

생활 속 자연방사성 물질, 라돈의 이해

L I F E R A D I A T I O N

02

라돈의 인체위해성 및 국내외 라돈 실태 현황

1. 라돈의 인체 위해성

1) 주로 폐암을 일으키는 라돈

세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC: International Agency of Research on Cancer)에서는 라돈을 1군 발암물질로 규정하고 있다. 과거 광산에서 일하는 광부들을 대상으로 흡연 유무와 상관없이 라돈 노출에 대해 일관되게 뚜렷한 위험의 증가가 보고되었고, 동물실험 연구 등에서도 확인되었다. 외국의 라돈과 폐암에 대한 역학 연구 중에서 지하 광산은 상대적으로 라돈 농도가 높기 때문에 광산에서 일하는 광부들을 대상으로 사망패턴을 연구한 결과 다른 암 또는 질환에 비해 폐암에 대한 사망률이 높은 것으로 나타났다(한국환경공단, 2016).

<표 1> 국제암연구소(IARC)의 발암물질 구분

구분	내용	예시
1군 (발암물질)	충분한 인간대상 연구자료와 충분한 동물실험결과가 있는 경우	담배, 석면, 라듐, 라돈, 벤젠, 미세먼지
2A군 (발암추정물질)	제한적 인간대상 연구자료와 충분한 동물실험결과가 있는 경우	야간근무교대, 석유정제
2B군 (발암가능물질)	제한적 인간대상 연구자료와 불충분한 동물실험결과가 있는 경우	무선주파수 전자기장, 극저주파 자기장, 절인채소, 납
3군 (발암성비분류물질)	불충분한 인간대상 연구자료와 불충분한 동물실험결과가 있는 경우	차, 잉크, 페놀, 카페인
4군 (비발암성추정물질)	인간에서 발암가능성이 없으며 동물 실험결과도 부족한 경우	나일론 원료

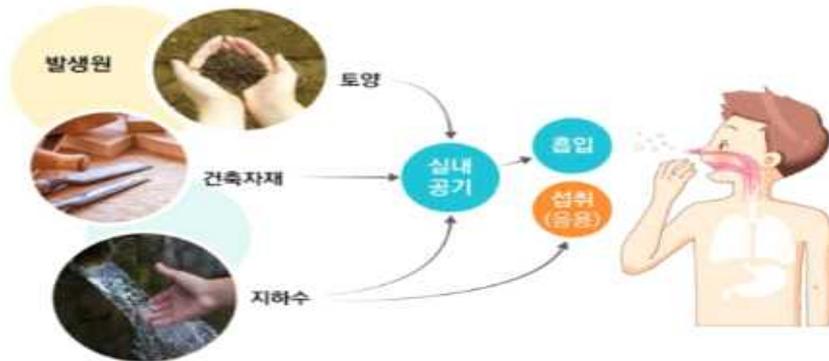
※ 출처 : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>

2009년 세계보건기구(WHO)가 다수의 국가 대상으로 라돈의 인체영향에 관한 연구 결과 라돈이 전 세계 폐암 발병원인의 3~14%를 차지한다고 보고한 바 있다(환경부, 2011). 우리나라의 경우 전체 폐암 사망자의 12.6%가 실내 라돈에 의한 것이라고 추정하고 있다. 외국의 경우 라돈에 의한 폐암 발생 위험도가 스웨덴은 20%, 미국 14.4%, 독일 7%, 네덜란드 4%로 학계에 보고된 바 있다(신용승, 2014).

2) 라돈의 인체 노출경로

라돈은 우리가 지하수를 마시거나 사용할 때 그리고 공기 중으로 숨을 쉴 때 몸 안으로 들어온다. 우리 몸으로 들어오는 전체 라돈의 약 95%는 공기 중으로 숨을 쉴 때 들어오는 것이고, 나머지 약 5%는 지하수를 마실 때 노출되는 것으로 알려져 있다. 우리 몸에 노출되

는 라돈은 대부분 공기 중에 있는 것으로, 그 중에서도 특히 실내 공기 중에 있는 라돈에 가장 많이 노출된다(환경부, 2016).

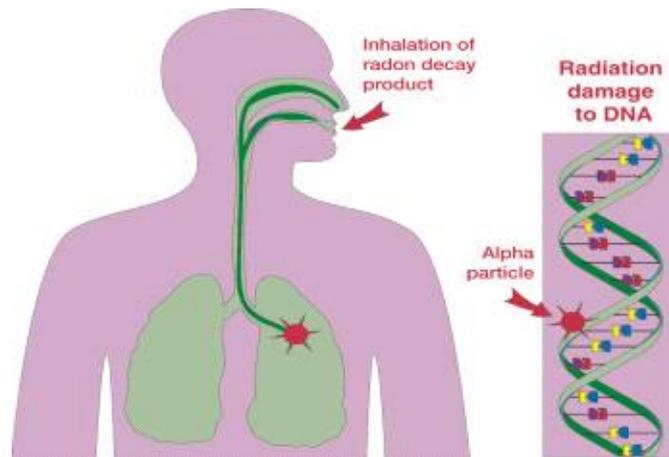


※ 출처: 환경부(2016), 생활 속 자연방사성 물질, 라돈의 이해, p.21.

<그림 1> 라돈의 인체 노출경로

3) 라돈에 의한 폐암 유발 기전

라돈가스 자체는 인간이 호흡할 때 들어와도 대부분이 날숨을 통해 나가지만 라돈이 반감기를 거치면서 생성되는 라돈 자핵종은 양(+)전하를 띠고 있어 미세한 수증기 방울, 담배연기, 먼지 등에 쉽게 달라붙게 된다. 이들이 호흡기를 통하여 폐로 들어가게 되면 폐기도에 부착하여 납(^{210}Pb)까지 붕괴되는 동안 알파(α)선, 베타(β)선, 감마(γ)선을 방출한다. 즉, 알파(α)선에 지속적으로 노출된 폐 기저세포가 변이를 일으켜 폐암이 유발된다(환경부, 2011).



