

분포형 유출모형을 이용한 홍수유출해석

Flood Runoff Analysis using a Distributed Rainfall Runoff Model

조 홍 제* / 조 인 룰**

Cho, Hong Je / Cho, In Ryul

Abstract

This study is on the application of TOPMODEL (Topographic based hydrologic model) which is a distributed rainfall-runoff model to the flood runoff analysis. The test area was Wichun experimental catchment site which is mountainous mid-area (Dongok, 33.63 km² and Goro, 109.725 km²) and being operated by the Ministry of Construction and Transportation. A three-dimensional digital elevation model (DEM) map was constructed using a physiographic map (1/25,000) and the GIS software, Arc/Info, was used to the analysis of geographic factors. The topographic index of Dongok and Goro subcatchment was similar. As a results of the analysis, the model was validated that the simulated peak flow of a flood runoff was fit to the observed data. For the analysis of the effects of grid size, Dongok subcatchment was divided into 100, 120, 240 m grid and Goro subcatchment was divided into grid and 120, 200, 360 m grid. It was shown that the peak flow increased in proportion to the increases of the grid size, but peak times were constant regardless of the grid size in both of the watershed.

Keywords : TOPMODEL, Arc/Info, DEM, grid size, flood runoff

요 지

유역의 지형특성에 근거를 두고 유출기여면적의 변화를 고려한 분포형 모형인 TOPMODEL을 이용하여 홍수유출 해석에 대한 적용성을 연구하였다. 건설교통부에서 설치운영중인 위천대표시험유역의 소유역인 동곡 및 고로지점을 분석대상유역으로 선정하였으며, 1/25,000 지형도를 이용하여 수치고도지도를 작성하였고 지형인자분석은 지리정보 시스템 도구인 Arc/Info를 이용하였다. 두 소유역의 지형상수가 서로 비슷하였고 각 연도별 동일호우사상에 대한 모형배변수도 서로 유사한 특성을 나타내었다. TOPMODEL을 이용한 홍수유출에 대한 침투유량의 모의 결과는 관측치와 비교할 때 그 재현성이 매우 우수하였다. 격자의 크기별로 유역을 분할하고 그에 따른 침투유량과 발생시각의 변화를 동곡소유역은 100, 120, 240 m 고로유역은 120, 200, 360 m 격자로서 분석한 결과 두 유역 모두 격자 크기의 증가에 따라 침투유량은 증가하고 발생시각은 격자의 크기와 관계없이 일정한 것으로 나타났다.

핵심용어 : TOPMODEL, Arc/Info, DEM, 격자크기, 홍수유출

* 울산대학교 토목환경공학부 교수

** 울산대학교 토목환경공학부 대학원 졸업

1. 서 론

유역에서의 유출과정을 표현하는 대부분의 수문모형은 유역의 강우-유출 반응을 나타내는 수학적 모형이며, 이론적 모형과 개념적 모형 및 경험적 모형으로 구분된다. 개념적 수문모형은 물의 순환과정 중 과정변수의 공간적 변화의 고려여부에 따라 집중형 유출모형과 분포형 유출모형으로 분류된다. 집중형 유출모형은 유역을 동질의 배수역으로 보아 과정 변수의 공간적 변화가 없는 것으로 가정하므로 사용이 간편하여 홍수 유출해석 등에 널리 이용되고 있으나 정교함과 정확성이 떨어진다. 반면에 분포형 유출모형은 집중형 유출모형에 비하여 시·공간적인 변화를 효과적으로 고려할 수 있어 비교적 정확한 홍수유출해석을 할 수 있을 것으로 기대되나, 입력자료 구성의 어려움과 계산시간의 과다로 홍수예정보모형 등과 같은 실무적용에는 어려움이 있다. 최근에는 전산기기의 급속한 발전과 지리정보시스템 및 수치지도 등의 구축으로 분포형 유출모형에 필요한 이산형 입력자료의 구성이 매우 쉬워져 분포형 유출모형에 대한 연구 및 실무 적용방법 등이 활발하게 추진되고 있다.

Beven과 Kirkby(1979)에 의해서 제안된 TOPMODEL은 유역의 지형과 토양에 따른 포화층에서의 흐름과 유출기여면적으로 고려하여 유출계산을 하며, 이는 유역내 물의 거동을 물리적 현상에 근거를 두고 있다. Beven과 Wood(1983)는 TOPMODEL을 이용하여 하천유출에 대한 지형특성의 영향을 분석하였으며, Beven(1986), Sivapalan 등(1990)은 지형특성, 토양특성, 선행강수 등의 효과를 고려한 유효강우의 홍수빈도해석에 TOPMODEL을 적용하였다. Zhang과 Montgomery(1994)는 수치지도의 정도 및 분할된 격자의 크기에 따른 지형지표인자 및 침투유출량의 변화를 검토하였고, Wolock와 Curtis(1994)는 지도의 축척 및 해상도에 따른 침투유출량의 변화를 분석하였으며, Iorgulescu와 Jordan(1994)은 스위스 산지 소유역에서의 홍수유출해석에 TOPMODEL의 적용 가능성을 검토하였다. 그리고 Franchini 등(1996)은 TOPMODEL의 물리적 해석 및 이론 근거와 민감도를 면밀히 분석하였으며 Blazkova와 Beven(1997)은 관측자료가 적은 유역에 대해 추계학적 강우모형과 TOPMODEL을 이용한 홍수빈도해석을 실시하였고, Holko와 Lepistö(1997)는 TOPMODEL을 이용하여 산지유역에 대한 수문학적

유출특성을 모의한 바 있다.

