

## 부산지역 토양 내 천연방사성핵종 분석 및 유효선량을 평가

김정훈<sup>1</sup>, 김창수<sup>1</sup>, 임창선<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>부산가톨릭대학교 방사선학과, <sup>2</sup>건양대학교 방사선학과

### Evaluation of Radiation effective dose by Naturally Radionuclides in the Soil of Busan

Jung-Hoon Kim<sup>1</sup>, Chang-Soo Kim<sup>1</sup> and Chang-Seon Lim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Radiological Science, Catholic University of Pusan

<sup>2</sup>Department of Radiological Science, Konyang University

**요약** 본 논문에서는 대한민국의 제2의 도시인 부산지역의 일반토양을 대상으로 천연방사성핵종인 <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K을 분석하고 이를 바탕으로 일반토양에 의한 거주민의 방사선피폭을 평가하였다. 측정방법으로는 부산지역의 토양 내 천연 방사성핵종을 정밀 분석하기 위하여 16개의 행정구역을 중심으로 각 지역에서 세 개의 지점을 격자구조로 분리하였으며 이후 총 48개의 토양 시료를 2012년 7월부터 2013년 4월까지 채취하였다. 토양 중 <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th는 ICP-MS를 사용하여 방사능 농도를 분석하고, <sup>40</sup>K는 감마선 분석 검출기인 HpGe 검출기를 사용하여 방사능 농도를 분석하였다. 이 후 이를 바탕으로 동아시아 지역의 방사능 농도와 비교해 본 결과 <sup>238</sup>U 핵종은 우리나라가 평균보다 낮은 농도를 나타낸 반면 <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K핵종은 높은 값을 나타냈다. 이는 한국의 지질대가 천연방사성핵종이 많이 포함되어 있는 화강암지대가 많기 때문이라 판단된다.

**Abstract** The presence of <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K, which are naturally residing radionuclides, in the ordinary soil of Busan, the 2<sup>nd</sup> largest city in Korea, was analyzed and the residents' radiation exposure to ordinary soil was evaluated. Regarding the measurement methods, to conduct a detailed analysis of the naturally residing radionuclides in the soil of Busan, this study divided the 16 administrative districts into a lattice structure with 3 spots, and collected a total of 48 soil samples (July 2012 and April 2013). ICP-MS was used to analyze the concentration of the radioactivity of <sup>238</sup>U and <sup>232</sup>Th in the soil, and a HpGe detector, a gamma ray detector, was used to analyze the radioactivity of <sup>40</sup>K. The measurement values of this study were compared with the concentration of radioactivity of East Asian regions. The concentration of <sup>238</sup>U nuclides in Korea was lower than the mean, whereas the concentration of <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K nuclides was higher than the mean. The higher mean concentrations of <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K than the mean were attributed to the many granite areas that contain a great deal of naturally occurring radionuclides.

**Key Words** : Absorbed dose, Effective dose, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K

### 1. 서론

토양은 인간과 모든 동식물이 생명을 유지할 수 있는 바탕으로서 오래 전부터 여러 형태로 이용되어 온 무한한 가치를 지닌 자연이며 자원이다. 토양환경보전법에서는 토양오염 물질로 중금속, 유류(동 식물성제외), 유기인화합물, 페놀류, 시안화합물 등 16개 항목을 지정하고

있지만, 방사성핵종에 대한 오염기준은 세워져 있지 않다[1].

환경방사성 핵종은 인공방사성핵종과 천연방사성핵종으로 구분할 수 있다. 인공방사성핵종에는 스트론튬-90(<sup>90</sup>Sr), 세슘-137(<sup>137</sup>Cs)과 같은 반감기가 길고, 인체에 유해한 방사성물질이 있으며, 지각을 구성하는 흩이나 암석에 존재하는 우라늄(U)계열(<sup>238</sup>U, <sup>234</sup>U, <sup>230</sup>Th, <sup>226</sup>Ra,

\*Corresponding Author : Chang-Seon Lim(Konyang Univ.)

Tel: +82-10-3620-2812 email: [limso88@konyang.ac.kr](mailto:limso88@konyang.ac.kr)

Received February 18, 2014 Revised (1st March 20, 2014, 2nd March 27, 2014, 3rd April 10, 2014) Accepted June 12, 2014

$^{210}\text{Pb}$ 과  $^{210}\text{Po}$ , 토륨(Th)계열( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{Th}$ )의 천연방사성 핵종은 빗물이나 지하수를 통해 곡물류와 식수에 흡수된 후 섭취에 의해 인체 내로 들어가고, 공기 중의 방사성핵종은 호흡을 통하여 인체 내로 흡수되어 내부피폭의 주된 원인이 된다[2-6].

