

# Indoor Radon Levels and Effective Dose Estimation in Learning and Common Living Space of University

Jung-Su Kim\*

Department of Radiologic Technology, Chungbuk Health & Science University

Received: June 04, 2018. Revised: June 26, 2018. Accepted: June 30, 2018

## ABSTRACT

Radon which is natural component of air is a colorless and odorless radioactive gas. Radon exposure can also occur from some building materials if they are made from radon-containing substances by breathing. In this study, The radiation dose of radon concentration was detected at 8 buildings of the A university during 3-month from June. 2017 to August. 2017. We detected indoor radon exposure at 8 building of the university and estimated annual effective dose. The radon concentration of Hall G and Hall F of the A university represented 81 and 14 Bq/m<sup>3</sup> respectively and average indoor radon concentration represented 41.63 Bq/m<sup>3</sup>. Average effective dose was estimated 0.40 mSv/y, maximum effective dose was 0.78 mSv/y and minimum effective dose was 0.13 mSv/y respectively. University is the place that students spend the almost whole time. We suggest ventilation and appropriate management of a building, which could reduce the natural radiation exposure by radon concentration.

Keyword: radon concentration, effective dose, natural radioactive materials, internal exposure,  $\alpha$  ray

## I. INTRODUCTION

실내공기는 한정된 공간에서 오염된 공기가 지속적으로 순환하기 때문에 오염된 실내 공기가 누적되면 이로 인해 건강에 유해한 영향을 미칠 확률이 높다. 특히 실내공기 오염 요소 중 라돈에 대한 오염은 오염의 정도를 쉬게 파악할 수 없기 때문에 의도하지 않게 노출되기도 한다. 라돈(<sup>222</sup>Rn)은 3.8일의 반감기를 가지는 무색, 무취, 무미의 방사성가스로 호흡을 통해 인체를 피폭시킨다. 라돈(<sup>222</sup>Rn)은 라듐(<sup>226</sup>Ra)의 붕괴산물로 토양과 건축물의 자재에서도 미량으로 발생한다.<sup>[1]</sup> 라돈 원자핵은 대부분 약 8일 이내에 붕괴하여 5.49 MeV의 에너지를 가진  $\alpha$ 입자를 방출하고 폴로늄(<sup>218</sup>Po)으로 붕괴한다. 라돈의 붕괴산물인 폴로늄(<sup>218</sup>Po), 폴로늄(<sup>214</sup>Po), 납(<sup>214</sup>Pb), 비스무스(<sup>214</sup>Bi)는 호흡을 통해 폐에 흡착하여 붕괴되면서 알파선을 방출하고 그 알파입자에 의해 폐 조직이 방사선에 피폭된다. 라돈은 공

기보다 무겁기 때문에 공기의 순환이 잘 이루어지지 않는 지표면의 건물 안이나 지하 건축물에 축적되어 폐암 발생을 높이는 원인으로 주목받고 있다. 국제방사선방어위원회의 간행물 ICRP Publication 115에서는 유럽, 중국, 북미에 대한 라돈 분석결과를 기초로 주택에서 30년 이상 거주한 경우 누적 라돈 피폭과 폐암의 상대위험 증가에 대한 상관관계가 명확함을 제시하였다.<sup>[2]</sup> 미국환경청(Environmental Protection Agency: EPA)의 자료에서는 라돈을 흡연 다음으로 폐암 발생 위험도를 높이는 원인으로 규정하고 있다.<sup>[3]</sup> 국내의 경우 1989년, 2000년, 2002년에서 2005년, 2008년에서 2009년 전국의 초등학교와 공공기관을 대상으로 실내 공기 중 라돈 농도에 대한 조사를 시작하여 일반주택에 대한 라돈 농도 측정을 진행하였고 이를 바탕으로 2015년 라돈 지도를 구축하였다.<sup>[4]</sup> 환경부 조사에서는 공공건물과 다중주택, 일반주택으로 분류하여 라돈 농도에 대한 조사를 진행하였다. 실내 라돈 피폭의

\* Corresponding Author: Jung Su Kim

E-mail: jungsu.kim73@gmail.com

Tel: +82-43-210-8204

경우 거주지 뿐 아니라 직장, 공공기관, 학교와 같은 시설의 피폭에 대해서 적극적인 방어를 권고하고 있다. 거주지에 대한 피폭은 기존상황의 피폭으로 간주하지만 직장에서의 라돈 피폭은 직무상의 피폭에 해당하여 피폭의 방어에 대한 책임을 경영주에 부과한다.<sup>[2]</sup> 일상생활 대부분을 학교에서 보내는 학생의 경우는 거주지 뿐 아니라 학습공간에 대한 라돈 피폭에도 유의하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 대학 내 학생들의 학습공간인 강의실, 도서관과 생활공간인 기숙사에 대한 실내 라돈 농도를 측정하여 이를 바탕으로 라돈 피폭에 대한 연간 유효선량을 산출하였다.

