

TOPMODEL 과 Muskingum 기법을 이용한 안성천유역의 홍수유출분석

Flood Runoff Analysis on the Anseong-cheon watershed using TOPMODEL and Muskingum method.

*권형중 · 김성준(건국대)

*Kwon, Hyung Joong · Kim, Seong Joon

Abstract

In this study, a topography based hydrologic model (TOPMODEL) was tested on the Anseong-cheon watershed. Pit in watershed was removed by liner trend surface interpolator. The DTM Analysis program is used to derived a distribution of $\ln(a/\tan\beta)$ values from DEM (Digital Elevation Model) using the MDF (Multiple Direction Flow) algorithm of Quinn et al (1995). Current TOPMODEL program limits are number of time step, $\ln(a/\tan\beta)$ increment, delay histogram ordinate and size of subcatchment pixel maps. Therefore, TOPMODEL is not suitable for application of large watershed. Muskingum method and watershed division enhance grid pixel resolution for rainfall-runoff simulation accuracy.

I. 서론

강우-유출모형은 해석방법에 따라 집중형 유출모형과 분포형 유출모형으로 구분할 수 있다. 집중형 유출모형의 유역전체의 공간특성을 균등한 것으로 가정하여 단순화 한 모형으로서 해석은 비교적 간단하지만 유역 전반에 분포하고 있는 지형, 토양 종류, 식생의 변화 등을 충분히 고려할 수 없다는 단점이 있다. 반면, 분포형 유출모형은 유역을 균일하게 볼 수 있는 소유역으로 구분하여 각 소유역마다 매개변수를 다르게 사용하는 모형으로서 유출과정을 물리적으로 해석하는 모형이다.

최근 집중호우로 인한 홍수피해와 자연생태의 파괴로 인하여 수자원개발, 자연하천보전 및 환경문제에 대한 인식이 증가함에 따라 유역에 대한 종합적인 관리를 위해서 유역의 공간적 분포 특성의 파악이 선행되어야 한다. 지리정보시스템을 이용하여 수치지도를 작성하는 경우 각 격자의 지형특성, 토지이용, 토양 종류 및 기타 특성에 관한 자료를 쉽게 처리할 수 있고, 물리적으로 의미 있는 매개변수의 공간적 변화를 고려할 수 있다.

이러한 관점에서, Beven과 Kirkby (1976, 1979)에 의해 개발된 TOPMODEL은 지형지표 $\ln(a/\tan\beta)$ 의 공간적 분포가 유역내 지하수위에 대한 깊이의 공간적 분포와 유사한 것으로 가정되어 있어 TOPMODEL의 적용을 위해서는 수치고도모형(DEM)과 같은 지형데이터로부터 지형지표의 공간적 분포나 빈도의 계산이 필요하다. 하지만 TOPMODEL의 경우, 유역을 균일한 격자로 분할할 때 행·열의 개수에 제한을 두고 있어 소규모 유역에 주로 적용되고 있으며 중규모 이상의 유역에 적용할 경우, 격자크기가 증가하게 되어 유역 특성의 공간적인 분포를 적절히 반영하지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 안성천 유역에 TOPMODEL을 적용하여 단일 강우사상에 대한 홍수유출을 분석하는데 있어서, 격자크기의 증가로 인한 유출해석의 부정확성을 보완하기 위하여 유역을 2개의 소유역으로 분할하여 격자크기를 감소시켜 유역 특성의 공간적인 분포를 적절히 반영하고, 각 소유역에서의 유출 분석 결과를 홍수추적기법인 Muskingum 기법을 이용하여 전체 유역 출구점에서의 유출을 추정하여 TOPMODEL을 이용한 중규모 유역에서의 유출해석에 대한 정확성을 검토하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 수치고도모형(Digital Elevation Model; DEM)

분석대상유역으로는 안성천 수계에 포함되어 있는 경기도 평택시 군문교에 설치·운영중인 평택 수위관측소를 유역출구로 하는 유역을 선정하였으며, 국립지리원에서 배포하는 1:5,000 수치지도를

이용하여 30m의 grid 망으로 구성된 수치고도모형을 작성하였다. 이를 TOPMODEL에 적용시키기 위해서 ARC/INFO를 이용하여 500m의 grid 망으로 재구성하였다.

