

Measurement using the Charcoal Canister of the Indoor Radon Concentration in Classroom and Laboratory

Dae Cheol Kweon*

Department of Radiological Science, College of Health, Shinhan University

Received: October 03, 2024. Revised: November 22, 2024. Accepted: November 30, 2024.

ABSTRACT

This study aims to measure the level of indoor radon concentration in classrooms where college students take lectures and participate in activities, and use it as basic data for indoor radon management measures in school classrooms. To measure radon concentration, the study was conducted in a classroom at a university located in Gyeonggi-do, depending on the university classroom operating environment. Radon was measured using the RadoMon Kit (Betterlife Co., Ltd., Suwon, Korea). To measure radon concentration, the effective dose model presented in the United Nations Scientific Committee on the Effects of Radiation Effects Report 2000 (UNSCEAR (2000)) was used. The effective dose was evaluated by applying a total of 1,200 hours of annual living time indoors in the classroom. The radon concentration in the classroom and laboratory was measured, the annual effective dose was evaluated, and the effective dose was converted by entering the radon concentration and factors using the personal radon dosimetry program provided by WISE. The radon concentration using the charcoal canister was 80.29 Bq/m^3 in the classroom, and 90.28 Bq/m^3 in the laboratory, indicating a high radon concentration in the laboratory. The annual effective dose and cumulative dose of radon concentration were measured at 1.21 mSv in the classroom and 1.36 mSv in the laboratory, and the dose rate was $1.008 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ in the classroom and $1.134 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ in the laboratory. The indoor radon concentration was measured at a level lower than the indoor radon concentration management standard, but from the viewpoint of optimization of protection, efforts should be made to keep the radon concentration as low as reasonably achievable and reduce the degree of health hazard, and continuous management is necessary.

Keywords: Charcoal canister, Classroom, Effective dose, Laboratory, Radon

I. INTRODUCTION

라돈 (^{222}Rn)은 세계보건기구(WHO)에서 1급 발암 물질로 지정하여 학생들의 건강을 위협할 수 있으며 학교 교실의 라돈 농도를 측정하여 건강을 관리할 필요성이 있다. 세계보건기구 (WHO)는 라돈에 의해 폐암을 유발하는 물질로 정의하고 있다. 한국에서는 라돈 농도를 관리하기 위해 기준치를 148 Bq/m^3 로 하여 관리를 하고 있다. 또한, 학교보건법에서는 학교와 유치원은 라돈 기준치 148 Bq/m^3 이 넘을 때는 2차 측정을 하고, 기준치의 4배인 600 Bq/m^3 이상일 경우 저감 설비를 설치하도록 하고

있다. 이러한 라돈은 지각을 구성하는 암석 및 토양 중에서 천연에 존재하는 우라늄 (^{238}U)과 토륨 (^{232}Th)의 방사성 붕괴로 생성된 라듐 (^{226}Ra)이 붕괴했을 때에 생성되는 방사성물질의 가스 상태의 물질이다. 이러한 라돈은 지구상 어디서나 존재하는 자연 방사능 물질이다. 화학적으로 극히 안정한 상태로 다른 물질과 화학적으로 반응하지 않으며 3.8일의 반감기를 지닌 채 토양에서 공기 중으로 방출되므로 라돈 딸핵종에 의한 일반인의 자연방사선 피폭 기여도가 높다^[1]. 라돈은 방사성물질이며 라돈에 의한 노출은 방사선량과 관계가 있다. 라돈에 대한 건강위험은 라돈 농도와 라돈 선량으로 나타

* Corresponding Author: Dae Cheol Kweon E-mail: dckweon@shinhan.ac.kr

Tel: +82-31-870-3411

내며, 라돈 농도의 단위는 Bq/m^3 를 사용하고 라돈 선량은 유효선량으로 표시한다^[2].

