

&lt;원저&gt;

## 인천지역 근린공원의 토양 방사능 농도

장준수<sup>1)</sup>·이상복<sup>2,3)</sup>·백가은<sup>1)</sup>·신희철<sup>1)</sup>·이경제<sup>1)</sup>·이도화<sup>1)</sup>·김성철<sup>1,3)</sup><sup>1)</sup>가천대학교 방사선학과·<sup>2)</sup>엘씨젠 기술연구소·<sup>3)</sup>가천대학교 일반대학원

### Soil Radioactivity in Urban Parks of Incheon

Jun-Su Jang<sup>1)</sup>·Sang-Bok Lee<sup>2,3)</sup>·Ga-Eun Baek<sup>1)</sup>·Hee-Cheol Shin<sup>1)</sup>·Gyeong-Jae Lee<sup>1)</sup>·Do-Hwa Lee<sup>1)</sup>·Sungchul Kim<sup>1,3)</sup><sup>1)</sup>Department of Radiological science, Gachon University<sup>2)</sup>Department of Institute of Technology, LC Gen Co., Ltd.<sup>3)</sup>Department of Radiological science, Gachon Graduation School

**Abstract** Most of research on environmental radioactivity is conducted in areas near nuclear power plants, so basic data about the distribution of environmental radioactivity in soil in other areas are insufficient. Therefore, in this study, divide into four categories by the land development characteristics of Incheon and the purpose of development, and confirm the stability of the Incheon through soil sample collection and gamma-ray analysis based on <sup>40</sup>K, <sup>137</sup>Cs and <sup>226</sup>Ra (<sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Bi). The spectrum obtained by measuring for 80,000 seconds by using the HPGe detector was analyzed by Genie 2000 program. Soil radioactivity concentrations in urban parks of Incheon area are generally within a safe range compared to the results of the Nuclear safety and security commission. However, as <sup>137</sup>Cs was detected in one park, which will require continuous monitoring.

**Key Words :** Soil Radioactivity, <sup>40</sup>K, <sup>137</sup>Cs, <sup>226</sup>Ra, HPGe

**중심 단어 :** 토양 방사능, <sup>40</sup>K, <sup>137</sup>Cs, <sup>226</sup>Ra, 고순도게르마늄검출기

## 1. 서론

지속적인 환경방사능에 대한 조사는 국민의 건강을 보호하고, 국토 환경을 보전하기 위해 중요하다[1]. 특히 환경방사능에 대한 조사 및 연구는 대부분 원자력 발전소 인근 지역에서만 이루어지고 있어, 이를 제외한 다른 지역의 토양 내 환경방사능 분포에 대한 기초자료가 부족한 실정이다. 현재 일본에서 후쿠시마 원전 오염수 방류 결정을 내리면서 국내 토양 및 해수에 관한 지속적인 감시와 기초자료 확보의 중요성은 더 커지고 있다[2].

원자력안전위원회에서 제공되는 토양의 환경방사능 자료는 <sup>40</sup>K과 <sup>137</sup>Cs의 방사능 값을 기준으로 토양의 오염도를 판단하고 있다[3]. <sup>40</sup>K은 대표적인 자연방사선 핵종이고,

<sup>137</sup>Cs은 대표적인 인공방사선 핵종이다. 자연방사선 핵종으로부터 방출되는 방사선의 경우, 피폭량은 소량이고 인체에 가해지는 피해 정도가 적어 장애의 정도가 쉽게 파악되지 않는다. 특히 <sup>40</sup>K은 토양뿐만 아니라 농·축·수산물과 해양 시료에도 존재하는 대표적인 동위원소로서 환경방사능에 의한 주민 위해도 평가 및 환경영향평가 등에 지표 핵종으로도 사용되고 있다. 그리고 측정 결과가 주변의 원자력 시설 운영 여부 및 토양의 깊이에 따라 달라지지 않는다는 특성이 있어 환경방사능 측정 핵종으로 많이 사용되고 있다. 또한, 위해성이 밝혀진 자연방사성 동위원소인 라듐으로부터 생성되는 라돈은 토양 모세관 또는 입자 기공을 통하여 대기 중으로 방출되어 미세먼지 등에 흡착된 것으로서 농도가 높은 지역에서 장기간 노출되면 폐암을 유발할