2. 강우자료

유역평균강우자료 추출을 위하여 유역 인근의 강우관측소에 대하여 thissen 망을 작성 한 결과 8개의 강우관측소를 선정하였고, 매개변수 추출을 위한 모형의 적용을 위하여 5개의 강우사상(1997/6/30-7/8, 1998/7/9-7/14, 8/5-8/13, 1999/8/1-8/9, 9/17-9/24)의 시강우자료를 선정하였으며, 체 유역에서 추출된 매개변수와 2개의 소유역으로 분할하여 추출된 매개변수의 검증을 위하여 1999/9/29-10/3의 강우사상을 선정하였다.

3. 지형지표인자

TOPMODEL의 기본이론식에 의하여, 토양내 지하수의 거동은 지형상수 $a/\tan\beta$ 값에 의해 모의될 수 있다. 지형인자는 수치지도의 해상도 및 grid의 크기 등에 따라 적용상의 해석결과에 차이를 나타내며, grid의 크기가 작을수록 적용성이 높은 것으로 알려져 있다. 본 유역에서는 전체 유역(500m grid 격자)에서 추출된 지형인자와 2개의 소유역(각각 350m, 300m)에서 추출된 지형인자를 적용하였다.

4. 유역분할

TOPMODEL에서는 지형인자의 분포와 빈도를 추출하기 위하여 수치고도모형을 사용하는데 있어서 grid 격자의 행·열 개수를 100×100 으로 제한하고 있다. 본 논문에서는 모형의 적용시 정확성을 기하기 위하여 경기도 안성시 용교에 설치된 공도 관측소를 유역출구로 하여 2개의 소유역으로 분할하여 각각 300m, 350m로서 해상도가 향상되었다 (Fig. 1).

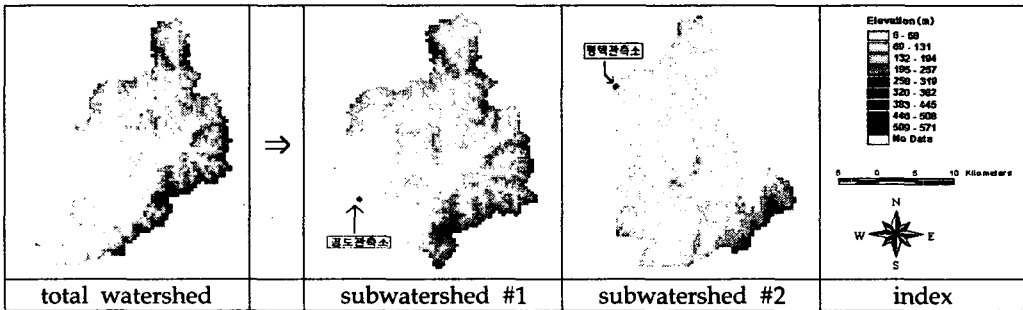


Fig. 1 Subwatershed division

III. 모형의 적용

1. 지형지표인자 추출

DEM을 이용한 지형지표인자의 공간적 분포를 계산하기 위한 알고리즘은 흐름 분할(flow apportioning) 방법에 따라 단일방향흐름(Single Flow Direction; SFD) 알고리즘과 다방향흐름(Multiple Flow Direction; MFD) 알고리즘으로 나누어진다.

SFD 알고리즘은 Jenson과 Dominique (1988)가 발표한 단일방향 흐름 추적법에 기초하는데, 대부분의 지형정보 시스템의 수문 해석 프로그램이 이 알고리즘을 적용하고 있으며 하나의 격자에서 이웃하는 격자들 중 가장 낮은 격자로 이동한다는 개념으로, 지형상 아주 경사가 급한 계곡이나 배수 지역 등에 적합하다. MFD 알고리즘은 Quinn 등 (1991)이 제안한 흐름 분산법에 근거하고 있으며, 한 격자에서 그보다 고도가 낮은 모든 방향으로 흐름이 형성된다는 개념으로, 본 연구에서는 환경사 지역이 대부분 분포되어 있는 안성천유역을 모의하기 위하여 MFD 알고리즘을 사용하였다.

