

토목건설 과정에서 발생하는 산성암석배수의 사전예측

산성암석배수는 지하에 묻혀있던 황화광물이 지표로 노출되면서 산소 및 물과 접하여 발생하는 것으로 낮은 pH와 높은 황산염이온 및 금속이온 농도를 특징으로 갖는다. 과거 산성광산배수의 문제는 산성광산배수라 하여 광산 지역에서 발생하는 문제로만 여겨져 왔으나 최근 토목건설 공사 과정에서 발생되어 많은 환경적 경제적 문제를 발생시키고 있다. 국토의 70%가 산악지대인 우리나라에서 도로건설 및 도시확충과정에서 불가피하게 발생하는 암석의 굴착, 절취, 성토에 의해 지하에 묻혀있던 황화광물 암석의 지표노출은 산성암석배수를 발생시켜 향후 환경문제 뿐만 아니라 공학적, 경제적 피해를 일으킬 수 있다. 본 기사에서는 이러한 산성암석배수에 의한 문제를 줄일 수 있는 방안을 위해 산성암석배수의 발생을 사전에 예측하기 위한 평가 방법을 소개하고 적용사례를 소개하고자 하였다.



01 서론

국내·외적으로 물류 유통 개선, 교통안전 확보, 교통체증 해소를 위해 도로건설 사업과 도시확충 등으로 다량의 암석이 굴착, 절취, 성토되고 있다.

이러한 토목건설 사업을 위한 개발 부지가 광산지역이나 황화광

물이 함유된 지층을 통과하게 될 경우 산성암석배수(Acid Rock Drainage, ARD)의 유출로 인해서 환경오염 및 부식 등의 문제가 발생할 수 있다(그림 1).

이러한 산성암석배수문제는 보통 광산지역에 집중되는 현상으로 주로 산성광산배수(Acid Mine Drainage, AMD)로 불려져 왔지만 광산과 무관한 지층에서도 발생한다. 예로서 미국의 대표적인

탄전지대 중 하나인 펜실베이니아주의 경우 광산 이외의 지역 중에서도 지층의 산도(Potential acidity)가 최대 100mg CaCO₃/kg 암석 이상을 보유하고 있어서 이러한 지층이 굴착 성토될 경우 절개지나 성토부에서 산성암석배수가 발생할 수 있다(Daniels and Orndorff, 2003).

이러한 산성암석배수에 의한 영향은 pH가 낮은 산성수에 중금속이 포함되어서 심각한 환경오염 문제를 야기 시키고 또한 황산염 등이 고농도로 함유되어 공학적인 피해 즉, 콘크리트 부식, 황산염 팽창에 의한 구조물 바닥의 균열 발생과 절개지에서 사면 불안정 등을 들 수 있다.

〈표 1〉은 여러 나라에서 보고된 산성암석배수에 의한 공학적 피해 사례들이다.

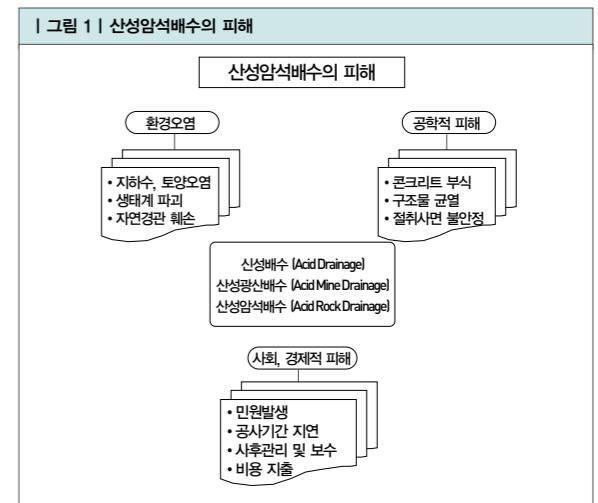


표 1 | 산성암석배수에 의한 공학적 피해 사례(Orndorff, 2001)

