

## 라돈이란 무엇인가요?

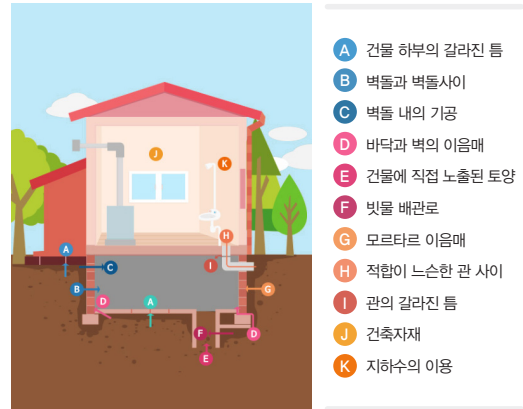
라돈이란 토양, 암석 중 자연적으로 존재하는 우라늄이 몇 단계 방사성붕괴를 거친 후 생성되는 무색·무취의 기체로 대기 중으로 방출되거나 주변 지하수로 녹아들어 어디에나 존재하는 자연방사능 물질입니다. 연간 사람이 노출되는 방사선의 85%는 자연방사선에 의한 것이고, 그중 약 50%는 라돈에 의한 것으로 알려져 있습니다.

실내에 존재하는 라돈의 80~90%는 토양이나 지반의 암석에서 발생한 라돈 기체가 건물 바닥이나 벽의 갈라진 틈을 통해 유입된 것입니다. 그 밖에 건축 자재에 들어있는 라듐 등에서 발생(2~5%)하거나, 1~2%는 지하수를 이용 시 녹아있는 라돈이 대기 중으로 흘러들어오는 것으로 알려져 있으며 지역이나 기후 등에 따라서 이 비율은 달라질 수 있습니다.

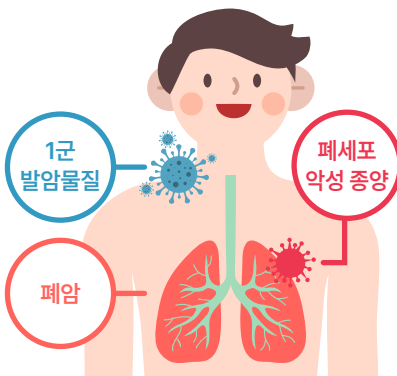
계절별로는 실내외 온도 차와 환기 횟수 등에 따라 변화하지만 겨울철에 실내 라돈 농도가 높게 나타나며, 지역 별로는 화강암, 편마암 지질대 또는 옥천 단층 지대가 분포되어있는 강원도, 전라북도, 충청북도에서 높게 나타납니다.



※반감기(Half-Life): 방사성 물질이 원래 개수의 반으로 줄어드는데 걸리는 시간



## 라돈은 건강에 어떤 영향을 미치나요?



라돈은 숨을 쉴 때 공기 중의 라돈이 우리 몸 안으로 들어오는 경우가 대부분입니다. 숨을 쉴 때 몸 안으로 들어온 라돈은 반감기가 짧아, 몸 밖으로 배출되기 전 방사능 붕괴를 하여 방사선을 방출하는 **라돈자손(Radon Progeny)\***으로 변하게 됩니다. 이 라돈자손이 인체에 악영향을 주는데 방사선을 내뿜는 라돈자손이 폐 안으로 들어가게 되면 폐포나 기관지에 달라붙고, 라돈자손에 의해 방사선에 노출된 폐 세포가 악성종양을 발생시킬 수 있게 됩니다. 라돈 및 라돈자손은 폐암을 일으키는 주요 원인물질로 알려져 있습니다. 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에서는 라돈 및 라돈자손을 1군 발암물질로 분류 하였으며, 세계보건기구(WHO)에서는 라돈을 흡연에 이은 폐암 원인물질로 지정하고 있습니다.

\*라돈자손(Radon Progeny): 라돈[기체상태] → 라돈자손[입자(고체)형태]  
폴로늄(Po), 비스무트(Bi) 등 인체에 유해하고 화학적으로 반응성이 높은 물질들

## 라돈을 어떻게 예방하고 관리해야 할까요?



- ▶ 주기적으로 환기를 통해 실내 라돈 농도를 낮출 수 있습니다.



- ▶ 지하수의 라돈 농도가 높을 때 창문을 열고 10분 이상 끓이거나 잠시 두었다 사용합니다.



