점오염원의 영향이 상대적으로 높아지고 있으며, 유량이 증가하는 강우시에 비점오염원의 유입량이 매우 크다. 위락시설의 증가와 농업의 근대화로 인해서 중·소도시 및 농어촌 지역에서도 각종 수질오염 물질의 배출량이 점진적으로 늘어나고 있는 추세이다.

수질변화에 있어 유량이 매우 큰 영향을 미치는 인자임에도 불구하고, 월별 및 일별로 측정된 수질자료들은 유량의 측정 시각 및 기간과 다르거나 동일 지점에서 측정된 양질의 자료가 부족하여 유량과의 관계성이 모호한 실정이다. 보다 진일보된 수질오염 관리 시스템에 접근하기 위하여 4대강 유역에서 수질자동측정망을 설치하여 운영하고 있으나, 유량과 수질관리에 대한 주체의 이원화로 인해 연속측정시설인 수질자동측정망과 T/M 수위관측소의 측정지점 또한 일치하지 않아 정확한 실시간 유량, 수질자료를 획득하기에 어려운 지점이 많다. 유량과 수질측정이 동일지점에서 동일시각에 이루어져야 수질과 유량을 연계하는 유익한 자료를 공유할 수 있다. 이를 위해서는 채수 지점에서 보다 정확한 유량 산정이 선행되어야 한다.

이번 연구에서는 T/M 수위관측소와 수질자동측정망 지점이 원거리에 위치한 평창강 수질자동측정망 지점을 대상으로 하였으며, 미계측 지점에서의 유출 모의를 위해 확정론적 모형인 WMS 모형과 유출 예측을 위해 추계학적 형태로 구성된 신경망 모형을 적용하였다.

WMS 모형은 수문모델링을 위한 HEC-1 모형과 GIS 관련 기능을 동시에 운영할 수 있다. GIS는 소유역별로 수문정보를 획득하거나 미계측 지점에서의 유역특성인자를 추출하기 위해 적절한 수단으로 사용될 수 있으며, 많은 시간과 노력이 소요되는 과거의 자료 추정방법과 달리 유역에서의 지형학적, 기상학적 특성을 효율적으로 산정할 수 있다. HEC-1 모형이 유출모형으로 연계된 WMS 모형은 미계측 유역으로부터 총강우량에 대한 유효강우량을 산정하기 위해 SCS 방법이 사용되었다. GIS와 HEC-1을 연계한 연구들은 국외(Berich, 1985 ; Yu 등, 1999)와 국내(함창학, 1996 ; 조홍제와 김정식, 1997 ; 김정탁, 1998)에서 많이 연구된 바 있다.

수문관측 시스템이 확대되고 다량의 실시간 자료가 축적됨에 따라 유역의 강우-유출과정을 모형화하기 위한 연구는 경험적, 통계적, 해석적 방법 등 다양하게 진

행되어 왔다. 특히 신경망 모형을 이용한 연구들이 활발히 진행되었으며, cascade-correlation 알고리즘(Karunanithi, 1994), modular 방법(Zhang과 Govindaraju, 1998)을 적용한 모형의 구조개선과 기상레이더 자료를 이용한 연구(Smith와 Eli, 1995 ; Shim, 1999)들이 이어지고 있다. 국내에서는 미계측유역의 강우-유출 시뮬레이션(오경두와 전병호, 1994)을 비롯한 하천의 유출 및 다목적 저수지의 홍수유입량을 예측한 연구들(강관원 등, 1992 ; 김만식, 1998 ; 신현석 등, 1998 ; 김성원, 2000 ; 안상진 등, 2001)이 이어졌다.

통계 및 추계학적 모형은 자료가 풍부한 지점에서 사용하는 것이 타당하겠으나, 연구에 적용한 신경망 유출모형으로 강우량과 유출량의 관계해석을 통해 미계측 지점에서의 유출예측을 수행하였다. 계측지점에서 검보정을 거친 WMS 모형과 면적비유량을 적용하여 미계측 지점에서의 유출량을 계산하고, 신경망 모형에 의한 유출 예측값과 비교함으로써 미계측 지점에서의 신경망 모형 적용성을 검토하고자 하였다.

2. 유역특성 및 자료

2.1 대상유역 및 특성

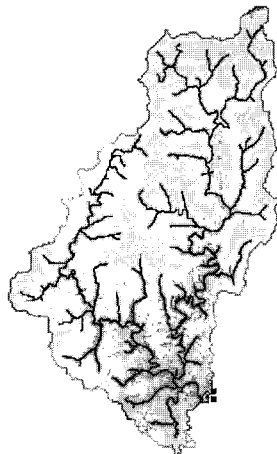
대상유역은 평창강 유역이며, 유량 미계측 지점인 평창강 수질자동측정망 지점은 주천강과 평창강의 합류부로부터 하류에 위치한 충북 제천시 송학면 장곡리에 있다. 평창강 수질자동측정망 지점으로부터 약 11km 하류에 영월1 T/M 수위관측소가 위치하고 있어 유량측정 지점과 수질 자동측정 지점 사이로 지천들이 유입하고 있다. 상류에는 판운 T/M 수위관측소와 주천, 방림, 상안미 등의 자기 수위관측소가 있으며, 그림 1에 평창강 유역도를 나타내었다.



