

부산시 금정산 주변지역의 수리지질학적 특성 연구

이병대 조병욱, 함세영*, 김경수, 성익환, 류충렬

한국지질자원연구원

* 부산대학교 지질학과

blee@kigam.re.kr, cbw@kigam.re.kr, sih@kigam.re.kr

* hsy@hyowon.cc.pusan.ac.kr

요 약 문

금정터널 굴착 공사의 실시 설계를 위하여 굴착시 발생하게될 터널내로의 지하수 유출과 관련된 수리지질학적 특성을 연구하였다. 단열들에 대한 정보를 얻기 위하여 지표 지질조사 및 지질구조조사를 실시하였다. 연구지역의 투수성을 파악하기 위하여 토양의 물리적, 공학적 특성을 규명하였고, 또한 정압주입시험을 실시하였다. 선구조선의 우세방향은 북북동-남남서 방향으로 동래단층 및 동래단층과 관련된 단층군들이 포함된다. 토양시료의 시험결과, 산정된 수리전도도는 $2.19E-05$ m/sec ~ $2.11E-04$ m/sec로서 투수성이 빠름 ~ 매우 빠른 범위 값을 갖는 것으로 나타났다. 주입시험에 의해 산정된 수리전도도는 $2.28E-10$ m/sec ~ $1.49E-06$ m/sec 로서 최대값과 최소값은 4 차수(four order)의 차이를 보였다.

주요어 : 실시 설계, 지하수, 주입시험, 수리전도도

1. 서론

최근 지하철건설, 고속전철공사, 도수로터널 등 대규모 터널 굴착에따른 지하수 유동체계의 변화로 인하여 지하수와 관련된 다양한 문제가 발생되고 있다. 터널 굴착중에 발생하는 지질공학적인 문제들중의 하나는 터널내로의 지하수 유출이다. 많은 양의 지하수 유출은 터널 굴착을 어렵고 위험하게 하며, 많은 비용이 들게 하고 공정을 지연시킨다. 터널과 같은 대규모 지하구조물을 건설할 때에는 그 지역의 상세한 지질조사 및 지질구조 조사를 통하여 단열대의 발달 범위와 분포 특성, 그리고 연구지역의 수리지질학적인 특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 그러므로써 터널 굴착시, 경제성과 안정성을 도모할 수 있고, 또한 터널 굴착으로 인한 주변지역의 지하수 고갈, 농작물 피해 및 주민들의 피해를 최대한 줄여야할 것이다.

금번 연구는 금정터널 굴착 공사의 실시 설계를 위하여 굴착시 발생하게될 터널내로의 지하수 유출과 관련된 기초적인 정보를 얻기 위하여 수리지질학적 특성을 연구하였다. 연구지역은 경부고속철도 금정터널 구간으로, 부산광역시 금정산 일대이다(Figure 1). 연구

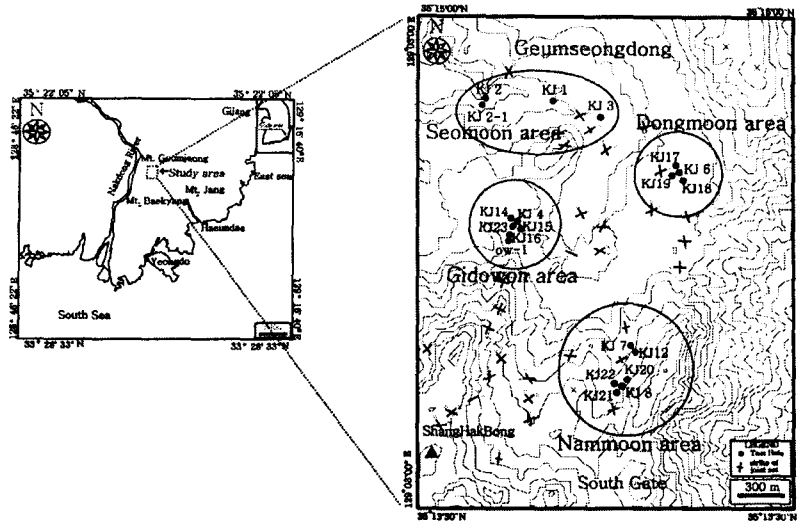


Figure 1. Location of study area and test sites.

지역의 동쪽과 서쪽에는 각각 동래단층과 양산단층이 발달하고 있으며, 또한 금정산과 동래 단층의 사이 지역인 동래구 온천동 지역에는 동래온천이 위치하고 있다. 금번 연구를 위하여 야외지질조사 및 지질구조조사를 실시하였으며, 토양의 물리적, 공학적 특성을 규명하였고, 또한 정압주입시험을 실시하였다.