기존의 라돈 연구는 가스 형태의 라돈 유입은 확산이동 및 압력과 온도에 따른 대류 과정으로 건축물의 바닥이나 갈라진 벽의 균열부위를 통해 유입되고 있으며 1층 이하의 거주공간에서 생활하는 사람들이 상대적으로 라돈 노출에 취약하다^[3]. 영·유아·청소년 및 노약자와 같은 취약계층은 경제연령층보다 더 많은 시간을 실내에서 생활하게 된다^[4]. 실내에서는 다른 유해인자와 상가작용을 통해 개인의 건강에 영향을 미치므로 건강을 관리하기 위해 금연을 하고 자주 실내를 환기하여 라돈 수준을 저감하는 방법이 라돈으로 인한 위해성을 낮추는 중요한 방법이다. 유아 및 청소년은 성인에 비해 방사선에 취약하고 민감하여 실내의 라돈 농도에 주의와 관심을 가지고 라돈의 저감을 위해 적극적인 관리를 해야 한다^[3].

라돈의 측정방법은 알파비적검출법과 연속측정법이 있으며, 연속측정방법의 경우에는 현재는 3개월이 소요되는 알파트랙 측정을 원칙으로 하고 있다^[5]. charcoal 캐니스터(charcoal canister)를 이용한 라돈 측정방법은 미국 환경청 (US EPA)에서 제안하는 방법으로 현재 미국에서 많이 사용되고 있으며, 구입 가격이 저렴하고, 재사용이 가능하여 단시간의 대규모 조사에 적합한 charcoal 캐니스터는 경제적이고 외부전원이 필요하지 않으며 취급과 설치가 간편하고 운반이 용이한 장점을 가지고 있다^[6]. 그러나 측정기간 12~24시간 사이에서 라돈 농도의 편향이 심하고, 측정기간 동안에는 영향을 미칠 수 있는 조건에 대한 정보를 파악할 수 없으며, 온도, 상대습도, 공기흐름에 민감하다는 단점이 있다^[7]. 이번 연구에서는 charcoal 캐니스터를 이용하여 라돈 농도를 측정하였다.

라돈에 의한 노출의 위험성에 대해 초등학교에서 어린이를 대상으로 국외에서 연구가 이루어지고 있고^[8], 국내에서도 초등학교의 라돈에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며^[9], 국내에서는 수도권 중심으로 연구가 주를 이루었다^[10]. 우리나라 학교 환경에서 라돈 측정 및 연구가 부족하고^[11], 학교 교실의 실내환경에 영향을 미치는 라돈에 대한

연구는 미미한 실정이다 [12]. 또한, 대학에서 강의실을 대상으로 실내 라돈 농도를 측정하고 실내에서 라돈 흡입에 의한 생애유효선량 및 피폭 위험도를 예측하여 영향을 평가하여 보고하였다^[13].

본 연구는 청소년 대학생들이 실내에서 강의를 수강하고 활동하는 교실에서 겨울철에 실내 라돈 농도의 수준을 측정하여 라돈에 대한 학교 교실의 실내 라돈 농도의 관리 방안을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. Charcoal Canister

라돈 측정에 사용한 charcoal 캐니스터는 수동형 라돈 측정기로 전원이 필요없고, 일정기간동안 측정 장소에 설치한 후 회수하여 농도를 분석하는 장치: 감마질량분석기로 분석한다. 이러한 라돈 측정은 charcoal 캐니스터의 고순도 활성탄을 사용하며, 흡착율이 뛰어나 저농도의 현장에서도 사용이 가능하다. 측정시간은 48시간의 단기측정으로 라돈 농도를 분석하며 고순도 활성탄 사용으로 저농도 측정 탁월하다. 일회용 원터치 방식으로 손쉽게 측정 개시하고 재활용은 불가하다. 구조는 간단한 밀폐 뚜껑방식으로 측정 완료 후 시료 관리가 편리하다. 이중 시료관리를 위해 알루미늄 회수 지퍼백 사용하고, 펠트지 사용으로 고순도 활성탄 빠짐이 없어, 측정용 스탠드 사용으로 미국환경보호청 (EPA) 측정기준 충족하고 있다.

