

터널 굴착에 따른 지하수 유동계의 변화에 대한 수리상수들의 민감도 분석

정복선

공주대학교 지질환경과학과

구민호

공주대학교 지질환경과학과

1. 서론

최근 국토의 효율적인 이용을 위하여 에너지 저장 시설, 도로, 철도 터널 및 도수로터널 등의 건설이 증가 추세에 있다. 터널 굴착으로 인해 터널 내로 많은 양의 지하수가 유입될 경우 지하수자원의 고갈 문제, 농업용수와 생활용수의 부족, 지반침하 및 지하수 수질의 오염문제를 유발시킨다. 또한 터널 내로 유입되는 지하수는 터널 굴착 작업을 위협하게 하며, 많은 비용이 소요되게 한다(이병대, 2001). 따라서 터널 굴착 시 주변 지역에서 발생하는 지하수 유동체계의 변화는 터널 설계 시 고려되어야 할 중요한 문제로 인식되고 있다.

터널지하수와 관련된 연구로서 허준석 외(1997)는 터널로의 지하수 유입량을 산정하기 위해 유한요소법을 이용한 2차원 침윤해석을 수행하였으며, 흐름조건과 지반조건을 변화시켜 가면서 흐름해석을 실시하였다. 정현영 외(2001)는 지하 석유비축기지 주변 지하수계 모델링 연구를 통하여 기지 인근에서 지하수를 개발할 때의 영향 및 수벽공 설치의 효과 등을 파악하고, 실제 설치 후의 영향을 측정하여 모델링 결과와 비교·분석하였다.

본 연구에서는 지하수 유동 모사에 널리 이용되는 MODFLOW Program을 이용하여 터널 굴착 전, 굴착과정, 및 굴착 후에 발생하는 지하수 유동 체계의 변화를 모사하는 3차원의 부정류 모델링 수행방법을 제시하였으며, 개념모델을 설정하여 수리전도도, 비산출률 및 비저유계수 등과 같은 수리상수들의 민감도 분석을 수행하였다.

2. 민감도 분석

본 연구의 지하수 유동 모델에서는 터널 주변에서의 지하수 흐름을 모사하기 위해 3차원의 격자망으로 설정하였으며, 모델 영역은 $10^3\text{m} \times 10^3\text{m} \times 10^2\text{m}$ 이다. 그림 1은 터널 굴착 시 터널 상부면으로부터 지하수면까지의 높이 즉 초기압력수두(H), 수리전도도, 비저유계수 및 비산출률의 민감도를 분석하기 위하여 설정한 개념모델로 지하수 유동 모델 영역, 터널과 관측정의 위치 및 행·열·층의 격자망을 나타낸 것이다. 격자망 설정 시 격자의 크기는 터널의 실제 크기에 일치하도록 설정하였다. 본 연구의 지하수 유동 개념모델에서는 상부, 하부, 좌측 및 우측 경계를 모두 불투수 경계로 처리하였고, 지하수 함양은 발생하지 않으며, 초기수두는 100m로 모델 영역 전체가 포화상태인 것으로 가정하여 모델을 단순화하였다.

본 지하수 유동 모델에서는 터널 굴착 속도를 5m/day로 가정하였으며, 터널 전체 구간을 한번에 굴착하는 것으로 모사하여 민감도를 분석하였다.

그림 2는 초기압력수두, 수리전도도, 비저유계수 및 비산출률의 변화에 따른 터널 내로의 지하수 유입량 변화를 나타낸 것이다. 본 지하수 유동 모델은 터널 전체 구간을 한번에 굴착한 것이므로 터널 내로의 지하수 유입량은 4가지 모두 시간이 지남에 따라 지수함수적으로 감소한다. 초기압력수두, 수리전도도 및 비산출률이 증가할수록 지하수 유입량은 증가한다. 또한 비저유계수가 증가할수록 지하수 유입량도 증가하나 그 경향이 매우 미약하게 나타났다. 터널 내로의 지하수 유입량은 주로 초기압력수두, 수리전도도 및 비산출률에 의하여 결정되며 이중 수리전도도가 지배적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

그림 3은 터널 굴착에 따른 영향반경의 시간적 변화를 나타낸 것이다. 초기압력수두와 수리전도도가 증가함에 따라 터널 굴착에 의한 영향반경은 증가하며, 수리전도도가 0.1m/day 일 때 영향반경은 터널 굴착 20일 후에 모델영역의 범위를 넘어선다. 비저유계수의 경우 비저유계수가 커짐에 따라 영향반경은 작아지나, 큰 차이를 보이지 않는다. 비산출률에 따른 영향반경은 비산출률이 증가할수록 감소한다. 따라서 터널 굴착의 영향범위는 그림 3과 같이 주로 수리전도도와 비산출률에 의하여 결정되는 것으로 나타났다.

