

# 벡터중첩법을 이용한 TOPMODEL의 연구

## Study of TOPMODEL Using Burning-In Process

이정규<sup>\*</sup> · 심규대<sup>\*\*</sup> · 유정호<sup>\*\*\*</sup> · 전세호<sup>\*\*\*\*</sup>

Lee, Jong-Kyu · Shim, Kyu Dae · You, Jung Ho · Jeon, Se Ho

### 1. 서론

많은 수자원 분야의 연구에서 강우-유출 모의가 필요하며 이를 위해 먼저 유출구로 집수되는 유역을 선정해야한다. 과거에는 직접 지형도에 스케치를 해가며 유역을 선정하였다. 사람이 할 경우에는 시간과 노동력이 많이들며, 숙련도에 따라서 신뢰도가 떨어지며, 다른 사람이 했을 경우 결과가 다르게 나올 수 있다. 따라서, 지형에 관련된 공간적인 위치정보와 이와 연계된 속성정보를 요구 목적에 따라 분석 할 수 있는 기능을 가진 지리정보시스템(GIS: Geographical Information System)이 발달함에 따라서 수자원 분야의 연구에서 DEM(Digital Elevation Model)의 이용빈도는 계속 증가하고 있다. 기존의 GIS모형들은 이러한 고도차를 이용하여 물은 지표면의 경사를 따라서 아래로 흐른다고 가정하고 유역경사를 산정하였으며 지금까지 이르렀다. 그러나 이러한 방법들은 실제 유역을 단순화하는 문제점을 가지고 있다. Saunder 등(1995)은 격자크기 100m DEM(1:250,000)을 이용하여 유역을 생성했을 경우 해안과 떨어진 유역의 다른 부분과 달리 해안과 가까운 곳, 즉 경사가 평평한 곳에서는 실제의 하천과 달리 배수 경로가 왜곡된다는 사실을 밝혀냈다. DEM을 이용하여 하천수로망(stream network)과 집수경계(watershed boundary)를 구할 경우에 그 정확도는 매우 중요하다. 그러나, 이용되어지는 DEM의 축척(scale)들에 따라서 유역의 수문인자들은 모호해지거나 지나치게 단순화되어진다. 따라서, 본 연구에서는 DEM에 벡터층(vector layer)를 중첩하는 벡터중첩법(burning-in process)을 도입하여 집수경계와 하천수로망을 구성할 때 정확성을 높였고 이를 이용하여 근래에 들어 강우-유출에 많이 적용되는 준분포형모형인 TOPMODEL(TOPography based on MODEL)을 이용하여 적용하여 강우·유출을 모의하였다.

### 2. 대상유역

본 연구에서 이용한 자료는 국립지리원에서 제작한 1:25,000 수치지도를 이용하였다. 유역선정에 정확성을 기하고 수위 관측소가 있는 곳의 좌표를 이용하기 위하여 국제수문개발계획(HP)에서 관리하는 평창강유역 백옥포 지점과 위천유역 동곡지점을 대상유역으로 선정하였다. 백옥포지점은 유역면적이 142.26km<sup>2</sup>이며 유로연장은 22.95km, 유로경사 0.01159, 유역경사 0.03486, 표고차 824.0m인 유역 특성을 가지고 있다. 수위관측지점의 위치는 N37°34'55" E128°24'35"이며 영점표고는 500.869m이다. 위천유역 동곡지점은 유역면적이 33.63km<sup>2</sup>, 유로연장 8.00km, 유로경사 0.04057, 유역경사 0.05448, 표고차 467.5m이다. <그림1>은 백옥포지점의 DEM을 나타낸 것이며, <표1>은 DEM을 생성하기 위하여 사용한 수치지도들이다.

