

# 경북지역의 먹는 물에서 지질에 따른 비소, 스트론튬, 셀레늄 검출 특성

## Occurrence of Arsenic, Strontium, and Selenium in Drinking Water in Kyungpook Province, Korea, in Relation to Geologic Formations

이 해 근<sup>1)</sup> · 차 상 덕<sup>1)</sup> · 최 정 학<sup>2)</sup> · 김 영 훈<sup>†</sup>

Heageun Lee · Sangdeok Cha · Jeonhak Choi · Younghun Kim

Received: September 30<sup>th</sup>, 2014; Revised: October 14<sup>th</sup>, 2014; Accepted: December 17<sup>th</sup>, 2014

**ABSTRACT** : As the water supply system has been installed over the country, the management of drinking water could be easier and controlled by experts. This helps to supply safe water to public. However, in rural area, small scale water treatment systems or groundwater has been used as drinking water supplier. The drinking water including groundwater contains various contaminants. Private or small scale water treatment system can be contaminated with heavy metals such as arsenic, selenium and strontium which are usually originated from natural source. Arsenic, selenium and strontium have been determined from the groundwater, small scale water treatment system in the Kyungpook area. The results have been compared with the Korean and international standards. The results were analyzed on the geological characteristics of the area. Among the total of 1,412 samples, 76 samples showed higher concentration of arsenic than WHO guideline and the Korean drinking water standard. Total 4 samples had higher contents of selenium than WHO guideline which was 10  $\mu\text{g/L}$ . In the analysis of geological characteristics, arsenic was highly released from a few area and which are in order of biotite granodiorite > biotite granite > daegu formation. Selenium has been highly released from biotite granite > black shale > diluvium.

**Keywords** : Selenium, Arsenic, Strontium, Drinking water, Geological, Groundwater

**요 지** : 상수도 보급율이 계속적으로 높아지면서 먹는 물의 관리가 대형화 및 전문화되고 있어 안전한 물 공급에 유리한 면이 많다. 그러나 농어촌지역의 경우 소규모 상수도 및 지하수, 샘물 등을 먹는 물로 이용하는 경우가 여전히 많다. 지하수를 포함한 먹는 물에는 다양한 오염물질이 포함되어 있다. 개별 또는 소규모 정수시설의 경우 비소를 포함하는 중금속에 의해 오염되어 있을 가능성을 배제할 수 없고 대부분 자연기원인 셀레늄, 스트론튬 등의 미량원소의 농도도 높게 검출되는 경우가 있다. 본 연구에서는 경북중북부지역의 지하수, 소규모 먹는 물 공급시설을 대상으로 비소, 셀레늄, 스트론튬의 농도를 측정하였으며 오염 정도를 국내의 환경기준과 비교하고 시료를 채취한 지역의 지질적 특성과도 비교·분석하였다. 비소의 경우 총 1,412개의 시료 가운데 WHO 및 국내의 먹는 물 기준을 초과한 시료는 76개이며 비율은 5.38%이다. 셀레늄의 경우 총 1,283개의 시료 가운데 WHO의 권고기준을 초과한 시료는 4개이며 비율은 0.31%이다. 지질적 특성비교에서 비소의 경우 흑운모화강암 > 흑운모 화강암 > 대구층에서 높게 검출되었으며, 셀레늄의 경우 흑운모화강암 > 흑색혈암 > 홍적층의 지질의 지역에서 높게 검출되었다.

**주요어** : 셀레늄, 비소, 스트론튬, 먹는 물, 지질적 특성, 지하수

## 1. 서 론

하천이나 호소를 먹는 물의 공급원으로 사용하는 경우 점오염원과 비점오염원에 의한 상수원의 오염을 조심하여야 하며 다양한 오염물질에 의한 오염이 가능하다. 수질오염을 일으킬 수 있는 농약, 유해성 유기물, 중금속, 영양물질, 세균 등에 의한 오염이 대표적이다. 지하수의 경우 인간의 산업활동에 의한 다양한 오염물질로 오염될 가능성이 낮은 반면 자연에서 유입되는 물질에 의한 오염이 고려되어야 한다. 지하수는 지하의 토양 및 지각 구성 물질과 오랜 시간 접촉

하고 있으므로 중금속을 포함한 다양한 이온성 물질의 유입이 가능하다. 비소는 가장 흔한 지하수 오염물질의 하나이며 인간의 활동에 의한 오염과 자연적 기원에 의한 오염이 모두 가능하고 비소의 높은 독성으로 지하수에서 높은 농도로 검출될 경우 먹는 물로 적합하지 않다(Semdlley & Kinniburgh, 2002; Ng et al., 2003; Duker et al., 2005; Haque et al., 2008; Islam et al., 2013). 스트론튬, 셀레늄의 경우 비소에 비해 독성은 낮으나 높은 농도에서 독성이 있으며 비소에 비해 적은 수의 연구가 진행되었으나 지하수에서 검출될 수 있으며 지속적인 모니터링이 필요한 원소이다(Rouxel et al., 2002;

1) GyeongSangBuk-Do Government Public Institute of Health &amp; Environment

2) Department of Environment Engineering, Catholic University of Pusan

† Department of Environmental Engineering, Andong National University (Corresponding Author : [youngkim@andong.ac.kr](mailto:youngkim@andong.ac.kr))

Yun et al., 2004; Ahn et al., 2005; Kim, 2005; Chon et al., 2009; Kim et al., 2012; Wiegand & Schwendenmann, 2013; Paces & Wurster, 2014).

