

급사면에 형성된 일시적인 포화대의 지하수위 변화에 대한 TOPMODEL의 예측능력 검증

안 중 기

농업기반공사 제주도본부 지하수부

1. 서 론

TOPMODEL은 지표유출과 중간류유출을 비교적 적은 수의 매개변수와 물리적 근거를 기반으로 모의하는 수문모형이다. 현재까지 TOPMODEL은 온대습윤지역의 소유역 유출모의에 적용성이 우수하다는 연구결과가 많이 발표되었으며, 우리나라에서도 이 모델을 이용한 유역유출 모의에 탁월하다는 연구 결과들이 나오고 있다. 이런 연구들은 대부분 모델의 중요 매개변수를 유역유출 관측자료로부터 유도하고, 이 매개변수를 이용하여 유역유출을 모의한 연구들로 TOPMODEL에서 제시한 것 같은 유역내의 지하수위변화, 지표유출, 중간류유출 등의 수문학적 반응 발생여부를 조사하지 못하였다.

본 연구는 사면의 지하수위, 중간류유출 관측자료를 이용하여 TOPMODEL의 기본가정을 검증함으로써 모델을 우리나라 사면에 적용가능한지를 검토하고, 사면에 일시적으로 형성되는 포화대의 지하수위 변화에 대한 예측능력을 검증하고자 한다.

2. 연구방법과 자료

조사사면의 지하수위, 조사사면 하부의 트랜치에서 관측한 중간류유출 등의 관측자료(관측기간 : 1994년 6월부터 9월)를 이용하여 조사사면의 토양조건, 지하수위 변화경향이 모델의 기본가정에 적합한지를 분석하였다. 또한 지하수위 관측자료를 이용하여 TOPMODEL의 지하수위에 관한 지배방정식(식 1)이 적합한지를 검증하였다.

$$z_i = z_a - (1/f) [\ln a / \tan \beta - \lambda - \ln T_0 + \ln T_e] \quad (\text{식} 1)$$

여기서 z_i : 임의지점에서 지하수면 깊이 z_a : 사면의 평균 지하수면 깊이

f : 비례상수, $\ln a / \tan \beta$: 지형지수(a 는 등고선 길이당 누가면적, $\tan \beta$ 는 지표면 경사), λ : 지형지수의 사면 평균값

T_0 : 임의지점의 투수량계수, T_e : 사면의 투수량계수평균값

조사사면은 경기도 여주군에 위치한 사면으로 평균경사는 약 34°이다. 사면에는 높이가 3~5m되는 리기다소나무, 졸참나무, 갈참나무 등이 자라고 있으며 밀도는 2.5개체/m²이다. 사면토양의 최대심도는 120cm이며, 2개 지점에서 깊이별로 토양을 조사한 결과 토성은 양토, 식양토, 사질식양토, 미사질양토 등으로 나타났다.

포화대의 수위는 심도 0.7~1.2m의 관측정(직경 4cm)을 설치하여 측정하였다(그림 1). 중간류유출량은 사면하부의 지표면 침식부에 트랜치를 설치하여 측정하였다. 트랜치는 지표에서 80cm까지 설치하였으며, 폭은 0.9m이다. 조사지역의 자세한 토양의 물리적 특성과 관측방법은 안중기(1995), 안중기·최무웅(1998)에 제시되어 있다

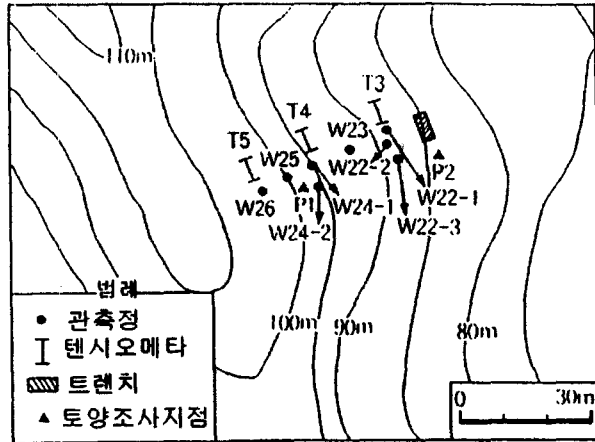


그림 1. 조사사면의 지형과 관측시설 위치

3. 결과 및 고찰

3.1 TOPMODEL의 기본가정 검토

TOPMODEL은 다음과 같은 기본 가정에 근거하여 사면유출과정을 모의하는 모형이다.

- 포화대의 변화경향은 정상상태의 가정하에 나타낼 수 있다(A1).
- 포화대의 수리경사는 국지적인 지표면의 지형경사($\tan\beta$)로 개략화할 수 있다(A2).
- 깊이에 따른 사면하류방향(수평방향)의 투수량계수 분포는 지하수면깊이와 지수 함수적인 관계가 있다(A3).