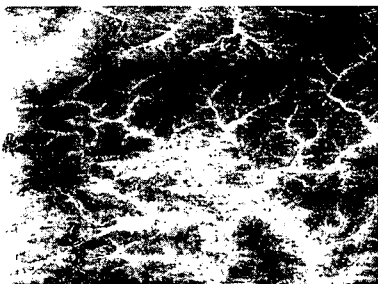


그림 1 백옥포지점 유역 DEM

번호	도엽번호	도엽명
1	378061	홍정
2	378062	노동
3	378063	진조
4	378064	창동
5	368161	옥정
6	368162	용소
7	368163	신영
8	368164	양항

표 1 유역선정에 이용한 수치지도

\* 성희원 · 한양대학교 농과대학 도시건설환경공학과군 토목공학과 교수  
 \*\* 신우에지니어링 상하수도부  
 \*\*\* 한양대학교 대학원 토목공학과 석사  
 \*\*\*\* 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

### 3. 유역선정과정

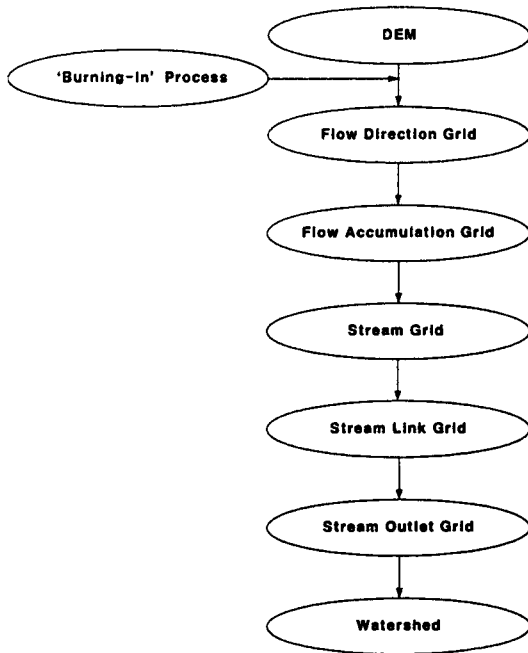


그림 2 유역산정 모식도

수문분석을 위해 유역 선정시 다음과 같은 과정을 거친다. 먼저 수치지도에서 기본자료(Raw Data)인 DEM을 생성한다. 이 DEM으로부터 물의 흐름방향을 결정하기 위한 흐름방향격자(Flow Direction Grid)를 생성한다. 이때 각 방향은 8방향 알고리즘(O'Callaghan, 1984)에 기초해 생성되며 가장 급한 경사를 택하여 한방향으로만 흐른다고 가정한다. 흐름방향격자에 의해서 각 셀들은 하천망(stream network)로 연결됨으로써 결국은 유역의 유출구까지의 유동경로가 결정되어 진다. 이 유동경로를 따라서 각 셀들의 상류 방향으로의 셀수를 계산하여 더함으로써 배수면적(drainage area)을 나타내는 흐름누적격자(Flow accumulation Grid)가 생성된다. 그리고, 유역에서의 하천을 표현하기 위해서 흐름누적격자가 어떤 일정수 이상 가질 경우를 하천으로 간주하도록 하여 하천격자(stream grid)를 생성한다. 이것을 이용하여 각 하천이 연결되는 지점을 전체유역에서 소유역(sub-watershed)들의 유출구로 정하여 하천유출구격자(stream outlet Grid)를 구성한다. 그 다음과정으로 원하는 지점에 유출구를 지정함으로써 유역이 결정된다.

### 4. TOPMODEL

분포형모형 중에 근래에 들어 가장 많이 쓰이고 있는 모형중에 하나가 TOPMODEL이다. 1979년 Beven과Kirby는 유출 기여면적에 대한 분포형 매개변수모형으로, TOPMODEL을 제안하였다. TOPMODEL은 물리적 근거를 기반으로 하여 개발된 수문모형으로 영국 상류부 소유역의 유출모형화를 위하여 개발되었다. 이 모형은 유역의 지형특성인자인 지형지수  $(a/\tan\beta)$  에 근거를 두고 유출기여면적의 변화를 고려한 유출모형으로 개발된 후 20년 동안 지금까지 전세계의 유역에 대해서 다양한 주제들을 가지고 적용되어지고 있다. ( $a$  는 단위 등고선 길이당 누가면적,  $\tan\beta$  는 지표면 경사) 이 모형은 다음과 같은 가정을 전제로 한다. 첫째, 유역내 물의 흐름은 정상상태이다. 둘째, 유역내 포화층의 동수경사는 지표면 경사인  $\tan\beta$ 로 표현할 수 있다. 셋째, 포화투수계수는 지표면으로부터 지하수면까지의 거리에 지수 함수적으로 감소한다. 흙의 포화투수계수는 TOPMODEL의 기본가정에서 세 번째 가정에 의해 수학적으로 단순화 되어 식(1)과 같이 깊이에 대해 음의 지수함수로 나타낼 수 있다.