비소는 지각에 존재하여 자연적으로 용출될 수 있는 원소이며 풍화 등의 작용과 미생물의 작용이 용출에 영향을 미친다(Islam et al., 2013). 농업, 공업, 광산개발 등의 인간의 활동은 비소의 오염을 가중시키며 수 생태계로 유입되게 하며 환경전체에 넓게 분포한다. 비소는 다양한 기관에 독성이 있으며 피부독성 및 면역체계에 대한 독성이 잘 알려져 있다(Duker et al., 2005). 비소는 주로 +3가와 +5가의 형태로 자연계에 존재하며 산화환경에서는 +5가, 그리고 환원 환경에서는 +3가의 형태로 존재하며 넓은 범위의 pH와 산화환원(Eh) 조건에서 용해상태로 존재할 수 있어 지하수에 비교적 쉽게 용해된다. 비소로 오염된 먹는 물은 범세계적인 문제이며, 특히 개발도상국의 경우 상수시설의 부족 및 원수의 오염으로 비소의 농도가 높은 물을 먹는 물로 사용하는 경우가 많다(Smedley & Kinniburgh, 2002; Duker et al., 2005). WHO의 권고치는 10 $\mu$ g/L지만 아르헨티나, 칠레, 중국, 인도, 멕시코 등의 국가는 여전히 50 $\mu$ g/L를 기준으로 하고 있어 독성을 일으킬 가능성이 높은 농도의 물을 먹는 물로 사용하고 있다. 지하수에서 높은 농도의 비소는 층적층 또는 삼각주의 퇴적암지역에서 발견되며 높은 용해성 철이온과 낮은 질산이온 및 황산이온과 함께 발견된다고 알려져 있다(Haque et al., 2008).

셀레늄은 화학적 특성이 황과 유사하며 지각에 미량 존재한다. 산화수는 +6, +4, 0, -2 등으로 존재하며 6개의 동위원소로 존재한다. 생명에 필수요소이지만 독성이 있으며 동위원소의 비는 지질적 및 생물적 추적자로 활용되고 있다(Rouxel et al., 2002; Carignan & Wen, 2007; Wen & Carignan, 2007; Kim et al., 2012).

스트론튬은 자연환경에서 매우 안정한 원소이고 산업과 의학 및 연구목적에 사용되는 원소이다. 스트론튬은 생명의 필수원소는 아니며 생물학적 역할도 잘 알려져 있지 않지만 생명체에서 발견된다. 스트론튬은 그 화학적 성질이 칼슘과 비슷하며 흡수되어 뼈에 저장된다. <sup>90</sup>Sr은 방사성 동위원소로 핵분열의 과정에서 생성된다. <sup>90</sup>Sr은 뼈 암을 포함하여 뼈와 관련된 질환을 유발할 수 있는 것으로 알려져 있으며 먹이사슬을 통하여 인체에 유입될 수 있다(Choo et al., 2009; Wiegand & Schwendenmann, 2013; Xie et al., 2013).

비소를 포함하는 중금속들이 자연에서 유출되는 양은 많은 지질적, 수화학적 인자에 의해 영향을 받을 수 있다. 우선 각 대상금속을 포함하고 있는 암석이 존재하는 지질적 요건이 충족되어야 하고 이들 물질이 용출될 수 있는 지질 화학적, 수질화학적 조건이 중요하다. 각각의 요인에 대한

연구결과가 발표되어 있으나 전체를 이해할 만큼 충분한 자료가 발표되어 있지 않다. 최근 Islam 등은 비소광물의 용해에 대해 연구하여 발표하였으며, 각 비소를 포함하고 있는 광물의 용해 정도와 미생물의 작용을 고려하여 연구하였다. 비소광물의 용해도는 native-As > arsenolite > orpiment > realgar > arsenopyrite > tennantite 순이라고 발표하였다(Islam et al., 2013). Hossain 등은 GIS 데이터와 지질, 토양반응, 표고, 토양유기물질, 토양 철의 양 등을 포함하는 각종 인자를 종합하여 비소로 인한 오염을 예측하는 프로그램을 개발하였다. 이들은 이 예측프로그램을 방글라데시아 지역에 적용하여 78% 이상의 정확도를 확인하였다(Hossain & Piantanakulchai, 2013).

