

옥천대 함-우라늄 흑색점판암층의 하천수 및 지하수내 우라늄에 대한 지구화학적 특성

지세정¹⁾ · 윤옥 · 홍영국 · 김통권 · 김건한

1. 서 론

음용수 중의 우라늄 인체 위해는 방사성 독성과 중금속으로서 우라늄의 화학적 독성으로 나타난다고 알려져 있다. 지질기원의 우라늄은 지표 지질환경에서 쉽게 용해·이동되어 하천수 및 지하수로 확산되어 1ppb 당 1.5pCi/L의 방사능을 방출하며, 붕괴 산물로 대기에 라돈가스를 발생시켜 식생, 공기흡입, 피부노출을 통해 인체의 방사능 위해를 준다. 보통 식생을 통한 우라늄의 섭취량은 1-2ppb/일 이고, 음용수 1ℓ 당 1.5ppb의 우라늄을 섭취하는 것으로 미국환경보호국(USEPA, 1991년)은 보고하고 있으며, 위해성 기준치(Maximum Contaminant Level, MCL)인 20ppb 이상의 음용수를 섭취할 경우 인체에 유해한 것으로 알려져 있다. 최근 언론 보도에 의해 국내 일부 지역의 지하수가 미국 환경청(USEPA)의 음용수 기준치를 초과하고 있음이 보도되면서 인근지역 주민에 대한 건강에 대한 우려가 심각하게 높아지고 있다.

국내의 경우, 충청. 대전지역 등 전국 2백여 곳의 지하수 방사능 오염실태에 대한 성익환 외(2002)의 조사결과에 의하면 충북 16곳. 대전 15곳. 충남 5곳. 경기 3곳 등 47곳에서 라돈 및 우라늄 농도가 선진국 수질 권장치를 초과하고 있다. Cho 외(2002)의 논문에 의하면 남한의 총369 곳의 지하수 시료에 대한 우라늄 농도는 215ppb(1.72ppb) 이하이고, 옥천대 지층에 속하는 97개 지하수는 우라늄의 농도가 4.36ppb(평균, 0.51ppb) 이하로써 화장암 대수층의 지하수(평균, 3.65ppb) 보다 낮은 것으로 보고하고 있다. 실제로 옥천대 탄질 점판암내에는 300~400ppm(U_3O_8)의 저품위 함우라늄 광체들(박중권 외, 1983; ; 김대업 외, 1984; 김종환 및 박중권, 1985; 김대업 및 박중권, 1986)이 대상으로 분포하고 있어서, 옥천대 지역내 지하수의 우라늄 함유 실태를 파악하기 위하여 우라늄 농도가 비교적 높은 지역인 함-우라늄 탄질점판암층 내의 지표수 및 지하수에 대한 좀더 정밀한 우라늄 농도의 조사연구가 요구된다.

이번 연구에서는 옥천대 지역에서 지표방사능과 기반암의 우라늄 농도가 높은 괴산, 보은지역, 금산지역에 대해 하부점판암층 내에 협재한 함-우라늄 탄질층을 대상으로 채취된 암석, 지표수, 지하수 시료에 대해 우라늄 농도, 양이온, 음이온 분석을 통하여 지질매체별 우라늄 농도 값을 규명하고, 우라늄 농도와 주요 성분들과의 화학적 동질성 파악과 수질의 유형과의 관계 등을 비교·검토하여 매체별 우라늄의 지구화학적 특성과 존재형태에 대한 연구를 시도하였다.

주요어 : 옥천대, 지표수, 지하수, 우라늄 농도, 탄질점판암

1) 한국지질자원연구원(csjung@kigam.re.kr)