2. 수리지질 및 단열구조

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

토날라이트는 금정산 남부의 중심부와 북서부에 소규모 암체로 분포하고 있다. 본 암은 세립질이고 주로 사장석, 석영 및 각섬석으로 되어 있으며, 녹니석, 흑운모, 스피, 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. 최재우(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 단층파쇄대 및 절리대가 금정산 지역의 지하수 유동 및 지열수 순환과 어떤 관련성을 가지는지를 이해하는데 있어서 매우 중요하다.

3. 정압주입시험

정압주입시험에 대한 이론은 토목공학, 지하수학, 석유공학 등에서 독립적으로 개발

되어 압력시험, 패커시험, Lugeon시험 등으로 알려져 있으며, 주로 토목공학 분야에서 투수성이 낮은 암반을 대상으로 사용되고 있다. 결과해석은 전통적인 정상류 해석 방법을 사용하고 있다. 금번 연구에서 정압주입시험은 시추후 상향식으로 3m 간격으로 정압주입하였다. 주입 압력은 시험구간에 따라 1~5Kgf/cm²로서 일정하게 유지하였으며, 물의 주입은 주입 유량에 변화가 없을 때까지 지속하였다. 수리시험시 사용한 이중패커의 고무길이는 80cm로서, 패커장착 주변을 통하여 상하부 시추공내로 cross flow에 대한 불확실성을 감소시킬수 있다.

구간별 정압주입 시험결과는 정상류와 부정류 해석방법으로 구할수 있다. 정상류 해석법에 의한 수리전도도는 균질 등방성 매질에 수직인 시험공에서 층류 현상(laminar flow)이 일어날때를 가정하고 있으며 현재까지 사용되고 있는 공식은 Hvorslev 1&2, USBR 1&2 및 Moye 등으로 구분된다(Ziegler, 1976). 이 연구에서는 정상류해석 방법으로 Moye 공식을 사용하였다.

$$K = \frac{Q}{LH_0} \left[\frac{1}{2\pi} (1 + \ln(L/2r_w)) \right]$$

여기서, Q : Flow rate(L³/T)

r_w : Radius of borehole (L)

H₀ : Excess pressure head (L)

L : Test section (L)

K : Hydraulic conductivity (L/T)

4. 수리전도도 분포

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-10~1.056E-06(m/sec), KJ-14공은 2.288E-10~4.589E-07(m/sec), KJ-17공은 9.609E-10~1.113E-07(m/sec), KJ-18공은 6.406E-09~1.164E-06(m/sec), KJ-21공은 7.807E-10~1.024E-06(m/sec), 그리고 KJ-22공은 8.897E-10~1.169E-06(m/sec)의 분포를 보이고 있다. 연구지역의 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 l/min~10.99 l/min으로 아주 많다. 상기한 상부의 높은 수리전도도 구간외에도, KJ-14호공은 32.0~35.0m 구간과 50.5~53.5m 구간에서 수리전도도 값이 3.886E-07 m/sec 및 4.589E-07 m/sec로서 높은 값을 보여주고 있는데, 이 구간들은 시추코아 관찰시 파쇄된 단층대로 확인되었다. 이 구간에서의 단층대의 주 방향은 32~35m 구간은 N66°E/59°SE, N55°E/62°SE 방향이 우세하며, 50.5~53.5m 구간은 N71°E/72°NW, N66°E/56°NW의 방향이 우세하다. 이로 보아 이 단층대가 투수성이 양호한 단열군의 역할을 하며 지하수 유동성이 높을 가능성이 있다.

5. 토양의 물리적 특성

토양의 물리적 특성을 파악하기 위하여 연구지역내 토질특성을 대표하고 시료채취가 비교적 용이한 계곡 및 낮은 산록에 걸쳐 발달된 잔류토와 봉적토, 그리고 일부 평야지에 분포한 충적토를 대상으로 22개소에서 토양시료를 채취하였다. 시료채취는 지형 및 지질 조건, 토양종류 및 적당한 분포비 등을 감안해 선정하였으며, 시료는 표토를 제거한 후 40~

60cm정도의 깊이에서 대표적인 심토 시료를 채취하였다. 시료는 교란시료와 불교란시료로 분리하여 채취하였으며 교란시료는 비중, 함수비, 입도분석, 액성한계 및 소성한계시험을, 불교란시료는 공극비, 공극율, 포화도, 밀도 및 투수시험을 실시하였다.

