

경북지역의 먹는 물에서 우라늄 검출 특성

Uranium in Drinking Water of Kyungpook Area in Korea

이 해 근(Hea-Geun Lee)¹ · 차 상 덕(Sang-Deok Cha)¹ ·
김 정 진(JeongJin Kim)² · 김 영 훈(Young-Hun Kim)^{3,*}

¹경상북도보건환경연구원

(Gyeong Sang Buk-Do Government Public Institute of Health & Environment, Yeongcheon 770-805, Korea),

²안동대학교 지구환경과학과

(Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea),

³안동대학교 환경공학과

(Department of Environmental Engineering, Andong National University, Andong 760-749, Korea)

요약 : 우라늄은 자연적 원인과 인위적 원인에 의해 오염이 가능하지만 국내 지하수 토양환경에서는 자연적 원인에 의한 오염 가능성이 높다. 우라늄은 방사성 독성과 화학적 독성을 동시에 갖고 있어 먹는 물에 포함될 경우 그 위해성이 매우 높다. 본 연구에서는 경북지역의 마을상수도 및 소규모 급수시설, 지하수, 샘물 및 먹는 샘물, 먹는 물 공동시설, 지하수 측정망, 민방위비상급수 등의 시료를 대상으로 우라늄 농도를 측정하였으며 국내외 수질 기준과 비교하여 오염 정도를 평가하였다. 총 803개의 시료 중 미국의 먹는 물 권고기준 또는 우리나라의 권고기준인 30 $\mu\text{g}/\ell$ 를 초과하는 시료의 수는 6개이며 전체시료에서 차지하는 비율은 0.7%이다. 모암의 특성에 따른 우라늄의 농도는 흑운모화강섬록암, 흑운모화강암, 편마상화강암 등과 같은 화강암질 암석이 분포한 지역에서 비교적 높게 나타났다.

주요어 : 우라늄, 먹는 물, 지하수, 방사성 독성, 모암

ABSTRACT : Uranium can be released into the water environment from natural sources and human activities. The natural source of uranium is dominant in the Korean soil and groundwater environments. Uranium has both of radioactive and chemical toxic properties. Therefore, a drinking water contaminated with uranium has a high health risk. This study was conducted to determine the uranium concentration of water systems including small village drinking water system, groundwater for drinking water purpose, spring water, groundwater monitoring well, and emergency water supplying system. The uranium concentration was compared with domestic and other countries' standard. The contamination level was also evaluated on the basis of geological characteristics of the area. Among total 803 samples, 6 exceeded the Korean standard, 30 $\mu\text{g}/\ell$ and this was about 0.7% of the total sample. On the basis of geology, uranium concentration appeared to be increased in order of biotite granodiorite > biotite granite > gneissoid granite. The highest level of uranium was 12.4 in average.

Key words : Uranium, drinking water, groundwater, radioactive toxicity, country rock

*Corresponding author: +82-54-820-5818, E-mail: youngkim@andong.ac.kr

서 론

우라늄은 자연적 오염원과 인위적 오염원에 의해 오염이 되는 원소이다. 인위적 오염은 우라늄의 무기 및 산업활동에 사용하는 경우이며 자연적 오염원은 지각에 존재하는 우라늄이 풍화 등의 자연적 현상에 의해 용출되는 경우이다. 우리나라의 경우 인위적 오염은 찾기 힘들며 대부분 자연적 원인에 의한 것이라 할 수 있다. 자연기원의 우라늄은 3개의 동위원소로 이루어져 있으며 ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U 가 각각 99.3%, 0.72%, 0.0054%를 차지한다. 우라늄은 자연계에 존재하는 가장 무거운 원소 중의 하나이며 모든 동위원소가 방사능을 방출하는 방사능원소이다. 이들은 화학적 독성과 방사성 독성을 동시에 갖고 있다(Lee *et al.*, 2001; Fedoseer *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2004; Orloff *et al.*, 2004; Oeh *et al.*, 2007; Ioannidou *et al.*, 2011; Nriagu *et al.*, 2012; Berisha and Goessler, 2013; Wiegrad and Schwendenmann, 2013; Bhalara *et al.*, 2014; Wu *et al.*, 2014).