본 연구에서는 보건환경연구원에 분석 의뢰되는 경상북도지역의 먹는 물 중 마을 상수도 및 소규모 급수시설, 지하수, 샘물 및 먹는 샘물, 먹는 물 공동시설, 지하수 측정망 및 민방위 비상 급수시설 등의 물 시료를 대상으로 비소, 셀레늄, 스트론튬 등의 농도를 측정하였으며, 결과를 국내외 수질기준과 비교하여 지질적 특성 및 행정적 구역으로 나누어 고찰하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 시약 및 재료

본 연구에는 고순도의 시약이 사용되었고 주로 질산, 표준 금속원소 등이 구입되었으며 구입 후 추가정제 없이 사용하였다. 중금속 분석용 고순도 Nitric acid(HNO<sub>3</sub>, 68~70%, 유해중금속용, JUNSEI)을 사용하였다. 중금속 표준원액은 Multi-Element Calibration Standard 3가 사용되었으며(Manufactured under ISO 9001 Quality Assurance System) 농도는 10mg/L 였다.

### 2.2 먹는 물 시료의 채취

경상북도 중남부지역 시·군에 소재하고 있는 마을 상수도 및 소규모 급수시설, 지하수, 샘물 및 먹는 샘물, 먹는 물 공동시설, 지하수 측정망, 민방위 비상 급수시설 가운데 연구원에 의뢰되는 시료를 사용하였으며 일부 사회복지시설 지하수, 민·관합동수질 확인검사 시료 등은 직접 시료를 채수하여 조사하였다.

### 2.3 시료의 전처리 및 분석

각 분석 원소는 표준원액(ICP-MS용 100mg/L) 및 질산(68~70%, 특급)을 각각 1mL씩 취하여 100mL 용량플라스크에

서 희석하여 표선까지 3차 증류수를 넣어 표준용액(1mg/L)을 조제하였다.

시료의 경우 Whatman사의 0.45 $\mu$ m의 PTFE Syringe Filter를 이용하여 여과한 뒤 질산(68~70%, 특급)으로 전처리(0.5 V/V%로 산처리)하여 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS Spectrometer, Perkin Elmer, ELAN DRC-e)를 사용하여 정량분석하였다. ICP-MS 분석의 경우 표준용액(1mg/L)을 증류수로 희석하여 5, 10, 20, 30 $\mu$ g/L 4 point의 비소(As<sup>75</sup>), 셀레늄(Se<sup>82</sup>), 스트론튬(Sr<sup>88</sup>)농도 검량선을 작성하여 시료를 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

중금속 분석에 사용된 먹는 물 시료는 분석항목에 따라 다소 차이가 있고, 총 1286~1512개이며 시료의 종류를 구분하면 지하수, 정수공정을 거친 정수, 마을 상수도, 샘물, 먹는 물 공동시설, 민방위 비상 급수, 소규모 정수시설, 군용수로 구분될 수 있다. 각각의 시료수의 비율은 13.2~20, 21.4~31, 7~35, 3.2~4.9, 0.4~0.7, 7.1~9.7, 18.3~31.9, 0.4~0.7%로 평균적으로 정수가 가장 높은 비율을 차지한다. 전체시료에 대한 각 금속의 오염 정도를 살펴보면 비소의 경우 전체시료에 대한 평균농도는 2.53 $\mu$ g/L이며 표준편차는 6.24이다. 중간값은 0.51 $\mu$ g/L 이고, 하위 25%는 0.286 $\mu$ g/L, 상위 25%는 1.94 $\mu$ g/L이다. WHO의 먹는 물 권고기준, 한국과 미국의 먹는 물 기준인 10 $\mu$ g/L를 초과하는 시료의 수는 76개이며 비율은 5.38%이다. 최대농도는 60.4 $\mu$ g/L이며

Table 1. Optimized analytical conditions of ICP-MS

	Condition
Model	PerkinElmer ELAN DRC-e
Detector Mode	Dual Mode
Scanning Mode	Peak Hopping
Sample Introduction System	Cross-flow with Scott spray chamber
Nebulizer gas flow	0.725~0.775 L/min
ICP RF power	1,045 watts
Pump rate	1.5 mL/min
Carrier gas	Ar

Table 2. Environmental Standards for As, Se, and Sr ( $\mu$ g/L)

StandardMetal	WHO (Drinking water Guidline)	U.S.A (Drinking water standard)	Korea (Drinking water standard)
As	10 (P)	10	10
Se	10	50	10
Sr			

\* 스트론튬은 우리나라에서 먹는 해양심층수와 먹는 물 지하수에서 4mg/L를 넘지 않도록 규정하고 있다.