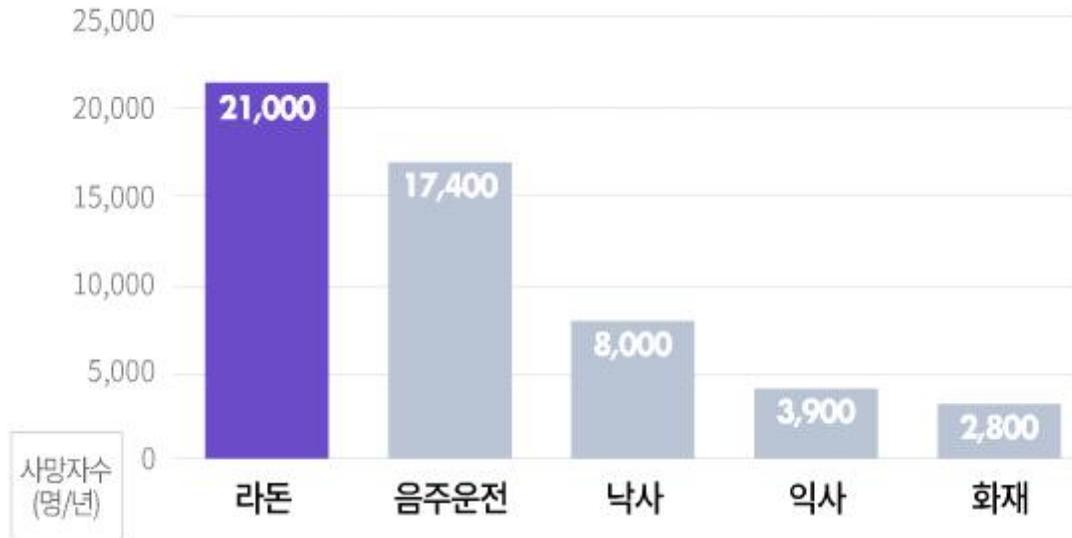
※ 출처: <https://ce4nurses.org/wp-content/uploads/2014/07/Diagram-4.png>

<그림 2> 라돈에 의한 폐암 유발 기전

4) 라돈의 위해도

2003년 미국 환경청인 EPA(Environmental Protection Agency)는 폐암 사망의 제2의 원인으로 미국인의 연간 폐암 사망자의 10% 이상인 약 21,000명 정도가 라돈 노출에 의한 것으로 발표하였다. 이는 대기오염에 의한 사망 위험 보다 10배 이상 높으며, <그림 3>처럼 라

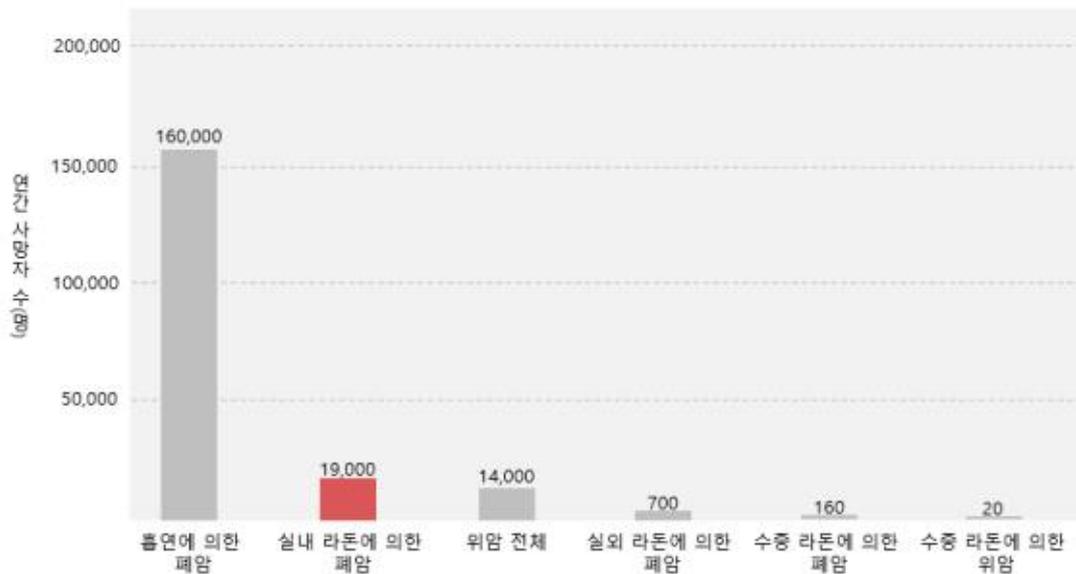
돈에 의한 사망자 수(21,000명)가 음주운전에 의한 사망자 수(17,400명)보다 높다는 것을 알 수 있다.



※ 출처: EPA Assessment of Risks from Radon in Homes (EPA 402-R-03-003)

<그림 3> 라돈의 건강 위해성

<그림 4>에서 미국내 폐암 발생원인별 연간 사망자 수는 흡연 160,000명, 실내 라돈 19,000명, 실외 라돈 700명, 수중 라돈 160명 수준인 것으로 나타났으며, 폐암 이외에 위암의 경우 수중 라돈에 의한 위암으로 20명인 것으로 추정하고 있다.



※ 출처: EPA Assessment of Risks from Radon in Homes (EPA 402-R-03-003)

<그림 4> 미국 내 폐암 및 위암에 의한 연간 사망자 수

1999년 발간된 음용수 내의 라돈에 관한 미국 국립과학원(NAS:National Academy of Science)의 보고서에 의하면 먹는 물속의 라돈에 의해 발생된 치명적인 암들의 90%는 샤워 등 물로부터 실내 공기 중으로 나온 라돈의 흡입에 의한 폐암이었으며, 약 10%가 라돈이 포함된 물을 마심으로 인해 발생된 위암이었던 것으로 보고하고 있다. 또한 미국 암학회의 코호트 조사에 의하면 라돈 농도가 100 Bq/m³ 증가하면 폐암으로 인한 사망률이 15% 증가하는 것으로 보고하고 있다(한국환경공단, 2016).