위치	지질물질	피해사례
Buchanan, Georgia, USA	py bearing schist (Sandy Springs group)	산성배수에 의한 지역 수질 악화
Central Pyrenees, Spain	po and py bearing schist	골재의 팽창성 황산염에 의한 콘크리트 열화
Sainte-Foy, Quebec, Can.	py bearing black shale (Sainte-Foy formation)	콘크리트 바닥이 10cm이상씩 판상으로 떨어짐
Barcelona, Spain	po and py bearing shales and limestone	골재의 팽창성 황산염에 의한 콘크리트 열화
Southwest Pennsylvania, USA	py bearing coals and shales (dominantly the Conemaugh and Monongahela formations)	하빙(Heaving)에 의한 구조 손상
Nova Scotia, Can.	po bearing slate	산성배수에 의한 지역 수질 악화
Ottawa, Ontario, Can.	py bearing black shale (Eastview formation)	콘크리트에 대한 황산염 침투로 바닥 6.3cm 부풀어 오름
Cardiff, UK	py bearing black mudstone (Westbury formation)	바닥판의 하빙(Heaving)
Central Japan	py bearing rhyolite	저수지의 산성화
N. Carolina, USA	py bearing black shales (Anakeesta formation)	금속을 함유한 산성 침출수에 의해 수생태계 파괴
Texas, USA	py bearing sediements (Weches and Queen City formations)	도로 성토부 식생 파괴 및 침식 증가
N. Carolina & Tenn., USA	py bearing black shales (Anakeesta formation)	금속을 함유한 산성 침출수에 의해 수생태계 파괴
Oslo, Norway	po in slightly metamorphosed shales (alum shales, alum slates)	황산염 침투에 의한 하빙(Heaving)으로 콘크리트 열화
Kansas City, Missouri, USA	py bearing black shales (Upper Pennsylvanian beds)	건물 바닥 25.4cm 부풀어 오름
Ottawa, Ontario, Can.	py bearing black shale (Billings formation)	바닥이 하빙(Heaving)으로 10.2cm 판상으로 떨어짐
Redding, California, USA	massive py ore	산화작용에 의한 열팽창과 열변형
Derbyshire, UK	py bearing black shale (Namurian shale)	산성 침출수에 의한 부피 변화로 세일 제방 붕괴
Ottawa, Ontario, Can.	py bearing black shale (Lorraine formation)	내부 기둥 7.6cm 부풀어 오름
Malaysia	py bearing granite, hornfels	도로 골재의 분해
Liddell, New South Wales	framboidal py in siltstone	산도와 팽창 효과에 의한 굴착된 실트스톤의 빠른 풍화
The Netherlands	unspecified sulfides	콘크리트 파일의 부식
Derbyshire, UK	py bearing black shale (Namurian shale)	도로 절개지를 따라 사면 불안정, 산사태, 산성수 발생

* py = pyrite; po = pyrrothite

토목공사와 관련된 대표적인 산성암석배수 피해보고 사례는, 미국 99번 고속도로 건설에 따른 민원 사례이다.

일명 Skytop Pollution Hazard라고 불리는 이 사례는 펜실베이니아주 스카이트اپ 지역의 고속도로 건설공사에서 약 700,000m³의 함 황화광물 암석이 굴착되고 이를 도로 성토재로 사용하면서 심각한 산성암석배수 문제가 발생되어 계속된 민원으로 공사 중단을 요청받게 되었고, 이 문제를 해결하기 위해 막대한 비용과 연구가 수행된 바 있다(그림 2).

우리나라에서도 2002년도에 고속도로 건설과정 중 터널을 굴착(L=928m, Q=150,000m³)하는 과정에서 발생한 산성암석배수로 각종 민원이 초래된 바 있으며, 기타 국내 도로 절개지 주변에 많은 산성암석배수 흔적들이 확인된다.

Kim et al.(2000)은 경남 양산시 웅산면 지역에 분포하는 열수 변질 안산암질의 풍화작용 결과로 물의 pH가 3.5 인 강산성의 지표수가 유출된다고 보고한 바 있다.

이상의 국내의 사례로부터 함 황화광물이 포함된 지층이 굴착될

경우 예상치 못한 환경영향으로 공사의 지연과 막대한 추가 공사비를 소요하게 만들 우려 또한 있다. 따라서 선진국에서는 이와 같은 산성암석배수를 발생할 수 있는 암석을 사전에 판별할 수 있는 여러 가지 방법들이 과거 30여 년 동안 다양하게 연구되어 왔고 현재 토목분야에 적용되는 추세이다(Sobek, et al., 2000; Geidel and Caruccio, 2000).

현재까지 보고된 황화광물에 의한 산 발생 예측 시험법은 Static test 유형으로 Acid Base Accounting (ABA), Modified ABA procedures, Carbonate NP (Neutralization Potential) determinations, B.C. Research Initial Test, Peroxide Methods, Lapakko Methods of NP determination, Calculated NP 등이 있다(Orava, 1997).