이는 먹는 물 권고기준을 6배 정도 초과하고 있다. 셀레늄의 경우 WHO와 한국의 먹는 물 기준은 비소와 같이 10 $\mu$ g/L이며 미국의 먹는 물 기준은 50 $\mu$ g/L이다. 셀레늄의 경우 전체시료에 대한 평균농도는 1.19 $\mu$ g/L이며 표준편차는 1.53이다. 중간값은 0.5 $\mu$ g/L이고, 하위 25%는 0.26 $\mu$ g/L, 상위 25%는 1.48 $\mu$ g/L이다. WHO의 먹는 물 권고기준과 한국의 먹는 물 기준인 10 $\mu$ g/L를 초과하는 시료는 4개이며 비율은 0.31%이다. 스트론튬의 경우 국내외의 환경기준은 없으나 미국에서 오염감시후보물질로(contamination candidate list) 등록되어 있다. 전체시료에 대한 평균농도는 437 $\mu$ g/L이며 중간값은 156 $\mu$ g/L이다.

시료종류에 따른 농도를 Fig. 1에 나타내었다. 지하수, 정수, 마을 상수도 등의 시료가 모두 동일한 조건에서 생산된

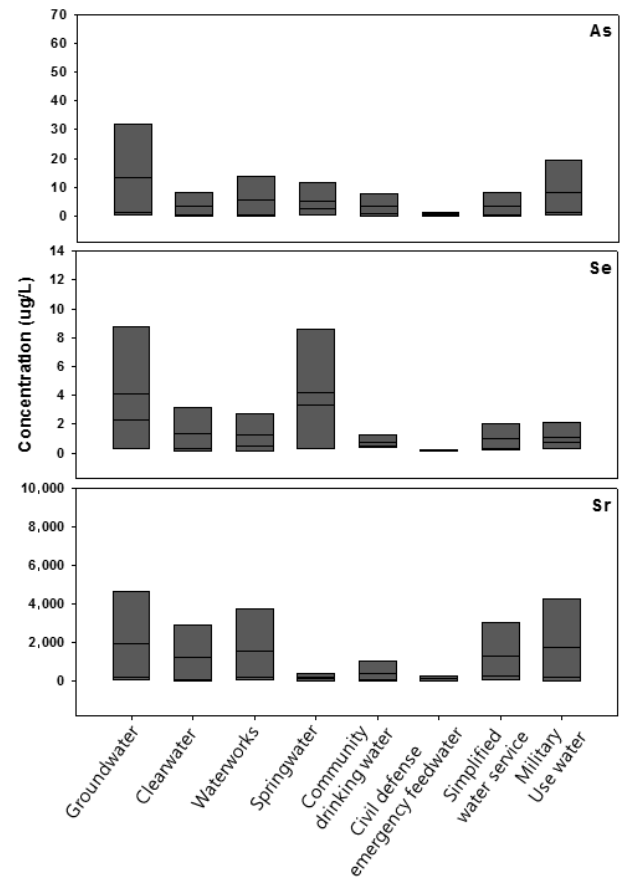


Fig. 1. Mean arsenic, selenium and strontium concentration in drinking water of each sample type in Kyungpook area

것은 아니며, 각 지역의 특성 및 사용하는 정수공정의 차이 등으로 인하여 다소 차이가 있어 엄격한 구분이 불가능한 경우도 있으나 가능한 각 먹는 물 종류에 근접한 특성을 가진 것을 하나의 종류로 하여 구분하였다. 비소와 셀레늄은 각 먹는 물 종류에 따른 검출경향이 유사하며 지하수와 샘물, 소규모 정수시설에서 비교적 높게 검출되었다. 이는 샘물의 경우 지하수 또는 지하수가 포함된 물일 가능성이 높으며 소규모 정수시설의 경우에도 지하수를 사용하는 경우가 있어 넓게 보아 지하수 기반의 먹는 물이 비소 및 셀레늄의 농도가 높다고 판단할 수 있다. 반면 정수와 마을 상수도의 경우 정수공정에서 이들 중금속이 제거되었거나 원수로 지하수보다 지표수를 사용하였을 가능성이 높아 비교적 낮은 농도의 비소와 셀레늄이 함유된 것으로 판단된다. 스트론튬의 경우 정수와 샘물에서 비교적 낮은 농도를 보이며 다른 종류의 물에서는 유사한 수준으로 검출되었다. 이는 비소 및 셀레늄과는 달리 지하수기원에 의한 영향이 낮은 것을 보여준다. 이러한 경향은 지질에 따른 분석에서도 명확히 나타난다.

