

철도 터널 공사시 지하수 발생량 산정에 관한 연구

Evaluation of Groundwater Flow on Railroad Tunnel Excavation

어성욱*, 안태봉**, 최승선***

Oa, Seong-Wook* Ahn, Tae-Bong** Choi, Seung-Seon***

ABSTRACT

Tunnel excavation is an inevitable process for railroad construction in Korea and it being a one of the major issues of its environmental impact assessment. Ground water flow by tunnel excavation is an important parameter to determine environmental effects. The current method to determine the ground water flow is used a unit number induced a highway construction site. But it does not consider any site characteristics; ground water level, soil properties and others. The purpose of this study is to suggest the determination way of ground water flow considering site characteristics in tunnel construction.

1. 서 론

철도 건설 공사에서 선형의 특성상 터널 공사는 불가피한 공정의 하나이며, 또한 철도 건설 공사에서 가장 빈번히 유발되는 환경영향이 지하수 발생 및 유출에 의한 환경의 영향이다. 그러나 국내의 터널 공사에 의한 지하수 발생량 산정은 몇몇 고속도로 공사에서 실측한 자료를 원단위로 사용하고 있는데 이는 지하수위, 현장 토질 특성 등에 대한 현장 상황의 고려가 전혀 되지 않은 상태에서 일반적인 발생량을 적용함으로써 실제 발생량과 잘 맞지 않고 있다. 본 연구는 지하수위, 토질 등의 현장 상황을 고려한 지하수량 산정 기법을 제시함으로써 철도 터널 공사 후의 지하수위 변화에 의한 환경영향을 보다 정확히 평가하기 위하여 수행되어 졌다.

2. 터널폐수 발생량 산정 방법

2.1 기존 철도 터널 공사의 지하수량 산정

이제까지 철도터널 공사를 위한 환경 영향 평가에서 사용된 터널 폐수량 산정 방법은 몇몇 현장에서 실측된 자료를 이용하여 단위 길이 당 지하수 발생량으로 계산하여 산정되어지고 있다.

* 책임저자 : 우송대학교 교수, 정회원

** 우송대학교 교수, 정회원

*** 한국철도시설공단 품질안전실 부장

표 1 에 터널 폐수량 산정의 기준이 된 국내 고속도로 터널 공사의 실측 지하수량 발생 자료를 보여주고 있는데 동일 노선의 동해고속도로 상에서 1, 2 및 3 터널의 단위 유출량은 0.01 m³/min/km에서 1.373m³/min/km의 범위에서 나타나 약 140배에 이르는 차이를 보여주고 있다. 표 1의 자료에 나타난 터널 폐수는 전체가 지하수 유출량으로 각 구간의 지하수위와 지질 특성에 따라 차이를 보이는 것은 당연하며, 지하수 유출량은 결국 지하수위와 토양의 투수계수에 따른 함수이며 단위길이 당으로 표시될 수 없는 수치임을 반증하는 것이기도 하다.

표 1. 터널 공사 시 지하수 유출량 실측결과

구분	터널연장(m)	유출량 (m ³ /d)	단위 유출량 (m ³ /min/km)
동해고속도로(동해-주문진)1터널	770.0	10.4	0.010
동해고속도로(동해-주문진)2터널	600.0	352.8	0.408
동해고속도로(동해-주문진)3터널	683.0	1,351.0	1.373
익산-포항 고속도로(익산-장수간)신정터널	1,212.0	99.7	0.057
익산-포항 고속도로(익산-장수간)물곡터널	859.5	250.0	0.202
익산-포항 고속도로(익산-장수간)침곡터널	2,536.0	412.1	0.113
최소	600.0	10.4	0.010
평균	1,110.0	412.7	0.361
최대	2,536.0	1,351.0	1.373

2.2 원단위 적용 방법

현재 이용되고 있는 철도터널 폐수량 산정방법은 거의 모든 공사에서 표 1의 자료에 나타난 산술 평균값인 0.361 m³/min/km 값을 사용하여 여기에 단지 터널 길이만을 곱하여 지하수 발생량을 산정하고 있다. 이 원단위를 이용한 터널 폐수량 산정방법을 실제 국내 일반철도 D선 공사 중 K와 S 터널의 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

K와 S 터널의 공사는 양방향 굴착으로 이루어지며 따라서 2개소의 막장이 발생한다. 각 막장에서 발생하는 장비 사용에 따른 폐수량은 120 m³/d 로 가정한다. 공사지역의 터널측벽에서 지하수의 유입은 공사지역의 폐수와 혼합되지 않게 전량 배수하는 것으로 계획하였다. 표 1에 나타난 2차선 도로 터널 평균값인 0.361 m³/min/km에서 65% 정도가 막장의 터널폐수와 혼합한다고 가정하고, 도로 2차선 터널의 주변장(32 m)과 단선 철도터널의 주변장 길이(19 m)의 차이를 고려하여 원단위의 58%를 고려한다.

