산성암반배수 저감을 위해 피막형성기법을 적용한 특이산성토양의 화학적 변화와 피복식물의 성장특성 연구

이지민[1] · 김재곤[2]* · 김탁현[1] · 이진수[2] · 김통권[2]

1. 서론

건설현장 절취사면에서 발생되는 산성암반배수(Acid Rock Drainage, ARD)는 암석에 함유된 황철석(pyrite, FeS_2)과 같은 황화광물의 산화에 의해 H^+, SO_4^{2-}, Fe^{2+}를 생산함으로 인해 낮은 pH (<3)와 높은 Al과 Mn 같은 중금속 농도로 특징적이다. 산성암반배수의 낮은 pH로 인해 부식성이 강해 사면처리에 사용되는 배수파이프, 콘크리트 블록, 숏크리트, 인조섬유, 그라우팅 주입제, 강관 및 철근 말뚝 등을 부식하여 구조물의 안정성을 떨어뜨리고 사면녹화 공법에서 사용되는 피복식물의 발아 및 성장을 방해하는 하는 것으로 보고 되어 있다(이규호 등, 2005). 산성배수 저감을 위해 실제 산성 배수 발생현장에서는 황철석에 알칼리 물질을 첨가함으로서 산화를 조절하는 방법이 널리 사용되고 있으나 근본적인 황철석의 산화를 막기 위해 황철석 표면 피막처리를 통하여 O_2의 확산 차단과 접촉을 방지하는 기법이 연구되어왔다 (Evangelou, 1995). 국내에서도 피막형성제를 이용한 황철석 표면 처리를 통한 산성배수 저감 기법의 현장적용을 위해 표준 황철석을 이용한 실내실험을 통해 피막이 형성되는 최적의 물리, 화학적 조건의 도출과 그 내구성을 검증한 연구가 수행된 바 있다 (이규호 등, 2006).

따라서 본 연구에서는 그 내구성이 검증된 피막형성제를 특이산성토양과 황철석 분말을 사용한 모의 화분실험을 수행하여 피막형성제 사용으로 인한 토양 특성의 변화와 이에 따른 사면녹화에 사용되는 피복식물의 발아 및 성장 가능성 및 침출수의 물리, 화학적 특성을 조사하여 피막형성제의 건설현장 절취사면의 산성암반배수 발생저감을 위한 현장적용과 그 효과를 검증하였다.

2. 시료 및 연구방법

본 화분실험을 위하여 평택지역에서 채취한 제3기층 특이산성토양 (Acid sulphate soils)과 투수성 확보를 위한 모래와 충분한 황철석 함량을 유지하기 위해 양산 납석 광산지역에서 채취한 안산암을 파쇄기 (pulverisette 1, Fritsch사)와 미분기 (pulverisette 9, Fritsch사)를 이용하여 파쇄, 체질하여 74μm 이하로 입도 분리하였다. 특이산성토양과 모래와 안산암 분말을 2:2:1의 비율로 교반기에 넣고 섞어 최종 배양토로 사용하였다.

화분 모의실험은 피막형성제를 처리 하지 않은 대조군과 피막형성제의 처리 횟수에 따라 총 6개의 세트로 구성하여 각 세트는 3회 반복실험을 수행하였다. 실험을 위해 제작한 원통형 플라스틱 화분(내경; 20 cm, 높이; 25 cm)에 배양토 약 4.5 kg 채워 각 세트에 따라 A (무처리, 수돗물 4회 처리), B (10^{-2}M H_2O_2 4회 처리), C (피막형성제 1회 처리와 수돗물 3번 처리), D (피막형성제 2회와 수돗물 2번 처리), E (피막형성제 3회와 수돗물 1번 처리)와 E(피막형성제 4회 처리)로 나누어 전처리를 수행하였다. 전처리 후에 다년생 ryegrass (*Lolium perenne)* 종자를 각 화분에 320개씩 뿌려 그늘에서 발아시켜 실외 온실에서 약 2개월간 배양

주요어 : 산성암반배수, 피막형성제, 특이산성토양, 황철석, 화분모의실험

1) 광해방지사업단

2) 한국지질자원연구원 지질환경재해부 환경재해실 (jgkim@kigam.re.kr)

