

TOPMODEL과 Muskingum 기법을 연계한 안성천 유역의 홍수유출 분석

권형중¹ · 김성준^{2*}

Flood Runoff Analysis using TOPMODEL Linked with Muskingum Method - Anseong-cheon Watershed -

Hyung-Joong KWON¹ · Seong-Joon KIM^{2*}

요 약

본 연구는 안성천 유역(581.7km²)을 대상으로 TOPMODEL 분포형 수문모형에 Muskingum 하도 추적기법을 연계하여 유출분석을 수행하였다. 유역의 하류에 분포하고 있는 평야부에 대해서는 linear trend surface interpolation 기법을 사용하여 상류에서 하류방향으로 DEM을 평활화하는 방법으로 평야부의 흐름방향을 부여하였다. TOPMODEL 적용시 지형지표인자의 분포 및 빈도를 추출하기 위하여 MFD(multiple flow direction) 알고리즘을 이용하였다. 중규모 이상의 유역을 대상으로 TOPMODEL을 적용할 경우 DEM의 해상도 저하가 모형의 결과에 영향을 미치게 되므로, 그 해결방안으로서 전체유역을 소유역으로 분할하여 DEM의 해상도를 유지시키고, 소유역간의 결과는 Muskingum 하도추적기법으로 전달되도록 하였다. 전체유역을 대상으로 500m 해상도로 TOPMODEL을 적용한 유출모의 결과 27.2%의 상대오차를 보인 반면, 유역을 2개의 소유역으로 나누어 300m 및 350m의 공간해상도로 TOPMODEL과 Muskingum 기법을 병행하여 적용한 결과 상대오차가 15.8%로 나타나, 모형의 효율이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

주요어: TOPMODEL, 지형지표인자, MFD, Muskingum 기법, DEM, 유출분석

ABSTRACT

In this study, TOPMODEL(TOPography based hydrologic MODEL) was tested linked with Muskingum river routing technique for 581.7 km² Anseong-cheon watershed. Linear trend surface interpolation was used to give flow direction for flat areas located in downstream watershed. MDF (multiple flow direction) algorithm was adopted to derive the distribution of $\ln(a/\tan\beta)$ values of the model. Because the coarser DEM resolution, the greater information loss, the watershed was divided into subwatersheds to keep DEM resolution, and the simulation result of the upstream watershed was transferred to downstream watershed by Muskingum techniques. Relative error of the simulated result

2003년 1월 8일 접수 Received on January 8, 2003 / 2003년 3월 20일 심사완료 Accepted on March 20, 2003

¹ 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과 Department of Rural Engineering, Graduate School, Konkuk University

² 건국대학교 지역건설환경공학과 Department of Rural Engineering, Konkuk University

* 연락처 E-mail: kimsj@konkuk.ac.kr

by 500 m DEM resolution showed 27.2 %. On the other hand, the relative error of the simulated result of 300 m DEM resolution by linked 2 subwatersheds with Muskingum method showed 15.8 %.

KEYWORDS: TOPMODEL, Topographic Index, MFD, Muskingum Method, DEM, Runoff Analysis

서 론

강우-유출모형은 해석방법에 따라 집중형 유출모형과 분포형 유출모형으로 구분할 수 있다. 집중형 유출모형은 유역전체의 공간특성을 균등한 것으로 가정하여 단순화한 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 유출 과정을 물리적으로 해석하는 모형이다.

최근 집중호우에 의한 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 격

자크기가 증가하게 되어 유역 특성의 공간적인 분포를 적절히 반영하지 못하는 단점이 있다.

TOPMODEL과 관련된 국내 연구로는 지형정보시스템인 GRASS와 ARC/INFO를 이용한 소양강 댐의 홍수유출 모의(한국수자원공사, 1993), 강우예보의 시공간 특성을 고려한 홍수예보모형의 개발(김현준, 1995, 1996), 지형정보시스템 상에서의 지형지수 산정에 관한 연구(김상현과 한건연, 1996), 인공배수유역에서의 TOPMODEL 적용에 관한 연구(김상현, 1997, 1998), 국제수문개발계획 유역의 강우-유출해석에 관한 연구(조홍제 등, 1997; 조홍제와 조인률, 1998), 개선된 지형지수 산정 알고리즘의 적용에 관한 연구(김상현과 이지영, 1999), TOPMODEL의 단일유역 홍수예보능에 관한 연구(배덕효 등, 2000) 등이 있다.

본 연구에서는 안성천 유역에 TOPMODEL을 적용하여 단일 강우사상에 대한 홍수유출을 분석함에 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 홍수추적 기법인 Muskingum 기법을 이용하여 전체 유역 출구점에서의 유출을 추정하여 TOPMODEL을 이용한 중규모 유역에서의 유출해석에 대한 정확성을 검토하였다.

