한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회
2006년 4월 14일 동국대학교

터널에서의 지하수 용수량 및 배수용량에 관한 특성

김락현[1*] · 이대영[2] · 배규진[2] · 양인재[3]

[1]환경관리공단 토양지하수사업처
[2]한국건설기술연구원 지반연구부
[3]대한콘설탄트 지반공학부
e-mail: acezeta@korea.com

요 약 문

배수공법으로 터널을 설계할 때 다양한 지질조건에 따라 터널내로 유입되는 지하수 용수량과 배수관의 배수능력을 비교 검토하였다. 기존 설계 기준에 의한 터널 배수관은 다양한 지질조건을 가지는 대수층의 수리전도도에 따라 안정성 여부가 달라지는 것을 알 수 있었다. 기존 배수관 (Φ300m/m)으로 터널을 설계할 경우 투수성이 좋은 석회암 구간 및 파쇄대 구간에서는 문제가 생길 가능성이 높고, 풍화 받지 않은 암반층의 경우에는 터널길이 20km까지 지하수 용수량을 수용 가능한 것으로 판단된다.

주제어 : 배수공법, 터널, 지하수 용수량, 대수층, 수리전도도

1.서론

일반적으로 터널 굴착 중에 발생되는 현상들 중 지질조건에 따라 터널내로 유입되는 지하수 유출이 문제가 되는 경우가 종종 발생한다. 이러한 터널내 유출수는 지하수 대수층의 규모, 수리학적 성질, 지질구조, 투수성, 지하수위, 수압 등에 따라 발생빈도와 규모가 다르게 발생하지만 터널 중심선상의 지형적 특성, 단층존재여부, 투수성 지층의 분포특성으로 미루어 가능성을 예측할 수 있다. 이러한 터널내 유출되는 지하수 용수를 처리하기 위한 배수와 관련된 터널 설계개념은 크게 두 가지로 나눌 수가 있다. 하나는 배수개념에 의한 설계로 라이닝 배면에 지하수를 유도하는 배수관을 매설하는 배수공법과, 다른 하나는 터널 굴착 후 라이닝의 주변을 완전 방수 처리하여 라이닝 내부로 지하수가 침투하지 못하도록 하는 비배수 공법(완전 방수 공법)이다. 배수공법으로 터널을 시공할 때, 도로공사 설계기준에 의하면 터널 길이 2km이하의 터널은 배수관 규격을 Φ300m/m으로 적용하고, 길이 2km이상인 터널인 경우는 별도의 용량 계산에 의해 배수관 단면을 결정하도록 되어 있다. 따라서, 본 연구는 배수공법으로 초장대터널을 시공할 때, 지질조건에 따른 터널내로 유입되는 지하수 용수량을 각각 산출하여, 현재까지 사용되어 온 터널내 종배수관의 적절성 여부 및 문제점을 살펴보는데 목적이 있다.

2.본론

터널 내 유입되는 지하수 용수는 굴착초기에 집중적으로 유출되거나 장기적으로 유출하는 것으로 구별되며 이러한 용수상태나 용수량은 주로 지하수를 보존하는 대수층의 수리전도도, 저류계수 등과 같은 특성에 영향을 받는다. 일반적으로 터널내 유출량에 큰 영향을 미치는 대수층의 수리전도도는 대수층의 지질, 암상 및 풍화정도에 따라 다양한 범위의 값을 가진다. 본 연구에서는 3가지의 지질조건 (석회암, 파쇄대 및 풍화 받지 않은 암반층의 경우)에 따른 수리전도도

에 따른 터널측벽 유입량을 알아보았다. 지하수 용수량 계산은 Goodman 경험식인 식(1)을 이용하여 유출량을 계산하였다.

$$Q = \frac{2\pi K_s H_0}{\ln(\frac{4L}{d})} \quad (1)$$

K_s : 암반수리전도도 (투수계수), H_0 : 터널중심에서 지하수위간 거리,
L : 터널천단부에서 지하수위간 거리, Q : 지하수 침투유량,
d : 터널의 환산 직경