이러한 산성암석배수 발생 예측 시험법의 적용은 대규모 도로공사나 택지개발 굴착 및 사토 관리에 적용한다면 개발 예정 지반내에서 산성암석배수의 가능성을 사전에 예측하여 황화광물에 의한 환경피해를 사전에 줄일 수 있을 것이다.

본 기사에서는 대표적인 산성암석배수 발생 평가 시험법과 최근 수행된 현장 적용 사례 중 일부를 소개하고자 한다.

그림 2 | 스카이탑 ARD 발생 현장 (Hammarstrom et al., 2005)



02 산성암석배수의 발생과 평가 시험법

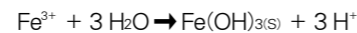
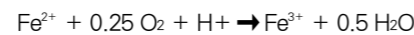
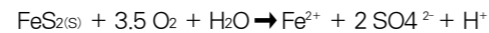
2-1. 산성암석배수의 생성

산성암석배수는 지하에 묻혀있던 황화광물이 지표로 노출되면서 산소 및 물과 접하여 발생된다. 대표적인 황화광물인 황철석은 거의 모든 암석내에 존재하여 암석의 절취 또는 굴착 등에 의해 발생하는 산성암석배수의 주된 요인이 된다.

아래 식을 통해 보여지듯이 황철석의 산화에 의해서 일차적으로 발생하는 2가철은 다시 3가철로 산화되고, 이 3가철이 물과 반응

하여 철수산화물로의 침전과 동시에 부가적인 산도의 발생을 일으킨다(Stumm and Morgan, 1996). 또한 3가철은 그 자체가 산화제의 역할을 하기 때문에 3가철에 의한 황철석의 산화가 일어날 수 있다.

이것은 일단 산성암석배수가 형성되면 산소가 차단되더라도 황철석의 산화작용이 진행될 수 있음을 지시한다. 더우기 3가철에 의한 황철석의 산화는 이전 단계보다 더 빠르게 진행된다(Lyew et al., 1994).



황철석은 무기적인 메카니즘에 의해서 산화되기도 하지만, 미생물에 의해서 산화과정이 촉진되기도 한다. 황 또는 철을 에너지원으로 하는 Thiobacillus Ferrooxidans, Thiobacillus Thiooxidans, Sulfurlobus Acidocaldarius 등과 같은 미생물들이 산화작용을 촉진시킨다.

이러한 미생물에 의한 반응이 무기적인 산화반응보다 수십 내지 수백배 빠르게 진행되는 것으로 알려져 있다. 무기적인 산화반응이나 미생물에 의한 반응 모두 결과적으로 산도를 증가시키므로써, 수계의 산성화 자체로서도 주변 수계에 악영향을 끼치지만, 높은 산도에 의해 주변에 존재하는 중금속들을 용출시키고, 이들의 이동성을 증가시켜 주변 수계에 중금속을 부화시킨다.

2-2. 산 발생 평가 시험법

현재까지 보고된 황화광물에 의한 산 발생 평가 시험법 중 가장 많이 사용되는 방법으로는 산-염기 평가법(ABA: Acid Base Accounting)과 순 산발생량 시험법(NAG: Net Acid Generation)이 있다.

이 방법들은 정적인(static) 실험방법이며, 동적인(kinetic) 방법으로는 황화광물의 반응성, 산화 반응속도, 금속 용해도 및 시료의 침출 특징 등을 반영하는 동적 NAG 시험법과 칼럼 침출 시험법이 있다. 어떠한 암석 또는 토양의 산성암석배수 평가를 위해서는 평가 대상 물질의 특성, 요구되는 정보, 정보의 시급성 및 사용 가능한 비용 등에 따라 평가 방법의 단계를 정할 수 있다(표 2).

제 1단계는 비교적 빠르고 정적인 방법들로부터 얻어진 자료들을 이용하여 시료의 산 발생 여부를 구분하는 단계이다.

여기서 시료들은 세 가지 종류 즉, 산을 발생시키지 않는 시료군

(NAF: Non-acid forming), 산을 발생시킬 수 있는 시료군 (PAF: Potentially Acid Forming) 그리고 산발생 가능 여부가 불분명한 시료군(UC: Uncertain)으로 구분된다.

산 발생 여부가 불분명한 것은 유기물의 함량이 높은 경우 이거나 실험에서의 오류가 발생한 경우에 해당하므로 추가적인 분석이 필요하게 된다.

제 2단계는 더 많은 산 생성 능력에 관한 정보를 얻고 불분명한 종류로 구분된 시료에 대한 확인을 하기 위해 수행된다.