또한 안성천 유역의 하류부에 분포하고 있는 일정한 고도의 평야부에 상류로부터 하류 방향으로 원시자료의 변형을 최소화하면서 경사를 부여하고, 유역 전반에 분포하고 있는 pit 부분을 제거하는 등 지형지표를 추출하기 위하여 NGIS 수치지도로부터 추출한 DEM을 가공하는 방법을 제시하였다.

모형의 기본이론

본 연구에 적용한 TOPMODEL은 다음과 같은 세가지 기본 가정에 근거하여 복잡한 수문 과정을 간단하게 개념화한 함수에 기반하고 있다. 첫째, 유역 내에서 물의 움직임은 정상상태로 가정된다. 이 가정은 지형지수 즉, $\ln(a/\tan\beta)$ 로 토양의 포화정도를 나타낼 수 있음을 의미한다. 둘째, 유역 내에서 지하수면의 동수경사는 지표면 경사와 같다. 즉, 지표표고 경사 $\tan\beta$ 로 지하수면의 동수경사의 표현이 가능하다. 셋째, 수리학적 전도도가 지표면으로부터 지수함수적으로 감소한다는 가정이다. 이 가정은 대상유역의 토양구조에 따라 달리 적용될 수 있음이 제안된 바 있다(Ambroise 등, 1996). 세번째 가정을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$K_s(z) = K_0 \exp(-fz) \tag{1}$$

여기서, K_0 는 지표면에서의 수리학적 전도도, f 는 감소계수, z 는 지표에서 포화지점까지의 깊이이다. 또한 두번째 가정에 의해 Darcy 법칙을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_i = T_i(z_i) \tan\beta_i \tag{2}$$

여기서, T_i 는 i 지점에서의 포화투수계수, β_i 는 i 지점에서의 사면경사도, q_i 는 i 지점에서의 횡방향 유출이다. 그리고 첫번째 가정에 의해 위의 두 식은 다음과 같이 표현된다.

$$a_i R = T_0 \tan\beta_i \exp(-fz_i) \tag{3}$$

여기서, R 은 포화층으로의 유입이다. 위 식으로부터 다음과 같은 TOPMODEL의 지배방정식이 유도된다(Franchini 등, 1996).

$$z_i = \bar{z} + \frac{1}{f} [\lambda - \ln(\frac{a_i}{\tan\beta_i})] + \frac{1}{f} [\ln T_0 - \ln T_a] \tag{4}$$

위 식에서 유역의 평균지하수면과 유역 내 임의 지점에서의 지하수면의 파는 지형지수의 평균값 λ 와 임의 지점값 $\ln(\frac{a_i}{\tan\beta_i})$ 의 차와 전달계수(transmissivity)의 평균값 T_a 와 임의 지점값의 차이로 표현됨을 알 수 있다. 그러나 유역 내에서 전달계수가 일정하다고 가정하면 위 식은 다음과 같이 간략하게 표현된다.

$$z_i = \bar{z} + \frac{1}{f} [\lambda - \ln(\frac{a_i}{\tan\beta_i})] \tag{5}$$

z_i 값으로부터 i 지점에서의 포화지점까지의 깊이를 예측할 수 있다.

Muskingum 기법은 미국 육군 공병단 산하의 Muskingum Conservancy District의 홍수 조절계획의 수립을 위해 제안된 방법으로, 추적구간 상류단의 유입 수문곡선으로부터 하류단의 유출 수문곡선을 축차적으로 계산하는 방법이다.

본 연구에서는 전체유역에 TOPMODEL을 적용하여 모의된 유출량과 전체 유역을 2개의 소유역으로 분할하여 공간 해상도를 향상시켜 TOPMODEL과 muskingum 기법을 병합하여 모의된 유출량을 비교하였다. 전체적인 모의 흐름도는 다음과 같다 (그림 1).

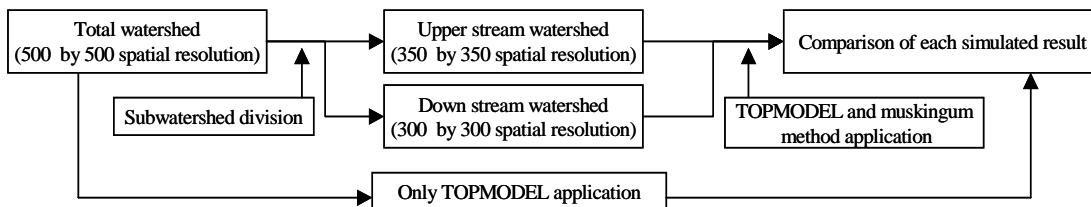


FIGURE 1. Flowchart of this study

자료 및 방법

1. 수치고도모형

대상유역으로는 안성천 수계에 포함되어 있는 경기도 평택시 군문교에 설치·운영중인 평택수위관측소를 유역출구로 하는 581.7km²의 유역을 선정하였으며, 국립지리원이 배포하는 1:5,000 수치지도로부터 등고선 표고점 레이어를 추출하고, ARC/INFO의 TIN 및 LATTICE 과정을 통하여 30m의 그리드망으로 구성된 수치고도모형을 작성하였다. 이를 TOPMODEL에 적용시키기 위해서 500m의 그리드망으로 재구성하였다.