국내에서는 한국수자원공사(1993)가 지리정보시스템인 GRASS와 Arc/Info를 이용하여 소양강 댐의 홍수유출모의에 적용한 바 있으며, 김현준(1995, 1996)은 강우예보의 시·공간적 특성을 고려한 홍수예보모형의 개발을 위해 기존 분포모형의 특성을 비교분석하고, 수치지형자료를 이용한 소유역 홍수유출 예측모형을 위한 Tool을 개발하였다. 그리고 김상현(1997), 조홍제 등(1997)은 TOPMODEL을 강우-유출해석에 적용한 바 있다.

홍수유출해석을 위한 모형개발은 홍수량 추정, 홍수예정보 시스템 구축 및 재해영향평가 등에 주로 사용된다. 분포형 유출모형을 이용한 홍수유출해석은 극히 제한적으로 소유역에 적용되고 있다. 이와 같은 관점에서 본 연구에서는 TOPMODEL을 이용한 홍수유출해석에 대한 적용성을 검토하고, 격자의 크기별로 유역을 분할하고 그에 따른 침투유량과 침투유량 발생시각의 변화에 대한 분석에 목적을 두었다.

2. TOPMODEL의 개요

TOPMODEL은 다음과 같은 세 가지의 기본 가정을 근거로 하여 구성된다(Blazkova 등, 1997).

- 1) 유역내 포화층의 거동은 연속적인 정상상태로 표현될 수 있다.
- 2) 유역내 포화층의 등수경사는 지표면 경사인 $\tan \beta$ 로 표현될 수 있다. 여기서 β 는 사면의 경사이다.
- 3) 투수량계수(transmissivity)는 지표면으로부터 지하수면까지의 거리에 지수함수적으로 감소한다.

이와 같은 세 가지 가정으로부터 유역내 지하수면의 공간적 분포상태(저류량 부족)를 결정짓는 가장 중요한 인자는 토양지형인자 $a/T_0 \tan \beta$ 임을 알 수 있다(식 (1)~(3) 참조). 여기서 a 는 등고선 단위길이당 사면의 면적, β 는 사면의 각, 그리고 T_0 는 흙이 포화되었을 때 횡방향의 투수량계수(m^2/hr)이다.

즉, 임의 지점에 대한 횡방향 유출(q_i)은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_i = T_0 \tan \beta e^{-s_i/l} \quad (1)$$

$$s_i = \bar{s} - f \left[\gamma - \ln \left(\frac{a}{T_0 \tan \beta} \right) \right] \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{1}{A} \sum \ln \frac{a}{T_0 \tan \beta} \quad (3)$$

여기서, \bar{s} 는 전유역에 대한 평균지하수위(저류부족량), S_s 는 국지적 저류부족량, f 는 모형의 매개변수(감소상수)이다.

식 (2)에서 \bar{s} 의 값이 주어질 때, 토양지형지표 $a/T_0 \tan \beta$ 또는 지형지표 $a/\tan \beta$ 가 공간적으로 일정하다고 가정하면 전유역에 대한 지하수위의 분포형태를 예측하는데 이용할 수 있다. 또한 토양지형지표 $a/T_0 \tan \beta$ 의 값이 동일한 모든 지점의 유출거동은 모두 유사한 것을 의미하며, $a/T_0 \tan \beta$ 의 값은 유역의 수문학적 상사성의 지표가 될 수 있다. $a/\tan \beta$ 의 공간적 분포는 수치지도 및 지리정보시스템 도구인 Arc/Info를 이용하여 수치지형모형(Digital Terrain Model)의 분석으로 쉽게 구할 수 있다.

3. 대상유역 및 관측자료

분석대상 유역으로 1983년부터 건설부에서 설치·운영하고 있는 낙동강의 위천 대표시험유역(그림 1)의 동곡 및 고로 소유역을 선정하였다. 위천 대표시험유역의 면적은 427.525 km², 유로연장은 42.83 km이다. 동곡지점은 유역면적 33.6 km²이고 유로연장 8.0 km이며, 고로지점은 유역면적 109.725 km²이고 유로연장 18.9 km이다.

분석대상 유역에 대한 등고분포도를 수치지도를 이용하여 작성하였으며 그림 2와 같다. 본 연구에서 홍수유출해석을 위해 사용된 관측자료는 국제수문개발계획(IHP)의 일환으로 이루어진 위천 대표시험유역의 동곡 및 고로관측 지점의 성과이며, 건설부(1983~

1994)와 건설교통부(1995~1996)의 IHP보고서에 수록된 시우량별 호우, 유출량 자료 및 중발산량 관측자료를 이용하였다. 이 자료들 중에서 침투유량의 발생시각이 호우중심전에 발생한 것으로 관측된 자료 등 합리성이 결여된 일부자료는 분석대상에서 제외하였다.