5) 라돈과 흡연의 폐암 발생 상승작용

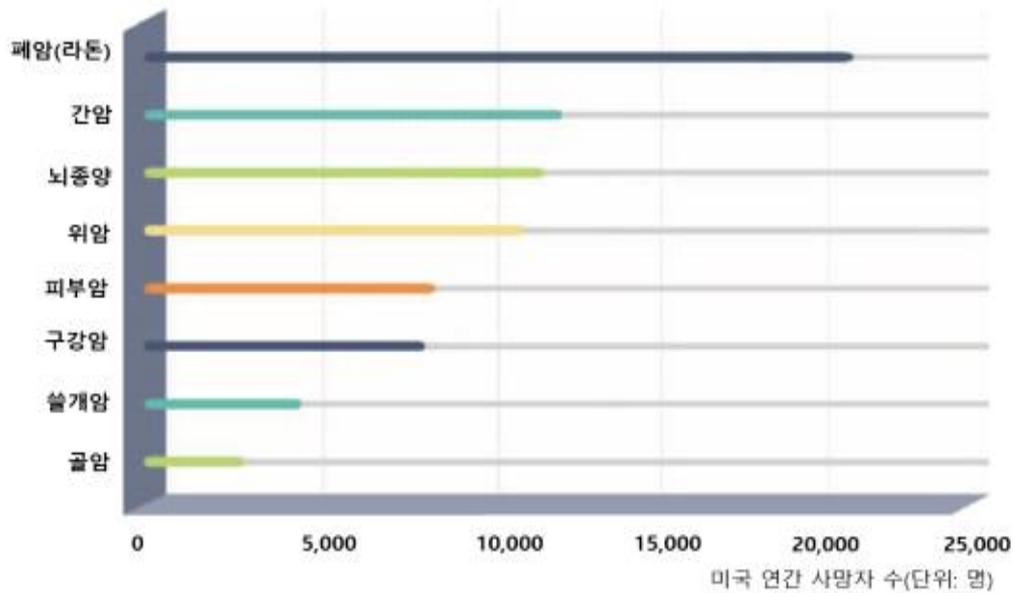
2012년에 미국 환경보호청(EPA)에서 발간한 '라돈에 대한 시민안내서(A Citizen's Guide to Radon)'에 따르면, 권고기준인 148 Bq/m³의 라돈에 평생 노출될 경우 흡연자는 1,000명 중 약 62명(6.2%), 비흡연자는 1,000명 중 약 7명(0.7%)이 폐암에 걸릴 수 있는 것으로 보고 있다.

<표 2> 라돈농도별 흡연자 및 비흡연자의 폐암발생률

라돈농도 (Bq/m ³)	폐암발생률 (1,000명당)		기타 사고와의 위험도 비교	조치사항
	비흡연자	흡연자		
740	36명	260명	익사사고 위험의 35배	즉시 주택 수리
370	18명	150명	화재사고의 20배	
296	15명	120명	돌연사의 4배	
148	7명	62명	자동차 사고의 1배	
74	4명	32명	독성물질에 의한 사고의 1배	주택 수리 고려
48.1	2명	20명	평균 실내 라돈농도	현재 농도 유지
14.8	-	3명	평균 실외 라돈농도	

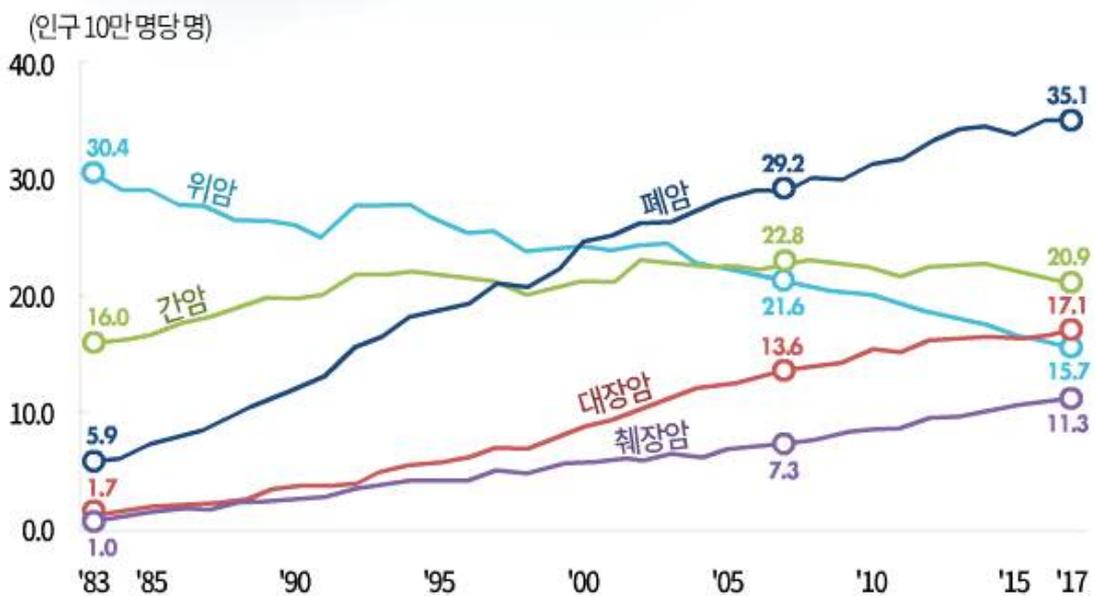
※ 출처: EPA Assessment of Risk from Radon in Homes(EPA 402-R-03-003)

<그림 5>에서 미국 연간 사망자 수 중에서 라돈에 의한 폐암 발생이 다른 유형의 암에 비해 월등히 높은 것을 알 수 있다.



