

## 폐광산지역에서 지하수의 암상별 수질 특성

김민, 정상용, 강동환, 김민철\*, 안홍일\*

부경대학교 환경지질과학과, \*농업기반공사 (e-mail : mzone77@daum.net)

### <요약문>

폐광산 지역내 사문암, 석회암 및 호온펠스와 지하수의 수질과의 상호관계를 비교 연구하였다. 암상별로 지하수를 채수하여 산화환원전위(Eh)와 수소이온농도(pH)를 측정하였다. Eh-pH 다이어그램을 작성한 결과 pH는 중성에서 약알칼리성으로 나타났으며, Eh는 -316.5~202.1 mV의 범위로 나타났다. 암상별 지하수의 파이퍼 다이어그램 분석 결과, 사문암 지역에서는  $Mg^{2+}$ - $SO_4^{2-}$ 형, 석회암 지역에서는  $Ca^{2+}$ - $HCO_3^-$ 형이 우세하게 나타났다. 또한 호온펠스 지역에서는  $Na^+$ + $K^+$ 와  $CO_3^{2-}$ + $HCO_3^-$  성분의 비가 다른 지역보다 높게 나타났다. 국부적인 폐광산 지역에서도 지하수내 주이온성분이 암상별 광물의 특성을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

주제어 : 암상별 수질특성, Eh-pH 다이어그램, 파이퍼 다이어그램.

## 1. 서론

본 연구지역은 경상분지의 동남쪽에 위치해 있으며, 울산단층과 양산단층이 동, 서쪽에서 각각 북북서 및 북북동 방향으로 발달해 있다. 사암과 셰일로 구성된 백악기 퇴적암인 울산층이 연구지역에 광범위하게 분포하고 있고, 이를 관입 내지 분출한 화강암류가 발달해 있다. 그 후, 초염기성암이 관입하여 사문암화 되었고, 거정질 방해석맥을 다수 포함한 탄산염암체가 마지막으로 관입하고 있다. 울산층과 화강암류의 접촉부에서는 호온펠스화 되어 접촉교대광물이 발견된다(양경희 외, 2001).

일반적으로 지표수나 지하수는 기반암의 종류에 따라 수질이 달라질 수 있다. 지표수의 지구화학적 특성에 관하여 기반암의 종류에 따른 수질특성이 연구된 사례가 있으며(유재영 외, 1994), 지하수의 지구화학적 특성에 관하여 화강암질 대수층(이종운 외, 1997), 편마암질 대수층(정찬호 외, 1994)에서의 수질특성이 연구된 사례가 있다.

본 연구에서는 현장에서 Eh와 pH를 측정하였으며, 주이온성분을 실내분석하여 연구지역내 사문암, 석회암 및 호온펠스 지역에서의 수질특성을 비교 연구하였다.

## 2. 본론

### 2.1. 현장 수질 측정

Fig. 1에 연구지역내 각 암상별 지하수공의 위치를 도시하였다. 연구지역에는 3종류의 암상이 분포하

고 있다. 연구지역의 북쪽에 호온펠스, 중앙부에 석회암, 남쪽에는 사문암이 넓게 분포해 있다. 사문암 지역에 9개공, 석회암 지역에 6개공 및 호온펠스 지역에 3개공이 위치하고 있으며, 전체 18개 지하수공에서 Eh와 pH 성분을 현장측정 하였다.