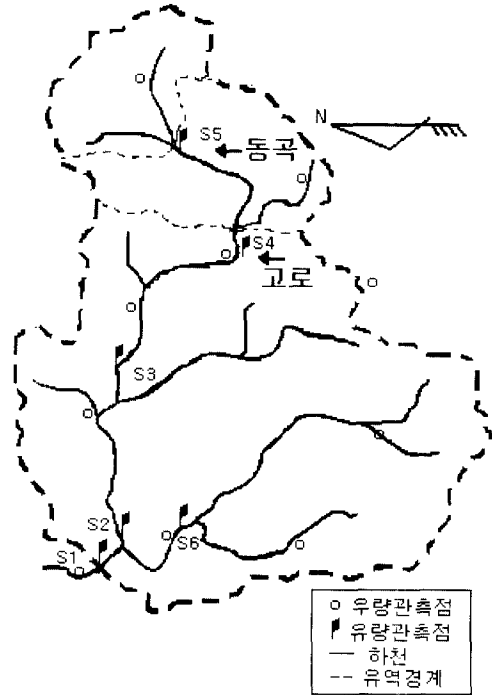


그림 1. 분석대상 유역도(위천 시험유역)



그림 2. 고로지점의 등고지도

4. 모형의 적용

4.1 지형지표인자 분석

TOPMODEL의 기본 이론식 (1)에서 논의한 바와 같이, 토양내 지하수의 거동은 지형상수 $a/\tan\beta$ 또는 토양지형인자 $a/T_0\tan\beta$ 의 값에 의해 모의될 수 있다. Zhang과 Montgomery(1994)에 따르면 지형상수나 토양지형인자 등은 수치지도의 해상도 및 격자의 크기 등에 따라 적용상의 해석결과에 다소 차이를 나타내며, 격자의 크기가 작을수록 적용성이 높은 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 분석한 동곡지점의 격자망 100, 120,

240 m에 대한 지형상수의 평균치 및 표준편차는 각각 7.49, 7.43, 8.35 및 2.81, 2.55, 2.10이었고, 고로지점의 지형상수에 대한 평균치 및 표준편차는 각각 7.33, 7.69, 7.59 및 2.66, 2.15, 1.20이었다. 위천유역내 소유역인 동곡지점(33.6 km²)과 고로지점(109.7 km²)에 대한 지형상수는 평균적으로 동곡지점의 지형상수가 고로지점에 비해서 조금 크게 나타났으며, 이것은 동곡지점이 고로지점 보다 위치상 상부에 자리잡고 있고 등고선간의 간격이 조밀할 결과에서 나오는 것으로 판단된다. 전술한 바와같이 유역에서의 토양내 지하수의 거동은 지형상수로 모의될 수 있다. 따라서 동곡 및 고로지점을 기준으로한 두 소유역의 지형상수 특성치가 서로 비슷하므로 두 지점에 대한 소유역의

표 1. 동곡지점 관측치 및 계산치의 비교

관측년	모의결과 및 오차 원인	침투유량			침투유량 발생시간			총유출량		
		관측치 (m ³ /hr/m ²)	계산치 (m ³ /hr/m ²)	오차 (%)	관측치 (hr)	계산치 (hr)	오차 (%)	관측치 (m ³ /hr/m ²)	계산치 (m ³ /hr/m ²)	비율* (%)
'83	9/ 3- 6	0.0007	0.0007	0.0	31	28	10.71	0.01243	0.01034	120.213
'84	4/18-19	0.0018	0.0018	0.0	12	25	52.00	0.05493	0.04846	113.351
	9/ 2- 5	0.0011	0.0113	0.0	15	18	16.67	0.19005	0.20250	93.852
'85	8/17-18	0.0077	0.0077	0.0	13	19	31.58	0.08286	0.08907	93.028
	9/18-20	0.0095	0.0095	0.0	21	31	32.25	0.11073	0.10460	105.860
'86	7/12-22	0.0019	0.0019	0.0	12	19	36.84	0.02265	0.02869	78.947
	9/19-22	0.0020	0.0020	0.0	45	46	2.17	0.07371	0.06748	109.232
'87	7/14-17	0.0052	0.0052	0.0	31	39	20.51	0.05070	0.05060	100.198
'88	7/13-16	0.0049	0.0045	8.9	9	25	64.00	0.09620	0.13490	71.312
'89	7/11-13	0.0011	0.0011	0.0	7	17	58.82	0.01895	0.02670	70.934
	8/21-24	0.0037	0.0037	0.0	31	33	6.06	0.05730	0.06539	87.628
'90	6/19-21	0.0016	0.0016	0.0	11	15	26.67	0.07089	0.06106	116.099
	6/24-25	0.0012	0.0012	0.0	37	40	7.50	0.04229	0.04035	104.808
	9/23-24	0.0028	0.0028	0.0	12	17	29.41	0.05618	0.05397	104.095
'91	7/17-20	0.0015	0.0015	0.0	20	30	33.33	0.03981	0.04442	89.622
	8/22-25	0.0046	0.0043	7.0	36	50	28.00	0.08983	0.09840	91.291
	9/26-29	0.0031	0.0031	0.0	29	40	27.50	0.05061	0.06116	82.750
'92	7/15-19	0.0033	0.0033	0.0	25	31	19.35	0.05859	0.06274	93.385
	8/11-14	0.0018	0.0018	0.0	35	40	12.50	0.02400	0.03180	75.472
	8/24-27	0.0041	0.0041	0.0	31	37	16.22	0.09734	0.09118	106.756
'93	6/27-30	0.0062	0.0062	0.0	31	33	6.06	0.07504	0.08168	91.871
	7/28-8/1	0.0025	0.0025	0.0	71	73	2.74	0.08879	0.09046	98.154
	9/16-18	0.0051	0.0051	0.0	19	19	10.53	0.05525	0.06276	88.034
'94	5/14-15	0.0005	0.0005	0.0	25	25	0.00	0.00793	0.00866	91.570
	6/18-19	0.0006	0.0006	0.0	21	20	5.00	0.00714	0.00736	97.011
'96	3/ 4- 5	0.0026	0.0026	0.0	19	26	26.92	0.03422	0.06128	55.842
	6/16-17	0.0062	0.0062	0.0	25	31	19.35	0.10925	0.18730	58.329
	6/24-26	0.0060	0.0060	0.0	31	37	16.22	0.10734	0.16570	67.780
	7/ 4- 5	0.0022	0.0022	0.0	18	20	10.0	0.05151	0.05267	97.798
	8/26-28	0.0041	0.0041	0.0	16	28	42.86	0.06506	0.09043	71.945