따라서 이 단계에서는 1단계와 다른 정적인 시험 외에도 동적인 NAG 시험이 추가된다. 제 3단계는 장기간의 칼럼 침출시험을 통해 반응 속도와 침출 특성 자료를 얻는 단계이다. 이 단계의 실험은 6개월 이상의 기간을 요하게 된다.

표 2 | 산 발생 예측을 위한 단계별 방법

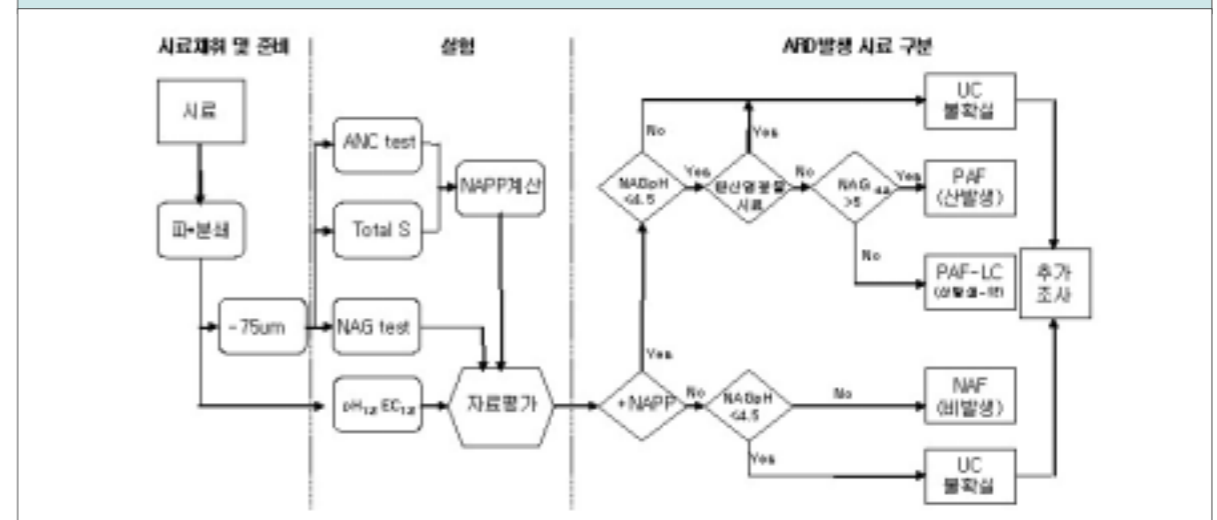
단계	용도
1 Screening	<ul style="list-style-type: none"> pH_{1:2} and Electrical Conductivity (EC)_{1:2} test Total Sulfur determination Maximum Potential Acidity (MPA) calculation (based on S) Acid Neutralising Capacity (ANC) test Net Acid Producing Potential (NAPP) calculation (based on S and ANC) Single Addition NAG test
2 Follow up testing	<ul style="list-style-type: none"> Sequential NAG Kinetic NAG Acid Buffering Characteristic Curve (ABCC) Mineralogy Free Draining Leaching Column
3 Leach Column testing	<ul style="list-style-type: none"> Long Term Kinetic Column Test

2-3. 시험법 개요

현재 주로 적용되는 산성암석배수 발생 예측 시험법은 <그림 3>과 같은 순서로 진행된다. 각각의 실험법을 보면 다음과 같다.

- (1) pH_{1:2} and Electrical Conductivity (EC)_{1:2} test
pH_{1:2} 및 EC_{1:2}는 자유 수소이온 및 염의 함량을 평가하기 위해 수행하는 것으로 시료 및 증류수를 1:2(w/w) 비율로 섞어서 12시간 경과 후 pH 및 EC meter를 이용하여 측정한다.
- (2) 산 발생력 평가
시료 내 총 황(ST) 함량을 측정하고, 총 황 함량이 황철석 함량으로 존재한다고 가정하여 아래 식으로 최대 산 잠재력(MPA : Maximum Potential Acidity; kg H₂SO₄/t)을 계산한다.
MPA = total S(%) × 30.6
- (3) 산 중화능력(ANC : Acid Neutralizing Capacity) 시험
황화광물이 산화작용으로부터 유래된 산을 얼마만큼 중화할 수 있는가에 대한 정도를 평가하는 시험으로 Sobek et al.(1978)에 의한다.
- (4) 순 산발생 잠재력(NAPP : Net Acid Producing Potential) 평가
총 황 및 ANC 자료 아래식에 대입하여 순 산발생 잠재력을 구한다.
NAPP = MPA - ANC

그림 3 | 산성암석배수 발생 예측 시험 절차



여기서 어떤 시료의 NAPP가 양의 값을 가질 때 산을 발생할 수 있는 시료로 간주할 수 있다.