Corresponding author: Sung-Chul Kim, Department of Radiological Science, Gachon University, 191 Hambakmoe-ro, Yeonsu-gu, Incheon city, 21936, Republic of Korea / Tel: +82-32-820-4364 / E-mail: ksc@gachon.ac.kr

Received 17 January 2023; Revised 30 January 2023; Accepted 06 February 2023

Copyright ©2023 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

수 있다[4]. 특히 토양 중 라듐 농도가 높은 지역이 대기 중 라돈의 농도가 높으므로 공기 중 라돈농도 측정을 위해서는 토양의 라듐 농도 측정이 선행되어야 한다[5]. 인공방사선 핵종 중  $^{137}\text{Cs}$ 은 대표적인 핵분열 생성물이다. 반감기가 약 30년으로 길기 때문에 토양과 물에 흡수되면 장기간 잔류하게 되는데, 이에 농작물 등을 통해 인체에 흡수될 수 있는 위험도가 높다[6].  $^{137}\text{Cs}$ 이 체내에 축적되면 불임증, 전신마비, 골수암, 갑상샘암 등을 유발하기 때문에 그 수준을 확인하고 모니터링 하는 것이 매우 중요하다. 이런 방사선의 위험도 때문에 국가적으로 방사선에 대한 모니터링을 실시하고 있으며, 후쿠시마 원전사고 이후 일반인들의 생활방사선에 대한 관심이 특히 증가하고 있다[7]. 도심에 위치한 근린공원은 휴식 및 체력단련 등의 목적으로 어린이부터 노년층까지 다양한 연령층이 장시간 이용하고 있지만[8] 근린공원 토양에서의 방사능 분포에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 토지개발 특성이 다양한 인천지역의 근린공원 토양 감마방사능을 측정하였다. 자연방사성핵종과 인공방사성핵종의 지표핵종인  $^{40}\text{K}$ 과  $^{137}\text{Cs}$  그리고 위해성이 밝혀진 대표적인 자연방사성동위원소인 라듐을 측정하기 위해 그 자핵종인  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  핵종을 측정하여[9] 분석을 수행하고, 토지개발 특성에 따른 근린공원의 방사능농도 및 안정성에 대해 분석하여 보았다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 시료채취 및 전처리

본 연구에서는 인천광역시 내의 토지개발 특성에 따라 공단지역, 매립지역, 주거지역 그리고 해안지역 등 4개 구역으로 나누고, 각 구역 내의 근린공원 2곳에서 각각 2개 지점의 시료를 채취하여 각 구역별로 4개씩 총 16곳의 시료를 채취하였다. 각 지역의 좌표는 Table 1과 같으며, 시료 채취 시에는 공원의 중간 지점에서 대칭이 되는 지점을 기준으로 하여 15~30 cm 깊이의 심층토양을 5 kg씩 각각 채취하였다. 채취한 토양은 2 mm 체로 두 차례 걸러내고 72시간의 자연건조 후 Marinelli Beaker 1 L에 채웠다. 라듐은 불활성 기체이므로 직접 측정이 어렵고 알파선 붕괴 핵종으로 감마방사능 분석을 위해서는 그 자핵종인  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  측정값을 통해 라듐을 간접 추정하는 방법을 활용한다. 본 연구에서는 시료를 Marinelli Beaker에 충전 시킨 후 방사평형을 위해 가스의 방출을 막고자 파라핀 테이프로 밀봉한 후

252시간 동안 보관하여 감마방사능 분석을 수행하였다(Fig. 1).

