

## 건설현장 절취사면의 산성배수 발생특성과 잠재적 산발생능력 평가 Generation Characteristics and Prediction of Acid Rock Drainage(ARD) of Road Cut Slopes

이규호<sup>1)</sup>, Gyoo Ho Lee, 김재곤<sup>2)</sup>, Jae Gon Kim, 이진수<sup>3)</sup>, Jin-Soo Lee, 전철민<sup>4)</sup>, Chul-Min Chon, 박삼규<sup>5)</sup>, Sam-Gyu Park

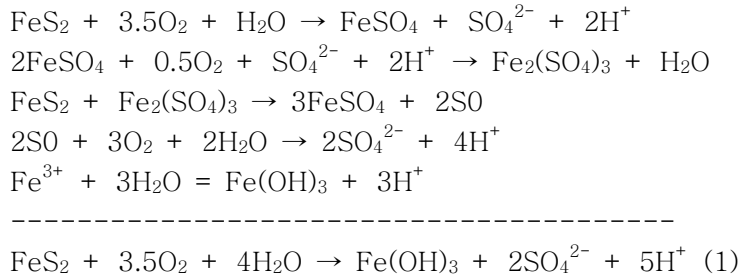
- 1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 박사후연구원, Postdoctor Researcher, Geological and Environmental Hazards Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources
- 2) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 선임연구원, Senior Researcher, Geological and Environmental Hazards Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources
- 3) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 책임연구원, Principal Researcher, Geological and Environmental Hazards Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources
- 4) 한국지질자원연구원 지하수지열연구부 선임연구원, Senior Researcher, Groundwater & Geothermal Resources Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources
- 5) 한국지질자원연구원 지반안전연구부 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Engineering Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

**SYNOPSIS** : Acid Rock Drainage(ARD) is the product formed by the atmospheric(i.e. by water, oxygen and carbon dioxide) oxidation of the relatively common iron-sulphur minerals pyrite( $\text{FeS}_2$ ). ARD causes the acidification and heavy metal contamination of water and soil and the reduction of slope stability. In this study the generation characteristics and the prediction of ARD of various road cut slopes were studied. An attempt to classify the rocks into several groups according to their acid generation potentials was made. Acid Base Accounting(ABA) tests, commonly used as a screening tool in ARD predictions, were performed. Sixteen rock samples were classified into PAF(potentially acid forming) group and four rock samples into NAF(non-acid forming) group. The chemical analysis of water samples strongly suggested that ARD with high content of heavy metals and low pH could pollute the ground water and/or stream water.

**Key words** : Acid Rock Drainage(ARD), Cut slope, Pyrite, Acid Base Accounting(ABA)

# 1. 서 론

건설현장 절취사면에서 발생하는 산성배수(Acid Rock Drainage, ARD)는 암석에 함유된 황화광물의 산화에 의해 발생하며, 주변환경, 구조물의 안정성과 수명, 경관에 악영향을 주고 있다. 대표적인 황화광물로는 황철석(pyrite, FeS<sub>2</sub>)이 있으며 탄화대, 광화대, 함황철석 안산암, 제3기층의 특이산성토 등 우리나라의 다양한 지질매체에서 흔히 산출된다. 사면의 절취는 지하에서 안정한 상태로 존재하던 황철석을 공기와 강우에 노출시켜 황산과 금속침전물을 생성한다. 황철석의 세부적인 산화반응과정은 다음의 식 (1)과 같다.



산성배수(pH<3)는 부식성이 강해 사면처리에 사용되는 배수파이프, 콘크리트 블록, 숯크리트, 인조섬유, 그라우팅 주입제, 강관 및 철근 말뚝 등을 부식하여 구조물의 안정성을 떨어뜨리고 수명을 단축시킨다. 또한 사면녹화공법에서 사용되는 피복식물의 발아 및 성장을 방해한다(그림 1d). 우리나라의 산성배