※ 출처: <http://www.epa.gov/radiation/radionuclides/radon.html>
 <그림 5> 라돈에 의한 폐암 및 기타 암 발생 빈도 비교(2003년)

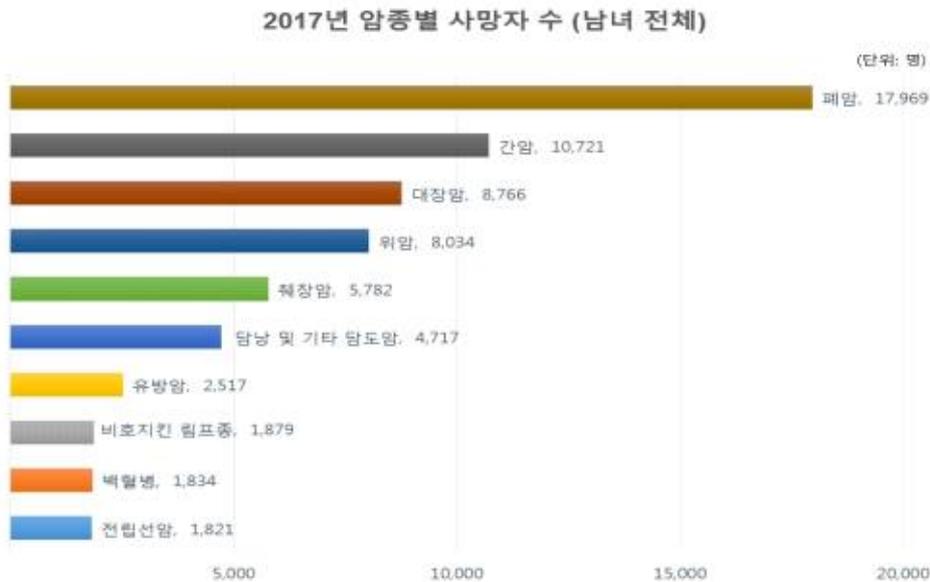
2017년 우리나라 암 사망률은 폐암(35.1명), 간암(20.9명), 대장암(17.1명), 위암(15.7명), 췌장암(11.3명) 순으로 높았다. 10년 전에 비해 폐암, 대장암, 췌장암 사망률은 증가하였으며, 위암, 간암 사망률은 감소하는 추세이다(통계청, 2018).



※ 출처: 통계청 보도자료(2018.9.19.) 2017년 사망원인통계, p.13.
 <그림 6> 암 사망률 추이(1983~2017년)

2017년 우리나라 총 사망자 수는 285,534명으로 암으로 사망한 사람은 총 78,863명으로

전체 사망자의 27.6%가 암으로 사망하고 있다. 사망률이 가장 높은 암종은 폐암(전체 암사망자의 22.8%인 17,969명)이었으며, 다음으로는 간암(13.6%), 대장암(11.1%), 위암(10.2%), 췌장암(7.3%) 순이다(통계청, 2018). 신용승(2014)의 2010년 기준 우리나라의 실내 라돈에 의한 초과폐암사망률 12.6%를 참고로 2017년 폐암 사망자 수(17,969명)에 적용해 보면 2,264명이 라돈에 의한 폐암으로 사망한 것으로 추정해 볼 수 있다.



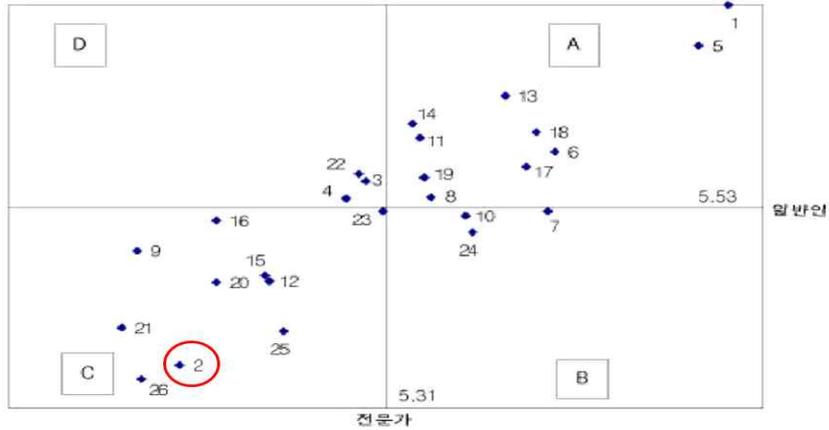
※ 출처: 국가암정보센터(<https://www.cancer.go.kr/lay1/S1T645C646/contents.do>)
 <그림 7> 2017년 암종별 사망자 수(남녀 전체)

2. 국내 라돈 인식도 현황

국내 라돈 인식도 관련해서 773명의 일반인과 353명의 환경전문가를 대상으로 위해도 인식에 따른 환경 제를 분류한 연구 사례가 있다(박종연, 2001). 일반인과 전문가집단의 위해도 인식에 따라 환경문제를 분류하기 위해 일반인의 인식과 전문가집단의 인식을 각각 가로와 세로축으로 하여 세부적인 환경문제들의 위치를 도식화한 결과는 <그림 8>과 같다.

그림에서 일반인과 전문가 집단에서 상대적으로 위해 인식도가 높은 환경문제로는 그림 A영역에 해당하는 물질로 '자동차 배기가스', '공단의 대기오염 배출물질', '가정과 공장 및 축산폐수 유입으로 인한 지표수 오염', '농약 등에 의한 지표수 오염', '공장 및 병원폐기물', '유해화학물질로 인한 대기오염', '산성비', '지하수오염', '쓰레기 및 음식찌꺼기', '산업폐수 및 기름유출로 인한 해양오염' 인 것으로 나타났다.

한편, 전문가 집단에 비해 상대적으로 일반인에서 위해도가 더 높게 인식되는 환경문제들은 그림 B영역에 해당하며, '이산화탄소 증가와 지구온난화 현상', '성층권의 오존층 파괴', '다이옥신'인 것으로 나타났다. 전문가 집단이 일반인에 비해 위해도를 더 높게 인식하는 문제로는 그림 D영역에 해당하며, '대기 중 먼지(분진)', '담배연기(흡연)', '농약살포로 인한 음식물 오염'인 것으로 나타났다. 그림 C영역에 해당하는 일반인과 전문가집단에서 공통적으로 위해도가 낮게 나타난 문제는 '실내공기 중의 라돈', '악취공해', '방사능오염', '전자파'인 것으로 나타났다.



