

금강유역 기반암 토양의 자연방사능 특성

이길용* · 윤윤열 · 조수영 · 이정화 · 이진수 · 고경석 · 김용제

한국지질자원연구원 지구환경연구본부

Natural Radioactivity of Soils by Bed Rocks Distributed in the Keum River Area

Kil Yong Lee* · Yoon Yeol Yoon · Soo Young Cho · Jung Hwa Lee · Jin Soo Lee
Kyung-Seok Koh · Yongje Kim

Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

ABSTRACT

Characteristics of natural radioactivity were investigated for soils collected from seven sites of different bed rocks distributed in the Keum River area of Korea by the use of a Gamma-ray spectrometry. Specific activity (SA) and SA ratio (SAR) of typical naturally occurring radioactive nuclide such as ²²⁶Ra, ²²⁸Ac and ⁴⁰K were determined for the soil samples. The SA values of ²²⁶Ra, ²²⁸Ac and ⁴⁰K in 41 soils of 7 sites are 26.7-485 (74.2 ± 72.2), 30.9-157 (90.7 ± 32.7) and 203-1558 (990 ± 203) Bq/kg, respectively. The SA of ²²⁶Ra has very different values by the soils and the sites. Especially the SA of ²²⁶Ra in a soil sample of Ogcheon site is 485 Bq/kg while most SA of 41 soil samples are < 100 Bq/kg. SA of ²²⁸Ac has a little different values with the soils and sites, however the SA of ⁴⁰K has almost constant values in all soil samples. The SAR values of ²²⁶Ra/²²⁸Ac, ²²⁶Ra/⁴⁰K and ²²⁸Ac/⁴⁰K in 41 soils of 7 sites are 0.343-6.11 (0.865 ± 0.883), 0.0258-0.759 (0.0814 ± 0.1117) and 0.0373-0.178 (0.0945 ± 0.0373), respectively. The SARs of ²²⁶Ra/²²⁸Ac and ²²⁶Ra/⁴⁰K have very different values by the soils and the sites, however the SAR of ²²⁸Ac/⁴⁰K has a little difference by the soil and sites.

Key words : Natural radioactivity, the Keum River, Bed rock, Soil, Gamma-ray spectrometry

요 약 문

감마선 분광법을 이용하여 금강유역에 분포되어 있는 7개 기반암 지역 토양의 자연방사능 특성을 조사하였다. 우라늄계열의 ²²⁶Ra, 토륨계열의 ²²⁸Ac과 비계열 핵종인 ⁴⁰K와 같은 대표적인 자연방사성핵종(naturally occurring radioactive nuclide)의 비방사능(specific activity: SA, Bq/kg)을 측정하고 비방사능 비(specific activity ratio: SAR)를 산출하여 기반암에 따른 토양에 대한 자연방사능 특성을 분석하였다. 7개 기반암지역 41지점 토양에서의 SA값은 ²²⁶Ra의 경우는 26.7-485(74.2 ± 72.2) Bq/kg, ²²⁸Ac은 30.9-157(90.7 ± 32.7) Bq/kg, 그리고 ⁴⁰K는 203-1558(990 ± 203) Bq/kg으로 나타났다. 기반암 특성별 가장 큰 차이를 보이는 핵종은 ²²⁶Ra이었으며 특히 캄브리아기 변성퇴적암 기원의 한 지점에서는 485 Bq/kg으로 평균값이 74.2 Bq/kg인 다른 지점들의 토양과 큰 차이를 보이고 있다. ²²⁶Ra보다는 적지만 ²²⁸Ac의 SA값도 기반암에 따라서 다소 특성을 보이고 있었으나, ⁴⁰K의 SA값의 경우는 특이한 차이가 없는 것으로 나타났다. 세 핵종간의 SAR은 ²²⁶Ra/²²⁸Ac은 0.343-6.11(0.865 ± 0.883), ²²⁶Ra/⁴⁰K는 0.0258-0.759(0.0814 ± 0.1117), 그리고 ²²⁸Ac/⁴⁰K는 0.0373-0.178(0.0945 ± 0.0373)로 세 핵종의 SA 특성에서 예견할 수 있었던 것과 같이 ²²⁶Ra/²²⁸Ac, ²²⁶Ra/⁴⁰K의 SAR 특성은 토양에 따라서 얼마간 보이는 반면 ²²⁸Ac/⁴⁰K는 별다른 특성을 보이지 않았다.