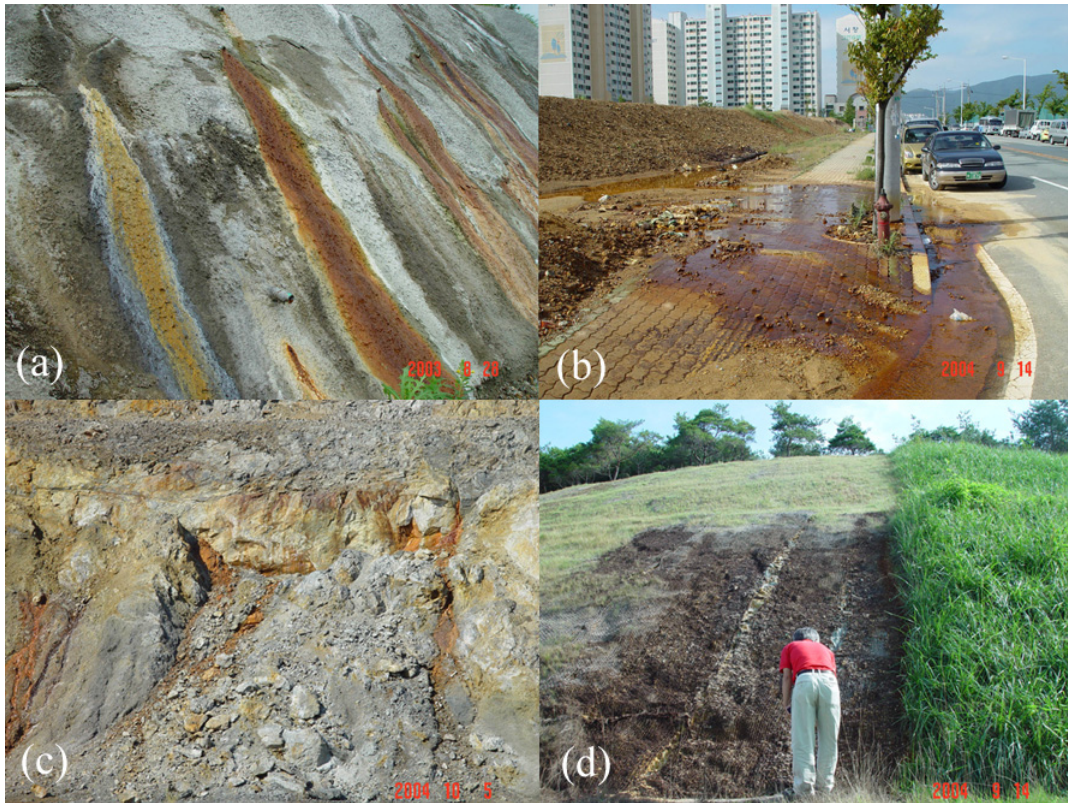


그림 1. 산성배수 발생현장의 피해사례. (a)산화철, 알루미늄화합물의 침전에 의한 경관훼손 및 부식, (b)택지조성지역의 환경오염, (c)사면의 붕괴 유발, (d)사면녹화공법 피복식물의 발아 및 성장 장애

수 생성 절취사면의 사면처리에는 숏크리트공법이 가장 많이 적용되고 있는데 시멘트모르타르의 피복 후에도 암반과 피복물질 사이에 미세공간이 잔류하게 된다. 이 미세공간은 지하수, 강우, 공기의 유입통로가 되어 사면처리 후에도 산성배수가 지속적으로 생산되며, 배수되는 과정에서 시멘트와 반응하여 콘크리트 피막을 부식시킨다. 산성배수는 고농도의 중금속을 함유하고 있으므로 중화되면서 철과 알루미늄이 콘크리트 표면에 붉은색과 흰색의 침전물을 형성하여 경관을 훼손 한다(그림 1a). 산성배수가 주변 지역으로 배출될 경우 주변토양을 오염시키고(그림 1b), 지표수나 지하수의 수질을 악화시킴으로서 환경문제를 발생시키기도 한다.

우리나라의 지형은 70% 이상이 산지이므로 토목공사과정에서 사면절취와 터널굴착이 빈번히 이루어지고 있다. 또한 지질이 다양하고 산성배수를 발생시킬 개연성이 있는 황철석을 함유한 암석들이 전국(태백, 영월지역의 평안층군에 배대되어 있는 함탄층 주변지역, 옥천, 영동지역의 옥천층군 함탄층 주변지역, 해남 및 양산 등의 함황철석 안산암 주변지역, 포항지역의 함황철석 퇴적암 주변지역, 대부분의 금속광산 분포지역)에 산재해 있다. 산성배수의 발생 특성은 암석의 종류에 크게 좌우될 수 있으며, 우리나라에서 암석유형과 산성배수 발생의 상관관계를 조사연구한 사례가 없다.

