

지하철 건설 예정구간 암반의 산성암반배수 발생 개연성 평가 및 피해저감대책

연두봉¹⁾ · 김재곤^{1)*} · 이진수¹⁾ · 김통권¹⁾ · 전철민¹⁾ · 한소영¹⁾ · 이석규²⁾

1. 서론

최근 국민들의 환경문제에 대한 인식변화와 지속가능한 국토개발에 대한 사회적 요구가 증대되고 있는 실정이다. 사회기반시설의 확충으로 건설현장에서 지반굴착이 빈번히 이루어지고 있으며 안정하게 존재하던 황화광물이 지표에 노출되어 물 그리고 공기 중의 산소 및 물에 녹아 있는 산소와 반응하여 산화되고 산화되는 과정에서 산성암반배수(Acid Rock Drainage, ARD)가 발생하는 것은 잘 알려져 있다(지상우 등, 2006). 산성암반배수는 주변지역의 토양, 지표수, 지하수를 산성화시키거나 중금속으로 오염시킨다. 또한 산성암반배수가 중화되면서 붉은색 혹은 흰색 침전물을 침전시켜 주변생태계에 악영향을 줄 뿐만 아니라 경관을 훼손시킨다. 이런 피해는 민원발생으로 연결되어 건설공사가 중단되거나 설계변경이 불가피 해지므로 건설현장에서 ARD에 대한 대책수립이 요구되고 있다. 또한 ARD를 발생시키는 골재 사용은 생성된 수소이온(H⁺)이 콘크리트를 부식시켜 표면과 내면에 틈(crack)을 생성시키므로 콘크리트 구조물의 내구성에도 큰 악영향을 끼친다(이규호 등, 2005). 지반성토재로 사용하는 것 역시 용존산소를 함유한 빗물과 반응하여 산성배수를 주변지역으로 배출시켜 구조물이 부식과 환경오염을 유발한다. 대구지하철 경산연장 1공구의 암반은 경상계 퇴적암으로 이루어져 있으며 일부지역에서 파쇄대를 따라 관입한 열수에 의하여 생성된 황화광물이 널리 분포하는 것으로 알려져 있다. 따라서 지하철 건설예정 구간을 대상으로 향후 시행될 건설공사를 안전하고 환경 친화적으로 수행하기 위해 시추코어 조사와 산-염기평가를 통하여 암반에 대한 ARD의 발생 개연성 여부를 예측하고 산성암반배수에 의한 피해 저감대책을 검토하였다.

2. 연구방법

2.1 시추코어 조사

지하철 건설 예정구간에서 채취한 시추코어를 대상으로 암상, 황화광물의 산출여부를 육안 및 확대경을 이용하여 조사하였다. 조사대상 시추코어는 예정구간에 분포하는 암상과 지질구조를 고려하여 5개를 선정하였다.

조사대상 시추코어 : SH-1 28.0m(흑색셰일), SH-2 9.0m(사암), SH-3 15.0m(dyke), SH-4 24.0m(파쇄대 흑색셰일), SH-4 21.5m(파쇄대 암석분말)

2.2 XRD를 이용한 광물의 정량분석

분석 대상 시료는 파쇄기(crusher)를 이용하여 수cm 이하로 잘게 부수고 고르게 섞은 후

주요어 : 산성암반배수, 황화광물, 산-염기평가

1) 한국지질자원연구원, 지질환경재해연구부

2) 한라엔지니어링

* 교신저자: jgkim@kigam.re.kr

미분기(pulverizer)로 200mesh 이하로 분말화하였다. 분말화된 시료를 random orientation mounting한 후에 X-ray diffractometer(XRD)를 이용하여 시료의 XRD pattern을 취득하였다. Computer program을 이용하여 취득한 XRD pattern에 대하여 광물을 정량적으로 분석하였다.

2.3 암석의 ARD 발생 개연성 시험(Acid Base Account Test)

분석 대상 시료는 파쇄기(crusher)를 이용하여 수cm 이하로 잘게 부수고 고르게 섞은 후 미분기(pulverizer)로 200mesh 이하로 분말화하였다. 분말화한 시료를 대상으로 1) 최대산발생능력(Maximum Potential Acidity, MPA), 2) 산중화능력(Neutralization Potential, NP), 3) 순산발생량(Net Acid Generation, NAG)을 측정하였다(Sobek et al., 1978).

1) 최대산발생능력(MPA) : 분말시료의 유험함량을 LECO사의 유험분석기를 이용하여 측정하고 $MAP(kgCaCO_3/t) = total\ S(\%) \times 31.213$ 을 이용하여 MPA를 계산하였다.