주제어 : 자연방사능, 금강유역, 기반암, 토양, 감마선 분광법

*Corresponding author : kylee@kigam.re.kr

원고접수일 : 2008. 11. 4 심사일 : 2008. 11. 13 게재승인일 : 2009. 4. 20

질의 및 토의 : 2009. 6. 30 까지

1. 서 론

토양 중 우라늄, 토륨 등의 자연방사성 핵종(naturally occurring radionuclide)은 일반인이 피폭되는 주요 방사선 원들(radiation sources)로써, 지하수나 실내공기 중 방사능의 인체에 대한 피해가 보고되면서 전 세계적으로 보건, 환경 분야의 집중적인 관심을 받아 왔다(Megumi et al., 1982; Myrick et al., 1983; Jacobi et al., 1988; Baeza et al., 1992; Porstendorfer et al., 1992; UNSCEAR, 1993). 국내에서도 전국 규모와 (성익환 외, 2002) 대전지역 (윤윤열 외 2002)의 지하수중 방사능물질 및 생활환경 중 라돈 조사사업(김창규 외, 1999)이 수행된 바 있으며, 함 우라늄 층인 탄질체일이 포함되어 있는 옥천층군을 대상으로 지질기원 우라늄 및 라돈조사 사업이 수행된 바 있다(전효택 외, 2006). 국립환경과학원의 최근 발표에서 국내 여러 지역 지하수에서 우라늄 및 이의 자핵종인 라돈(^{222}Rn)의 방사능이 미국 환경보호청(EPA)의 기준치를 초과하는 것으로 나타나 한국지질자원연구원에서 정밀조사사업을 진행 중에 있으며, 국립환경과학원에서는 전국적인 실태조사 사업으로 확장하여 수행 중에 있다.

금강유역은 한반도 중서부에 위치하는 동경 $126^{\circ} 40' 25'' \sim 128^{\circ} 03' 53''$, 북위 $35^{\circ} 34' 47'' \sim 37^{\circ} 03' 03''$ 사이에 위치하며, 충청남북도의 약 절반과 전라북도의 대략 1/4 정도를 차지하고 경상남북도 일부와 경기도 극히 일부를 포함하고 있는 우리나라 제3의 유역으로써, 유역면적은 $9,912.70 \text{ km}^2$ 이고, 유로연장은 397.79 km 이다(양정석 외, 2008). 본 연구는 금강유역 지하수와 토양의 환경오염 특성평가 사업 중 한 부분으로, 금강유역에 분포되어 있는 기반암이 다른 토양에서의 자연방사능 특성을 조사하기 위하여 수행하였다. 먼저, 금강유역 주요기반암 7 지역에서 총 41지점(기반암 지역 당 5-6 토양)의 토양을 채취하여 우라늄계열의 ^{226}Ra , 토륨계열의 ^{228}Ac , 그리고 ^{40}K 를 대상으로 자연방사능 특성을 조사하였다. 이들 세 핵종은 모두 감마선을 방출하는 자연방사성 핵종으로서 HPGe 감

마선 검출시스템을 이용하여 각 토양에서 각 핵종의 비방사능(specific activity: SA)을 측정하고, 각 핵종의 비방사능비(SA ratio: SAR)를 산출하여 금강유역 토양의 자연방사능 특성을 분석하였다.

2. 실험

2.1. 시료채취

본 연구에서 실험에 사용한 토양시료의 채취지점은 Table 1과 Fig. 1에서 볼 수 있으며, 토양 채취지점의 정확한 위치와 주변의 지질특성을 알 수 있다. 7개 지역의 토양시료채취지점의 행정구역 및 지질특성은, 1) 청양군 목면의 선캠브리아기 편마암 지역(CHM), 2) 공주군 옥룡동의 선캠브리아기 편암 지역(GOR), 3) 금산군 복수면 목소리의 캠브리아기 석회암 지역(KBM), 4) 금산군 복수면 수영리의 캠브리아기 변성퇴적암 지역(KBS), 5) 부여군 은산면의 쥬라기 퇴적암 지역(BES), 6) 공주군 반포면의 쥬라기 화강암 지역(GBP), 7) 무주 인터체인지 부근의 백악기 퇴적암 지역(MIC)이다.

지역별로 10 m 반경의 구간에서 채취의 편리성과 토양 상태 등을 고려하여 토양오염공정시험법에 따라서 5-6개의 토양시료 채취지점을 결정하였다. 낙엽이나 뿌리와 같은 이물질이 있을 경우 이들을 제거하고 표층토양을 체질하여 2mm미만의 토양입자를 현장에서 채취 하였다.