- | | | |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 1. 자동차 배기가스 | 10. 성층권의 오존층 파괴 | 19. 쓰레기 및 음식찌꺼기 |
| 2. 실내공기 중의 라돈 | 11. 농약유입으로 인한 지표수오염 | 20. 소음, 진동공해 |
| 3. 대기 중 먼지(분진) | 12. 병원성 미생물로 인한 음용수의 오염 | 21. 악취공해 |
| 4. 담배연기(흡연) | 13. 가정, 공장 및 축산폐수 유입으로 인한 지표수의 오염 | 22. 농약살포로 인한 음식물오염 |
| 5. 공단의 대기오염 배출물질 | 14. 지하수오염 | 23. 환경호르몬 |
| 6. 유해화학물질로 인한 대기오염 | 15. 수돗물 염소소독과 소독부산물로 인한 음용수의 오염 | 24. 다이옥신 |
| 7. 이산화탄소증가와 지구온난화현상 | 16. 토양오염 | 25. 방사능오염 |
| 8. 산성비 | 17. 산업폐수 및 기름유출로 인한 해양오염 | 26. 전자파 |
| 9. 실내공기오염 | 18. 공장 및 병원폐기물 | |

출처: 박종연 외(2001). 일반인과 전문가의 환경문제에 대한 위해도 인식 차이. *KORJ.ENVIRON.TOXICOL.* Vol.16, No.2, p.79.

<그림 8> 위해도 인식에 따른 환경문제 분류

이외에 김신도 외(2016)의 연구사례에 의하면 환경부에서 수행하는 2015년 전국 10,000세대 전국 라돈실태조사 조사대상자 중 설문에 동의한 5,000명을 대상으로 수행한 설문조사에서도 조사대상자의 약 85% 이상이 라돈이 무엇인지 잘 모르고 있는 것으로 조사되어 라돈에 대한 국민의 인식도가 매우 낮은 수준인 것으로 나타났다. 또한 라돈의 물리적 특성에 대한 인식도와 라돈 위해에 대한 인식도 및 국내 라돈의 권고 기준을 알고 있는가에 대한 질의에 대해 매우 낮은 인식도를 가지고 있으며, 응답자의 약 70% 이상이 국내 라돈의 권고기준을 모르고 있는 것으로 나타났다.

이는 폐암을 유발하는 발암물질이면서 사람이 감지하기 어려운 방사성 물질임에도 불구하고 라돈에 대한 국민의 인식도는 낮은 수준인 것을 알 수 있다.

3. 국내외 라돈 실태 및 관리 현황

1) 국내

① 라돈 실태조사 및 라돈지도 제작

환경부는 2008년부터 국내 실내 라돈농도를 파악하기 위하여 '전국 실내라돈 실태조사'를 실시하고 있다. 2008~2010년에는 전국의 초등학교, 관공서, 다중이용시설을 대상으로 조사하였고, 2010년부터는 주택을 대상으로 실내 라돈농도를 조사하고 있다. 조사 결과는 라돈농도가 높은 지역과 취약한 건물 유형을 파악하고, 관리방안 및 권고기준을 마련하는 등 라

돈 관리정책을 마련하는 데 필요한 기초자료로 사용된다.

또한 '전국 실내 라돈 실태조사' 결과를 한눈에 쉽게 볼 수 있도록 라돈지도를 만들고 있다. 라돈 지도는 라돈 캠페인 계획, 고위험 또는 라돈 유의지역 판별, 라돈 측정 독려와 기존 건물 및 신규 건물의 라돈 저감 방안 고려를 위한 정보를 제공할 수 있다. 라돈 지도에서 라돈 수치가 기준치 이내에 해당하는 지역이어서 라돈 측정이 필요하지 않은 지역을 의미하는 것은 아니다. 라돈지도는 행정구역별로 다중이용시설, 면·동사무소, 학교, 주택 등 다양한 실내 공간의 평균 라돈농도를 구분하여 나타낸 것이다. 라돈지도는 조사 시기별, 시·도 및 시·군·구별, 장소 종류별로 구분하여 만들고 있으며, 누구나 볼 수 있도록 생활환경정보센터(<http://iaqinfo.nier.go.kr>)를 통해 공개하고 있다(환경부, 2016).



<그림 9> 생활환경정보센터 사이트(<http://iaqinfo.nier.go.kr>)

② 교육 및 홍보

일반인과 건축시공자 등 관련 사업자를 대상으로 라돈 관련 교육을 실시하고 있다. 생활환경정보센터(<http://iaqinfo.nier.go.kr>)에서는 홍보동영상, 홍보책자, 라돈 저감 매뉴얼 등을 통해 라돈에 대한 다양한 정보를 제공하고 있다(환경부, 2016).

③ 실내 라돈 분포 현황

국내 다중이용시설 및 공동주택 라돈 관리를 위한 권고기준은 148 Bq/m^3 이다. 연도별 주택 라돈 조사 결과는 아래 <표 3>와 같다. 국립환경과학원(2019)에 의하면 2011년부터 2018년까지 전체 29,714개의 지점에 대한 평균 라돈 농도는 99.1 Bq/m^3 이었으며, 라돈 권고기준을 초과한 지점수는 4,788개 지점으로 전체 지점의 16.1%를 차지하는 것으로 나타났다.

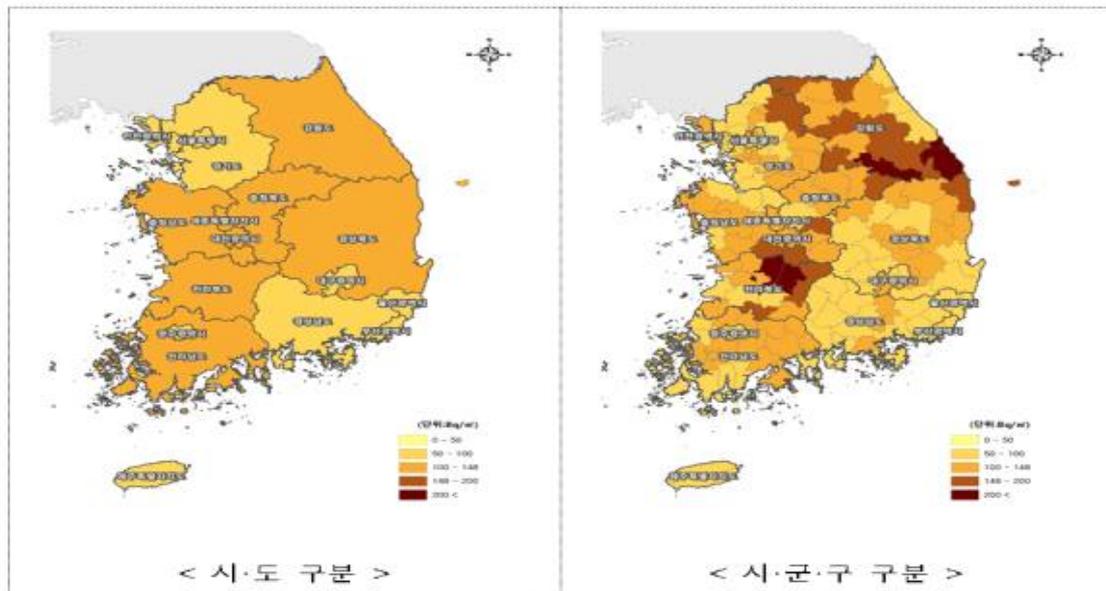


※ 출처: 생활환경정보센터 사이트(<http://iaqinfo.nier.go.kr>)