**Table 1.** Coordinates of the spot where soil was collected

Region	Sampling location	Coordinates		
		North	East	
Industrial Complex area	Namdong park	A	37.40911°	126.69867°
		B	37.40877°	126.69896°
	Seungi park	C	37.42309°	126.70472°
		D	37.42356°	126.70536°
Landfill area	Central park	A	37.39100°	126.64327°
		B	37.39098°	126.64244°
	Sunrise park	C	37.38862°	126.65084°
		D	37.38787°	126.65207°
Residential area	Gulpo park	A	37.50914°	126.72978°
		B	37.50930°	126.72693°
	Scintree park	C	37.50703°	126.72358°
		D	37.50641°	126.72644°
Coastal area	Free park	A	37.47551°	126.62172°
		B	37.47481°	126.62269°
	Eulwangri park	C	37.44852°	126.37143°
		D	37.44687°	126.37250°



**Fig. 1.** Soil samples in sealed beakers

### 2. 방사능 농도 분석

감마방사능 분광분석을 위해 사용된 계측기는 3"× 3" NaI 검출기 대비 상대효율(relative efficiency) 30%, 에너지 분해능(full width half maximum, FWHM)은 Co-60 기준 1,332 keV에서 1.8 keV 이하의 성능을 가지고 있는 고순도게르마늄검출기(High Purity Germanium detector; HPGe, Canberra Inc.)를 사용하였다[9]. 시료의 방사능 측정 시 표준 선원의 방사능 농도와 비교하여 산출된 효율곡선의 핵종별 불확도를 ±5% 이내로 하였다. 시료 측정시간은 선행 연구사례를 참고하여 80,000 초로 하였고[11], 자

연방사성물질인  $^{40}\text{K}$ 과  $^{226}\text{Ra}$  (at equilibrium  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ )을 대상으로 하였다.  $^{226}\text{Ra}$  붕괴계열 중  $^{214}\text{Pb}$ 과  $^{214}\text{Bi}$  핵종은 자핵종 중 감마방사능 계측으로 뚜렷하게 나타나는 핵종으로 방사평형이 이루어진 상태에서는  $^{226}\text{Ra}$ 의 모핵종과  $^{214}\text{Pb}$ 과  $^{214}\text{Bi}$ 의 자핵종 방사능 양이 같아진다는 것을 이용한 간접 추정 원리로 분석을 수행하였다. 또한, 인공방사성 물질로는 오염도의 대표성을 띠는 핵종으로  $^{137}\text{Cs}$ 의 농도를 측정하였다.

감마방사능 측정 및 스펙트럼 분석은 Genie 2000 프로그램(Canberra, v3.1)을 이용하였다. Genie 2000 프로그램에서의 방사능 값을 산출하기 위한 분석 수식[12]은 아래와 같다.

$$A = \frac{N_t - N_b}{\varepsilon \times \gamma \times t_s \times m \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5} \quad \text{Eq. (1)}$$

여기서,  $A$ 는 방사능( $\text{Bq}/\text{kg}$ ),  $N_t$ 는 측정하고자 하는 피크의 순면적,  $N_b$ 는 백그라운드 피크의 순면적,  $\varepsilon$ 는 계수 효율,  $\gamma$ 는 핵종의 감마선 에너지의 방출 확률,  $t_s$ 는 시료의 측정 시간(sec),  $m$ 은 시료의 무게(kg),  $k_1$ 은 샘플링과 측정 사이에 경과된 시간에 대한 방사성 붕괴 보정 인자,  $k_2$ 는 측정 시간 중에 발생하는 방사성 붕괴 보정 인자,  $k_3$ 은 샘플의 자체흡수효과에 의한 보정 인자,  $k_4$ 은 우연합산(pile-up) 효과에 의한 보정 인자를 의미하고  $k_5$ 는 측정 핵종의 동시합성 효과에 의한 보정 인자를 나타낸다.

### 3. 미검출 핵종에 대한 방사능 최소검출가능농도 (minimum detectable activity, MDA)의 산출

최소검출가능농도(minimum detectable activity, MDA)는 장비의 한계치로서 측정단위 별 최소로 검출이 가능한 농도를 말한다. MDA는 계측의 통계적인 부분을 고려한 방사능 존재 여부를 나타낼 수 있고, 측정 후 MDA 미만의 수치로 측정되면 통상 방사능 값이 검출되지 않았다고 표현하기도 한다. 즉, MDA는 계측효율, 계측시간 및 시료의 량 등에 의해 달라질 수 있다[13]. 본 연구에서는 Currie에서 제안한 산출 수식을 이용하여 MDA를 산출하였다. Currie에 의한 수식은 식 2와 같다.