가정 A2를 검증하기 위해 관측정간의 포화대의 수리경사와 지형경사를 비교하였다. 관측시설의 표고, 관측정간의 거리측량자료로 인근 관측정간의 지형경사를 계산하고 포화대의 수리경사를 지형경사와 비교하였다.

수리경사를 계산한 결과 지형경사가 유사한 사면부에 위치한 관측정(W22-2와 W23, W24와 W25)사이의 수리경사는 지형경사와 거의 일치하고 있다. 경사가 급변하는 지점사이에 위치한 W23과 W24-1간의 수리경사는 지형경사(0.30)보다 0.02~0.05정도 높지만 수리경사의 변화범위가 0.03으로 적은 편이다. 이 관측정간의 수리경사가 높은 것은 강우시 W24-1의 지하수면 상승이 다른 관측정보다 빠르게 나타나고, 배수시 다른 관측정보다 수위의 하강이 늦은 것과 관계가 있다. W25와 W26사이의 수리경사는 최소 0.21~0.31로 지형경사(0.32)보다 작으며 변화범위가 0.1 정도로 크게 나타난다.

수평방향의 투수량계수의 깊이에 따른 변화경향(가정 A3)은 다음과 TOPMODEL의 식 1을 이용하여 검토하였다.

$$q_i = \text{Totan}\beta e^{-fz_i} \quad (\text{식 2})$$

$$T = q_i / \tan\beta = \text{Toe} - fz_i$$

여기서 q_i : 임의 지점 i 에서 유출율

자료는 '94년 8월29일~30일에 관측한 트렌치에서의 지중수 유출율과 트렌치에서 3m 상류부에 위치한 관측정의 수위변화자료를 이용하였다. 관측된 트렌치 유출율이 지표부터 80cm깊이까지의 유출율이므로 분석에서는 Darcy 법칙으로 80~110cm구간의 유출율을 추정하여 관측 유출율을 보정하였다.

그림 2의 $q_i / \tan\beta$ 와 z_i 관계그래프에서 지수함수에 의한 추세선을 구한 결과 결정계수가 0.99이상으

로 높게 나타났다. 유출량과 지하수면깊이는 $T = 1.36 \exp(-6.21z_i)$ 의 관계를 보인다.

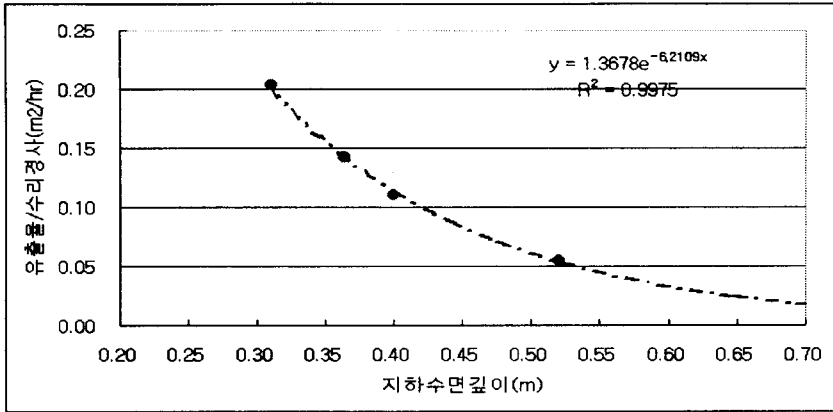


그림 2. 지하수면깊이와 투수량계수관계

3.2 관측정간의 지하수위 관계

TOPMODEL의 지점별 지하수면깊이와 평균지하수면깊이는 식 1의 관계를 나타내므로 지점간 지하수면 깊이는 식 3과 같이 기울기가 1인 선형관계를 보여야 한다.

$$z_i = z_j + (1/f) [\ln a_j / \tan \beta_j - \ln a_i / \tan \beta_i + \ln T_i - \ln T_j] \quad (\text{식3})$$

여기서 z_i 와 z_j 는 임의지점 i, j 의 지하수면깊이

지하수위 관측자료는 강수량 100mm이상의 호우로 일시적인 포화대가 형성된 이후 배수된 기간 동안의 자료를 하나의 사상으로 구분하여 분석하였다. 7개 관측정의 그래프를 작성한 결과 관측정중 가장 상류에 위치한 W5를 제외한 6개 관측정에서 인접한 관측정간의 지하수면깊이가 기울기가 1에 가까운 선형관계를 보인다(그림 3의 a). 또한 사면의 중간에 위치한 W23, W24-2, W25간의 지하수면 깊이는 일부 사상을 제외하고 기울기가 1에 가까운 선형관계를 보인다. W22-2와 W25사이의 지하수면 깊이는 선형관계를 보이지만 기울기가 약 0.5정도이며, W26은 부분 다른 관측정과 비선형관계를 보인다(그림 3b).

