

## 부산광역시 북서부 화강암지역의 수리상수 산출

이병대

한국지질자원연구원  
blee@kigam.re.kr

### 요 약 문

지하터널과 같은 대규모 지하구조물 건설시 구조물의 안정성을 확보하고 시공성 등의 실시 설계를 위해서는 그 지역의 수리적 매개변수를 파악하는 것이 필수적이다. 부산광역시 북서부에 위치한 금정산 화강암지역의 수리상수를 산출하기 위하여 야외시험과 실내시험을 수행하였으며, 각각의 결과를 서로 비교 분석하였다. 야외에서는 6개의 시추공에서 수압시험을 수행하여 심도 구간별 수리전도도를 구하였고, 실내시험에서는 시추코어를 이용하여 절리투수시험을 실시하여 수리전도를 산출하였다. 수압시험에 의해 산정된 수리전도도는  $2.28E-10$  m/sec ~  $1.49E-06$  m/sec 이며, 절리투수시험에 의해 산정된 수리전도도는  $1.16E-11$  m/sec ~  $3.26E-05$  m/sec 이다.

주요어 : 지하구조물, 수리상수, 수압시험, 절리투수시험, 수리전도도

### 1. 서론

최근 지하철건설, 고속전철공사, 도수로터널 등 대규모 터널 굴착에따른 지하수 유동체계의 변화로 인하여 지하수와 관련된 다양한 문제가 발생되고 있다. 지하터널과 같은 대규모 지하구조물 건설시 구조물의 안정성을 확보하고 시공성 등의 실시 설계를 위해서는 그 지역의 수리적 매개변수를 파악하는 것이 필수적이다. 수리전도도는 야외시험에서 또는 실내실험으로 구해질 수 있다. 실내실험은 작은 크기의 시료를 사용하여 주어진 조건과 수학적 이론으로 수리전도도를 구할 수 있는 이점을 가지고 있다. 그러나 실내실험으로는 야외의 실제상황에서 일어날 수 있는 공간적인 수리전도도 변화를 알아내기가 용이하지 않다. 따라서, 많은 경우에 야외시험이 실내실험보다 실제 자연상태의 수리전도도를 알아내는데 유리하다. 그러나, 야외시험도 역시 복잡한 자연상태의 수리전도도를 완벽하게 파악하는데는 부족한 점이 있다.

금번 연구는 금정터널 굴착 공사의 실시 설계를 위하여 굴착시 발생하게될 터널내로의 지하수 유출과 관련된 기초적인 정보를 얻기 위하여 수리상수를 산출하였다. 연구지역은 부산광역시 북서부의 금정산 화강암지역이다(Figure 1), 연구지역의 동쪽과 서쪽에는 각각 동래단층과 양산단층이 발달하고 있으며, 또한 금정산과 동래단층의 사이 지역인 동래구 온천동 지역에는 동래온천이 위치하고 있다. 금정산지역 및 그 주변지역에 대한 연구로는

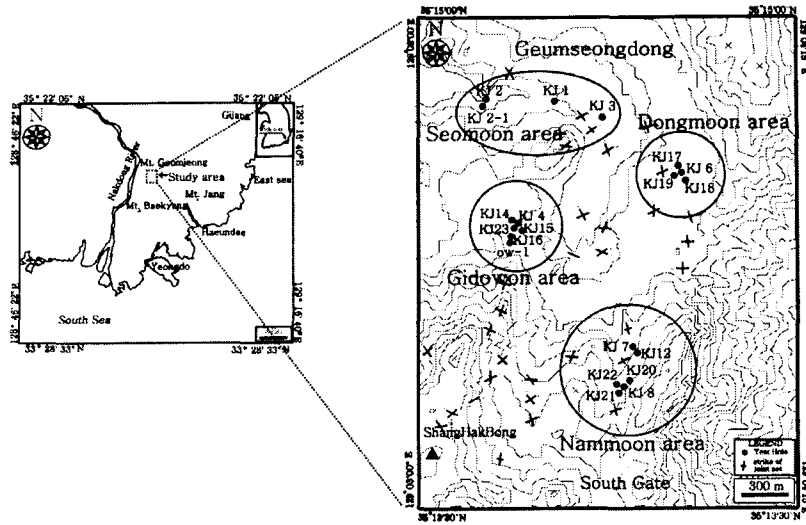


Figure 1. Location of study area and test sites.

금정산-백양산 일대에서 산출하는 지하수 및 용천수에 관한 수리지화학적 연구(함세영 외, 1999, 2000), 동래온천 지열수와 금정산동편 및 동래지역의 지하수의 수리지화학적 특성에 관한 연구(한석중 외, 1999) 그리고 순간충격시험자료를 이용한 금정산지역 화강암류의 수리적 매개변수 연구(함세영 외, 2001) 등이 있다. 금번 연구를 위하여 시험시추공에서 수압시험을 실시하였으며, 시추코어를 이용하여 실내에서 질리투수시험을 수행하였다.