2. 연구방법

2-1. 시료채취 및 실험

시료채취: 옥천대내 탄질점판암층이 주로 분포되어 있는 충북 괴산, 보은 및 충남 금산 지역에서 기반암과 지표수, 지하수의 수질특성과 우라늄 농도 사이의 지구화학적 특성을 규명하기 위하여 옥천대 하부천매암층의 함-우라늄 탄층이 지표에 노출된 지역을 중심으로 시료를 채취하였으며, 이와 비교하기 위하여 대전 화강암 분포대에서 일부시료가 채취되었다. 시료 채취는 2004년 12월~2005년 3월 사이에 수행되었다. 지표수는 총 52개 채취되었으며, 괴산지역 6개, 보은지역 5개, 금산지역 32개 그리고 대전지역 9개 시료가 채취되었다. 지하수의 경우는 괴산지역 9개, 보은지역 8개, 금산지역 8개, 대전지역 11개 등 총 36개 시료가 채취되었으며, 옥천대의 3개 지역에서 탄광 갱내수 1개씩 채취되었다. 우라늄 농도 분석용 암석시료는 상기지역에서 총 103개의 시료가 채취되었다. 채취된 물 시료에 대해서 우라늄과 토륨 농도와 함께 주요 양이온 및 음이온 8성분을 분석하였다. 지하수의 경우 수질안정을 위해 10~20분 동안 양수공 체적의 약 3~5배를 양수한 후(Barcelona et al., 1985) 채취하였으며, 지표수의 경우 인위적인 오염지역을 피하여 채수하였다. 물 시료들은 여과(0.45 μm) 후 각 1ℓ씩 채취하였으며, 양이온 분석용 시료는 농질산(65%)을 1mℓ 첨가하였다. 모든 시료는 분석 전까지 4℃로 보관하였다.

현장측정: 수온, pH, Eh, EC 값은 휴대용 측정기(SK1250MC, HM-12P TOA, CM-14P TOA)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 알칼리도는 1:1500 황산을 이용하여 현장에서 적정하였다.

양이온 및 음이온 분석: 우라늄 농도와 함께 수질분석은 모두 10개의 성분(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SiO_2 , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-})이 분석되었으며, 양이온 중에서 Na, K 성분은 원자흡수분광광도계(AAS)에 의하여 분석(검출한계, 0.005ppm) 되었으며, Ca, Mg, SiO_2 성분은 유도결합플라즈마 원자방출분광광도계(ICP-AES)를 이용하였다(검출한계: Ca, 0.002ppm; Mg, 0.002ppm; SiO_2 , 0.012ppm). 음이온은 이온크로마토그래피(Dionex 300)에 의해 분석되었으며(검출한계, 0.05ppm). 물과 암석의 U 농도는 ICP-MASS(Perkinelma DRC2)에 의해 측정되었다(검출한계, 0.01ppb).

3. 본론

3-1. 지표수, 지하수, 갱내수의 수질

조사지역의 지표수, 지하수, 갱내수에 대한 우라늄 농도와 주요 양이온 및 음이온의 농도와 현장측정 결과는 Table 1에 요약하였다. 물의 유형별 수질 특성 차이는 함 우라늄 탄광 갱내수의 경우는 지표 및 지하수에 비해 전기전도도(EC) 값이 상대적으로 매우 높아 용존 성분의 총량이 매우 크다는 것을 지시해주며, 특히 Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- 농도가 매우 높은 산화지하수의 특성을 보여준다. 지하수의 경우는 지표수 보다 Ca과 HCO_3^- 농도가 비교적 높게 나타난다. 우라늄 농도의 경우 갱내수에서 51.2~3,334ppb의 값을 보이거나 지표수와 지하수에서는 평균 약 10ppb의 값을 나타내나, 지표수가 지하수 보다 다소 높은 농도를 나타낸다. 옥천대의 지하수에 대한 우라늄 농도는 대전지역내 화강암류를 대수층으로 하는 지하수(평균값, 1.7ppb) 보다 평균값이 높게 나타나고 있다.

3-2. 수질유형

조사지역의 지표수, 지하수, 갯내수의 수질유형은 Fig.2와 같이 지표수는 Ca-HCO₃에서 기반암의 암상에 따라서 Ca-HCO₃-SO₄와 Ca-Mg-SO₄-HCO₃의 수질이 진화된 양상을 보여준다. 지하수는 Ca-HCO₃ 유형에서 Ca-Na-HCO₃ →Ca-Mg-HCO₃의 수질변화를 나타내고 있다. 갯내수의 경우는 Mg-Ca-SO₄의 수질유형을 보여준다. 우라늄 농도가 낮은 시료들은 주로 Ca-HCO₃ 유형을 보이나 농도가 높아질수록 Ca-(Mg,Na)-HCO₃와 Ca-HCO₃-SO₄ 유형으로 변화하며, 최종적으로 (Mg,Ca)-SO₄의 수질로 진화되는 경향을 나타내어 함-우라늄 탄질층 대수층의 산화 지하수 특성을 반영하고 있다.