본 연구에서는 다양한 암반을 대상으로 산성배수 발생특성을 파악하고, 산성배수 발생정도와 암석유형과의 상관관계를 밝히고자 한다. 이를 토대로 암석을 산성배수 발생능력에 따라 그룹화 함으로서, 현재 진행 중이거나 향후 착수될 토목공사에서 대상 암반에 따라 산성배수로 인한 피해를 예측할 수 있는 기본 자료를 제공할 것이다.

본 연구는 한국지질자원연구원에서는 수행중인 “산성배수 발생 억제를 위한 기술개발연구”의 첫 단계로서, 암석유형별 산성배수 발생특성을 파악하고 잠재적인 산발생능력을 규격화된 방법으로 평가하고자 하는데 목적이 있다.

## 2. 시료 및 연구 방법

### 2.1 시료

산성배수의 발생을 육안으로 확인할 수 있거나, 암반내에 황철석이 포함되어 산성배수 발생 개연성이 높은 지역을 중심으로, 전국에 걸쳐 주로 건설현장 절취사면에서 23개의 암석시료를 채취하였다. 황철석의 산화가 이미 진행되어 있는 암석시료와 비교적 신선한 암반으로부터 황철석이 노출되어 있지 않은 암석시료를 함께 채취하였다. 시료채취 위치와 암석유형은 표 1에 기재하였다. 배수의 양이 충분한 지역에서는 물시료를 함께 채취하였다. 암석시료는 파쇄기(crusher)를 이용하여 수cm이하 크기로 잘게 부수고 고르게 섞은 후, 그중 일부를 취하여 미분기(pulverizer)로 200mesh 이하 입도까지 분쇄하였다. 분쇄된 시료는 노출된 황철석의 추가적인 산화를 방지하기 위해 실험 전까지 밀폐용기에 보관하였다. X-선 회절분석용 시료는 광물조성의 정량분석을 위하여 내부표준시료로서 시료당 10 wt.%의 강옥(corrundum,  $Al_2O_3$ )을 첨가한 후 모르타르에 넣어서 균질하게 갈았다. 물시료는 현장에서 온도, pH, EC를 측정하고 PE(polyethylene) 용기에 저장하였으며, 양이온 분석용 시료는 별도로 농질산을 수 방울 첨가하여 pH를 낮춘 후 분석 전까지 보관하였다.

### 2.2 연구 방법

#### 2.2.1 분석 방법

암석시료의 광물조성을 알아보기 위하여 X'pert MPD(Phillips Co.)모델을 이용하여 X-선 회절분석을 실시하였다. 물시료의 음이온은 DX-100(DIONEX Co.)모델 Ion Chromatography로, 중금속을 포함한 양이온은 ICP-AES(JY70PLUS, Jobin Yvon Co.)를 이용하여 분석하였다. 총 황은 LECO사의 Sulfur Determinator(SC-132 모델)로 분석하였다.