<그림 10> 라돈 저감 매뉴얼
 <표 3> 연도별 주택 라돈 조사 결과

구 분	지점수 (개소)	평균 (Bq/m ³)	148 Bq/m ³ 초과	
			비율 (%)	지점수
전체('11~'18)	29,714	99.1	16.1	4,788
제1차('11~'12)	7,885	124.9	22.2	1,752
제2차('13~'14)	6,648	102.0	16.3	1,082
제3차('15~'16)	7,940	95.4	15.8	1,256
제4차('17~'18)	7,241	72.4	9.6	698

전국 실내 라돈 지도(2011-2018년)에서 시군구로 라돈 농도를 구분한 지도를 통해 권고기준인 148 Bq/m³ 을 초과한 곳이 많은 지역은 화강암이 많이 분포한 지역은 강원, 대전, 전북 지역인 것으로 나타났다.



※ 출처: 국립환경과학원 생활환경연구과 보도자료(2019.4.4)

<그림 11> 전국 실내 라돈 지도(2011-2018년)

④ 라돈관리제도

환경부는 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」에 의해 다중이용시설과 신축공동주택을 대상으로 라돈 권고기준을 148 Bq/m^3 로 2년에 1회 측정하는 것으로 규정하고 있다.

교육부는 「학교보건법」에 의해 초·중·고등학교 1층 이하 교실 대상으로 의무기준으로 148 Bq/m^3 로 정하여 실내 라돈을 관리하고 있다.

고용노동부에서는 2018년에 작업장 라돈 노출기준을 600 Bq/m^3 으로 제정 고시하였다. 이는 연간 2,000시간 근무(월 8시간, 주5일)를 가정할 경우 국제방사선방호위원회(ICRP: International Committee of Radiation Protection)의 권고기준인 10 mSv(밀리시버트)에 해당되는 수치이다. 일반인의 피폭방사선량은 연간 1 mSv(밀리시버트)이하이다.

원자력안전위원회는 「생활주변방사선 안전관리법」을 통해 다양한 공산품 내 존재하는 자연방사성 물질의 감시와 유통 등에 관한 관리를 하고 있다.

또한 국토교통부·환경부·원자력안전위원회에서 건축자재에서 방출되는 라돈 관리 체계 마련을 추진 중이다(환경부, 2016).

⑤ 라돈 무료 측정 및 저감 컨설팅 서비스

환경부는 라돈 노출에 취약한 1층 이하 주택 및 주민공동이용시설(마을회관, 경로당 등)을 대상으로 실내 라돈 무료 측정과 자발적으로 실내 라돈을 저감관리할 수 있는 맞춤형 라돈 저감 컨설팅을 실시하고 있다. 한국환경공단 홈페이지(<http://www.keco.or.kr/>) 하단의 '라돈 무료측정 저감 컨설팅'에서 신청할 수 있다.



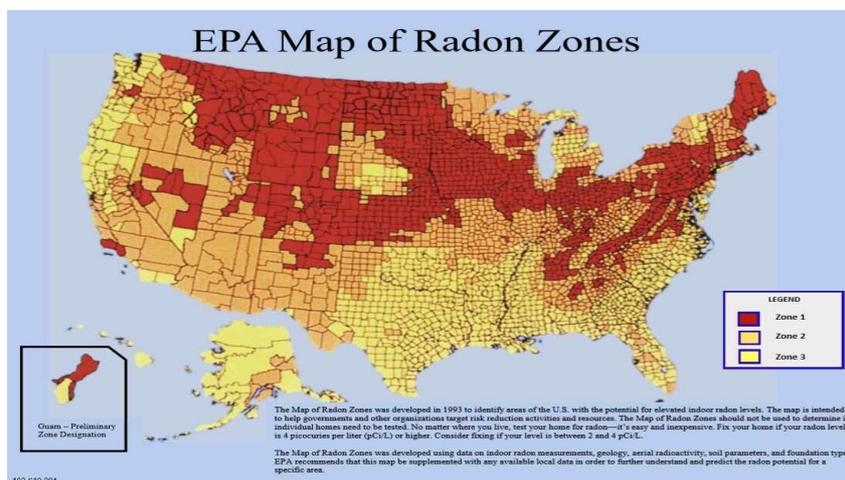
※ 출처: 한국환경공단 사이트(<http://www.keco.or.kr/kr/main/index.do>)
 <그림 12> 라돈 무료 측정 및 저감 컨설팅 서비스 사업(붉은색 표기)

2) 국외

① 라돈 지도 제작

전국을 대상으로 라돈 지도를 작성한 주요 나라로는 미국, 캐나다, 유럽을 들 수 있다. 대표적으로 미국의 경우 환경청(EPA, Environmental Protection Agency)에서는 주택 실내 라돈조사 자료와 미국 지질조사본부(USGS: U.S Geological Survey)의 지질 자료를 기반으로 3개 구역(Zone)으로 분류하여 라돈 지도를 작성하였다. 아래 <그림 8>의 라돈지도에서 붉은색의 구역(Zone) 1은 실내 라돈 농도가 148 Bq/m³ 이상인 지역을 의미한다.

이 라돈 지도는 라돈 유의지역을 결정하기 위하여 5가지 인자를 이용하여 개발이 되었다. 5개 인자항목은 실내 라돈농도, 지질학적 구조(암석), 대기 중 방사능농도, 토양 특성(습도, 투과성, 배수특성), 건물유형(지하실 존재 여부, 기초 유형)이다(환경부, 2015).