우라늄과 토륨은 부분용융과 마그마의 분별결정작용 시 액상의 잔류마그마로 선택적으로 농축되는 경향을 보이므로 상대적으로 Si 함량이 높은 암석에 더욱 많은 양이 부하된다. 따라서 결정질 암석의 경우 마그마 분화에 따라 분화 후기의 암석으로 갈수록 그 함량이 증가하고, 염기성 암석에는 거의 없으며, 화강암의 경우 2-12 ppm의 우라늄과 8-33 ppm의 토륨을 함유한다고 알려져 있다[7]. 지각구성 자연방사성핵종 중에서 방사성계열을 구성하지 않고 존재하는 장반감기 핵종인  $^{40}\text{K}$ 은 인체에 필요한 구성 원소인 K의 동위원소 중 0.01 %를 차지하고 있으며 다른 핵종과 달리 인체에 흡수되는 속도가 매우 빠르다. 또한 음식물 섭취를 통한 내부피폭의 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)에서도  $^{40}\text{K}$ 을 내부피폭의 주요핵종으로 기술하고 있다[8-10].

2000년도에 보고된 UNSCEAR에 따르면 사람이 음식물 섭취를 통해 받는 연간 평균내부피폭선량은  $290 \mu\text{Sv}$ 이며, 이 중에서  $^{40}\text{K}$ 에 의한 연간피폭이  $170 \mu\text{Sv}$ 이고, Th, U 계열핵종에 의한 연간피폭이  $120 \mu\text{Sv}$  정도이다. 섭취와 호흡을 통해 인체 내로 들어간 자연방사성핵종은 주로 간, 뼈 및 혈액 등에 흡착되어 짧게는 수십 일에서 길게는 수년간 인체에서 머물며, 방사선 장애를 유발하는 원인이 된다[8,11,12].

토양 중의 방사선은 대부분이 U와 Th에 기인하기 때문에 어떤 특정지역 거주민의 방사선피폭을 평가하기 위해서는 그 지역의 토양 내 지각 방사선을 분석하여, 방사성핵종의 준위를 파악해야 한다. 기존의 연구들은 발전소 부지 내 핵종 감시를 목적으로  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ 를 분석한 사례와 식품류 및 토양에서 Th 분석을 수행한 이력이 있으며[13-14], 최근 건축자재내 포함된 천연방사성핵종에 의한 실내공간의 방사선량 평가에 관한 연구가 일부 진행되고 있으나[15,16], 일반 토양 중  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ 을 분석한 사례는 미비한 실정이다. 이에 본 연구는 대한민국의 제2의 도시인 부산지역의 일반토양을 대상으로 천연방사성핵종인  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ 을 분석하고 이를

바탕으로 일반토양에 의한 거주민의 방사선피폭을 평가하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 토양시료 채취방법

부산지역의 토양 내 천연 방사성핵종 및 환경방사성 핵종을 정밀 분석하기 위하여 16개의 행정구역을 중심으로 각 지역에서 세 개의 지점을 격자구조로 구분하여 총 48개의 토양 시료를 2012년 7월부터 2013년 4월까지 채취하였다.

### 2.2 실험 방법

일반적으로 시료채취 구역은 지형 특성에 따라 정사각형이나 원을 기준으로 설정한다. 설정된 채취구역을 일정한 크기 또는 격자구조로 구분하고, 구분된 위치 중 3-10개 구역을 선택하여 시료를 채취한다. 채취한 시료를 고루 섞어 한 개의 샘플로 제작한다. 본 연구도 이와 동일한 방법으로 시료를 채취하였다. 토양시료 채취는 토양 단면이 노출된 곳에서 채취지역을  $1\text{m} \times 1\text{m}$ 로 선정하고, 깊이가 5 cm인 sampling ring을 이용하여 10여 곳을 임의대로 선택하여 시료를 채취하였다. 10개 지점 시료를 섞어서 평균토양을 만들고  $105^\circ\text{C}$  오븐에서 24시간 건조하여 수분을 증발시켜 시료를 준비하였다[17-20].

### 2.3 분석방법

환경방사성핵종은 HPGe(Hyper-pure germanium) 검출기를 사용하였는데, 본 연구에 사용된 HPGe 검출기는 Canberra에서 제작한 Coaxial Type 검출기(Model Gc3019)로 외부는 N-type Contact와 Axial Well은 P-type Contact로 구성되어 있다. 감마선 에너지 교정을 위한, 교정용 시료는 한국표준과학연구소에서 제작한 55 ml 원통 형태의 표준시료로서 10개의 혼합 감마선을 함유하고 있다.

