

# GIS자료를 이용한 수문모델링에서의 적정 해상도 도출

한건연\*, 이수현\*\*, 이창희\*\*\*

## 1. 서론

유역의 지형은 강수량에 대한 유역의 하천 흐름의 응답을 결정하는데 중요한 요소이다. TOPMODEL은 홍수 빈도 분석, 하천 흐름에서의 지형학적 영향, 하천 경로의 수문학적 영향을 포함하여 다양한 범위에서 연구되어온 지형을 기반으로 하는 두 유역 수문 모형이다. TOPMODEL을 적용하기 위해선 지형 자료인 DEM으로부터 지형지수의 빈도 혹은 공간적인 분포에 대한 계산이 요구된다. 토양 수분, 표면 포화, 그리고 유출 발생 과정의 공간적인 분포를 반영하는 지형 지수  $\ln(a/\tan\beta)$ 는 지형위상학적 수문모형의 중요한 요소이다. 격자 크기는 지형지수의 누적 빈도 분포에 많은 영향을 미친다. 이러한 지형지수 빈도 분포의 변화는 지형적인 기반의 수문 모형에 잠재적인 영향을 미친다. 따라서, 본 연구에서는 격자 크기 변화에 따른 유출 영향을 분석하여, 지금까지 수문 모의 수행과정에서 야기된 문제 중 하나인 해상도의 적정값을 제시하며 해상도가 수문모의결과에서 어떻게 영향을 미치는가를 검토하였다.

## 2. 지형지수산정

지형지수 ( $\ln(a/\tan\beta)$ )는 토양의 공간적 습윤 상태 분포와 지표면 포화 상태의 지표가 되며 TOPMODEL의 유출 발생에서 상당히 중요한 부분은 차지한다. 대부분의 지형적 수문모형에서 지형지수 빈도 분포의 유도가 수문 모의에 앞서 선행된다. 경안천, 위천, 평창강(1:5,000) 그리고 설마천(1:25,000) 수치지도로부터 Arc/Info, ArcView를 이용하여 10, 30, 50, 70, 100, 150, 250m 해상도의 DEM을 생성시켰다.

지형특성을 나타내는  $\ln(1/\tan\beta)$ ,  $\ln(a)$  그리고  $\ln(a/\tan\beta)$ 의 누가 빈도 분포에서 평균값과 국지적인 값이 DEM격자크기에 따라 변화함을 그림 1에서 볼 수 있으며 이런 지형특성들의 분포를 비교함으로써 유역 표현에 대한 DEM격자 크기의 영향을 예측할 수 있다.

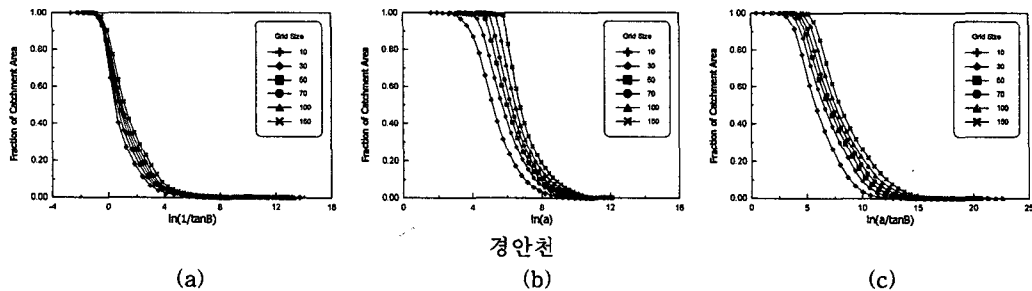


그림 1. 경안천 유역의  $\ln(1/\tan\beta)$ ,  $\ln(a)$ ,  $\ln(a/\tan\beta)$

지형지수는 토양의 습윤상태의 척도(wetness index)가 되며 지형지수가 상대적으로 높은 값을 갖게 되면 지표하의 초기 평균 수면고가 높아짐을 식 (2)에서 확인 할 수 있다. 초기 평균 수면고가 높아지면 상대적으로 넓은 포화지역을 가지며 식 (3)에서 지표하의 초기 저류공간( $S_0$ )이 줄어들어 상대적으로 초기 직접 유출량이 늘어나게 된다. 따라서 유출곡선의 상승부에서는 격자크기가 증가할수록 빠르게 기여하지만 지표하 흐름을 대표하는 유출곡선의 종점 하강부에는 격자 크기가 작은 DEM으로 모의한 모형이 보다 많이 기여 할 것이며 유량의 최대치는 격자크기가 클수록 클 것으로 예상된다.