비율* : (관측치/계산치) × 100

수문응답특성 또한 서로 상사성이 있을 것으로 판단된다.

4.2 모형의 매개변수 결정

TOPMODEL은 전술한 바와 같이 토양내 지하수의 거동을 유역의 토양지형인자를 이용하여 모의함으로써 유역내 유출특성을 해석하는 모형이다. 지형상수는 소유역이나 사면에서의 응답특성을 결정하는 주요변수이며, 지형상수를 비롯하여 본 모형을 이용한 유역내에서의 물의 거동에 대한 모의에 영향을 주는 인자로서, 감소상수, 비포화구간내의 지체시간, 지하천 및 소유역 하도내의 유속, 식생뿌리 구간내의 물 보유능력 및 부족량 등이 있다.

따라서 주요변수를 중심으로 민감도 분석을 실시하여 홍수유출사상에 대한 각 변수의 최적화를 하였으며, 모의되는 전 수문곡선의 관측치에 대한 일치정보 보다는 침투유량과 도달시간을 비교하여 접근하는 방식을 택하였다.

민감도분석을 이용한 각 소유역에 대한 본 모형의 매개변수 최적화에 따르면 감소상수, 투수량계수 및 비포화구간내의 지체시간이 홍수유출해석에 비교적 큰 영향을 나타내었고 하도내의 유속, 식생뿌리 구간내의 물 보유능력 및 부족량은 거의 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다. 동곡 소유역의 TOPMODEL을 이용한 홍수유출모의에 있어서 감소상수는 0.005~0.04의 값을 보였고, 투수량계수는 -1.3~9.0의 값을 보였으며 비