감마방출 방사성핵종의 측정방법은 전처리가 완료된 시료를 고순도 게르마늄 검출기와 다중과도 분석기로 구성되어진 감마분광계에서 배경방사능(background) 및 시료를 80,000초 동안 계측하였다. 계측이 완료된 스펙트럼은 분석용 프로그램으로 에너지 분해능과 효율교정이 완료된 스펙트럼을 적용하여 시료 중의 감마방출 핵종인

<sup>40</sup>K을 분석하였다. 또한 천연방사성핵종 분석은 ASTM C-1000-05[21] 순서를 인용하여 전처리하였다. 이를 세부적으로 살펴보면 동일지역 토양을 5 g씩 비커에 3개로 따로 담아 무게를 측정하고, 회수를 파악을 위해 <sup>185</sup>Re 용액을 첨가한다. 비커에 염산과 질산을 첨가하여 교반시키면서 가열하여 토양시료를 산용액으로 용출시킨다. 토양과 산용액을 원심분리 한 다음 농축시킨다. 끝으로 불순물을 제거하기 위해 450 μm 필터로 여과한 후 Thermo Elemental사의 Thermo Electron Corporations X-series 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS, Inductively coupled plasma-mass spectrometer)를 사용하여 <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th를 분석하였다. <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th시료의 정량분석을 위해 한 개의 시료를 3개로 분리하여 분석한 다음 평균을 내어 한 지역의 환경방사성핵종의 결과 값으로 인용하였다.

### 2.4 흡수선량률 및 연간 실외 유효선량률평가

인체에 미치는 실외 유효선량률을 평가하기 위해 1 m 높이에서 <sup>232</sup>Th, <sup>238</sup>U, <sup>40</sup>K 으로부터의 흡수선량률을 먼저 평가하였다. 각 지역에서 평가한 비방사능 농도를 흡수선량률로 환산하기 위한 인자는 UNSCEAR 2000에서 제시한 Table 1과 같으며, 흡수선량 변환식은 몬테 칼로 방법인 식(1)을 이용하여서 변환하였다[11].

[Table 1] Absorbed dose conversion factors

Radionuclides	Conversion factor (nGy/hr per Bq/kg)
<sup>40</sup> K	0.0417
<sup>238</sup> U series	0.462
<sup>232</sup> Th series	0.604

$$\text{흡수선량률(nGy/hr)} = (0.0417C_k + 0.462C_u + 0.604C_{Th}) \quad (1)$$

$C_u$  : 토양중 <sup>238</sup>U 농도

$C_{Th}$  : 토양중 <sup>232</sup>Th 농도

$C_k$  : 토양중 <sup>40</sup>K 농도

흡수선량률을 바탕으로 연간 실외 유효선량률로 환산하게 되면, 천연방사성핵종으로부터 실외 거주민이 받는 방사성피폭을 평가할 수 있다. 이를 위해 UNSCEAR 1993에서 제시한 환산인자인 0.7 Sv/Gy를 적용하였으며, 실외인자로 0.2를 제시하였다. 이를 표현한 식은 (2)와 같다[11].

연간 실외 유효선량률 (mSv/yr)

$$= D(\text{nGy/hr}) \times 8.760\text{hr} \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 10^{-6} \quad (2)$$

D : 공기 중 흡수선량률

0.2 : 실외인자

0.7 : 흡수선량률을 유효선량률로 환산하는 인자

8.760 : 시간변환 (hr)

$10^{-6}$  : 단위변환

### 2.5 유효선량률 및 감마방사선에 의한 농축지수 평가

천연방사성핵종으로부터 인체에 미치는 유효선량률을 평가하기 위해서는 지표면에서 1 m 높이의 선량률을 평가해야 한다. UNSCEAR 2000 보고서에는 식(3)과 같이 토양 중 천연 방사성핵종 농도를 1 m 높이에서의 유효선량률을 제시하고 있으며, 이는 식 3과 같다[11].

$$\text{유효선량률} = (0.3C_u + 0.46C_{Th} + 0.029C_k)$$

$$[\text{nSv/hr}] \quad (3)$$

화강암은 건자재 및 피복자재로 널리 이용되고 있으며, 화강암 내 천연방사성핵종의 농도는 건물 내 거주하는 사람의 피폭선량을 결정짓는 중요한 요인으로 작용한다. 이를 평가하기 위해 동 보고서에서는 농축지수(Concentration Index)를 식(4)와 같이 제시하고 있다[11].

$$I = \frac{C_u}{300\text{Bq/kg}} + \frac{C_{Th}}{200\text{Bq/kg}} + \frac{C_k}{3000\text{Bq/kg}} \quad (4)$$

