

PD1) 자연 방사성 물질 중 라돈에 대한 다매체 노출 및 위해성 평가 연구

A study on multi-media exposure and risk assessment of radon

김예신 · 김진용 · 박화성 · 문지영¹⁾ · 박성은²⁾ · 신동천

연세대학교 환경공해연구소, ¹⁾국립환경연구원 화학물질안전관리센터,

²⁾(주)엔바이오니아

1. 서 론

여러 가지 실내공기 오염물질중 라돈은 주로 자연 발생원으로부터 기인하는 물질로써 우리가 원하지 않는 비자발적 위험 요인(unwanted and involuntary risk factor)이며, 전체 자연 방사성물질의 노출량에서도 많은 비율을 차지하는 것으로 알려져 있다(환경부, 2002). 라돈은 무색, 무취의 가스로 이를 흡입하는 경우 폐암을 유발하는 것으로 알려져 있다. 토양중 라돈은 지하수로 용해되어 지하수를 섭취하는 경우 노출될 수 있는데, 이로 인한 위해도보다는 실내공기로 인한 흡입 노출시의 위해도가 매우 크고, 이로 인해 실내 공기중 라돈의 위해도가 라돈으로 인한 전체 위해도의 90% 수준에 달하는 것으로 알려져 있다(NAS, 1999; 김순애 등, 2002). 따라서 라돈에 대한 관리 기준을 설정하는 과정에서 위해도가 높은 매체에 대해서는 기준을 엄격하게 하고, 위해성이 낮은 매체중 방사성 물질은 기준을 다소 완화할 수 있도록, 다매체에 대한 노출 조사 및 기여도에 대한 정보가 필요할 것이다(신동천 등, 2002). 이에 본 연구에서는 우리나라 일부 지역을 대상으로 실내공기와 지하수중 라돈에 대한 농도 및 위해도를 분석하고, 매체별 기여율을 산출하여 라돈에 대한 적절한 관리안을 수립하는 근거를 제시하고자 하였다.

2. 연구 방법

라돈 농도가 비교적 높은 것으로 알려진 심성암 지질대 지역(충북과 대전 일부 지역)과 농도 분포가 낮은 것으로 알려진 화산암 지질대 지역(제주 일부 지역)을 대상으로 물과 공기를 채취하여 라돈의 농도를 측정하였다(연세대 환경공해연구소, 2001). 충북과 대전 지역은 각각 2000년 10월과 2001년 4월에 각 1회씩 조사되었고, 제주 지역은 2000년 10월과 2001년 9월, 2회에 걸쳐 조사되었다.

2. 1 환경 매체별 라돈 농도 측정

실내공기중 라돈을 측정하기 위하여 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 공인한 라돈 측정기기인 E-PERM Device(Electret ion chamber)를 이용하였다. 시료 채취 장소는 대상 주택의 거주자들이 가장 많이 생활하는 거실에 가능한한 일반 성인의 호흡기 부근의 높이에 위치를 선정하여 설치하였으며, 공기 흐름에 매우 민감한 영향을 나타내는 라돈의 특성을 고려하여 공기의 흐름이 적은 구석진 장소에는 설치하지 않았다(연세대 환경공해연구소, 2001).

지하수중 라돈을 분석하기 위하여 대상 가구에서 이용하는 지하수를 약 20분정도 흘려보낸 후 기포가 생기지 않는 것을 확인한 후 교반용 자석막대가 들어있는 20ml EPA 바이알에 기포가 생기지 않게 시료를 채수하고, septum 마개로 단단히 밀폐하여 보관하였다. 그후 3일이 지나기 전에 한국 지질자원연구원에서 미국의 ORDELA사(Oak Ridge Detector Laboratory, Oak Ridge, Tennessee)의 PERALS 분광기(Model 8100AB)를 이용하여 분석하였다.

2. 2 라돈에 대한 인체 위해성 평가

라돈 측정 결과를 이용한 노출 및 위해도 산정시 Monte-Carlo 분석을 통해 확률 분포를 추정하고, 이들 농도 분포를 이용하여 노출 및 위해도 분포를 추정하였다. 이들 자료를 토대로 매체별 기여도를 산정하였다. 실내공기중 라돈으로 인한 인체 위해도 산정시에는 NAS(National Academy of Science)의 연구 결과 도출된 단위 위해도(5.9×10^{-3})를 이용하였고, 지하수중 라돈의 위해도 산정시에는 섭취 및 가사활동·샤워 등으로 인한 흡입 노출까지 고려한 단위 위해도(6.6×10^{-7})를 적용하였다(NAS, 1999).