2.2. 자연방사능 측정

채취한 토양시료는 polyethylene 시료 병에 넣고 밀봉하여 24시간 내에 실험실로 운반하여, 전기오븐에서 105°C 로 유지시키면서 24시간 건조시킨 후 4분법으로 나누고 이를 다시 시료 혼합장치인 eight branched sampler를 이용하여 균질하게 혼합하여 자연방사능 이외에 화학 조성 및 물리적 특성 측정실험에도 사용하였다. ^{226}Ra , ^{228}Ac 그리고 ^{40}K 의 방사능은 측정용기(Marinelli beaker, 450 mL)에 토양시료를 넣고 밀봉하여 ^{226}Ra 의 자핵종인

Table 1. Geographical and geological informations of the sampling points in the Keum River area

Name	Latitude	Longitude	District	Rock type
GOR	$36^{\circ}26'08.4''$	$127^{\circ}09'09.6''$	Gongju-gun, Okryong-dong	Precambrian schist
CHM	$36^{\circ}24'24.2''$	$126^{\circ}59'44''$	Cheongyang-gun, Mog-myun	Precambrian gneiss
KBS	$36^{\circ}09'55.4''$	$127^{\circ}22'42.6''$	Keumsan-gun, Bogsu-myun, Sooyoung-ri	Cambrian metasedimentary rocks
KBM	$36^{\circ}10'22''$	$127^{\circ}24'56.3''$	Keumsan-gun, Bogsu-myun, Mogsori	Cambrian limestone
GBP	$36^{\circ}22'03''$	$127^{\circ}15'04.8''$	Gongju-gun, Banpo-Myun	Jurassic granite
BES	$36^{\circ}19'9.8''$	$126^{\circ}47'29.9''$	Buyeo-gun, Eunsan-myun	Jurassic sedimentary rocks
MIC	$35^{\circ}50'13.7''$	$127^{\circ}39'16.6''$	Muju-IC	Cretaceous sedimentary rocks

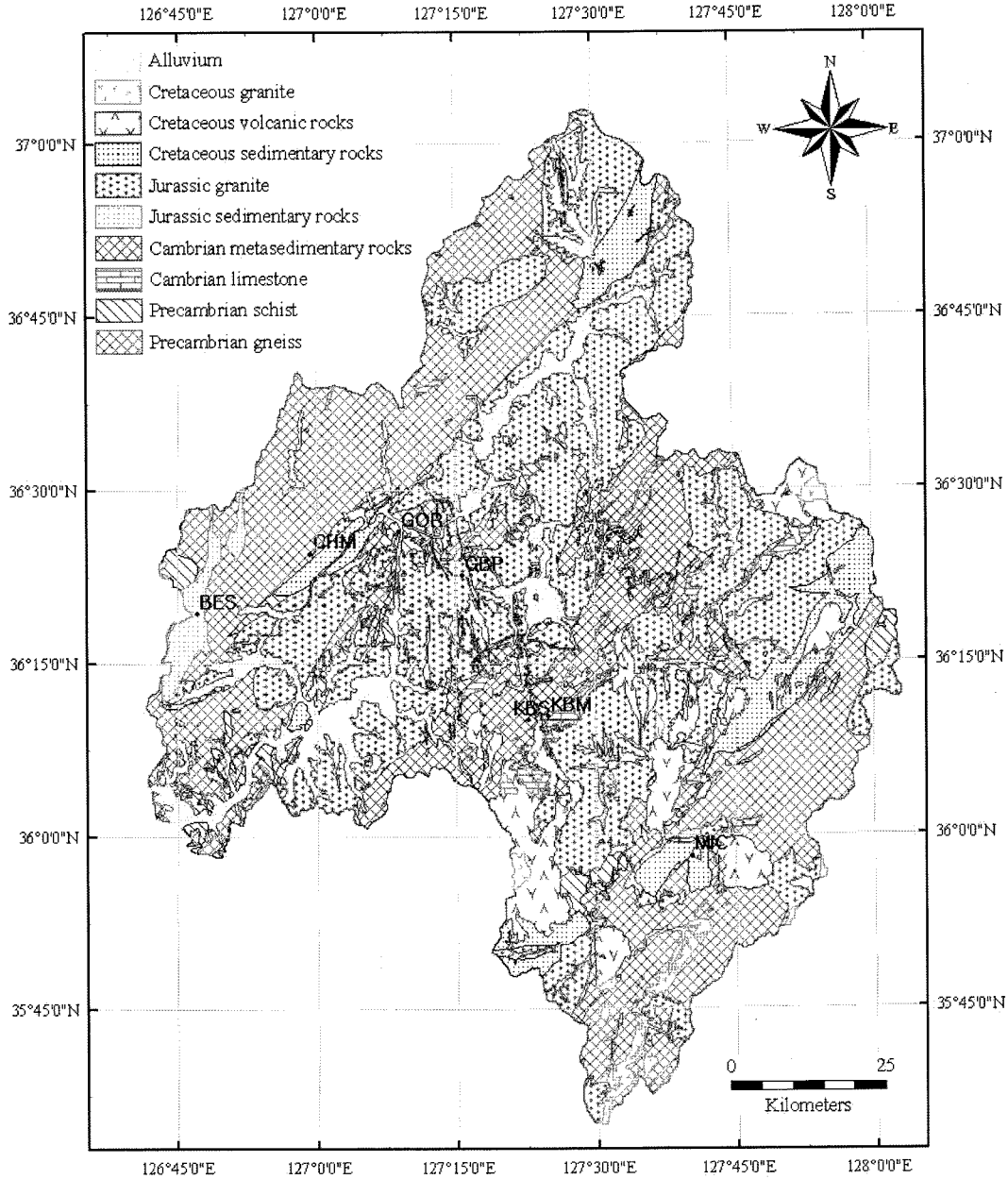


Fig. 1. Geological and sample location map of the watershed of the Keum River area.

