

PE18) 전기비저항탐사 자료와 지하수 모델링을 이용한
 직리터널 지역의 지하수 유출 평가

김남훈*, 함세영, 정재형¹
 부산대학교 지구환경시스템학부,
¹한국건설기술연구원 지반공학연구부

1. 서 론

터널공사에 따른 지하수 유출은 터널공사의 안전뿐만 아니라, 자연환경도 훼손시킨다. 터널 내로의 지하수 유출 정도를 정확하게 예측할 수 있다면 지하수 유출에 의한 물적·인적 손실을 줄일 수 있을뿐더러, 적합한 터널시공방법을 실시하여 지하수를 보존할 수 있다. 본 연구지역에서는 경기도 성남시 직동에 위치한 직리터널 지역의 지하수 모델링을 통하여, 터널 내로의 지하수 유출 정도를 평가하고자 하였다. 또한 전기비저항탐사 자료와 지하수위 관측자료 비교를 통하여, 지하수 유출에 따라서 발생하는 지하수위 하강을 산정하였다.

2. 지질 및 수리적특성

2.1. 직리터널 일대의 지형과 지질

직리터널이 위치한 연구지역은 행정구역상 경기도 광주시 직동에 위치한다. 북동쪽에 능안산(해발고도 332.7 m)이 위치하고 있으며, 북서쪽이 전체적으로 높고 남동쪽이 낮은 지형으로 그 경사 유형을 따라 직리천과 소하천들이 흐르고 있다.

연구지역의 지질을 보면, 터널이 관통하는 지역에는 선캠브리아기 경기편마암복합체에 속하는 호상흑운모편마암이 넓게 분포하며, 운모편암이 국부적으로 분포한다. 그리고 하천을 따라 신생대 제4기 하성퇴적층이 분포한다(한국건설기술연구원, 2006).

2.2. 지하수위 자료

지하수공 OB-1호공과 OB-2호공은 해발고도는 각각 162 m와 182 m이며, 시추조사가 완료된 시점부터 24시간 간격으로 측정하였다. OB-1호공의 지하수위는 153.8 m(지하 8.8 m), OB-2호공의 지하수위는 155.7 m(지하 26.3 m)로서 서로 비슷한 해발고도를 나타낸다(한국건설기술연구원, 2006; Table 1).

Table 1. Groundwater level measurement.

Observation well	Depth to water (m)			
	1 day later	2 days later	3 days later	4 days later
OB-1	4.3	6.7	8.3	8.8
OB-2	14.3	20.3	26.0	26.3

2.3. 수리전도도 산정

연구지역에 분포하는 암반의 수리전도도와 관련된 수리지질학적 특성을 규명하기 위하여 현장투수시험과 수압시험자료를 분석하였다. OB-1호공에서는 토양층이 잘 나타나지 않아서 OB-2호공에서 현장투수시험을 실시하였다. 3.0 m ~ 4.5 m구간에서 실시하였으며, 수리전도도값은 1.63×10^{-6} m/sec으로 측정되었다.

관측공별로 2회씩, 총 4회의 수압시험을 실시하였으며, 각 관측공의 지하수위 상부와 하부에서 각각 1회씩 실시하였다(한국건설기술연구원, 2006). 두 관측공 모두 지하수위 상부 구간에서는 수리전도도값이 1.47×10^{-6} m/sec ~ 2.36×10^{-6} m/sec이고, 지하수위 하부에서는 2.26×10^{-7} m/sec ~ 3.14×10^{-7} m/sec로서 상부가 하부보다 높은 수리전도도를 보인다.

3. 지하수 저류 변화량

연구지역의 지하수 저류 변화량을 산정하기 위해서 물수지분석방법을 이용하였으며, 연구지역의 증발산량(612.3 mm)은 Thornthwaite 방법, 직접유출량(319.3 mm)은 SCS-CN 방법으로 구했다. 기저유출량은 현재까지 정확하게 조사된 자료가 없기 때문에 한강 유역의 평균값(12.96%)을 이용하였다. (1)식에 의해서 산정한 30년간의 평균 지하수 저류 변화량은 247.1 mm로 연평균 강수량(1354.2 mm)의 18.3%이다. 이는 우리나라 평균 지하수 함양율(강수량의 18.0%)(최병수와 안중기, 1998)과 비슷한 값이다.

$$\Delta S = P - Q_D - Q_S - Q_{ET} \quad (1)$$

여기서, ΔS 는 지하수 저류 변화량, P 는 강수량, Q_D 는 직접유출량, Q_S 는 기저유출량, Q_{ET} 는 증발산량이다.

4. 전기비저항탐사

연구지역에 대한 전기비저항탐사는 터널 갱구부의 잡음에 대한 영향을 배제하고자 터널의 입·출구 및 사면의 위치를 고려하여 터널과 평행한 방향으로 6측선을 설치하였으며, 직각으로 3측선을 설치하였다. 전기비저항탐사 자료는 DIPRO for windows를 이용하여 해석하였다. 연구지역의 지하 약 7 m이하에서 기반암인 호상흑운모편마암이 나타나며, 전기비저항 수치가 약 200 ~ 3000 ohm·m 정도로 관찰된다(Fig. 1). 일반적인 편마암의 전기비저항 수치는 $10^4 \sim 10^6$ ohm·m이다(Telford et al., 1976). 그러나, 연구지역에서 전기비저항 수치가 지하 약 7 m 부근에서 가장 큰 변화를 보이는 것은 편마암의 균열 사이에 존재하는 지하수와 지하수 유동에 의한 영향으로 판단된다(Fig. 1).