국내에는 상수도 보급율이 점차 증가하여 도시 지역의 경우 100%에 가까운 보급률이 달성되었다. 대규모 상수시설의 경우 전문 인력에 의해 고품질의 먹는 물의 생산과 유지관리가 가능하다. 그러나 농촌 및 어촌지역의 경우 마을상수도 및 지하수 이용률이 여전히 높으며 대규모상수도에 비해 수질 관리가 용이하지 않다. 지하수의 경우 질산성질소 등 지표수 또는 토양오염에서 유입된 오염에 의해 먹는 물로 적절하지 않은 경우가 많다. 또한 지질적 특성에 따라 중금속의 농도가 높게 검출되는 경우도 있다. 우라늄의 경우 외부에서 유입된 경우는 흔하지 않으며 대부분 암반 및 토양에서 용출되어 유입된 경우가 대부분이다(Lee *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2004; Orloff *et al.*, 2004; Ioannidou *et al.*, 2011; Bhalara *et al.*, 2014; Wu *et al.*, 2014).

음식 섭취 등을 통한 우라늄의 평균섭취량은 약 2 $\mu\text{g}/\text{day}$ 이며 신진대사 작용으로 섭취량과 유사한 양이 배출된다. 방사성 독성과 중금속 화학적 독성으로 구분되며 우라늄의 인체에 가장 큰 위해는 방사성 독성보다 화학적 독성에 의한 신장독성으로 알려져 있다(Park and Rim, 2003; Park and Rim, 2004).

WHO의 먹는 물 권고기준은 15 $\mu\text{g}/\ell$ 이고, 미국 환경보호청과 대한민국의 권고기준은 30 $\mu\text{g}/\ell$ 이다. 우라늄으로 오염된 지하수환경의 경우 다양한 방

법으로 오염제거 또는 복원이 가능하며 오염제거 기술로는 흡착, 막여과, 식물상정화, 환원적 침전, 생물학적 침전 등이 있다(Berisha and Goessler, 2013).

국내외의 선행연구결과를 살펴보면 지하수 중 우라늄의 농도는 지질적 요인에 많은 영향을 받는 것으로 되어 있다. 실험실 용출실험결과 철-망간수 산화물과 규소광물이 우라늄의 주된 보유광물이며 광물로부터의 용출 또는 탈착, 착물형성 그리고 환원적 침전 등이 우라늄의 지하수내로 용출을 결정짓는 인자들임을 증명하였다(Jeong *et al.*, 2013).

국내에서는 옥천지역의 지하수 중 우라늄 동위원소의 농도 및 활동도비 대한 조사에서 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 의 비는 냉천지역에서 1.20-3.58 범위로 지하수의 머무름 시간에 따라 변동이 있었으나 온천지역에서는 그 비가 1.10 ± 0.07 으로 평형값에 근접했다(Lee *et al.*, 2001). 4년에 걸쳐 498개의 시료에 대한 국내 지하수에 포함된 우라늄에 대한 건강위해성 평가 조사에서 기하평균은 0.17 $\mu\text{g}/\ell$ 이며 방사성위해성에 의한 발암위해성은 10^{-7} 정도이며 화학적 위해도에 의한 hazard quotient는 0.005로 건강위해성이 비교적 낮은 것으로 평가되었다(Kim *et al.*, 2004).

중국 북부지역에서 지질적 특성을 고려한 지하수 중의 우라늄 농도에 관한 연구에서 우라늄의 농도는 일반적으로 화성암과 변성암에 대하여 1 mg/kg 이하이며 석탄기와 폐름기 퇴적암에서 2-5 mg/kg 정도이며 퇴적토와 표토에서 약 3 mg/kg 정도라고 발표하였다. 천층지하수에서 우라늄의 농도는 약 0.02-288 $\mu\text{g}/\ell$ (average 24 $\mu\text{g}/\ell$)이며 약 24%의 시료가 WHO의 기준인 30 $\mu\text{g}/\ell$ 를 초과하였다(Wu *et al.*, 2014).