2. 강우자료

유역 평균강우자료 추출을 위하여 유역 인근의 강우관측소에 대하여 그림 2와 같이 Thiessen망을 작성한 결과 8개의 강우관측소(원삼, 이동, 양성, 안성, 평택, 성환, 성거, 서운관측소)를 선정하였고, 매개변수 추출을 위한 모형의 적용을 위하여 5개의 강우사상(1997/6/30-7/8, 1998/7/9-7/14, 1998/8/5-8/13, 1999/8/1-8/9, 1999/9/17-9/24)의 시강우자료를 선정하였으며, 전체 유역에서 추출된 매개변수와 2개의 소유역으로 분할하여 추출된 매개변수의 검증을 위하여 1999/9/29-10/3의 강우사상을 선정하였다.

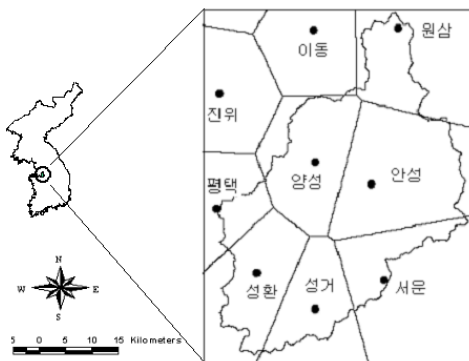


FIGURE 2. Thiessen network

3. 지형지표인자

TOPMODEL에서 중요한 역할을 하는 지형인자는 Kirkby(1975)에 의해 최초로 제안되었으며, 완전한 수문학적 모형으로는 Beven과 Kirkby(1976; 1979)에 의해 개발되었다. TOPMODEL의 기본 이론식에 의하여 토양 내 지하수의 거동은 지형상수 $a/\tan\beta$ 값에 의해 모의될 수 있다. 여기서, a 는 등고선 길이 당 상부사면 누가면적, $\tan\beta$ 는 지표면 경사를 나타낸다. 지형인자는 수치지도의 해상도 및 그리드의 크기 등에 따라 적용상의 해석결과에 차이를 나타내며, 그리드의 크기가 작을수록 적용성이 높은 것으로 알려져 있다. 본 유역에서는 전체 유역(500m 그리드)에서 추출된 지형인자와 2개의 소유역(각각 350m와 300m 그리드)에서 추출된 지형인자를 적용하였다.

4. 유역분할

TOPMODEL에서는 지형인자의 분포와 빈도를 추출하기 위하여 수치고도모형을 사용할 경우 그리드의 행×열 개수를 100×100으로 제한하고 있다. 본 연구에서는 모형 적용의 정확성을 위하여 평택수위관측소를 유역출구로 하는 전체유역을 공도수위관측소를 유역출구로 하여 2개의 소유역으로 분할하였으며, 각각의 소유역에 대한 공간해상도는 350m와 300m로 향상되었다(그림 3).

평택수위관측소는 경기도 평택시 군문교에 위치하고 있으며, 해발표고 4.1 m로서 1929년 1월에 관측을 시작하여 현재까지 건설교통부에서 운용중에 있다. 관측개시 당시에는 보통수위계로 운용되다가 1983년 3월에 TM 자기수위계로 변동되었다. 공도수위관측소는 경기도 안성시 용교에 위치하고 있으며, 1996년 TM 자기수위계로 관측을 시작하였다.