이때  $C_u$ ,  $C_k$ ,  $C_{Th}$  는 각각 건자재의 우라늄, 칼륨, 토륨의 비방사능(Bq/Kg)이다. 동 보고서에서 제시하는 농축지수 I는 연간 선량한도의 척도로서 I 값이 2보다 작은 경우 ( $I \ll 2$ ) 연간 선량이 0.3 mSv 정도이며, 6보다 작은 경우 연간 1 mSv와 상응하는 것으로 제시하고 있다. 그러므로 감마방사선의 농축지수는 건자재 및 피복자재의 심사도구로 활용될 수 있다. 따라서 농축지수가 6 이상을 넘지 않을 것을 UNSCEAR에서는 권고하고 있다. 이에 본 논문에서는 위의 식(3,4)를 이용하여 유효선량률과 농축지수를 평가하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 지역의 방사능 농도 비교결과

부산지역 16곳, 각 지역별 3개의 시료, 총 48곳의 천연 방사성핵종인  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  농도는 부록 Table 1과 같다. 이를 세부적으로 살펴보면,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  농도 범위는 각각 3.85~68.64, 7.22~116, 269~1424 Bq/kg이며, 평균 농도는 23.95, 46.26, 911.38 Bq/kg로 나타났다.

본 연구의 측정값을 바탕으로 동아시아 지역의 방사능 농도를 비교한 결과는 Table 2와 같다.

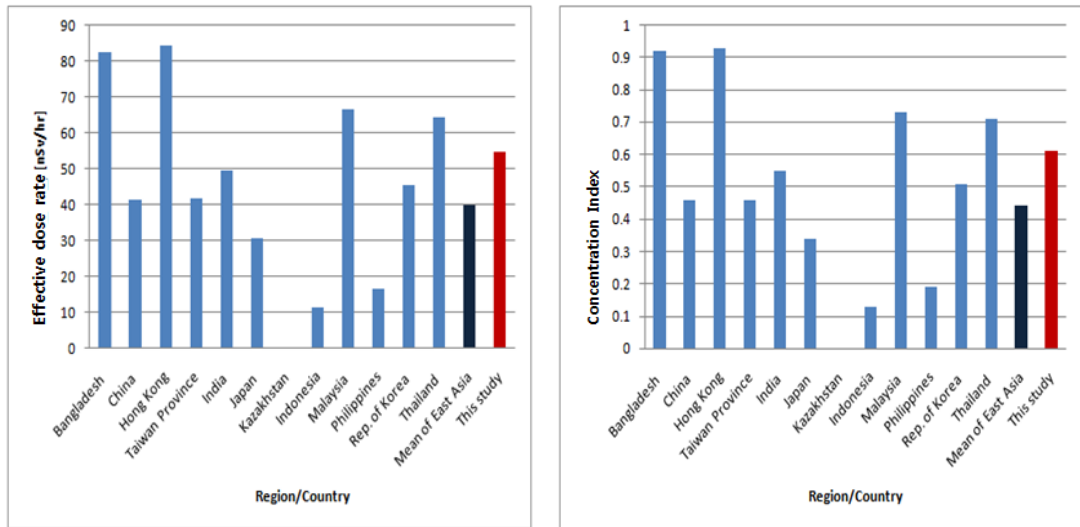
동아시아 각 지역의  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  평균 농도 범위를 살펴보면 각각 2~690, 1~360, 7~2168 Bq/kg의 분포를

나타낸다. 본 연구와 비교해 보았을 때  $^{238}\text{U}$  핵종은 우리나라가 평균보다 낮은

농도를 나타낸 반면  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  핵종은 높은 값을 나타냈다. 평균 농도 값이 높은 것은 한국의 지질대가 천연방사성핵종이 많이 포함되어 있는 화강암지대가 많기 때문인 것으로 판단된다.

#### 3.2 흡수선량을 및 연간 실외 유효선량을 평가 결과

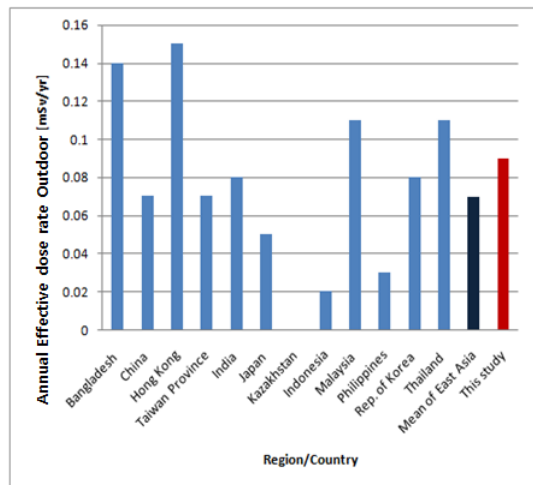
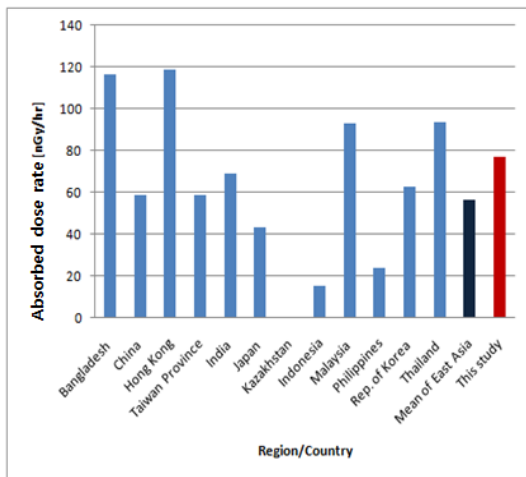
시료를 채취한 장소의 흡수선량률은 식(1)을 통해 산출하였으며, 연간 실외 유효선량률은 식(2)를 통해 산출하였다. 이를 바탕으로 흡수선량률과 연간 실외 유효선