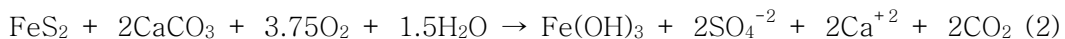
표 1. 시료의 채취 위치와 암석유형

Sample No.	Latitude	Longitude	Rock types	Sampling		Localities	
				Rock	Water		
YW	37,08,53.3	128,32,14.1	coaly shale	○		강원	영월
TB	37,12,02.1	128,57,00.7	coaly shale	○			태백
KP	37,34,5.7	126,41,42.1	gneiss	○	○	경기	김포 굴포천
BK	35,26,08.3	128,34,11.8	granite	○		경남	부곡
YS	35,24,17.0	129,10,44.0	vocanics	○	○		양산
KR	35,17,46.2	128,38,21.7	tailings	○			창원 구룡광산
CH	-	-	mudstone	○			청하 농공단지
CHG	36,09,10.6	129,20,52.5	crystalline tuff	○	○		청하 공장부지
CH3	36,02,26.6	129,18,39.7	mudstone, sandstone	○			청하삼거리
CH4	36,03,59.0	129,19,40.4	mudstone, cryst. tuff	○			청하
KK	35,57,52.7	129,27,15.5	lignite	○			포항 금광리
BS	35,54,03.8	129,28,19.7	black shale	○			포항 방산리
YA	35,53,58.6	129,31,44.6	lignite	○			포항 영암리
YH	37,11,17.9	128,34,07.1	phyllite	○			경북
YJ	35,55,32.9	128,28,58.8	sediments	○		연화재	
DE	-	-	tailings	○		전남	나주 덕음광산
KB	36,10,07.2	127,22,54.0	phyllite	○	○	충남	금산 복수면
DK	36,43,34.9	127,48,45.0	phyllite	○		충북	덕평
SR	36,28,32.4	127,38,52.6	phyllite	○	○		수리티재
IW	36,15,34.9	127,37,35.2	phyllite	○	○		이원재
CP	36,11,47.7	128,00,34.8	granite	○	○		추풍령
HK	36,12,47.2	127,56,39.8	phyllite	○	○		황간
HB	36,29,55.5	127,35,36.4	slate	○	○		회북

## 2.2.2 산발생능력 평가(Acid Base Accounting)

산발생능력 평가(Acid Base Accounting, ABA)는 1)최대산발생능력(Maximum Potential Acidity, MPA), 2)산중화능력(Neutralization Potential, NP)을 구한 후, 두 값의 차이인 3)순산발생능력(Net Acid Production Potential, NAPP)을 구하거나(NAPP = MPA - NP), 4)두 값의 비(NP/MPA ratio)를 계산함으로써 이루어진다. 5)순산발생량(Net Acid Generation, NAG)은 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 이용하여 암석내 황철석을 모두 산화시켰을 때 발생하는 황산 동량(equivalent kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/t)을 구한 값이다.

MPA는 암석내의 황화광물이 산화될 때 생성되는 황산의 최대량으로 통상 이를 중화시킬 수 있는 암석 1t당 방해석 동량(equivalent kg CaCO<sub>3</sub>/t)으로 표현된다. 본 연구에서는 암석 내 황은 모두 황철석으로 존재한다고 가정하였다. 다음의 식 2에서 1mol의 황철석(황 64.13g)이 2mol의 방해석(200.18g)에 중화되므로 상수값은 31.213이 되며, 총 황을 분석한 후 이 값을 곱하여 MPA를 구하였다(식 3).



$$\text{MPA}(\text{kg CaCO}_3/\text{t}) = \text{total S}(\%) \times 31.213 \quad (3)$$

NP는 표준 1N HCl을 이용하여 시료 내에 포함되어 있는 중화물질을 모두 반응시킨 후 소모된 HCl의 양을 표준 0.1N 또는 0.5N NaOH를 이용 역적정(back titration)함으로써 구한다(Sobek et al., 1978; Lawrence and Wang, 1997).

NAG를 구하기 위하여 시료 2.5g을 500ml 플라스크에 넣고 15% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 조금씩 250ml까지 첨가하였다. 끓거나 기포발생이 멈출때까지 기다린 후 시계접시(watch glass)로 덮고 가열장치(hot plate)위에서 온도 약 90℃를 유지하면서 기포방출이 없어질 때까지 천천히 가열하였다. 이후 실온으로 냉각한 다

음 증류수로 최종 부피가 250ml가 되도록 맞춘 후 pH를 기록하였다. 표준 NaOH용액을 이용하여 pH 4.5까지 적정한 후 다음의 식을 이용하여 NAG를 구하였다(Lawrence et al., 1988).

$$\text{NAG}(\text{kg H}_2\text{SO}_4/\text{t}) = (49 \times V \times M)/W \quad (4)$$

여기서 V=적정에 사용된 NaOH 소모량(ml), M=NaOH 농도(moles/L), W=시료무게(g)이다

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 X-선 회절분석

대표적인 시료들의 X-선 회절분석 결과를 그림 2에 제시하였다. 대부분의 암석에서 산성배수의 발생원인 물질인 황철석이 동정되었다. X-선 회절분석 결과를 이용하여 정량적인 광물조성 데이터를 구하면, 각 암석 시료의 산성배수 발생능력에 미치는 조성광물의 영향을 계산할 수 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 사전에 모든 시료에 내부표준시료로서 10 wt.%의 강옥(corundum, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 첨가하였다. 광물조성의 정량분석에는 SIROQUANT(CSIRO, Australia) 프로그램을 사용하였다.