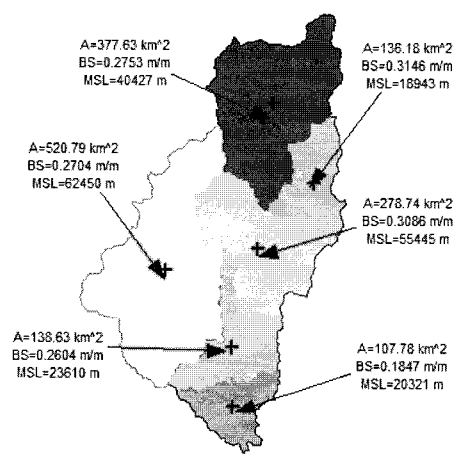
그림 1. 평창강 유역도



a) 음영도



b) 수계망



c) 소유역별 지형학적 특성

그림 2. 유역 특성 분석

평창강 유역의 DEM 및 Grid 자료를 이용하여 지형학적 인자를 추출하기 위해 GIS 소프트웨어인 Arc View에서 벡터형태의 자료를 레스터 형식의 Grid file로 변환하였으며, 이를 레스터 형식의 ASCII file로 전환(Export)하여 저장하였다. 저장된 file을 WMS에서 읽어들이어(Import) 소유역으로 구분하고, 소유역별 지형인자를 추출하였다. 평창강 유역의 음영도, 추출된 수계망과 각 수위관측지점 등에 따른 소유역별 지형학적 특성을 그림 2에 나타내었다.

평창강 유역내에는 진부, 봉평, 청일, 수항, 대화, 방림, 청옥산, 평창, 운학, 안흥, 연덕, 수주, 신림, 제천의 14개 T/M 강우관측소가 운영중에 있다. 평창강 유역은 T/M 강우관측소가 비교적 많아 조밀한 Thiessen망을 구성할 수 있어 보다 정확한 자료 획득이 용이하며, 강우관측소의 경위도좌표를 UTM 좌표로 변환하여 수치 지형도상에서 티센망을 구성하였다. 그림 3에 강우관측소에 의해 구성된 Thiessen망과 표 1에 산정된 Thiessen 계수를 나타내었다.

2.2 자료

실시간 유출예측을 위해서 신경망 모형을 적용하였으며, 모형의 학습 및 예측을 위해서는 T/M 강우관측소의 시우량자료와 T/M 수위관측소의 시수위로부터 환산된 유량자료가 필요하다. 유출예측을 위해 연구에 사용된 수문자료는 한강홍수통제소와 수자원공사의 D/B로부터 수집되었으며, 유역내 14개 지점의 강우관측소 기록 자료는 Thiessen 가중법에 의해 면적평균 강우량으로 계산되었고, 판운과 영월1 T/M 수위관측

소의 수위기록 자료는 수위-유량관계 곡선식에 의해 유량으로 환산되었다. 미계측 지점인 수질자동측정망 지점은 판운과 영월1 수위관측소의 사이에 위치하고 있으며, 면적평균강우량을 계산하기 위하여 소유역 분할에 의해 계산된 유역면적을 이용하였다. 사용된 자료의 기간은 1997~2003년까지이며, 표 2에 판운, 영월1 수위관측소 지점과 수질자동측정망 지점의 수문자료 특성을 나타내었다.

신경망 모형과 유출량 산정 비교를 위해 WMS 모형을 적용하였으며, WMS 모형은 2002년의 3개의 호우사상을 중심으로 평창강 유역내 5개 수위관측소의 수위-유량 자료와 14개 강우관측소의 강우 자료를 이용하여 검증되었다.

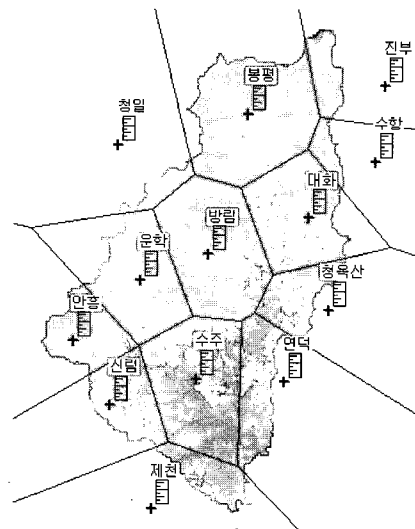


그림 3. Thiessen망 구성

표 1. 티센계수

강우관측소	수위관측소	상안미	방림	판운	주천	수질자동측정망 (미계측)	영월1
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