2. 라돈 농도 측정

라돈 농도 측정을 위해 대학 교실 운영 환경에 따른 실내 라돈 농도는 학사 일정이 운영되는 2023년 12월에 경기도 소재 대학의 교실 및 실험실에서 측정하였다. 라돈의 측정 장소는 지질학적 특성, 건축 구조물의 특성, 학생의 생활 습관, 공간적 환경 등에 따른 실내 라돈 농도의 의존성을 최소화하기 위해 교실과 실험실의 천장과 벽면에서 30 cm 이상 떨어진 곳에 설치하고 주변에 전자파나 정전기가 발생하는 전자기계 및 냉난방기 등이 없는 곳을 선정하였다. 측정 장소는 2002년에 철근 콘크리트 구

조로 건축된 건물 4층에 위치한 교실과 실험실로 하였다. 교실과 실험실의 면적은 83.7 m² 이었고, 내부는 출입문, 창문, 천장형 에어컨의 환기 시설이 구비되어 있었다.

라돈 측정은 RadoMon Kit (Betterlife Co., Ltd., Suwon, Korea)를 이용하여 측정하였다. Fig. 1과 같다. 제품은 활성탄 등급이 Rn-3000 이상 이었고, 용기는 밀폐용 스틸캔이었다. 밀폐방식은 원터치 알루미늄 실링방식이다. 회수용포장은 밀폐용 폴리에틸렌 뚜껑과 알루미늄 지퍼백 2중 포장으로 되어있다. 라돈 측정용 스탠드를 이용하였으며, 라돈 농도를 측정하기 위해 노출된 측정시간은 48시간으로 2회 반복측정 하였다. 라돈가스가 활성탄에 흡착하도록 한 후에 차콜 캐니스터를 밀봉하고 수거하였고, 라돈 농도의 측정은 Yonsei University Radiation Radon Center에 의뢰하여 보고서를 수령하였다.

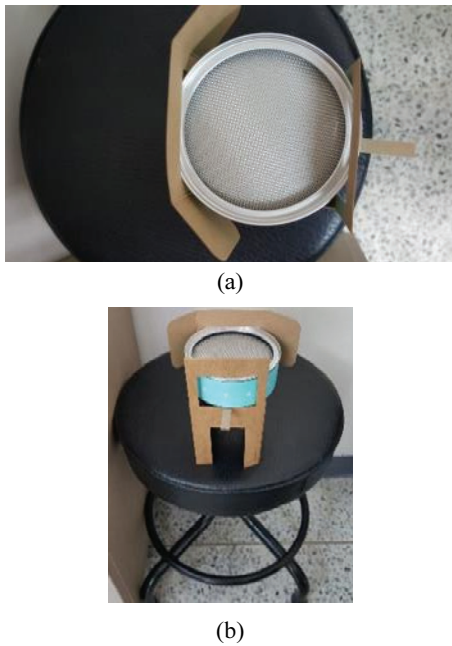


Fig. 1. Measurement for radon concentration of opened the charcoal canister (a) and the charcoal canister (b).

3. 라돈 농도에 대한 유효선량 평가

연구에서는 교실 및 실험실의 실내 라돈 농도를 측정하기 위해 방사선 영향에 대한 유엔방사선영향과학위원회 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR) 리포

트 2000에서 제시한 유효선량 모델을 사용하였다^[14]. 라돈의 유효선량은 국제방사선방호위원회 (ICRP)와 유엔방사선영향과학위원회가 권고한 방법을 적용하여 산출하였다. 유효선량 평가에서 실내 평형상수 (equilibrium factor, F)는 0.4, 거주율 또는 점유율 (occupancy factor)은 실내인 경우 80%, 실외인 경우 20%를 적용하며^[14] ICRP에서는 보통 1.0(100%)를 적용한다^[15]. 연간 실내 거주 시간 (T)은 일일 8시간, 주당 40시간, 학기 당 15주, 년간 2학기를 학사 일정에 따라 대학생들이 실제 교실에 거주한 시간을 총 1,200시간을 적용하여 유효선량을 평가하였다^[16]. 실내 교실 및 실험실에서 공기중의 라돈 농도의 유효선량의 평가는 다음 식을 적용하여 WISE 프로그램으로 산출한다.

$$E = Q \times F \times T \times K \tag{1}$$

- E : Effective dose (mSv)
- Q : Radon concentration (Bq/m³)
- F : Equilibrium factor (indoor/works, 0.4)
- T : Working hours per year
- K : Occupancy and dose factor

