

# 도수터널내 지하수 유입량과 수리지질특성의 관련성

## Relation between Groundwater Inflow into the Waterway Tunnel and Hydrogeological Characteristics

박재현 (Jae-hyun Park)

한국수자원공사

함세영 (Se-Yeong Hamm)

부산대학교 지구환경시스템학부

성익환 (Ig Hwan Sung)

한국자원연구소 지구환경연구부

이병대 (Byong Dae Lee)

한국자원연구소 지구환경연구부

조명희 (Myong Hee Cho)

부산대학교 지구환경시스템학부

### 1. 서 론

지하 터널굴착 공사에서 지질학적, 수리지질학적 요인이 미치는 영향은 크며, 공사비용 뿐만 아니라 구조물의 안전성에도 영향을 미칠 수 있다. 특히, 터널 굴착에서 수리지질학적 요인과 관련된 터널내 지하수 유입은 공사의 진행과정 뿐만 아니라 터널 주변의 지하수 환경을 크게 변화시킬 수도 있다. 따라서, 굴착에 따른 지하수 환경 변화를 최소화하는 것이 중요한 관건이 된다. 결정질 암반내 지하수 흐름은 절리나 단층 또는 암질의 특성 그리고 이와 관련된 수리적 특성에 좌우되므로 이들의 성질을 이해하여야 할 것이다.

본 연구에서는 도수터널을 대상으로 암질, 지질구조(절리와 단층 등) 그리고 Lugeon값과 터널내로 유입되는 초기 유출량(라이닝 및 그라우팅 이전의 유출량)의 관계를 분석하였으며, 절리와 초기 유출량의 관계에서는 절리간격과 절리간극을 고려하였다.

연구지역은 우리나라의 대표적 도수로 터널인 영천댐 도수로 터널(경북 안동시 임하면 임하리의 임하댐과 경북 영천시 자양면 충효리의 영천댐을 잇는 연장 33km에 달하는 국내 최장의 터널) 중 경북 청송군 현서면 지역이다.

## 2. 지질 및 수리지질

연구지역은 백악기의 경상누층군 하양층군에 속하는 사곡층이 주로 분포하며, 암적색 셰일이 주를 이루고 부분적으로 암녹색 셰일 및 파쇄된 소폭의 사암이 협재한다(수자원공사, 1991). 그리고 지표부는 10m내외의 충적층으로 피복되어 있다. 셰일은 석영반암 관입에 의한 접촉변성에 의해 호온펠스화 되어 있으나 대체로 층리가 발달되어 있다. 층리는 대체로 N80~90W/30~40SW 방향이며, 북측으로 갈수록 층리의 경사가 점점 급해진다.

터널 구간에서는 부분적으로 층리발달과 N40~60W/85NE 절리 및 터널과 평행한 절리교차에 의해 불량한 암질과 지하수 유출 및 소규모 낙반이 발생되기도 있다.

셰일내에 협재되어 나타나며, 층리가 잘 발달되어 있고 부분적으로 파쇄된 사암(폭 5~2m)은 이 지역의 주대수층을 형성하고 있으며 지하수의 주요 통로 역할을 할 수 있는 것으로 생각된다. 사암층은 상류쪽으로 갈수록 퇴적암의 경사가 급해지며, 단층의 방향성이 N80W로 거의 일정함에서도 확인할 수 있다.

연구지역의 터널상부(토피고 약 150m내외)에는 길안천이 횡단하고 있고, 얇은 산과 계곡부가 형성되어 있는데 이러한 계곡부는 터널내의 곳곳에 발견되는 터널과 직교하는 소규모 단층들로 나타나고 있다. 그외에도 현서면과 안덕면에 분포된 퇴적암류에 발달한 습곡구조와 안동단층에 수반되어 발달한 것으로 보이는 단층을 들 수 있다.