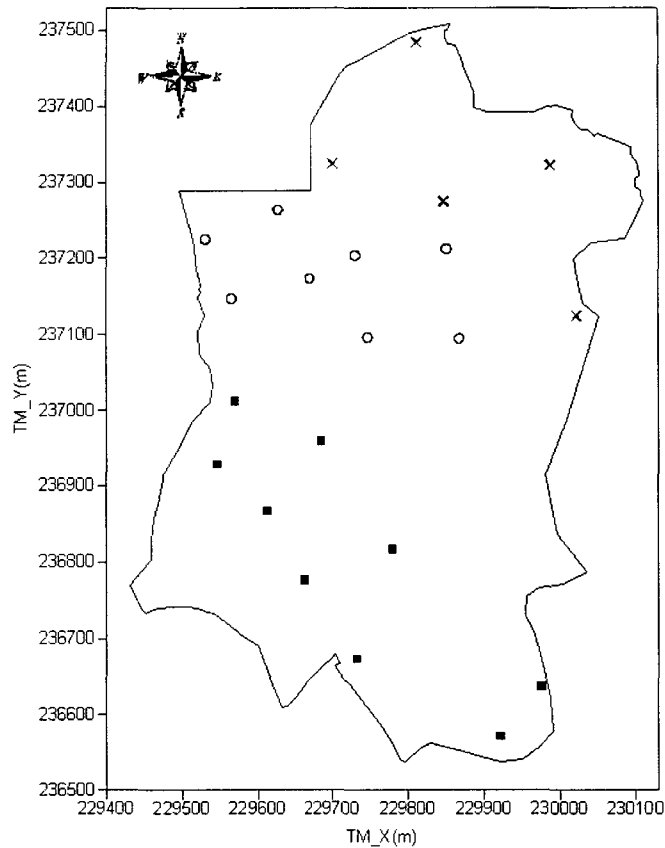


Fig. 1. Location map of the sampling wells(■: serpentinite, ○: carbonate, ×: hornfels).

현장에서 측정된 지하수 수질의 일반통계분석 결과를 Table 1에 정리하였다. 연구지역내 pH는 7.06~8.54의 범위로 나타났다. 평균 pH는 사문암 지역이 가장 높았으나, pH값이 가장 높은 지하수공은 석회암 지역에 위치해 있다. 호온펠스 지역은 평균 pH가 7.21로 다른 암상 지역보다 낮게 나타났으며 범위는 0.30 정도이다. 연구지역내 Eh의 범위는 -316.5~202.1mV로 나타났으며, 평균 Eh값은 사문암 지역 > 호온펠스 지역 > 석회암 지역으로 나타났다.

Table 1. General statistics analysis of Eh and pH components in the study area

Statistics	Serpentinite		Carbonate		Hornfels	
	pH	Eh(mV)	pH	Eh(mV)	pH	Eh(mV)
Number of data	9	9	6	6	3	3
Mean	7.97	131.6	7.61	4.7	7.21	59.9
Variance	0.169	15393	0.228	57363	0.025	38136
Standard deviation	0.411	125.3	0.478	239.5	0.150	195.3
Minimum	7.18	-195.2	7.25	-316.5	7.06	-165.4
Maximum	8.52	202.1	8.54	189.7	7.36	180.0
Skewness	-0.711	-2.765	1.933	-0.944	0.000	-1.721
Kurtosis	0.427	7.913	4.082	-1.841	-	-

Eh-pH 다이어그램을 작성한 결과, 전체 18개 지점 중 14개 지점은 산화환경, 4개 지점은 환원환경으로 나타났다. 사문암 지역 중 1개 지점을 제외한 8개 지점이 산화환경으로 나타났으며, 석회암과 호온펠스 지역은 pH가 증가할수록 Eh가 감소하는 경향을 보였다(Fig. 2).