^{222}Rn 가스의 누출을 방지하고, 3주간 방사평형에 도달시켜 HPGe 감마선 검출기(relative efficiency: 30%, fwhm: 1.9 keV at 1.333 MeV, CANBERRA, U. S. A.)를 이용하여 각 핵종의 방사능을 측정하였다. HPGe 검출기의 측정효율은 시료와 동일한 형태의 측정용기에 담겨진 표준물질(RM-205-05-MIXB, 한국표준과학연구원)을 이용하여 산출하였다. fwhm은 “full width at half-maximum”의 약어로 방사선계측에서 측정기의 분해능을 나타내는데 보편적으로 사용된다. 우라늄 계열의 ^{226}Ra 의 측정은 방사평형 도달 후에 자핵종인 ^{214}Pb 와 ^{214}Bi 의 방사능을 측정하

였으며, 토륨계열은 ^{232}Th 의 자핵종인 ^{228}Ac 의 방사능을 그리고 ^{40}K 는 직접 ^{40}K 를 측정하였다. 지질물질 중 자연 방사능 측정에 사용되는 용기는 플라스틱으로 제작한 450mL 혹은 1,000mL 용량의 Marinelli beaker를 세계적으로 사용하고 있으나, ^{226}Ra 의 측정에서 중간 자핵종인 ^{222}Rn 의 누출을 억제하기 위하여 본 실험에서는 알루미늄으로 특수 제작한 측정용기를 사용하였다(이길용 외, 2000). 또한 저준위 환경방사능의 측정정확도 문제를 해결하기 위하여 측정기간 동안 질소가스를 측정함 내부로 흘러주어 양압상태를 유지하여, 공기 중 혹은 측정함에 존

재하는 ²²²Rn에 의하여 매우 큰 변화를 보이는 바탕방사능(back ground radioactivity)을 안정화시켰다(서범경 외, 2001). 측정결과와 신뢰도 확보를 위하여 미국 표준국(National Institute of Standard and Technology: NIST)에서 개발한 SRM 4353 토양을 이용하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 토양의 비방사능(SA) 특성

Table 2에는 실험방법의 검증에 사용한 표준물질의 분석결과를 나타내었으며, 세 핵종 모두 불확도 5% 내외에서 인증 값과 일치함을 알 수 있다. 금강유역 7종의 기반암지역 41개 토양을 측정하여 얻은 SA값을 Table 3에 나타내었다. ²²⁶Ra의 방사능은 26.7-485(평균 74.2 ± 72.2) Bq/kg 범위로 토양에 따라서 매우 큰 차이가 있음을 알 수 있다. ²²⁶Ra의 평균 SA 값은 캠브리아기 변성퇴적암 지역(KBS)의 178 ± 154 Bq/kg으로 가장 높았고, 그 다음은 쥬라기 화강암 지역(GBP) (64.2 ± 22.3), 쥬라기 퇴적암 지역(BES) (62.7 ± 36.9), 캠브리아기 석회암 지역(KBM) (60.9 ± 11.5), 선캠브리아기 편마암지역(CHM) (58.9 ± 17.5)이었으며, 가장 낮은 지역은 선캠브리아기 편암 지역(GOR)과 백악기 퇴적암(MIC) 지역으로 각각 47.3 ± 8.4, 42.5 ± 9.0 Bq/kg으로 나타났다. 특히 KBS 지역 한 지점의 토양에서 ²²⁶Ra의 비방사능이 485 Bq/kg으로 100 Bq/kg 미만의 다른 지점에 비해 매우 높았다. ²²⁸Ac