시키며 필요시에 수돗물을 주었다. ryegrass의 발아 후 발아 개체수를 측정하였으며 실험종료 시에 각 화분에서 재배된 ryegrass 개체를 회수하여 세척하고 건조시켜 잎과 줄기부분, 뿌리 부분으로 나누어 생물량(bio mass)을 측정하고 각 부분의 주요 양이온(Al, Ca, K, Fe, Mg, Mn, Na) 및 인산염 이온 (PO_4^{2-})함량을 측정하였다. 또한 침출수를 회수하여 pH를 측정하고 0.45 μm 멤브레인 필터를 이용하여 거른 후 인산염 이온 (PO_4^{2-}), 황산염이온 (SO_4^{2-})과 기타 음이온의 함량과 Al과 Mn을 비롯한 양이온의 함량의 측정하였다. ryegrass 회수 후에 남은 화분토양을 2 cm 간격으로 심도별로 회수하여 건조시킨 후 증류수와 1:1 비율로 섞어 진탕 후 상등액을 취하여 황산염이온 (SO_4^{2-})과 주요 양이온의 함량을 측정하였다. 회수된 ryegrass, 침출수 및 심도별 토양시료의 인산염 이온 (PO_4^{2-})의 함량은 HACH사의 DR/4000U 분광기로, 황산염이온 (SO_4^{2-})과 기타 음이온의 함량은 DIONEX사의 DX-100 이온크로마토그래피를 이용하여 측정하였으며 양이온의 함량의 측정은 ICP-AES (BJY 70 PLUS, JOB IN YVON)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 침출수의 화학적 변화특성

모의 화분실험 동안에 피막형성에 따른 황철석의 산화 정도를 측정하기 위해 침출수의 화학적 변화 특성을 조사하였다. 산성배수는 대표적인 황화광물인 황철석의 산화로 인해 pH3 이하의 강산성과 높은 SO_4^{2-}와 Fe^{2+}의 함량과 Al, Mn 및 중금속의 용출이 특징적이다. 피막형성제 처리 동안에 pH는 처리 세트별 차이를 보이지 않으나 ryegrass의 발아와 성장에 따라 피막형성제 처리를 하지 않은 대조군의 경우 침출수는 pH가 지속적으로 감소하여 실험 종료 시에 pH 3 이하의 강산성을 나타내었다. 피막형성제에 함유되어 있는 과산화수소 (H_2O_2)의 효과 확인을 위한 B 세트에서는 전처리 중에 황철석 입자들과의 초기 반응의 효과로 pH 4~5의 범위를 나타내었다. 피막형성처리 횟수에 따라 1회와 2회 처리한 세트는 대조군과 비슷한 pH 변화 양상을 나타내었으며 3회와 4회 처리한 세트는 실험진행에 따라 pH가 증가하여 최대 6.7의 값을 나타내었다. 피막형성제 처리하지 않은 대조군은 평균 최대 SO_4^{2-} (12,022 mg/L)의 함량을 보였으며 피막형성제 1회와 2회 처리 세트와 비슷한 증가하는 경향을 나타낸 반면, 피막형성제 3회와 4회 처리 세트와 과산화수소 처리 세트는 ryegrass 성장에 따라 감소하는 경향을 보였다. 피막형성제 처리한 경우에 SO_4^{2-}의 함량은 3000 mg/L 이하의 수준을 나타내며 피막형성제 4회 처리한 세트에서는 평균 SO_4^{2-}의 함량이 293 mg/L로 감소되어 황철석 산화를 저지하여 산성배수의 저감 효과를 보임을 지시한다. 또한 식물에 독성영향을 미쳐 성장을 방해하는 것으로 알려진 Al과 Mn 역시 대조군에서 각각 최대 85.8 mg/L와 34.1 mg/L 로 ryegrass의 성장에 악영향을 미친 것으로 해석된다. 약 2개월의 배양 후 회수된 ryegrass의 개체에서 잎이 황색화 현상이 대조군에서 두드러지게 나타내어 이들 원소의 독성영향을 확인할 수 있었다. 그러나 피막형성제로 처리한 경우, 알루미늄은 45 mg/L 이하의 함량을 망간은 24 mg/L 이하의 함량 수준을 보이며 피막형성제 4회 처리한 세트는 낮은 알루미늄 (10.3 mg/L) 및 망간 (6.3 mg/L)의 함량을 나타내어 처리 횟수가 증가할수록 피막형성제의 효과가 증가된다는 것을 추론할 수 있다.