$$MDA = \frac{2.71 + 4.65 \times \sqrt{B}}{\varepsilon \times \gamma \times t_s \times m \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5} \quad \text{Eq. (2)}$$

여기서,  $B$ 는 백그라운드 불확도,  $\varepsilon$ 는 계수 효율,  $\gamma$ 는 핵종의 감마선 에너지의 방출 확률,  $t_s$ 는 시료의 측정 시간

(sec),  $m$ 은 시료의 무게(kg),  $k_1$ 은 샘플링과 측정 사이에 경과된 시간에 대한 방사성 붕괴 보정 인자,  $k_2$ 는 측정 시간 중에 발생하는 방사성 붕괴 보정 인자,  $k_3$ 은 샘플의 자체흡수효과에 의한 보정 인자,  $k_4$ 은 우연합산(pile-up) 효과에 의한 보정 인자,  $k_5$ 는 측정 핵종의 동시합성 효과에 의한 보정 인자를 나타낸다.

### 4. 통계 분석

토지구역 특성에 따른 방사능농도의 차이 및 최소검출가능농도의 유의성 검정은 통계프로그램으로 Jamovi Desktop Ver. 2.3.21을 사용하여, 4개 토지구역 특성별 방사능 농도를 반복측정분산분석의 비모수통계인 Friedman test로 분석하였고, 각각의 토지구역 특성별 방사능 농도를 짝비교(durbin conover)를 통하여 알아보았다. 모든 통계의 유의성은  $P(0.05)$ 를 기준으로 하였다.

## III. 결 과

### 1. 토지개발 특성별 근린공원의 방사능 농도분석

인천지역 근린공원 전체의  $^{40}\text{K}$ 의 방사능 농도는 평균  $940.60 \pm 170.92 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 이었다. 토지개발 특성별로는 공단지역에서는 C지점(승기공원)에서  $846.76 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 로 가장 낮았고, B지점(남동근린공원)에서  $971.61 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 로 가장 높게 나타났다. 매립지역은 평균  $839.78 \pm 34.93 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 로 B지점(센터럴공원)에서  $799.66 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ , D지점(해돋이공원)에서  $882.17 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 로 분포를 보였다. 주거지역에서는 B지점(굴포공원)에서  $748.18 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 이 나왔으며, D지점(신트리공원)에서  $1275.89 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 으로 평균  $1030.91 \pm 274.04 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 로 전체 검사 지역에서 가장 높게 나타났다. 해안지역은 A지점(자유공원)에서  $713.87 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 이 D지점(을왕리공원)에서  $1137.78 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 이 측정되었다(Table 2). 각 토지구역 특성별 4 그룹 간에 방사능 농도에 대하여 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 지역 각각의 짝비교 에서도 통계적인 유의성은 없었다.

인천지역 근린공원 전체의  $^{137}\text{Cs}$ 의 방사능 농도는  $0.624 \pm 1.22 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ 이었다. 토지개발 특성에 따라서는 공단지역에서 평균  $0.33 \pm 0.14 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ (최소  $0.31 \sim$  최대  $0.52 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ )이 나왔다. 매립지역에서는 평균  $0.12 \pm 0.14 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ (최소  $0 \sim 0.27 \text{ Bq}/\text{kg-dry}$ )이 나와서 4 그룹 중에서 가장 낮게 나왔다. 주거지역에서는 평균  $0.17 \pm 0.21$

Bq/kg-dry(최소 0.0~최대 0.44 Bq/kg-dry)로 나타났다. 해안지역은 평균  $1.88 \pm 2.13$  Bq/kg-dry( $0.10 \sim 4.45$  Bq/kg-dry)로 나타나 4 토지구역 중에서 가장 높게 나타났다(Table 3). 토지구역 특성별 4 구역의  $^{137}\text{Cs}$ 의 방사능 농도 값은 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 지역 각 각의 짝비교 에서도 유의한 차이가 없었다.