## II. MATERIAL AND METHODS

본 연구는 충청북도 소재 A 대학의 건축물 중 학생들이 주로 머무르는 교내 건축물을 대상으로 2017년 6월 1일부터 2017년 8월 28일까지 3개월 동안 8개 건축물에 대해 실내 라돈농도를 측정하여 비교 분석하였다. 실내 라돈 농도 측정은 다중시설 실내라돈 농도 측정에 사용되는 LR-115 검출소자를 이용한 알파선 비적 측정기를 이용하였으며, Fig 1은 강의실의 라돈 측정 사례이다.<sup>[6]</sup> 라돈 검출에 사용한 알파선 비적 측정기 알파트랙((주)알엔테크, 대한민국)은 100 μm의 폴리에스테르 베이스에 12 μm의 나이트로셀룰로스(Nitrocellulose; (C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>(NO<sub>2</sub>)O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>)를 증착한 구조로 측정 하한 값(Lower limited of detection; LLD)은 1.47 Bq/m<sup>3</sup> 이다. 알파선 비적 측정기는 천정과 벽 표면으로부터 30 cm 이상, 바닥으로부터 1 m 이상 이격되도록 설치하였고 안내판을 게시하여 라돈 농도 측정을 표시하였으며 설치일로부터 3개월간 고정된 상태에서 측정하였다. 각 측정위치는 일상 상황과 다른 별도의 환기를 시행하지 않은 상태에서 측정하여 통상적인 학교생활 환경을 유지하였다. 기숙사를 제외한 모든 측정 위치는 1층 또는 지하층을 선택했고, 기숙사의 경우 거주 환경에 대한 라돈 농도 측정을 위해 3층과 6층의 기숙사 거주 공간 안을 측정지점으로 하였다. 실내 라돈 농도의 측정지점에 대한 건축물 개요는 Table 1과 같다. 측정이 완료된 검출기는 10% NaOH 용액에서 1.5 시간 에칭 처리 후 비적을 검출하여 라돈의 농도를 측정하였다.

Table 1. a track radon detector installed point of learning space and working space

	Type	Elapsed year	Floor	Function
Main building	ferroconcrete	25	first basement	office
Hall A	ferroconcrete	19	first	cafeteria
Hall B	ferroconcrete	3	sixth	dormitory
Hall C	ferroconcrete	19	first	classroom
Hall D	ferroconcrete	19	first	classroom
Hall E	ferroconcrete	14	three-pair	dormitory
Hall F	light weight steel	22	first	classroom
Hall G	ferroconcrete	19	first basement	library



Fig. 1. Radon detector installation of learning space.

측정된 라돈농도는 ICRP에서 제시하고 있는 라돈에 의한 내부피폭 선량평가 방식을 이용하여 유효선량을 산출하였다. ICRP의 유효선량 환산 식은 공기 중 라돈 농도와 선량환산계수를 이용한 방식으로 Eq 1과 같다.<sup>[2,6]</sup> 유효선량 환산을 위한 환산계수 K는 ICRP publication 115에서 12 nSv/Bq·h/m<sup>3</sup>을 제시하고 있으며 평형인자인 F<sub>c</sub>는 0.4를 사용하고 있다. ICRP publication 65에서는 병원, 주거형 직장, 학교를 작업장으로 구분하고 있으므로 거주시간을 나타내는 T는 법적 기준량인 2000 시간을 기준으로 하였다.<sup>[7]</sup>

$$E_{Rn} = Q_{Rn} \cdot F_C \cdot T \cdot K \quad (1)$$

$E_{Rn}$  : effective dose (mSv)

$Q_{Rn}$  : indoor radon concentration (Bq/m<sup>3</sup>)

$F_C$  : equilibrium factor (0.4)

$T$  : residence time in school (h)

$K$  : conversion factor (nSv/Bq · h/m<sup>3</sup>)