3. 개념모델의 부정류모사 결과

터널 굴착 과정의 지하수 유동 체계의 변화를 분석하기 위해 개념모델을 이용하여 3차원의 부정류모사를 수행하였다. 일반적인 부정류모사 수행과정은 그림 4와 같다.

터널의 입구부는 초기에 굴착되어 방수공사를 시행할 때까지 장기간 수두가 강하되었기 때문에 굴착에 의한 영향반경이 크지만, 출구부는 굴착한 후 방수공사를 시행할 때까지 상대적으로 단기간 수두가 강하되었기 때문에 굴착에 의한 영향반경이 작은 것으로 나타났다(그림 5).

방수공사 모사결과 방수공사 직후 터널 주변에서는 수두회복이 빠르게 진행되며, 지하수 함양이 발생하지 않는 것으로 가정하였기 때문에 시간이 지남에 따라 터널 주변에서는 수두가 회복되지만, 터널 외곽지역에서는 수두가 강하되는 것으로 모사되었다(그림 6).

4. 모델적용결과

그림 4의 방법으로 실제 여수지역의 터널 굴착에 대한 3차원 부정류모사를 수행하였다. 모델 영역에 위치하는 하천에 해당하는 격자점의 경우 지형도 상에 나타난 하천 수두값을 이용하여 일정수두경계로 설정하였으며, 지형도 상에서 터널 구간의 동서쪽 분수령에 해당하는 경계 외부는 비활성 격자점으로 설정하였다.

민감도 분석 결과 수리전도도가 지하수 유동 및 유출량에 가장 큰 영향을 미치므로 지하

수 함양률, 비저유계수 및 비산출률을 일정한 값으로 고정시키고, 수리전도도를 변화시키면서 정류모사를 여러 번 수행하여 모델을 보정하였다.

정류모사 결과 전체적인 지하수 유동 방향은 남서방향이며, 고지대로부터 저지대 하천으로 유입되는 경향을 잘 보여준다. 터널 굴착 완료 후 굴착에 의해 수위강하가 발생한 영향 범위는 터널의 북쪽으로 약 300m, 남쪽으로 약 640m 정도이다. 터널 내로의 지하수 유입량은 굴착 완료 시 약 $5780\text{m}^3/\text{day}$ 의 값을 가지는 것으로 모사되었다. 앞에서 언급한 바와 같이 터널 내 지하수 유입량은 암반의 수리전도도에 의해 지배적인 영향을 받는다.

터널 라이닝 및 방수공사 후의 지하수 유동 체계의 변화를 분석하기 위하여 방수공사 구간에 해당되는 격자를 비활성 격자로 설정하고 굴착 완료 후 730일 동안 시간에 따른 모델 영역 전체의 수두 변화를 모사하였다. 모사결과 방수공사 730일 후의 전체적인 지하수 유동 체계는 정류모사 결과와 유사한 것으로 나타났다.

5. 결론

개념모델을 설정하여 초기 압력수두, 수리전도도, 비저유계수, 비산출률에 따른 터널 내로의 지하수 유입량을 분석한 결과 수리전도도의 민감도가 가장 크게 나타났고, 비저유계수의 민감도가 가장 작게 나타났으며, 터널 굴착에 의한 수위강하 영향반경은 수리전도도와 비산출률에 의해 좌우되는 것으로 분석되었다.

부정류모사 결과와 본 모델에서 계산된 지하수 유입량은 모델에서 가정한 수리전도도의 변화에 따라 매우 민감하게 달라질 수 있으므로 예측 결과의 신뢰도를 높이기 위해서는 연구 지역에 대한 정밀한 수리지질학적 자료가 확보되어야 한다.

참고문헌

- 이병대, 2001, 영천댐 도수로터널 굴착과 관련된 수리지질학적 특성 연구, 부산대학교 대학원 이학박사 학위논문.
- 정현영, 송무영, 이경주, 2001, 지하 석유비축기지 주변의 지하수 개발에 의한 수리지질학적 영향의 수치해석 연구, 지질공학회지, 11-1, 37-50.
- 허준석, 정일문, 허준행 조원철, 1997, 해저 및 하저터널로의 지하수 유입에 관한 정량적 분석, 대한토목학회 논문집, 17(II-1), 13-22.

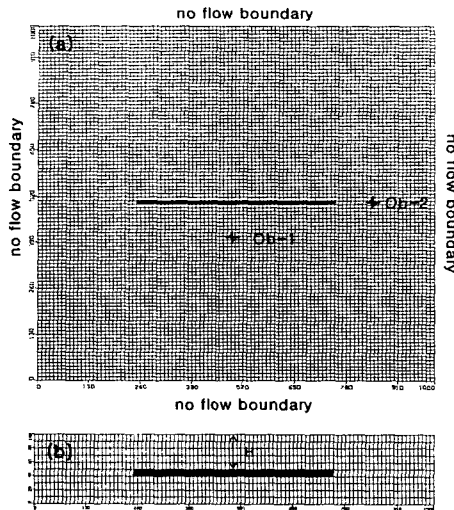


그림 1. 민감도 분석을 위해 설정된 개념모델 : (a) 평면도, (b) 단면도.