## 2. 미검출 핵종에 대한 MDA 산출

$^{226}\text{Ra}$  측정을 위해 자핵종인  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  핵종을 측정된 결과는, 모든 지점에 대해 MDA 미만의 수치로 나타나 방사능에 대한 위험도가 매우 미미한 것으로 나타났다.  $^{214}\text{Pb}$ 의 MDA 값은 공단지역이  $13.64 \pm 13.37$  Bq/kg-dry, 주거지역이  $71.19 \pm 20.48$  Bq/kg-dry으로 나타났다.  $^{214}\text{Bi}$ 의 MDA

**Table 2.**  $^{40}\text{K}$  radioactivity concentration in urban parks according to land development characteristics (unit : Bq/kg-dry)

Region	Industrial Complex area	Landfill area	Residential area	Coastal area	P
A	901.26	827.45	844.07	713.87	0.552
B	971.61	799.66	748.18	953.51	
C	846.76	849.83	1255.5	1124.10	
D	918.06	882.17	1275.89	1137.78	
Mean±SD	909.42±51.43	839.78±34.93	1030.91±274.04	982.32±197.62	

**Table 3.**  $^{137}\text{Cs}$  radioactivity concentration in urban parks according to land development characteristics (unit : Bq/kg-dry)

Region	Industrial Complex area	Landfill area	Residential area	Coastal area	P
A	0.31	0.19	0.0	4.45	0.270
B	0.17	0.0	0.44	2.83	
C	0.31	0.0	0.0	0.10	
D	0.52	0.27	0.24	0.15	
Mean±SD	0.33±0.14	0.12±0.14	0.17±0.21	1.88±2.13	

**Table 4.** MDA calculated value of  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  (unit : Bq/kg-dry)

Region	Name	$^{214}\text{Pb}$	$^{214}\text{Bi}$
Industrial Complex area	A	<26.52	<2.87
	B	<23.68	<25.54
	C	<0.31	<0.33
	D	<4.04	<1.02
	Mean±SD	13.64±13.37	7.44±12.11
Landfill area	A	<29.03	<31.94
	B	<28.00	<31.11
	C	<44.30	<48.23
	D	<39.34	<41.53
	Mean±SD	35.17±7.96	38.20±8.19
Residential area	A	<49.86	<54.98
	B	<58.00	<60.43
	C	<92.57	<100.26
	D	<84.33	<90.51
	Mean±SD	71.19±20.48	76.55±22.23
Coastal area	A	<24.62	<26.61
	B	<26.02	<27.91
	C	<12.94	<14.69
	D	<9.78	<11.44
	Mean±SD	18.34±8.18	20.16±8.32

값은 공단지역이  $7.44 \pm 12.11$  Bq/kg-dry, 주거지역이  $76.55 \pm 22.23$  Bq/kg-dry로 나타났다(Table 4).

#### IV. 고 찰

방사선에 대한 대국민적 관심도는 후쿠시마 원전사고 이후 꾸준히 증가하고 있다. 또한 최근에는 노원구 아스팔트 방사능 검출 문제와 음이온 매트리스 검출 사건 이후로는 생활방사능에도 관심이 많아 생활주변방사선 안전관리법도 지속적으로 개정되고 있는 것이 현실이다[14,15]. 올해는 일본 원자력규제위원회(NRA)가 후쿠시마 원전사고에 의한 오염수를 해양에 방류할 계획을 확정함에 따라 한국 해협에 후쿠시마 오염수가 침투되는 것이 불가피해짐에 따라 방사능에 대한 관심도는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 이에 본 연구는 우리나라에서 인구가 세 번째로 많은 인천지역의 근린공원을 대상으로 토양에 대해 환경방사능에 대해 대표적인 방사성핵종인  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  및  $^{226}\text{Ra}$  (at equilibrium  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ )를 통해 분석함으로써 우리 주변에 영향을 미치는 방사능에 대한 영향이 얼마만큼 있는지에 대해 알아보았다.