Table 1. 육천대 지층내 지표수, 지하수, 갯내수의 우라늄과 주요 수질성분 및 현장측정치

성분	지표수(n=52)		지하수(n=36)		갯내수(n=3)	
	농도	평균	범위	평균	농도	평균
pH	3.7~7.8	7.0	5.8~8.2	6.9	3.1~8.1	6.3
EC(mS/cm)	39~959	147.3	58~630	180.2	546~2860	1542.3
Eh(mV)	154~404	213.7	-109~273	204.5	201~425	284.0
U (ppb)	0.0~371.0	9.4	0.0~98.0	4.0	51.2~3,334	1,249.7
K ⁺ (mg/L)	0.2~2.5	0.9	0.4~10.5	1.7	0.9~2.7	1.8
Na ⁺ (mg/L)	1.6~9.5	4.0	2.4~17.8	6.6	3.9~9.1	6.4
Ca ²⁺ (mg/L)	1.7~76.9	14.6	2.7~109.0	21.6	86.5~345.0	173.5
Mg ²⁺ (mg/L)	0.2~63.1	4.2	0.5~17.4	4.0	9.5~321.0	140.2
SiO ₂ (mg/L)	5.8~27.4	15.1	8.4~44.5	20.7	11.1~29.9	20.0
Cl ⁻ (mg/L)	1.7~11.9	3.5	2.3~20.0	6.2	2.3~3.1	2.6
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	1.7~600.0	32.5	0.7~204.0	21.0	163.0~1920.0	949.3
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.3~18.2	4.7	0.1~74.8	10.1	0.1~0.5	0.3
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	1.8~152.9	36.2	9.4~235.2	62.2	123.5~222.3	170.6

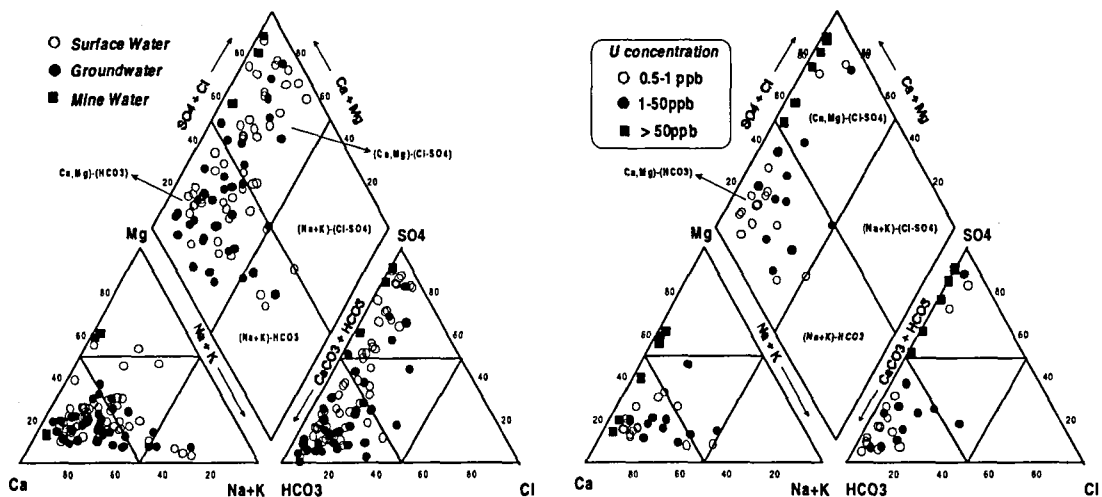


Fig.1. 조사지역 지표수, 지하수, 갯내수 및 우라늄 농도에 따른 수질 유형

3-3. 우라늄 농도와 수질성분과의 상관성

하천수, 지하수, 갯내수에서 우라늄의 농도가 2ppb 이상인 시료를 대상으로 우라늄 농도와 주요 이온들의 농도와 사이의 관계는 Fig. 2에서와 같이 우라늄 농도는 Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- 성분들과 정(+)의 상관성을 나타내고 있다. 우라늄과 이들 성분과의 상관계수는 +0.88 이상 매우 높게 나타난다. 통계적 요인 분석 결과는 우라늄은 요인 1에 EC, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- 등과 함께 +0.93 이상의 적재량을 보여주고 있어서 이들 2가 이온들과 화학적으로 동질성을 나타낸다. 그리고 Fig.3과 같이 주변 암석의 우라늄 농도와도 비교적 밀접한 상관성을 보여주고 있다.