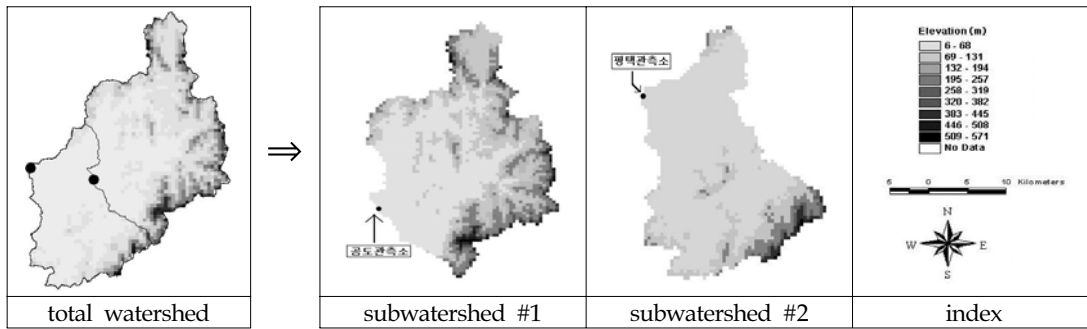


FIGURE 3. Subwatershed division

모형의 적용

1. DEM 생성 및 가공

DEM을 생성하는 방법은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 NGIS 1:5,000 수치지도의 등고선 및 표고점을 추출한 후, ARC/INFO 소프트웨어를 이용하여 그림 4와 같은 과정을 통하여 안성천 유역의 DEM을 생성하였다.

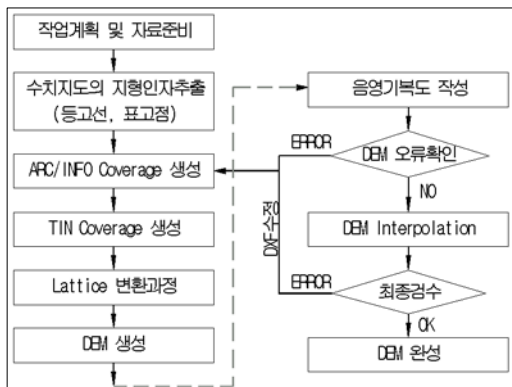


FIGURE 4. Process of DEM creation

DEM으로부터 지형인자를 추출하기 위해서는 유역 내에 존재하는 pit 부분을 모두 제거하고, 고도가 일정한 평야부에 유역의 상류로부터 하류방향으로 경사를 부여하여야 한다. 유역 내의 pit 부분은 이웃하는 8개의 격자 값이 pit를 포함하는 격자 값보다 큰 경우로서, 흐름방향을 분석할 때 오류를 초래하므로 반

드시 제거되어야 하는 부분이다. 본 연구에서는 유역 내에 존재하는 pit 부분을 제거하기 위하여 ARC/INFO 소프트웨어의 GRID 모듈의 Fill 기법을 이용하였는데, 이 기법은 pit를 포함하는 격자 값을 이웃하는 8개의 격자 값 중 가장 작은 값으로 부여하는 방법으로 Tarboton 등 (1991)에 의해 제안되었다.

안성천 유역의 하류부에 존재하는 일정한 고도의 평야부에 경사를 부여하기 위하여 IDRISI32의 Trend 기법을 이용하였다. 이 기법은 유역전반에 분포되어 있는 모든 고도점을 고려하여 정수 값의 정보를 가지는 그리드 망을 간단한 일차 다항식에 의해 소수 값을 가지는 그리드 망으로 변환하는 기법이다. 유역 전반의 고도를 상류로부터 유역 출구점까지 평활화하는 liner trend surface interpolation 기법으로서 하류부에 분포하는 일정한 고도의 평야부에 경사를 부여하였다. 이러한 방법을 통하여 생성된 안성천 유역의 30m 격자크기의 DEM을 TOPMODEL 적용을 위한 500m의 DEM으로 재구성하였다 (그림 5).

2. 지형지표인자 추출

TOPMODEL의 기본 이론식에서 논의한 바와 같이 토양내 지하수의 거동은 지형지수 $a/\tan\beta$ 에 의해 모의될 수 있다. DEM을 이용한 지형지표인자의 공간적 분포를 계산하기 위한 알고리즘은 흐름분할(flow apportioning)

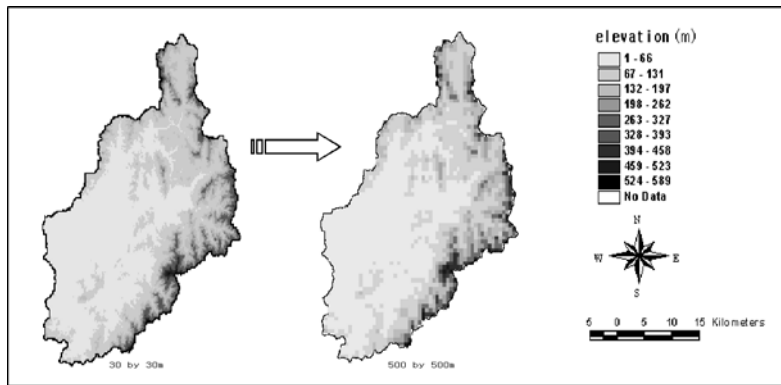


FIGURE 5. DEM

방법에 따라 단방향 흐름(single flow direction; SFD) 알고리즘과 다방향 흐름(multiple flow direction; MFD) 알고리즘으로 나누어진다.