표 2. 수문자료 특성

구분	호우기간	미계측 지점		판운 지점			영월1 지점			비고
		HMP (mm)	THP (mm)	HMP (mm)	THP (mm)	HMD (cms)	HMP (mm)	THP (mm)	HMD (cms)	
1	1997.07.15 ~ 1997.07.22	6.8	72.6	10.7	94.3	453.42	6.5	71.1	1032.04	Training
2	1997.08.02 ~ 1997.08.12	18.4	168.5	18	161.7	788.5	19.0	169.7	1567.6	Training
3	1999.07.28 ~ 1999.08.13	21.1	316.3	25.1	296.9	2162.2	21.6	316.4	3822.4	Training
4	1999.09.18 ~ 1999.10.01	18.1	288.2	14.8	273.6	1318.5	17.9	284.6	2311.4	Training
5	2001.06.29 ~ 2001.07.06	18.8	112.4	16.8	111.2	387.3	19.3	113.9	621.7	Training
6	2002.04.29 ~ 2002.05.06	7.9	124.7	7.3	119.7	301.8	7.9	124.1	596.4	Validation
7	2002.08.05 ~ 2002.08.18	26.0	413.0	25.2	400.5	3794.76	25.8	418.5	4908.63	Validation
8	2002.08.31 ~ 2002.09.09	13.9	91.8	11.6	81.2	623.0	13.7	91.6	1088.9	Validation

HMP : Hourly Maximum Precipitation, THP : Total Hourly Precipitation, HMD : Hourly Maximum Discharge

3. 강우-유출 모형의 검정

유역의 DEM 자료를 이용하여 지형학적 특성을 분석하였으며, 유출량 산정이 요구되는 미계측지점과 수위 관측소가 위치한 계측지점들을 중심으로 소유역을 분할하고, SCS 방법을 이용하여 유출모의를 수행하였다. SCS 방법을 이용할 경우, 유효강우량을 산정하기 위하여 CN값의 추출과정이 요구되며, 토양도와 토지이용도가 주로 활용된다. 토양도를 이용하여 A, B, C, D의 4개 토양군으로 재분류하였으며, 토지피복도를 이용하여 유역의 토지이용 상태에 따라 도심지, 경작지, 산림고지, 초지, 나대지, 수역으로 구분하였다. 토양도 및 토지이용 상태를 WMS 모형으로부터 구분된 소유역에 적용하여 CN값을 산정하였다. 평창강 유역의 토양도 및 토지피복 현황을 그림 4에 나타내었으며, 소유역별로 적용된 수문정보를 표 3에 나타내었다.

유출 모의에 적용된 Case I(2002.04.29) 사상과 Case

III(2002.08.31) 사상은 첨두유량이 작고, 수문곡선이 단조로운 사상이다. Case II(2002.08.05) 사상은 첨두유량이 크고, 수문곡선의 변화가 큰 사상이다. WMS와 연계된 HEC-1 모형을 이용하여 평창강 지점에서 유출모의를 수행하였으며, 판운 지점과 영월1 지점에서의 모형 검정오차를 표 4와 5에 나타내었고, 모의 결과를 그림 5와 6에 나타내었다.

판운 지점에서 Case I 사상과 Case III 사상에 대한 모의결과, 첨두유량 퍼센트오차(PEP)가 각각 1.89%, 1.71%로 Case II 사상의 8.95%보다 작게 산정되었으며, 유출용적 퍼센트오차(PEV) 또한 각각 3.96%, 5.26%로 Case II 사상의 용적오차 26.85%보다 좋은 결과를 보였다. Case I 사상과 Case III 사상의 상관계수는 각각 0.994, 0.975, NRMSE는 각각 0.086, 0.190이었으며, Case II 사상의 상관계수는 0.967, NRMSE는 0.264로 분석되었다.

