

국내 일부 폐광산 지역에서의 산성광산배수에 대한 자연정화식 처리

황지호¹⁾ · 최선규²⁾ · 박상준²⁾ · 전효택¹⁾ · 심연식³⁾ · 정영욱⁴⁾

1. 서 론

황화광물을 포함하고 있는 광산은 산성광산배수(AMD ; Acid Mine Drainage)를 생성할 수 있는 잠재력을 가지고 있으며, 실제로 석탄, 금속 및 비금속 등 다양한 광물을 채광하였던 곳에서 산성광산배수가 생성되어 많은 환경문제를 야기하고 있다. 이러한 산성광산배수를 처리하는 방법은 크게 물리화학적 처리법(Active Treatment)과 자연정화식 처리법(Passive Treatment) 등 2가지로 구분할 수 있는데, 매우 경제적이면서 자연에서 일어나는 화학적 및 생물학적 반응을 이용하는 자연정화식 처리법을 전 세계적으로 최대한 활용하고 있으며, 최근 국내에서도 일부 폐탄광 및 폐금속광산 지역에서 유출되는 산성광산배수를 자연정화식 처리법을 활용해 실제로 처리하고 있다. 본 연구는 자연정화식 처리법을 이용해 실제로 산성광산배수를 처리하고 있는 일부 폐광산 지역을 대상으로 설치된 자연정화식 처리시설을 조사하고, 각 광산별로 유출되는 산성광산배수의 오염정도를 평가하며, 각 광산별로 설치된 처리시설에 대한 처리효율을 조사하였다.

2. 대상 광산별 자연정화식 처리시설 소개 및 시료채취

연구대상 광산은 영동탄광, (삼마)태정탄광, 동해탄광(6갱 및 7갱), (석봉)성봉탄광, 달성광산 등으로서 총 5개 광산 6개 갱구를 대상으로 하였다. 각 광산별로 설치된 자연정화식 처리시설을 정리하면 Table 1과 같은데, ALD(Anoxic Limestone Drains)는 해당광산의 폐갱도를 활용해 건설되었고 SAPS(Successive Alkalinity Producing Systems)를 포함한 나머지 처리 시스템들은 폐갱구 부근 지상에 건설되어 있었다.

물시료는 1999년 6월과 8월 2차례에 걸쳐 ALD 이후 각 처리시스템으로 유입 및 유출되는 배수를 각각 채수하여 현장에서 pH, Eh, EC, DO 등을 측정하였고, 실험실에서 산도 및 알칼리도를 측정하였으며, ICP-AES와 IC를 이용해 양이온과 음이온을 분석하였다.

Table 1. Passive treatment systems constructed to treat acid mine drainage in some abandoned mining sites.

Mine	Adit	Passive treatment systems
Youngdong	2nd	ALD → Settling pond
Taejung		SAPS → Compost wetland → Wetland → Settling pond
Donghae	6th	ALD → SAPS1 → SAPS2 → Settling pond → Wetland
	7th	ALD → SAPS → Settling pond → Wetland
Seongbong		ALD → SAPS1 → SAPS2 → Settling pond → Compost wetland → Wetland
Dalsung		Anaerobic wetland1 → Anaerobic wetland2 → Anaerobic wetland3 → Wetland1 → Wetland2

주요어 : 자연정화식 처리, 산도, 순산도, SAPS, 혐기성소택지

1) 서울대학교 지구환경시스템공학부 (e-mail : jihoh1@hanmail.net)