DEM으로부터 지형인자를 추출하기 위해서는 유역 내에 존재하는 pit 부분을 모두 제거 한 후, MFD 알고리즘을 이용하여 지형지표인자를 추출하여야 한다. 본 연구에서는 유역내에 존재하는 pit 부분을 제거하기 위하여 유역전반에 분포되어 있는 모든 고도점을 고려하여 정수 값의 정보를 가지

는 grid 망을 간단한 일차 다항식으로서 소수 값을 가지는 grid 망으로 변환하여, 유역 전반의 고도를 상류로부터 유역 출구점까지 smoothing 하는 liner trend surface interpolation 기법을 이용하여 pit를 제거하였다.

500m의 격자크기의 유역전체 지형지표인자는 6.5~29.8의 값을 나타내었으며, 350m의 소유역 #1의 지형지표인자는 5.9~26.6, 300m의 소유역 #2의 지형지표인자는 5.9~27.4의 값을 나타내었다.

2. 모형의 매개변수 결정

지형인자를 비롯하여 본 모형을 이용한 유역내에서의 물의 거동에 대한 모의에 영향을 주는 인자는 감소상수(m), 투수량계수(To), 식생영역에서의 최대 저류고(SRmax), 식생영역에서의 초기 저류고(SRinit), 유역 하도내의 유속(ChVel)을 변수로 고려할 수 있다. 이러한 변수를 중심으로 5개의 강우-유출사상에 대한 각 변수의 최적화를 실시하였으며, 최적화는 각 변수의 민감도 분석을 이용하여 모의된 전 수문곡선의 관측치에 대한 재현정도(Beven, 1996)로서 결정하였으며, 여기서 재현정도는 계산에 의해 모의된 전 수문곡선의 관측치에 대한 일치정도를 의미한다. 각 강우-유출사상에 대하여 최적화된 매개변수로서 모의된 유출 결과에 대한 정확도는 Nash와 Sutcliffe (1970)의 효율계수에 의해 계산된 모델효율을 제시하였다 (Table 1).

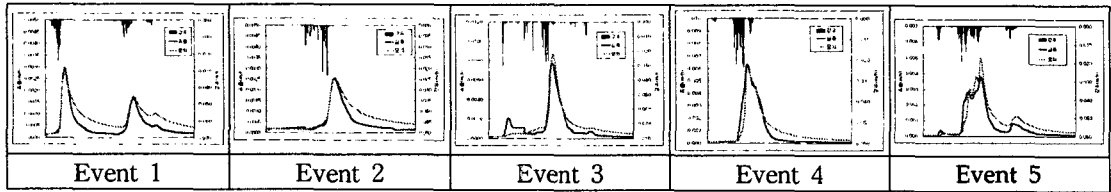


Fig. 2 Comparing simulated result with observed data

Table 1 Optimized parameter at each event

Event	Day	parameter					Eff.
		m	ln(To)	SRmax	SRinit	ChVel	
Event 1	1997/6/30-7/8	0.025	30	0.05	0.03	5500	0.77
Event 2	1998/7/9-7/14	0.017	40	0.05	0.05	4500	0.95
Event 3	1998/8/5-8/13	0.019	40	0.05	0.04	2000	0.91
Event 4	1999/8/1-8/9	0.025	30	0.05	0.06	2000	0.88
Event 5	1999/9/17-9/24	0.024	30	0.05	0.04	4000	0.72
Average		0.022	34	0.05	0.04	3600	