본 연구에서는 보건환경연구원에 분석 의뢰되는 경상북도 지역의 마을상수도 및 소규모 급수시설, 지하수, 샘물 및 먹는 샘물, 먹는 물 공동시설, 지하수 측정망 및 민방위비상급 등을 대상으로 우라늄 농도를 측정하였으며 결과를 국내외 수질기준과 비교하였으며 지질적 특성 및 행정적 구역으로 나누어 고찰하였다.

실험재료 및 방법

시약 및 재료

본 연구에 사용된 시약은 모두 고순도의 시약이

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	1045 watts
Pump rate	1.5 mL/min
Carrier gas	Ar

며 구입 후 추가정제 없이 사용하였다. 중금속 분석에 질산(HNO₃, 68-70%, 유해중금속용, JUNSEI)을 사용하였고 표준원액으로 Manufactured under ISO 9001 Quality Assurance System : Multi-Element Calibration Standard 3 (No Hg, 5% HNO₃, 125 mL) 10 mg/ℓ 등이 사용되었다.

먹는 물 시료의 채취

경상북도 중남부지역 시·군에 소재하고 있는 2,000여 개소의 마을상수도 및 소규모급수시설, 지하수, 샘물 및 먹는 샘물, 먹는 물 공동시설, 지하수 측정망, 민방위비상급수 등은 연구원에 의뢰되는 시료이며 일부 사회복지시설 지하수, 민·관합 동수질확인검사 시료 등은 연구원에서 직접 시료를 채수하여 2011년 1월-12월 기간 동안 조사하였다.

시료의 전처리 및 분석

우라늄은 표준원액(ICP-MS용 100 mg/ℓ) 및 질산(68-70%, 특급)을 각각 1 mL씩 취하여 100 mL 용량플라스크에 표선까지 3차 증류수를 넣어 표준용액(1 mg/ℓ)을 조제하였다. 시료는 Whatman사의 0.45 μm의 PTFE Syringe Filter를 이용하여 여과한 뒤 질산(68~70%, 특급)으로 전처리(0.5 V/V%로 산처리)하여 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS Spectrometer, Perkin Elmer, ELAN DRC-e)를 사용하여 우라늄(U²³⁸)을 정량분석 하였다(Table. 1). ICP-MS 분석시 표준용액(1 mg/ℓ)을 증류수로 희석하여 4 point의 우라늄(U²³⁸)농도 검량선을 작성하여 시료를 분석하였다.

결과 및 고찰

총 803개의 시료를 채취하여 분석하였으며 각 시료구분별 시료의 수는 지하수, 정수, 마을 상수도, 샘물, 민방위 비상급수, 소규모정수시설에 대하여 각각 195, 64, 68, 54, 104, 264개로 소규모 급수시설과 지하수가 가장 많은 수의 시료를 차지한다. 전체시료에 대한 평균농도는 3.13 μg/ℓ이며 표준편차는 5.95이다. 중간값은 0.96이고, 하위 25%는 0.45 μg/ℓ, 상위 25%는 2.64 μg/ℓ이다. WHO의 먹는 물 권고기준인 15 μg/ℓ를 초과하는 시료의 수는 48개이며 비율은 5.98%이다. 미국의 먹는 물 권고기준 또는 우리나라의 권고기준인 30 μg/ℓ을 초과하는 시료의 수는 6개이며 전체시료에서 차지하는 비율은 0.7%로 몇몇의 시료는 건강의 위해성을 가져올 수 있을 정도로 높은 농도의 우라늄을 포함하고 있는 것으로 나타나고 있다.

지자체별로 구분하여 분석결과를 Table 2와 Fig. 1에 나타내었다. 각 지자체별 우라늄의 농도를 비교분석하면 평균농도 및 중간값이 각각 16.2 μg/ℓ로 영주시가 두드러지게 높고 그 외 지자체는 평균농도기준으로 구미시 > 김천시 > 칠곡군의 순서이나 대부분 4.0 μg/ℓ 이하로 높지 않다.