\* 경북대학교 토목공학과 교수  
 \*\* 경북대학교 토목공학과 석사과정  
 \*\*\* 경북대학교 토목공학과 박사과정

$$q_s = T_0 e^{-\lambda} e^{\left(\frac{-S}{m}\right)} \quad (1)$$

여기서,  $\bar{S}$  = 평균 저류량,  $\lambda$  = 유역의 평균 지형 지수,  $q_s$  = 기저 유출량,  $m$  = 지수형 감소 상수,  
 $T_0$  = 포화상태 지표면에서의 유역 평균 측면 전도계수

식 (1)을 지형지수에 대한 평균 저류 부족량에 관한 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$\bar{S} = -m \ln \left\{ \frac{q_s}{T_0} e^{\lambda} \right\} \quad (2)$$

식 (2)에서 평균 지형지수가 증가할수록 초기 평균 저류 부족량( $\bar{S}$ )이 적어지며 초기 평균 수면고가 높아질 수 있다.

$$\frac{\bar{S} - S_i}{m} = \left[ \ln \frac{a}{\tan \beta} - \lambda \right] \quad (3)$$

### 3. 유역 수문 응답

단순 강우 사상에 대한 각 유역의 수문 응답에 대한 DEM 격자 크기 영향을 분석하기 위해 TOPMODEL 을 이용하였다. 모형은 토양의 수분상태 분포와 토양 특성과 지표면 형상에 근거하여 유출을 예측하게 된다. 모형의 결정적 가정은 유사한 지형 형상과 토양 특성을 가지는 지역은 같은 강우에 대하여 동일하게 반응한다는 것이다. 공간적으로 일정한 유량과 정상 지표하흐름 가정함으로써 Beven 과 Kirkby[1979]는 유역의 지형지수에 대한 국지 토양 습윤상태의 관계를 식 (3)과 같이 유도하였다. 식 (3)에 의하면  $S > 0$ 인 지역은 토양 수분의 상태가 비포화이며  $S \leq 0$ 인 지역은 토양 수분이 포화임을 나타낸다.

모형은 지표하 유출량과 포화에 의한 지표 유출량만 계산하는 것이 아니라 이런 유출 처리과정의 공간적 분포를 계산한다. 모의 과정에서 시간  $t$ 에서의 유역의 평균 토양 저류 부족량  $S_t$ 는 아래와 같이 계산된다.

$$\bar{S}_t = \bar{S}_{t-1} + (q_{t-1} - r) \Delta t \quad (4)$$

여기서,  $q$ 는 유역면적에 대해 나눈 시간  $t-1$ 에서의 유역의 총 유출량,  $r$ 은 토양에 공급되는 유량 그리고  $\Delta t$ 는 계산 시간 간격을 나타낸다. 이때 유역의 모든 구역에서 계산된  $S$ 는 식 (5)의 계산에 이용된다. 단위 시간에 대하여 토양 저류 부족량이 강우량 보다 큰 구역은 지표하 흐름만 발생할 것이며, 반면에 토양 저류 부족량이 강우량 보다 작거나 이전 시간 단계에서 토양의 포화되었다면 지표하흐름과 포화 초과 유출이 발생할 것이다. 유역의 지표하 흐름  $q_s$ 는 식 (1)를 이용하여 계산된다.

포화 초과 유출  $q_0$ 는 포화 초과 유출량과 포화 지역의 강우인 직접 유출량의 합이 된다.

$$q_0 = \frac{1}{A_t} \int_{A_t} \left\{ \frac{-S}{\Delta t} + r \right\} dA \quad (5)$$

여기서,  $A_s$ 는 포화 지역 ( $S \leq 0$ )의 면적이다. 특정 시간에 대한 총유출량  $q$ 는 지표하흐름과 지표흐름의 합이 된다. 지표하흐름의 식 (1)은 지형지수의 분포에는 상관없이 지형지수의 평균값인  $\lambda$ 에만 관계하며 포화 초과 흐름의 식 (5)은 지형지수의 평균과 분포에 모두 관계한다. 그 결과 지표하흐름만 존재하는 경우와 초과강우가 발생하는 경우에 있어 DEM 격자 크기 따른 수문응답이 다른 것으로 예상된다.

먼저 지표하흐름만을 고려하였으며 식 (1)를 사용하여 지표하흐름의 수문응답을 관찰하였다. 이는 작은 초기 기저유출량과 강우사상 그리고 높은 해상도의 평균 토양 저류 부족량  $\bar{S}$ 의 초기값으로 재현될 수 있다. 이때의 유출곡선은 지형지수 분포에는 독립적이며 평균지형지수에만 의존적이어서 같은 형태의 유출 수문곡선이 그려지게 된다.