- ▶ 주택을 짓거나 리모델링할 때 환경표지인증정보를 확인하는 등 친환경 건축자재를 사용합니다.



- ▶ 보강재 등을 이용하여 기존 건물의 바닥, 벽 등의 갈라진 틈새를 메워줍니다.



- ▶ 건물 밑 토양에 라돈 배출관을 설치합니다.



- ▶ 공기유입용 장치를 통하여 실내공기의 압력을 건물 하부 보다 높게 하여 라돈 기체가 실내로 들어오지 못하게 합니다.

## 우리나라는 라돈을 어떻게 관리하고 있을까요??

우리나라는 1996년부터 라돈 관련 조사 및 연구를 진행해오고 있으며, 2007년 1차 실내라돈관리종합대책 수립 이후 실내 라돈 실태조사 및 라돈 측정 기반이 확대되었습니다. 2015년부터 실내공기질 관리 기본계획에 따라, 라돈 고노출원, 고노출지역 집중관리를 위한 라돈 관리 계획 수립지원, 국민의 라돈 인식도 제고 등 라돈으로부터 안심할 수 있는 실내 환경조성을 위하여 노력하고 있습니다.

### 라돈지도

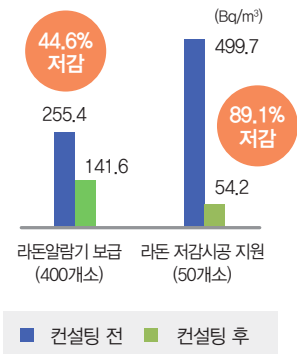
라돈지도란 전국 주택 라돈조사('11~'18년)결과를 바탕으로 행정구역별 평균을 확인할 수 있는 지도입니다. 환경부는 지속적인 실내라돈 집중조사를 통해 체계적 관리 기반 마련을 위한 국가기초자료를 확보하고 있습니다.

### 환기 매뉴얼 보급 및 라돈 저감 컨설팅

라돈으로 인한 인체 피해를 예방하기 위해 '라돈 환기 매뉴얼' 및 '라돈 저감 관리 매뉴얼'을 제작, 보급하고 라돈 노출에 취약한 주택 및 주민공동이용시설(마을회관, 경로당 등)을 대상으로 실내 라돈 무료 측정과 자발적으로 실내 라돈을 저감 관리 할 수 있는 맞춤형 라돈 저감 컨설팅을 진행하여 라돈 위험으로부터 국민 건강을 보호하고 있습니다.

### 지역별 맞춤형 라돈 관리계획 수립 지원 및 실내 라돈 정밀측정

대전광역시를 시작으로 환경부-지자체 공동 지역 라돈 관리계획을 수립하고 있으며, 대전광역시의 경우 행정복지센터 라돈 간이측정기 무료대여 사업, 주택 및 영유아시설 등에 대한 실내 라돈 정밀조사 실시 등 지자체별 특성에 맞는 라돈 저감 관리 정책을 마련하여 라돈으로 인한 시민 불안감 해소와 방사능으로부터 안전한 실내환경을 조성하고 있습니다.



출처: 한국환경공단 '21년도 라돈저감효율

### 전문가 칼럼

#### 우리 생활 속 방사성물질 '라돈'

태초부터 지구상에 존재해왔던 자연 방사성 기체인 라돈은 연간 사람이 노출되는 자연방사선의 50%가 라돈에 의한 것으로 토양, 지하수, 암석 등에서 발생합니다.

라돈의 실내 유입 및 노출경로로는 건물 하부의 갈라진 틈, 우수 배관로, 건축자재, 지하수 이용 등 다양한 경로에서 유입될 수 있고 특히 토양과 인접한 주택이나 바닥과 벽 등에 균열이 많은 오래된 건축물, 밀폐도가 높고 환기시설이 부족한 건축물 등이 라돈 노출에 취약한 환경입니다. 현재 연구로는 라돈이 인체에 나쁜 영향을 끼치지 않는 안전한 양에 대한 것이 밝혀지지 않은 상황이고 단지 오랫동안 지속적으로 라돈에 노출되었을 경우 폐암 발생 위험이 뚜렷하게 증가한다는 것으로 나타났습니다.