지하수의 경우 지질적 특성을 반영하고 있을 가능성이 매우 높으며 지표수의 경우에도 일부 지질적 특성을 반영하고 있을 수 있으므로 모든 시료를 채취한 지역의 지질에 따라 구분하여 정리하였다(Table 2, Fig. 2). 총 24개의 지질별로 구분하였으며 각 지질에 대한 평균값과 중앙값을 구하였

다. 비소의 경우 흑운모화강섬록암 또는 흑운모화강암지역에서 평균 및 중앙값이 다른 지질에 비하여 유의하게 높으며 흑운모 화강섬록암의 경우 평균이 23.0 $\mu\text{g/L}$ 에 달한다. 그 외 대구층, 화산각력암, 팔공산 화강암 등이 평균농도로 5.0  $\mu\text{g/L}$ 의 농도를 보이고 있다. 몇몇의 선행연구에서도 지하수 중 비소의 농도 및 지질적 특성을 고려한 논의가 있으나 지역적 차이와 비소의 유출에 관여하는 산화-환원상태 및 미생물의 활동을 동시에 고려하지 않을 경우 일관된 경향을 보이기 어렵다(Yun et al., 2004; Ahn et al., 2005; Kim, 2005; Chon et al., 2009). 본 연구에서도 먹는 물이 만들어지는 지역의 지질을 고려하였을 뿐 산화-환원상태 및 미생물의 활동 정도는 고려되지 않았다. 그러나 본 연구에서는 1,200여 개 이상의 시료를 시료의 채취지역의 지질과 연계하여 분석한 결과 지질적 특성이 유의하게 비소의 함량에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 셀레늄의 경우 몇몇지질에 있어서 검출경향이 비소와 유사한 것을 알 수 있으며, 특히 흑운모 화강암, 흑색혈암, 흑운모 화강섬록암, 책약산반암, 홍적층, 팔공산 화강암 등의 지층에서 높게 검출되었다. 최대평균값은 흑운모 화강암 지역이며 3.6 $\mu\text{g/L}$ 이다. 스트론튬의 경우 비소나 셀레늄과 완전히 다른 경향을 보이고 있으며 책약산반암, 사암, 섬록암 등에서 평균농도가 1,000 $\mu\text{g/L}$ 를 초과하며 중앙값을 기준으로 할 경우 흑운모화강섬록암, 대구층, 책약산반암, 사암, 신기하성층 등의 지층에서 400 $\mu\text{g/L}$ 를 초과하는 스트론튬이 검출되었다. 스트론튬은 지질적 기반에 의한 유출이 가능하고 다양한 원인에 의해 대기에 존재하는 스트론튬이 대기에서 빗물에 의한 침강에 의해 수계에 유입되는 것도 가능하며 이들의 구분은 동위원소의비 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )를 조사하여 알 수 있다(Choo et al., 2009; Wiegand & Schwendenmann, 2013; Xie et al., 2013).

각 중금속의 농도를 각 시, 군별로 구분하여 분석하였다(Fig. 3). 영주, 안동, 의성, 상주 등의 경북 중북부지역의 비소, 셀레늄, 스트론튬 농도가 다소 다른 지역에 비해 높은 것으로 나타났다. 이는 중북부 지역이 이들 중금속을 포함하는 지질대가 상대적으로 많기 때문이라 판단된다.

본 연구의 관심대상인 비소, 셀레늄, 스트론튬의 상위 100여 개 고농도와 동시에 분석된 수질인자(pH, 경도, 황산이온, 과망간산칼륨소비량) 등과 상관성분석을 수행하였으며 경도와 각 중금속의 상관성을 그래프로 Fig. 4에 나타내었다. 스트론튬과 경도는  $R^2$ 가 0.15 정도가 되게 약한 상관성이 나타났으나 각각의 중금속은 다른 수질인자들과 상관성이 없으며 이는 이들 중금속의 기원 및 이동/축적이 먹는 물 환경에서 pH, 경도, 황산이온, 과망간산칼륨소비량 등과 연관이 없음을 뜻한다.