유출모형으로 선정된 HEC-1 모형은 단순호우사상에

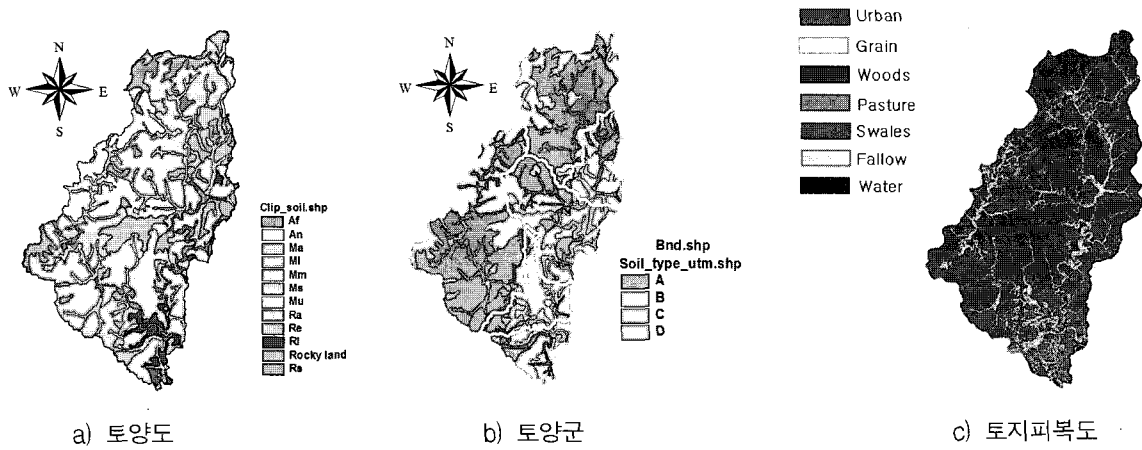


그림 4. 평창강 유역의 토양 및 토지피복 현황

표 3. 소유역별 수문정보 특성

호우사상	소유역	총강우량 (mm)	AMC	CN	초기손실 (mm)
Case I (2002.04.29)	상안미	121.1	I	54.2	42.9
	방림	119.1	I	65.5	26.7
	관운	119.7	I	64.5	28.0
	주천	127.5	I	53.9	43.4
	수질자동측정망(미계측 지점)	124.7	I	68.2	23.7
	영월1	124.1	I	64.2	28.4
Case II (2002.08.05)	상안미	381.1	II	73.8	18.0
	방림	394.5	II	81.9	11.2
	관운	400.5	II	81.2	11.8
	주천	410.3	II	73.6	18.2
	수질자동측정망(미계측 지점)	413.0	II	83.6	10.0
	영월1	418.5	II	81.0	11.9
Case III (2002.08.31)	상안미	86.0	II	73.8	18.0
	방림	84.5	II	81.9	11.2
	관운	81.2	II	81.2	11.8
	주천	101.7	II	73.6	18.2
	수질자동측정망(미계측 지점)	91.8	II	83.6	10.0
	영월1	91.6	II	81.0	11.9

적합한 모형으로 알려져 있다. 유량이 감소하는 수문곡선의 후반부에서 적절하지 못한 손실량의 계산은 또다른 강우로 인한 유량의 증가시 큰 오차를 유발하는 원인이 될 수 있다.

영월1 지점에서 Case I 사상과 Case III 사상에 대한 모의결과, 유출용적 퍼센트오차(PEV)가 각각 3.722%, 3.899%로 Case II 사상에 대한 모의 용적오차 5.054%보다 작게 산정되었으며, Case I 사상과 Case III 사상에서 실측치에 근사하고, 상관계수 또한 0.979~0.983으로 높았다. Case I 사상과 Case III 사상의 NRMSE 또

한, 각각 0.148, 0.153으로 Case II 사상에 대한 NRMSE 0.195보다 작은 것으로 나타났다. 그러나 첨두 유량 퍼센트오차(PEP)는 Case I 사상에서 0.484%로 작게 산정되었으나, Case III 사상에서는 3.852%로 Case II 사상에서의 1.811%보다 크게 모의되었다. 첨두 유량이 큰 Case II 사상의 경우, 관운 지점과 영월1 지점의 모의결과를 비교해 보면 유역면적이 큰 지점에서는 유량의 증감이 소유역보다 느리게 변화하므로 첨두 유량 및 수문곡선의 변화성이 상대적으로 정확히 분석된 것으로 판단된다.

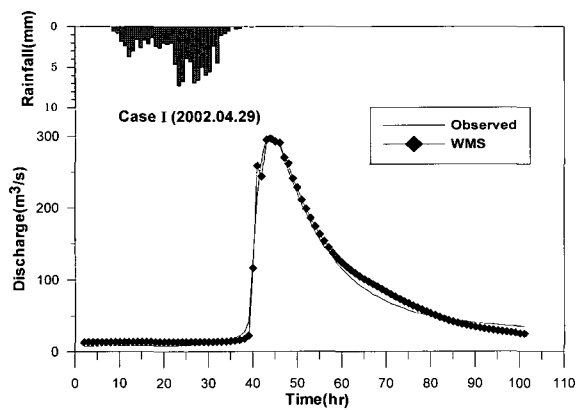
표 4. 판운 지점에서의 검정 결과 통계분석

호우사상	모형	Average (cms)	NRMSE	CC	PEV (%)	PEP (%)
Case I (2002.04.29)	Observed	70.299	-	-	-	-
	WMS	73.086	0.086	0.994	3.964	1.895
Case II (2002.08.05)	Observed	468.667	-	-	-	-
	WMS	393.845	0.264	0.967	26.850	8.950
Case III (2002.08.31)	Observed	125.444	-	-	-	-
	WMS	119.07	0.190	0.975	5.260	1.711