### III. RESULT

각 측정 장소에서 가장 높은 실내라돈 농도를 나타낸 곳은 지하 1층에 위치한 Hall G로 학생들의 학습공간으로 사용되는 곳이다. 측정 기간에 대해 81 Bq/m<sup>3</sup>을 나타냈으며 가장 낮은 실내라돈 농도를 나타낸 곳은 14 Bq/m<sup>3</sup>을 나타낸 Hall F이다. Hall F는 강의실로 사용되는 공간으로 경량철골 구조의 건축물이다. 모든 측정 지점에 대한 평균 실내 라돈 농도는 41.63 Bq/m<sup>3</sup>로 나타났다. 가장 높은 농도를 나타낸 Hall G는 모든 지점의 평균 실내라돈 농도에 비해 95.53% 높은 농도를 나타냈다. 각 측정 지점에 대한 3개월 동안의 실내라돈 농도는 Table 2와 같다.

본 연구의 결과, 라돈농도에 대한 연간 평균유효선량은 0.40 mSv/y이며 최대 연간 유효선량 값으로는 Hall G에서 0.78 mSv/y를 나타냈고 가장 낮은 수치는 Hall F에서 연간 0.13 mSv/y의 유효선량을 나타냈다. 각 측정지점에 대한 연간 유효선량은 Fig. 2와 같다.

Table 2. Detected indoor radon values of each hall

	pCi/L	Bq/m <sup>3</sup>
Main building	1.43	53
Hall A	0.68	25
Hall B	1.51	56
Hall C	1.13	42
Hall D	1.13	42
Hall E	0.53	20
Hall F	0.38	14
Hall G	2.19	81
Average	1.12	41.63

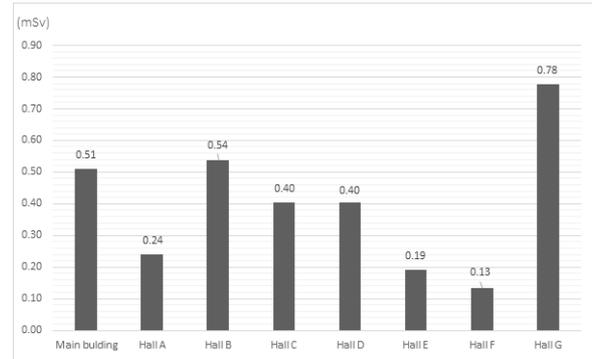


Fig. 2. Estimated effective dose of each point (mSv).

### IV. DISCUSSION

본 연구의 결과에서 Hall G와 F 측정지점은 반지하 형태의 측정지점으로 산비탈 지형에 건축된 건축물의 1층에 해당된다. 따라서 측정된 라돈 농도는 지하에 함유되었던 라돈에 기인한 것으로 지반과 가까운 지하층에서 높은 농도를 나타낸 것으로 생각된다. 다만 건축연한이 짧고 고층건물인 Hall B에서 높은 라돈농도를 나타낸 것은 여학생의 기숙사로 사용되는 건물로 고층이나 기숙사 시설인 관계로 학생의 출입이 빈번하지 않았으며 주간 시간에는 학생이 상주하지 않기 때문에 밀폐된 공간으로 유지되어 높은 라돈농도를 나타낸 것으로 생각된다.

실내 라돈농도는 자연방사선 피폭이지만 일반주택이 아닌 작업장에서의 라돈 피폭은 직업적 피폭으로 참고준위를 설정하여 개입에 의한 피폭상황관리를 권고하고 있다.<sup>[8]</sup> 이는 직업상으로 오랜 시간동안 머무르게 되는 장소에 대해 적극적인 방사선 방어를 하기 위한 조치이다. 학교 또한 학생들이 오랜 시간 머무르는 곳으로 라돈에 대한 적극적 피폭방어를 위해 직업적 피폭 상황으로 취급할 필요가 있다.<sup>[7]</sup> 국내 학교보건법 시행규칙에서 제시하는 1층 이하 교실의 라돈의 허용 농도는 148 Bq/L로 본 연구의 측정 지점은 이 규정의 기준을 초과하지 않았다. 2010년 국립환경과학원의 전국 라돈실태 조사보고서에 따르면 실내라돈 농도에 대한 층별 평균 측정치는 1층의 경우 29.1 Bq/m<sup>3</sup>, 지하 1층의 경우 20.3 Bq/m<sup>3</sup>을 나타냈으나 본 연구의