라돈으로 건강위험을 표시하는 경우에는 라돈 농도와 라돈 선량이라는 개념을 사용하고 있으며, 공기 중에서 라돈 농도의 단위는 단위체적당 베크렐 (Bq/m³)를 사용하고, 라돈 농도의 선량은 밀리시버트 (mSv) 또는 월작업수준 (working level month, WLM)으로 표시한다. 이러한 WLM은 ICRP의 권고에 따라 20 mSv/WLM으로 하여 유효선량을 측정하였다^[17]. 겨울에 교실 및 실험실의 단시간의 라돈 농도를 측정하였으나, 연간 유효선량을 평가 및 유효선량에 대한 변환은 WISE (world information service on energy, Amsterdam, the Netherlands)의 개인라돈선량측정 (radon individual dose calculator, <https://www.wise-uranium.org/rdcrn.html>) 프로그램을 이용하여 유효선량으로 변환하였다.

III. RESULT

차콜 캐니스터를 이용한 교실 및 실험실의 라돈 농도의 측정에 대한 결과는 교실에서 라돈 농도가 Table 1과 같이 80.29 Bq/m³ 이었고, 실험실에서는

90.28 Bq/m³ 로 실험실에서 라돈 농도가 높게 측정되었다.

Table 1. Results of indoor radon concentration measurements in classroom and laboratory

Room	Radon concentration (pCi/m ³)	Radon concentration (Bq/m ³)	Mean (Bq/m ³)
Classroom	2.18	80.66	80.29
	2.16	79.92	
Laboratory	2.47	91.39	90.28
	2.41	89.18	

라돈 농도의 유효선량의 변환은 WISE에서 제공하는 프로그램을 이용하여 교실은 Fig. 2 - (a)와 같이 라돈 농도와 인자를 입력하여 유효선량을 측정하였고, 실험실은 Fig. 2 - (b)와 같이 라돈 농도와 인자를 입력하여 유효선량을 측정하였다.

(a)

(b)

Fig. 2. Effective dose for radon individual dose calculator in the WISE of radon concentration (a) and effective dose (b).

라돈 농도의 연간 유효선량 및 누적선량은 Table 2에서 교실 1.21 mSv, 실험실은 1.36 mSv로 측정되었고, 선량율은 교실에서 1.008 μSv/h, 실험실에서는 1.134 μSv/h이었다.

Table 2. Effective dose of radon concentration in classroom and laboratory

	Classroom	Laboratory
Annual dose (mSv)	1.21	1.36
dose rate (μSv/h)	1.008	1.134
Excess lifetime cancer risk (%)	0.003	0.003

IV. DISCUSSION

차콜 캐니스터는 상대적으로 저렴하고 널리 사용되며 재사용이 가능하므로 단시간의 대규모 조사에 적합하다⁶⁾. 활성탄에 침투한 라돈의 붕괴생성물 ²¹⁴Bi와 ²¹⁴Po에서 방출되는 감마선을 계수하여 라돈 농도를 결정할 수 있다. 캐니스터의 종류와 크기 그리고 활성탄의 수분함유 정도에 따라 포집 효율이 달라지며, 최대 노출기간은 7일이며 3개월 정도의 장기간 측정에는 부적합하다. 또한 측정기간 동안 결과에 영향을 미칠 수 있는 샘플링의 조건과 같은 정보를 알 수 없고, 온도, 습도 및 공기 흐름에 민감하게 반응한다. 생체에서 방사되는 베타선과 감마선의 에너지는 알파 에너지에 비해 훨씬 낮아 무시하기 때문에 공기 중에서 라돈 측정에 의한 딸 핵종 농도 추정, 유효선량 추정은 모두 알파선의 노출을 가정한 것이다.

라돈 농도의 관리를 위해 환경부는 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」에 의해 다중이용시설과 신축공동주택을 대상으로 라돈 권고기준을 148 Bq/m³ (4 pCi/L)로 2년에 1회 측정하는 것으로 규정하고 관리하고 있다. 또한, 교육부는 「학교보건법」에 의해 초·중·고등학교 1층 이하 교실 대상으로 의무기준으로 148 Bq/m³로 정하여 실내 라돈의 농도를 관리하고 있다. 고용노동부는 2018년에 작업장의 라돈 노출기준을 600 Bq/m³으로 제정하여 고시하였다. 원자력안전위원회는 「생활주변방사선 안전관리법」을 원료물질, 공정부산물 및 가공제품에 함유된 천연방사성핵종에서 방출되는 방사선을 관리하고 있다.