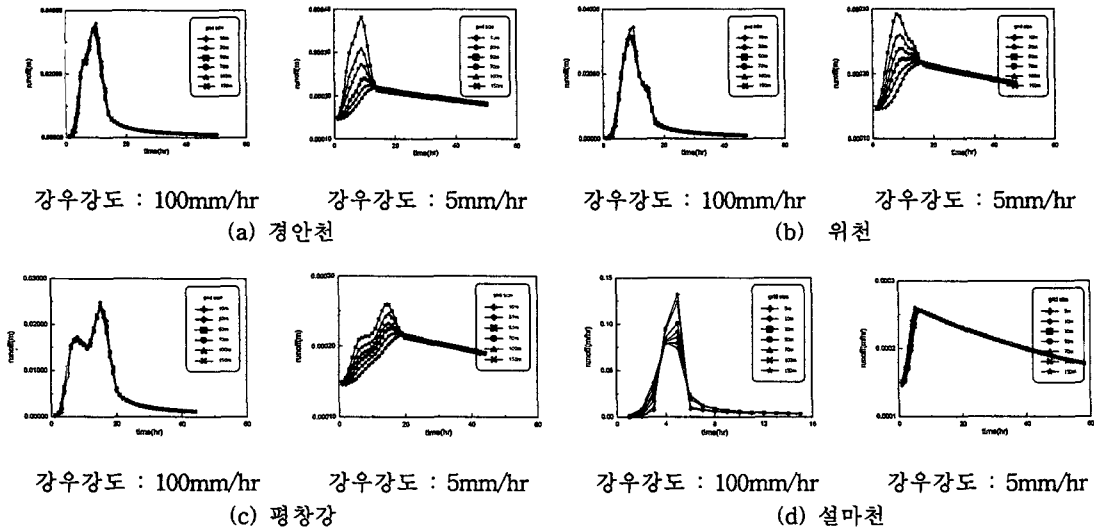


그림 2. 강우강도별 해상도에 따른 유출수문곡선

또한 지표하 흐름과 포화초과 흐름을 다 고려한 수문 모의 응답에 대해 DEM격자의 영향을 관찰하였다. 모의에서 토양과 관련한 매개변수는 공간적으로 일정하다고 가정하고 지형적 영향만 고려하였다. 모든 유역과 사상에 동일하게 매개변수를 적용하였으며 단순화하기 위해 여러 소유역으로 나누지 않고 하도 흐름 추적을 고려하지 않았다. 모의는 6개의 강우사상에(5, 10, 30, 50, 70 그리고 100mm/h) 4시간의 강우강도 그리고 5개의 기저유량(1, 2.5, 3.5, 4.5, 9.5 mm/day)에 대하여 이루어졌다. 가장 낮은 강우강도 5mm/h는 유역에서 빈번히 일어나며 가장 큰 강우강도 100mm/h는 극단적인 사상을 나타낸다. 대부분에 있어 대상 유역의 실제 기저유량은 4mm/day보다 작은 것으로 나타났다.

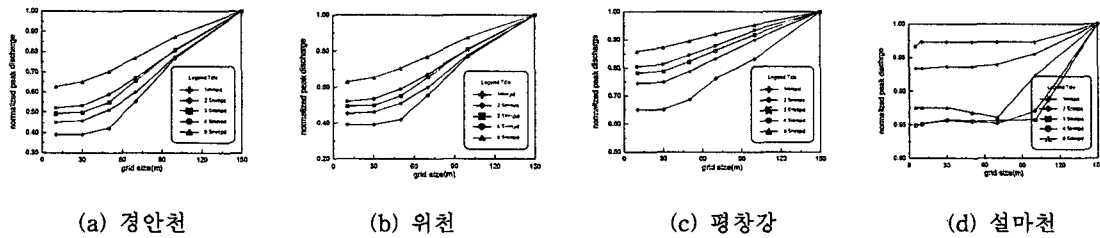


그림 3. 다양한 기저유량에 대한 DEM격자 크기와 모의 유량 최대치와의 관계

그림 2에서 격자 크기에 따른 수문 유출 곡선은 강우강도와 기저유량에 영향을 받을 수 있다. 결과들을 정량적으로 관찰코자, 150m DEM으로 계산한 유량 최대치를 각 격자 크기의 유량 최대치들을 표준화(normalize)하였다. 그림 3은 10mm/hr 강우강도에 대하여 격자 크기별로 표준화된 유량최대치를 다양한 기저 유량에 대하여 도시하였다. 일반적으로 격자크기가 커짐에 따라 계산된 유량의 최대치는 증가한다. 하지만 초기 기저 유량의 증가는 유량에 대한 격자 크기의 영향을 감소한다. 모의 유량과 격자크기 사이에는 정상관계의 편차가 있음을 확인할 수 있다.

주어진 초기 기저유량에서 유역 평균 토양 저류 부족분은 일반적으로 격자의 크기가 증가할수록 감소한다. 토양 저류 부족분은 증가는 그만큼 보다 작은 포화 지역을 묘사하며 직접 유출율이 보다 작아짐을 나타낸다. 그림 3에서 격자가 증가함에 따라 유량의 최대치가 증가하며 직접유출이 많아지는 것으로 나타났다.