SFD 알고리즘은 Jenson과 Dominique(1988)가 발표한 단일방향 흐름 추적법에 기초하는데 대부분의 지형정보시스템의 수문해석 프로그램이 이 알고리즘을 적용하고 있으며, 하나의 격자에서 이웃하는 격자들 중 가장 낮은 격자로 이동한다는 개념으로 지형상 아주 경사가 급한 계곡이나 배수지역 등에 적합하다. MFD 알고리즘은 Quinn 등(1991)이 제안한 흐름 분산법에 근거하고 있으며, 한 격자에서 그보다 고도가 낮은 모든 방향으로 흐름이 형성된다는 개념이다. 앞선 연구를 통해 다방향 흐름 알고리즘이 실제 토양수분함량을 잘 반영하나 유출모의에 있어서는 두 알고리즘이 거의 유사한 결과를 나타내는 것으로 연구된 바 있다(Wolock과 McCabe, 1995).

본 연구에서는 완경사 지역이 널리 분포되어 있는 안성천 유역을 모의하기 위하여 MFD 알고리즘을 사용하여 지형지표인자를 추출한 결과 격자크기 500m인 격자크기의 유역전체의 지형지표인자는 6.5~29.8의 값을 나타내었고, 350m인 소유역 #1의 지형지표인자는 5.9~26.6, 300m인 소유역 #2의 지형지표인자는 5.9~27.4의 값을 나타내었다.

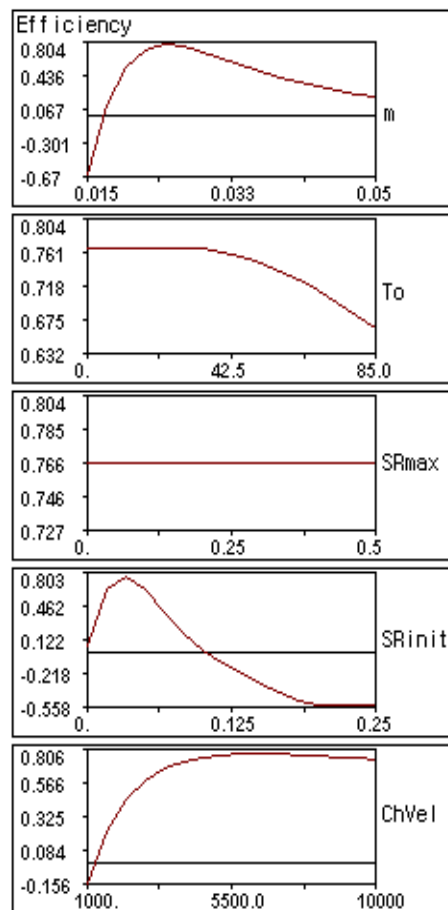


FIGURE 6. Sensitivity analysis (event 1)

3. 모형의 매개변수 결정

지형인자를 비롯하여 본 모형을 이용한 유역 내에서의 물의 거동에 대한 모의에 영향을 주는 인자는 감소상수(m), 투수량계수(T_0), 식생영역에서의 최대 저류고(SRmax), 식생영역에서의 초기 저류고(SRinit), 유역 하도내의 유속(ChVel)을 고려할 수 있다. Beven (1996)은 TOPMODEL의 적용시 유출에 영향을 주는

주요 인자는 감소상수, 투수량계수, 하도내의 유속 및 식생영역에서의 최대 및 초기 저류고를 제안하였으며, 본 연구에서도 확인되었다. 민감도 분석에 따른 매개변수 결정과정에 대한 예를 그림 6에 나타내었다.

이러한 변수를 중심으로 5개의 강우-유출 사상에 대한 각 매개변수의 최적화를 실시하였다. 최적화는 각 변수의 민감도 분석을 이용하여 모의된 전 수문곡선의 관측치에 대한 재