$$K_s = K_0 \exp(-fz) \quad (1)$$

여기서  $z$ 는 지하수면 깊이,  $K_0$ 는 지표면에서 흙의 투수계수이고 전유역에 대해 일정하다고 가정하며  $f$ 는 깊이  $z$ 에 따른  $K_s$ 의 변화를 나타내는 계수로서 전 유역에 대해서 일정하다. 포화층내의 동수경사는 기본 가정중, 두 번째 가정에 의해 유역의 지형경사로 표현할 수 있으며, 포화층내의 거동은 Darcy 법칙을 따른다. 따라서 임의의 지점에서의 지하수위를 전개하면  $R$ 은 지하수위로 유입되는 임의의 시간에서 공간적으로 일정한 충전량이고,  $a_i$ 는 지점  $i$ 를 통해 배수되는 단위등고선 길이당 경사면의 면적,  $z_i$ 는 지점  $i$ 에서의 지하수면으로 나타내면 지형지수  $\ln(a/\tan\beta)$ 에 지하수위 깊이와 매개변수  $f$ , 지역적 포화투수량계수와 유효충진량의 관계로  $z_i$ 에 대하여 정리하면 다음 식(2)와 같다.

$$z_i = -\frac{1}{f} \ln\left(\frac{a_i R}{T_0 \tan\beta_i}\right) \quad (2)$$

### 5. 벡터중첩법(Burning-In Process)

벡터중첩법(Burning-In Process)은 실제 하천을 잘 표현하도록 디지털자료를 이용하여 수치화한 하천과 DEM으로부터 구한 하천이 잘 일치하도록 하는데 매우 효과적인 방법이다. 이 과정이 없이 DEM으로부터 생성된 하천은 수치화된 하천

과 잘 일치하지 않는다. 이러한 불일치는 대부분 무시할 만하나, 가끔 DEM으로부터 생성된 하천에는 유출지점(gaging site)을 잡기 힘들 때가 있다. 벡터중첩법의 과정은 실제하천과 DEM으로부터 생성된 하천을 일치시키기 위하여 실제 하천을 디지털화하여 DEM에 중첩시킨 다음, 하천과 중첩되지 않은 격자 셀(Grid Cell)들의 값에 큰 값을 더함으로써 이루어진다. 예로 벡터중첩과정을 거친 DEM은 가늘고 깊은 하천을 가지게 되며 이로서 하천에 도달한 물은 하천 셀이 아닌 다른 셀로 이동할 수 없다. 하천을 제외한 영역의 다른 셀들의 표고가 전부 일률적으로 변함으로써 영역의 경사는 변하지 않게 된다. 따라서 흐름 방향은 왜곡되지 않는다.

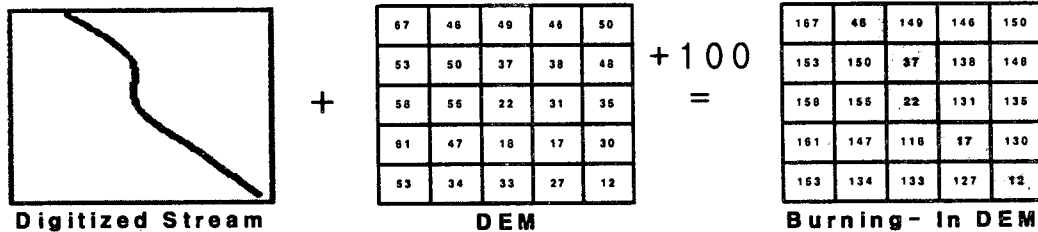


그림 4 Burning-In Process

## 6. 대상유역 적용

### a. 격자크기가 30m인 경우(백옥포 지점)

격자크기가 30m일 경우의 결과를 살펴보면 벡터중첩법을 적용하지 않았을 경우 <그림5>에 보는 바와 같이 유역의 하단 왼쪽 부분에 유역이 과선정 되었음을 알 수 있다. 선정된 유역면적은 183.04km<sup>2</sup>으로 IHP보고서 142.26km<sup>2</sup>와 많은 차이를 나타내었다. <그림6>의 경우에는 유역면적이 140.99km<sup>2</sup>으로 나타나 IHP 보고서(142.26km<sup>2</sup>)와 거의 일치하게 나타났다.