(5) 순 산발생량 시험 (NAG: Net Acid Generation)

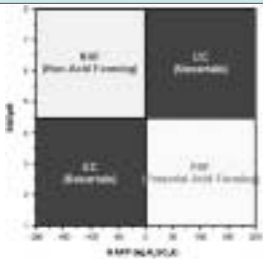
NAG 시험은 -200 mesh 시료 2.5g을 취하여 500ml 비이커에 넣고 15% H₂O₂ 250ml를 첨가한다.

이후 watch glass로 덮고 Hot plate (80~90℃)에서 기포의 발생이 중단될 때까지 천천히 가열하고 실온으로 냉각한 다음 증류수로 최종 부피가 250ml가 되도록 하여 이 용액의 pH를 NAGpH로 정한다.

(6) 산발생 예측을 위한 암석분류

ABA 시험과 NAG시험의 결과를 토대로 그림 4와 같이 x축에 NAPP값을 y축에 NAGpH값을 정하여 도시하면, 해당 암석의 산발생 여부를 예측할 수 있다.

그림 4 | 시료의 산발생 평가



03 산성암석배수 발생 평가 적용사례

3-1. 폐광산 지역

산성암석배수 발생 평가 시험법은 광산에서 발생하는 폐석에 대한 산 발생 사전 예측으로 효과적으로 산성광산배수의 발생을 방지하고 광산폐기물을 관리하고자 하는 방안으로 연구 되었다. 그러나 국내에서는 가행중인 광산에 대해 폐광 이전부터 산성암석배수 발생 시험법을 적용하여 관리한 사례는 없다.

여기에서는 폐광산 폐석적치장의 폐석을 대상으로 산성암석배수 발생을 평가하여 광산 폐석적치장에 대한 복원 방안 수립에 적용한 사례를 소개하고자 한다(지상우 등, 2004).

(1) 연구 대상광산

적용 대상 광산은 부산광역시에 소재하는 폐납석광산인 임기광산이다(그림 5). 임기광산은 1980년부터 가행 되다가

1992년에 폐광되었다. 광산의 면적은 4ha (40,000m²)로 노천광 형태로 채굴되었다. 생산 실적은 1983년부터 1985년까지 65,850톤이다. 산출되는 납석의 형태는 Muscovite (sericite)로 구성된 sericite type의 납석이다.

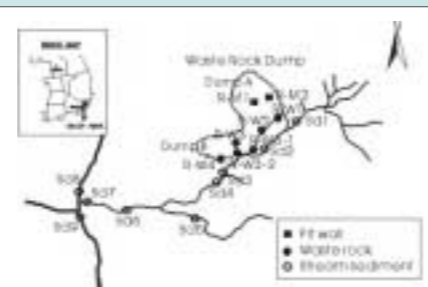
그림 5 | 임기광산 폐석적치장 전경



(2) 연구 방법 및 결과

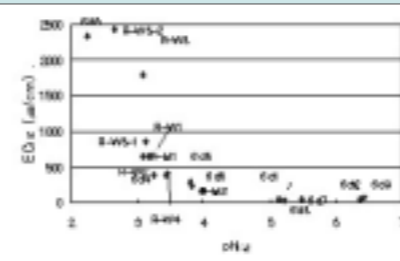
임기광산 주변 폐석 적치장에서 폐석 6개, 인근 수계 퇴적물 9개 그리고 채굴적 암석 2개 등 총 17개 암석 및 퇴적물을 채취하여, 이들 시료에 대해 산성암석배수 발생 평가를 수행하였다(그림 6).

그림 6 | 시료 채취지점 (임기광산)



시료들에 대한 pH_{1:2} 및 EC_{1:2} 자료는 각각 2.65~6.43 및 31~2,430 μ S/cm의 범위를 나타냈고 전체 자료를 점시하면, pH가 낮을수록 EC_{1:2}는 높았고 pH 4 이상에서는 EC 값이 낮고 일정한 수준을 유지하였다(그림 7). 대체적으로 EC값이 낮고 pH가 중성 부근을 유지한 시료들은 하상퇴적물이었고, EC값이 크고 산성 특징을 나타낸 시료는 폐석적치장 폐석과 구 채굴적 암반 시료를 이었다. 폐석 및 채굴적 암반의 pH가 4이하이고 자유 수소이온을 포함한 염 (Acid Producing Salt : APS)이 부착되어 있음을 지시한다. 따라서 폐석에 부착된 APS가 산도 및 염도를 유발하는 원인으로 해석된다.