## 2. 터널내 지하수의 유입량과 절리 빈도의 관련성

절리빈도는 RMR값에 의해 m<sup>2</sup>당 절리의 개수를 구해주고 이를 scanline method 방식으로 터널연장 단위길이당 절리빈도로 평균값을 취하였다. 중첩구간을 빼고 산정한 절리빈도를 상용좌표(x)상에 그리고 터널 중첩구간을 배제한 초기 유입량을 대수좌표(y)상에 도시하여 둘간의 상관관계를 분석한 결과, 상관계수(-0.18979)가 낮게 나타나며, 절리빈도와 초기 단위 유입량간의 상관성을 확인하기는 어려웠다(Fig. 1). 이것은 절리가 너무 많이 발달하게 되면 절리내에 점토 충전량이 많아져 지하수 유동을 방해하는 역할을 하게 되므로 상대적으로 지하수 유입량이 적어진다고 판단된다.

### 3. 터널내 지하수 유입량과 Lugeon값의 관련성

야외 자료들에 의하면, 수리전도도는 대수정규분포를 하는 것으로 알려져 있다(Sagar and Runchal, 1992; Freeze, 1975). Lugeon Test(Lugeon, 1970)에 의한 Lugeon치(6.2~55.0Lu, 평균 22.5Lu)와 초기 유입량과의 상관성을 분석하였다. Lugeon값을 상용좌표(x)상에 그리고 터널 중첩구간을 배제한 초기 유입량을 대수좌표(y)상에 도시하여 둘간의 상관관계를 분석한 결과, 상관계수는 0.049로서 매우 낮은 상관성을 보이며, 회귀직선의 기울기는 0.0035로서 약한 정비례 관계를 보인다(Fig. 2). 즉, 초기 유입량과 Lugeon치의 상관성은 낮은 편이나 절리빈도보다는 높게 나타난다. Lugeon값의 빈도분포를 보면, 10~30사이에 자료가 집중되어 있으며, 10이하와 30이상에서는 자료의 빈도가 낮다.

### 4. 터널내 지하수 유입량과 우세한 절리 간극의 관련성

터널내 지하수 유입량과 우세한 절리의 간극의 관련성을 분석하였다(Fig. 3). x축의 번호 1은 간극 <0.1mm를, 2는 간극 0.1~1.0mm, 3은 간극 1.0~5.0mm이다. 따라서, 절리간격 <60mm나 60~200mm에서 공히 간극 1.0~5.0mm에 유입량이 집중되어 있음을 알 수 있다. 이는 간극이 커질수록 지하수 유로의 형성이 양호한 것을 나타내어 주는 것이다.

### 5. 터널내에서 나타나는 절리빈도와 Lugeon값의 관계

터널을 따라 절리빈도를 상용좌표(x)상에 그리고 Lugeon값을 대수좌표(y)상에 도시하여 둘간의 상관관계를 분석한 결과, 약한 음의 상관성(상관계수 0.028)을 보인다(Fig. 4). 이는 대부분의 절리들이 점토광물의 충전물이나 방해석 등으로 폐쇄된 절리들임을 암시한다. 따라서, Lugeon값과 절리빈도가 직접적으로 관련되지 않으며, 절리빈도가 높아지면 절리 간극 속에 생성된 점토광물에 의해서 Lugeon값이 오히려 낮아지는 경향을 보인다.

## 6. 지하수 유입량과 단층 및 사암의 분포와의 관련성

지하수 유입량과 단층 및 사암과의 관계를 분석하여 보았다. 먼저, 터널을 따라 단층대의 폭을 상용좌표(x)상에 그리고 지하수 유입량을 대수좌표(y)상에 도시하여 둘간의 상관관계를 분석한 결과, 상관계수는 0.343으로 절리나 수리전도도와의 상관계수보다 높게 나타났으며, 회귀선은  $y = 8.6891\exp(0.1181x)$ 로 나타났다(Fig. 5). 한편, 터널을 따라 나타나는 사암의 폭을 상용좌표(x)상에 그리고 지하수 유입량을 대수좌표(y)상에 도시하여 둘간의 상관관계를 분석한 결과, 상관계수는 0.145로서 절리나 수리전도도와의 상관계수보다 높으나 단층의 폭과 유입량의 상관계수보다는 낮게 나타났으며, 회귀선은  $y = 10.085\exp(0.3491x)$ 로 나타났다(Fig. 6).