[Fig 2] Comparison of the effective dose rate and concentration index in East Asia

[Table 2] Compared to the concentration radioactivity of East Asian regions [11]

Region/country	Concentration in soil (Bq/kg)					
	$^{40}\text{K}$		$^{238}\text{U}$		$^{232}\text{Th}$	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Bangladesh	1061	400 - 2168	52	18 - 95	79	28 - 167
China	440	9 - 1800	33	2 - 690	41	1 - 360
Hong Kong	530	80 - 1100	84	25 - 130	95	16 - 200
Taiwan Province	431	266 - 607	30	14 - 45	44	30 - 71
India	400	38 - 760	29	7 - 81	64	14 - 160
Japan	310	15 - 990	29	2 - 59	28	2 - 88
Kazakhstan	-	40 - 80	-	30 - 60	-	50 - 150
Indonesia	197	75 - 523	-	-	12.3	2 - 58
Malaysia	310	170 - 430	66	49 - 86	82	63 - 110
Philippines	212	33 - 585	14	2 - 53	14	1 - 63
Rep. of Korea	670	17 - 1500	-	-	57	5 - 204
Thailand	230	7 - 712	114	3 - 370	51	7 - 120
This study	911.38	269.71-1424.7	23.95	3.85-68.64	46.26	7.22-116.37



[Fig 1] Comparison of the absorbed dose and effective dose rate outdoor in East Asia

량을 평가한 결과는 부록 Table 2와 같다.

또한 흡수선량률은 시간당 77.01 nGy로 나타났으며, 이는 연간 0.67 mGy를 나타낸다. 그리고 연간 실외 유효선량률은 연간 0.09 mSv로 나타났다. 이 측정값을 바탕으로 동아시아 국가별 흡수선량률과 연간 실외 유효선량률을 비교해 본 결과 방글라데시나 홍콩, 그리고 말레이시아 지역은 부산지역의 평균보다 높았으나 타 국가들은 부산지역의 평균보다 낮음을 확인할 수 있었다[Fig. 1].

Table 2를 생성하기 위한 본 연구의 데이터인 부산지역 표본 추출은 신뢰구간 95%에서, 표준오차는 ± 0.38로 신뢰할만한 데이터를 통한 비교라 할 수 있다.

### 3.3 유효선량률 및 감마방사선에 의한 농축지수 평가결과

시료를 채취한 장소의 거주민의 유효선량률은 식(3)을 통해 산출하였으며, 농축지수는 식(4)를 통해 산출하였다. 이를 바탕으로 유효선량률과 농축지수를 평가한 결과는 부록 Table 2와 같다.

Table 2의 값을 토대로 산정한 우리나라의 유효선량률은 연간 0.48 mSv로 UNSCEAR에서 제시한 전 세계 지역의 평균선량인 0.07 mSv/yr 보다 약 6.8배 높게 나타났으며, 동아시아 전체 평균보다는 대략 1.3배 정도 높게 나타났다. 농축지수는 최대값 1.1 평균값 0.6으로 UNSCEAR에서 제시한 값인 6보다 낮아 연간 1 mSv보다 현저히 낮은 값으로 예상된다. 그림 2는 동아시아 지역과 부산지역의 유효선량률 및 농축지수를 평가한 결과

이며, 이 값 역시 방글라데시나 홍콩, 말레이시아 지역에 비해 낮게 나타났으나 다른 지역에 비해 높음을 알 수 있었다(Fig. 2).

방사능 농도와 유효선량률 및 농축지수를 동아시아 지역 나라들과 비교한 결과, 방글라데시, 홍콩을 제외하고, 타 지역 나라들에 비해 부산지역의 유효선량률 및 농축지수가 더 높게 분석되었다. 이는 앞에서 말한 것처럼 화강암 지역이 많이 분포되어 있는 우리나라의 특징 때문인 것으로 사료되며, 향후 천연방사성핵종에서 생성된 라돈가스로부터의 거주민의 방사선피폭을 줄이기 위한 방안을 강구해야 할 것이다.