단, 유출량 계산에 사용된 값들은 다음과 같은 가정으로 산정하였다. 터널중심에서 지하수위간 거리는 100m, 터널천단부에서 지하수위간 거리는 94m, 터널의 직경은 13m를 적용하였다. 산출된 유출량 결과는 석회암 (K=30m/d)의 경우 Q=3.89m^3/min, 파쇄대 (K=10m/d)의 경우 Q=1.29m^3/min, 풍화받지 않은 암반층 (K=1.0×10^{-1}m/d)의 경우 Q=0.01m^3/min으로 나타났다. 또한, 터널 길이를 1km에서 30km로 변화시켜 터널 종점부에서 대상수량을 살펴보면 그림1과 같이 나타났다. 터널길이에 따른 대상수량을 검토한 결과, 터널의 측벽 종배수구가 수용해야 할 대상수량은 터널길이와 비례적으로 증가하는 것으로 나타났고, 수리전도도가 큰 석회암 지역에서 수용해야 할 대상수량도 상대적으로 다른 파쇄대 지역 및 풍화 받지 않은 암반층 지역보다 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

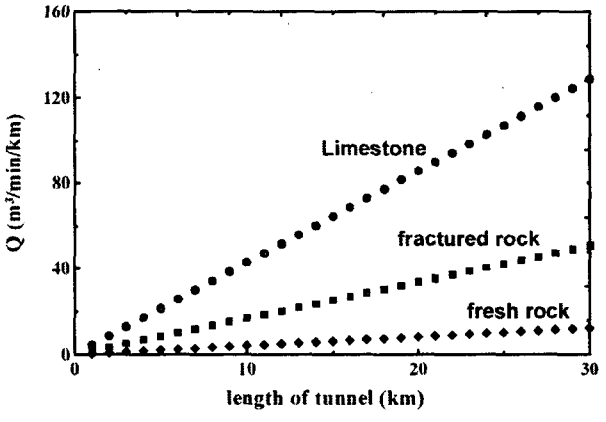
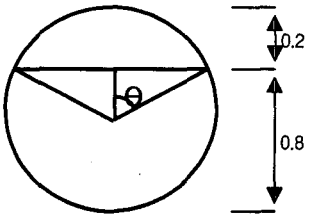


그림 1. 터널길이에 따른 지질암상별 대상수량

또한, 터널의 배수용량을 산정하기 위하여 배수관 단면적의 80%만 흐르는 개수로 흐름으로 가정하여 배수용량을 계산하였다. 터널이 길어지면 터널내 유입수가 증가하므로 터널의 측벽 종배수관의 크기를 Φ300m/m ~ Φ500m/m으로 변화시키고, 터널종단경사가 배수용량 결정에 큰 영향을 주므로 종단경사(I)을 0.1~3.0%로 변화시켜 배수구의 통수능력을 검토 및 산출하였다 (그림 2).