표 2. 고로지점 관측치 및 계산치의 비교

모의결과 및 오차		침투유량			침투유량 발생시간			총유출량		
		관측치 (m ³ /hr/m ²)	계산치 (m ³ /hr/m ²)	오차 (%)	관측치 (hr)	계산치 (hr)	오차 (%)	관측치 (m ³ /hr/m ²)	계산치 (m ³ /hr/m ²)	비율* (%)
'84	4/18	0.0006	0.0006	0.00	26	26	0.00	0.00830	0.00754	110.080
'85	8/17-18	0.0118	0.0116	1.72	52	58	10.34	0.23560	0.25950	90.790
'86	7/21	0.0027	0.0027	0.00	13	13	0.00	0.04327	0.04539	95.329
	9/19	0.0037	0.0037	0.00	45	45	0.00	0.11137	0.08293	134.294
'87	7/14	0.0043	0.0044	2.27	33	38	0.00	0.08942	0.10430	85.733
'89	7/11	0.0012	0.0011	9.09	9	13	30.77	0.02255	0.03415	66.032
	8/21	0.0040	0.0039	2.56	29	30	3.33	0.06054	0.07472	81.022
'90	6/19-21	0.0019	0.0019	0.00	10	11	9.09	0.04389	0.04500	97.533
	6/24-25	0.0014	0.0015	6.67	38	38	0.00	0.02990	0.03086	96.889
	7/18-19	0.0024	0.0024	0.00	20	22	9.09	0.03640	0.01458	249.657
	9/10-12	0.0035	0.0035	0.00	46	48	4.17	0.03724	0.02095	177.757
	9/23-24	0.0029	0.0031	6.45	12	14	14.29	0.03460	0.03638	95.107
'91	7/17-20	0.0014	0.0014	0.00	20	25	20.00	0.03937	0.04571	86.130
	8/9-11	0.0011	0.0011	0.00	13	17	23.53	0.03075	0.04158	73.954
	8/22-25	0.0041	0.0041	0.00	35	45	22.22	0.08651	0.09662	89.536
	9/26-29	0.0030	0.0030	0.00	28	34	17.65	0.04821	0.06171	78.123
'92	7/12-14	0.0009	0.0009	0.00	28	31	9.68	0.02150	0.02391	89.921
	7/14-15	0.0039	0.0039	0.00	7	9	22.22	0.02670	0.03055	87.398
	7/15-19	0.0031	0.0031	0.00	42	43	2.33	0.06357	0.08157	77.933
	8/11-14	0.0018	0.0018	0.00	35	36	6.45	0.02720	0.03768	72.187
	8/24-27	0.0045	0.0045	0.00	30	33	3.70	0.13883	0.10720	129.506
'93	6/27-30	0.0058	0.0058	0.00	29	31	6.25	0.06784	0.08248	82.250
	7/28-8.1	0.0022	0.0022	0.00	26	27	2.78	0.08818	0.08711	101.228
	9/16-18	0.0023	0.0023	0.00	17	17	9.09	0.04709	0.05250	89.695
'94	6/18-19	0.0006	0.0006	0.00	30	23	8.70	0.00692	0.00678	102.045
	7/31-8/2	0.0002	0.0002	0.00	16	18	5.26	0.00234	0.00284	82.394
	8/28-30	0.0003	0.0003	0.00	20	23	11.11	0.00583	0.00741	78.677
'96	3/4-5	0.0648	0.0648	0.00	19	16	18.75	0.08417	0.06769	124.346
	6/16-19	0.0521	0.0521	0.00	25	25	0.00	0.09242	0.14010	65.967
	8/26-27	0.0347	0.0347	0.00	16	18	11.11	0.04306	0.05056	85.099

비율* : (관측치/계산치) × 100

포화구간내의 지체시간(hr)은 1.0~50 값을 나타내었다.

고로 소유역내에 있어서는 감소상수가 0.0068~0.0033의 값을 보였고 투수량계수는 0.0~11.0의 값을 나타내었으며 비포화구간내의 지체시간(hr)은 1.0~30의 값을 나타내었다.

4.3 홍수유출 모의 및 분석

전 절에서 결정한 각 홍수유출해석에 대한 매개변수를 이용하여 모의한 계산치와 관측치에 대한 비교를 표 1 및 표 2, 그리고 그림 3~그림 6에 나타내었다. 표 1에 나타낸 바와 같이 동곡지점에서의 첨두유량에 대한 모의 결과는 관측치와 거의 일치하는 것으로 나타났으나, 첨두유량 발생시각의 오차는 다소 큰 것으

로 나타났다. 그리고 모의된 홍수유출수문곡선의 총유출량도 관측치와 비교할 때 비교적 높은 일치성을 나타내었다. 즉 첨두유량에 대한 계산치와 관측치의 오차는 0.0~9.09%에 불과하며, 30개의 분석자료중 24개는 일치하였고 6개의 자료도 9% 이하로서 매우 좋은 결과를 나타내었다. 첨두유량 도달시각에 대한 계산치와 관측치의 오차는 0.0~30.8%의 오차를 보이지만 30개 분석자료중 17개의 자료가 10% 이하로서 비교적 좋은 결과를 나타내었다. 총유출량도 2개의 수문사상을 제외하고는 관측치에 대한 오차가 10~20% 정도였다.

그리고 표 2의 고로지점에서의 결과도 첨두유량에 대한 계산치와 관측치의 오차는 0.0~8.9%에 불과하며, 30개의 분석자료중 28개가 일치하고 2개의 자료

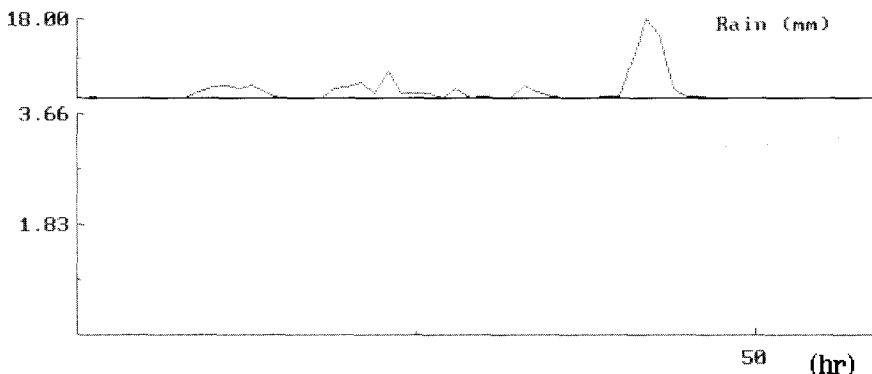


그림 3. 동곡지점 TOPMODEL 적용 결과(1986. 9. 19)