## 7. 결 론

본 연구에서는 영천댐 도수로 터널구간 중 경북 청송군 현서면일때의 터널구간에 대해서 절리빈도, 절리간격, Lugeon값, 단층 및 암절과 터널내로 유입되는 초기 유출량(라이닝 및 그라 우팅 이전의 유출량)의 관계를 분석하였다. 또한, 절리간격과 Lugeon값의 관계도 살펴 보았다. 절리빈도와 초기 단위 유입량간의 상관성은 음의 관계로 나타났으며, 이는 절리빈도가 높아지면 풍화산물인 점토가 절리간극에 충전되어 지하수 유동을 방해하기 때문으로 보인다. Lugeon값과 초기 유입량의 상관성은 약한 정의 상관관계를 보인다. 또한, Lugeon값의 빈도가 10~30사이에 집중되어 있으며, 10이하와 30이상에서는 자료의 빈도가 낮다. 우세한 절리의 간극과 터널내 지하수 유입량의 관련성을 보면, 절리간극 1.0~5.0mm에 유입량이 집중되어 있음을 알 수 있다. 이는 간극이 커질수록 지하수 유로의 형성이 양호한 것을 나타내어 주는 것이다.

단층의 폭과 지하수 유입량의 관계를 분석한 결과, 상관계수는 0.343으로 비교적 높게 나타났다. 한편, 사암의 두께와 지하수 유입량의 상관관계를 분석한 결과, 상관계수는 0.145로서 절리나 Lugeon값과의 상관계수보다 높으나 단층의 폭과 유입량의 상관계수보다는 낮게 나타났다.

그러므로, 연구지역에서는 단층이 터널내 지하수 유입량에 미치는 영향이 가장 크며, 사암의 두께, Lugeon값, 절리의 빈도순으로 낮아지는 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 조성일, 송무영, 김경수, 이은용, 1999, 여수 북부지역 화산암의 단열특성과 수리전도도와  
의 관계, 지질공학, 9권 3호, p. 227-241.
2. 한국수자원공사, 1991, 영천댐도수로 실시설계 및 재료원조사 보고서,
3. Freez, R. A., 1975, A stochastic-conceptual analysis of one-dimensional groundwater  
flow in nonuniform homogeneous media, Water Resour. Res., v. 11, p. 725-741.
4. Lugeon, M., 1970, Barrages et Géologie, Dunod, Paris.
5. Sagar, B. and Runchal, A., 1992, Permeability of fractured rock: effect of fracture size  
and data uncertainties, Water Resour. Res., v. 18, p. 266-274.