앞에서 논의한 바와 같이 우라늄의 오염원은 인위적인 것보다 자연적인 원인에 의한 부분이 큰 비중을 차지하므로 지자체별 오염도를 분석하는 것보다 지질별로 구분하는 것이 학술적 의미가 있을 것으로 판단된다. 선행연구에서도 국내의 경우 화강암지역에서 우라늄 농도에 대한 조사가 수행되었다(Cho *et al.*, 2011; Han *et al.*, 2011; Cho *et al.*, 2013; Hwang, 2013; Jeong *et al.*, 2013). 한

Table 2. The mean, median, and maximum concentration of uranium of the Kyungpook area

	unit ($\mu\text{g}/\ell$)					
	average	minimum	median	maximum	lowest limit 25 %	lowest limit 75 %
Yeongju	16.2	2.0	16.2	51.0	6.6	23.1
Pohang	0.6	0.1	0.4	1.3	0.2	0.8
Gimcheon	3.0	0.1	1.7	26.0	0.3	3.2
Chilgok	1.8	0.2	1.5	7.3	0.7	1.9
Cheongdo	0.6	0.1	0.2	1.7	0.1	0.2
Andong	0.9	0.2	0.5	2.8	0.2	0.6
Ulleung	0.7	0.2	0.4	3.3	0.3	0.5
Yeongcheon	1.1	0.1	0.7	21.5	0.4	1.2
Gyeongsan	0.9	0.2	0.9	1.5	0.6	1.0
Gyeongju	1.7	0.1	0.4	19.1	0.1	0.7
Goryeong	0.9	0.1	0.4	2.7	0.2	0.8
Gumi	3.8	0.1	2.0	33.3	0.8	3.7
Gunwi	1.4	0.2	1.0	3.9	0.2	1.4
Seongju	1.6	0.1	1.1	12.5	0.6	1.7

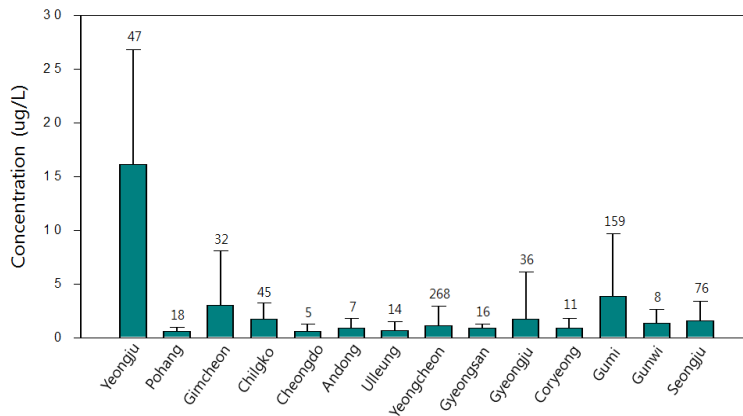


Fig. 1. Mean uranium concentration in drinking water of Kyungpook area (error bar indicates one standard deviation and the number above the error bar stands for the number of samples).

등은 경기북부지역 지하수 중 우라늄농도에 대한 조사에서 215개의 지하수를 검사하였으며 41개 지점에서 우라늄이 검출되었고 1개 지점에서 WHO의 가이드 라인 이상의 우라늄이 검출되었으며, 포천지역의 경우 주라기 흑운모 화강암 지역이 넓게 분포하고 있다고 보고하였다(Han *et al.*, 2011). 조 등은 단양지역의 지하수에서 우라늄과 라돈의 농

도를 측정하였으며 백악기 화강암과 선캄브리아기 변성암 지역에서 우라늄 함량이 높게 나타나며 퇴적암류에서는 상대적으로 낮은 농도가 검출된 것으로 보고하였다(Cho *et al.*, 2013). 또한 조 등은 이천의 화강암 지역 지하수의 우라늄과 라돈도 분석하였으며 총 74개 지하수에 대한 조사결과 0.02-1,640 $\mu\text{g}/\ell$ (중앙값 2.03 $\mu\text{g}/\ell$) 범위의 결과