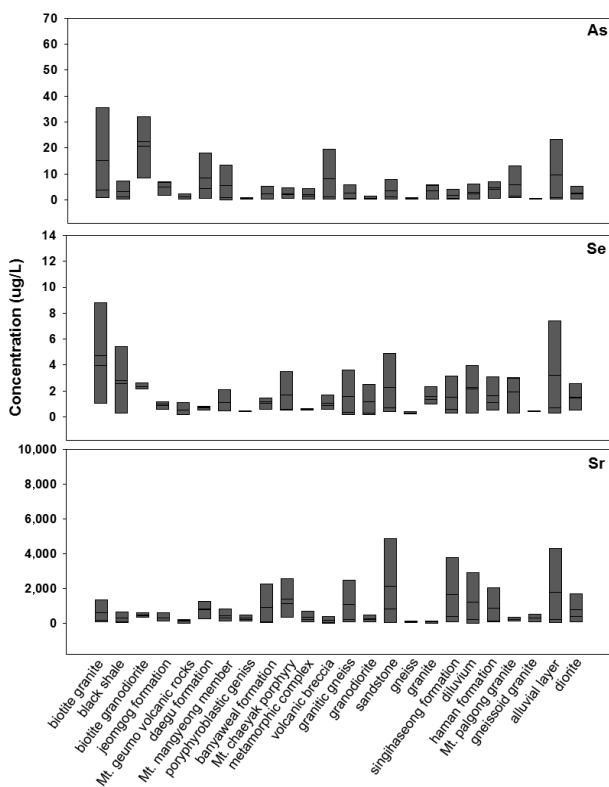


Fig. 2. Mean arsenic, selenium and strontium concentration in drinking water of each geological area in Kyungpook area

Table 3. The mean and median of arsenic, selenium and strontium according to the geological characteristics

	As ( $\mu\text{g/L}$ )			Se ( $\mu\text{g/L}$ )			Sr ( $\mu\text{g/L}$ )		
	n	m $\pm$ S0	Median	n	m $\pm$ S0	Median	n	m $\pm$ S0	Median
Biotite granite	89	11.1 $\pm$ 17.3	3.8	89	3.6 $\pm$ 2.3	4.0	89	251 $\pm$ 374	187
Black shale	6	3.0 $\pm$ 5.0	1.2	6	2.8 $\pm$ 2.7	2.6	6	274 $\pm$ 474	103.05
Biotite granodiorite	5	23.0 $\pm$ 12.3	22.4	5	2.5 $\pm$ 0.5	2.1	5	493 $\pm$ 168	457
Jeomgog formation	6	5.2 $\pm$ 2.7	6.6	6	0.9 $\pm$ 0.4	1.0	6	319 $\pm$ 442	124
Mt. geumo volcanic rocks	6	1.5 $\pm$ 1.3	1.2	6	0.5 $\pm$ 0.7	0.2	6	165 $\pm$ 75	182
Daegu formation	24	7.2 $\pm$ 7.5	4.5	24	0.7 $\pm$ 0.2	0.8	24	762 $\pm$ 408	809
Mt. manyeong member	5	6.0 $\pm$ 11.4	0.8	5	1.0 $\pm$ 1.3	0.5	5	438 $\pm$ 441	313.5
Poryphyroblastic gneiss	6	0.7 $\pm$ 0.5	0.5	6	0.5 $\pm$ 0.03	0.5	6	297 $\pm$ 225	219
Banyaweal formation	57	1.3 $\pm$ 2.1	0.3	57	1.1 $\pm$ 0.4	1.2	57	647 $\pm$ 985	73
Mt. chaeyak porphyry	7	2.5 $\pm$ 1.9	2.1	7	1.8 $\pm$ 2.3	0.6	7	1,456 $\pm$ 1,227	1150
Metamorphic complex	19	1.9 $\pm$ 1.9	1.3	19	0.6 $\pm$ 0.06	0.6	19	299 $\pm$ 275	205
Volcanic breccia	28	6.7 $\pm$ 11.5	1.1	28	0.9 $\pm$ 0.5	0.9	28	92 $\pm$ 167	25.05
Granitic gneiss	38	1.2 $\pm$ 1.9	0.5	38	1.1 $\pm$ 1.2	0.3	38	330 $\pm$ 623	206.5
Granodiorite	20	0.5 $\pm$ 0.4	0.4	20	0.8 $\pm$ 1.2	0.3	20	243 $\pm$ 154	201
Sandstone	96	2.1 $\pm$ 2.6	1.3	96	1.1 $\pm$ 1.1	0.7	96	1,486 $\pm$ 1,843	822
Gneiss	9	0.6 $\pm$ 0.3	0.6	9	0.3 $\pm$ 0.09	0.3	9	83 $\pm$ 35	87.2
Granite	9	3.9 $\pm$ 2.5	5.5	9	1.4 $\pm$ 0.7	1.3	9	96 $\pm$ 63	145
Singhaseong formation	57	1.1 $\pm$ 1.3	0.6	57	1.2 $\pm$ 1.2	0.6	57	876 $\pm$ 1,296	407.5
Diluvium	10	2.8 $\pm$ 2.6	2.3	10	2.5 $\pm$ 1.5	2.3	10	797 $\pm$ 1,450	229
Haman formation	14	4.4 $\pm$ 2.6	4.5	14	1.6 $\pm$ 1.4	1.1	14	682 $\pm$ 1,046	119.5
Mt. palgong granite	7	6.3 $\pm$ 6.5	1.6	7	2.4 $\pm$ 1.1	3.0	7	244 $\pm$ 114	206
Gneissoid granite	10	0.3 $\pm$ 0.2	0.3	10	0.5 $\pm$ 0.02	0.5	10	305 $\pm$ 189	307.5
Alluvial layer	322	2.6 $\pm$ 4.6	0.9	322	1.0 $\pm$ 1.3	0.5	322	488 $\pm$ 889	211
Diorite	14	2.9 $\pm$ 2.7	2.3	14	1.2 $\pm$ 0.4	1.4	14	1,016 $\pm$ 921	911