방사능은 30.9-157(평균 90.7 ± 32.7) Bq/kg 범위로 상대 표준편차가 약 35%로 나타났으며 ²²⁶Ra의 평균 SA 값이 가장 높은 KBS 지역에서 126 ± 30 Bq/kg으로 가장 높고 ²²⁶Ra의 평균 SA 값이 가장 낮은 MIC 지역 토양에서 58.5 ± 10.1 Bq/Kg으로 가장 낮게 측정되어 ²²⁶Ra의 SA와 ²²⁸Ac의 SA 값의 정의 관계가 있음을 알 수 있으나, 다른 5개 지역 토양의 경우 측정 오차범위에서 서로 유사한 값을 가지기 때문에 정량적 관계를 입증하기는 곤란하였다. ⁴⁰K의 경우는 장석, 운모류에서 대부분 기인하므로 점토류가 많은 부분은 높고 석회암은 매우 낮아 기반암에 영향을 크게 받으나, 전체토양의 평균 SA 값이 639-1560(평균 990 ± 203) Bq/kg 범위이고 상대표준편차가 11% 정도로 ²²⁶Ra과 ²²⁸Ac의 상대표준편차 97%와 36%에 비해서는 오히려 영향을 덜 받는 것으로 나타났다. Fig. 2는 41개 전체토양과 ²²⁶Ra과 ²²⁸Ac의 상관성이 관찰된 BES, MIC 지역 토양시료의 핵종 간 관련성을 보기위해 ²²⁸Ac를 기준으로 ²²⁶Ra, ⁴⁰K의 관계를 나타낸 것이다. 전체 토양의 ²²⁸Ac에 대한 ²²⁶Ra, ⁴⁰K의 회귀분석결과 ²²⁶Ra은 $r^2=0.023$, ⁴⁰K는 $r^2=0.00093$ 으로 관련성이 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 BES지역의 경우 ²²⁶Ra은 $r^2=0.863$, ⁴⁰K는 $r^2=0.913$, MIC 지역의 경우 ²²⁶Ra은 $r^2=0.948$ 로 통계적으로 어느 정도 유의한 값을 가지고 있다. Fig. 1에서 볼 수 있는 것과 같이 BES지역과 MIC지역은 각각 쥬라기 퇴적암과 백악기 퇴적암 지역으로 이들 퇴적암이 넓게 균질하게 분포되어 있고 외부로부터의 영향을 비교적 덜 받고 있음을 알 수 있다.

3.2. 토양의 비방사능 비(SAR) 특성

SAR(specific activity ratio, dimensionless) 값은 세 핵종의 상호 관련성과 기반암 및 토양에 따른 특성을 보여주는 것으로 ²²⁶Ra/²²⁸Ac, ²²⁶Ra/²²⁸Ac와 ²²⁶Ra/⁴⁰K값을

Table 2. Analytical results of NIST SRM 4353

Nuclide	certified value (Bp/kg)	measured value (Bp/kg)	difference (%)
⁴⁰ K	723 ± 69	684 ± 12	-5.39
²²⁶ Ra	43.0 ± 2.8	41.4 ± 1.1	-3.63
²²⁸ Ac	69.3 ± 3.5	72.7 ± 2.1	4.91

Table 3. Specific activity of ²²⁶Ra, ²²⁸Ac and ⁴⁰K in soils by sites (in Bq/kg)

Site(n)	²²⁶ Ra		²²⁸ Ac		⁴⁰ K	
	Range	Mean ± SD	Range	Mean ± SD	Range	Mean ± SD
GOR(6)	34.2-55.1	47.3 ± 8.4	90.8-155	113 ± 25	734-1050	956 ± 113
GBP(6)	34.5-103	64.2 ± 22.3	51.3-89.3	72.8 ± 14.5	746-1560	1130 ± 305
CHM(6)	37.2-81.7	58.9 ± 17.5	70.7-140	91.2 ± 26.0	781-1140	871 ± 137
BES(6)	26.7-126	62.7 ± 36.9	30.9-112	67.7 ± 31.8	707-1290	977 ± 228
MIC(5)	31.4-50.6	42.5 ± 9.0	47.1-70.7	58.5 ± 10.1	865-1350	1090 ± 225
KBS(6)	81.6-485	178 ± 154	79.4-157	126 ± 30	639-1280	999 ± 211
KBM(6)	43.7-72.5	60.9 ± 11.5	50.9-138	101 ± 29	740-1050	930 ± 118
Total(41)	26.7-485	74.2 ± 72.2	30.9-157	90.7 ± 32.7	639-1560	990 ± 203