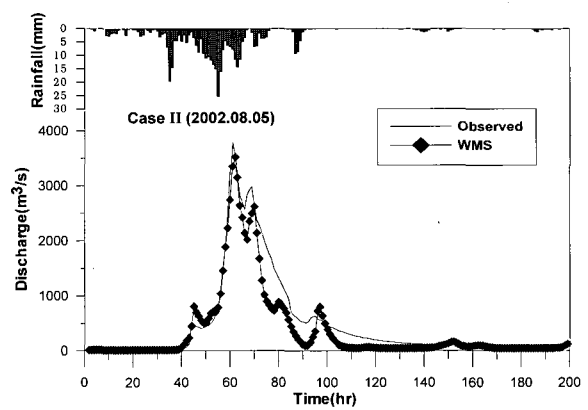
NRMSE : Normalized Root Mean Square Error, CC : Correlation Coefficient.
 PEV : Percent Error in Volume, PEP : Percent Error in Peak.

표 5. 영월1 지점에서의 검정 결과 통계분석

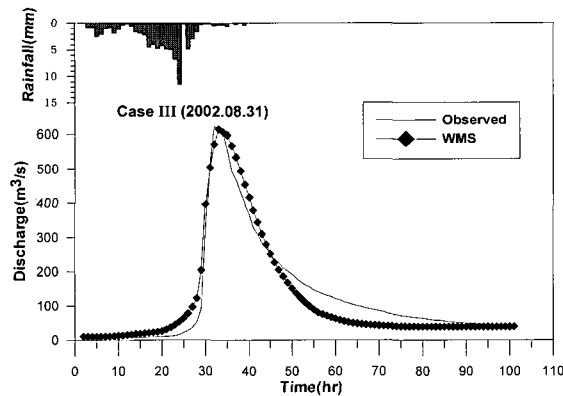
호우사상	모형	Average (cms)	NRMSE	CC	PEV (%)	PEP (%)
Case I (2002.04.29)	Observed	168.297	-	-	-	-
	WMS	162.033	0.148	0.979	3.722	0.484
Case II (2002.08.05)	Observed	696.651	-	-	-	-
	WMS	740.211	0.195	0.975	5.054	1.811
Case III (2002.08.31)	Observed	294.688	-	-	-	-
	WMS	309.251	0.153	0.983	3.899	3.852



