

서울 지하철 A설계구간에서의 지하수 수질 및 오염특성

이병선 · 한원식 · 김연태 · 우남철, 홍원석*

연세대학교 지구시스템과학과

*(주)한국지우

E-mail : byungsun94@korea.com

요약문

서울 지하철 A설계구간에서의 전체 21개 지하수 시료에 대하여 수질분석을 실시하였다. 배경수질은 주로 Ca-HCO₃ type으로 전 지역에서의 물-암석 반응 자체는 큰 차이가 없음을 보인다. 본 조사에서 실시한 분석요소 중, 먹는 물 기준치를 초과하지 않은 시료는 3개이며, 나머지 18개 시료는 중금속과 불소, 황산염 등에 의해 이미 오염되어 있는 것으로 나타났다. 지하수 오염도는 BH-1~5 지역에서 보이는 카드뮴에 의한 오염현상과 BH-6~23 지역에서 보이는 다른 중금속 이온들에 의한 오염으로 뚜렷한 지역적인 차이가 보이는데, 이는 자연적인 지하매질과 지하수의 물-암석 반응에 의한 것이기보다는, 이들 지역에 매립된 인위적인 오염물질의 차이에 의해 결정되는 것으로 추정된다.

Key Word : 지하철 설계구간, 수질, 황산염, 중금속 오염

1. 서론

서울 지하철 A설계구간은 현재 설계가 완료된 지역으로서, 지하철 구간 공사 시 발생하는 지하수질의 문제가 대두될 가능성이 있는 지역이다. 지하수의 수질은 지하수의 유동경로 상에서 나타나는 물과 암석 내지 토질매체와의 물리화학적 반응의 결과이므로, 이러한 수질의 유형을 분류함으로써 광역지하수의 수역을 구분할 수 있으며, 이렇게 구분된 지하수의 수역은 지하철 공사 후 발생가능한 지하수의 유동경로 변화와 수질변화를 규명하는 기준(reference)으로 활용될 수 있다. 따라서 본 연구는 지하철 공사가 시작되기 이전의 지하수의 배경수질과 현재의 수질오염도를 파악하여, 추후 공사로 인하여 지하수의 수질 악화 문제에 대한 민원 발생 시 이에 과학적으로 대응할 수 있는 필수기초자료를 제공함에 그 목적이 있다.

2. 연구 지역 및 연구 방법

연구지역의 상부 지질은 주로 매립층, 충적층, 및 풍화토 및 풍화암으로 구성되어 있으며, 하부는 기반암인 호상편마암으로 구성되어 있다. 수계는 북으로 한강이 위치하고 부

지의 중앙부에 하천이 위치하여 한강으로 유입되고 있다. 부지의 해발고도는 부지의 서남부 산악지형에서 최고 86m에 달하며 고도는 서부에서 동부로 갈수록 낮아지고 있다(과학기술처, 1997). 지하수 시료의 채취는 지하철 설계구간을 따라 위치한 깊이 30m미만의 21개 시추공에서 채취하였으며, 현장 관측요소(수온, pH, EC, ORP)들은 현장에서 시료채취 즉시 측정하였다. 양이온 및 음이온 분석을 위한 실내분석용 시료들은 현장에서 0.45 μ m 멤브레인 필터로 여과 후 냉장보존 하였으며, 양이온 및 중금속 분석용 시료는 농축질산을 사용하여 pH 2 이하로 보전, 이 후 실내에서 분석하였다. 분석항목은 주 양이온 성분 Na, K, Ca, Mg Si와 미량 중금속 성분 Al, Cd, Fe, Mn, Pb, Zn, 음이온 성분 Cl, SO₄, HCO_{3(cal)}, NO₃, F 등이었다. 양이온은 ICP-AES, 음이온은 IC를 이용하여 분석하였으며, 자료분석 프로그램으로는 RockWorks Pro를 이용하였다.