(n): number of samples, SD: standard deviation

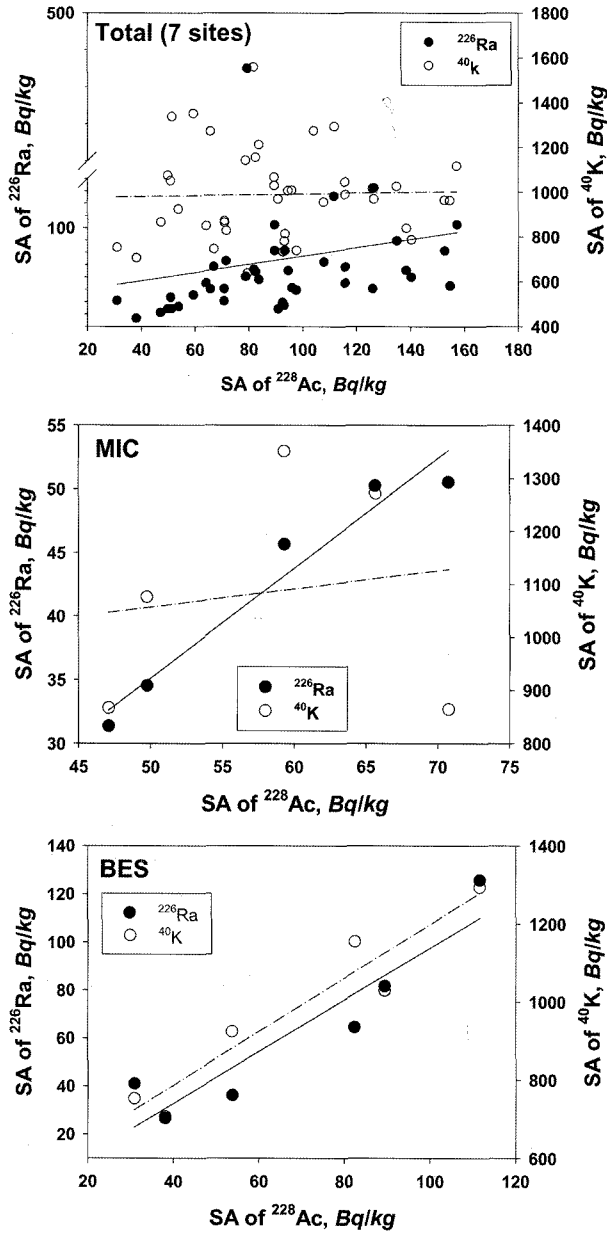


Fig. 2. Diagram showing relationships of ^{228}Ac vs. ^{226}Ra and ^{40}K in whole site (upper), and MIC (middle) and BES site (lower) of the Keum River area. ($r^2=0.023, 0.00093$ for ^{226}Ra and ^{40}K in total soils, $r^2=0.863, 0.913$ for ^{226}Ra and ^{40}K in BES, $r^2=0.948, 0.965$ for ^{226}Ra and ^{40}K in MIC region).

각 토양채취지점에 대하여 산출하였으며 41개 토양의 전체 평균값과 범위 그리고 7개 기반암지역 각각의 범위와 평균값을 Table 4에 나타내었다. 전체 토양에 대한 SAR 값을 보면, $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ac}$ 은 0.343-6.11(평균 0.865 ± 0.882), $^{226}\text{Ra}/^{40}\text{K}$ 는 0.0258-0.759(평균 0.0814 ± 0.1120), 그리고 $^{228}\text{Ac}/^{40}\text{K}$ 는 0.0383-0.178(평균 0.0945 ± 0.0373)을 나타내었다. SA 값에서와 마찬가지로 ^{226}Ra 의 범위가 매우 넓기

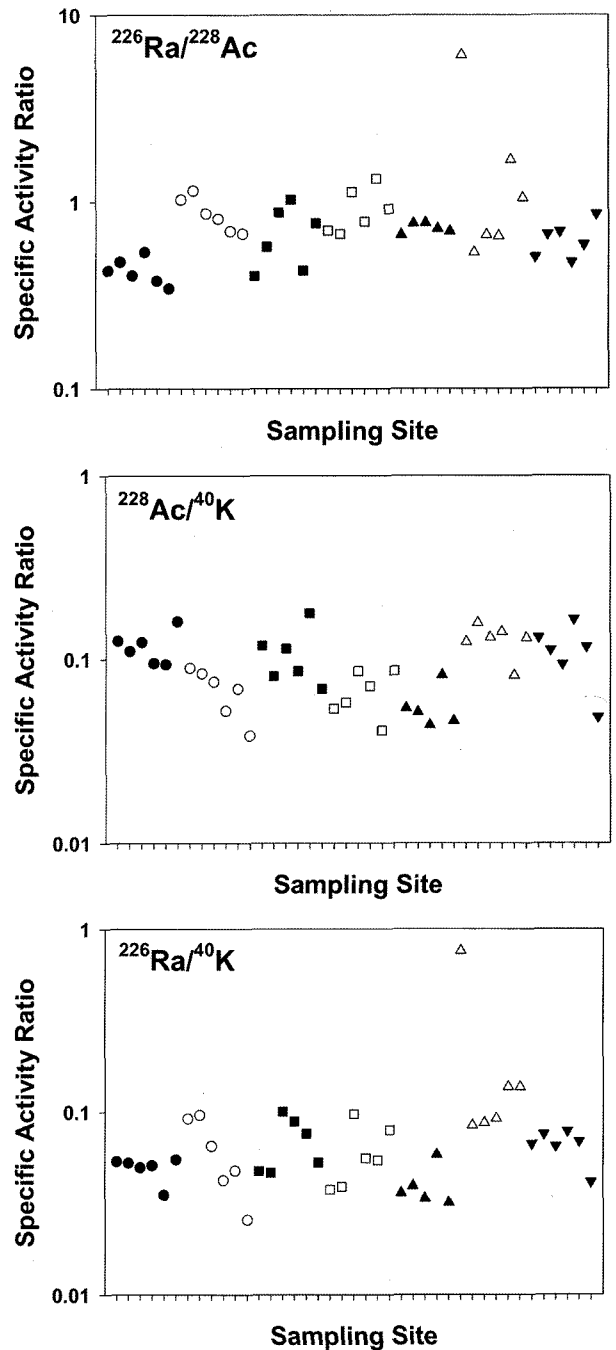


Fig. 3. Specific activity ratios of $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ac}$, $^{226}\text{Ra}/^{40}\text{K}$ and $^{228}\text{Ac}/^{40}\text{K}$ in 41 soils of 7 sites in the Keum River area.