라돈 측정치는 1층에서 평균 30.75 Bq/m<sup>3</sup>, 지하 1층에서는 평균 67.00 Bq/m<sup>3</sup>로 전국 평균 보다는 높은 수치를 나타냈다. 이는 본 연구의 측정 건물이 위치한 지역의 연평균 라돈농도가 39.1 Bq/m<sup>3</sup>으로 전국 연평균 라돈농도 33.0 Bq/m<sup>3</sup> 보다 높은 지역에 해당되기 때문으로 생각된다.<sup>[5]</sup> 본 연구에서 도출된 학습공간의 연간 평균유효선량은 0.40 mSv/y로 동일한 지역의 학교를 대상으로 한 연구에서 제시한 1.13 mSv/y 보다는 낮은 수치이며 이는 국내 라돈의 전국 연평균 유효선량 1.62 mSv/y 보다 낮은 수치이다.<sup>[9,12]</sup> 2011년 서울지역 건축물을 대상으로 실시한 실내 라돈농도 조사에서는 실내 건축물의 천정 마감에 사용한 석고보드에서도 다량의 라돈이 검출되는 것으로 보고 하였다. 본 연구의 건축물 라돈농도는 석고보드 마감을 사용하고 있는 건축물 특성과 지역적인 요인이 혼합하여 높은 라돈 농도를 보인 원인으로 생각된다.<sup>[10]</sup>

유럽연합의 방사선 방호 88(Radiation Protection 88)에서는 작업장의 라돈농도에 대한 가이드라인으로 평균 라돈농도를 500~1000 Bq/m<sup>3</sup>을 권고하고 있고, 국내의 경우 다중시설의 라돈농도 권고기준은 실내공기질 관리법에 의해 148 Bq/m<sup>3</sup>을 권고하고 있으며 공동주택에 대해서는 200 Bq/m<sup>3</sup>을 권고하고 있다.<sup>[8,11]</sup> 실내 라돈 농도를 줄이기 위해서는 적절한 환기가 가장 중요한 요소이다. 본 연구의 결과에서 고층임에도 불구하고 라돈농도가 높게 나온 Hall B의 경우에서 그 중요성을 확인할 수 있다. 또한 건축물의 지하공간에서도 적절한 환기를 시행하는 것은 라돈의 농도를 낮추는 가장 좋은 방법이다.

ICRP에서는 주거 라돈피폭으로부터 발생하는 폐암은 100 Bq/m<sup>3</sup> 당 적어도 8% 정도 증가 할 수 있는 것으로 평가했고 유럽의 분석결과에서도 100 Bq/m<sup>3</sup> 당 16%의 초과상대위험도가 증가하는 것으로 평가했다.<sup>[2]</sup> 미국 환경청의 자료에서는 흡연자에 대한 폐암의 위험성 지표 값으로 74 Bq/m<sup>3</sup>의 라돈농도 환경에서 노출되는 경우 1000명당 폐암발생률을 32 명을 제시하고 있다. 이는 독성물질에 의한 사고 위험도의 6배에 해당하는 수치이다. 또한 동일한 라돈농도에 대해 주택에 대한 조치 사항

으로는 “수리를 고려할 것”을 권고하고 있다.<sup>[3]</sup> 그러므로 본 연구의 결과에서 가장 높은 농도를 보인 건축물의 경우 적절한 환기가 절대적으로 필요할 것으로 생각된다.

## V. CONCLUSIONS

자연에 존재하는 라돈은 자연방사선으로 지구 어디에나 존재하는 생활환경의 일부분이다. 인간이 1년 동안 노출되는 방사선량의 85%는 자연방사선에 의한 것으로 이 중 50%는 라돈과 그 자손핵종에 의해 호흡을 통해 노출되는 것이다. 실내 라돈 농도는 줄이기 위한 가장 최선의 방법은 적절한 환기를 통해 실내 라돈 농도를 낮추는 것이다. 오랜 시간 동안 학습과 생활이 이루어지는 대학의 여러 공간에 대해서도 적절한 환기와 건축물 관리를 통해 실내 라돈농도를 낮추는 것이 자연방사선이지만 직업적 피폭에 해당하는 라돈으로 인한 피폭을 줄이는 방법으로 생각된다.