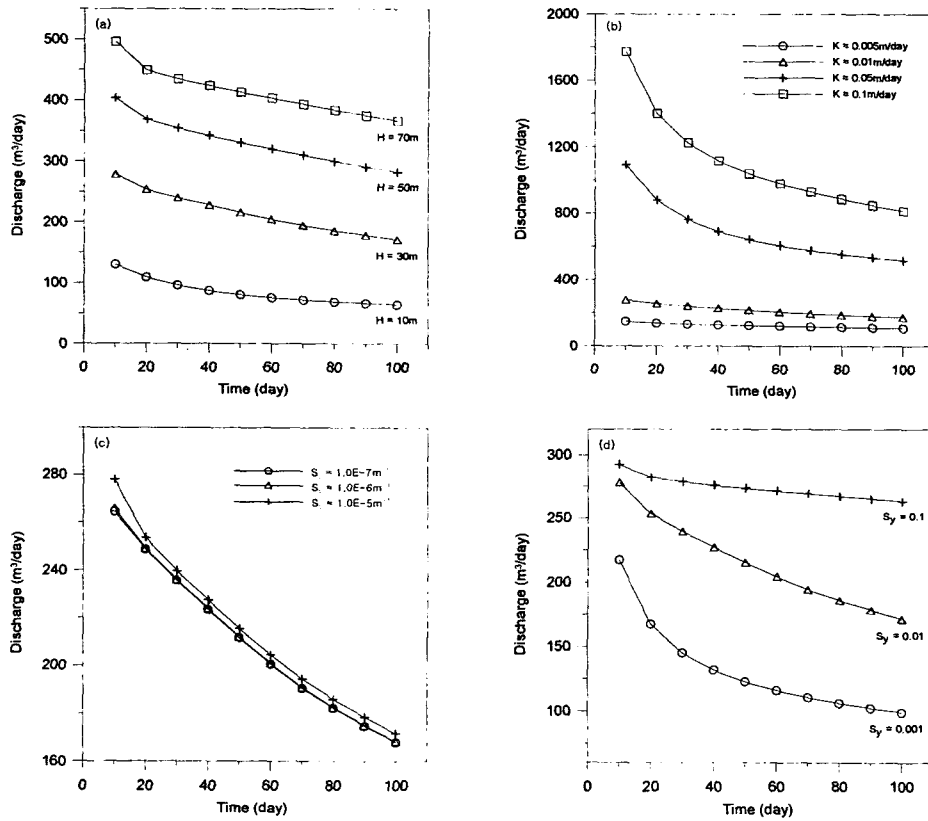


그림 2. 시간에 따른 터널 내로의 지하수 유입량 변화.

