

# 임기광산 폐석 및 퇴적물의 산성배수발생 능력 평가

정영욱, 임길재, 지상우, 민정식, 최용석

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (ywc@kigam.re.kr)

## <요약문>

This study was carried out to evaluate the acid producing potential of geological materials such as pit wall, waste rock and stream sediments near the abandoned Imgi mine. The 17 samples used in this study were collected and then treated by static test such as Acid Base Accounting and etc. Samples of pit wall and waste rocks with high S content display a NAGpH values below 4.5 and net acid potential. Therefore some cost effective measures such as capping and groundwater flow barriers, will be required to reduce the impacts of ARD from the waste rock impoundment and the pit wall on near the stream.

**Key words:** Acid producing potential, Acid base accounting, ARD, Waste rock

## 1. 서론

황화광물이 공기 및 물에 노출되면 금속성분을 함유한 산성 침출수가 발생되는데 이러한 현상을 산성 광산배수(Acid Mine Drainage:AMD) 혹은 산성암석배수(Acid Rock Drainage: ARD)라 한다. ARD가 발생하면 기술적, 환경적 및 사회적 문제를 유발시키므로 ARD 문제가 흔히 발생하는 광산현장이나 암반의 굴착과 폐석적치가 발생하는 토목 건설 현장에서 ARD를 발생시키는 암석의 평가와 이의 관리가 중요하다. ARD를 유발하는 암석의 특성을 평가하는 방법들이 많이 보고되어 왔고 크게 Static test 및 Kinetic test 등으로 구분된다(Orava, 1997).

국내에서 ARD가 발생하는 장소는 광산주변이 대표적이며 광산 이외에 도로 절개지 등 많은 여러 장소에서 확인되고 있다. 본 연구는 그중 ARD를 발생하고 있는 임기광산 폐석적치장을 대상으로 폐석 및 인접 수계에 분포한 하상퇴적물을 대상으로 Static test를 수행하여 이들의 산 발생력을 평가하여 폐석적치장 복원시 필요한 기초자료를 얻기 위해 수행되었다.

## 2. 연구방법

부산시 임기납석광산 주변 폐석 적치장에서 폐석 6개, 인근 수계 퇴적물 9개 그리고 채굴적 암석 2개 등 총 17개 암석 및 퇴적물을 채취하였다(Fig. 1). pH<sub>1:2</sub> 및 EC<sub>1:2</sub>는 시료 및 증류수를 1:2(w/w) 비율

로 섞어서 12시간 경과후 pH 및 EC meter를 이용하여 측정하였다. 총 황(S) 함량은 습식법으로 분석하였고 산 중화능력(ANC: Acid Neutralising Capacity) 시험은 Sobek method(1978)에 의하였다. 총 황 및 ANC 자료를 이용하여 순 산발생 잠재력(NAPP: Net Acid Producing Potential) 과 순 산발생(NAG: Net Acid Generation)을 계산하였다. 최대 산잠재력(MPA: Maximum Potential Acidity)은  $MPA(kg H_2SO_4/t) = \text{총 황}(\%) \times 30.6$ 으로 계산하였다.

NAG시험은 200 mesh 시료 2.5g을 취하여 500ml 비이커에 넣고 15% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 250ml를 첨가하였다. 이후 watch glass로 덮고 Hot plate(80~90℃)에서 기포방출이 없어질 때까지 천천히 가열하였다. 이후 실온으로 냉각한 다음 증류수로 최종 부피가 250ml가 되도록 하였다. 이 용액의 pH를 기록하고 NAGpH로 하였다. NAG 계산은  $NAG = (49 \times V \times M) / W$ 에 의하였다. 여기서 NAG=순 산 발생량(kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/ton), V=적정에 사용된 NaOH 소모량(ml), M=NaOH 농도, W=시료무게(g) 이었다.