※ 출처: 미국 환경청(US EPA)
<https://www.epa.gov/radon/epa-map-radon-zones>

<그림 13> 미국 라돈 지도

유럽의 경우 세부적으로 오스트리아, 벨기에, 체코 공화국, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 헝가리, 아일랜드, 이탈리아, 네덜란드, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 슬로베니아, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국이 있다.

국가별로 실내 라돈 농도, 토양 내 라돈 농도, 지질 분포도, 표토의 라돈농도를 참고하는 등 다양한 방법으로 라돈 지도를 제작하고 있다(Radiological Protection Institute of Ireland, 2005).

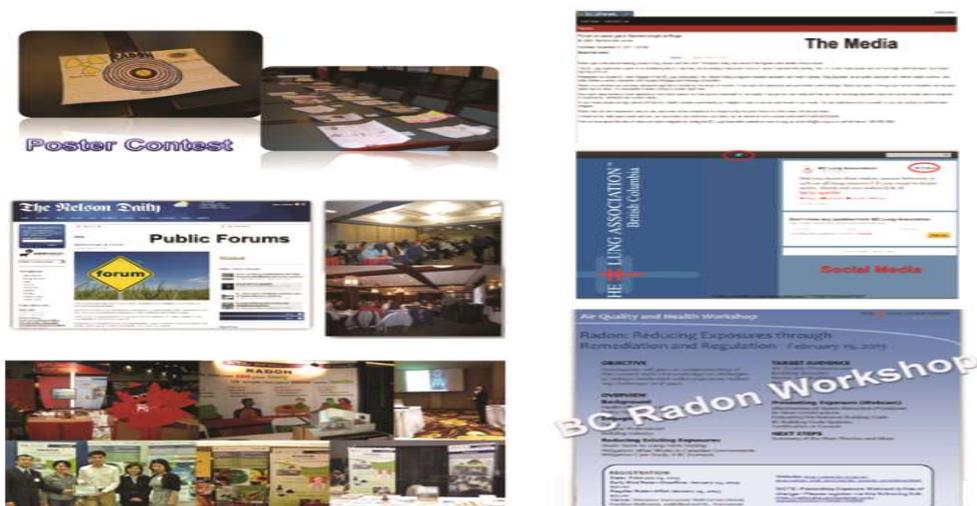


※ 출처: 환경부(2015), 라돈관리계획 수립 지침 및 위해도 소통 방안 마련 연구, p.142.

<그림 14> 유럽연합 라돈 지도

② 교육 및 홍보

캐나다의 경우 브리티시 콜롬비아 보건부(BC Ministry of Health)에서 환경보건 프로그램의 일환으로 라돈 위해 소통 방법으로 일반 대중 설문 조사, 박람회, 컨퍼런스, 언론홍보, 워크숍, 포럼, 포스트 경진대회 등을 진행하고 있다(환경부, 2015).



※ 출처: 환경부(2015), 라돈관리계획 수립지침 및 위해도 소통 방안 마련 연구, p.58.

<그림 15> 캐나다 브리티시 콜롬비아 보건부(BC Ministry of Health)의 홍보 사례

미국의 경우도 주별로 라돈 교육 프로그램 일환으로 학생 대상으로 라돈 포스터 경진대회를 개최하고 있다(환경부,2015).

Nevada's 2017 2nd Place Poster
was also the 2nd place National Winner!



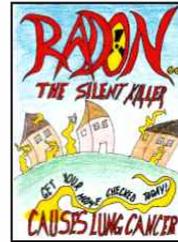
That Monster Radon
Joshua, Canarelli Middle School, Las Vegas

Nevada's 2016 Winning Poster
was also the 2016 National Winner!



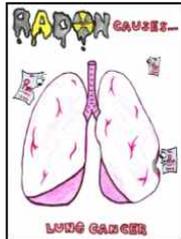
Uncle Radon
Chris, Carson Valley Middle School, Gardnerville

Nevada's 2015 Winning Poster



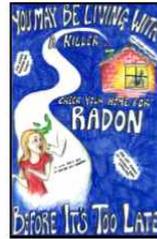
Radon, the Silent Killer
Brandon, Carson Valley Middle School, Gardnerville

Nevada's 2014 Winning Poster



Radon Bites
Hannah, Carson Valley Middle School, Gardnerville

Nevada's 2013 Winning Poster



Night of the Living Radon
Ivory, Mendive Middle School, Sparks

Nevada's 2012 Winning Poster



Test Your Home for Radon
Angelagrace, Helen C. Cannon Jr. High School, Las Vegas

※ 출처: <https://www.unce.unr.edu/programs/sites/radon/files/pdf/ContestPoster.pdf>

<그림 16> 미국 네바다주 라돈 포스터 당선작

③ 국가별 실내 라돈 관리기준

세계보건기구(WHO)에서 유럽, 북미, 중국의 일반가정에 대한 연구결과를 분석한 결과, 200 Bq/m³ 이하의 라돈농도에서도 폐암 발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이에 따라 2009년에는 건강을 보호하고, 라돈에 의한 피해를 미리 방지하기 위하여 실내 라돈을 100 Bq/m³로 관리하도록 권고하였다.

미국에서는 라돈의 건강 영향 및 비용-효과 분석, 라돈 저감 기술 수준 등을 고려하여 실내 라돈 권고수준을 148 Bq/m³로 제안하고 있다. 라돈이 건강에 미치는 영향을 연구한 결과 148 Bq/m³ 이하에서도 건강 위험이 발생할 수 있는 것으로 나타났으나, 실내 라돈을 줄이는 기술 수준과 비용-효과 분석을 토대로 관리 수치를 148 Bq/m³로 유지하고 있다.

영국을 비롯한 스웨덴, 체코 등 많은 국가들이 기존에 있던 건물과 새로 짓는 건물을 구분하여 라돈을 관리하고 있다. 라돈농도가 대체로 높은 유럽 국가들은 국제암연구소(IARC)와 유럽연합 집행위원회(European Commission)의 권고기준을 바탕으로 경제적이고 효율적인 수준을 기준으로 설정하였다. 일반적으로 신축 건물과 기존 건물을 구분하여 권고기준을 200~400 Bq/m³로 정하고 있으며, 영국은 기존 건물의 경우 200 Bq/m³, 신축 건물의 경우 100 Bq/m³로 제시하고 있다(환경부, 2016).