3-4. 지표수 및 지하수내 우라늄의 화학적 존재형태

옥천대의 지표수와 지하수에 대한 우라늄의 화학적 거동을 살펴보면 Fig. 4와 같이 우라늄 성분은 원래 암석내 Uraninite(UO_2)와 Uranyl Uranate(U_3O_8)에서 기반암 화학적 특성에 따라서 Uranyl Carbonate 혹은 Uranyl Oxide 착이온으로 진화된 양상을 나타낸다. 옥천대 탄질 점판암내 지하수는 HCO_3^- 농도가 증가할수록 U 농도가 증가하고 있어서 지하수의 우라늄 성분은 주로 Uranyl Carbonate 착이온으로 존재함을 알 수 있다. 함-우라늄 탄광 갯내수의 산화수에서는 우라늄이 주로 우라늄 산화종인 (UO_2)²⁺로 존재하는 경향을 나타내고 있다.

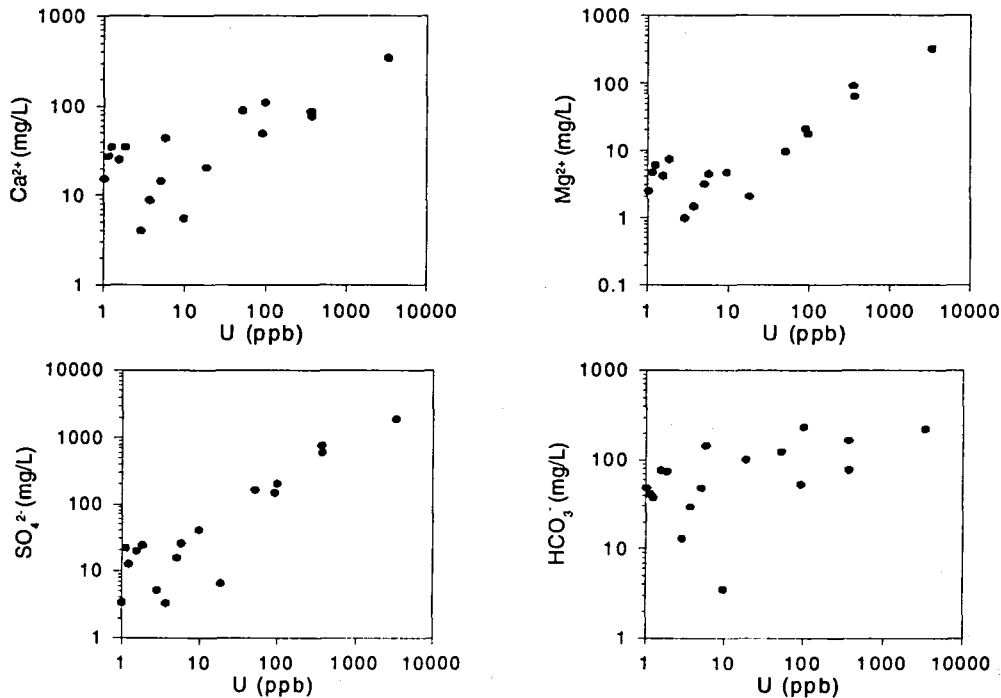


Fig. 2. 조사지역 지표수, 지하수, 갯내수의 우라늄 농도와 주요 성분과의 상관성

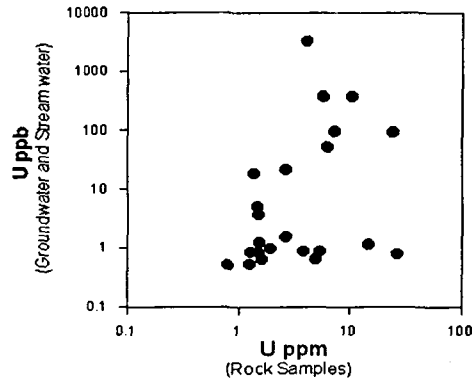


Fig. 3. 조사지역 물시료(지표수, 지하수, 갯내수)와 기반암 사이의 우라늄 농도의 관계

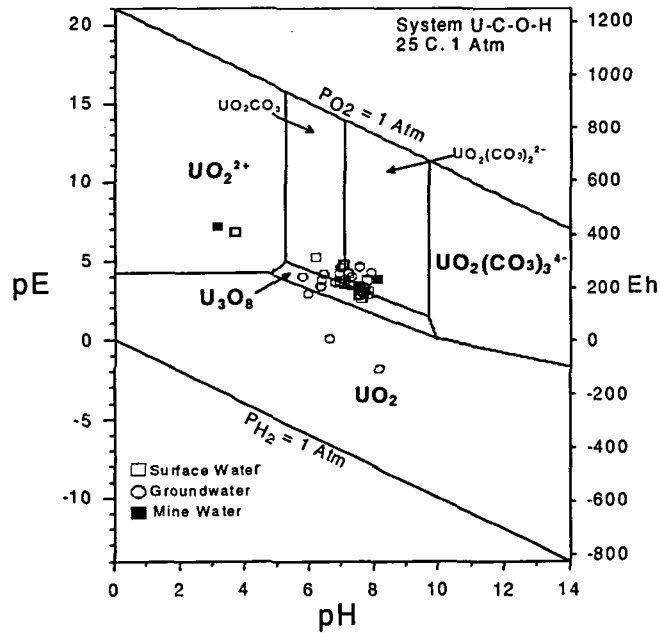


Fig. 4. 옥천대 탄질세일층의 지하수에 대한 우라늄의 화학적 존재형태

3-5. 결 론

1. 옥천대 지역의 함-우라늄 탄광 갯내수는 주변 지표수 및 지하수 보다 전기전도도(EC)와 Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- 의 농도가 높은 산화지하수의 특성을 보여준다.
2. 지표수 및 지하수의 수질유형은 주로 Ca-HCO₃, Ca-HCO₃-SO₄, Ca-Mg-SO₄-HCO₃의 수질유형을 보이나, 갯내수의 경우는 Mg-Ca-SO₄의 수질유형을 보여준다.
3. 지표수 및 지하수의 우라늄 농도는 Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- 성분들과 +0.88 이상의 상관계수를 보이며, 요인분석 결과는 우라늄은 EC, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- 등과 함께 화학적 동질성을 나타내고 있다.