5. 지하수 모델링

본 연구에서는 터널 굴착에 따른 지하수 유동 모사를 위하여 Visual MODFLOW ver. 4.2 을 이용하였다. 정상류 모델링을 실시하고 난 후, 터널 굴착 과정 및 굴착 후에 발생하는 지하수 유동체계의 변화를 모사할 수 있는 부정류 모델링을 수행하였다. 부정류 모델링에서는, 터널건설시 그라우팅 정도에 따라서 변화하는 지하수 유출률을 평가하였다

(Table 2).

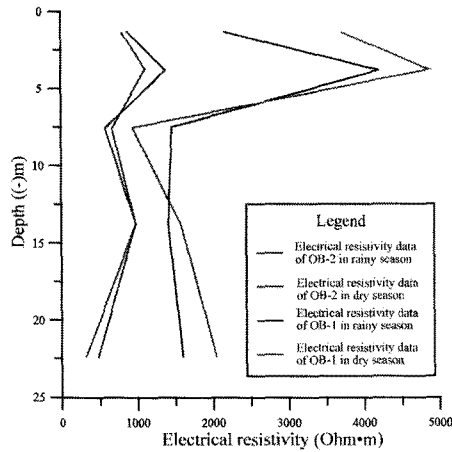


Fig. 1. Electrical resistivity variation with depth.

Table 2. Hydraulic conductance in Jikri tunnel.

	Tunnel Grouting (%)	Hydraulic conductance (m ³ /day)	Groundwater outflow rate (m ³ /day)
Case 1	100	0	0
Case 2	50	3.22	58
Case 3	0	6.44	116

그라우팅을 전혀 하지 않을 경우(Case 3), 정상류 모델링을 통하여 결정한 OB-1호공의 초기 지하수위와 부정류 모델링에 의한 지하수위를 비교하여 보면, 28개월 후의 지하수위 하강 폭은 1.58 m이고, 그라우팅에 의한 차수 효과를 50%로 고려한 경우(Case 2)에는 지하수위 하강 폭은 1.50 m이다(Table 3). 또한 그라우팅에 의한 차수 효과를 100%로 고려한 경우(Case 1), 지하수위 하강 폭은 0.23 m이다. 한편, 전기비저항탐사 자료로 해석한 지하수위(155.6 m)와 OB-1호공에서 관측한 지하수위(153.8 m) 차이는 1.8 m이다.

Table 3. Groundwater level (G.W.L) on OB-1 by transient modeling.

OB-1	Initial water level W _a (m)	8 months later		28 months later	
		Water level, W _b (m, msl)	W _a - W _b (m)	Water level, W _b (m, msl)	W _a - W _b (m)
Case 1	153.62	153.25	0.37	153.39	0.23
Case 2	153.62	146.90	6.72	152.12	1.50
Case 3	153.62	146.78	6.84	152.04	1.58

6. 결 론

본 연구지역에서는 직리터널 지역의 수리적 특성과 전기비저항탐사 자료를 이용하여 지하수 모델링을 실시하였으며, 그라우팅정도에 따른 터널 내로의 지하수 유출 정도를 평가하였다. 또한 전기비저항탐사 자료와 지하수 모델링 결과로부터, 수리적 특성 해석을 위한 전기비저항탐사 자료의 활용가능성을 알아보고자 하였다.

1) 본 연구지역의 지난 30년간(1978~2007)의 연평균 강수량은 1,354.2 mm이며, 연평균 직접유출량은 319.3 mm, 연평균증발산량은 612.3 mm이다. 한편 기저유출량은 한강 유역의 평균값(12.96%)을 적용하였다. 따라서 물수지분석방법에 의한 연구지역의 지하수 저류 변화량은 247.1 mm(강수량의 18.3%)이다.

2) 일반적인 편마암의 전기비저항 수치는 $10^4 \sim 10^6$ ohm · m(Telford et al., 1976)이지만, 연구지역 기반암에서는 지하 약 7 m에서 전기비저항 수치가 약 200 ~ 3000 ohm · m 정도로 측정된다. 이와 같은 낮은 전기비저항값은 편마암의 균열사이에 존재하는 지하수와 지하수 유동에 의한 영향으로 판단된다.

3) 지하수 모델링 결과, 그라우팅에 의한 차수효과를 50%로 하였을 때, 지하수위 하강 폭이 1.50 m로 나타났으며, 이때 터널 유출량은 $58 \text{ m}^3/\text{day}$ 이다. 직리터널의 그라우팅 설계시 그라우팅에 의한 차수효과 기대치가 50%를 넘지 않는다고 했을 때(대우건설, 2006), 터널굴착 후 직리터널의 지하수위 하강 폭은 1.50 m를 크게 넘지 않을 것으로 추정된다.

4) 전기비저항탐사 자료로부터 추정하는 직리터널 지역의 지하수위와 OB-1호공의 실제 지하수위 관측값의 차이는 1.8 m이다. 차수 효과가 50% 일 경우의 지하수위 하강 폭이 1.50 m로 산정되므로, 전기비저항탐사 자료에 의한 지하수위는 불확실성을 내포하는 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발사업인 수자원의 지속적확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 3-4-3)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드린다.

참 고 문 헌

대우건설, 2006, 터널해석보고서, 100p.

최병수, 안중기, 1998, 지역단위 지하수 자연함양을 산정방법 연구, 지하수환경, 5(2), pp. 57-65.

한국건설기술연구원, 2006. 터널건설 환경영향 최소화 기술(III), 162p.

Telford. W. M., Geldart. L. P., Sheriff. R. E., Keys. D. A., 1976, *Applied Geophysics*, Cambridge, England, Cambridge University Press, pp. 451-455.