Sverdrup (1990)과 Kwong(1993)은 pH 5.0에서 산에 대한 방해석의 반응속도를 기준(1.00)으로 각 광물상들의 상대적인 반응도를 그룹화 하였다(표 2). 즉, 석영, 루틸, 저어콘 등 상대적으로 풍화에 강한 광물들은 이를 포함하는 암석의 NP에 거의 영향을 주지 않으나, Ca-장석류(Anorthite), 감람석류(amphiboles), 기타 Fe와 Mg를 포함하는 유색광물류들은 비교적 빠르게 풍화되면서 산을 소모하므로 NP값에 대한 상대적인 기여도가 높아진다. 따라서 ABA 결과의 해석시 광물조성을 고려하여 주의를 기울여야 한다.

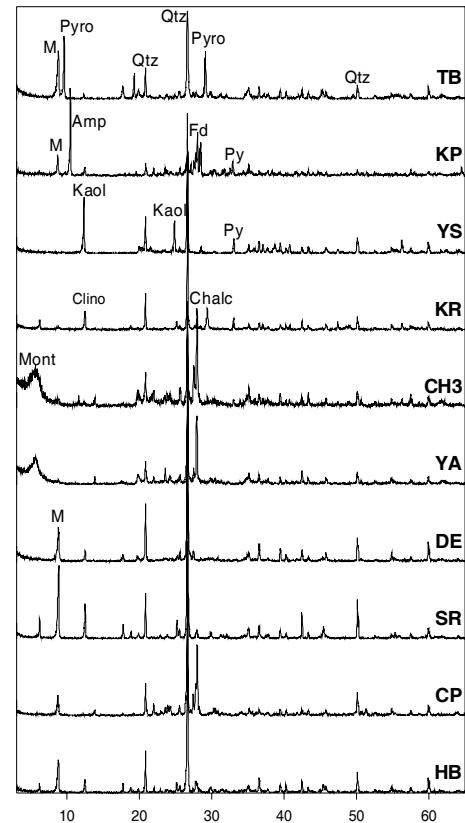


그림 2. X-선 회절분석 결과

표 2. pH 5 에서 광물의 상대적인 반응도.

Mineral Group	Typical Minerals	Rel. Reactivity at pH 5
Dissolving	Calcite, aragonite, dolomite, magnesite, brucite	1.00
Fast weathering	Anorthite, nepheline, forsterite, olivine, garnet, jadeite, leucite, diopside, wollastonite	0.40
Intermediate weathering	Sorosilicates, pyroxenes, amphiboles, phyllosilicates	0.02
Slow weathering	Plagioclase feldspars	0.01
Very slow weathering	K-feldspars, muscovite	0.01
Inert	Quartz, rutile, zircon	0.004