## 2. 수리지질 및 단열구조

연구지역의 지질은 불국사화강암류, 맥암류, 그리고 층적층으로 구성되어 있다. 불국사화강암류는 화강섬록암, 각섬석화강암, 흑운모화강암, 반상화강암, 토날라이트, 아다멜라이트, 미분상화강암으로 이루어져 있다.

토날라이트는 금정산 남부의 중심부와 북서부에 소규모 암체로 분포하고 있다. 본 암은 세립질이고 주로 사장석, 석영 및 각섬석으로 되어 있으며, 녹니석, 흑운모, 스피넬, 자철석, 티탄철석 및 저어콘 등으로 구성되어 있다.

아다멜라이트는 금정산 남부의 대부분을 차지하고 있으며, 중립질 또는 세립질이다. 주로 석영, 사장석, 정장석 및 흑운모로 구성되어 있으며, 부성분광물로는 백운모, 녹니석, 각섬석, 자철석, 적철석 및 저어콘 등으로 구성되어 있다.

연구지역의 단열군 중 가장 우세한 방향은 NS-N20W인 남북계이며, 그 다음에 N40-60E 및 N60-70W이며 EW 방향은 미약하다. 최계우(1984)는 금정산 일대의 지하수 흐름은 주로 N60-80E 방향의 단열들에 의하여 동래구 및 금정구의 저지대쪽으로 흐른다고 보고하였다. 금정산지역의 수리적 특성을 규명하는 것은 이 지역의 천부 및 심부 지하수 유동통로를 밝히고 양산단층과 동래단층 그리고 이 두 단층과 수반되는 단층과쇄대 및 절리대가 금정산 지역의 지하수 유동 및 지열수 순환과 어떤 관련성을 가지는지를 이해하는데 있어서 매우 중요하다.

## 3. 수압시험에 의한 수리전도도

금번 연구에서 수압시험은 시추후 상향식으로 3m 간격으로 정압주입하였다. 주입 압력은 시험구간에 따라 1~5Kgf/cm<sup>2</sup>로서 일정하게 유지하였으며, 물의 주입은 주입유량에 변화가

없을 때까지 지속하였다. 구간별 수압 시험결과는 정상류와 부정류 해석방법으로 구할수 있다. 이 연구에서는 정상류해석 방법으로 Moya 공식을 사용하였다.

금번 연구에서 시험시추공중 NX 크기의 6개공, KJ-4, KJ-14, KJ-17, KJ-18, KJ-21, KJ-22호공을 대상으로 시험을 실시하였다. 각 시추공에 대한 수리전도도 분포는 KJ-4공은  $9.609E-10 \sim 1.056E-06$ (m/sec), KJ-14공은  $2.288E-10 \sim 4.589E-07$ (m/sec), KJ-17공은  $9.609E-10 \sim 1.113E-07$ (m/sec), KJ-18공은  $6.406E-09 \sim 1.164E-06$ (m/sec), KJ-21공은  $7.807E-10 \sim 1.024E-06$ (m/sec), 그리고 KJ-22공은  $8.897E-10 \sim 1.169E-06$ (m/sec)의 분포를 보이고 있다. 연구 지역의 수리전도도 값은 6개공이 공통적으로 상부 구간에서 높은 투수성을 보였다. 이는 시추코아 자료에서 나타나는 상부 풍화대와 단열분포 및 고파쇄대 구간과 잘 일치하며, 물의 주입량도  $4.69 \text{ l/min} \sim 10.99 \text{ l/min}$ 으로 아주 많다. 상기한 상부의 높은 수리전도도 구간외에도, KJ-14호공은 32.0~35.0m 구간과 50.5~53.5m 구간에서 수리전도도 값이  $3.886E-07 \text{ m/sec}$  및  $4.589E-07 \text{ m/sec}$ 로서 높은 값을 보여주고 있는데, 이 구간들은 시추코아 관찰시 파쇄된 단층대로 확인되었다. 이 구간에서의 단층대의 주 방향은 32~35m 구간은  $N66^\circ E/59^\circ SE$ ,  $N55^\circ E/62^\circ SE$  방향이 우세하며, 50.5~53.5m 구간은  $N71^\circ E/72^\circ NW$ ,  $N66^\circ E/56^\circ NW$ 의 방향이 우세하다. 이로 보아 이 단층대가 투수성이 양호한 단열군의 역할을 하며 지하수 유동성이 높을 가능성이 있다.