주택 내 다양한 발생원(토양, 지하수, 건축자재 등)에 의해 실내 라돈은 지속적으로 영향을 받기 때문에, 주기적인 환기를 통해 라돈을 외부로 배출시켜야 합니다. 또한 기존 건물의 틈새 차단, 토양 라돈 배출 장치 도입 등의 방법도 라돈의 위험으로부터 벗어나는데 도움이 됩니다. 대전광역시 환경보건센터에서는 지질 분포를 고려하여 토양 라돈을 측정하고 라돈 지도 작성하였으며, 라돈 취약지역 가구를 대상으로 겨울철 실내 라돈 측정계획을 통해 시민들의 건강 보호를 위해 최선의 노력을 다하고 있습니다.



황석연 센터장 대전광역시 환경보건센터

- 강원 강원대학교병원 환경보건센터
- 충남 순천향대 천안병원 환경보건센터
- 서울 서울대 의과대학 환경보건센터
- 인천 가천대학교 환경보건센터
- 대전 대전대학교 환경보건센터
- 울산 울산대학교병원 환경보건센터

- 부산 동아대학교 환경보건센터
- 충북 충북대학교병원 환경보건센터
- 제주 제주대학교 환경보건센터
- 순천향대 구미병원 환경독성 환경보건센터
- 한국환경연구원 환경빅데이터 환경보건센터
- 서경대학교 환경보건 연구정보 환경보건센터

- 원주세브란스기독병원 건강빅데이터 환경보건센터
- 가톨릭대학교 전문인력육성 환경보건센터
- 서울시립대학교 전문인력육성 환경보건센터
- 인하대병원 전문인력육성 환경보건센터
- 한국환경보건학회 전문인력육성 환경보건센터

# 라돈과 건강영향 관련 연구 동향

## 라돈과 환경성 질환 Radon and environmental diseases

오성수 외(연세대학교 원주의과대학)

### 배경 및 목적

과거 광산에서 일하는 광부들을 대상으로 한 코호트 연구에서 흡연자이든 비흡연자이든지 일관되고 뚜렷한 위험의 증가를 보고하였고, 동물실험연구 등에서도 확인되었다. 이를 근거로 1988년 World Health Organization 산하기관인 국제 암연구소(International Agency for Research on Cancer)에서는 라돈을 명확한 발암물질(group I)로 분류하였다. 외국의 라돈과 폐암에 대한 역학 연구 중에서 이전에 광부들을 대상으로 한 코호트 연구들과 1980년대부터 시작된 일반 사람들을 대상으로 한 북미, 유럽 및 중국에서 시행된 환자 대조군 연구들을 살펴보고자 한다.

### 방법

**Table 2.** Summary of risks of lung cancer from indoor radon based on international pooling studies that have combined individual data from a number of case-control studies and on studies of radon exposed miners

	No. of studies	No. of lung cancer	No. of controls	Exposure window (yr) <sup>a)</sup>	Percentage increase in risk of lung cancer per 100 Bq/m <sup>3</sup> increase in radon concentration <sup>b)</sup>	
					Based on measured radon	Based on long term average radon
Pooled analysis of studies of indoor radon in the home						
European	13	7,148	14,208	5-35	8 (3-16)	16 (5-31)
North American	7	3,662	4,966	5-30	11 (0-28)	
Chinese	2	1,050	1,995	5-30	13 (1-36)	

From World Health Organization. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2009 [7].

<sup>a)</sup> Considering radon concentrations during the period starting 35 years before and ending 5 years before the date of diagnosis for cases of lung cancer, or a comparable date for controls.

<sup>b)</sup> Adjusting for year-to-year random variability in indoor radon concentration

### 그림 1. 실내 라돈 농도와 폐암 관련성 연구 동향 분석

지하 광산에는 상대적으로 라돈 농도가 높아 광산에서 일하는 광부들을 대상으로 사망패턴을 살펴보는 연구들이 있었는데, 다른 암 또는 질환에 비하여 폐암에 대한 사망률이 높은 것을 보여주었다. 11개의 선행연구를 모두 모아 분석해보면, 연구 대상자는 약 60,000명의 광부들이 되었고, 평균 누적 노출 기간은 5.7년이었고, working level month (WLM; 광부들을 대상으로 한 연구에서는 라돈 농도를 WLM로 표현하였는데, 이는 공기 1L 안에 1.3x10<sup>5</sup> MeV의 에너지를 방출하는 알파입자로 정의된다)로 나타낸다면 평균 164.4 WLM에 해당하였다. 이것은 일 반 실내 라돈 농도로 환산해보면 약 20년 동안 2,000 Bq/m<sup>3</sup>의 라돈 농도에 노출되는 것에 해당한다.