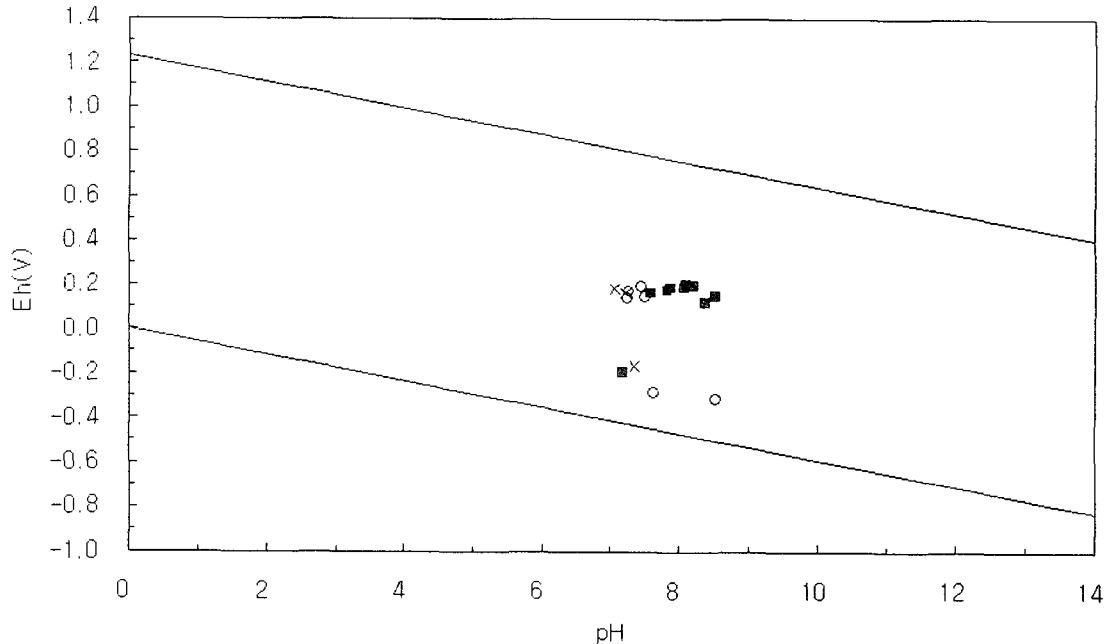


Fig. 2. Eh-pH diagram(■: serpentinite, ○: carbonate, ×: hornfels).

## 2.2. 주이온 성분 분석

연구지역에서 사문암 지역 9개공, 석회암 지역 8개공 및 호온펠스 지역 5개공에서 지하수를 채수하여 주이온성분( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ )을 실내분석 하였다. 주이온성분값의 분석과정에서 채수나 실내분석시의 오차정도를 파악하기 위해 양이온과 음이온의 총당량비(이온당량비)를 계산하였다. 유재영(1994)은 이온당량비가 0.7~1.3 범위이면 분석값이 신뢰성을 가지는 것으로 판단하였기에 본 연구에서도 이러한 범위내의 자료만 이용하였다.

이온분석 값들에 대한 암상별 파이퍼 다이어그램을 작성하였다(Fig. 3). 사문암 지역 중 6개 지점이  $\text{Mg}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ 형에 속하며, 2개 지점은  $\text{Mg}^{2+}$ - $\text{HCO}_3^-$ 형에 포함되는 것으로 나타났다. 사문암은 감람석, 휘석, 각섬석 등  $\text{Mg}^{2+}$  성분이 많은 광물이 열수변질작용에 의해 생성되어진 암석이기 때문에, 파이퍼 다이어그램에서도  $\text{Mg}^{2+}$  성분이 61%meq/l,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분이 72%meq/l로 매우 높게 나타나고 있다. 석회암 지역은 7개 지점이  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{HCO}_3^-$ 형에 속하며, 1개 지점이  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ 형에 포함되는 것으로 나타났다. 석회암은 탄산염(carbonate)을 다량 함유하고 있으므로,  $\text{CO}_3^{2-}$ + $\text{HCO}_3^-$  성분이 평균 60%meq/l 이상으로 높게 나타났다. 호온펠스 지역은  $\text{Na}^+$ + $\text{K}^+$  성분 18%meq/l,  $\text{Mg}^{2+}$  성분 50%meq/l,  $\text{Ca}^{2+}$  성분 32%meq/l로 나타났다. 호온펠스의 원암은 사암과 셰일로 구성된 울산층이므로 알칼리장석과  $\text{CaCO}_3$  성분이 풍부하여  $\text{Na}^+$ + $\text{K}^+$ 와  $\text{CO}_3^{2-}$ + $\text{HCO}_3^-$  성분의 비가 다른 지역보다 높게 나타났다.