차콜 캐니스터를 이용한 교실 및 실험실의 라돈 농도는 교실에서 80.29 Bq/m³ 이었고, 실험실은 90.28 Bq/m³ 로 측정되어, WHO 권고 기준인 100 Bq/m³을 초과하지 않았다. 1986년에 미국환경보호청 (US EPA)은 라돈의 가이드보고서에서 폐암 유발 경고를 하고, 실내 공간의 라돈 농도의 기준치로 148 Bq/m³ 이하로 기준을 제시하였다. 2009년 WHO는 라돈 위해성 정보전달 (risk communication), 측정기 품질관리를 강조하고 라돈 관리기준으로 100 Bq/m³ 이하로 엄격하게 규정하여 권고하고 있다. Fig. 3와 같다.

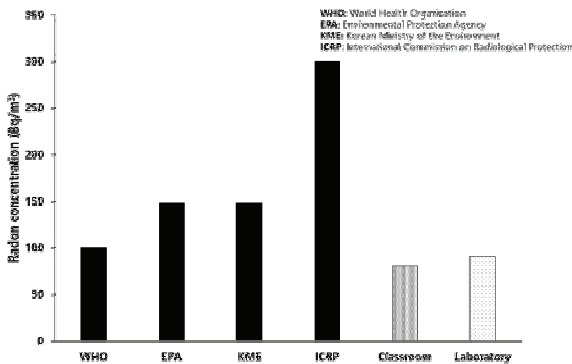


Fig. 3. Comparison of radon gas concentration with WHO, EPA, ICRP and KME guideline for indoor radon in classroom and laboratory places.

학교 및 공공 건물은 야간에 사람이 상주하지 않는 경우가 많고, 야간 시간에 급격하게 라돈 농도가 증가하기 때문에 수동형 검출기를 이용한 평균 농도만을 기준으로 저감 조치의 필요 여부를 판단하는 것은 적절치 않고, 연속측정기를 이용한 일주일 이상의 정밀 조사와 체계적인 유효선량을 평가하여 수행하는 것이 필요성이 있다. 차후의 미래에는 학교에서 지속적으로 라돈 관리에 대한 보다 과학적이고 합리적인 관리 체계 구축이 필요할 것으로 보인다. 라돈 농도의 연간유효선량은 유엔방사선영향과학위원회^[14]에서 규정하는 라돈에 의한 연간 피폭선량 1.2 mSv/yr (133,333 Bq/m/yr)에 비해 교실은 거의 비슷한 수준이었고, 실험실은 기준 보다도 높게 측정되어, 라돈을 지속적으로 노출될 경우 건강위해의 잠재 가능성이 존재하는 것으로 생각된다. 라돈 농도의 연간 유효선량 및 누적선량은 교실 1.21 mSv, 실험실은 1.36 mSv로 측정되어 문

헌에 보고된 주거 환경의 수준보다 높았고, 추정한 연간 유효선량도 기준을 초과하였다. 라돈의 연간 유효선량은 ICRP와 UNSCEAR의 방법을 적용한 기준인 1 mSv를 초과하였으며 유효선량의 기준은 Table 3과 같다.

Table 3. Effective dose of radon concentration of research and laboratory room (unit: mSv)

	Estimated annual effective dose per 37 Bq/m ³	Estimated annual effective dose per WLM
ICRP	0.8	4.8
UNSCEAR	0.9	5.5
NRCP	1.7	10