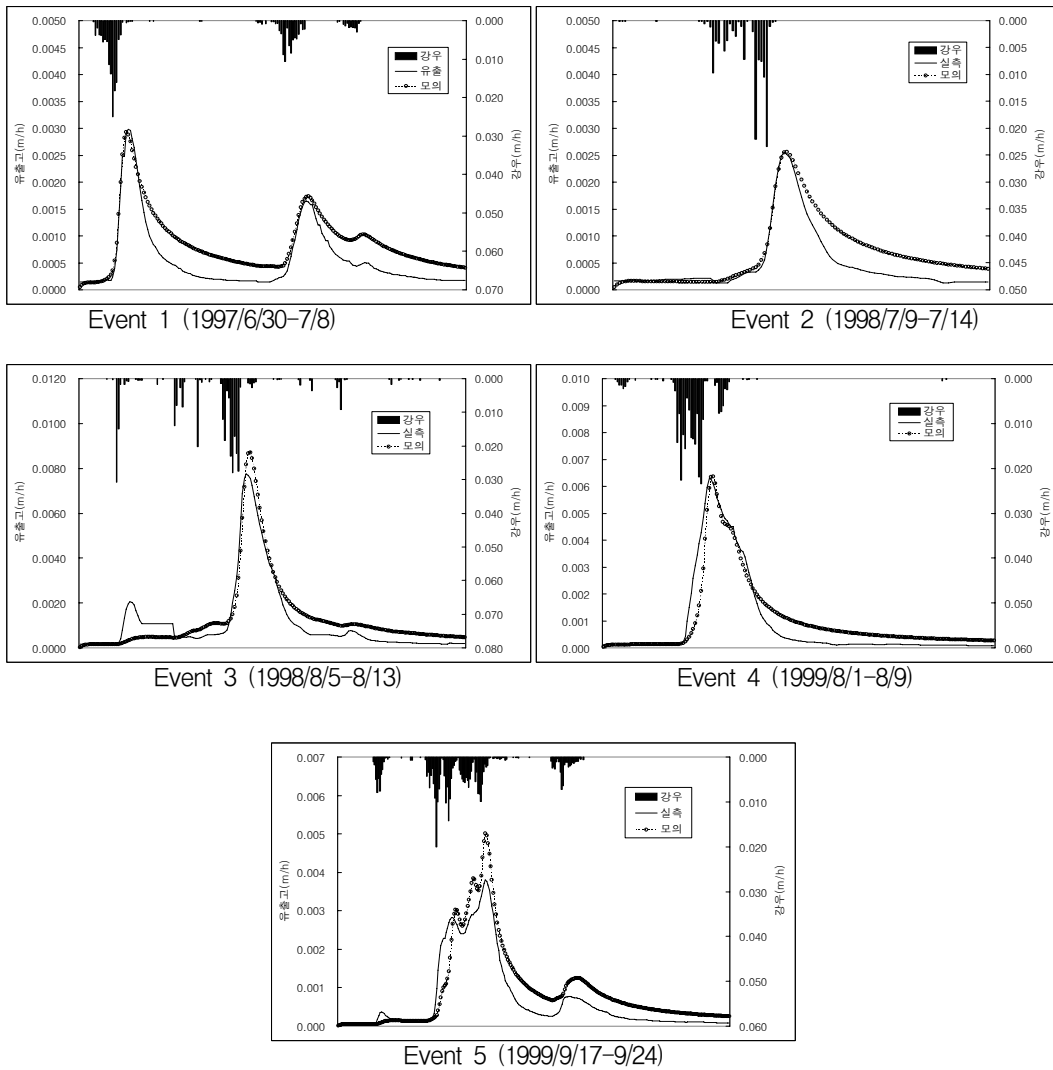


FIGURE 7. Comparison simulated result with observed data

TABLE 1. Optimized parameter at each event

Event	Day	Average rainfall (mm)	Parameter					Eff.
			m (m)	ln(To) (m ² /hr)	SRmax (m)	SRinit (m)	ChVel (m/hr)	
Event 1	1997/6/30-7/8	123.6	0.025	30	0.05	0.03	5500	0.77
Event 2	1998/7/9-7/14	99.9	0.017	40	0.05	0.05	4500	0.95
Event 3	1998/8/5-8/13	295.7	0.019	40	0.05	0.04	2000	0.91
Event 4	1999/8/1-8/9	238.3	0.025	30	0.05	0.06	2000	0.88
Event 5	1999/9/17-9/24	334.9	0.024	30	0.05	0.04	4000	0.72
Average			0.022	34	0.05	0.04	3600	0.84

TABLE 2. Optimized parameter at each subwatershed

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

현정도(Beven, 1996)로서 결정하였으며, 여기서 재현정도는 계산에 의해 모의된 전 수문곡선의 관측치에 대한 일치정도를 의미한다. 그림 7은 평택수위관측소를 유역출구로 하는 전체유역에 대하여 최적화된 매개변수를 결정하기 위하여 각각의 강우-유출 사상에 대한 모의 결과이다. 모의된 유출 결과에 대한 정확도는 Nash와 Sutcliffe(1970)의 효율계수에 의해 계산된 모델효율로 제시하였다(표 1).