그림 5 벡터중첩법 미적용

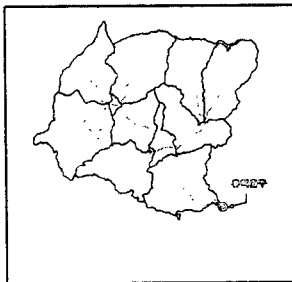


그림 6 벡터중첩법 적용

위의 과정을 거쳐 다음과 같은 결과를 얻었으며 <표2> 및 <표3>에 나타내었다. 위의 결과를 고찰해보면 유출구의 위치는 동일하게 지정(평창강 유역 백옥포지점 수위관측소, 위천 유역 동곡지점 수위관측소) 하였고 격자의 크기를 20~50m까지 변화시키면서 유역을 선정하였다. 20~50m로 격자크기를 변화시켰을 때 벡터중첩법을 사용하였을 경우 백옥포 지점의 결과값이 140.20~142.49km<sup>2</sup>로 안정적이며 IHP연구보고서에 나온 142.26km<sup>2</sup>와 비교적 일치함을 알 수 있다. 그러나, 백옥포지점에서 벡터중첩법을 사용하지 않을 경우 격자크기가 30,40m에서는 IHP연구보고서에 나온 유역면적보다 28%이상을 초과하는 결과를 얻었다. 또한 동곡 지점의 결과값 또한 표3과 같이 벡터중첩법을 사용하였을 경우에는 33.36~33.40km<sup>2</sup>로 안정적이며 IHP연구보고서에 나온 33.6km<sup>2</sup>와 매우 일치함을 알 수 있다.

격자크기(m)	유역면적(km <sup>2</sup> )	유역면적(km <sup>2</sup> )
	벡터중첩법 미적용	벡터중첩법 적용
20	142.68	142.49
30	183.04	141.00
40	180.77	140.39
50	139.73	140.20

표 2 유역선정 결과(백옥포)

격자크기(m)	유역면적(km <sup>2</sup> )	유역면적(km <sup>2</sup> )
	벡터중첩법 미적용	벡터중첩법 적용
20	33.36	33.38
30	45.46	33.40
40	33.47	33.36
50	46.21	33.40

표 3 유역선정 결과(동곡)

옆에 도시한 그림에서 보듯이 벡터 중첩법을 사용하였을 경우 하천의 형태가 왜곡되지 않고 비교적 정확히 묘사됨을 알 수 있었다. 그러나, 벡터중첩법을 사용하지 않은 경우에는 생성된 하천이 실제 하천형상과 비교하여 왜곡되어 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과가 나온 이유는 경사가 아주 완만한 경우 격자(grid)로 고도를 표현할 경우 격자크기가 달라짐에 따라 격자(grid)가 가지는 대표값, 즉 표고가 애매해 질 수 있어 그 결과를 가지고 유역을 선정할 경우 배수경로가 왜곡됨으로써 유출지점(outlet)을 정확히 위치시킬 수 없으므로 이에 따라서 유역을 정확하게 선정하기 어려워 지기 때문

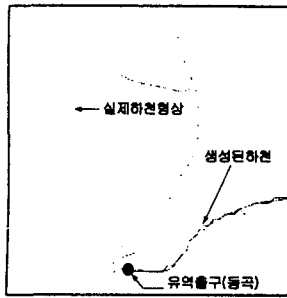


그림 7 벡터중첩법 적용

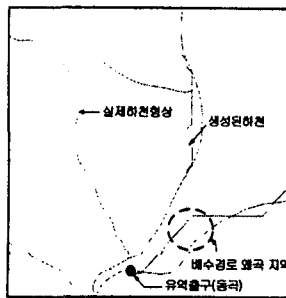


그림 8 벡터중첩법 미적용

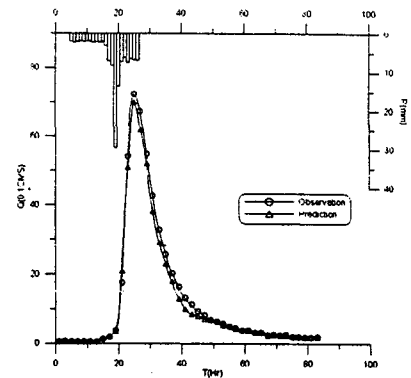


그림 9 벡터중첩법 적용(97.8.3)