### 3.2 산발생능력 평가

산발생능력 평가의 결과는 표 3에 나와 있다. 최대산발생능력(MPA)은 최소 0.03, 최대 351.77(kg CaCO<sub>3</sub>/t)으로 나타났으며 산중화능력(NP)은 -14.85 ~ 86.25(kg CaCO<sub>3</sub>/t)범위의 값을 보여 준다. NP가 음(-)의 값을 보이는 경우는 시료가 산중화능력이 전혀 없으며, 산발생능력만을 갖는 경우로 해석되는데 이때 총 황의 함량이 고려되어야 한다. 즉, CHG 시료의 경우 NP가 음의 값(-1.7 kg CaCO<sub>3</sub>/t)을 가지더라도, 총 황의 함량이 낮아(0.03 %) 순산발생량(NAG)이 0이므로 산성배수 발생의 위험도는 낮다고 볼 수 있다. 그러나 YS 시료처럼 NP가 음의 값(-6.4 kg CaCO<sub>3</sub>/t)을 가지면서 총 황이 상대적으로 많이 함유되어 있으면 (5.88 %) 산성배수 발생 위험도가 제일 높은 경우로, 실제 NAG 값도 최고치를 보인다(142.139 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/t). 일반적으로 NP/MPA 비에 따라서 산성배수 발생 가능성을 평가하는데, 1)NP/MPA<1 이면 산성배수 발생, 2)1<NP/MPA<2 범위이면 산성배수 발생 가능, 3)NP/MPA>2 이면 산성배수 발생 가능성 희박, 4)NP/MPA>4 이상이면 염기성배수(alkaline drainage) 발생 가능성으로 판단한다(Price et al., 1997). 총 23개 시료중 18개의 시료가 NP/MPA<1에 해당하여 산성배수 발생 가능성이 높은 위험군에 해당한다. 4개의 시료는 NP/MPA>2에 해당하는데 NAG test 결과 모두 0의 값을 보여서 산성배수 발생 가능성이 거의 없는 것으로 확인되었다. 암석의 종류와 산발생능력 평가 결과는 명확한 상관관계를 보여주지는 않으나, 대체적으로 black shale, gneiss, phyllite, granite의 경우 산성배수 발생 가능성이 낮은 군으로, coaly shale, volcanics, tuff, lignite, tailings는 산성배수 발생 가능성이 높은 군으로 분류되었다.

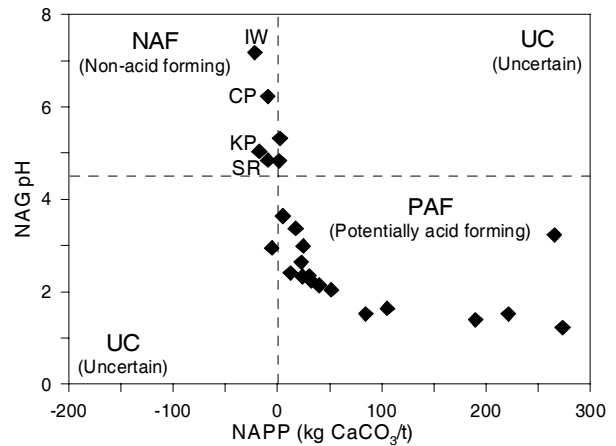


그림 3. 산발생능력 평가 및 산성배수 발생 가능성에 따른 암석시료의 분류

표 3. 산발생능력 평가 결과.

Sample	Total S(%)	Pyrite (%)	(kg CaCO <sub>3</sub> /t)			NP/MPA	NAG (kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /t)
			MPA	NP	NAPP		
YA	0.09	0.16	2.69	-14.85	17.54	-5.53	1.893
CHG	0.03	0.05	0.82	-1.7	2.52	-2.08	0.000
CH4	0.42	0.78	12.95	-11.95	24.90	-0.92	3.359
KK	0.50	0.94	15.69	-7.2	22.89	-0.46	16.844
HK	0.71	1.33	22.27	-1.6	23.87	-0.07	10.686
YW	3.23	6.03	100.66	-4.8	105.46	-0.05	62.093
YH	6.80	12.73	212.31	-8.85	221.16	-0.04	107.839
YS	5.88	10.99	183.38	-6.4	189.78	-0.03	142.139
BS	8.89	16.64	277.55	4.3	273.25	0.02	104.891
DK	1.73	3.24	54.10	2.5	51.60	0.05	25.615
TB	0.06	0.11	1.87	0.4	1.47	0.21	0.000
BK	1.33	2.49	41.62	9.2	32.42	0.22	13.671
KR	11.27	21.08	351.77	86.25	265.52	0.25	3.348
HB	1.73	3.23	53.89	13.8	40.09	0.26	19.467
CH	1.32	2.47	41.20	10.9	30.30	0.26	12.370
DE	0.28	0.52	8.66	3.45	5.21	0.40	1.068
YJ	4.70	8.80	146.79	62.1	84.69	0.42	75.550
CH3	1.36	2.54	42.45	29.8	12.65	0.70	10.004