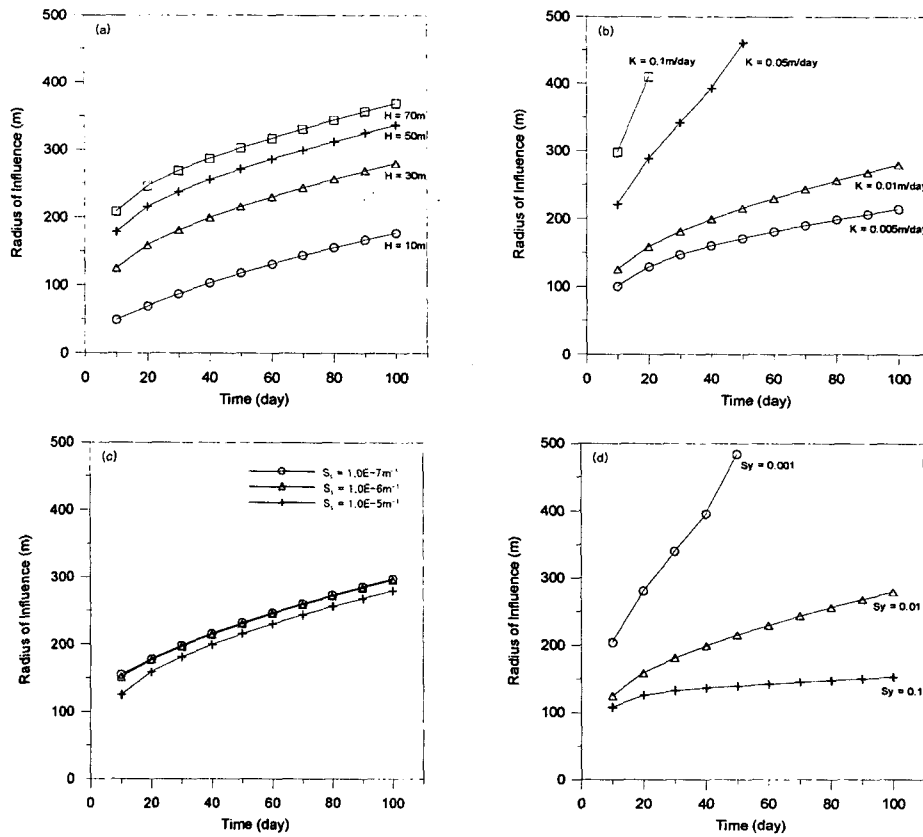


그림 3. 터널 굴착에 의한 시간에 따른 영향반경.

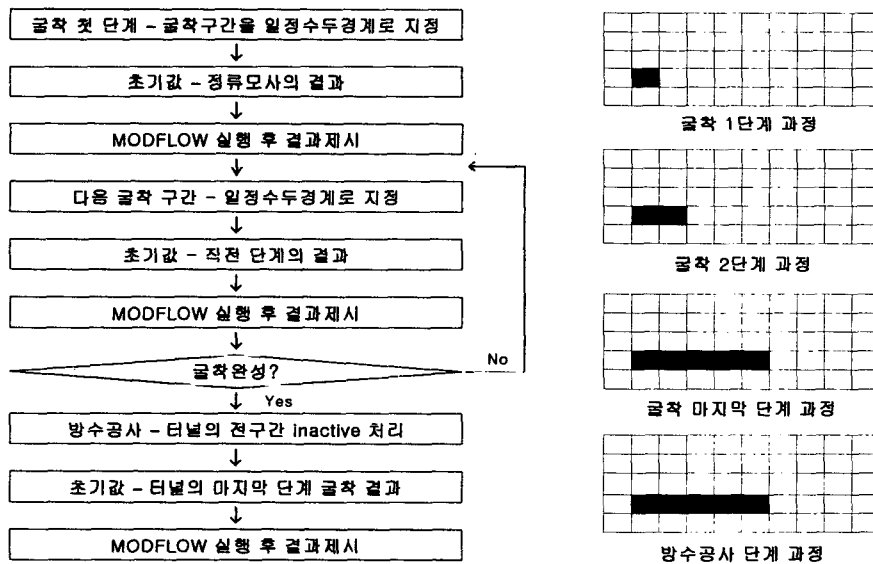


그림 4. 터널 굴착에 대한 부정류모사 수행과정.

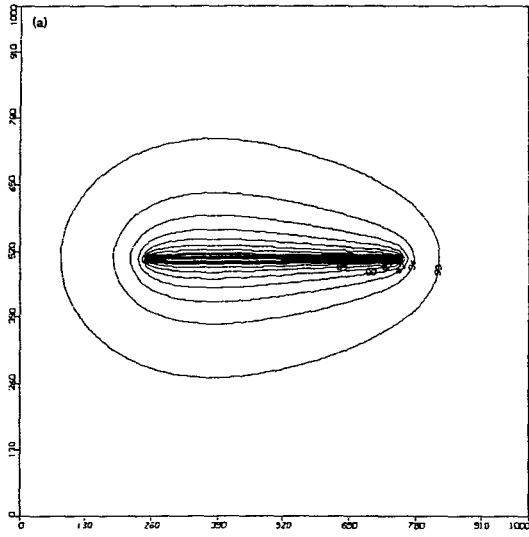


그림 5. 터널굴착 100일 후의 등수위선도.

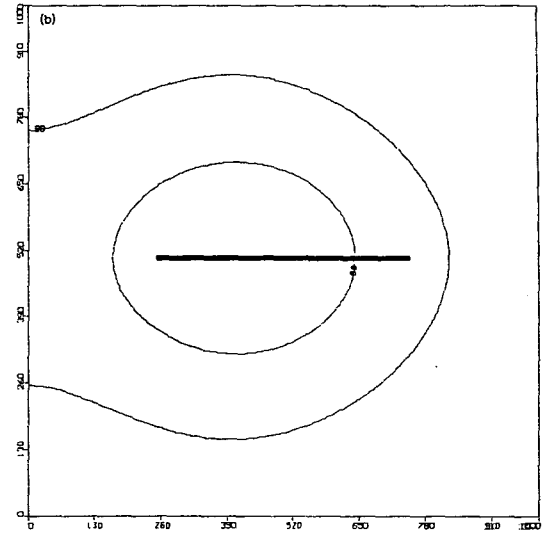


그림 6. 방수공사 300일 후의 등수위선도.