3. 결과

3.1. 지하수의 배경수질

총 21개의 지하수 시료들은 대체로 17.0~20.8 $^{\circ}$ C의 범위에서 나타나고 있으며, 이 가운데 BH-3 시료에서 나타나는 27.2 $^{\circ}$ C의 극단적인 수온은 지표에서 높은 대기온도에 의해 데워진 지표수 내지 하수가 관측공 내로 유입되는 것으로 평가된다. 지하수의 전기전도도(EC)는 149~1382 μ S/cm의 범위에 속하며, BH-15, BH-18, BH-22, BH-23 등 4 개 관측지점만이 일반적으로 오염되지 않은 지하수의 전기전도도(약 300 μ S/cm 이하)를 보이며, 나머지 17개 시료에서는 현재 상태에서 상당한 수질오염이 진행되어 있음을 알 수 있다. BH-1과 BH-7에서는 753 μ S/cm, 1,382 μ S/cm이 나타나지만, 이들의 인접한 BH-2, BH-8 관측공에서는 524 μ S/cm, 530 μ S/cm로 나타나는 것으로 보아, 국지적으로 급격한 수질변화가 일어나고 있음을 지시한다. BH-15 는 한강 지류의 속하는 지하수 시료로서 현재 한강의 수질과도 밀접한 관계를 갖는다. 그런데 BH-15에서의 전기전도도가 152 μ S/cm인 것을 고려하면, 한강과 한강의 지류가 지하철 공사로 인해 굴착구간으로 유입되는 경우에는 이 지역의 지하수질이 오히려 현재보다 양호하게 될 가능성이 있음을 시사한다. pH는 5.55~8.72 범위로 평균치는 6.74이며, 특별한 지역적 분포특성을 보이지 않는다. 산화환원전위(ORP)를 살펴보면, BH-10의 -2 mV, BH-21의 3 mV의 전형적인 환원환경을 나타내는데, 이는 지표에서 유입된 오염물질들의 산화작용으로 인해 지하수의 화학적 특성이 환원상태로 변화된 것을 의미한다.

3.2. 배경수질의 유형과 분포

배경수질은 일반적으로 지하수에 함유된 용존성분 중 주 양이온(Na, K, Ca, Mg)과 음이온(HCO₃, Cl, SO₄) 함량을 이용하여 몇 가지의 유형으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 구분을 쉽게 표시하는 방법으로 Rockware Pro를 사용하여 Piper diagram(그림 1)과 Stiff diagram(그림 2)으로 도시하였다. 본 지역의 지하수 배경수질은 그림 1에서 보이듯이 Ca-HCO₃ 유형이 주를 이루고 있으며, 조사지역의 동쪽 끝 지점인 BH-23에서는 Na-HCO₃ 유형, BH-7, 12에서는 Ca-(HCO₃-SO₄) 유형이 나타나고 있다. 본 연구지역의 서로 크게 다르지 않은 지하 매질의 투수성과 암반 매질의 구성상, 이러한 배경수질의 차이는 자연적인 매질에 의한 영향이기보다는 인위적으로 매립된 물질에 의하여 형성된 차이로 해

석된다.

그림1. 지하수의 배경수질을 보여주는 Piper 도표

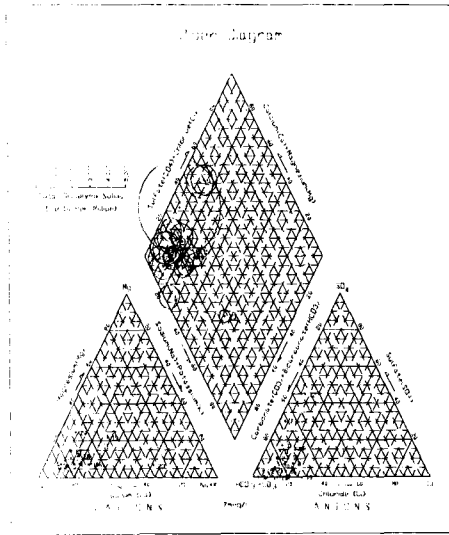
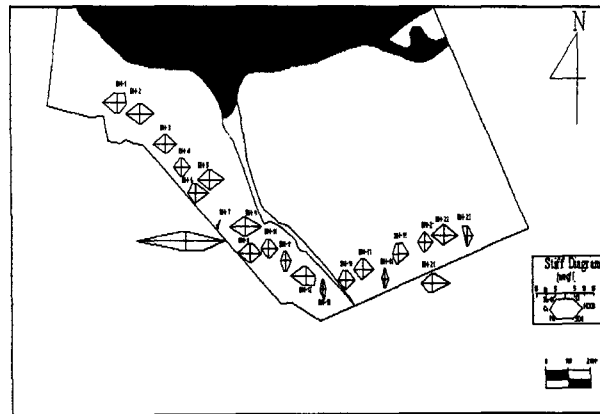


그림 2. Stiff 도표를 이용한 지하수 배경수질의 지역적 분포



3.3. 지하수질의 오염도

본 조사에서 분석항목으로는 음이온으로 수질기준이 설정된 F, NO₃-N 의 2개 항목과 Al, Cd, Fe, Mn, Pb, Zn 등의 6개 중금속 항목, 그리고 주성분으로 분석된 Cl, SO₄ 의 2개 항목을 포함하였다.