대학가의 원룸에 대한 실내 라돈 농도의 측정에서 라돈 농도는 기존 아파트에서 보고된 값 보다 2 배 이상 높은 값을 보고하였고^[18], 일개 대학의 강의실 준공연도에서 오래된 건물일수록 라돈 농도가 낮게 검출되었고, 환기는 라돈 농도의 감소에 작용하였다^[12]. 본 연구에서는 교실이 실험실에 비해 라돈 농도가 적은 농도가 검출되었으나, 라돈 농도를 감소하기 위해 지속적인 관리가 필요하다. 대학생들이 실제 교실에 거주한 시간을 총 1,200시간을 적용하여 유효선량을 평가하였다. 외국에서는 주택과 작업장을 구분하여 가이드라인을 설정하여 피폭시간은 일반적으로 일반인의 경우 7,000시간, 직업인의 경우 2,000시간을 기준으로 하고 있다^[15]. 학교 교실 및 시설에 대한 라돈에 관한 기존 연구에서는 학교 시설의 실내 라돈의 위해성을 보고하였고^[19], 건축물의 실내공기질을 평가하여 보고하였다^[10]. 또한 초등학교 교실의 실내공기 오염에 관한 연구가 있었다^[11]. 대학의 실내 라돈 농도에 대한 연구에 의하면 라돈 농도에 대한 연간 평균유효선량은 최저 0.13, 최고 0.40 mSv/y이며 최대 연간 유효선량 0.78 mSv/y로 측정되었고, 본 연구에서의 연간유효선량이 교실 1.21 mSv/y, 실험실 1.36 mSv/y로 높게 측정되었다^[20]. 또한, 강의실의 건축 연도에 따른 라돈 농도 연구에서 1973년 강의실은 33.5±4.7 Bq/m³, 2011년 강의실은 96.5±8.0 Bq/m³로 건축이 오래된 건물에서 라돈 농도가 낮게 검출되었다^[12]. 또한 대학 주변의 원룸에 대한 라돈 농도는 75.11 Bq/m³ 로 보고하였다^[18]. 강의실의 라돈 농도에 대한 보고에서 밀폐된 강의실 라돈 농도는 평

균 $74.5 \pm 6.65 \text{ Bq/m}^3$, 정상 운영하는 강의실 라돈 농도는 평균 $40.2 \pm 8.34 \text{ Bq/m}^3$, 수업이 없는 강의실 라돈 농도는 평균 $45.7 \pm 5.2 \text{ Bq/m}^3$, 수업이 있는 강의실 라돈 농도는 평균 $31.3 \pm 6.64 \text{ Bq/m}^3$ 로 측정되어 기존 연구에 비해 강의실 환경 및 조건에 따라 다양한 라돈 농도 분포를 보였다^[13]. 이에 비해 본 연구에서는 교실에서 라돈 농도가 80.29 Bq/m^3 이었고, 실험실에서는 90.28 Bq/m^3 로 실험실에서 라돈 농도가 높게 측정되어 기존 연구에 비해 강의실 및 실험실에서 다양한 라돈 농도가 측정되었다.

연구의 제한점은 첫째, 교실과 실험을 대상으로 하여 다양한 장소를 하지 못한 점이 한계이고, 두 번째는 측정 기기를 charcoal 캐니스터로 한정하여 측정된 점으로 다양한 라돈 측정기기를 이용하여 비교하는 실험이 필요하다. 세 번째는, 교실의 계절에 따른 라돈 농도의 변화를 측정하고 모니터링하여 관리에 대한 정보를 제공할 필요성이 있다. 네 번째는, 교실이 건축년도 따른 실내 라돈 농도를 측정하여 라돈 농도의 관리를 위한 대책을 위해 필요성이 있다. 다섯째는, 교실이 실내 라돈 농도에 영향을 주는 환경인자에 대한 상관성을 제공하기 위한 환경인자 간의 상관성 분석이 필요하다. 다섯째는 교실과 실험실의 라돈측정에 따른 차이를 분석하는 추가 실험이 필요하다. 교실과 실험실의 환기에 따른 구조적인 환경 및 밀폐도를 추가적인 실험과 측정이 필요하다.

V. CONCLUSION

현대 건물에서는 효율적인 에너지 절감을 위하여 실내 거주 환경의 밀폐율이 높아지고 있어 실내 라돈 농도가 지속적으로 증가하는 현상이 발생하고 있다. 라돈은 인간의 생활권으로 쉽게 가스로 유입될 수 있고 지역의 지질학적 특성, 건축물의 유형, 및 다양한 환경 등의 영향에 따라 실내의 라돈 농도가 변화하기 때문에 라돈 농도를 정기적으로 측정하고 피폭 상황을 고려하여 라돈 관리 방안이 요구되고 있다.