이상을 고려하여 아래 식과 같이 기준 원단위가 산정된다.

$$0.361 \text{ m}^3/\text{min}/\text{km} \times 0.58 \times 0.65 = 0.14 \text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$$

여기서 계산된 각 터널의 폐수 발생량은 표 2에 나타낸 것과 같다.

표 2. D 선 공사시 터널 폐수 발생량 산정결과

구분		연장(m)	터널폐수발생량(m ³ /d)			비고
			터널측벽유입수	장비 사용수량	계	
K 터널	1 구간	479	97	120	217	
	2 구간	559	113	120	233	
S 터널	1 구간	125	25	120	145	
	2 구간	165	33	120	153	

표 3은 현재 진행 중이거나 계획 중인 철도 환경영향평가서 상에 나타난 터널의 폐수 발생량 산정 결과이다. 여기에서도 대부분의 구간에서 같은 값을 사용하고 있으며 단지 터널의 길이와 단선과 복선의 차이만을 나타낼 뿐 모든 지역에서 같은 양의 지하수가 발생되는 것으로 계산되고 있다.

표 3. D 선 공사시 터널 폐수 발생량 산정결과

구분		연장(m)	터널폐수발생량(m ³ /d)			비고
			터널측벽 유입수	장비 사용수량	계	
J 선	SK1	1,030	296.6	63.8	360.4	0.361 m ³ /min/km x 0.6 x 1.0 = 0.217m ³ /min/km (복선철도, L=32 m)
	SK2	483	139.1	63.8	202.9	
	JJ	4,695.5	1,352.3	63.8	1,416.1	
	OK1	730	210.2	63.8	274.0	
	OK2	1,085	312.5	63.8	376.3	
	OK3	6,412	1,846.7	63.8	1,910.5	
PS 선	1 구간	5,180	922	100	1,022	0.361 m ³ /min/km x 0.65 x 0.76 = 0.178 m ³ /min/km (복선, L=25 m)
	2 구간	2,657	473	100	573	
	3 구간	5,955	1,060	100	1,160	

2.3 지하수 Model을 이용한 수위 저하량 산정

최근의 철도 터널 환경영향평가에서는 지하수위 변동 예측을 위해 지하수 수문 모델을 사용하고 있다. 지하수 수문 모델 구축을 위해서는 현장조사를 우선적으로 실시하고 이를 그대로 도면에 옮기는 실내작업을 시행해야 한다. 기초적인 모델구조가 형성되면 대수층 수리계수와 기타 토양 자료, 기상자료 등의 모든 조사 자료들을 검토하고 종합하여 수학적 모델로서 현장의 대수층을 그대로 묘사할 수 있도록 현장 자료를 입력한다. 평형상태 simulation에서 투수계수를 미지수로 하고 기타 자료는 조사된 값을 입력한 후 바꾸어 가고 최종적으로 두 수위 값이 일치되는 상태의 투수계수를 이후 모델 분석에 이용하게 된다. 이 과정을 검증과정이라 하며 모델 구축에 있어서 가장 중요한 부분이다. 평형상태에서 모델구축 후 1년간 장기 수위 관측 자료를 이용하여 비평형 상태에서 모델 재검증을 수행한 후 완전한 모델을 구축한 후 이 모델을 이용하여 조건별 미래를 예측한다.

D 선 철도건설 공사에서 사용한 지하수위 변동 예측을 위한 Model 사용 방법은 다음과 같다.