a) Case I의 경우

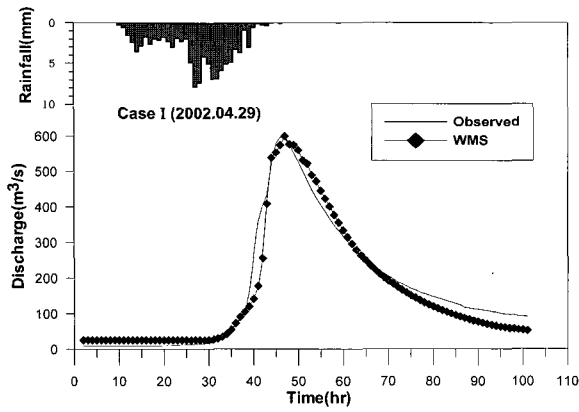


b) Case II의 경우

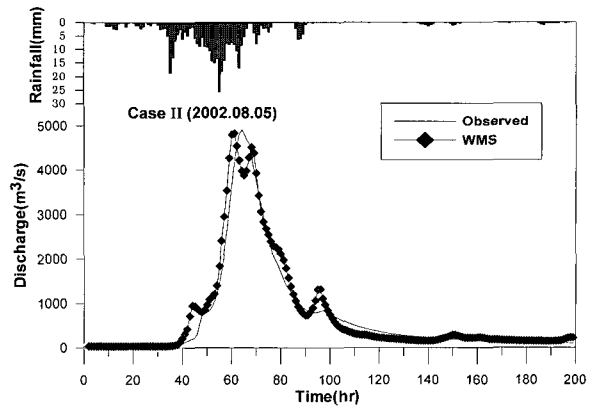


c) Case III의 경우

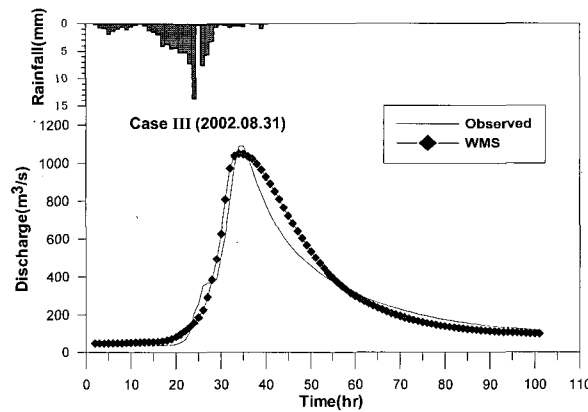
그림 5. 판운 지점에서의 WMS 모형의 검정 결과



a) Case I의 경우



b) Case II의 경우



c) Case III의 경우

그림 6. 영월1 지점에서의 WMS 모형의 검정 결과

4. 유출예측 신경망 모형의 검정

유출예측을 위해 안정적인 적용성을 갖는 것으로 알려진 모듈라 신경망 모형(MDNN)을 적용하였다. 일반적인 신경망 모형의 연결강도는 보통 모든 뉴런에 연결되어져 연산되나 모듈라 방법은 전체 네트워크를 부분적인 네트워크(sub-network)로 분류할 수 있다. 성질이 다른 입력변수를 구분하고 해당 은닉층에만 영향을 미치도록 구성되어 있어 입력 자료별로 나누어서 학습을 진행시키므로 학습 시간을 단축시킬 수 있을 뿐 아니라 정량적인 자료와 정성적인 자료의 특성을 살려 동시에 학습시킬 수 있다. 유출 예측에 적용한 모듈라 신경망 모형의 구조를 그림 7에 나타내었다.

실시간 수위기록이 이루어지지 않는 수질자동측정망 지점에서의 유출량을 계산하기 위하여 상하류의 유출 특성과 미계측 유역의 시간당 총강우량의 크기를 고려하였다. 시간당 총강우량은 시우량 자료로부터 산정된 면적평균강우량에 유역면적을 곱하여 계산하였으며, 임의유역에서 1시간 동안 강하한 강우의 체적으로 유역면적의 크기와 유출량의 관계를 학습하고자 하였다. 신

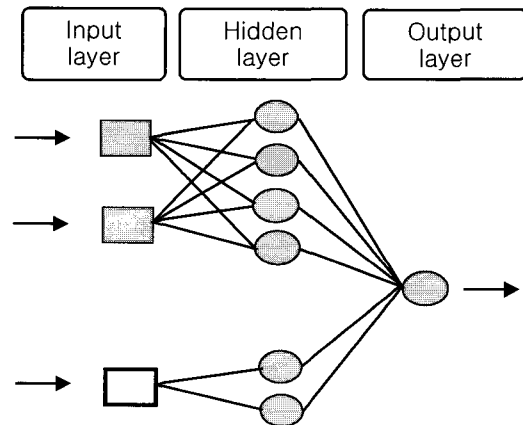


그림 7. 유출예측 신경망(MDNN)의 모형의 구조

경망 모형은 입력과 출력만을 고려하여 복잡한 유출해석 과정을 단순화할 수 있다고 판단되어 물리적인 모형에서 고려되는 손실량 및 기타 매개변수들은 고려하지 않았다.

평창강 수질자동측정망 지점은 영월1 T/M 수위관측소와 원거리이 있으므로 정확한 유량 산정이 실시간적으로 이루어질 수 없다. 미계측지점인 수질자동측정망

지점에서 취득할 수 있는 것은 T/M 강우관측소의 강우 기록이므로 강우량의 크기에 따른 유출예측이 이루어져야 한다. 따라서 수질자동측정망 지점으로부터 상류에 위치한 판운 지점에서의 유량(t), 하류에 위치한 영월1 지점에서의 유량(t), 수질자동측정망 지점의 총강우량(t)을 입력 자료로 하였으며 수질자동측정망 지점에서의 유량(t+1)을 출력하도록 구성하였다. 유출예측 신경망 모형의 입출력 구성을 표 6에 나타내었다.

구성된 유출예측 신경망 모형은 강우량의 총량과 유출량과의 관계를 해석하도록 학습되었다. 학습 사상은 1995년 7월 ~ 2001년 7월 중 판운과 영월1 수위관측 지점에서 산정된 각각 5개의 홍수유출 사상이다. 학습 오차 0.01을 기준으로 충분한 학습이 수행되었으며, 학습 결과를 그림 8에 나타내었다.

미계측지점인 수질자동측정망 지점은 유출량 자료가 없으므로 원하는 목표값인 유출량에 대한 학습을 할 수 없다. 따라서 유출량 자료가 존재하는 판운 지점의 총강우량을 입력으로 유출량을 학습하고, 또한 영월1 지점에서의 총강우량을 입력으로 유출량을 학습하도록 하였다. 유출량의 시간적 변화량을 학습하기 위해 예측시점(t+1)에서 한단계 이전(t)인 판운과 영월1 지점의 유량자료를 입력항에 추가하여 학습하였다.

5. 미계측 지점에서의 유출량 산정

미계측 지점인 수질자동측정망 지점에서 유출량을

산정하기 위해 추계학적 모형인 신경망 모형, 확정론적 모형인 WMS 모형 그리고 선형적 면적비유량(Specific Discharge; SD)을 적용하였다. 시계열 형태로 구성된 신경망 모형(MDNN)의 유출량 예측값은 WMS 모형과 면적비유량에 의해 계산된 동일 시점의 출력값과 비교되었다. WMS 모형에서는 SCS 방법을 이용하여 유출량을 산정하였으며, 면적비유량은 수질자동측정망 지점의 수계와 영월1 지점의 수계 면적비를 이용하였다. 신경망 모형에 의한 유출량 예측결과를 WMS 모형과 면적비유량의 계산 결과와 비교하여 그림 9에 나타내었다.