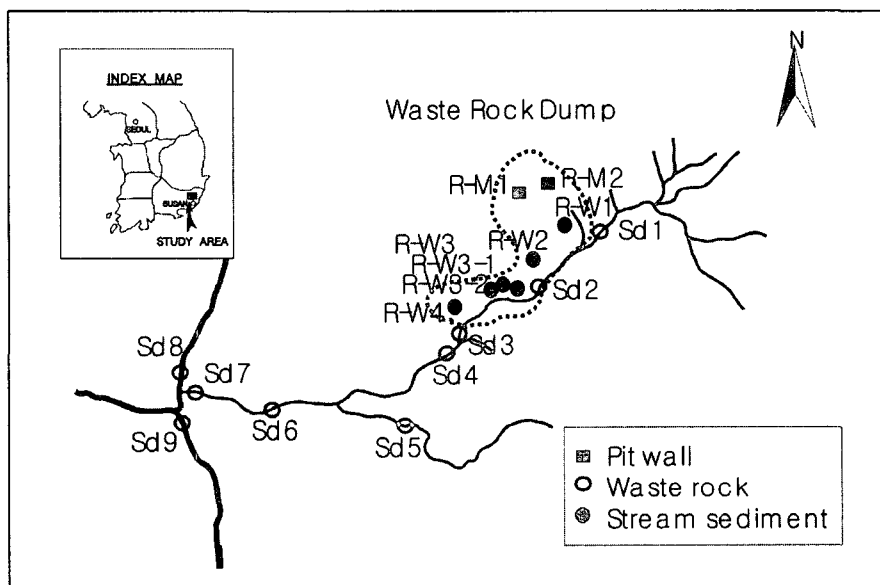


Fig. 1 Sampling site of waste rocks and stream sediments around the Imgi mine

### 3. 연구결과 및 토의

시료들에 대한 pH<sub>1:2</sub> 및 EC<sub>1:2</sub> 자료는 각각 2.65~ 6.43 및 31μS/cm~2,430μS/cm의 범위를 나타냈고 전체 자료를 점시하면 pH가 낮을수록 EC<sub>1:2</sub>는 높았고 pH 4 이상에서는 EC 값이 낮고 일정한 수준을 유지하였다(Fig. 2). EC 값이 낮고 pH가 중성 부근을 유지한 Sd 시료군들(Sd6제외)은 모두 하상퇴적물이다. 이와 반대로 EC값이 크고 산성특징을 나타낸 폐석적치장 폐석과 구 채굴적 암반 시료들은 전기를 전도할 수 있는 염과 자유 수소이온을 포함하고 있는 것으로 해석된다. 따라서 폐석이 강우 등에 노출될 때 표층수에 산도 및 염도를 유발할 수 있는 것으로 나타났다.

총 황분석 값으로 계산된 MPA는 총 황 함량이 황철석 황으로 존재한다고 가정한 값으로 최소 0.098kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/t, 최대 246.942 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/t의 범위로 나타났다. ANC는 황화광물에 의해 발생한 산을 중화할 수 있는 지수로서 최대 8.7kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/t(R-M1)으로 나타났다. (MPA-ANC)를 NAPP로 정의하면 어떤 시료의 NAPP가 양의 값을 가질 때 산을 발생할 수 있는 시료로 간주할 수 있다. Fig. 3에 총 황 함량과 ANC 자료를 점시한 결과 대부분의 하상퇴적물을 제외한 폐석적치장 및 채굴적 암반이

+ NAPP 영역에 접시되어 산 발생이 가능한 시료로 구분되고 있다. 한편 ANC/MPA비는 ARD를 발생 하는지에 대한 안전을 개념으로도 사용할 수 있는데 폐석적치장 폐석 및 채굴적 암반은 안전율 1 이하 로 나타나 ARD 발생 우려 시료들로 구분된다.