- (1) 격자망 설정(Grid installation) : 본 해석 영역에서 격자의 크기를 10m x 10m로 일정하게 구성하였다. 따라서 K 터널의 격자망은 150열 x 100 행(1500m x 1000m)의 1층으로 15,000개의 셀로 설정하였으며 S터널은 50열 x 50행의 1층으로 2,500개의 셀로 설정하였다.
- (2) 수리적 특성이 상이한 지층의 분포를 감안하여 층을 나누는 것은 모델을 복잡하게하고 오차를 증대시킬 수 있으므로 1개 층에 등가 계수를 적용하였다(토사층 : 1×10^{-2} , 풍화암 : 5×10^{-3} , 연암 : 5×10^{-4} , 경암 : 5×10^{-5} cm/sec). K 터널, S 터널의 투수계수는 각각 연암 및 풍화암의 투수계수를 등가 투수계수로 적용(수평방향은 등방성으로 가정하였으며, 수직방향은 지층의 압밀작용을 고려하여 수평방향 투수계수의 1/10배로 감소시켜서 적용
- (3) VISUAL MODFLOW를 이용한 지하수위 변화 예측(Model 적용 인자는 표 4 참조)

이상의 방법으로 수위 변화를 예측한 결과 K, S 터널에 대해 각각 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었으며 그 결과를 그림 1과 2에 나타내었다.

1) K 터널

- a. 터널 굴착 후 우기 시 지형이 높은 부분의 지하수는 낮은 계곡부 및 평지로 강우량이 유출되고 암반층을 침투하여 터널 내로의 유출량은 매우 적게 나타났다.
- b. 지하수위 분포 결과는 터널 중간부의 대심도 구간에서 최대 1 m 정도의 수위 저하량을 나타내었으며 그 밖의 구간에서의 수위변화는 미미하였다. 이는 등가투수계수 개념으로 균일한 투수계수를 감안한 결과이므로 실제 저투수성의 기반암이 대부분을 차지하고 있는 K 터널의 대심도 구간에서도 수위변화는 크지 않을 것으로 판단된다.
- c. 터널 굴착으로 인한 지하수위 저하의 영향범위는 대 심도 구간에서 100 m 정도이다.

2) S 터널

- a. 터널 굴착 후 우기 시 지형이 높은 부분의 지하수는 낮은 계곡부 및 평지로 강우량이 유출되고 암반층을 침투하여 터널내로의 유출량은 매우 적게 나타났다.
- b. 지하수위 분포 결과는 대단면 확폭 단면 구간에서 최대 0.25 m 정도의 수위 저하량을 나타내

있으며 그 밖의 구간에서의 수위변화는 미미하였다.

c. 터널 굴착으로 인한 지하수위 저하의 영향범위는 대단면 확폭단면 구간에서 20 m 정도이다.

표 4. MODFLOW적용 조건

구분		K 터널	S 터널
Grid Mesh		150열 x 100 행(1,500m x 1,000m)	50열 x 50 행(500m x 500m)
투수계수 K(cm/sec)	Kx	5×10^{-4}	5×10^{-3}
	Ky	5×10^{-4}	5×10^{-3}
	Kz	5×10^{-5}	5×10^{-4}
강우량(mm/year)		1,443.7	
흐름해석 modeling		Steady - State 유동해석	

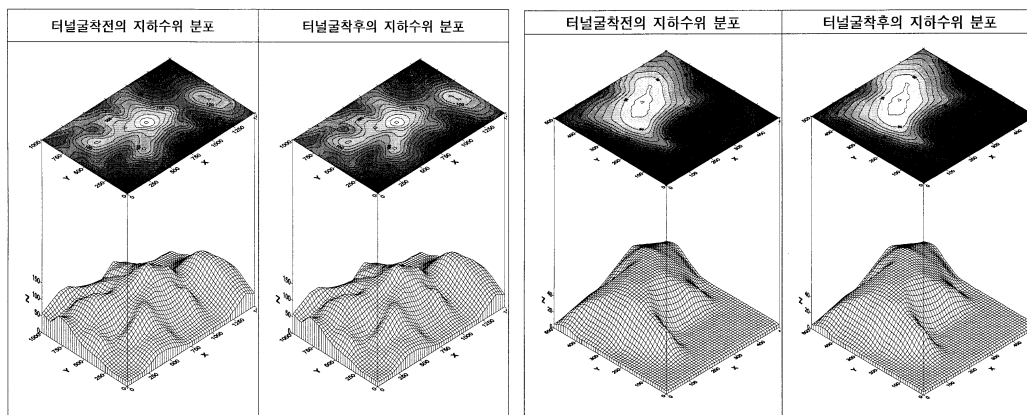


그림 1. K 터널 굴착 후 지하수위 변화 그림 2. S 터널 굴착 후 지하수위 변화

3. Simulation 결과와 산정된 지하수량의 비교

D 노선의 K와 S 터널의 지하수위 변동 영향 예측결과를 그림 3과 그림 4에 나타내었는데 원으로 표시한 부분이 그 영향원이다. K 터널에서는 직경 100 m 구간에서 최대 1.0 m의 지하수위 강하가 예측되었으며, S 터널에서는 직경 25 m 구간에서 최대 0.25 m의 지하수위 강하가 예측되었다.