표 3. 계속

Sample	Total S(%)	Pyrite (%)	MPA	NP	NAPP	NP/MPA		NAG
			(kg CaCO <sub>3</sub> /t)					(kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /t)
BS	0.90	1.68	28.06	33.4	-5.34	1.19	<b>1-2</b>	4.000
KP	0.31	0.57	9.54	26.8	-17.26	2.81	<b>&gt;2</b>	0.000
SR	0.07	0.13	2.22	11.15	-8.93	5.03	<b>&gt;4</b>	0.000
IW	0.08	0.14	2.38	24.1	-21.72	10.14		0.000
CP	0.00	0.00	0.03	9.15	-9.12	312.97		0.000

### 3.3 물시료

표 3은 물시료의 화학분석 결과이다. 7개의 시료가 지하수의 생활용수 이용시 수질기준인 pH 5.8-8.6 범위를 벗어났다. Al은 최대 5배, Fe는 최대 160배, Mn은 최대 80배 이상까지 기준치를 초과하기도 한다. 이는 주로 황철석의 산화로 인하여 발생한 산에 의해 배수가 낮은 pH를 유지하면서 중금속들을 용출시켜 지속적으로 배출하기 때문이다. 따라서 고농도의 중금속을 함유한 산성배수가 계속 생산, 유입될 경우 연구대상 지역 부근 지하수와 하천수의 수질오염이 유발될 개연성이 매우 크다.

표 3. 물시료의 화학분석 결과.

Sample	Temp. (°C)	pH	EC (mV)	(mg/l)							
				F	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ca	K	Mg	Na
HB	16.3	<b>5.68</b>	62.9	0.014	4.735	6.354	25.146	3.86	3.40	1.61	2.51
SR	15.8	<b>2.83</b>	1618.0	0.802	4.674	3.298	947.256	70.8	2.15	29.20	4.34
YS	10.2	<b>3.21</b>	2040.0	17.268	7.888	2.636	1611.832	129.0	6.92	53.60	12.40
HK	24.7	<b>3.68</b>	161.5	0.093	2.521	2.416	67.458	2.06	0.47	3.71	2.89
IW	24.5	6.68	699.0	0.189	2.823	0	133.295	12.7	3.89	33.00	6.45
KB	24.7	<b>3.73</b>	593.0	1.010	7.948	0.687	384.222	38.7	3.46	20.10	6.84
CP	24.7	<b>8.98</b>	157.7	0.197	9.173	0.601	1.999	68.6	5.36	9.28	20.50
CHG	19.1	<b>3.12</b>	2640.0	5.820	12.160	0	2752.880	175.0	18.70	140.00	39.20
KP	16.9	7.14	984.0	0.528	30.284	1.856	505.076	74.4	2.05	10.30	39.50
<b>Stand.*</b>		<b>5.8-8.5</b>			<b>250</b>						

Sample	(mg/l)	(μg/l)										
	Si	Al	Ba	Co	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
HB	5.23	98.2	26.7	7.9	1.58	18.9	20	65.3	13.20	1.76	27.9	10.70
SR	26.10	<b>741.0</b>	4.14	567.0	489.00	<b>5710.0</b>	529	<b>2970.0</b>	1550.0	<b>115.00</b>	96.8	1270.00
YS	31.50	<b>969.0</b>	14.1	403.0	35.70	<b>48500.0</b>	117	<b>26200.0</b>	110.0	74.50	808.0	1150.00
HK	7.04	<b>1110.0</b>	10.1	35.7	16.20	<b>671.0</b>	23.5	36.2	93.30	5.58	28.3	30.50
IW	9.14	4.9	32.0	2.8	2.03	<b>425.0</b>	57.2	<b>1450.0</b>	4.63	7.45	51.2	7.55
KB	21.40	<b>1620.0</b>	25.0	235.0	66.50	<b>373.0</b>	91.6	<b>1310.0</b>	688.00	44.80	72.3	956.00
CP	12.30	8.2	53.9	4.1	0.58	18.9	23.6	<b>3140.0</b>	1.44	4.83	313.0	0.50
CHG	44.10	0	0	320.0	10.50	<b>26500.0</b>	217	<b>7550.0</b>	1260.00	40.80	804.0	<b>3450.00</b>
KP	7.86	113.0	40.5	0	0	0.9	222	<b>361.0</b>	8.78	3.75	3450.0	1.16
<b>Stand.*</b>		<b>300</b>				<b>300</b>		<b>300</b>		<b>100</b>		<b>1500</b>