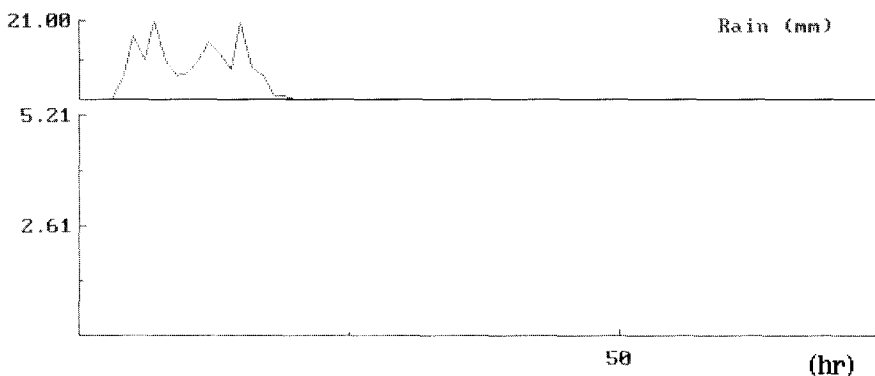


그림 4. 동곡지점 TOPMODEL 적용 결과(1996. 6.16-19)

또한 9% 이하로서 매우 좋은 결과를 보이고 있다. 또한 침투유량 도달시각에 대한 계산치와 관측치의 오차는 0.0~64.0%로서 비교적 큰 오차를 보이지만 30개의 분석자료중 10개의 자료가 11% 이하로서 상대적으로 동곡지점 보다는 떨어지나 비교적 좋은 결과를 보이는 것으로 나타났다. 총유출량도 2개의 수문사상을 제외하고는 관측치에 대한 오차가 10% 내외로서 비교적 높은 일치성을 보였다. 전반적으로 볼 때, 동곡지점과 고로지점에 적용된 TOPMODEL에서의 전수문곡선에 대한 재현정도는 다소 떨어지는 경향이 있지만, 침투유량은 관측치에 거의 일치하였다. 반면에 도달시간은 비교적 큰 오차를 발생하는 것으로 확인되었다.

5. 격자망 크기에 따른 모형의 검정

분석대상 유역을 다수의 격자망으로서 분할하는 경우 격자망의 크기에 따라 유역의 지형지표 및 강우-유출해석 결과가 달라지게 된다. 격자의 크기를 아주 작게 분할하는 경우 실유역의 지형특성을 비교적 정확하게 표현할 수 있겠으나 계산시간이 길어지고 시형분석에 필요한 작업효율이 떨어질 수 있다(Zhang과 Montgomery, 1994).

격자의 크기를 너무 크게 분할하는 경우에는 실유역의 지역특성을 단순화시키는 위험이 따른다. 특히 우리나라와 같이 산지지역이 유역을 대부분을 차지하고 있는 경우에는 적절한 크기의 격자를 선택하는 것이

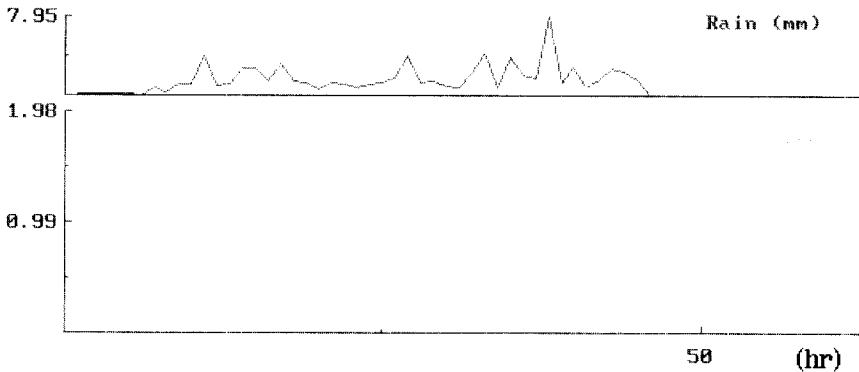


그림 5. 고로지점 TOPMODEL 적용 결과(1986. 9.19-22)

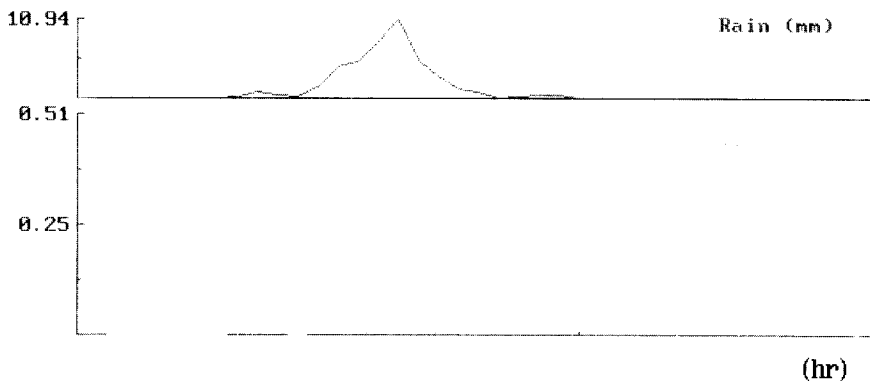


그림 6. 고로지점 TOPMODEL 적용 결과(1994. 5.14-15)

