

# 전국 지하수 내 자연 발생기원 우라늄의 분포 특성

신우식<sup>1,2</sup>, 조병욱<sup>3</sup>, 이광식<sup>1</sup>, 우남철<sup>2</sup>, 정성욱<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국기초과학지원연구원, 충청북도 청주시 청원구 오창읍 연구단지로 162

<sup>2</sup>연세대학교, 서울특별시 서대문구 연세로 50

<sup>3</sup>한국지질자원연구원, 대전광역시 유성구 과학로 124

\*schoung@kbsi.re.kr

## 1. 서론

우라늄은 자연발생 방사성물질 중 하나로써 반감기(44.5억년)가 매우 길며, 장기간 흡입 시 화학적인 독성으로 인해 만성 신장 질환을 초래할 수 있다. 1996년 대전지역의 지하수 내 우라늄에 대한 최초 보고된 이래 1999년부터 전국 단위의 자연방사성 물질에 대한 함량분포 및 원인에 관한 연구가 3차에 걸쳐서 한국지질자원연구원과 국립환경과학원에서 수행되었다. 해당 연구 결과는 매년 보고되었으나, 당해년도 조사 결과만 수록하고 있거나 광역적인 범위가 아닌 지역적인 규모에서의 자연방사성물질의 함량분포 현황과 원인에 대해서만 보고하고 있는 상황이다. 따라서, 본 연구에서는 2006년부터 2014년까지 약 8년간 수행된 조사결과를 정리하여 남한 지역 전체에 대한 지하수 내 우라늄 분포 현황을 밝히고, 발생원인을 규명하고자 하였다. 또한 지역별 평균을 평균을 이용 우라늄 함량 분포도를 작성하여 향후 주기적이고 장기적인 모니터링이 필요한 지역을 규명하였다.

## 2. 본론

### 2.1 연구 방법

#### 2.1.1 지질학적 개요

한국의 지질은 매우 복잡한 상황이지만, 약 70% 이상의 지역이 심성암과 변성암과 같은 결정질암으로 구성되어 있는 것이 특징이다. 암석의 생성 위치 및 기원에 따라 전체 지역을 1:250,000 지질도를 이용하여 심성암, 변성암, 퇴적암, 화산암, 충적층 지역의 5개로 구분하였다. 심성암층 지역은 경기도, 강원도, 충청남북도과 전라남북도 일대의 중생대에 관입한 화강암층이 주를 이루고 있으며, 변성암층 지역은 경기도와 강원도 서부의 선캄브리아기의 편마암 지역과 한반도 중부 지방에 길게 분포하는 시대 미상의 옥천대 지역이 해당되었다. 퇴적암층 지역은 강원도와 충청도 지역의 석회암 분포

지역과 경상남북도의 경상누층군 분포지역에 주로 분포하고 있으며, 화산암은 제주도대 대부분 분포하고 있었다.

#### 2.1.2 시료 채취 및 분석

2006년부터 2014년에 걸쳐 총 4,140개의 수질 시료를 채취하여 분석하였으며, 전체 시료 중 약 62%는 마을상수도 공급용 관정에서 채취하였고, 나머지 38%는 개인용 관정에서 채취하였다. 0.45  $\mu$ m 멤브레인 필터를 이용, 여과 후 Polyethylene bottle에 채수하였다. 채수 후 양이온 분석용 시료의 경우 0.1N 질산을 첨가하여 분석 전 공침과 흡착을 방지하였다. 시료 채취 중 기본 수리화학 항목인 수온, EC, ORP, DO, 중탄산이온 등에 대해 현장에서 측정하였다. 채수된 시료에 대한 분석은 양이온은 한국지질자원연구원의 ICP-MS (DRC-II, Perkin Elmer)를 이용하였고, 음이온은 IC (850 Professional, Metrohm)을 이용하였다.

### 2.2 결과 및 토의

#### 2.2.1 지하수의 수리화학적 특성

지하수 수질을 분석한 결과, 해안가에 위치해 해수에 영향을 받은 것으로 보이는 일부 지점을 제외하면, 대부분 Ca-HCO<sub>3</sub> 수질 유형인 것으로 나타나, 기반암에 따른 수리화학적 특성 차이를 확인할 수 없었다. 이는 그라우팅 불량 또는 양수정이 대수층 심도를 고려하지 않고 완전 관통 형식으로 설치되어 천부 지하수가 혼입되었기 때문으로 추정된다.

#### 2.2.2 지하수 내 우라늄의 지리학적 분포

지하수 시료 분석 결과, 우라늄 농도는 0.0 ~ 3607  $\mu$ g/L의 범위, 평균 8.2  $\mu$ g/L인 것으로 나타났다. 시료 중 약 89%가 평균 이하로 검출되었고, 약 4%의 시료(160개 시료)만이 미국 음용수 수질 기준인 30  $\mu$ g/L을 초과하여 검출되었다. 미국 음용수 수질기준 초과 시료는 충청(42%), 경기(29%), 강원(14%), 전라(8%), 경상(7%)의 순으로 많이 검

출되었다. 우라늄 분석 결과를 시군 단위로 구분하여, 지역별 평균 농도를 산출한 결과, 대전광역시, 아산시, 안성시와 철원군의 평균 농도가 미국 음용수 수질 기준을 초과하는 것으로 나타나 해당 지역의 지하수 수질에 대한 주기적, 장기적인 관측이 필요할 것으로 판단되었다.