$^{40}\text{K}$ 의 방사능 농도는 이상원[16]의 연구와 비슷하였고,  $^{137}\text{Cs}$ 의 방사능 농도는 많은 값은 아니지만 이번 연구에서 더 낮게 나왔다. 이는 토양을 채취한 위치에 따른 차이로 보인다. 토지개발 특성에 따른 방사능 농도는  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  모두에서 그룹 간에 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않아서 토지개발 특성에 따른 방사능 농도는 영향이 없는 것으로 나타났다.  $^{40}\text{K}$ 의 방사능 농도는 주거지역에 위치한 근린공원에서 가장 높게 나타났고,  $^{137}\text{Cs}$ 의 방사능 농도는 해안지역에 위치한 곳에서 가장 높았지만, 2021년 한국원자력안전기술원(korea institute of nuclear safety, KINS)에서 환경방사능 분석을 위해 실시한 전국 환경방사능 조사[17]의 인천지역 토양 방사능과 비교하였을 때,  $^{137}\text{Cs}$  농도는 KINS의 측정값인 MDA가 1.82 Bq/kg-dry 이하와 비슷하게 측정되었으나, 자유공원의 경우에는  $^{137}\text{Cs}$  농도가 소량 검출되었기 때문에 이에 대한 지속적인 방사능 모니터링 및 관리가 필요하다는 사실을 알 수 있었다. 자연방사성핵종인  $^{40}\text{K}$ 의 경우는 KINS 측정값인 인천지역  $827 \pm 12$  Bq/kg-dry, 전국평균  $740.13 \pm 168.79$  Bq/kg-dry 보다 높은 평균  $940.60 \pm 170.92$  Bq/kg-dry이 측정되어 지속적인 모니터링을 할 필요성이 있었다.

$^{226}\text{Ra}$  (at equilibrium  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ )의 측정 결과는 모든 곳에서 안전한 수준으로 검출되거나 MDA 미만의 수치로 검출되어 서범경 등[5]의 연구와 비슷한 결과를 보였다.  $^{226}\text{Ra}$  측정을 위해 자핵종인  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  핵종을 측정하는 결과는,

모든 지점에 대해 MDA 미만의 수치로 나타나서 전형진 등 [9]의 연구보다 낮게 나타났으며, 인천지역 근린공원에서는  $^{226}\text{Ra}$ 에 대해 안전하다는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 제한점으로는 토지개발 특성에 따른 각 근린공원에서 토양 시료 채취지점이 2개씩으로 제한적이었으며, 또한 토양의 구성 성분분석이 없이 방사능 농도만을 단순 비교한 점이다. 추후 더 많은 지점의 토양 시료와 토양의 구성성분에 따른 비교분석에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### V. 결 론

본 연구에서는 인천광역시 내의 지역을 토지개발 특성에 따라 공단지역, 매립지역, 주거지역 그리고 해안지역으로 나누고, 각 기준 지역 내의 근린공원 2곳을 선정하여 HPGe 검출기를 이용하여 총 8개의 공원의 16지점에서 토양 방사능을 측정하고, 그 값을 비교하여 위해도를 평가하였다. 분석 결과, 인공방사성핵종인  $^{137}\text{Cs}$ 은 검출되지 않거나 극미량이 검출되었으며, 방사능 값은 자유공원에서 상대적으로 높게 검출되었다. 자연방사성핵종의 경우  $^{40}\text{K}$ 은 전국 평균보다 조금 높지만 안전한 수치로 검출되었고,  $^{226}\text{Ra}$  (at equilibrium  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ )의 경우에는 MDA 미만의 수치로 검출되어 영향이 미미한 것으로 나타났다. 측정 결과에 대한 위해성을 평가하기 위해 KINS의 2021년 전국 환경방사능 조사 결과와 비교하였을 때에도 비슷한 결과를 나타내었다. 토양 시료를 이용한 방사능을 측정함으로써 인천지역 근린공원의 토양방사능 농도가 대체로 안전한 범위에 있다는 것을 확인하였지만, 일개 공원에서  $^{137}\text{Cs}$ 이 검출되어 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 보이며, 향후 방사능에 대한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### REFERENCES

- [1] Lee MH, Lee CW, Hong KH, Choi YH, Kim SB, Park DW, et al, A Study on Distribution of Cs-137 and Sr-90 in Soils around Taejon Region, Journal of Radiation Protection and Research, 1995;20(2): 123-8.
- [2] Park SW, Shin JW, Song HJ, Yeo HY, Kwak JG, Analysis of the Stability of the Forest Area in Jeollanamdo and Jeollabukdo through Environmental Radioactivity Measurement, Journal of Radiation