산정된 수위 강하를 지하수량으로 환산하면 K 터널은 7,850 m³이 되며 S 터널은 78.5 m³이 된다. K 터널은 S 터널의 100배에 가까운 지하수가 발생되는 것으로 나타났으나 원단위를 이용한 지하수량은 K터널이 210m³/d이고 S 터널은 58 m³/d 로 약 4배 정도 밖에 차이를 보이지 않는다. 또한 지하수 발생일수, 즉 공사일수를 역산하여 보면 K 터널이 약 38일이며 S 터널은 1.35일로 나타나고 있다. 이를 실제 터널 공사일수와 비교하여 보면 지하수 발생량이 얼마나 과다 산정되고 있는지를 가늠할 수 있는 한 지표가 될 것이다.

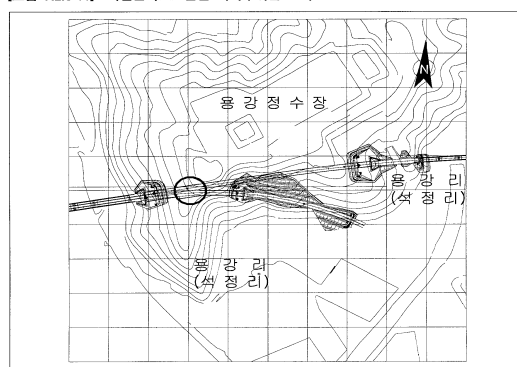
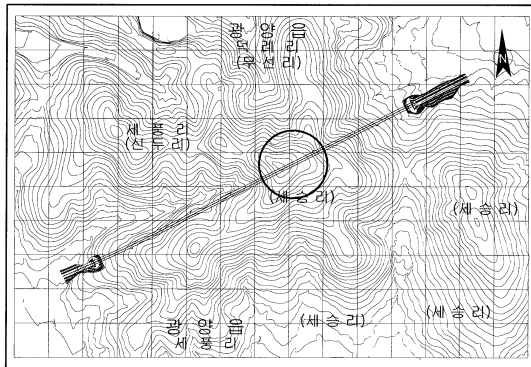


그림 3. K 터널의 지하수위 변동 영향 원 그림 4. 터널의 지하수위 변동 영향 원

4. 결론

기존의 원단위를 이용한 철도 터널 공사시 지하수 발생량 산정 방법과 지하수 수문 모델을 이용한 지하수 발생량을 비교하였다. 지하수위 변화는 지하수의 터널 유출에 의한 것이므로 지하수위와 지하수 발생량은 밀접한 상관관계를 지닐 수밖에 없다. 그러나 현재의 환경영향평가는 지하수위 분석과 지하수 발생량을 각각 다른 방법으로 산정하여 전혀 상관관계를 지니지 않는 가공의 수치를 만들어 내고 있다.

원단위의 적용은 인구에 의한 오수 발생량, 장비에 의한 폐수 발생량 등 대부분의 경우에서 유사하게 발생하며, 수학적 계산이 불가능할 때 경험적인 값을 일반적으로 적용하는 것이 가능한 항목에 적용하는 것이다. 지하수 발생량과 같이 현장마다 상이한 특성을 지니며, 수학적 함수로 해석이 가능한 경우에는 원단위의 사용이 전혀 의미를 지닐 수 없게 된다.

터널 공사에 의한 지하수 발생량의 산정은 지하수 수문 모델에 의한 결과를 이용하여 그 영향 범위와 투수계수를 적용하여 만들어져야 할 것이다.

5. 참고문헌

1. J - K 구간 복선화 사업 환경영향평가 보고서(2005), 한국철도시설공단
2. P - S 간 철도건설 사업 환경영향평가 보고서(2005), 한국철도시설공단
3. K 지역 연결철도 사업 환경영향평가 보고서(2004), 한국철도시설공단