2) 고려대학교 지구환경과학과 3) 석탄산업합리화사업단 4) 한국자원연구소 자원연구부

3. 산성광산배수의 오염정도에 대한 평가

대상 광산들로부터 유출되는 산성광산배수의 pH는 2.8(태정탄광)에서 4.8~5.1(동해탄광 7갱)의 범위를 보였고, Fe와 Al은 영동탄광에서 535mg/l와 100mg/l로 가장 높은 함량을 보였다. 산성광산배수의 대표적 오염인자라 할 수 있는 pH와 Fe, Al 및 Mn 함량을 이용해 전효택과 황지호(1998)에 의해 활용된 바 있는 각 오염인자별로 유발된 산도(acidity)를 계산하여 각 산성광산배수의 오염정도에 대해 종합적으로 평가하였다. 산도에 기인한 각 산성광산배수의 오염정도는 영동탄광, 태정탄광, 성봉탄광, 동해탄광 6갱-달성광산, 동해탄광 7갱의 순으로 오염되었으며, 모든 산성광산배수에서 유발된 산도는 광물산도에 의해 93% 이상이 유발되었고 특히 Fe와 Al에 의해 유발되고 있었다. 유발된 산도를 CaCO₃ 당량으로 환산했을 때, 양성자산도가 가장 높은 곳은 태정탄광으로 약 80mg/l이고, Fe와 Al에 의해 유발된 산도가 가장 높은 곳은 영동탄광으로 약 1,500mg/l이며, Mn에 의해 유발된 산도가 가장 높은 곳은 달성광산으로 약 155mg/l이었다. 이들 산성광산배수를 처리하기 위해서는 알칼리성분이 제공되어야 하는데, 특히 영동탄광이 총산도(CaCO₃ 당량으로 환산해서)가 1,481~1,553mg/l로 가장 높고 평균 유출량이 1,700m³/day로 가장 많아 상대적으로 가장 많은 알칼리성분이 제공되어야 함을 알 수 있다.

4. 처리 시스템별 처리효율 평가

과거에는 처리 시스템별로 특정 성분에 대한 처리효율을 계산할 때 단순히 유입수 및 유출수 내 함량변화를 이용해 계산하였는데, 이 방법은 감소한 절대함량에 대한 정보의 손실 뿐 아니라 유량 및 처리 시스템의 크기가 고려되지 않기 때문에 적절치 않다. 때문에 각 광산지역에 설치된 처리 시스템의 처리효율을 평가할 때에는 유량과 각 처리 시스템의 크기가 반드시 고려되어야 하며, 특히 산성광산배수에 대한 처리효율을 종합적으로 평가할 때에는 순산도(= 총산도-총알칼리도)에 대한 처리효율로써 평가하는 것이 적절하다.

먼저 대상 광산별 처리시설의 총산도에 대한 제거능력은 동해탄광 6갱, 성봉탄광, 달성광산의 경우 순산도(CaCO₃ 당량으로 환산해서)가 대부분 20mg/l 이하 혹은 음의 값을 보여 아주 좋았는데 비해 나머지 광산들은 대부분 순산도가 180mg/l 이상의 값을 보여 더 많은 알칼리도를 필요로 함을 알 수 있다. 대상 광산들의 처리 시스템별로 순산도에 대한 처리효율을 계산한 결과 SAPS와 혐기성소택지에서 그 처리효율이 상대적으로 가장 높았는데, 순산도(CaCO₃ 당량으로 환산해서)에 대한 처리효율이 특히 높은 처리 시스템들을 광산별로 살펴보면 태정탄광의 경우 SAPS가 182~230g·m⁻²·day⁻¹로, 성봉탄광의 경우 SAPS1이 204g·m⁻²·day⁻¹로, 동해탄광 6갱의 경우 SAPS1과 SAPS2가 44~91g·m⁻²·day⁻¹로, 달성광산의 경우 혐기성소택지2와 혐기성소택지3이 47~59g·m⁻²·day⁻¹로 각각 계산되었다.

5. 결 론

산도에 기인한 각 산성광산배수의 오염정도는 영동탄광, 태정탄광, 성봉탄광, 동해탄광 6갱-달성광산, 동해탄광 7갱의 순으로 오염되었으며, 모든 산성광산배수에서 유발된 산도는 93% 이상이 광물산도에 의해 유발되었다.

대상 광산별 처리시설의 총산도에 대한 제거능력은 동해탄광 6갱, 성봉탄광, 달성광산이 좋았으며, 대상 광산들의 처리 시스템별로 순산도에 대한 처리효율을 계산한 결과 SAPS와 혐기성소택지에서 그 처리효율이 상대적으로 가장 높게 나타났다.

6. 참고문헌

전효택, 황지호 (1998) 폐 석탄광 주변 지구화학적 환경의 중금속 오염 평가 -도계탄광 부근 수계에서의 산성광산배수의 지구화학-. 한국자원공학회지, 35권 5호, p. 491-500.