## 4. 결 론

한국은 유라시아 대륙판 주변에 위치하며 중국대륙 및 일본 도호의 구조와 밀접하게 연관되어 있다. 또한 전체적으로 고생대 이전에 생성된 오래된 지층이며, 화성암 중 화강암이 넓게 분포되어 있다. 화강암은 마그마가 천천히 식으면서 결정구조가 크고 단단해지기 때문에 천연방사성핵종이 충분히 농축되어 다른 지질구조와 비교하였을 때, 방사능농도가 높게 나타난다[7,22,23].

본 연구에서 측정된 자료는 화강암이 많이 분포한 한국의 지질 중 인구 350만명이 거주하는 부산지역으로, 거주민의 보건 및 안전을 위해 토양 중 천연방사성핵종에 따른 유해성평가가 충분히 필요한 지역이다. 후쿠시마

이후 거주민의 피폭선량평가가 대두되고 있는 가운데 일반인의 연간 방사선피폭 중 천연방사성핵종이 85%를 차지하는 것임에도 불구하고 기존토양에 대한 유효성 평가는 지나치게 증급속에 한정되어 왔다. 또한 토양에 침착되어있는 방사성핵종에 대한 자료가 미비해 토양 중 방사성 핵종에 의한 거주민의 방사선피폭평가에 어려움이 있었다.

이에 본 연구는 부산이라는 지역적 한계는 있었으나 시료 수에 있어서 비교적 신뢰할 수 있는 수준이기에 향후 후속 연구를 통해 전 국토에 대한 자료를 확보한다면 계획적이고 체계적인 거주민의 방사선피폭 관리를 할 수 있을 것이다.

### Reference

- [1] K. C. Kang "Immobilization of radionuclides in soil using pillared clays and organic waste (fishbone)", Department of Environmental Engineering, Graduate School, Kyungpook National University, 2007.
- [2] El-Arabi A. M. "<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K concentrations in igneous rocks from eastern desert, Egypt and its radiological implications", Radiation measurement, 42, pp.94-100, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2006.06.008>
- [3] Dragovic S, Jankovic Lj, Onjia A and Bacis G "Distribution of primordial radionuclides in surface soils from serbia and montenegro", Radiation Measurements, 41, pp.611-616, 2006.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2006.03.007>
- [4] Florou H, Trabidou G, Nicolaou G "An assessment of the external radiological impact in areas of Greece with elevated natural radioactivity", Journal of Environmental Radioactivity, 93, pp.74-83, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2006.11.009>
- [5] Narayana Y, Somashkarappa HM, Radhakrishna AP, Balakrishna KM, Siddappa K "External gamma radiation dose rates on coastal Karnataka", Journal of radiological protection, 14, pp.257-264, 1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0952-4746/14/3/008>
- [6] Bolca M, Sac MM, Cokuysal B, Karali T and Ekdal E "Radioactivity in soils and various foodstuffs from the Gediz River Basin of Turkey", Radiation Measurements, 42, pp.263-270, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2006.12.001>
- [7] H. M. Lee, Ki-Hoon Moon, Jin-Seop Kim, Jung Keun Ahn, Hyun-Chul Kim "Distribution of Some Environmental Radionuclides in Rocks and Soils of Guemjeong-Gu Area in Busan", Korea, Jour. Petrol. Soc. Korea, 17(3), pp.179-190, 2008.
- [8] M. S. Choi "Concentrations and Internal Doses of Naturally Occurring Radioisotopes in Typical Korean food", Department of Physics, Graduate School, Kyung pook National University, 2008.
- [9] P. H. Moon "A study on human exposure and non-carcinogenic risk by uranium in some areas", Dept. of Environmental Health The Graduate School of Public Health Yonsei University, 2003.
- [10] M. K. Kwon "Removal of Radionuclides (Cobalt, Strontium, and Cesium) in Ground water using Permeable Reactive Barriers(PRBs)", Department of Environmental Engineering, Graduate School, Kyung pook National University, 2008.
- [11] UNSCEAR, 2000. Source and Effects of Ionizing Radiation, 2000.
- [12] P. B. Rodriguez, F. V. Tome, J. C. Lozano "Assessment of the vertical distribution of natural radionuclides in a mineralized uranium area in south-west spain", Chemosphere, 95, pp. 527-534, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.09.111>
- [13] X. J. Lin "Thorium Concentrations in Foodstuff and their Internal Dose, Department of Physics", Graduate School, Kyungpook National University, 2004.
- [14] Y. H. Choi "A Study on Cesium Radioisotope Measurement Method for Environmental Soil by Ammonium Molybdophosphate", Graduate School, Gyeongsang National University, 2010.
- [15] Y. H. Cho, C. J. Kim, J. Y. Yun, D. H. Cho and K. P. Kim "External exposure due to natural radionuclides in building materials in korean dwellings", Journal of radiation protection, 37(4), pp.181-190, 2012.
- [16] Y. H. Cho "External exposure due to natural radionuclides in building materials in korean dwellings", University of science and technology, 2013.
- [17] B. K. Seo, J. W. Sung, H. D. Kim, D. W. Lee "Distribution of Radioactivities of <sup>226,228</sup>Ra, <sup>137</sup>Cs and <sup>40</sup>K in soil in Busan Area, Journal of Radiation Protection, 26(4), pp.441-445, 2001.
- [18] J. H. Kim, A. R. Kim, S. J. Ko, J. H. Whang "Evaluation of Radiation Exposure to Residents by Naturally Residing Radionuclides in the Soil of Korea", Journal of radiological science and technology, 32(2), pp.441-445, 2009.
- [19] Environmental Radioactivity Survey Data in Korea, 2006,