3.2 ryegrass의 발아율과 성장특성

ryegrass를 이용한 모의화분실험에서 종자를 한 후 약 2주 후 발아된 개체수를 세어 발아율을 계산하였다. 피막형성제의 무처리 및 처리횟수에 따른 각 6개의 세트에서 발아율은 유의한 차이를 보이지 못했으며 평균 발아율은 70~81 %의 범위를 나타내었다. 약 2개월의

배양 후 재배된 ryegrass의 개체를 각 처리별로 회수하여 세척하여 건조시킨 총 생물량 (dry bio mass)은 피막형성제 4회 처리 (6.33 g/pot)한 경우에 피막형성제 처리 하지 않은 대조군 (1.90 g/pot)에서 보다 3배 이상의 성장률을 나타내었다. 처리횟수에 따른 잎과 줄기부분의 생물량은 큰 차이를 보이지 못했으나 뿌리부분의 생물량은 처리횟수가 증가함에 따라 성장률의 증가를 나타내어 향후 잎과 줄기부분의 성장이 더욱 증가할 수 있음을 지시하였다. 피막형성제 처리 회수가 증가할수록 회수한 ryegrass의 뿌리, 줄기 및 잎 부분의 Al와 Fe의 함량이 감소되어 식물체 내로의 Al과 Fe의 흡수가 저지되었을 지시한다.

3.3 토양의 심도별 변화

ryegrass 회수후 화분 토양을 심도별로 위로부터 2cm 간격으로 회수하여 분석한 결과 피막형성제 처리한 군들의 최대 pH는 3.8로 대조군(pH 2.8)에 비해 전심도에서 높게 나타났으며 처리횟수가 증가할수록 pH도 증가한 것으로 분석되었으나 심도 6cm 이하에서는 큰 차이를 나타내지 못했다. KCl로 추출해낸 Al의 농도는 피막형성체 처리한 세트와 대조군에서 현저한 차이를 나타내어 위로부터 2cm 심도에서는 대조군 및 과산화수소(H_2O_2)로 처리한 B 세트에서 900~760 mg/kg의 범위를 보인반면에 피막형성제 처리한 세트의 경우 110~470 mg/kg의 범위를 보였다. 피막형성제 처리한 세트들도 처리 횟수가 많을 수록 더 낮은 Al의 함량을 나타내었으며 이러한 차이는 위로부터 심도 6cm 정도의 깊이까지 차이를 나타내며 이후로는 심도별 차이를 거의 나타내지 못했다. 심도별 수산화물의 형태로 존재하는 Fe의 함량은 전심도에서 대조군과 피막형성제 처리군에 대해 차이를 보였으며 대조군에 비해 피막형성제 처리군들에서 철수산화물의 함량이 약 30%정도 감소한 것으로 나타났다. 심도 6cm 정도까지는 피막형성제 횟수가 증가함에 따라 철수산화물의 함량 역시 감소함을 보였으나 그 이하 심도에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 피막형성제에 의한 처리가 심도 6cm 이상에서는 큰 효과를 나타내었으나 그 이하의 심도에서는 효과가 적었으며 심도별 인산염 이온 (PO_4^{2-})의 함량의 변화결과에 의하면 피막형성이 심부까지 충분히 이루어지지 못한 것으로 판단되며 이는 향후 처리의 효율을 높이기 위한 처리 횟수 및 다양한 방법의 적용으로 극복될 수 있다. 따라서 향후 건설현장에서의 산성암반배수 저감을 위해 피막형성기법을 적용할 수 있으며 그 적용에 따라 피복식물의 발아 및 성장에 큰 개선을 이룰수 있을것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이규호, 김재곤, 이진수, 전철민, 박삼규, 김탁현, 고경석, 김통권(2005), "건설현장 절취사면의 산성암반배수 발생특성과 잠재적 산발생능력 평가", **자원환경지질,** 제 38권, 제 1호, pp.91~99.
2. 이규호, 김재곤, 김탁현, 이진수(2006), "산성배수 발생저감을 위한 황철석 표면의 철인산염 피막형성 연구", **자원환경지질,** 제 39권, 제 1호, pp.75~82.
3. Evangelou, V.P.(1995) *Pyrite oxidation and its control,* CRC Press, Inc.