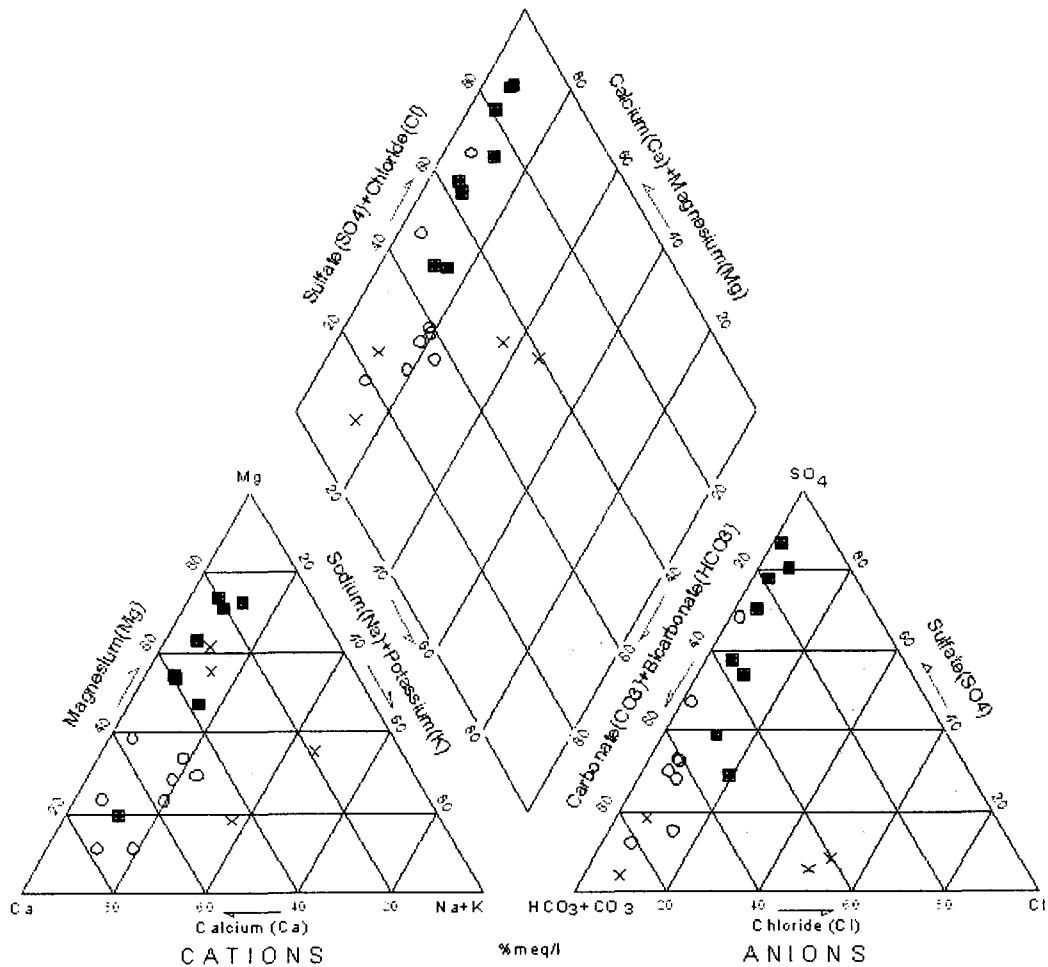


Fig. 3. Piper diagram of the major ion composition(milliequivalents) in groundwater  
 (■: serpentinite, ○: carbonate, ×: hornfels).

### 3. 결론

폐광산 지역에서 암상별 지하수 수질 특성을 비교 연구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 현장 수질 측정 결과 pH는 중성에서 약알칼리성으로 나타났으며, 평균 pH가 사문암>석회암>호운펠스 지역으로 나타났다. 평균 Eh는 사문암>호운펠스>석회암 지역으로 나타났고, 사문암 지역은 산화환경을 보이며 석회암 지역과 호운펠스 지역은 pH가 증가할수록 Eh는 감소하는 경향을 보였다.
- 2) 주이온 분석 결과 사문암 지역은  $Mg^{2+}$ - $SO_4^{2-}$ 형과  $Mg^{2+}$ - $HCO_3^-$ 형으로 나타났고, 석회암 지역은  $Ca^{2+}$ - $HCO_3^-$ 형과  $Ca^{2+}$ - $SO_4^{2-}$ 형으로 나타났다. 호운펠스 지역에서는  $Na^+$ + $K^+$ 과  $CO_3^{2-}$ + $HCO_3^-$ 의 비가 다른 지역보다 높게 나타났다. 국부적인 폐광산 지역에서도 지하수내 주이온성분이 암상별 광물의 특성을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

- 1) 양경희, 황진연, 옥수석, 2001, 울산 광산에 분포하는 탄산염암체의 성인에 관한 연구, 한국암석학회지, 10(1), p.1-12.
- 2) 유재영, 최인규, 김형수, 1994, 춘천 지역의 기반암 종류에 따른 지표수의 지구화학적 특성, 지질학회지, 30(3), p.307-324.
- 3) 이종운, 전효택, 전용원, 1997, 국내 화강암질암내 심부지하수의 지구화학적 특성, 지하수환경, 4(4), p.199-211.
- 4) 정찬호, 김수진, 고용권, 1994, 편마암 열극에서의 물-암석 상호반응에 의한 점토광물 생성, 한국광물학회지, 7(1), p.49-61.
- 5) 한정상, 2000, 지하수환경과 오염, 1071p.