### 결과

연구 결과를 보면 연령을 보정 하였을 때 공기먼지증 환자에서 일반 인구에 비하여 폐암 발생률이 높음을 보고하였고, 이에 의하여 공기먼지증 환자에서 폐암이 합병증으로 발생할 경우, 보상해주는 근거가 되었다. 그러나 이 연구는 라돈에 대한 영향을 말하기가 어렵다. 하지만, 공기먼지증이 있는 탄광 근로자의 경우 탄분진 및 유리, 규산 등 호흡기계에 독성이 있는 분진에의 노출뿐만 아니라, 라돈의 노출도 상당한 영향을 주었을 것으로 판단된다.

### 결론

환경부에서는 2010년 7월 라돈과 폐암과의 인과성을 밝히고 국가 라돈 관리체계 구축을 위한 자연방사능 환경보건센터를 지정하였다. 현재 폐암으로 확진된 환자의 집을 방문하여 개인 수준의 실내 라돈 농도를 측정하는 프로젝트를 진행하고 있어 그 결과에 따라 향후 우리나라에서의 라돈에 의한 건강 영향 특히 폐암에 대한 인과성이 밝혀질 것으로 기대된다.

[출처: Sung Soo Oh, MD·Sang Baek Koh, MD·Suk Joong Yong, MD Departments of Preventive Medicine and Internal Medicine, Yonsei University Wonju College of Medicine, Wonju, Korea ]

-대전환경보건센터 김명훈 연구조사팀장 편집 -

# 환기 방식에 따른 실내 라돈 농도 비교

## Effect of Ventilation Rate on Indoor Radon Concentration in a Residential Building

이병희 외(한국토지주택공사)

### 배경 및 목적

공동주택의 실내 라돈 관리를 위한 효과적인 방법 중 하나는 외기를 이용한 환기이다. 일반적으로 대기 중 라돈 농도는 5 ~ 20 Bq/m<sup>3</sup>로 실내 라돈 농도에 비해 낮다. 또한 외기 도입은 라돈뿐만 아니라 실내 존재하는 다른 오염물질 제거에도 효과적이다. 다만 라돈의 실내 방출량에 따라 적정 환기량, 환기 시간 등이 달라질 수 있기에 공동주택의 실내 라돈 특성을 고려한 적정 환기 방안 제시가 필요하다. 이에 본 연구에서는 현장 실험을 통해 환기 방식에 따른 실내 라돈 농도 변화를 실시간 측정하여 환기 방식별 실내 라돈 저감 효과를 분석하였다.

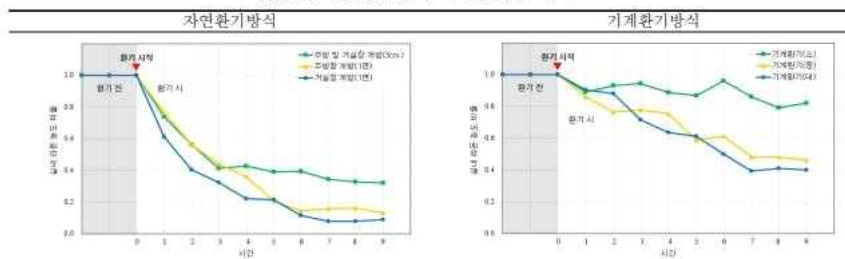
### 방법

실내 라돈 농도 측정은 2020년 12월, 실내 공기질 공정시험기준을 준수하여 거실을 기준으로 1.3m 높이에서 수행하였다. 측정 장비는 라돈 연속 측정 장비인 RAD7 Radon Detector (DurrIDGE Co., USA)이다. 측정 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 3대의 RAD7을 이용하여 동시에 측정하였다. 실내 라돈 농도를 측정하기 전 30분 이상 환기 후 외부와 연결되는 공동주택의 모든 창문과 문을 닫은 채 14시간 이상 밀폐하였다. 실내 라돈 수준을 고농도로 조성한 상태에서 환기 방식에 따른 실내 라돈 농도 변화를 10분 단위로 측정하였다. 환기 방식은 창문을 개방하는 자연환기방식(환기량 0.6 ~ 10 ACH) 및 기계환기방식(환기량 0.3 ~ 0.7 ACH) 각 3가지씩 적용하였다.