표 3. 격자크기별 침투유량 및 침투유량 발생시각의 계산치와 관측치(동곡)

격자망 유량자료		100 m		120 m		200 m		관측치	
		계산치		계산치		계산치			
		관측년	원 일	침투유량 (m ³ /hr/m ²)	발생시각 (hr)	침투유량 (m ³ /hr/m ²)	발생시각 (hr)	침투유량 (m ³ /hr/m ²)	발생시각 (hr)
'90	6/19-21	0.0019	11	0.0018	11	0.0040	11	0.0019	10
	7/18-19	0.0024	22	0.0025	22	0.0041	20	0.0024	20
	9/10-12	0.0035	48	0.0036	48	0.0128	47	0.0035	46
	9/23-24	0.0029	14	0.0031	14	0.0685	10	0.0029	12
'91	7/17-20	0.0014	25	0.0014	25	0.0019	25	0.0014	20
	8/9-11	0.0011	17	0.0012	17	0.0018	18	0.0011	13
	8/22-29	0.0041	45	0.0039	45	0.0041	45	0.0041	35
	9/26-29	0.0030	34	0.0031	34	0.0058	33	0.0030	28
'92	7/12-14	0.0009	31	0.0008	31	0.0009	31	0.0009	28
	7/14-15	0.0039	9	0.0043	9	0.0087	8	0.0039	7
	7/15-19	0.0031	43	0.0033	46	0.0054	41	0.0031	42
	8/11-14	0.0018	36	0.0018	36	0.0026	36	0.0018	35
	8/24-27	0.0045	33	0.0045	33	0.0045	33	0.0045	30
'93	6/27-30	0.0058	31	0.0058	31	0.0058	32	0.0058	29
	7/28-8.1	0.0022	27	0.0025	27	0.0025	27	0.0022	26
	9/16-28	0.0023	17	0.0034	17	0.0055	17	0.0023	17
'94	7/31-8.2	0.0002	18	0.0002	13	0.0002	13	0.0006	16
	8/28-30	0.0003	23	0.0003	19	0.0003	19	0.0002	20
'96	3/4-5	0.0648	16	0.0660	19	0.0791	15	0.0648	16
	6/16-19	0.0521	25	0.0534	25	0.0631	24	0.0521	25
	8/26-27	0.0347	18	0.0351	18	0.0415	8	0.0347	16

표 4. 격자크기별 침투유량 및 침투유량 발생시각의 계산치와 관측치(고로)

격자망 유량자료		120 m		200 m		360 m		관측치	
		계산치		계산치		계산치			
		관측년	원 일	침투유량 (m ³ /hr/m ²)	발생시각 (hr)	침투유량 (m ³ /hr/m ²)	발생시각 (hr)	침투유량 (m ³ /hr/m ²)	발생시각 (hr)
'90	6/19-21	0.0016	15	0.0016	15	0.0016	15	0.0016	11
	6/24-25	0.0012	40	0.0012	40	0.0012	40	0.0012	37
	9/23-24	0.0028	17	0.0028	17	0.0028	17	0.0028	12
'91	7/17-20	0.0015	30	0.0015	30	0.0016	29	0.0015	20
	8/22-25	0.0043	50	0.0047	49	0.0051	49	0.0046	36
	9/26-29	0.0031	40	0.0035	40	0.0037	40	0.0031	29
'92	7/15-19	0.0033	31	0.0034	31	0.0038	29	0.0033	25
	8/11-14	0.0018	37	0.0020	40	0.0021	40	0.0018	35
	8/24-27	0.0041	37	0.0056	36	0.0075	34	0.0041	31
'93	6/27-30	0.0062	33	0.0068	34	0.0096	33	0.0062	31
	7/28-8.1	0.0025	73	0.0026	74	0.0034	73	0.0025	71
	9/16-18	0.0051	19	0.0052	19	0.0075	19	0.0051	19
'94	5/14-15	0.0005	25	0.0005	25	0.0006	25	0.0005	25
	6/18-19	0.0006	20	0.0006	20	0.0013	19	0.0006	21
'96	3/4-5	0.0026	26	0.0027	26	0.0029	24	0.0026	19
	6/16-17	0.0062	31	0.0066	30	0.0072	29	0.0062	25
	7/4-5	0.0022	20	0.0022	20	0.0023	20	0.0022	18
	8/26-28	0.0041	28	0.0043	28	0.0047	28	0.0041	16

중요한 변수가 될 수 있다.

본 연구에서는 TOPMODEL의 적용상 한계 및 유역크기를 고려하여 동곡유역은 100, 120, 200 m의 격자망을, 고로유역은 120, 200, 360 m의 격자망을 선정하여 분석하였다. 관측자료는 1990년 이후의 자료를 적용하였으며, 그 결과는 표 3과 표 4에 나타내었다.