Case I(2002년 4월 29일) 사상에서는 첨두유량이 WMS 모형, 비유량, 신경망 모형 순으로 크게 산정되었으며, 유출용적 및 수문곡선의 변화성은 유사한 것으로 나타났다. Case II(2002년 8월 5일) 사상에서는 신경망 모형의 첨두유량이 비유량과 WMS 모형의 모의값에 비해 비교적 작게 산정되었으나, 유출용적은 유사한 것으로 분석되었다. Case III(2002년 8월 31일) 사상에서는 첨두유량이 모두 유사하였으나, WMS 모형에 의해 모의된 유출용적이 비교적 큰 것으로 나타났다. 신경망 모형의 유출량 예측값은 비유량과 WMS 모형의 모의값에 근사하였으며, 상관계수도 Case I 사상에서 0.98 이상, Case II 사상에서 0.97 이상, Case III 사상에서 0.97이상으로 분석되어 미계측 지점에서의 수문곡선의 변화성향을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

표 6. 신경망 모형의 입출력 구성

입력 1	입력 2	입력 3	출력
판운지점 유량(t)	영월1 지점 유량(t)	미계측 지점의 총강우량(t)	미계측 지점의 유량(t+1)

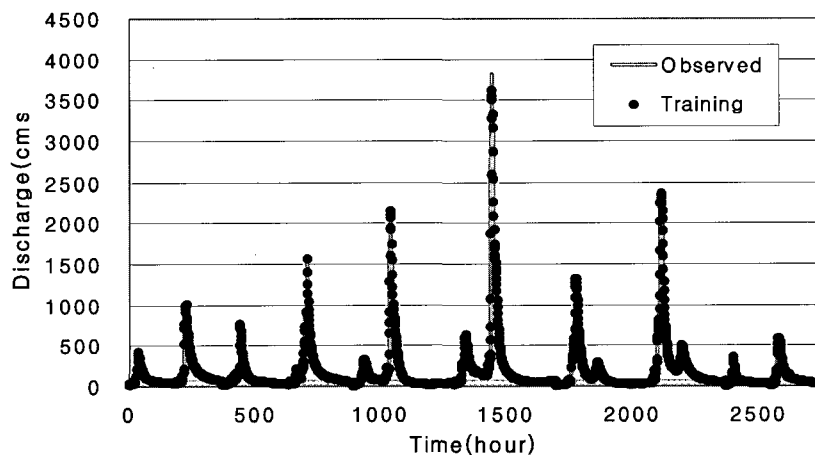
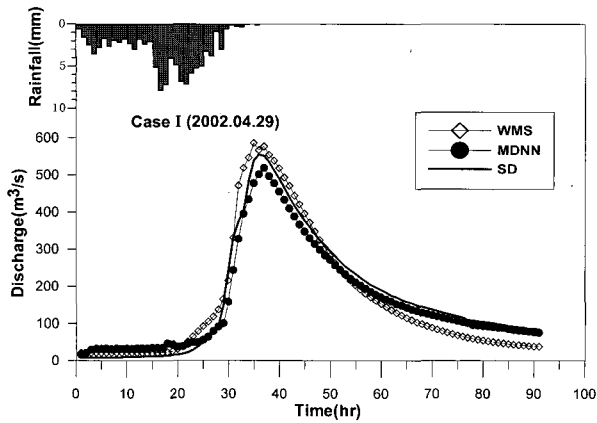
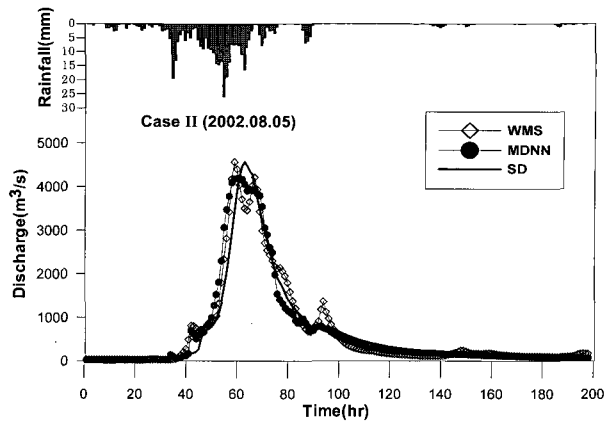