Table 3. The mean, median, and maximum concentration of uranium according to the geological characteristics

	unit ($\mu\text{g}/\ell$)					
	average	minimum	median	maximum	lowest limit 25 %	lowest limit 75 %
biotite granite	12.4	0.1	10.7	39.8	3.5	18.4
black shale	0.4	0.1	0.2	1.0	0.1	0.2
biotite granodiorite	15.3	9.7	13.6	26.0	9.7	13.6
jeomgog formation	2.1	0.9	2.6	2.9	0.9	2.6
geumo mountain volcanic rocks	1.1	0.3	1.3	1.6	0.3	1.5
daegu formation	0.8	0.4	0.7	1.6	0.6	0.9
mangyeong mountain member	4.8	0.2	0.8	25.0	0.2	0.8
porphyroblastic gneiss	1.4	0.3	0.6	4.2	0.3	0.6
banyaweal formation	2.9	0.3	1.3	11.6	0.5	1.7
chaeyak mountain porphyry	0.5	0.2	0.3	1.0	0.2	0.9
metamorphic complex	1.4	0.3	1.3	2.6	0.8	2.1
volcanic breccia	0.4	0.1	0.4	1.1	0.2	0.5
granitic gneiss	4.4	0.3	2.8	33.3	1.7	3.9
granodiorite	2.0	0.1	1.0	9.2	0.3	1.6
sandstone	1.0	0.1	0.7	8.8	0.3	1.1
gneiss	1.1	0.2	0.7	2.8	0.2	1.0
granite	0.5	0.3	0.4	1.1	0.4	0.4
alluvium (singihaseong formation)	1.2	0.1	0.8	6.4	0.4	1.2
diluvium	0.9	0.2	0.7	2.3	0.4	0.9
haman formation	1.8	0.2	2.6	2.8	0.6	2.6
palgong mountain granite	2.3	0.7	1.6	4.0	0.7	3.8
gneissoid granite	11.2	0.2	8.1	29.9	1.5	13.9
alluvial layer	2.0	0.1	1.1	29.6	0.5	0.7
diorite	0.7	0.2	0.6	2.1	0.2	0.8

를 보고하였다(Cho *et al.*, 2011). 본 조사연구에서의 결과를 지질별로 구분하여 Table 3과 Fig. 2에 나타내었다. 중앙값을 기준으로 보면 흑운모 화강섬록암과 흑운모 화강암 지역의 먹는 물이 10.0 $\mu\text{g}/\ell$ 이상의 우라늄을 포함하고 있어 다른 지질대에 비하여 유의하게 높다. 편마상화강암지역의 경우에도 중앙값이 8.1 $\mu\text{g}/\ell$ 로서 상당히 높은 농도를 보이며 다른 지질지역은 화강암질 편마암이 2.8

$\mu\text{g}/\ell$, 함안층, 점곡층이 각각 2.6 $\mu\text{g}/\ell$ 이고, 팔공산 화강암, 반야월층, 충적층, 금오산화산암류 지역이 각각 1.6 $\mu\text{g}/\ell$, 1.3 $\mu\text{g}/\ell$, 1.3 $\mu\text{g}/\ell$, 1.1 $\mu\text{g}/\ell$ 의 농도를 보이고 있으며 그 외 지질대의 경우 모두 1.0 $\mu\text{g}/\ell$ 미만의 농도를 보이고 있어 상대적으로 낮다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 화강암류 지역에서 높은 농도의 우라늄이 먹는 물에 포함될 수 있으며 특히 흑운모 화강암 및 화강섬록암의

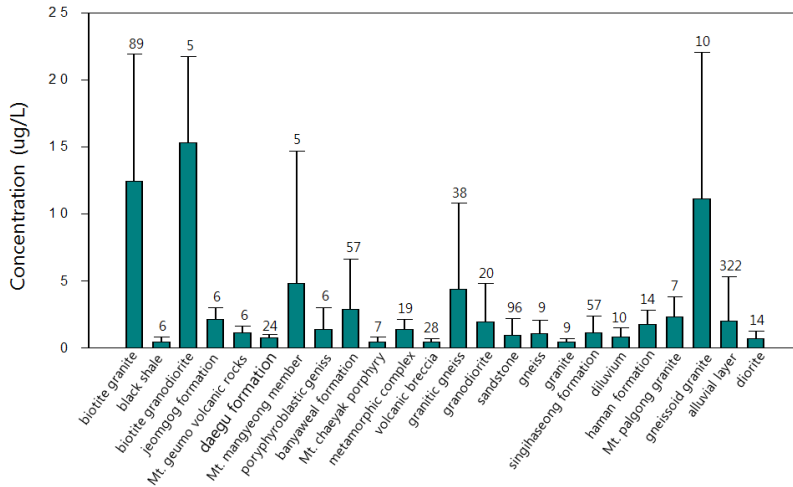


Fig. 2. Mean uranium concentration in drinking water of each geological area in Kyungpook area (error bar indicates one standard deviation and the number above the error bar stands for the number of samples).