표 3 및 표 4에 따르면, 동곡유역은 100 m 격자를 기준으로 할 때 침투유량이 120 m 격자는 0.0~32.4%, 240 m 격자는 0.0~95.8% 등의 오차로서 대부분 크게 증가하는 것으로 나타났으나 침투유량 발생시각은 큰 변화가 없이 거의 일치하였다. 고로유역은 120 m 격자를 기준으로 할 때 200 m 격자는 0.0~26.8%까지 증가하였으나 대부분 5% 이하로서 큰 변화가 없는 것으로 나타났고, 360 m 격자는 0.0~53.9%까지 비교적 크게 증가하였다. 침투유량 발생시각은 동곡지점과 같이 큰 변화없이 거의 일치하는 것으로 나타났다.

이는 격자망의 크기에 따라 구릉 산지지역 등이 단 일사면으로 정의됨에 따라 식 (1)의 유역경사 $\tan \beta$ 및 감소상수 f 등이 크게 되는 효과에 기인한다. 이는 홍수유출에 대한 효과적인 모의를 위해서는 유역내의 지형특성 등이 최적화될 수 있도록 격자망의 크기가 적절히 결정되어야 함을 의미한다.

6. 결 론

건설교통부에서 관리하고 있는 위천 대표시험유역에 대해 물리적 분포모형인 TOPMODEL을 이용하여 홍수유출해석에 대한 적용가능성을 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 위천 시험유역내에 대한 수치고도지도를 작성하고 지리정보시스템(Arc/Info)을 이용하여 분포형 유출모형인 TOPMODEL에 의한 홍수유출해석 결과, 그 적용성이 매우 우수함을 확인하였다.

2) TOPMODEL에 의한 홍수유출해석 결과, 침투유량에 대한 재현성은 매우 뛰어났으며 침투유량의 도달시각은 다소 오차가 큰 것으로 나타났다.

3) 동곡유역과 고로유역의 지형상수가 거의 일치하였으며, 최적화에 의해 구한 각 연도별 모형매개변수도 유사하게 나타났다. 이는 지형상수 및 지형지표인자가 유역간 수문학적 유사성에 대한 판단기준이 될 수 있음을 나타낸다.

4) 격자의 크기에 따른 침투유량 및 침투유량의 발생시각이 다소 민감하게 반응하였으며, 이는 유역형상을 적절히 재현할 수 있는 범위 내에서 격자크기의 선정이 필요함을 나타낸다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1983-1994). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 건설교통부 (1995-1996). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 김상현 (1997). "인공배수유역에서의 TOPMODEL의 적용." 한국수자원학회논문집, 제30권 제5호, pp. 539-548
- 김현준 (1995, 1996). 강우예보의 시공간 특성을 고려한 홍수예보모형의 개발, 한국건설기술연구원 연구보고서.
- 조홍제, 조인륜, 김정식 (1997). "TOPMODEL을 이용한 강우-유출해석에 관한 연구." 한국수자원학회논문집, 제30권 제5호, pp. 515-526.
- 한국수자원공사 (1993). 지리정보시스템을 이용한 수자원 관리 및 계획에 관한 연구. pp. 1-180.
- Beven, K.J. and Kirkby, M.J. (1979). "A physically based variable contributing area model of basin hydrology." *Hydrol. Sci. Bull.*, Vol. 24, No. 1, pp. 43-69.
- Beven, K.J. and Wood, E.F. (1983). "Catchment geomorphology and the dynamics of runoff contributing areas." *J. Hydrol.*, Vol. 65, pp. 139-158.
- Beven, K.J. (1986). "Runoff production and flood frequency in catchments of order n." *An alternative approach, in scale problems in hydrology*, Edited by Gupta, V.K., Rodriguez-Iturbe, I. and Wood, E. F., D. Reidel, Norwell, Mass.
- Blazkova, S., Beven, K. (1997). "Flood frequency prediction for data limited catchments in the Czech Republic using a stochastic rainfall model and TOPMODEL." *Journal of Hydrology*, Vol. 195, pp. 256-278.
- Franchini, M., Wendling, J., Charles, O. and Ezio, T. (1996). "Physical interpretation

- and sensitivity analysis of the TOPMODEL.” *Journal of Hydrology*, Vol. 175, pp. 293-338.
- Holko, L. and Lepistö, A. (1997). “Modelling the hydrological behaviour of a mountain catchment using TOPMODEL.” *Journal of Hydrology*, Vol. 196, pp. 361-377.
- Iorgulescu, I. and Jordan, J.P. (1994). “Validation of TOPMODEL on a small Swiss catchment.” *J. Hydrol.*, Vol. 159, pp. 255-273.
- Sivapalan, M., Wood, E.F. and Beven, K.J. (1990). “On hydrologic similarity, 3. A dimensionless flood frequency model using a generalized geomorphologic unit hydrograph and partial area runoff generation.” *Water Resour. Res.*, Vol. 26, pp. 43-58.
- Wolock, D.M. and Curtis V.P. (1994). “Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model.” *Water Resources Research*, Vol. 30, no. 11, pp. 3041-3052.
- Zhang, W. and Montgomery, D.R. (1994). “Digital elevation model grid size, landscape representation and hydrologic simulations.” *Water Resour. Res.*, Vol. 30, pp. 1019-1028.

<최종본접수일 : 1998년 3월 3일>