4. Muskingum 기법의 검토

모형의 검증에 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 66.7mm에 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 관개유형과 경작방식에 대한 불확실성이 존재하므로 정확한 유출해석이 이루어지지 못하였다. 또한 유

역전체를 500m의 큰 격자크기로서 유출해석을 수행하여 유역 전반에 분포되어 있는 공간적인 특성이 적절하게 반영되지 못한 것도 모델 효율의 감소를 초래하는 이유라고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 입력자료의 공간해상도를 향상시키기 위하여 상류부와 하류부의 2개 소유역으로 분할하고, 각각의 소유역에 대하여 전체 유역의 매개변수 결정 방법과 동일한 방법으로 민감도 분석을 통한 최적화된 매개변수를 추출하고 유출분석을 수행하였다(표 2).

상류부 소유역의 유역출구점에서 발생한 유출량이 하류부 소유역의 유역출구점에 미치는 영향을 추정하기 위하여 홍수추적 기법인 muskingum 기법을 적용하여 전체 유역으로 모의한 유출량과 2개의 소유역으로 분할하여 모의한 유출량을 비교하였다(그림 8, 표 3). 이때 muskingum 계수는 $x=0.2$, $K=0.5$ 를 사용하였다.

그 결과 500m의 균일한 격자 크기의 전체 유역에 TOPMODEL을 적용하여 분석한 유출 결과에 비해 두 개의 소유역으로 분할한 뒤 각각의 소유역에 대해 TOPMODEL로서 유출 분석을 하고 muskingum기법을 이용하여 하류부의 유출을 분석한 결과, 실측자료와의 상대

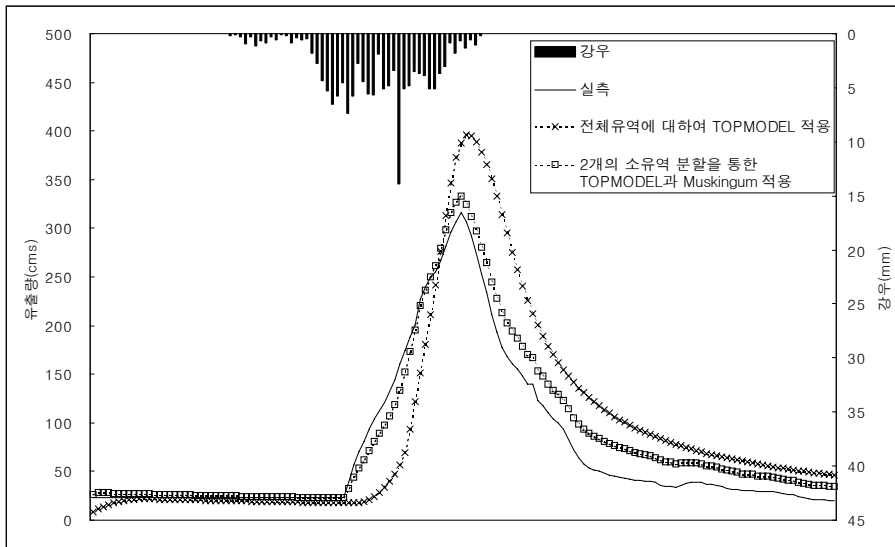


FIGURE 8. Comparison each simulated result with observed data (1999/9/29- 1999/10/3)

TABLE 3. Runoff estimation by TOPMODEL linked with Muskingum method

	Application method	Runoff depth (mm)	Runoff ratio (%)	Relative error (%)	Eff.	Average rainfall (mm)
Obs.		66.7	46.3			
Sim.	Total ws. TOPMODEL	84.7	58.9	27.2	0.53	143.7
	2 subws. TOPMODEL and Muskingum	77.1	53.7	15.8	0.94	

오차가 15.8%로 정확도가 더 향상되고 모델 효율도 0.94로 높아지는 것을 알 수 있었다.

결 론

안성천 유역을 대상으로 TOPMODEL을 이용하여 홍수유출 분석을 수행하는데 있어서 TOPMODEL에 입력인자로 사용되는 지형지표인자를 추출하기 위하여 DEM의 생성 및 추출을 위한 기법을 제시하고, 생성된 DEM으로써 지형지표인자를 추출 및 홍수유출분석 모의를 수행하였다. 홍수유출분석의 정확도를 향상시키기 위하여 500m 격자크기의 전체 유역을 2개의 소유역으로 분할하여 모의를 실시하였다. 연구의 결과를 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 지형지표인자를 추출하기 위하여 NGIS 1:5,000 수치지도로부터 DEM을 생성하였고, 유역 전반에 분포하고 있는 pit 부분을 제거하고, 하류부분에 분포하고 있는 일정한 고도의 평야부에 하류방향으로의 경사를 부여하기 위하여 liner trend surface interpolation 기법을 사용함으로써 평야부의 경사 부여와 함께 pit 부분을 효과적으로 제거할 수 있었다.
2. SFD 알고리즘은 지형상 경사가 급한 계곡이나 배수지역에 적합하며, 상대적으로 완경사 지역에 대해서는 흐름분할을 묘사하는데 문제점이 존재한다. 따라서 MFD 알고리즘을 이용하여 경사가 완만한 안성천 유역의 지형지표인자의 분포 및 빈도를 추출