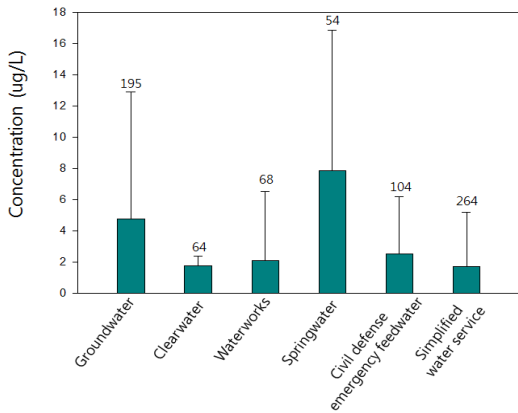


Fig. 3. Mean uranium concentration in drinking water of each sample type in Kyungpook area (error bar indicates one standard deviation and the number above the error bar stands for the number of samples).

경우 매우 높은 농도의 우라늄이 용출될 가능성이 있음을 보여주고 있다.

유럽지역의 먹는 물에 포함된 우라늄에 대한 조사는 다수의 연구자들에 의해 발표되었으며 그 대상은 수돗물과 공공용수, 샘물과 우물, 지하수를 포함하여 다양하다. 일반적으로 수돗물이나 공공용수에 비해 지하수 및 샘물의 우라늄 농도가 높은 것으로 나타나며 특히 지하수의 경우 그 농도편차가 매우 크다(Kurttio *et al.*, 2002; Prat *et al.*, 2009; Dinelli *et al.*, 2012). 핀란드의 경우 지하수

를 대상으로 우라늄의 농도를 조사한 결과 1920 $\mu\text{g/l}$ 의 높은 값을 나타내는 경우가 있었으며 (Kurttio *et al.*, 2002), 이탈리아에서 수돗물에 대한 조사결과 0.0016-16 $\mu\text{g/l}$ 범위의 우라늄이 검출되었다(Dinelli *et al.*, 2012).

지하수를 포함한 각 시료종류에 따른 우라늄의 농도를 분석하여 Fig. 3에 나타내었다. 샘물과 지하수의 우라늄 농도가 정수 및 마을상수도에 비해 높은 것으로 나타나 지표수가 포함된 정수 및 수돗물에 비해 지각물질과 접촉시간이 긴 먹는 물 시료의 우라늄 농도가 상대적으로 높다고 할 수 있다. 민방위비상급수 및 소규모급수시설의 경우 공급원이 하천수일 수도 있고 지하수인 경우도 있어 명확히 구분이 불가능하다. 농도범위는 지하수 및 샘물과 정수의 중간정도이다.

우라늄 농도가 높게 검출된 상위 100개의 시료에 대하여 황산이온농도, pH, 경도, 과망간산칼륨 소비량 등의 일반적 수질인자들과의 상관성조사를 수행하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 우라늄은 기타수질 인자와의 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났다.

결론

지하수, 마을상수도, 샘물 등 경북지역의 소규모 먹는 물 시설에서 채취한 800여 개의 시료를 분석하여 우라늄의 농도를 측정하였다. 전체시료에 대