·통수단면적 : $A=\pi d^2/4(2-2\theta/360)+r^2\sin\theta\cos\theta$

·윤변 : $R=A/P=A/[\pi d(1-2\theta/360]$

·조도계수 :n=0.013

·θ=53.13°

·$Q = A \cdot V = A \cdot 1/n\ R2/3\ I1/2 \times 60$

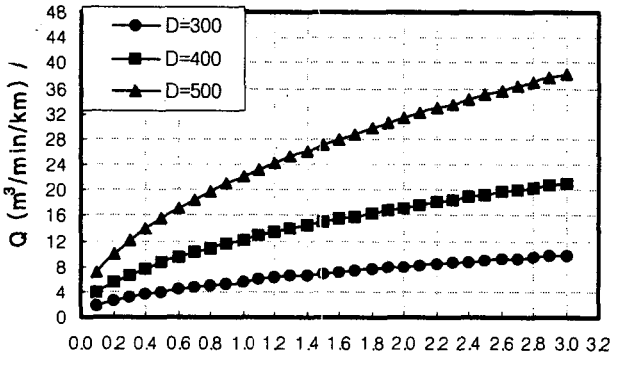


그림 2. 배수구 크기 및 터널종단경사에 따른 통수능력

터널의 측벽 종배수관의 크기와 터널종단경사에 따른 배수구의 통수능력을 검토한 결과, 배수관의 직경이 100mm 증가할수록 통수능력은 거의 2배 가까이 증가하는 것으로 나타났으며, 터널종단경사 0.4%를 기준으로 0.4%이하에서는 터널경사가 증가할수록 통수능력이 상당히 크게 증가하지만 0.4%이상에서는 오히려 증가율이 더 작아지는 것으로 나타났다. 실제 터널은 종단경사 0.3~2.0% 사이에서 설계되므로 본 계산결과의 검토과정에서는 터널종단경사의 한계값을 2.0%로 결정하고 각 암반별 터널길이에 따른 대상수량과 배수구의 통수능력을 비교 및 검토하였다. 터널종단경사 2.0%를 한계 값으로 적용할 경우, 터널연장 배수관의 지름이 Φ500m/m인 경우에는 석회암 지대는 3km, 파쇄대 지대는 17km, 풍화받지 않은 암반층 지역은 30km까지 수용이 가능한 것으로 나타났다. 반면에, 터널연장 배수관의 지름을 Φ400m/m로 설계할 경우에는 각각 석회암 지대는 1km, 파쇄대지대는 5km, 풍화받지 않은 암반층 지역은 30km까지 수용이 가능한 것으로 나타났다. 반면에, 터널연장 배수관의 지름을 Φ300m/m로 설계할 경우에는 석회암 지대에서 배수용량에 문제가 발생하며, 파쇄대지역은 1km 및 풍화받지 않은 암반층 지역은 20km까지 수용 가능한 것으로 나타났다. 본 결과는 터널종단경사 2.0%일 경우에 적용배수관이 수용할 수 있는 대상수량을 터널연장으로 표현한 것이므로 터널종단경사가 2.0% 이하일 경우에는 적용배수관이 수용할 수 있는 터널연장은 더 줄어들게 된다.

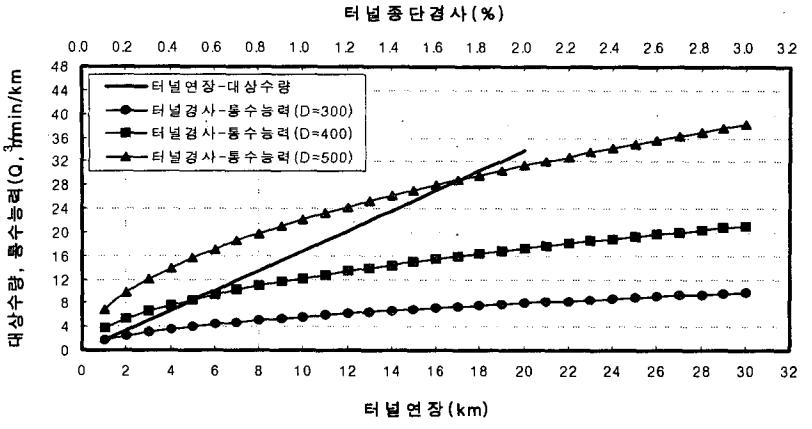


그림 3. 파쇄대지역 (K = 10 m/d)의 터널연장 및 배수구 크기, 터널종단경사에 따른 터널 종점부에서의 통수능력

3.결론

배수공법으로 터널을 시공할 경우 터널 배수관의 선정에 있어 지질조건에 따라 배수능력의 안전성 여부가 달라지는 것을 알 수 있었다. 기존 배수관으로 터널을 설계할 경우 투수성이 좋은 석회암 구간 및 파쇄대 구간에서는 터널 길이에 따라 터널 종점부에 이르러 문제가 생길 가능성이 높고, 일반적으로 풍화 받지 않은 암반층 대수층에서는 기존의 배수관 시스템으로도 큰 문제가 없을 것이라 판단된다. 따라서, 투수성이 높은 석회암 구간이나 파쇄대가 존재하는 구간에 초장대 터널을 건설할 경우 배수시스템에 문제가 생길 가능성이 크기 때문에, 배수용량이 큰 배수시스템을 적용하거나 새로운 개념의 배수시스템이 고려되어야 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1) 이병대, 성익환, 함세영, 조병욱, 김정숙, 박재현, 2000, 도수로터널 굴착에 따른 주변지역의 지하수위 변동과 단열구조의 관련성 연구, *지질공학*, 10(2), 143-162.

2) 이병대, 함세영, 이춘오, 조병욱, 성익환, 2001, 도수로터널 굴착에 따른 지하수 유출량과 단열의 관련성, *지질공학*, 11(3), 327-337.

3) 이인모, 2000, 터널(II)-터널과 지하수, *한국지반공학회지*, 16(9), 44-59.