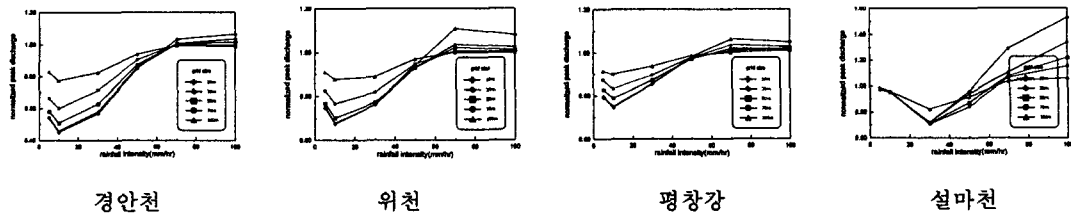


그림 4. 해상도별 강우강도와 유량최대치와의 관계

모의 유량과 격자 크기의 관계에서 강우강도의 영향은 보다 더 복잡하다. 그림 4에서 경안천, 위천, 평창강의 경우 강우강도가 증가할 수록 격자크기가 150m일 때 유량최대치와의 차가 상당히 줄었음을 확인할 수 있다. 또한 설마천의 경우와 같이 강우강도가 매우 작을 때, 즉 지표하 흐름만 존재할 경우나 경안천, 위천 그리고 평창강의 그래프와 같이 강우강도가 매우 큰 경우에 격자크기별로 유량 최대치에 대해 편차가 크게 나지 않음을 확인할 수 있다.

그림 4에서 합리적인 강우강도 즉 50mm/hr보다 작은 강우강도에서 경안천, 평창강 그리고 설마천의 경우 10m와 30m 해상도에서 거의 일치함을 확인할 수 있으며, 위천의 경우는 10m, 30m 그리고 50m 해상도에서 거의 일치함을 확인할 수 있다. 따라서 유량 최대치는 경안천, 평창강 그리고 설마천의 경우 10m와 30m 해상도에서 상대적으로 덜 민감하며 위천의 경우는 10m에서 50m사이에서 덜 민감하다. 격자가 작아 질수록 유역의 묘사가 보다 더 정확하다고 볼 수 있으나 계산의 효율성을 볼 때 수문모의에 10m 해상도를 적용하는 것보다 경안천, 평창강, 설마천의 경우는 30m 해상도를 위천의 경우는 50m 해상도를 수문모의에 적용하는 것이 적절하다 생각된다.

#### 4. 결론

DEM 격자크기는 지면 묘사와 수문 모의에 상당한 영향을 미친다. DEM격자 크기를 증가시키기에 따라 보다 큰 지형지수값을 가지는 격자 비율이 증가하여 지표하의 초기 평균 수면고가 높아지게 되므로 상대적으로 넓은 포화지역을 가지게되어 직접 유출량이 늘어남을 확인하였다. 강우강도가 매우 작거나 매우 큰 경우에 격자크기에 대한 수문 모의 결과가 크게 민감하지 않음을 확인하였으며 수치지도 고도자료 간격의 조밀성 여부로 볼 때 너무 세밀한 DEM해상도로 수문 모의시 정확성을 떨어뜨릴 수 있으며 계산소요시간이나 계산의 효율성면에서 보면 경안천, 평창강, 설마천의 경우는 30m 해상도를 위천의 경우는 50m 해상도가 적절하다 생각된다.

본 연구에서는 다양한 강우와 기저유량으로 DEM격자 크기에 대한 수문 응답의 영향을 연구하였으나, 추후 유역의 지형인자인 형상계수, 유역경사, 유로연장, 유역면적 등을 고려하여 최적의 DEM과 어떤 상관관계가 있는가에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학기술부 수자원의 지속적 확보기술개발사업의 시·공간자료 활용기술개발 과제(1-2-1)의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### 5. 참고문헌

- 김종해, 한건연, 조희대, 최현상 (2001). "GRASS와 연계한 GIS 수문모의 시스템", 2001년도 대한토목학회 학술발표회 논문집.
- 최현상, 한건연 (2002). "GIS를 이용한 수문모형 활용에 관한 연구", 2002년도 대한토목학회 학술발표회 논문집.
- 최현상, 한건연, 정귀한 (2002). "분포형모형에 의한 소유역에서의 강우-유출 해석", 2002년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집.
- Beven, K.J., Kirkby, M.J. (1979). "A physical based, variable contributing area model of basin hydrology." *Hydrological Sciences Bulletin*, vol. 24, pp. 43-69.
- Zhang, W., and Montgomery D. R. (1994). "Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulation", *Water Resour. Res.*, vol. 30, pp. 1019-1028.