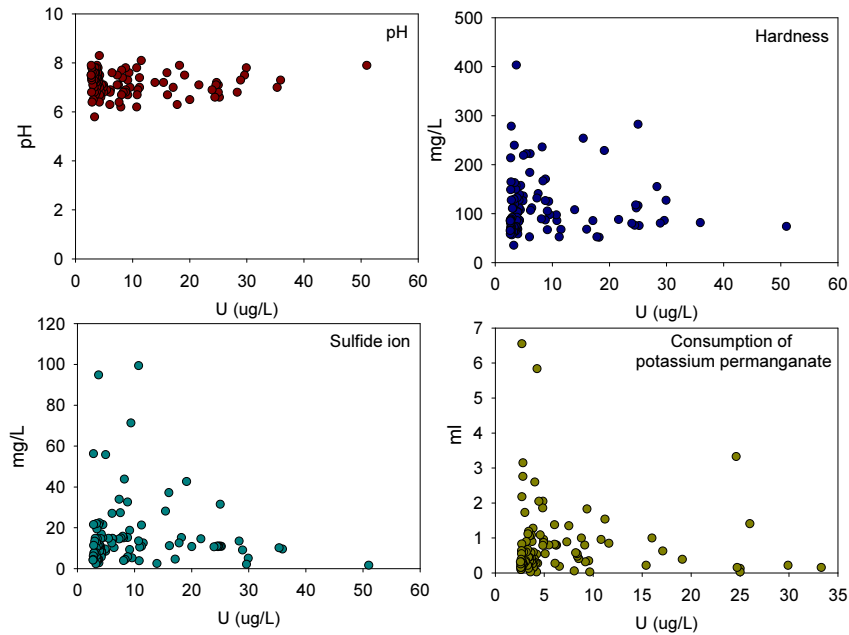


Fig. 4. Correlation between uranium and pH, hardness, sulfide ion, and K_2MnO_4 .

한 평균농도는 $3.13 \mu\text{g}/\ell$ 이며 미국의 먹는 물 권고기준 또는 우리나라의 권고기준인 $30 \mu\text{g}/\ell$ 를 초과하는 시료의 수는 6개이며 전체시료에서 차지하는 비율은 0.7%로 비율은 낮으나 몇몇의 먹는 물은 추가적인 처리가 없을 경우 건강에 위해성을 가져올 수 있을 정도로 높은 농도의 우라늄을 포함하고 있는 것으로 나타났다. 시료의 종류별 분류에서는 지하수, 샘물 등 지하수를 기반으로 한 먹는 물에서 상대적으로 높은 농도의 우라늄이 검출되었다. 먹는 물에 포함된 대부분의 우라늄은 지질적 기원에 의한 것이며 지질적 특성과 매우 연관성이 있다. 본 연구에서는 흑운모화강섬록암, 흑운모화강암, 편마상화강암 등의 지질특성을 가진 지역에서 상대적으로 높은 농도의 우라늄이 검출되었다. 황산이온, pH 등의 수질인자들과의 상관성조사에서 우라늄은 기타수질 인자와의 상관성이 매우 낮은 것을 보여주었다.

REFERENCES

- Berisha, F. and Goessler, W. (2013) Uranium in Kosovo's drinking water. *Chemosphere*, 93, 2165-2170.
- Bhalara, P.D., Punetham, D., and Balasubramanian, K. (2014) A review of potential remediation techniques for uranium (VI) ion retrieval from, contaminated aqueous environment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 1621-1634.
- Cho, B.W., Choo, C.O., Kim M.S., Lee, Y.J., Yun, U., and Lee, B.D. (2011) Uranium and radon concentrations in groundwater near the Icheon granite. *The Journal of Engineering Geology*, 21, 3, 259-269 (in Korean with English abstract).
- Cho, B.W., Kim, M.S., Kim, T.S., Yun, U., Lee, B.D., Hwang, J.H., and Choo, C.O. (2013) Characteristics of occurrence and distribution of natural radioactive materials, uranium and radon in groundwater of the Danyang area. *The Journal of Engineering Geology*, 23, 4, 477-491 (in Korean with English abstract).
- Dinelli, E., Lima, A., Albanese, S., Birke, M., Cichella, D., Giaccio, L., Valera, G., and Vivo B.D. (2012) Major and trace elements in tap water from Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 112, 54-75.
- Fedoseev, D.A., Dunaev, M.A., and Vladmirova, M.V. (2002) Radiation-chemical behavior of uranium in ground water. *Radiochemistry*, 44, 1, 91-92.
- Han, H.S., Jung, Y.H., Jung, E.H., Byun, J.H., Park, J.H., Kim, J.K., and Kim, G.H. (2011) A study on the uranium concentrations of groundwater in the North Part of Gyeonggi. report on the joint confer-