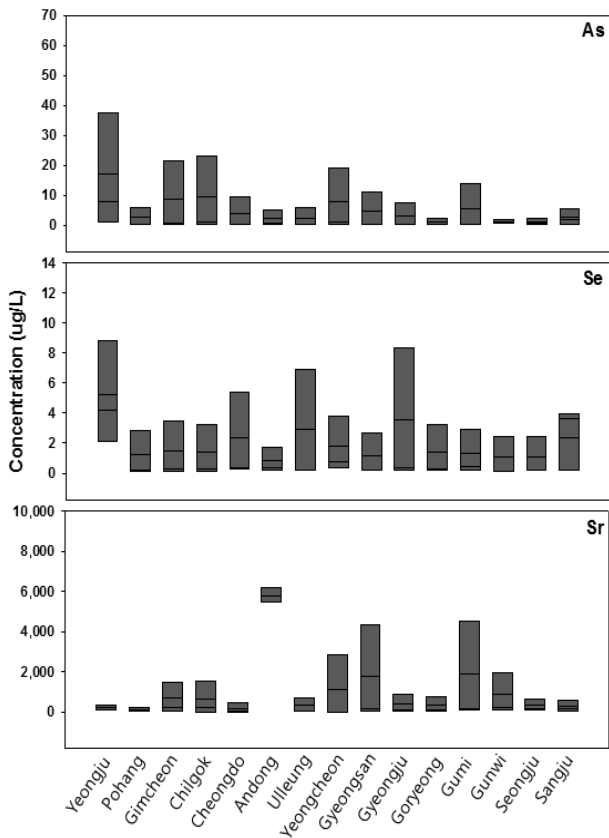


Fig. 3. Mean arsenic, selenium and strontium concentration in drinking water of different regions in Kyungpook area

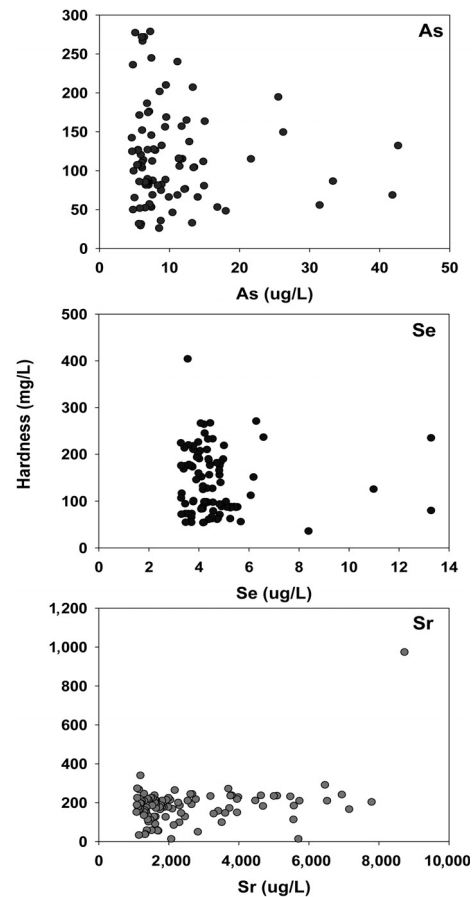


Fig. 4. Co-relationship analysis between metals and hardness

## 4. 결 론

경북지역의 대형 상수시설을 제외한 지하수, 샘물, 비상 급수시설, 소규모 급수시설 등의 먹는 물 시료를 대상으로 비소, 셀레늄, 스트론튬의 농도를 조사하였다. 분석결과 값을 시료의 종류별, 시료를 채취한 지역의 지질별, 지자체별로 구분하여 비교하여 다음과 같은 결과를 얻게 되었다.

비소와 셀레늄은 매우 유사한 검출특성을 보였으며 비소의 경우 약 5%의 시료가 WHO의 먹는 물 권고기준을 초과하였으며 셀레늄의 경우 약 0.3% 정도가 먹는 물 기준을 초과하였다. 시료의 종류별 분류에서 비소와 셀레늄은 지하수 및 지하수기반에 가까운 먹는 물에서 상대적으로 높은 농도가 얻어졌으며 상대적으로 지표수에 의존 비율이 높은 상수 등의 경우 낮은 농도의 비소, 셀레늄이 검출되어 경북지역의 먹는 물에 포함된 비소, 셀레늄은 지질적 기원일 가능성이 매우 높다. 스트론튬의 경우 비소와 다른 경향을 보이며 이는 스트론튬이 포함되어 있는 지질이 다르거나 발생기원이 대기 등 지질기원이 아닐 가능성을 보여주었다. 경도, pH, 황산이온 농도, 과망간산칼륨소비량 등의 수질인자와 상관분석에서 매우 낮은 상관성을 보였다. 중금속의 유출은 지질적 요인 외에 산화-환원, 미생물의 활동 등에 영향을 받으므로 보다 종합적이고 광범위한 조사가 필요하다고 판단된다.