때문에 이를 포함하는 $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ac}$, $^{226}\text{Ra}/^{40}\text{K}$ SAR의 상대표준오차는 100% 이상의 큰 값을 가지고 있어 기반암에 따른 특성차이가 매우 큼을 알 수 있으며, 반면에 $^{228}\text{Ac}/^{40}\text{K}$ 는 약 30%의 상대표준오차를 보여 기반암에 대한 영향이 비교적 적음을 알 수 있다. Fig. 3에는 41지점 토양의 지역별 SAR 값을 나타내었으며, $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ac}$ 와 $^{228}\text{Ac}/^{40}\text{K}$ 의 SAR 값을 보면 ^{226}Ra 의 방사능이 높은 KBS

Table 4. Specific activity ratio of three radionuclides in soils by sites

Soil	²²⁶ Ra/ ²²⁸ Ac		²²⁶ Ra/ ⁴⁰ K		²²⁸ Ac/ ⁴⁰ K	
	Range	Mean ± SD	Range	Mean ± SD	Range	Mean ± SD
GOR	0.343-0.537	0.427 ± 0.070	0.0353-0.0550	0.0496 ± 0.00725	0.0937-0.160	0.118 ± 0.0248
GBP	0.674-1.15	0.869 ± 0.187	0.0258-0.0961	0.0616 ± 0.0281	0.0383-0.0896	0.0681 ± 0.0194
CHM	0.400-1.027	0.679 ± 0.253	0.0466-0.100	0.0687 ± 0.0230	0.0689-0.178	0.108 ± 0.040
BES	0.673-1.33	0.921 ± 0.260	0.0378-0.0972	0.0606 ± 0.0234	0.0410-0.0868	0.0662 ± 0.0185
MIC	0.666-0.770	0.722 ± 0.045	0.0321-0.0585	0.0400 ± 0.0107	0.0439-0.0818	0.0556 ± 0.0153
KBS	0.535-6.11	1.78 ± 2.16	0.0846-0.759	0.216 ± 0.267	0.0815-0.158	0.128 ± 0.0255
KBM	0.475-0.860	0.633 ± 0.141	0.0416-0.0783	0.0661 ± 0.0131	0.0484-0.165	0.111 ± 0.0390
Total	0.343-6.11	0.865 ± 0.882	0.0258-0.759	0.0814 ± 0.1120	0.0383-0.178	0.0945 ± 0.0373

지역이 가장 큰 값을 가지고 GOR 지역이 제일 낮은 값을 가지며 그 외의 지역에서는 큰 차이를 보이지 않고 있다. ²²⁶Ra/²²⁸Ac의 SAR 값은 두 군으로 분류 할 수 있으며, 0.1을 기준 값으로 볼 때 GBP, BES와 MIC 지역은 이보다 낮은 값을 가지며, 그 외 4 지역에서는 전반적으로 높은 경향을 보이고 있다.

4. 결 론

금강유역에 분포되어 있는 대표적인 기반암지역 7곳에서 총 41지점 토양에 함유되어 있는 우라늄계열의 ²²⁶Ra, 토륨계열의 ²²⁸Ac, 그리고 비계열 자연방사성핵종인 ⁴⁰K의 자연방사능 특성을 분석하였다. 각 핵종의 비방사능(SA) 값으로 기반암 특성을 분석한 결과, ²²⁶Ra의 SA 값은 41개 전체 토양의 경우 26.7-485(74.2 ± 72.2) Bq/kg 범위로 토양에 따라서 매우 큰 차이가 있음을 알 수 있다. ²²⁶Ra의 평균 SA 값은 캠브리아기 변성퇴적암 지역(KBS) > 쥬라기 화강암 지역(GBP) > 쥬라기 퇴적암 지역(BES) > 캠브리아기 석회암 지역(KBM) > 선캠브리아기의 편마암 지역(CHM) > 선캠브리아기의 편암 지역(GOR) > 백악기 퇴적암 지역(MIC)의 순으로 나타났다. 특히 캠브리아기 변성퇴적암 지역(KBS) 한 지점의 토양에서 ²²⁶Ra의 비방사능이 485 Bq/kg으로 100 Bq/kg 미만의 대부분의 다른 지점에 비해 매우 높게 나타났으며, 추후 정밀 조사가 수행 되어야 할 것으로 보인다. ²²⁸Ac의 SA 값은 전체 토양에서 30.9-157(90.7 ± 32.7) Bq/kg 범위로 나타났으며 KBS 지역에서 가장 높고 MIC 지역에서 가장 낮은 값을 알 수 있었다. ⁴⁰K의 경우는 전체토양의 평균 SA 값이 639-1560(990 ± 203) Bq/kg 범위로 토양에 따른 차이는 세 핵종 중 제일 낮게 나타났다.

