

지리정보시스템을 이용한 지하철 주변의 지하수 시스템 분석

김윤영, 이강근

서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부

(san 56-1, shillim-dong, Kwanak-gu, Seoul, 151-742)

서론

서울시 전역에 있는 지하수 관련 시설에 대한 종합적인 자료수집을 하였다. 지하수위의 장기 관측 시스템 설치, 양수량 조사, 수질검사, 대형 건물의 지하화로 지하수 유동 변경, 비상용수 관정, 지하철 시추 조사 등의 기초 자료를 토대로 수집분석해석 하였다. 또한, 이를 근거로 서울시 전역의 지하수 개발 이용 실태조사 및 기초조사를 실시하고 전체 서울시의 지하수의 광역적 흐름을 조사하였다. 이러한 기초 자료를 근거로 하여 실제 지하수 기본 조사를 토대로 수위의 분포도를 작성하고 소규모 유동 영역에서 지하수의 흐름을 분석하였다.

시추코아

지하철 7-21공구 구간에는 편마암이 기반암으로 분포한다. 지표면에는 택지개발 및 도로포장 등의 도시화로 인하여 매립토가 산지를 제외하고 모든 지역에 분포한다. 이 기반암은 정도의 차이는 있으나 상당한 심도까지 풍화작용을 받아 형성된 잔류토, 풍화토, 및 풍화암들에 의해 피복되어 있다. 지형특성에 따라 지반 발달상태는 다양하게 변화하고 있으나 상당한 심도까지 풍화작용을 받아 형성된 잔류토, 풍화토, 및 풍화암들에 의해 피복되어 있다. 현장 조사 결과 밝혀진 각 층들의 일반적인 지반 특성을 요약하면 다음과 같다.

가) 매립토

각종 건설공사와 도시개발을 위해 원지반을 인위적으로 매립한 층으로 불규칙하게 분포하고 있다. 본 층을 따라서는 전기, 전화, 및 가스, 상하수도 배관 등 각종 구조물이 설치되어 있다. S-1에서 S-5지역까지는 3.0-7.2m 내외로 저지 매립지역인데 대부분 자갈섞인 실트질 모래와 모래질 자갈로 구성되며, 부분적으로 연탄재 등의 쓰레기와 전석을 함유하고 있다. S-6에서 S-9까지는 산지지형으로 도시개발 시 부지정지작업으로 인한 매립으로 1.0-3.0m이내의 작은 분포를 보이고 있다. 표준관입시험 결과에 의하면 자갈 및 전석이 혼재하는 지역을 제외한 대부분의 매립층들은 보통 치밀한 상대밀도를 보여주고 있다.

나) 충적층

본 지역에서는 관악산 지류의 계곡부를 따라 유수나 계류 등에 의해 운반, 퇴적된 지층으로 주로 무기질 실트, 점토와 사력의 혼합물로 구성되어 있다.

다) 풍화대

오랜 기간동안 기반암이 물리적 화학적 풍화작용을 받아 입자간의 결합력을 상실하여 원위치에서 흙으로 변하는 층으로 전 조사지역에 걸쳐 광범위하게 발달, 분포한다. 본 층은 풍화정도 진행에 따라 완전 점토화 되고 토립자들의 재구성이 이루어진 잔류토층, 부분적으로 점토화 되고 암석들이 완전 분해는 되었으나 원위치에 매우 굳고 치밀하여 모암의 원구조를 지니는 풍화토층, 암석조직의 분해는 완료되지 않았으나 암석 내부까지 풍화가 진행되어 충격에 의하여 쉽게 흙으로 부서지는 풍화암층으로 구분된다.

풍화암층의 풍화정도나 토질 특성상 풍화토와 유사성을 갖고 있으나 굴착 시공으로 야기되는 문제점을 보완하기 위해 Ripper 시공 가능여부에 대한 경험적 임의성을 가지고 분류한 층으로 본 조사에서는 표준관입시험에 따라 50/15를 기준으로 미만의 경우는 풍화토, 이상의 경우는 풍화암으로 분류하였다. 그러나, 지형 및 기반암 조건과 층의 구배, 발달상태 등을 고려하여 예외적으로 적용한 부분도 있다. 본 조사지역에서는 이 지층이 다양한 심도에 분포하고 있으나 S-5를 제외하고 그 층후도 크지 않다.