주성분이온의 경우 염소이온의 함량은 7.2~152.7 mg/L 범위로 검출되어 먹는물 기준치를 초과한 지점이 없었다. 그러나 황산염이온(SO₄)의 경우 검출된 농도의 범위가 기기의 분석한계 이하로부터 최대 444.9 mg/L까지 광범위하게 검출되었으나, BH-7과 BH-12 두 지점을 제외한 나머지 관측지점에서는 74 mg/L 이하로 비교적 낮은 농도를 보이고 있다. 전술한 두 지점에서는 각각 444.9 mg/L, 224.5 mg/L가 검출되어 먹는물 기준치인 200 mg/L를 초과하였는데, 이들 두 지점에서는 황산염이온과 함께 중탄산이온(HCO₃) 및 칼슘(Ca)이온의 함량이 다른 성분들보다 높게 나타나고 있다. 따라서 이들 성분이 공통적으로 함유된 오염물질, 즉 석고보드를 포함한 건축폐자재 등이 인근에 매립되어 있을 가능성을 지시한다.

중금속 이온들 중 아연(Zn), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 철(Fe), 망간(Mn) 성분은 BH-1~5의 시료들과 나머지 시료들 간에 서로 다른 농도분포를 보여준다. 주성분이온들과 마찬가지로 이 역시 서로 크게 다르지 않은 지하 매질 특성에 비추어 볼 때, 이러한 차이는 자연적인 매질에 의한 영향이기보다는 인위적으로 매립된 물질에 의하여 형성된 차이로 해석되며, 따라서 연구지역의 지하에 매립된 오염물질이 지역적으로 다르게 분포함을 지시하고 있다. 아연(Zn)은 먹는물 기준치인 1.0 mg/L를 초과하는 시료는 없었다. 카드뮴(Cd)은 BH-1~5 관측공에서는 먹는물 기준치인 0.01 mg/L의 23~47배나 초과하여 심한 오염도를 보여주고 있으나, 나머지 다른 관측공에서는 전혀 검출되지 않고 있다. 납(Pb) 성분은 먹는물 기준에 비교할 때 전체 21개 관측지점 중 52%인 11개 지점에서 수질기준(0.05 mg/L)을 초과하여 검출되었다. 철(Fe) 성분은 총 21개 지점 중 11개 지점(52%)에서 먹는물 수질기준인 0.3 mg/L

를 초과하였으며, 그 정도는 기준치의 최대 약 160배까지 나타난다. 망간(Mn) 성분은 총 21개 시료 중 48%인 10개 지점에서 수질기준을 초과하였으며, 망간은 철 성분과 함께 대표적인 산화환원 반응에 의해 조절되는 원소로서(Forstner and Wittmann, 1983), 이들 기준 초과지점은 철 성분이 오염된 지점들과 9 지점(90%)이 겹쳐지는 것을 볼 수 있다. 납과 철, 망간이 동시에 수질기준치를 초과하는 지점은 7 지점(BH-6, 10, 16, 17, 19, 21, 23)이며, 이들 성분들에 의하여 오염된 지점수의 약 70%에 달한다. 따라서 조사지역 지하수의 납, 철, 망간 성분은 동일한 오염원에 기인하는 것으로 추정할 수 있다. 알루미늄(Al)은 BH-21과 BH-23 지점에서 기준치를 초과하여 검출되었으며, 이들 두 지점에서는 납, 철, 망간 등이 모두 수질기준치를 초과하여 검출되었다. 그러므로, 알루미늄의 오염원은 납, 철, 망간 등의 중금속과 동일한 오염물질임을 추정할 수 있다.

질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)는 모든 시료에서 검출되지 않거나(BDL) 먹는물 수질기준치에 많이 미달되어 이에 의한 지하수의 오염현상은 보이지 않았다. 이는 이 지역의 하수와 오폐수 배출관의 파손에 의해 생활오폐수가 지하수로 누출되는 현상이 거의 일어나지 않고 있음을 의미한다. 불소(F)의 경우, BH-19에서는 수질기준치의 7.6 배에 해당하는 11.5 mg/L의 농도로 검출되었다. 불소는 생활용품에서 형광물질의 성분으로 함유되므로, 이러한 성분을 포함하는 폐기물이나 형광물질 자체가 오염원으로 작용한 것으로 해석된다.

4. 참고문헌

- 과학기술처, 1997, 지하수 오염방지 및 음용화 기술연구(서울지역) 보고서, pp7~10
Forstner, U and Wittmann, G.T.W., 1983, Metal pollution in the Aquatic Environment, Springer-Verlag, New-York, pp 486