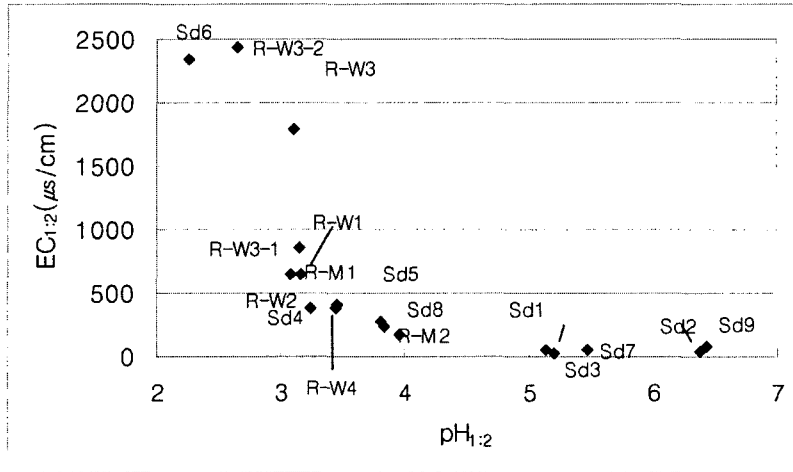


Fig. 2 Plot of pH<sub>1:2</sub> and EC<sub>1:2</sub>

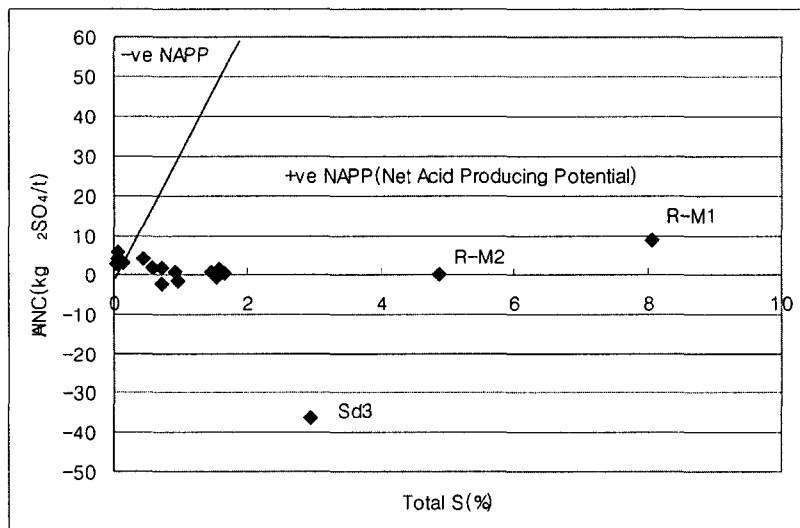


Fig. 3 Acid-base accounting(ABA) plot

Fig. 4에 NAPP와 NAGpH 자료가 접시되어 있다. Sd8, Sd5, Sd1, Sd9의 시료는 산 발생력이 낮은 NAF 시료군으로 기타 폐석장 및 채굴적 시료는 산 발생이 가능한 PAF 시료군으로 구분된다. NAG<sub>pH4.5</sub>는 Fe, Al 및 수소이온에 기인하는 산도(Acidity)를 의미하며, NAG<sub>pH7</sub>은 pH 7까지의 사이에 발생하는 산도로 Cu 및 Zn 등 용해성 금속들에 의해 발생된다. XRD에 의한 광물감정 결과 PAF로 구분된 시료들은 황철석이 확인되는 반면 NAF로 구분되는 시료들은 구성광물 내에는 황철석이 없고 규 산염 조암광물들만 감정된다. 또한 NAF로 구분된 시료들에서는 황철석의 산화에 의한 2차광물로 추정 되는 석고(R-M2, R-W3-2), Jarosite(R-W3, R-3-1) 등이 확인되고 있다.

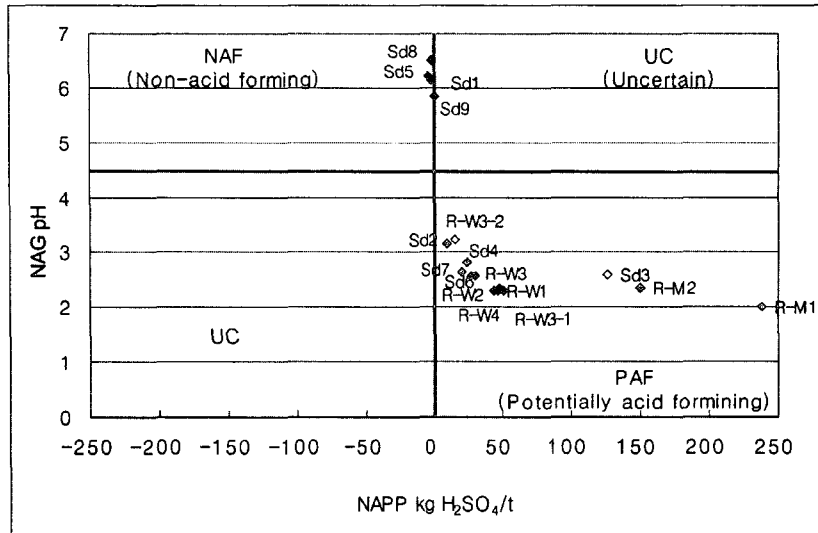


Fig. 4 ARD classification plot

이상의 결과를 종합하면 임기광산 폐석적치장 및 채굴적 암반에는 황철석이 함유되어 있고 장기간 물과 공기에 노출된 결과 산화산물, 즉 자유 수소이온 및 염들이 암석 표면에 잔류하게 되어 증류수의 전기전도도 값을 높였고 산성수로 변화시켰다. 또한 시료 중에는 황화광물이 포함된 반면 이를 중화할 수 있을 정도의 중화광물이 결핍되어 산성배수 발생 암석들로 판별되고 있다. 따라서 임기광산 주변 수계 오염을 방지하기 위해서는 노천 채굴적 암반과 폐석적치장에 대한 산화방지 및 우수배제 조치 등의 조치가 필요한 것으로 나타난다.

#### 4. 결론

본 연구는 부산시 임기광산 채굴적 암반, 폐석장 폐석 및 인근 수계 하상퇴적물을 대상으로 산성배수 발생 능력 평가를 수행하였다. 최대 산 발생력(MPA)은 246.942kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/t (채굴적 암반) 정도였고, 산 중화능력(ANC)은 최대 8.7kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/t로 나타나 채굴적 암반 및 폐석은 ARD를 발생하는 지질물질로 나타났다. 또한 이들에는 이미 황화광물이 산화되어 암석 표면에 염 및 자유수소 이온을 보유하여 강우가 유입될 경우 표층수 및 침투수 등을 ARD로 변화시킬 수 있는 상태이다. 따라서 ARD에 의한 수계오염 방지를 위해 복토 및 지하수 유입방지 등의 조치가 필요하다.

#### 5. 참고문헌

- Orava, D., 1997, 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
- Sobek, A. A. et al., 1978, Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils, EPA-600/2-78-054, USEPA