- 하였다. 그 결과 전체유역에 대한 지형지표 인자는 6.5~29.8의 값을 나타내었고 350m 격자인 소유역 #1의 지형지표인자는 5.9~26.6, 300m인 소유역 #2의 지형지표인자는 5.9~27.4의 값을 나타내었다.
3. 소유역 분할로 인한 상류 소유역에서 발생하는 유출은 muskingum 기법을 적용하여 상류 소유역의 유출이 유역출구점에 미치는 영향을 분석하여 전체 유역에 대한 유출분석을 수행하였다. 전체유역에 TOPMODEL을 적용하여 유출모의를 수행한 결과 실측 유출에 대한 상대오차는 27.2%로 나타났고, 2개의 소유역으로 분할하여 TOPMODEL 및 muskingum 기법을 병행하여 모의된 결과의 상대오차는 15.8%로 나타나 정확도가 향상되고, 모델효율도 0.94로 높아지는 것을 확인하였다.
 4. 중규모 이상의 유역에 TOPMODEL을 적용할 경우 발생하는 해상도의 문제를 언급하였고, 그 해결방안으로 전체유역을 소유역으로 분할하여 해상도를 향상시키므로써 유역 전반에 분포되어있는 공간적 특성을 적절히 반영할 수 있는 방법을 제시하였다. **KAGIS**

참고문헌

- 김상현. 1997. 인공배수유역에서의 TOPMODEL의 적용. 한국수자원학회논문집 30(5) :539-548.
- 김상현, 이지영. 1999. 개선된 지형지수 산정 알고리즘의 적용에 관한 연구. 한국수자원학회논문집 32(4):489-499.
- 김상현, 한건연. 1996. 지리정보시스템을 이용한 유역에서의 지형지수 산정. 한국수자원학회논문집 29(4):199-208.
- 김현준. 1995. 강우예보의 시공간 특성을 고려한 홍수예보모형의 개발. 한국건설기술연구원. 154쪽.
- 배덕효, 김진훈, 권원태. 2000. TOPMODEL의 단일유역 홍수예보능에 관한 연구. 한국수자원학회논문집 33(1):87-97.
- 조홍제, 조인률, 김정식. 1997. TOPMODEL을 이용한 강우-유출해석에 관한 연구. 한국수자원학회논문집 30(5):515-526.
- 조홍제, 조인률. 1998. 분포형 유출모형을 이용한 홍수유출 해석. 한국수자원학회논문집 31(2):199-208.
- 한국수자원공사. 1993. 지리정보시스템을 이용한 수자원 관리 및 계획에 관한 연구. 180쪽.
- Ambrose, B., K.J. Beven and J. Freer. 1996. Toward a generalization of the TOPMODEL concepts: Topographic indices of hydrological similarity. *Water Resources Research*. 32(7): 2135-2145.
- Beven, K. J. 1996. About TOPMODEL. TOPMODEL Workshop. Lancaster University, March, 1996.
- Beven, K.J. and M.J. Kirkby. 1976. Towards a simple physically-based variable contributing area model of catchment hydrology. Working Paper 154. School of Geography, University of Leeds.
- Beven, K.J. and M.J. Kirkby. 1979. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* 24:43-69.
- Franchini, M.J. Wendling, C. Obled and E. Todini. 1996. Physical interpretation and sensitivity analysis of the TOPMODEL. *Journal of Hydrology* 175:293-338.
- Jenson, S.K. and J.O. Dominique. 1998. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54:1593-1600.
- Kirkby, M.J. 1975. Hydrograph modelling strategies. In: R.Peel et al.(ed.). *Process in physical and human geography*. Heinemann, pp.69-90.

- Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models. I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10:282-290.
- Quinn, P.F., K.J. Beven, P. Chevallier and O. Planchon. 1991. The prediction of hillslop flowpaths for distributed modelling using digital terrain models. *Hydrological Process* 5:59-80.
- Tarboton, D.G., R.L. Bras and I. Rodriguez-Iturbe. 1991. On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes* 5:81-100.
- Wolock, D.M. and G.J. McCabe. 1995. Comparison of single and multiple flow direction algorithms for computing topographic parameters in TOPMODEL. *Water resources Research* 31(5):1315-1324. **KAGIS**