KINS/ER-028, Vol. 38, 2006.

- [20] Environmental Radioactivity Survey Workers Education Data, KINS, 2006.
- [21] ASTM C-1000-05, Standard Test Method for Radiochemical Determination of Uranium Isotopes in Soil by Alpha Spectrometry
- [22] Y. H. Shin "Gravity anomaly and the distribution of granitoids in the southern part of the Korean Peninsula". Journal of the Geological Society of Korea. 42(p3), pp.383-396, 2006.
- [23] NCRP report No. 94, Exposure of the population in the United States and Canada from Natural Background Radiation, 1987.

**임 창 선(Chang-Seon Lim)**

[정회원]



- 1986년 2월 : 건국대학교 법학과 (법학사)
- 1991년 2월 : 건국대학교 대학원 법학과(법학석사)
- 1999년 2월 : 목포대학교 대학원 물리학과(이학석사)
- 2007년 2월 : 전남대학교 대학원 법학과(법학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 방사선학과 부교수

<관심분야>

방사선학, 의료법학

**김 정 훈(Jung-Hoon Kim)**

[정회원]



- 200년 8월 : 경원대학교 물리학과 (이학사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 원자력 공학과(공학석사)
- 2007년 2월 : 경희대학교 원자력 공학과(공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭 대학교 방사선학과 조교수

<관심분야>

방사선량 평가, 문항개발 및 분석

**김 창 수(Chang-Soo Kim)**

[정회원]



- 2001년 2월 : 동명대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2003년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과(공학석사)
- 2006년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과(공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 방사선학과 조교수

<관심분야>

의료영상신호처리, 의료정보표준, Computer Aided Detection (CAD), U-Healthcare

부록

[Table 1] Comparison of the concentration of naturally residing radionuclides [Unit: Bq/kg]