#### 5. 절리투수시험

불연속면을 포함하는 암석코아 공시체를 대상으로 실내 투수시험을 실시하여 각 심도에 서의 불연속면에 대한 수리전도도(투수계수)를 측정하였다. 이는 응력 해방으로 인해 발생한 암반 너부의 절리, 미소크랙 등이 지하수 침투 통로의 역할을 수행함에 따라 장기간에 걸친 지하수의 침투를 지하 심부에서와 같은 압력하에서의 지하수 유동을 재현하여 수리전도도를 측정하였다. 절리투수시험에 의해 산정된 수리전도도는 다음과 같다.

① KJ-4 : KJ-4 시험공에서의 실내 투수시험용 코아 시료는 심도 23.8m, 39.2m, 40.2m 및 52.7m에서 채취하였다. 실내시험에서의 결과는 order가  $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 로 측정되나, 특히 23.8m에서는  $10^{-10}$ 으로 투수성이 매우 낮게 측정되었다. 실내 투수시험 결과와 현장 투수시험과의 결과에서 보면 수리전도도가  $10^{-2}$ 정도 차이가 나며, 현장 시험치가 실내 시험치보다 낮게 나타난다.

② KJ-14 : KJ-14 시험공에서의 실내 투수시험용 코아 시료는 심도 30.7m, 46.5m 및 62.2m에서 채취하였다. 실내시험에서의 결과는 order가  $10^{-7} \sim 10^{-9}$ 로 측정되나, 특히 62.2m에서는  $10^{-5}$ 으로 투수성이 매우 크게 측정되었다.

③ KJ-17 : KJ-17 시험공에서의 실내 투수시험용 코아 시료는 심도 10.7m, 49.6m, 53.6m 및 67.1m에서 채취하였다. 실내시험에서의 결과는 order가  $10^{-6} \sim 10^{-9}$ 로 측정된다. 실내 시험에 의한 단일 불연속면에서의 수리전도도는 현장 시험에 의한 결과와  $10^{-2}$ 정도 차이가 나는 것으로 생각된다.

④ KJ-18 : KJ-18 시험공에서의 실내 투수시험용 코아 시료도 마찬가지로 투수시험에 용이한 단일 불연속면을 가지고 있는 코아 공시체로서 심도 36.7m, 41.8m, 44.9m 및 65.3m에서 채취하였다. 실내시험에서의 결과는 order가  $10^{-9} \sim 10^{-11}$ 로 측정되었다.

⑤ KJ-21 : KJ-21 시험공에서의 실내 투수시험용 코아 시료도 마찬가지로 투수시험에 용이한 단일 불연속면을 가지고 있는 코아 공시체로서 심도 64.1m에서만 채취되었다. 실내 투수시험으로 사용한 단일 불연속면이 현장 시험 구간에서의 대표적인 불연속면으로 생각할 수 있을 정도로 수리전도도가 거의 동일하게 측정되었다.

⑥ KJ-22 : KJ-22 시험공에서의 실내 투수시험용 코아 시료는 공시체를 단일 불연속면으로

관통하는 코아 공시체로서 심도 32.25m 및 76.7m에서 채취되었다. 실내시험에서의 결과는 order 가  $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 으로 측정되었다.

#### 6. 토의 및 결론

지하에 분포하고 있는 암반은 자연상태로는 응력 평형상태로 놓여있으나 지하구조물 건설시 지하굴착 등으로 인해 응력 해방이 발생되어 주변 암반 등에 분포하는 불연속면들에 의하여 지하수 유동 변화가 일어나고 따라서 지하구조물로 침투할 수 있는 통로를 제공하게 될 것이며 지하수의 침투로 인해 지하구조물에 장기간동안 지속적으로 영향을 미칠 것으로 생각된다. 암석코아 공시체에 대한 투수계수의 측정값은 대부분  $10^{-5} \sim 10^{-11}$ 로 측정되었다. 특히 시료번호 KJ-4-1, 18-7-1, 18-7-2, 18-8-1, 18-8-2 및 18-9 등은  $10^{-10} \sim 10^{-11}$ 으로 투수성이 매우 불량한 것으로 측정되었다. 이들 실내시험 결과를 현장에서의 패커에 의한 일정구간에서의 투수시험 결과와 비교하면 다소 적게 나타난다. 이는 현장에서의 패커 시험에서 정밀도의 차이로도 생각해 볼 수 있다.

#### 7. 참고문헌

- 함세영, 김문수, 이병대, 류상민, 옥수석, 2001, 부산지역 화강암의 단열빈도와 수리적 특성의 상관성, 대한 지질공학회, 11(3), 279-294.
- Ziegler, T., 1976, Determination of rock mass permeability. U. S. Army Engineers Waterways Experiments Station, Technical Report S-76-2, Vicksburg, Mississippi, 88p.