3. Muskingum 기법의 검토

모형의 검증용을 위하여 민감도 분석에 의한 최적화기법으로서 추출된 모형의 매개변수를 이용하여 1999/9/29-10/3의 강우사상에 대하여 모의하였다. 그 결과 모델효율이 53.2%이고, 실측강우 143.7mm, 실측 유출량 66.6mm에 대하여 모의 유출량이 84.7mm로 27.2%의 상대 오차를 나타내었다. 유역전반에 산재하여 있는 중소 규모의 농업용 저수지 및 하류부에 넓게 분포되어 있는 논이 전체 유역의 35% 이상을 차지하고, 농업용 저수지의 시기별 관개 유형과 경작 방식에 대한 불확실성이 존재하므로 정확한 유출해석이 이루어지지 못하였다. 또한 유역전체를 500m의 큰 격자크기로서 유출 해석을 수행하여 유역 전반에 분포되어 있는 공간적인 특성이 적절하게 반영되지 못한 것도 모델효율의 감소를 초래하는 이유라고 판단된다. 따라서 본 논문에서는 입력자료의 해상도를 향상시키기 위하여 상류부, 하류부의 2개의 소유역으로 분할하여 향상된 해상도로서 각각의 소유역에 대하여 민감도 분석을 통한 최적화된 매개변수를 추출하고 유출분석을 수행하였다 (Table 2).

Table 2 Optimized parameter at each subwatershed

Event	Subwatershed	parameter				ChVel	Eff.
		m	ln(To)	SRmax	SRinit		
1999/9/29-10/3	ws. #1	0.023	40	0.05	0.020	6000	0.71
	ws. #2	0.045	20	0.05	0.017	6500	0.59

상류부 소유역의 유역출구점에서 발생한 유출량이 하류부 소유역의 유역출구점에서 미치는 영향을 추정하기 위하여 홍수추적 기법인 muskingum 기법을 적용하여 전체 유역으로 모의한 유출량과 2개의 소유역으로 분할하여 모의한 유출량을 비교하였다 (Table 3). 이때 muskingum 계수는 $x=0.2$, $K=0.5$ 를 사용하였다.

Table 3 Runoff estimation by TOPMODEL and Muskingum method

	Runoff Discharge	Runoff rate	Relative error	Average rainfall
	(mm)	(%)	(%)	(mm)
Obs.	66.7	46.3		
Sim.	Total ws.	84.7	58.9	143.7
	2 sub ws.	77.1	53.7	15.8

그 결과 전체 유역을 500m의 균일한 격자 크기로서 TOPMODEL을 적용하여 분석한 유출 결과보다 두 개의 소유역으로 분할한 뒤 각각의 소유역을 TOPMODEL로서 유출분석을 하고 muskingum 기법을 이용하여 하류부의 유출을 분석한 결과의 정확도가 더 향상되는 것을 알 수 있었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 안성천 유역을 대상으로 TOPMODEL을 이용하여 유출분석을 수행하는데 있어 liner trend surface interpolation 기법을 사용함으로써 완경사 지대 및 평야부의 pit 부분을 효과적으로 제거하여 MFD 알고리즘을 이용하여 지형지표인자의 분포 및 빈도를 추출할 수 있었다. 중규모 이상의 유역에 TOPMODEL을 적용할 경우 발생하는 해상도의 문제를 언급하고, 그 해결방안으로서 전체유역을 다시 소유역으로 분할하여 해상도를 향상시켜 유역 전반에 분포되어있는 공간적 특성을 적절히 반영할 수 있었다. 각각의 소유역에서 발생하는 유출은 muskingum 기법을 적용하여 전체 유역에 대한 유출분석을 수행함으로써 정확도 면에서 향상된 유출결과를 분석하는 방법을 제시하였다.

본 연구는 2000 농림기술개발연구 사업의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

1. Beven, K. J., 1996, About TOPMODEL, TOPMODEL Workshop, Lancaster University, March 1996.
2. Beven, K. J. and Kirkby, M. J., 1976, Towards a simple physically-based variable contributing area model of catchment hydrology, Working Paper 154, School of Geography, University of Leeds.
3. Beven, K. J. and Kirkby, M. J., 1979, A physically based variable contributing area model of basin hydrology, Hydrol. Sci. Bull., vol. 24: 43-69.
4. Jensen, S. K. and Dominique, J. O., 1998, Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54: 1593-1600.
5. Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V., 1970, River flow forecasting through conceptual models. I. A discussion of principles, Journal of Hydrology, vol. 10: 282-290.
6. Quinn, P. F., Beven, K. J., Chevallier, P. and Planchon, O., 1991, The prediction of hillslope flowpaths for distributed modelling using digital terrain models, Hydrological Process, vol. 5: 59-80.