연구에서는 교실의 실내 라돈 농도 변화를 측정하였고 실내 라돈 피폭에 의한 연간유효선량을 평가함으로써 교실의 라돈 농도 관리 방안을 제안하

였다. 교실 운영 환경에 따른 실내 라돈 농도는 실내 라돈 농도 관리 기준보다 낮은 준위로 측정되었으나 인간의 생활권에서 영구적으로 격리할 수 없으므로 방호의 최적화 관점에서 실내 라돈 농도를 경제적·사회적 인자를 고려하여 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하여 라돈 농도에 의한 학생 및 국민보건의 위해 정도를 저감하기 위한 노력을 최대한 기울이고 지속적인 관리가 필요하다.

Reference

- [1] K. Jamil, K. K. Al-Ahmady, Fazal-ur-Rehman, S. Ali, A. A. Qureshi, H. A. Khan HA, "Relative performance of different types of passive dosimeters employing solid state nuclear track detectors", *Health Physics*, Vol. 73, No. 4, pp. 629-32, 1997.
<https://doi.org/10.1097/00004032-199710000-00006>
- [2] E. K. Chung, K. B. Kim, J. K. Jang, S. W. Song, "Review of guidelines for radon and estimation of radiation dose", *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 26, No. 2, pp. 109-118, 2016.
<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2016.26.2.109>
- [3] D. H. Zoo, K. H. Jeong, H. W. Lim, H. J. Bok, D. S. Yun, D. W. Min, K. H. Mun, K. D. Kim, J. U. Lee, J. M. Choi, W. Y. Kim, S. Yoon, "A Study on indoor radon concentration among vulnerable households in Korea", *Journal of Environmental Health Sciences*, Vol. 41, No. 2, pp. 61-70, 2015.
<http://dx.doi.org/10.5668/JEHS.2015.41.2.61>
- [4] W. Yang, K. Lee, C. Yoon, S. Yu, K. Park, W. Choi, "Determinants of residential indoor and transportation activity times in Korea", *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, Vol. 21, No. 3, pp. 310-316, 2011.
<https://doi.org/10.1038/jes.2010.23>
- [5] M. J. Kim, S. H. Kim, D. W. Cha, S. J. Lee, S. Y. Cho, "A comparative experiment of charcoal canister measurement sensitivity using super absorbent polymer", *Journal of Odor and Indoor Environment*, Vol. 18, No. 1, pp. 55-59, 2019.
<https://doi.org/10.15250/joie.2019.18.1.55>
- [6] M. J. Kim, W. J. Jang, S. Y. Cho, J. O. Shim, "Enhancing radon detection accuracy with charcoal canister: A simple method for measuring radon",