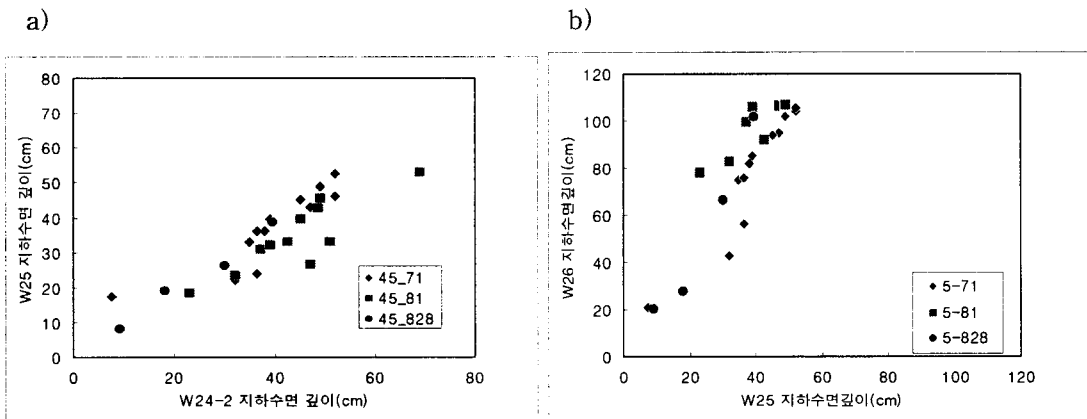


그림 3. 관측정간의 지하수면깊이 관계

3.3 평균 지하수위를 이용한 지점별 지하수위 변화예측

지점과 평균 지하수면 깊이에 관한 관계식(식 1)에 의해 각 지점의 지하수면 깊이를 예측하고, 관측값과 비교하였다. 관측자료는 8월1일~6일까지의 자료를 이용하였다. 평균지하수면깊이는 W22-2의 관측자료로 구하였는데 f 값은 3.1의 A3가설점정에서 구한 6.21을 이용하였다. 먼저 사면의 평균 T_e 와 지점 T_o 는 동일하다고 가정하고 지점별 지하수면 깊이를 예측하였다. 평균 T_e 와 지점 T_o 가 동일하다는 가정 하에 예측한 지하수면깊이는 관측값과 0.2~0.6m 정도의 차이가 있는 것으로 나타났다. 예측값과 관측값의 편차가 적어지도록 평균 T_e 와 지점 T_o 의 차를 조정하여 예측한 지하수면 깊이와 관측값은 W25를 제외하고 편차가 대부분 10cm 이내이다.

4. 요약

조사사면의 지하수위, 중간류유출 관측자료를 이용하여 TOPMODEL의 기본가정을 검증한 결과 사면 상류부, 경사가 급변하는 부분을 제외하고 포화대의 수리경사는 국지적인 지표면의 지형경사($\tan \beta$)로 개략화할 수 있는 것으로 판단된다. 깊이에 따른 사면하류방향의 투수량계수 분포는 지하수면깊이와 지수함수적인 관계가 있는 것으로 나타났다.

가장 상류부에 위치한 W26을 제외한 6개 관정에서 인접한 관측정간의 지하수면깊이는 기울기가 1에 가까운 선형관계를 보인다. 또한 사면의 중간부에 위치한 3개 관측정은 일부 사상을 제외하고 기울기가 1에 가까운 선형관계를 보인다.

1994년 8월1일 ~6일까지의 관측자료로 평균 T_e 와 지점 T_o 의 차를 조정하여 지하수면깊이를 예측한 결과 W25를 제외하고 관측값과 예측값의 편차가 대부분 10cm의 범위 이내에 있었다.

참고문헌

- 안중기, 1995, 소유역곡저부 천층지하수의 수위와 흐름변화, 박사학위논문, 건국대학교.
- 안중기·최무웅, 1998, "강우에 의한 급사면의 일시적인 포화대형성과 중간류유출", 한국 수자원학회지, 31(2), 167-176.
- Beven, K., R. Lamb, P. Quinn, R. Romanowicz and J. Freer, 1995, TOPMODEL, V.P.,Singh(ED.), Computer Models of Watershed Hydrology, 627-668.
- Moor, R. D. and Thompson, J. C., 1996, Are Water Table Variations in a Shallow Forest Soil Consistent with the TOPMODEL Concept?, Water Resources Research, 32(3), 663-669.