2. 3 라돈 농도에 대한 영향인자 분석

실내공기중 라돈 농도에 영향을 미치는 인자를 분석하기 위하여, 시료채취 동일 지점의 거주자를 대상으로 설문조사를 실행하였고, 변수에 따른 평균 농도간의 유의성을 검증하기 위해서 SAS 6.12를 이용하여 통계 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

라돈 노출에 대한 여러 경로를 고려하는 다매체적 접근법을 이용하여 노출 및 위해도를 평가하였다. 연구 대상지역에서 노출 수준은 대수정규(log-normal) 분포를 나타내었으며, 실내공기중 기하평균 농도는 2.9pCi/L, 지하수중 기하평균은 439.8pCi/L이었으며, 모두 지역간에 유의한 차이($p < 0.01$)가 있었다 (Table 1). 타 연구에서의 실내공기중 라돈 조사 결과를 살펴보면, 전국 4개 지역, 총 75개 지점을 대상으로 실내라돈 농도를 조사한 결과는 2.94±1.33pCi/L(김윤신, 1990), 한국원자력안전기술원에서 2000년 발표한 전국 12개 지역 340개 지점을 대상으로 조사한 결과는 1.61pCi/L 수준이었으며(한국원자력안전기술원, 2000), 2002년 전국 380개 지점을 대상으로 한 결과는 1.22±1.80pCi/L(한국원자력안전기술원, 2002)로, 본 연구에서의 조사 농도가 비교적 높은 것으로 나타났다.

Table 1. Radon levels of indoor air and groundwater in various areas(unit : pCi/L)

Areas**	Indoor Air			Groundwater		
	n	Mean±S.D.(Min.~Max.)	G.M.	n	Mean±S.D.(Min.~Max.)	G.M.
Chungbuk	15	4.2±2.5 (2.0~9.9)	3.7	10	1,821.1±797.1 (917.0~3,179.7)	1,644.6
Daejun	24	4.3±1.8 (1.0~9.6)	3.9	24	1,025.0±280.3 (170.0~1,610.0)	965.6
Jeju	34	2.3±1.0 (0.66~4.8)	2.1	20	99.2±42.2 (17.0~174.0)	88.0
Total	73	3.4±1.9 (0.66~9.9)	2.9	54	829.5±739.4 (17.0~3,179.7)	439.8

** $p < 0.01$, Kruskal-Wallis test

대상 지역에서 측정된 매체별 라돈 농도에 대한 초과 발암 위해도를 추계한 결과, 평균 위해도는 1.7×10^{-2} 수준으로 나타났으며, 이중 실내공기중 라돈 노출로 인한 위해도는 1.7×10^{-2} , 지하수중 라돈 노출로 인한 위해도는 2.9×10^{-4} 로 나타났다. 이와 같은 결과를 토대로 매체별 인체 위해 기여도를 추정한 결과, 실내공기중 라돈 노출로 인한 위해도가 전체 라돈 위해도의 95% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 환경 중 라돈 관리에 있어 인체 위해도를 효과적으로 줄이기 위해서는 실내 공기중 라돈의 처리가 우선시 되어야 함을 제시하는 것이다.

주거특성이나 생활특성에 따른 실내공기 중 라돈의 차이를 검증하기 위하여 통계분석을 실시한 결과, 조사한 변수(주택형태, 균열 정도, 가옥구조, 환기 횟수, 외벽재 재질, 환기형태, 천장 재질, 바닥 재질, 개조 여부, 주택 건축 연수, 설거지 횟수, 샤워 횟수, 빨래 횟수)중 유의한 관련성을 나타낸 변수는 주택의 외벽재 재질($p=0.03$)과 환기횟수($p=0.005$)였다. 외벽재 재질의 경우 라돈의 평균농도는 흙, 콘크리트, 돌의 순으로 높았고, 환기횟수는 5회 이상, 2~4회, 1회 이하 순으로 높았다.

참 고 문 헌

- 김순애, 백남원 (2002) 도시 일부지역에서의 실내 라돈농도에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 28(2) pp.89-98
- 김윤신 (1990) 우리나라 일부 주택내 라돈 농도에 관한 조사 연구, 한국환경위생학회지, 16(1) pp.1~7
- 신동천, 김예신, 문지영, 박화성, 김진용, 박선구 (2002) 지하수중 자연방사성물질의 위해성 관리에 대한 고찰, 한국환경독성학회지, 17(4) pp.273~284
- 연세대 환경공해연구소 (2001) 지하수중 방사성물질 함유 실태에 관한 조사 연구, 국립환경연구원, 한국지질자원연구원
- 한국원자력안전기술원 (2002, 2000) 방사선 안전규제 기술개발- 국민 방사선 위해도 평가 및 전국 실내라돈방사능 조사, 과학기술부
- 환경부 (2002) 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구
- NAS (1999) Risk assessment of radon in drinking water