- Radiation Measurements, Vol. 174, pp. 107143, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2024.107143>
- [7] A. Vargas, X. Ortega, I. Serrano, Response of a radon charcoal canister to climatic and radon variations in the INTE radon chamber, in Proceedings of the 11th International Congress of the International Radiation Protection Association, IRPA, Barcelona, 2014
- [8] J. Vaupotic, M. Sikovec, I. Kobal, "Systematic indoor radon and gamma-ray measurements in Slovenian schools", Health Physics, Vol. 78, No. 5, pp. 559-562, 2000.
<http://dx.doi.org/10.1097/00004032-200005000-00014>
- [9] K. S. Lee, S. Y. Seo, Y. J. Kim, K. H. Choi, B. S. Son, "A Study on the indoor radon concentration of elementary school in Korea", Journal of Korean Society for Indoor Environment, Vol. 9, No. 2, pp. 127-133, 2012.
<https://db.koreascholar.com/Article/Detail/31780>
- [10] J. R. Sohn, Y. M. Roh, B. S. Son, "The assessment of survey on the indoor air quality at schools in Korea", Journal of Environmental Health Sciences, Vol. 32, No. 2, pp. 140-146, 2006.
- [11] C. M. Lee, Y. S. Kim, J. S. Moon, S. U. Kim, "A study on the indoor air pollution in the classrooms of primary, middle and high schools in Seoul and Gyeonggi-Do", Journal of the Korean Society of School Health, Vol. 16, No. 1, pp. 81-90, 2003.
- [12] H. H. Park, E. J. H. J. Kim, J. Lee, K. Y. Lyu, "Assessment of indoor radon gas concentration change of college", Journal of Radiological Science and Technology, Vol. 40, No. 1, pp. 127-134, 2017.
<http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2017.40.1.18>
- [13] J. S. Lee, D. C. Kweon, "Prediction for the lifetime effective dose and radon exposure risk by using dose conversion convention: base on the indoor radon concentration of lecture room in a university, Journal of Biomedical Engineering Research, Vol. 39, No. 6, pp. 243-249, 2018.
<http://dx.doi.org/10.9718/JBER.2018.39.6.243>
- [14] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, ANNEX B, Exposures from natural radiation sources, 2000.
- [15] ICRP, Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon, ICRP Publication 115: Ann. ICRP, Vol. 40, No. 1, 2010.
- [16] J. S. Lee, S. H. Yang, D. C. Kweon, "Assessment of indoor radon concentration and annual effective dose in a university lecture room", Journal of Radiation Industry, Vol. 12, No. 3, pp. 223-231, 2018. <http://dx.doi.org/10.23042/radin.2018.12.3.223>
- [17] Amin Shahrokhi, Tibor Kovács, "Characterization of environmental radiological parameters on dose coefficient-realistic dosimetry compared with epidemiological dosimetry models", Heliyon, Vol. 9, No. 9, pp. 19813, 2023.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19813>
- [18] S. Lee, Y. Lee, J. Park, S. Kim G. Hong, H. Ahn, W. Y, "Radon concentration assessment of studio apartments surrounding a university", Journal of Environmental Health Sciences, Vol. 39, No. 2, pp. 138-143, 2013.
<https://doi.org/10.5668/JEHS.2013.39.2.138>
- [19] S. Park, J. Y. Kim, D. C. Shin, "Health risk for indoor radon in schools", The Environmental Education, Vol. 12, No. 2, pp. 81-90, 1999.
- [20] J. S. Kim, "Indoor radon levels and effective dose estimation in learning and common living space of university", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 12, No. 3, pp. 329-333, 2018.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.3.329>

차콜 캐니스터를 이용한 교실 및 실험실의 라돈 농도 측정

권대철*

신한대학교 보건대학 방사선학과

요 약

본 연구는 대학생들이 강의를 수강하고 활동하는 교실에서 실내 라돈 농도의 수준을 측정하여 라돈에 대한 학교 교실의 실내 라돈 관리방안을 위한 기초자료로 활용하고자 한다. 라돈 농도 측정을 위해 대학 교실 운영 환경에 따라서 경기도 소재 일개 대학의 교실을 대상으로 수행되었다. 라돈 측정은 RadoMon Kit (Betterlife Co., Ltd., Suwon, Korea)를 이용하여 측정하였다. 라돈 농도를 측정하기 위해 유엔방사선영향과학위원회 리포트 2000 (UNSCEAR, 2000)에서 제시한 유효선량 모델을 사용하였다. 연간 교실의 실내에 거주한 시간을 총 1,200시간을 적용하여 유효선량을 평가하였다. 교실 및 실험실의 라돈 농도를 측정하고, 연간 유효선량을 평가 및 유효선량에 대한 변환은 WISE에서 제공하는 개인 라돈 선량측정 프로그램을 이용하여 라돈 농도와 인자를 입력하여 유효선량을 측정하였다. 차콜 캐니스터를 이용한 라돈 농도는 교실에서 80.29 Bq/m^3 이었고, 실험실에서는 90.28 Bq/m^3 로 실험실에서 라돈 농도가 높게 측정되었다. 라돈 농도의 연간유효선량 및 누적선량은 교실 1.21 mSv , 실험실은 1.36 mSv 로 계산되었고, 선량율은 교실에서 $1.008 \mu \text{ Sv/h}$, 실험실에서 $1.134 \mu \text{ Sv/h}$ 이었다. 실내 라돈 농도는 실내 라돈 농도 관리 기준보다 낮은 준위로 측정되었으나 방호의 최적화 관점에서 라돈 농도를 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하고 보건의 위해 정도를 저감하기 위한 노력을 기울이고 지속적인 관리가 필요하다.

중심단어: 교실, 라돈, 실험실, 유효선량, 차콜 캐니스터

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	권대철	신한대학교 보건대학 방사선학과	부교수