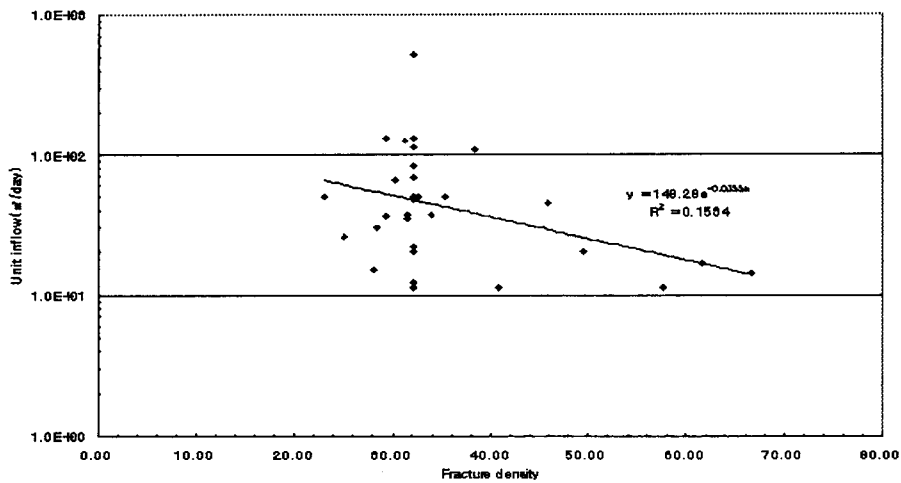


Fig. 1. Unit inflow vs. fracture density with nonoverlapping section.

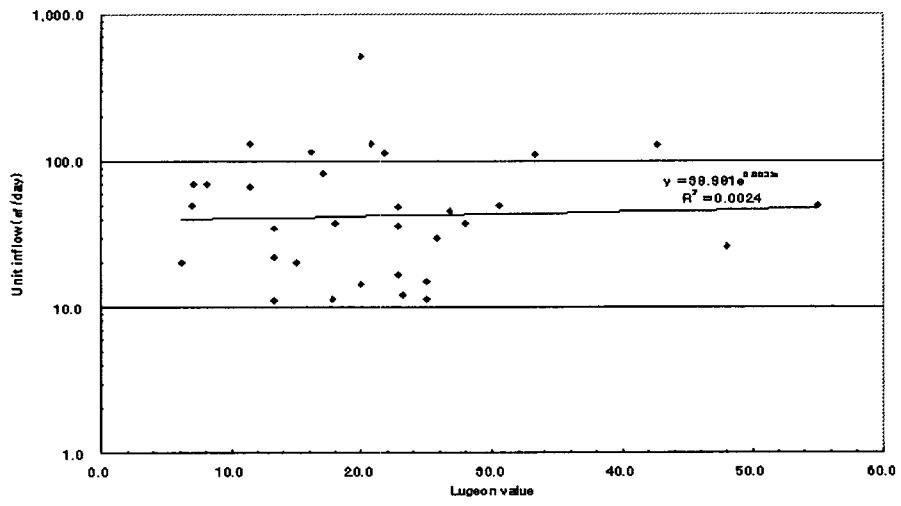


Fig. 2. Unit inflow vs. lugeon value with nonoverlapping section.

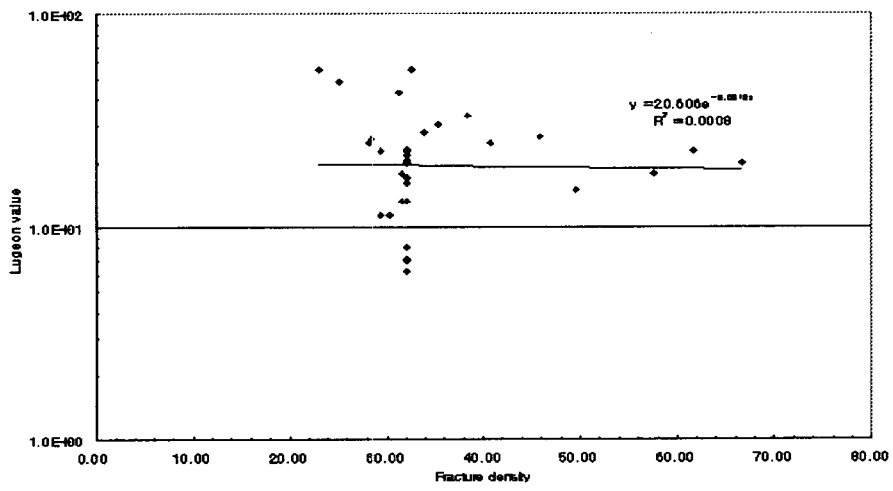


Fig. 3. Lugeon value vs. fracture density.