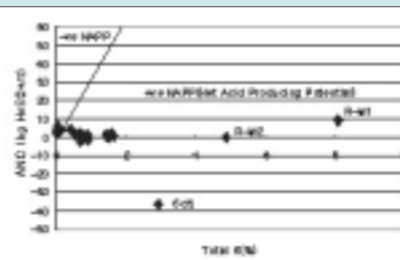
그림 7 | 시료들에 대한 pH_{1:2} 및 EC_{1:2} 측정값



총 황분석 값으로 계산된 MPA는 최소 0.098kg H₂SO₄/t, 최대 246.942kg H₂SO₄/t의 범위로 나타났다. ANC는 최대 8.7kg H₂SO₄/t으로 나타났다.

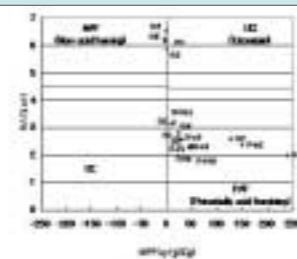
〈그림 8〉에 총 황 함량과 ANC 자료를 점시한 결과 대부분의 하상퇴적물을 제외한 폐석적치장 및 채굴적 암반이 +NAPP 영역에 점시되어 산 발생이 가능한 시료로 구분되고 있다. 한편 ANC/MPA비는 산성암석배수를 발생시키는지에 대한 안전율의 개념으로도 사용할 수 있는데, 폐석적치장 폐석 및 채굴적 암반은 안전율 1 이하로 나타나 ARD 발생 우려 시료들로 구분된다.

그림 8 | 황함량에 대한 산 중화력



〈그림 9〉에 자료가 점시되어 있다. 하상퇴적물 시료는 산 발생력이 낮은 NAF 시료군으로 기타 폐석적치장 및 채굴적 시료는 산 발생이 가능한 PAF 시료군으로 구분된다.

그림 9 | NAPP와 NAGpH에 의한 암석 분류



이상의 결과를 종합하면 임기광산 폐석적치장 및 채굴적 암반에는 황화광물이 포함된 반면 이를 중화할 수 있을 정도의 중화광물이 결핍되어 산성배수를 발생시키는 암석들로 판별되고 있다.

따라서 임기광산 주변 수계 오염을 방지하기 위해서는 노천 채굴적 암반과 폐석적치장에 대한 산화방지 및 우수배제 조치 등의 조치가 필요한 것으로 나타난다.

(3) 연구 결과의 활용

임기광산에 적치된 폐석은 산성암석배수를 발생시키는 암석으로 현재 폐석적치장 하부로부터 산성침출수가 발생되어 인근 수계를 오염시키고 있다. 따라서 폐석적치장이 현 상태로 방치될 경우 지속적인 환경오염이 우려된다.

현재 산성암석배수 발생 평가 자료를 토대로 하여 중화에 필요한 알칼리량을 산정하고 폐석적치장에 대한 식재를 통한 복원 방안을 마련하여 적용 실험이 진행되고 있다.

3-2. 충북 B 지역 도로 확장 공사

산성암석배수 발생 평가법을 도로공사가 진행된 지역에서 절취사면에 대해 적용해보았다(지상우 등, 2005).

(1) 연구 대상 지역

충북 B 지역에서 도로 확장에 의해 암반이 노출된 도로변 절취사면 7개소에서 암석시료 23개와 사면 4에 인접한 호수변 제방에서 2개 쇄설물 및 호수퇴적물 3개 총 28개의 시료를 채취하였다(그림 10).

그림 10 | 연구지역 및 시료 채취 지점



이지역 지질은 하부로부터 시대미상의 옥천누층군인 향산리층 상부, 문주리층, 창리층, 황강리층과 페름-석탄기의 국사봉층이 분포하며, 노출된 절취사면은 문주리층(사면 1, 2 및 5)과 국사봉층(사면 3, 4, 6 및 7)의 암석들이다. 문주리층의

암석들은 변성사질암과 암회색 천매암이 혼재하며 일부 자철석이 함유되어 있다. 국사봉층은 탄층을 포함하며 천매암과 흑색 셰일층이 분포한다.