- Industry. 2018;12(3):183–92.
- [3] Kim JH, Kim AR, Ko SJ, Whang JH. Evaluation of Radiation Exposure to Residents by Naturally Residing Radionuclides in the Soil of Korea. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2009; 32(2):219–24.
- [4] Kang SA, Lee SS, Choi GR, Lee JH. Study on the Measurement of Radon concentrations in soil samples using  $\gamma$ -spectrometer. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2013;7(1):31–6.
- [5] Seo BK, Sung JW, Kim HD, Lee DW. Distribution of Radioactivities of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  in Soil in Busan Area. *Korean Association For Radiation Protection*. 2001;26(4):441–5.
- [6] Song JY, Kim W, Maeng SJ, Lee SH. Distributions of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the Soil of Uljin, South Korea. *Journal of Radiation Protection and Research*. 2016;41(1):49–55.
- [7] Park SJ. ‘Child Save’, a cafe for mothers who even carry a radioactivity meter to monitor them. *NOCUT NEWS* [Internet]. 2011.11.3. [cited 2023 Jan 27]. Available from: <https://www.nocutnews.co.kr/news/4223264?c1=182&c2=183>
- [8] Kim SJ, Lee DS, Yoon CY. A Study on the need Facilities according to the Usual Characteristics of Urban Park. *Journal of the Korean Institute of Rural Architecture*. 2006;8(23):27–35.
- [9] Jeon HJ, Lee CM, Kang DR, Lee JS, Park TH, Hong HJ, et al. A study on the modeling of the rate of radon exhalation from soil. *Journal of Odor and Indoor Environment*. 2018;17(2):132–40.
- [10] Lee SR, Lee SB, Kim JY, Kim JM, Bang YJ, Lee DS, et al. Analysis of Radioactivity Concentrations in Cigarette Smoke and Tobacco Risk Assessment. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2021;44(5):489–94.
- [11] Hiroshi T, Ikuyo I, Sadaaki M, Kimio I, Hideo S. Total Diet Study to Assess Radioactive Cs and  $^{40}\text{K}$  Levels in the Japanese Population before and after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(21):8131.
- [12] Genie 2000 Spectroscopy Software Customization Tool ver.3.1, Genie is a trademark of Canberra Industries, Inc.; 2004. [cited 2023 Jan 27]. Available from: <https://www3.nd.edu/~wzech/Genie%202000%20Operations%20Manual.pdf>
- [13] Song BC, Han SS, Kim YB, Jee KY. Quality Control of Radiation Counting Systems and Measurement of Minimum Detectable Activity. *Proceeding of the Korean Radioactive Waste Society*. 2004;2(1):419–24.
- [14] Yoo DH. Development of effective dose evaluation technique from the external exposure by using Monte Carlo simulation and mesh-type reference computational phantom. Graduate School, Seoul: Yonsei University; 2020.
- [15] Jo JW, Lee SB, Nam JH, Noh EJ, Beak HW, Lee YJ, et al. Evaluation of Radioactive Substance and Measurement of Harmfulness in Drinking Water. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2021;44(3):247–52.
- [16] Lee SW. Gamma nuclide analysis on water and soil in mineral spring in Incheon. Graduate School, Incheon: Gachon University; 2019.
- [17] Nuclear Safety and Security Commission. Environmental Radioactivity Survey in Korea 2021. KINS/ER-028, vol.53. [cited 2023 Jan 27]. Available from: <https://nssc.nssc.go.kr/down.do?atchmfnf1Sn=49891&menuSn=776&nsicDtaSeCode=CMN02506&nsicDtaSn=2140>

구분	성명	소속	직위
제1저자	장준수	가천대학교	학부생
제1저자	이상복	가천대학교 대학원/엘씨젠	박사 대학원생/연구소장
공동저자	백가은	가천대학교	학부생
공동저자	신희철	가천대학교	학부생
공동저자	이경재	가천대학교	학부생
공동저자	이도화	가천대학교	학부생
교신저자	김성철	가천대학교	정교수