## References

1. Ahn, J.S., Ko, K.S., Lee, J.S. and Kim, J.Y. (2005), Characteristics of Natural Arsenic Contamination in Groundwater and Its Occurrences, *Econ. Environ. Geol.*, Vol. 38, No. 5, pp. 547~61 (in Korean).
2. Alfred A. Duker, E.J.M Carranza and Martin Hale (2005), Arsenic geochemistry and health, *Environment International*, Vol. 31, pp. 631~641.
3. B.A. Wiegand and L. Schwendenmann (2013), Determination of Sr and Ca sources in small tropical catchments(La Selva, Costa Rica) - A comparison of Sr and Ca isotopes”, *Journal of Hydrology*, Vol. 488, pp. 110~117.
4. Carignan J. and Wen H. (2007), Scaling NIST SRM 3149 for Se isotope analysis and isotopic variations of natural samples, *Chemical Geology*, Vol. 242, pp. 347~350.
5. Choo, C.O., Lee, J.K., Lee, C.J., Park, K.H. and Jeong, G.C. (2009), Origin of B, Br and Sr in Groundwater from Bukahnmyeon, Yeongcheon, Gyeongbuk Province, with Emphasis on Hydrochemistry, *The Journal of Engineering Geology*, Vol 19, No. 2, pp. 235~250 (in Korean).
6. Chon, C.M., Kim, K.Y., Koh, D.C. and Choi, M.J. (2009), Arsenic Distribution and Solubility in Groundwater of Okcheon Area, *J. Miner. Soc. Korea*, Vol. 22, No. 4, pp. 331~342 (in Korean).
7. Haque S., Ji J. and Johannesson K.H. (2008), Evaluating mobilization and transport of arsenic in sediments and groundwaters of Aquia aquifer, Maryland, USA, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 99, pp. 68~84.
8. Hossain M.M. and Piantanakulchai M. (2013), Groundwater arsenic contamination risk prediction using GIS and classification tree method, *Engineering Geology*, Vol. 156, pp. 37~45.
9. Islam A.B.M.R., Maity J.P., Bundschuh J., Chen C., Bhowmik B.K. and Tazaki K. (2013), “Arsenic mineral dissolution and possible mobilization in mineral-microbe-groundwater environment”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 262, pp. 989~996.
10. Kim, M.J. (2005), Arsenic Dissolution and Speciation in Groundwater: review paper, *Econ. Environ. Geol.*, Vol. 38, No. 5, pp. 587~597.
11. Kim, S.S., Min, J.H., Baik, M.H. and Kim, G.N. (2012), Solubilities and Major Species of Selenium and Technetium in the KURT Groundwater Conditions, *Journal of the Korean Radioactive Waste Society*, Vol. 10, No. 1, pp. 13~19 (in Korean).
12. Ng J.C., Wang J. and Shraim A. (2003), A global health problem caused by arsenic from natural sources, *Chemosphere* Vol. 52, pp. 1353~1359.
13. Paces J.b. and Wurster F.C. (2014), Natural uranium and strontium isotope tracers of water sources and surface water-groundwater interactions in arid wetlands - Pahrnagat Valley, Nevada, USA, *Journal of Hydrology*, Vol. 517, pp. 213~225.
14. Rouxel O., Ludden J., Carignan J., Marin L. and Fouquet Y. (2002), Natural variations of Se isotopic composition determined by hydride generation multiple collector inductively coupled plasma mass spectrometry, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 66, No. 18, pp. 3191~3199.
15. Smedley P.L. and Kinniburgh D.G. (2008), A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters, *Applied Geochemistry*, Vol. 17, pp. 517~568.
16. Wen H. and Carignan J. (2007), Reviews on atmospheric selenium: Emissions, speciation and fate, *Atmospheric Environment*, Vol. 41, pp. 7151~7165.
17. Xie X., Wang Y., Ellism A., Sum C., Li J., Li M. and Duan M. (2013), Delineation of groundwater flow paths using hydrochemical and strontium isotope composition: A case study in high arsenic aquifer systems of the Datong basin, northern China, *Journal of Hydrology*, Vol. 47, pp. 87~96.
18. Yun, U., Cho, B.W. and Sung, K.Y. (2004), Occurrence and Species of Arsenic in the Groundwater of Ulsan Area, *Econ. Environ. Geol.*, Vol. 37, No. 6, pp. 657~667.