- ence of Korean Society on Water Environment & Korean Society of Water and Wastewater Autumn, 295-296 (in Korean with English abstract).
- Hwang, J. (2013) Occurrence of U-minerals and source of U in groundwater in Daebo granite, Daejeon area. *The Journal of Engineering Geology*, 23, 4, 399-407 (in Korean with English abstract).
- Ioannidou, A., Samaropoulos, I., Efstathiou, M., and Pashalidis, I. (2011) Uranium in groundwater sample of Northern Greece. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 289, 551-555.
- Jeong, C.H., Kim, M.S., Kim, T.S., Jo, B.U., Ryu, K.S., Jang, H.K., and Kim, D.U. (2013) The relationship between geological properties and natural radioactive isotope in groundwater in Korea. *Proceedings of KSEG 2013 Fall Conference November*, 14-15 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.S., Park, H.S., Kim, J.Y., Park, S.K., Cho, B.W., Sung, I.H., and Shin, D.C. (2004) Health risk assessment for uranium in Korean groundwater. *Journal of Environmental Radioactivity*, 77, 77-85 (in Korean with English abstract).
- Kurttio, P., Auvinen, A., Salonen, L., Saha, H., Pekkanen, J., Makelainen, I., Vaisanen S.B., Penttila I.M., and Komulainen H. (2002) Renal effects of uranium in drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 110, 337-342.
- Lee, M.H., Choi, G.S., Cho, Y.H., Lee, C.W., and Shin, H.S. (2001) Concentrations and activity ratios of uranium isotopes in the groundwater of the Okchun Belt in Korea. *Journal of Environmental Radioactivity*, 57, 105-116 (in Korean with English abstract).
- Nriagu, J., Nam D.H., Ayanwola, T.H., Dinh, H., Erdenechimeg, E., Ochir, C., and Bolormaa, T.A. (2012) High levels of uranium in groundwater of Ulaanbaatar. Mongolia, *Science of the Total Environment*, 414, 722-726.
- Oeh, U., Priest, N.D., Roth, P., Ragnarsdottir, K.V., Li, W.B., Höllriegl, V., Thirlwall, M.F., Michalke, B., Giussani, A., Schramel, P., and paretzke, H.G. (2007) Measurements of daily urinary uranium excretion in German peacekeeping personnel and residents of the Kosovo region to assess potential intakes of depleted uranium (DU). *Science of the Total*, 381, 77-87.
- Orloff, K.G., Mistry, K., Charp, P., Metcalf, S., Marino, R., Shelly, T., Melaro, E., Donohoe, A.M., and Jones, R.M. (2004) Human exposure to uranium in groundwater. *Environmental Research*, 94, 319-326.
- Park, S.K. and Rim, Y.T. (2003) International trends for radionuclides management in groundwater. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 19, 6, 585-597 (in Korean with English abstract).
- Park, S.K. and Rim, Y.T. (2004) International trends for radionuclides management in groundwater. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 20, 2, 93-103 (in Korean with English abstract).
- Prat, O., Vercouter, T., Ansoborlo, E., Fichet, P., Perret, P., Kurttio, P., and Salonen L. (2009) Uranium speciation in drinking water from drilled wells in Southern Finland and its potential links to health effects. *Environmental Science & Technology*, 43, 3941-3946.
- Samarat, A.M. and Cheng, T. (2014) Uranium release from sediment to groundwater: influence of water chemistry and insights into release mechanisms. *Journal of Contaminant Hydrology*, 164, 72-87.
- Wiegand, B.A. and Schwendenmann, L. (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*, 488, 110-117.
- Wu, Y., Wang, Y., and Xie, X. (2014) Occurrence, behavior and distribution of high levels of uranium in shallow groundwater at Datong basin, Northern China. *Science of the Total Environment*, 472, 809-817.

Received November 19, 2014, Revised December 17, 2014, Accepted December 20, 2014, Responsibility Editor: Kangjoo Kim