라) 기반암층(연암 및 경암)

풍화암 내부에는 역학적, 무기적 풍화작용이 진행되고 있는 기반암 전이대가 위치한다. 기반암 전이대는 상층부에 원래 존재하고 있던 절리와 파쇄면을 따라 풍화작용이 진행되어 불연속면을 따라서 풍화점토 등이 추인되고 암체들이 암괴상으로 분리를 시작하는 연암과 그 하부 상대적으로 신선한 경암 등으로 구성되어 있다. 그러나, 이러한 구성요소는 지형조건, 구조적 특성 및 암상에 따라 다른 공학적 특성 등이 차이에 따라 지하심부까지 매우 불규칙한 발달양상을 보여주고 있다. 호상의 흑운모 편마암을 기반암으로 분포하고 있으며 엽리와 파쇄대 및 절리면 등을 통하여 풍화가 복합적으로 진행되어 코아 회수상태가 저조한 부분이 상당히 있는 편이다. 회수율 30을 기준으로 연암과 경암을 구분하는 것을 대체적인 기준으로 삼았으며 시추 위치와 지반고를 나타내었다.

지하수 누수

지하철 공사현장과 각종 대형건물 공사현장은 많은 양의 지하수를 집중적으로 양수하여 지하수위를 하강시키며 공사가 끝난 후에도 양수기를 계속 가동하고 있는 경우가 많다. 서울시 지하철은 1998년 말 현재 운행 중인 1기(1-4호선), 2기(5-8호선) 그리고 분당선으로 구성되어 있으며 총 연장 170km에 달한다. 이 중에서 1기와 2기의 5호선 도심 구간 등 모두 98.5km구간이 개통되었고 3기 지하철(9-12호선) 건설도 계획 중에 있다.

서울시에 따르면 1-5호선까지 지하철역에서 하루에 양수하는 지하수는 총 78,417 m^3 이며, 이 양은 연간 28,622,204 m^3 에 달한다. 뿐만 아니라, 실제 2기 지하철은 1기 지하철보다 깊은 심도로 굴착하기 때문에 보다 많은 양의 지하수가 양수되고 있다고 판단된다. 3호선 대치역과 4호선 수유역에서는 하루 평균 3,300 m^3 , 4호선 길음역에서는 3,000 m^3 , 3호선 경복궁역에서는 2,700 m^3 , 그리고 3호선 종로3가역에서는 약 2,000 m^3 의 지하수가 양수되고 있다. 서울시 지하철 구간의 노선을 따라 누수 되는 지하수는 지하철 역사의 양수시설에 의해 강제 양수되므로 수위강하가 선적인 형태로 발생한다.

지하철 수리시스템 구축 및 분석

지리정보시스템을 이용하여 각 공사 현장의 서울 지하철 3-9호선 기본설계보고서의 내용을 참고로 실제 지하철 주변의 지하수위 변화를 모니터링 하였다. 1026개의 시추공과 지하수위 자료를 이용하여 공사전의 수위와 공사 후의 지하수위를 비교 분석하였다. 지질관련의 각종 정보와 수리시험 등을 기초로 수리지질학적 경향 등을 입력하였다. 서울시의 지하수위가 대부분 지면으로부터 평균 3-7m 깊이에서 형성되는 것을 감안하면, 이보다 더 깊은 곳에 위치한 지하철 터널에서의 지하수 배수와 양수는 지하철 노선을 따라 지하수위의 선상함몰(line sink) 형태를 만든다. 영향반경은 대수층의 투수성, 관정 수위 하강범위, 지하수의 함양상태, 양수시간 등의 다양한 요인들에 의해 결정된다.

지하철 수위강하로 인한 영향범위는 터널의 구배에 따라 누수되는 지하수를 모두 양수하므로 선적인 형태로 형성된다고 할 수 있다. 본 조사에서는 강남구 개포 3동 지역의 노선을 선정하여 수위 강하 및 수리상수 값을 측정하여 영향범위를 개념적으로 모사 하였다. 공사 중에 누수되는 양수량을 알지 못하는 관계로 시간에 따른 수위 강하 자료로 수리 상수를 추정할 수 있는 다양한 경험식 중에서 Sager에 의해 제안된 식을 사용하였다(Sager, 1985).

$$R = 3000s\sqrt{k_f} \quad (1)$$

여기서, R은 영향범위(m), 3000은 자유면 대수층에서의 상수, s는 초기수위와 강하수위의 차이(m), k_f 는 수리전도도(m/sec)이다. 개념적인 수위강하의 경향을 모사하기 위해 실제 관정에서 관측된 수위강하 값(초기수위(35.4) - 안정수위(2.3) = 33.1m)과 양수시험으로 계산된 투수계수 값(3.11×10^{-5} m/sec)을 대입하면 R은 553.7m로 계산된다. 지역마다 각기 다른 지하수위 강하를 보이지만 지하철 노선을 따른 누수로 인한 수위강하의 경향을 선형함몰의 형태로 하강한다.