\*Stand. : 지하수의 생활용수 이용시 수질기준(환경부, 2003)

## 4. 결 론 및 향후 연구 방향

NP/MPA 비에 따라서 산성배수 발생 가능성을 평가한 결과 18개의 시료가 산성배수 발생 가능성이 높은군에, 4개의 시료는 산성배수 발생 가능성이 낮은군에 해당하였으며, 암석의 종류와 산발생능력 평가 결과는 명확한 상관관계를 보여주지 못했다. 전반적으로는 black shale, gneiss, phyllite, granite의 경우 산성배수 발생 가능성이 낮은 군으로, coaly shale, volcanics, tuff, lignite, tailings는 산성배수 발생 가능성이 높은 군으로 분류되었다. 그러나 각 암석별로 광물조성의 정량분석 결과에 따라서 좀 더 세분화된 등급의 분류가 가능할 것으로 생각된다. 건설현장에서 암반의 특성이 산성배수 발생 가능성이 높은 지역일 경우 산발생능력 평가와 더불어 정량화된 광물조성 값을 구하는 정밀조사가 반드시 실시되어야 할 것으로 사료된다. 물시료 분석 결과 일부 항목이 지하수의 생활용수 이용시 수질기준을 초과하였다. 이는 주로 황철석의 산화로 인하여 발생한 산에 의해 배수가 낮은 pH를 유지하면서 중금속들을 용출시켜 지속적으로 배출하기 때문이며, 고농도의 중금속을 함유한 산성배수가 계속 생산, 유입될 경우 연구대상 지역 부근 지하수와 하천수의 수질오염이 우려 된다.

본 연구는 산성배수 발생저감을 위한 기술개발의 첫단계로서 산성배수의 암석별 발생 특성을 파악하고 평가하는데 주 목적이 있었다. 향후 연구는 “황철석을 함유한 암석의 표면을 처리하여 표면에 얇은 피막을 형성시켜 산소의 표면접촉을 차단 혹은 저감”하여 산성배수의 원인이 되는 황철석의 산화를 근본적으로 저감하는 기법을 개발“하는데 주력할 예정이다.

## 사 사

본 연구는 건설교통부의 2004년 건설핵심기술연구개발사업(04핵심기술, A 02-07; 도로건설 절취사면의 산성배수 발생저감을 위한 피막형성기술 개발)에 의하여 지원되었으며 이에 감사드린다.

## 참고문헌

1. 환경부(2003), 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙.
2. Kwong, Y. T. J.(1993), "Prediction and prevention of acid rock drainage from a geological and mineralogical perspective", MEND/NEDEM report 1.32.1, Canadian Centre for Mineral and Energy Technology, Ottawa.
3. Lawrence, R. W. and Wang, Y.(1997), "Determination of Neutralization Potential in the prediction of Acid Rock Drainage", Proc. 17th International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, BC, pp.449~464.
4. Lawrence, R. W., Jaffe, S. and Broughton, L. M.(1988), *In-House Development of the Net Acid Production Test Method*, Coastech Research.
5. Lawrence, R. W. and Scheske, M.(1997), "A method to calculate the neutralization potential of mining wastes", Environmental Geology, Vol. 32, pp.100~106.
6. Price, W. A., Morin, K. and Hutt, N.(1997), "Guidelines for the Prediction of Acid Rock Drainage and Metal Leaching for Mines in British Columbia: Part II - Recommended Procedures for Static and Kinetic Testing", *Proc. 4th International Conference on Acid Rock Drainage*, Vancouver, BC, pp.15~30.
7. Sobek, A. A., Schuller, W. A., Feeman, J. R. and Smith, R. M.(1978), "Field and laboratory methods applicable to overburden and minesoils", EPA report No. 600/2-78-054. pp.47~50.
8. Sverdrup, H. U.(1990), *The kinetics of base cation release due to chemical weathering*, Lund University Press, Lund.