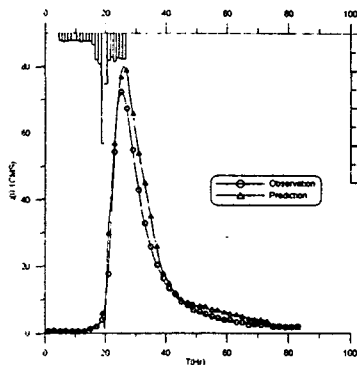


그림 10 벡터중첩법 미적용(97.8.3)

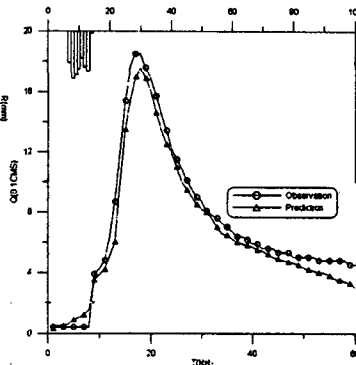


그림 11 벡터중첩법 적용(96.7.4)

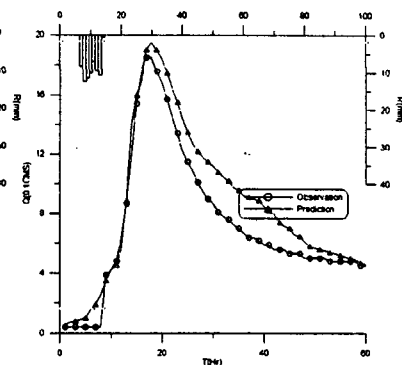


그림 12 벡터중첩법 미적용(97.7.4)

이다.

c. 강우-유출사상의 적용

97년 8월 3일 강우사상 및 96년 7월 4일 강우사상에 대해서 적용하였으며 결과는 다음 그림과 같다. 97년 8월 3일의 경우에는 벡터중첩법을 적용할 경우 미적용시보다 첨두의 정확성이 더 높게 나왔으며 미적용시의 첨두는 실측치보다 10%이상 크게 측정되었다. 96년 7월 4일의 경우에도 또한 벡터중첩법을 적용하였을 경우에는 실측치와 비슷한 거동을 보였으며, 미적용시에는 첨두가 과다산정되는 것을 알 수 있었다.

7. 결론

위에서 벡터중첩법을 적용하였을 때의 결과는 첨두와 비슷하거나 유량의 거동이 비슷하게 나오는 것을 알 수 있었으며, 그와 반대로 미적용시에는 유역이 과다산정되어 첨두가 10%이상 커지는 결과를 나타내며 거동또한 조금의 차이가 보였다. 이러한 결과는 벡터중첩법을 적용함으로써 유역의 과다산정을 방지하기 때문이라고 생각되며, 기존에 GIS 기법을 이용하여 모형을 적용할 때 보다 나은 결과값을 얻을 수 있었다. 따라서 벡터중첩법을 사용하여 모형 적용시 사용자가 임의로 판단하여 유역을 더 나누거나 수정하는 수고를 덜 수 있으며 강우-유출사상 모의시 보다 정확한 모의를 할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. O'Callaghan, J.F. and D.M. Mark(1984), The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data, Computer Vision, Graphics and Image Processing 28, pp.323~344.
2. Saunders, W.K. and D.R. Maidment(1995), Grid-Based Watershed and Stream Network Delineation for the San Antonio-Nueces Coastal Basin, In Proceedings : Texas Water '95 : A Component Conference of the First International Conference of Water Resources Engineering, August 16-17,1995,ASCE.
3. 2000년 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 건설교통부, p.7-1, p.7-202
4. 시험유역의 운영 및 수문특성 조사.연구(2000.12), 한국건설기술연구원, p.158
5. Beven, K. J. (2001), Rainfall-Runoff Modelling, Wiley, pp.2-23.
6. Vijay P. Singh (1995) "TOPMODEL, Computer Models of Watershed Hydrology", Water Resources Publications, pp.627-668.