## REFERENCES

- [1] A. Clouvas, S. Xanthos, G. Takoudis, “Indoor radon levels in Greek schools,” *Journal of environmental radioactivity*. Vol. 102, No. 9, pp. 881-885. 2011.
- [2] M. Tirmarche, J. D. Harrison, D. Laurier, F. Paquet, E. Blanchardon, J.W. Marsh. “Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon, ICRP Publication 115,” *Annals of the ICRP*, Vol. 40, No. 1, pp. 27-33, 2010.
- [3] United States Environmental Protection Agency, “A Citizen's Guide to Radon: The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon,” EPA402/K-12/02, pp. 11-14, 2012.
- [4] H. A. Lee, W. K. Lee, D. Lim, S. H. Park, S. J. Baik, K. A. Kong, K. Jung-Choi, H. Park, “Risks of lung cancer due to radon exposure among the regions of Korea,” *Journal of Korean Medical Science*. Vol. 30, No. 5, pp. 542-548, 2015.
- [5] S. Y. Seo, H. D. Kim, J. H. Yoo, K. S. Lee, J. Y. Park, S. K. Jang, K. H. Choi, J. S. Han, “Nationwide survey of indoor radon in Korea(III),” *National Institute of Environmental Research*. 2010. Available from: <http://www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView>.

do?dbt=TRKO&cn=TRKO201300007461&rn=&url=&pageCode=PG18

- [6] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. "Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes. Volume I: Sources." UNSCEAR 2000. Available from: [http://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR\\_2000\\_Report\\_Vol.I.pdf](http://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Report_Vol.I.pdf)
- [7] D. J. Brenner, "Protection against Radon-222 at Home and at Work," ICRP Publication 65. Annals of the ICRP, Vol. 23, No. 1, 1993.
- [8] 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.
- [9] E. R. Lee, B. U. Chang, Y. J. Kim, "Radon survey in school and estimation of effective dose using corrected radon concentration," Radiation protection dosimetry, Vol. 179, No 2, pp. 101-107. 2017.
- [10] J. S. Jeon, J. Y. Lee, S. W. Eom, Y. Z. Chae, "The Variation Characteristics of Indoor Radon Concentration from Buildings with Different Environment, Seoul," Journal of Korean Society for Atmospheric Environment. Vol. 27, No. 6, pp. 692-702. 2011.
- [11] Koran law information center. Indoor air quality management law. Available from: <http://www.law.go.kr/LSW/lsSc.do?tabMenuId=tab18&p1=&subMenu=1&nwYn=1&section=&tabNo=&query=%EC%8B%A4%EB%82%B4%EA%B3%B5%EA%B8%B0%EC%A7%88%20%EA%B4%80%EB%A6%AC%EB%B2%95#undefined>
- [12] J. H. Song, G. H. Jin, "Evaluation of Indoor Radon Levels in a Hospital Underground Space and Internal Exposure," Journal of the Korean Society of Radiology. Vol. 5, No. 5, pp. 231-235. 2011.

# 대학 내 학습공간과 공동 생활공간에 대한 실내 라돈 농도 측정과 유효선량 산출

김정수

충북보건과학대학교 방사선과

## 요 약

라돈은 자연방사성원소로 호흡을 통해 인체에 피폭된다. 본 연구에서는 2017년 6월 1일부터 2017년 8월 28일까지 3개월 동안 A대학의 8개 건축물에 대해 실내 라돈농도를 측정하여 비교하였고, 연간 유효선량을 도출하였다. 본 연구에서 A대학의 건축물 Hall G 와 Hall F의 라돈농도는 각각  $81 \text{ Bq/m}^3$ ,  $14 \text{ Bq/m}^3$ 로 나타났다. 전체 조사 건축물의 평균 실내 라돈농도는  $41.63 \text{ Bq/m}^3$ 로 나타났다. 대학 내 학습공간과 생활공간에 대한 연간 유효선량 환산치의 평균은  $0.40 \text{ mSv/y}$ 이며 최대 연간 유효선량은  $0.78 \text{ mSv/y}$ , 최소 연간 유효선량은  $0.13 \text{ mSv/y}$ 로 나타났다. 학교는 학생들이 오랜 시간 머무르는 공간이므로 건축물에 대한 적절한 환기와 관리를 통해 실내라돈 농도를 낮추는 것이 라돈에 대한 자연방사선 피폭을 낮추는 방법이다.

중심단어: 라돈농도, 유효선량, 자연방사성원소, 내부피폭, 알파선