Table 1 환기방식별 실내 라돈측정 개요



Table 2 환기방식별 실내 라돈농도 변화



### 결과 및 결론

측정 결과에 따르면 1시간 동안 자연환기 시, 약 20 ~ 40% 내외로 실내 라돈 저감효과가 발생한다. 주방 및 거실창 개방(3cm) 시 약 26%, 주방창 개방 시 약 23%, 거실창 개방 시, 약 39% 저감된 것으로 나타났다. 1시간 동안 기계환기설비 가동 시, 약 10 ~ 14% 내외로 실내 라돈 저감효과가 발생한다. 실내·외 환경조건, 기계환기설비 성능요건, 공동주택의 기밀성능 및 세대 내 라돈 방출량 등에 따라 실내 라돈 농도 저감효과는 달라질 수 있다.

[출처: Land & Housing Institute, 66 Raon-ro, Sejong, 30065, Korea]

-대전환경보건센터 김명훈 연구조사팀장 편집 -

## 실내 라돈 농도에 미치는 온도 및 습도의 영향 Effect of temperature and humidity on indoor radon concentration

윤덕경 외(한국폴리텍대학, 서울시립대학교)

### 배경 및 목적

실내 온도 및 습도의 변화는 실내 라돈 농도에 영향을 미칠 수 있으나, 실제 실내환경에서 온도 및 상대습도만을 변화시키고 이에 따른 실내 라돈 농도의 변화 측정하여, 실내 온도 및 상대습도가 실내 라돈 농도에 미치는 영향을 실험적으로 알아본 연구는 조사되지 않았다. 실내 온도 및 상대습도 변화가 실내 라돈 농도에 미치는 영향을 실험적으로 알아보았다. 측정된 실험 결과와 통계분석을 이용하여 실내 온도 및 상대습도와 실내 라돈 농도와의 관계를 알아보았다.

### 방법

온도 및 상대습도 변화가 실내 라돈 농도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 온도 및 상대습도를 이용하여 온도는 10°C, 20°C, 30°C로, 상대습도는 20%, 50%, 80%로 각각 설정하며 각 조건에서의 온도, 상대습도, 라돈 농도를 측정하며 총 9번을 실험했다. 각 실험 당 총 84시간을 측정 한 후, 측정 시작부터 12시간까지의 데이터는 사용하지 않고, 이후의 총 72시간의 데이터를 사용해 상대습도 및 온도가 미치는 영향을 분석했다.



〈그림 2〉 온도 20°C, 상대습도 50% 조건에서 총 84시간 동안 측정된 온도, 상대습도, 라돈 농도 값

### 결과

총 9번의 실험 중 각각 72시간 동안 측정된 온도, 상대습도, 라돈 농도 측정값을 이용해 분석했다. 각 실험에서 측정된 온도와 상대습도의 평균 및 표준편차 값을 통해서 실험 시 설정한 조건들로 온도 및 상대습도가 일정하게 유지된 것을 확인했다. 또한 실내 온도가 증가할수록 라돈 농도는 감소하는 관계가 있다는 것을 발견했다.

### 결론

실내 온도와 라돈 농도의 경우, 상대습도와 관계없이 온도가 증가할 경우 라돈 농도는 감소하는 경향을 보였다. 토양 라돈가스 유입이 없는 상황에서 실내 온도가 증가하면 대류에 의한 공기 순환과 라돈 확산 계수가 증가하여 실내 라돈 농도는 감소할 수 있다. 이러한 이유로 실내 온도가 증가할수록 라돈 농도는 감소하는 경향을 보인 것으로 보인다. 상대습도의 경우, 온도가 30°C 인 경우를 제외하고는 모두 상대습도가 증가하면 라돈 농도도 증가하는 경향을 보였다. 습도가 증가하면 벽돌, 시멘트 등의 건축 자재에서 방출되는 라돈가스의 양이 증가할 수 있다. 이러한 이유로 상대습도가 증가할수록 실내 라돈 농도도 증가하는 경향을 보인다. 하지만, 상대습도보다는 온도가 실내 라돈 농도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

[출처: Deog-Gyeong Yoon+, Jai-Won Chung\*, Byoung-Bin Min\*, Sung-Hyun Youn\*, Jae-Chang Hwang\*, Hyun-Kab Kim\*, Gyu-Sik Kim\*\*+Chuncheon Campus Of Korea Polytechnic, \*Dept. of Electrical and Computer Eng., The Univ. of Seoul ]

-대전환경보건센터 김명훈 연구조사팀장 편집 -