4. 옥천대의 지표수 및 지하수에서는 우라늄이 주로 Uranyl Carbonate 혹은 Uranyl Oxide 착이온 상태로 존재하며, 함-우라늄 탄광 갱내수의 산화수에서는 우라늄 산화종인 (UO₂)²⁺로 존재한다.

4. 사 사

이 연구는 과학기술부 국책연구개발사업인 자연재해방재기술개발사업 (과제번호: M103 2406000103B310600100)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

Cho, B. W., Kee, I. H.* Park, S. K, Lee, B. D., Sung, H. S., 2002. Uranium and radon concentrations in the groundwater of South Korea, GROUNDWATER AND HUMAN DEVELOPMENT, IAH. p. 1010-1015.

성익환, 김대업, 우형주, 정광석, 조병욱, 이병대, 홍영국, 윤욱, 이봉주 외, 2002, 지하수 중 방사성물질 함유실태에 관한 조사연구. 4권 pp. 357, 한국지질자원연구원

박중권, 김종환, 김전택, 김대업, 임현철, 1983, 우라늄정밀조사연구, 미원 동북부 우라늄 광

김대업, 박중권, 김정택, 1984, 우라늄정밀조사연구, 대전동남부지역 우라늄광상 시추조사 (요광, 성당2차 및 소룡 삼괴1차), p. 1-84, 한국동력자원연구소

김종환, 박중권, 1985, 우라늄정밀조사연구, 대전동남부 콜남이지역 우라늄광상 조사연구, 연구보고서 85-23, p.1-76 한국동력자원연구소.

김대업, 박중권, 1986, 대전동남부 콜남이지역 우라늄광상 시추조사연구, p.1-46, 한국동력자원연구소.

UNSCEAR (1988) Sources, Effects and risks of ionizing radiation. UN Report. New York.