본 연구에서는 입도분석을 통하여 자갈, 모래, 실트 및 점토 등 토양의 구성물질의 함유량을 분류하였다. 연구지역의 토양은 모두 통일분류법(Unified Soil Classification System; USCS)에 의하면 SC~SM으로 분류되며, 거의 대부분이 사질지반으로서 모래와 점토 및 실트의 혼합토로 구성되어 있음을 알 수 있다. 균등계수(uniformity coefficient)는 6.13~22.00의 범위이고 곡률계수(grading coefficient)는 0.52~2.34의 범위값을 갖는데 이는 양입도의 판별기준이 되는 균등계수; 4이상, 곡률계수; 1~3의 조건을 대부분 충족함으로써 입도조성이 비교적 양호한 흙 즉, 양입도(well grading)인 토양임을 알 수 있다. 공극비는 0.87~1.48(평균; 1.13), 공극율은 41.50~79.68%(평균; 72.46%)의 범위를 보인다. 공극비는 터널 예정노선과 같은 방향으로 동문부근(S14)과 산성고개(S-11)~만덕촌(S-12)~금정봉부근(S-07, S-08)을 중심으로 비교적 높은 공극비 분포를 보인다. 반면, 서문부근(S-17)과 부산대부근(S-10), 그리고 만덕동부근(S-05, S-06) 등 비교적 평지에 가까운 곳에 이를 수록 점이적으로 낮아지는 경향을 보인다. 연구지역내 토양시료의 시험결과 산정된 투수계수는 $2.19 \times 10^{-5} \sim 2.11 \times 10^{-4} \text{m/sec}$ 로서 투수성이 빠름~매우 빠른 범위값을 갖는 것으로 나타났다. 금정산정상부(S-16), 온천 3동부근(S-22), 그리고 만덕동 백양중학교부근(S-21) 등에서 상대적으로 다소 낮은 투수계수 값을 가질 뿐, 대부분의 지역은 높은 투수계수 값을 갖는 것으로 나타났다. 특히 서문(S-17), 만덕동 만덕터널 입구부근(S-05)과 터널 남쪽 끝 금정봉부근(S-08) 등은 매우 높은 투수성을 갖는 토양이 분포되어 있는 것으로 확인되었다.

6. 결론

연구지역의 정압주입시험으로 도출된 결과에 의하면, 상부 풍화대와 단열대가 포함된 구간의 수리전도도는 $9.958\text{E-}07 \sim 1.493\text{E-}06 \text{m/sec}$ 이며, 하부의 단열대 및 단층대 구간은 $1.103\text{E-}07 \sim 1.515\text{E-}06 \text{m/sec}$, 단열발달이 보통인 구간은 $1.222\text{E-}08 \sim 9.128\text{E-}08 \text{m/sec}$, 그리고 단열발달이 불량한 구간에서는 $3.275\text{E-}09 \sim 9.128\text{E-}09 \text{m/sec}$ 로 구분할 수 있다. 토양의 물리적 특성에 의하면 연구지역은 전반적으로 빠른 편의 투수성을 가진 지반인 것으로 확인되었는데, 이는 강우의 증발산량을 적게하고 상대적으로 빗물이 토양 및 중간대를 빠르게 이동하여 암반에 도달하게 된다. 암반까지 도달한 물은 풍화대 및 불연속면 등을 따라 침투가 계속되어 포화대인 지하수면까지 이동, 지하수의 함양률을 크게하는 원인이 된다. 특히 금정산성마애에서 부산대에 이르는 지역, 그리고 만덕동에서 만덕터널을 거쳐 온천 2동에 이르는 2개 지역은 터널과 직교하는 방향으로 수직절리 및 연약대가 밀집되어 있으며, 높은 투수성을 갖는 지역에 해당한다. 따라서 터널굴착시 다량의 지하수의 직접유출이 예상되는 지역이므로 굴착방법 및 배수조건 등이 충분히 고려되어야 할 것으로 판단된다.

7. 참고문헌

- 채병근, 최영섭, 이대하, 김원영, 이승구, 김중렬, 1998, 유동성 단열 파악을 위한 암반 내 단열특성 규명, 지하수환경, 5(2), 88-100.
- Ziegler, T., 1976, Determination of rock mass permeability. U. S. Army Engineers Waterways Experiments Station, Technical Report S-76-2, Vicksburg, Mississippi, 88p.