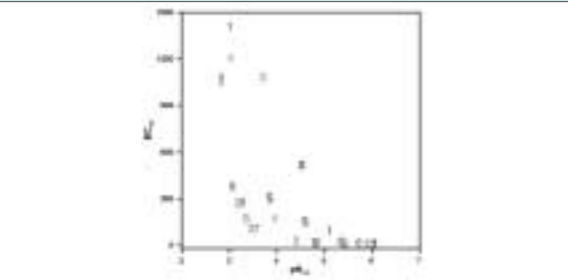
(2) 연구 방법 및 결과

시료들에 대한 pH_{1:2} 및 EC_{1:2} 자료는 각각 2.83~6.05 및 10.60~1205 μ S/cm의 범위를 나타냈다(그림 11). 문주리층에 속하는 사면 1, 2 및 5의 시료는 pH_{1:2}가 4.5 이상을 보이나 사면 3의 일부와 사면 6을 제외한 국사봉층에 속하는 사면의 시료는 모두 4.5 미만의 산성을 나타냈다.

국사봉층에 속하면서도 비교적 신선한 천매암 시료인 사면 3의 일부와 사면 6에서는 4.5이상의 값을 보였다.

그러나 사면 6의 파쇄된 암석조각에서 pH_{1:2}가 3.07 및 3.27인 점으로 보아 풍화 및 산화작용의 결과 가용성 수소이온(free hydrogen)이 염형태로 존재하여 낮은 pH_{1:2}값을 갖게 될 수 있다.

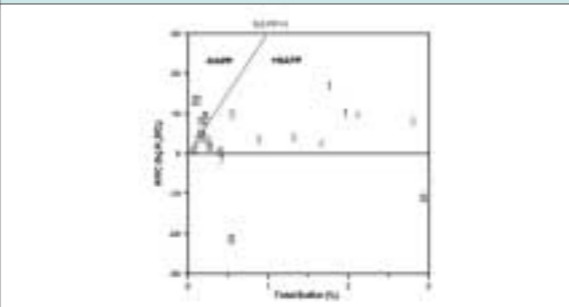
그림 11 | pH_{1:2} vs. EC_{1:2} ("1~7" 은 사면 번호, "S"는 호수 퇴적물, "B"는 도로 하부 제방을 의미)



이 암석 조각들은 호수와 접하고 있어 호수 수위가 오르게 되면 호수물과 반응하게 될 수 있다. 사면 4와 호수 사이의 제방에 쌓인 쇄설물들의 pH_{1:2}는 3.19~3.36으로 사면에서의 쇄설물 역시 사면 6의 암석조각과 마찬가지로 호수물에 영향을 줄 수 있다. 또한 호수 퇴적물의 pH_{1:2}가 3.85~4.59의 값을 보여 가용성 수소이온이 존재하고 있음을 나타내고 담수시 호수물로 용해가 가능할 것으로 판단된다.

MPA는 최소 2.22kg H₂SO₄/t, 최대 89.66kg H₂SO₄/t의 범위로 나타났다. <그림 12>에 총 황 함량과 ANC 자료를 제시한 결과 문주리층에 속하는 사면의 시료 중 변성 사질암 시료는 -NAPP 영역에 점시되고, 문주리층의 천매암 시료와 국사봉층에 속하는 시료는 +NAPP 영역에 점시되어 산 발생이 가능한 시료로 구분되고 있다.

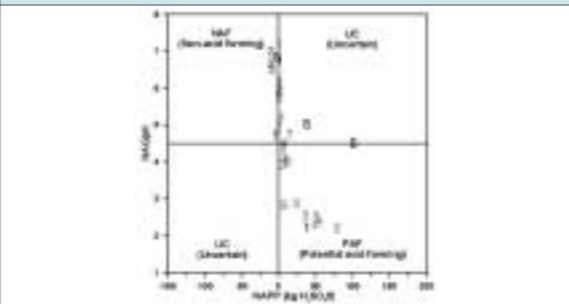
그림 12 | Total S vs. ANC



<그림 13>에 NAPP와 NAGpH 자료가 점시되어 있다. 사면 2, 5 및 6의 시료는 산 발생력이 낮은 NAF 시료군으로, 사면 1, 3, 4의 시료들과 사면 6의 파쇄된 암석조각 시료는 산 발생이 가능한 PAF 시료군으로 구분된다.

사면 7의 하부에서 채취된 시료와 호수 퇴적물 시료들은 UC 시료군으로 분류 되었는데 이는 이들 시료에 유기물의 함량이 높기 때문일 것으로 판단된다. 또한 함유되어 있는 황이 황철석황이 아닌 다른 형태의 황(S⁰ 또는 황산염)으로 존재할 가능성도 높으므로 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

그림 13 | NAPP vs. NAGpH



(3) 연구 결과의 활용

본 연구는 도로 건설에 의해 발생하는 절취사면 암반에 대해 산성암석배수의 발생 잠재성을 예측하고자 수행되었다.