2) 산중화능력(NP) : 표준 1N HCl을 이용하여 시료 내에 함유된 산 중화물질을 모두 소모시킨 후 0.1N 혹은 0.5N NaOH로 적정하여 NP를 측정하였다.

3) 순산발생량(NAG) : 분말시료에 15% H₂O₂를 조금씩 가하여 암석의 황화광물을 산화시키고 산화반응이 완료된 후 일정 부피로 용액의 양을 조절한다. 0.1N 혹은 0.5N NaOH를 이용하여 산화에 의하여 발생된 산(H⁺)의 양을 적정하여 측정한다.

4) 순산발생능력(NAPP)은 $NAPP = MPA - NP$ 를 이용하여 계산하였다.

모든 측정은 2반복 시료(duplicate samples)를 이용하였으며, 순산발생량 측정 시에 3반복 시료(triplicate samples)를 이용하여 2개의 시료는 NAG측정에 이용하고 1개의 시료는 NaOH 적정을 하지 않고 0.45 μm membrane filter를 이용하여 고체와 액체를 분리하였다. 용액의 pH, EC, 주양이온(Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)의 농도, 음이온(F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻)의 농도, 중금속의 농도를 측정하였다.

3. 연구결과

3.1 시추코어 육안관찰

SH-1 28.0m시료는 흑색세일로 층리가 발달되어 있으며 탄산염광물이 층리와 fracture를 따라 분포하나 황화광물은 확인되지 않으며 SH-2 9.0m시료는 층리가 발달된 사암이며 황철석의 존재는 확인되지 않았다. SH-3 15.0m시료는 관입에 의한 dyke로 판단되며 역시 황철석의 존재는 육안으로 확인되지 않았다. SH-4 24.0m시료는 파쇄대의 흑색세일로 SH-1 28.0m시료와 유사한 구조이며 다량의 탄산염광물이 존재하였으며 fracture를 따라 소량의 황철석이 분포 하였다. 파쇄대에서 채취한 시료인 SH-4 21.5m는 암석이 분말화되어 있으며 황화광물은 관찰되지 않았다.

3.2 시료의 광물조성

모든 시료에서 석영, 장석, 운모류, 탄산염광물이 동정되었으며 흑색세일 및 파쇄대 암석시료(SH-1 28.0m, SH-4 21.5m, SH-4 24.0m)에서 ARD의 근원물질인 황철석의 존재가 확인되었다(그림 1, 표 1). 시료 내에 존재하는 황철석은 주로 퇴적속성작용에 의하여 생성된 것으로 판단되며 파쇄대 암석에서 산출되는 일부의 황철석은 열수에 의하여 생성된 것으로 추정된다. 흑색세일(SH-1, SH-4)은 일정량(2.7-3.5%)의 황철석을 함유하고 있으며 또한 산에 대한 중화능력이 높은 탄산염광물(ankerite, calcite)을 많이(15.8-33.7%) 함유하고 있다. Dyke와 사암 또한 다량의 탄산염광물을 함유하고 있다.

3.3 암석의 ARD 발생 개연성(ABA test)

암석의 최대산발생능력(MPA), 산중화능력(NP), 순산발생능력(NAPP), 순산발생량(NAG)를 표 2에 나타내었다. 순산발생량(NAG)과 순산발생능력(NAPP)을 이용하여 암석을 ARD 발생 개연성을 평가하였다(그림 2). 모든 시료는 ARD를 발생시킬 개연성이 낮은 NAGpH 4.5 이상이며, NAPP 0 이하인 산성암반배수가 발생될 개연성이 낮은 영역(Non-Acid Forming, NAF)으로 구분되었다(그림 2).

4. 결론

NAG와 NAPP 범위에 따른 ARD예측 분류(그림 2)결과 흑색 셰일의 성토재로서 사용에 있어 ARD에 의한 피해가 없을 것으로 판단된다. 반면 흑색 셰일의 골재로서 사용은 콘크리트에 함유된 황철석이 미세한 틈을 따라 유입되는 강수와 반응하여 산성수를 생성, 시멘트의 부식을 야기할 개연성이 높으므로 콘크리트 골재로서 사용은 피해야 할 것으로 판단된다. 따라서 SH-2와 SH-3의 사암과 dyke는 ARD 발생 개연성이 없어 성토재 및 골재로서 사용이 가능하고 SH-1과 SH-4의 흑색 셰일은 ARD 근원물질인 황철석을 함유하고 있으나 중화능력이 높아 공사기간 및 준공 후에 ARD에 의한 피해는 없을 것으로 판단되고 성토재의 활용으로도 문제 발생 요인이 적으나 골재로의 사용은 지양해야 할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- 이규호, 김재곤, 박삼규, 이진수, 전철민, 김택현 (2005) 산성암반배수에 의한 절취사면 구조물의 피해 현황과 평가. 한국지반공학회논문집, 21권(5호), p. 83~92.
- 지상우, 정영욱, 임길재, 이현석 (2006) 도로 건설에 의해 노출된 절취사면 암석에 대한 산성암석배수 발생 평가. 한국지구시스템공학회지, 43권(4호), p. 339~349.
- Sobek, A.A. Schuller, W.A., Freeman, J.R. and smith, R.M. (1978) Field and laboratory methods applicable to overburdens and mine soils, EPA-600/2-78-054, USEPA.