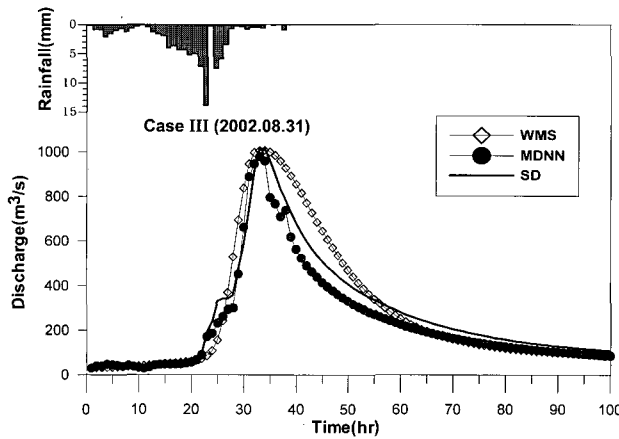
그림 8. 유출예측 신경망 모형의 학습결과



a) Case I의 경우



b) Case II의 경우



c) Case III의 경우

그림 9. 미계측 지점에서의 유출량 예측 결과

6. 결론

미계측 지점인 수질자동측정망 지점에 유출예측 신경망 모델을 적용하고, 적용성을 검토하기 위해 WMS 모형의 모의결과와 비교하였다. WMS 모형은 검정을 위해 적용된 판운과 영월1 수위관측지점에서 침투유량이 작고, 수문곡선이 단조로운 Case I과 Case III사상에 적합한 것으로 나타났다. 판운지점에서 Case I과 Case III사상의 NRMSE는 각각 0.086, 0.190 이었으며, Case II 사상의 NRMSE는 0.264 로 분석되었다. 영월1 지점에서는 Case I 사상과 Case III 사상의 NRMSE 또한, 각각 0.148, 0.153 으로 Case II 사상에 대한 NRMSE 0.195 보다 작은 것으로 분석되었다. 또한 침투유량이 큰 Case II 사상에서는 수문곡선의 변화가 비교적 완만한 영월1 수위관측지점에서 보다 정확한 침투유량과 유출용적을 산정하였다. 신경망 모형의 유출량 예측값은 비유량과 WMS 모형의 모의값에 근사하였으며, 상관계수도 0.97이상으로 분석되어 미계측 지점에서의 수문곡선 변화성향을 잘 반영하는 것으로 나타났다. 통계 및

추계학적 모형은 유량을 측정할 수 없는 미계측 지점에서 향후 실시간 유출예측 및 관리를 위해 적용 가능성이 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- 강관원, 박찬영, 김주환 (1992). "패턴인식방법을 적용한 하천유출의 비선형 예측." **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제25권, 제3호, pp. 105-113.
- 김경탁 (1998). "GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구." 박사학위논문, 인하대학교
- 김만식 (1998). "다목적 저수지의 홍수유입량 예측을 위한 신경회로망." 박사학위논문, 충북대학교
- 김성원 (2000). "하천유역에서 홍수유출량의 예측을 위

- 한 신경망기법의 적용.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제20권, 제6-B호, pp. 801-811.
- 신현석, 최종남, 박무중 (1998). “신경망을 이용한 비선형 강우 및 홍수 유출 실시간 예측 모형.” **대한토목학회 학술발표회논문집(III)**, 대한토목학회, pp. 185-188.
- 안상진, 김영호 (2003). “WMS를 이용한 강우-유출해석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제4B호, pp. 261-270.
- 안상진, 연인성, 김진국, 연규방 (2001). “실시간 유량 예측을 위한 신경망 구축.” **한국수자원학회 학술발표회 논문집(I)**, 한국수자원학회, pp. 110-115.
- 오경두, 전병호 (1994). “미계측 중소유역 유출 시뮬레이션을 위한 신경회로망 모형의 적용.” **제36회 수공학연구발표회논문집**, 한국수문학회, pp. 317-323.
- 조홍제, 김정식 (1997). “TIN을 이용한 SCS법에 의한 유효강우량 산정에 관한 연구.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제30권, 제4호, pp. 357-366.
- 함창학 (1996). 지리정보시스템을 이용한 수문지형정보 추출에 관한 기초적 연구. 박사학위논문, 충북대학교
- Berich, R.H. (1985). “A Micro-computer GIS for Water Resources Planning.” *Water Resource Engineering Conference*, ASCE, pp. 58-67.
- Karunanithi, N. (1994). “Neural Networks for River Flow Prediction.” *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 8, No.2, pp. 201-219.
- Shim, K.C. (1999). *Spatial Decision Support System for Integrated RiverBasin Flood Control*. Thesis, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.
- Smith, J. and Eli, R.N. (1995). “Neural-network Models of Rainfall-runoff Process.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 121, No. 6, pp. 499-508.
- Yu, Z., Lakhtakia, M.N., Yarnal, B., and White, R.A. (1999). “Simulating the River-basin Response to Atmospheric Forcing by Linking a Mesoscale Meteorological and Hydrologic Model System.” *Journal of Hydrology*, Vol. 218, pp. 72-91.
- Zhang, B. and Govindaraju, R.S. (1998). “Using Modular Neural Networks to Predict Watershed Runoff.” *Water Resource Engineering Conference*, ASCE, Vol. 1, pp. 897-902.

(논문번호:05-29/접수:2005.3.11/심사완료:2005.05.24)