호수변 도로확장에 의해 암반이 노출된 절취사면 7개소에 대해 ABA 시험과 NAG 시험을 수행한 결과 사면 2와 5를 제외한 모든 사면의 암석에서 일부 또는 전부가 산성암석배수를 발생시킬 수 있는 것으로 나타났다.

과거 도로 성토부를 구성하면서 호수변에 노출된 쇄설물과 호수 바닥퇴적물 또한 산발생력이 있는 것으로 나타났다. 따라

서 산성암석배수의 발생에 의한 피해의 우려가 있으므로 노출된 사면암석의 표면에 대해 산화방지를 위한 피복 또는 복토 등의 작업이 필요할 것이다.

03 결론

본 기사에서는 산성암석배수 발생 평가 시험법과 이를 이용한 현장 적용 사례 중 일부를 소개하고자 하였다.

최근 도로나 철도 노반 건설 등 토목건설 사업에 앞서서 이러한 산성암석배수 발생여부의 사전 예측을 수행하여 건설공사 과정에서 발생할 수 있는 환경문제를 예측하고 사전에 대비하고자 하는 연구들이 다수 진행되고 있다. 뿐만 아니라 산성암석배수의 발생이 예상되는 암석이나 토양에 대해 산성암석배수 발생을 방지하기 위한 방안에 대한 연구도 함께 진행되고 있다.

이러한 산성암석배수 발생 영역에 대한 사전 확인과 제어 방안의 수립은 토목건설 과정에서 발생하는 환경문제와 공학적 피해에 대한 대비가 가능하게 되어 환경영향으로 인한 공사지연, 유지보수비 지출 등의 문제를 줄이는데 기여할 수 있을 것이다. S

참고문헌

1. 지상우, 정영욱, 임길재, "폐석 적지장의 산성배수발생 및 수리특성 분석", 한국지반 환경 공학회지, Vol.5, No.4, 2005, p.13~24
2. 지상우, 정영욱, 임길재, 민정식, 최용석, 홍성규, "도로 절취사면에서의 산성암석배수 발생 평가", 한국지구시스템공학회 춘계학술 발표회, 2005, p.53~56
3. Daniels, W.L. and Orndroff, Z.W., Acid Rock Drainage from Highway and Construction Activities in Virginia, USA, in 6th. ICARD conference, Cairns, QLD, AU, 2003, p.479-487
4. Geidel, G. and Caruccio, F.T., "Geochemical factors affecting coal mine drainage quality, in Reclamation of Drastically Disturbed Lands (Eds : R I Barnhisel, R G Darmody and W L Daniels) Monograph 41", 2000, p.105-130
5. Hammarstrom, J.M., Brady, K., and Cravotta III, C.A., "Acid-rock drainage at Skytop, Centre County, Pennsylvania, 2004", USGS, 2005,45p.
6. Kim, J. G., Jung, P. K., Yun, E. S., Jung Y. T., Hyon G. S. and Zhang Y. S., "Mineralogical Change of Acid Sulfate weathering of hydrothermally Altered pyritic andesite", J. Miner. Soc. Korea, Vol. 13 p., 2000, p.115-120
7. Lyew, D., Knowles, R. and Sheppard, J., "The biological treatment of acid mine drainage under continuous flow conditions in a reactor", Trans IChemE, Vol.72, Part B, 1994, p.42-47
8. Orava, D., "In-Pit disposal for ARD control, in Short course notes on Waste rock and tailings disposal technologies for reactive waste management", 4th. Int'l conference on acid rock drainage, Vancouver, B.C. Canada, 1997
9. Orndorff, Z.W., "Evaluation of Sulfidic Materials in Virginia Highway Corridors", thesis for Doctor's degree, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001, 175p.
10. Sobek, A. A. et al., "Field and laboratory methods applicable to overburdens and mine soils", EPA-600/2-78-054, USEPA, 1978, 204p.
11. Sobek, AA, J.G. Skousen and S.E. Fisher, Jr., "Chemical and physical properties of overburdens and minesoils", In: R.I. Barnhisel et al. (Eds.), Reclamation of Drastically Disturbed Lands, American Soc. Agron. Monograph No. 41, Madison WI, 2000, p. 77-104
12. Stumm, W., and Morgan, J.J., "Aquatic chemistry : an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters", 3rd Edition, John Wiley and Sons, New York, 1996, 1022p.