표 1. 연구대상 시료 광물 조성.

시료번호	Al	Qz	A	Mu	Il	Chl	C	Ka	Mo	Py	Total
	%										
SH-1 28.0m	21.8	21.1	19.6	13.4	9.4	6.4	4.8			3.5	100
SH-2 9.0m	62.3	3.0				21.9	12.8				100
SH-3 15.0m	38.1	5.5					15.8	10.1	30.5		100
SH-4 21.5m	12.9	23.7	24.9	22.1	13.3					3.1	100
SH-4 24m	13.2	20.6	33.7	17.7	12.1					2.7	100

Al:albite Q:quartz A:ankerite M:muscovite Il:illite Chl:chlorite C:calcite
 Ka:kaolinite Mo:montmorillonite P:pyrite.

표 2. 연구대상 시료에 대한 ABA 시험 결과.

시료 번호	Total S (%)	MPA (KgCaCO ₃ /t)	NP (KgCaCO ₃ /t)	NAPP (KgCaCO ₃ /t)	NAG (KgH ₂ SO ₄ /t)	NP/MPA	NAG* (pH)
SH-1 28.0m	0.476	15.33	208.13	-192.80	0	13.58	8.23
SH-2 9.0m	0.014	0.436	118.20	-117.76	0	271.10	8.58
SH-3 15.0m	0.061	1.903	115.18	-113.27	0	60.53	8.72
SH-4 24.0m	0.362	11.30	270.25	-258.95	0	23.92	9.26
SH-4 21.5m	0.216	6.742	203.60	-196.90	0	30.20	8.34

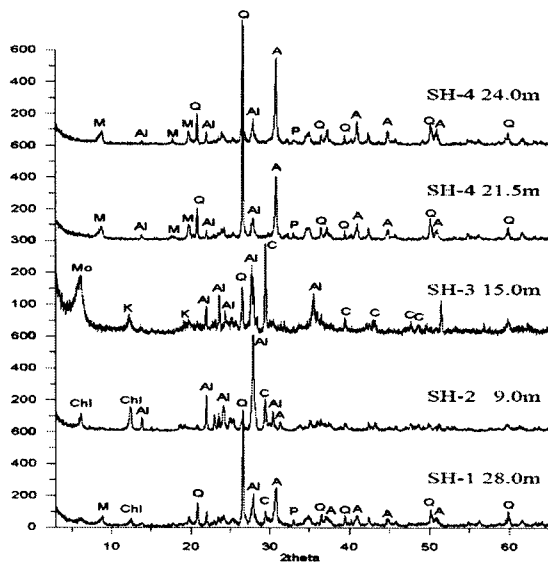


그림 1. 연구대상 시료의 XRD patterns.

M: muscovite, Chl: chlorite, Q: Qtz
 Al: albite, C: calcite, A: ankerite
 P: pyrite, Mo: montmorillonite.

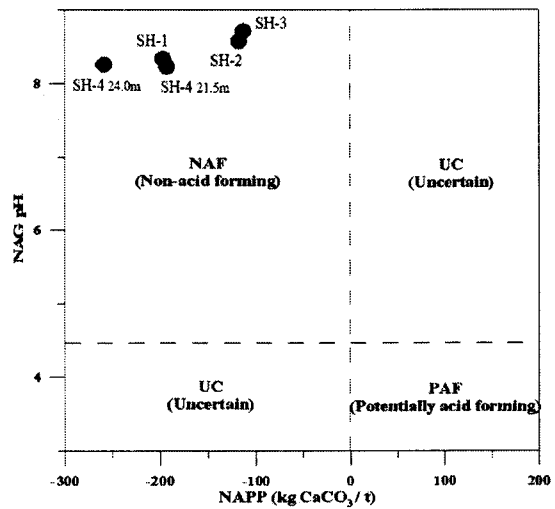


그림 2. NAG와 NAPP 범위에 따른 시료의 ARD예측 분류.