각 핵종 간의 비방사능 비(SAR) 값을 분석한 결과 ²²⁶Ra/²²⁸Ac은 0.343-6.11(0.865 ± 0.882), ²²⁶Ra/⁴⁰K는 0.0258-

0.759(0.0814 ± 0.1120), 그리고 ²²⁸Ac/⁴⁰K는 0.0383-0.178(0.0945 ± 0.0373)이었다. 앞의 SA 특성에서와 같이 KBS 지역의 ²²⁶Ra/²²⁸Ac와 ²²⁶Ra/⁴⁰K값이 다른 지역보다 높게 나타났으며 이지역의 높은 우라늄 농도에 기인하는 것으로 보인다. 전체적으로 볼 때 SA 값의 차이보다는 적지만, 기반암지역별로 다소 차이가 관찰 되었으나 ²²⁸Ac/⁴⁰K의 경우는 토양에 따른 차이가 거의 구별하기 힘들 정도로 낮아 기반암이나 토양의 특성은 거의 없는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 지식경제부 기본사업인 “지구환경변화 대응 지하수 확보 통합솔루션 기술 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

김종환, 박중권, 1985, 우라늄정밀조사연구, 한국동력자원연구소 연구보고서, 1985a, 1-76.
 김종환, 우라늄정밀조사연구, 1985, 한국동력자원연구소 연구보고서, 1985b, 77-122.
 김창규, 김용재, 김철수, 노병환, 박홍모, 이동명, 윤주용, 1999, 생활환경중 라돈조사를 위한 효율적 방법론에 관한 연구, 한국원자력안전기술원 연구보고서, KINS/GR-190.
 서범경, 이길용, 윤윤열, 이대원, 2001, 환경방사능의 감마선 분광분석을 위한 백그라운드 소멸, 분석과학, 14, 212-220.
 성익환, 조병욱, 김대업, 김건한, 박덕원, 박중권, 윤윤열, 이봉주, 이병대, 이종철, 임현철, 정강섭, 조수영, 홍영국, 장우석, 양재하, 2002, 지하수중 방사성물질 함유실태 조사(IV), 국립환경연구원.
 양정석, 안태연, 2008, 금강유역에서의 지하수위와 강수량 이동 평균의 상관관계 분석, The Journal of Engineering Geology, 18(1), 1-6.

- 윤윤열, 조수영, 이길용, 김용제, 2006, 대전지역별 지하수중 우라늄, 라돈 농도 준위 분포조사 연구, 방사선방어학회지, **31**, 25-30.
- 이길용, 윤윤열, 서범경, "라듐 및서범경 외, 2001, 라돈의 감마선 분광분석을 위한 알루미늄 용기의 제작 및 특성 연구", 분석과학, **13**(6), 743-750.
- 전효택, 이진수, 제현국, 이성은, 정성필, 이해연, 지세정, 홍영국, 윤욱, 김건한, 2006, 지질기원 우라늄, 라돈 위해성 평가 및 차폐 저감화 기술, 소방방재청, NEMA-04-NH-03.
- 지정만, 장윤호, 오재경, 이연희, 2000, 한반도 서해안 금강하구 연안퇴적물과 육상지질과의 지화학적 상관관계, *Econ. Environ. Geol.*, **33**, 447-467.
- Baeza, A., del Río, M., Miró, C., and Paniagua, J.M., 1992, Natural radioactivity in soils of the province of Cáceres (Spain), *Radiat. Prot. Dosim.*, **45**(1/4), 261-263.
- Jacobi, W., 1988, Lung cancer risk from environmental exposure to radon daughters. ICRP publication 50, *Radiat. Prot. Dosim.*, **24**(1-4), 19-23.
- Megumi, K., Oka, T., Yaskawa, K., and Sakanoue, M., 1982, Contents of natural radioactive nuclides in soil in relation to their surface area, *J. Geophys. Res.*, **87**, 10857-10860.
- Myrick, T.E., Berven, B.A., and Haywood, F.F., 1983, Determination of concentrations of selected radionuclides in surface soil in the U.S.", *Health Phys.*, **45**(3), 631-642.
- Porstendörfer, J. and Reineking, A., 1992, Indoor behaviour and characteristics of radon progeny, *Radiat. Prot. Dosim.*, **45**(1/4), 303-311.
- UNSCEAR, 1993, *Ionizing Radiation : Sources and Biological Effects*, 1993 report, pp. 33-90, United Nations, New York.