Region/Country	direction	<sup>232</sup> Th	<sup>238</sup> U	<sup>40</sup> K
1	35°12'57.17"N 128°58'57.75"E	104.62	49.51	973.71
2	35°11'31.70"N 128°54'56.81"E	116.37	54.44	1011.1
3	35°09'18.61"N 128°56'35.67"E	52.18	17.58	1424.7
4	35°10'36.98"N 128°58'38.28"E	105.51	68.64	919.6
5	35°09'20.66"N 128°59'17.76"E	60.59	36.63	940.1
6	35°07'43.39"N 128°58'26.62"E	85.68	29.34	1099.4
7	35°10'12.41"N 129°04'22.13"E	43.90	20.78	916.24
8	35°10'05.19"N 129°01'51.68"E	20.41	13.30	1053.0
9	35°09'11.05"N 129°03'48.43"E	49.69	23.97	881.60
10	35°08'10.44"N 129°03'40.48"E	45.53	22.25	759.28
11	35°07'37.98"N 129°02'16.23"E	18.65	13.32	901.73
12	35°07'17.08"N 129°02'00.65"E	52.35	27.66	1008.5
13	35°07'41.21"N 129°02'00.40"E	105.51	57.04	937.25
14	35°07'10.25"N 129°01'19.85"E	41.57	19.16	894.94
15	35°06'02.73"N 129°01'58.01"E	10.61	14.12	269.71
16	35°06'22.04"N 129°05'16.58"E	36.52	20.13	787.91
17	35°04'44.12"N 129°03'45.89"E	49.41	27.46	597.55
18	35°06'38.52"N 129°02'09.60"E	92.13	52.05	991.99
19	35°04'54.04"N 129°01'05.74"E	33.48	15.39	1151.2
20	35°05'50.26"N 129°01'25.06"E	23.65	17.20	741.57
21	35°07'22.50"N 129°01'10.69"E	14.91	6.33	974.49
22	35°12'39.07"N 129°04'27.52"E	19.86	9.58	974.49
23	35°12'15.08"N 129°02'19.67"E	32.29	23.05	1045.4
24	35°18'51.54"N 128°53'09.37"E	76.99	35.96	1158.8
25	35°12'15.70"N 129°02'05.91"E	49.86	24.18	1094.7
26	35°13'08.65"N 129°00'25.07"E	31.66	16.89	950.44
27	35°14'23.48"N 129°00'39.54"E	90.74	39.01	1334.0
28	35°07'10.40"N 128°57'41.24"E	76.38	38.94	1056.5
29	35°07'53.69"N 128°57'50.64"E	17.47	8.55	678.12
30	35°07'52.85"N 128°58'31.35"E	48.63	30.72	878.81
31	35°10'28.50"N 129°03'37.46"E	51.20	23.65	827.98
32	35°16'43.53"N 129°05'47.64"E	40.88	25.77	1078.9
33	35°17'21.44"N 128°52'12.38"E	81.07	42.23	996.42
34	35°10'43.28"N 128°50'13.49"E	8.36	4.05	493.5
35	35°14'43.28"N 129°13'51.65"E	7.22	3.85	515.37
36	35°14'22.75"N 129°09'28.16"E	23.64	13.04	778.71
37	35°11'44.92"N 129°04'36.04"E	63.36	30.03	887.98
38	35°11'03.60"N 129°05'57.10"E	23.55	14.67	836.99
39	35°10'32.65"N 129°04'50.39"E	25.08	12.24	901.27
40	35°12'42.56"N 129°00'17.83"E	23.68	10.88	1205.8
41	35°09'04.36"N 129°07'23.40"E	24.47	14.74	747.03
42	35°09'24.46"N 129°07'48.74"E	26.35	12.28	1008.2
43	35°20'16.24"N 129°12'26.04"E	70.26	31.88	969.06
44	35°11'13.89"N 129°00'16.61"E	14.35	9.17	556.24
45	35°21'08.67"N 129°03'57.72"E	52.63	27.00	1247.8
46	35°10'32.61"N 129°08'45.19"E	38.84	18.36	854.7
47	35°11'30.69"N 129°06'08.40"E	12.41	8.55	809.16
48	35°09'56.51"N 129°08'45.19"E	26.19	13.87	624.46
Means		46.26	23.95	911.38



[Table 2] Comparison of the Effective dose rate, Concentration Index, Absorbed dose, Effective dose rate Outdoor in Busan

Region/Country	Effective dose rate (nSv/hr)	Concentration Index	Absorbed dose in air (nGy/hr)	Annual Effective dose rate Outdoor (mSv/yr)
1	76.36	1.01	126.67	0.93
2	82.85	1.10	137.60	1.01
3	65.32	0.79	99.05	0.72
4	75.20	1.06	133.79	0.98
5	55.13	0.73	92.72	0.68
6	71.29	0.89	111.15	0.81
7	46.76	0.59	74.33	0.54
8	39.92	0.49	62.38	0.45
9	48.42	0.62	77.85	0.57
10	42.96	0.55	69.44	0.51
11	34.73	0.43	55.02	0.40
12	53.32	0.69	86.45	0.63
13	75.71	1.03	129.17	0.95
14	45.07	0.57	71.28	0.52
15	12.70	0.19	24.18	0.17
16	39.65	0.51	64.22	0.47
17	40.05	0.53	67.45	0.49
18	71.14	0.96	121.06	0.89
19	48.78	0.60	75.34	0.55
20	32.38	0.42	53.16	0.39
21	35.12	0.42	52.57	0.38
22	37.39	0.45	57.06	0.41
23	45.17	0.58	73.74	0.54
24	69.02	0.89	111.44	0.82
25	54.68	0.69	86.93	0.63
26	42.12	0.53	66.56	0.48
27	80.43	1.02	128.46	0.94
28	65.77	0.86	108.18	0.79
29	27.70	0.34	42.78	0.31
30	47.85	0.63	80.21	0.59
31	47.56	0.61	76.38	0.56
32	50.09	0.64	81.59	0.60
33	66.19	0.87	110.03	0.80
34	18.16	0.21	27.50	0.20
35	18.26	0.22	27.63	0.20
36	33.46	0.42	52.78	0.38
37	54.90	0.71	89.17	0.65
38	35.10	0.44	55.91	0.41
39	37.67	0.46	58.39	0.42
40	45.86	0.55	69.61	0.51
41	32.92	0.42	52.74	0.38
42	41.35	0.50	63.63	0.46
43	60.42	0.78	97.58	0.71
44	22.73	0.28	36.10	0.26
45	60.39	0.76	96.30	0.70
46	42.65	0.54	67.58	0.49
47	29.17	0.36	45.19	0.33
48	30.15	0.38	48.27	0.35
Means	47.71	0.61	77.01	0.56