Table 1. Summary of analysis results for U by province

[U] ( $\mu\text{g/L}$ )	GW	GG	GS	JL	CC	JJ
n	423	688	1,170	603	1,196	60
Mean	8.2	14.7	2.0	5.2	11.7	0.1
Max.	711	1,757	169	670	3,607.	1
0~1	231	301	753	392	602	59
1~8	138	251	367	163	418	1
8~15	16	48	21	17	71	0
15~30	13	41	20	15	42	0
30~60	15	23	7	5	30	0
60~300	9	19	2	10	25	0
300~	1	5	0	1	8	0

GW : Gangwon, GG : Gyeonggi, GS : Gyeongsang  
JL : Jeolla, CC : Chungcheong, JJ : Jeju

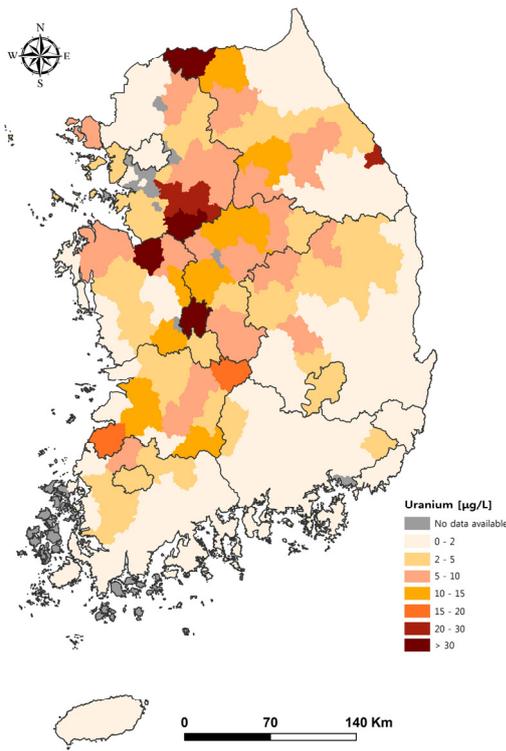


Fig. 1. Regional average concentration of uranium.

### 2.2.3 지하수 내 우라늄의 지질학적 분포

지하수 시료 분석 결과를 기반암별로 구분한 결과, 심성암 지역, 변성암 지역, 퇴적암 지역에서 미국 음용수 수질기준 시료가 검출되었고, 특히 심성

암 분포 지역에서 수질기준 초과율이 약 64%로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났으며, 이와 같은 결과는 화강암 지역 지하수에서 자연발생 우라늄이 가장 많이 분포하고 있다는 해외의 조사 결과와도 일치하였다. 변성암 지역의 경우, 편마암층 분포지역과 옥천대층에서 초과하였으며, 대수층이 분포하는 암반 내 협재된 함우라늄 광물의 영향으로 판단된다. 퇴적암층의 경우, 석회암층 분포지역과 경상계 퇴적층에서 초과하였으며, 이는 지질 내 함유된 유기물질에 의한 환원환경에서의 우라늄 흡착 및 산화환경에서의 우라늄 용해의 영향으로 추정된다. 지하수 내 우라늄 함량과 주요 이온 및 관정 심도와 상관분석 결과, 상관성을 확인할 수 없었다.

Table 2. Summary of analysis results for U by rock types

[U] ( $\mu\text{g/L}$ )	Plutonic	Meta- morphitic	Sedi- mentary	Volcanic	Allu- vium
n	1,785	1,251	934	104	66
Mean	13.5	5.6	2.0	0.6	1.1
Max.	3,607	564	293	15	13.5
0~1	760	767	668	88	55
1~8	688	382	245	15	8
8~15	129	32	9	0	3
15~30	99	27	4	1	0
30~60	56	20	4	0	0
60~300	41	20	4	0	0
300~	12	3	0	0	0

## 3. 결론

2006년부터 2014년에 걸쳐, 총 4,140개의 지하수 시료를 채취하여 지하수 내 우라늄 함량을 분석한 결과, 약 3.9%인 160개 시료에서 미국 음용수 수질기준인 30  $\mu\text{g/L}$ 을 초과하는 것으로 나타났다. 초과 지역을 지리적, 지질학적으로 구분하여 검토한 결과, 경기, 강원 충청 지역의 화강암층 지역과 편마암층 지역, 옥천대층 지역에서 가장 많이 초과하였다. 해당 지역 지하수 내 우라늄은 대수층 하부 지질에서 기원한 것으로 판단된다.