<표 4> 국가별 실내 라돈 관리기준 비교

(단위: Bq/m³)

국가	기존 건물	신축 건물	국가	기존 건물	신축 건물
국제보건기구 (WHO)	100		핀란드	400	200
캐나다	200		스웨덴	200	
독일	100	100	벨기에	400	200
미국	148		노르웨이	200	200
영국	200	100	체코	400	200

■ 권고기준 ■ 의무기준

※ 출처: 환경부(2016), 생활 속 자연방사성 물질, 라돈의 이해, p.41.

3) 국내외 사례 비교

① 국내외의 실내 라돈 농도 비교

세계보건기구(WHO)에서 발간한 가이드라인(2010년)에 따르면 프랑스, 독일 등 29개 국가의 평균 실내 라돈농도는 11~140 Bq/m³로 매우 다양하게 나타났다. 국가별로 조사기간이 짧게는 2개월, 길게는 1년으로 다르다는 점을 감안하더라도, 지역별로 차이가 큰 것을 알 수 있다.

조사된 29개 국가 중 유럽 국가들이 대체로 라돈농도가 높게 나타나고 있다. 체코는 연평균 값임에도 불구하고 실내 라돈농도가 140 Bq/m³로 가장 높은 수치를 보였다. 체코를 포함한 유럽의 일부 국가는 지형적으로 화강암이 발달한 지역이어서, 그 영향으로 라돈 농도가 높게 나타나는 것으로 보인다. 아래 <그림 10>에서 2~3개월 측정기준 그래프의 라돈 수치는 우리나라의 경우 2010~2014년 겨울철(11~2월) 기준으로 측정한 자료이며, 다른 국가들의 조사 계절은 확인이 어려웠다(환경부, 2016).

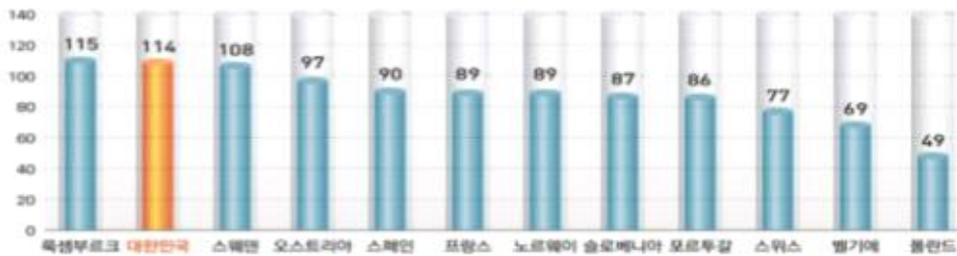
연간 측정 기준

실내 라돈농도(Bq/m³)



2-3개월 측정 기준

실내 라돈농도(Bq/m³)



※ 출처: 환경부(2016), 생활 속 자연방사성 물질, 라돈의 이해, p.16.

<그림 17> 국가별 라돈 분포 현황

② 국내외 라돈관리제도

라돈관리는 크게 기준 설정, 실태조사, 저감, 발생원 관리, 홍보 등으로 구분할 수 있다. 우리나라는 다중이용시설과 신축공동주택에 대해 권고기준과 학교에 대해 의무기준을 마련하여 관리하고 있으며, 국내 라돈분포에 대해서 지속적으로 조사하고 있다(환경부, 2016).

<표 5> 국내외의 라돈관리제도

구분	국 내	국 외
관리기준	<ul style="list-style-type: none"> 다중이용시설, 신축공동주택, 학교 	<ul style="list-style-type: none"> 건축물
조사	<ul style="list-style-type: none"> 다중이용시설, 신축공동주택, 학교 등 실내라돈농도 	<ul style="list-style-type: none"> 주택, 학교 등 실내라돈농도 건물부지 라돈조사 권고(스웨덴)
저감시공	<ul style="list-style-type: none"> 일부 주택, 마을회관 등 지원 	<ul style="list-style-type: none"> 라돈저감 매뉴얼 보급 라돈저감방법 권고 및 비용지원 (스웨덴, 벨기에)
주택관리	<ul style="list-style-type: none"> 라돈 무료측정, 저감지원 	<ul style="list-style-type: none"> 부동산 거래시 라돈농도 확인(미국) 고농도주택 라돈저감 설치비용 국고보조 (스웨덴)
건축자재 관리	<ul style="list-style-type: none"> 연간 선량한도(1mSv)만 적용 일부 자재(벽 및 천장마감재) 방사능 지수¹만 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 방사능 지수 적용 국가²⁾ <ul style="list-style-type: none"> - 의무기준 적용 국가: 체코, 핀란드, 라트비아, 리투아니아, 폴란드, 독일, 룩셈부르크) - 적용 국가: 오스트리아, 노르웨이)

		<ul style="list-style-type: none"> 라듐(²²⁶Ra)의 함량기준 설정 (체코, 노르웨이, 독일, 스웨덴)
지도제작	<ul style="list-style-type: none"> 주택 라돈농도 기반 지도 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 주택 라돈농도 기반 지도제작 (미국, 오스트리아, 스페인 등) 위해도지도(노르웨이, 미국 등) 주택라돈농도 초과율(아일랜드, 캐나다)
홍보 및 교육	<ul style="list-style-type: none"> 소책자 제작·보급 등 	<ul style="list-style-type: none"> 핸드북 등 보급 라돈 기술인력의 숙련도 프로그램 운영 (미국) 라돈 서비스 교육 전문가 인증 프로그램 운영(캐나다)

1) 방사능 지수(I, activity concentration index): 건축자재 중 자연방사성 물질인 라듐(²²⁶Ra), 토륨(²³²Th), 칼륨(⁴⁰K)의 관계식으로 구성되어 있으며, 선량기준(dose criteria)을 넘지 않도록 설정하고 있음.

2) Swedish Radiation Protection Institute(1999) Radon Legislation and National Guidelines, p.22~23.

※ 출처: 환경부(2016) 생활 속 자연 방사성 물질, 라돈의 이해, p.45.

● 참고 문헌

- 국립환경과학원 보도자료(2019.4.4.) “겨울철 주택 실내 라돈 농도, 감소 추세 이어가”
- 김신도, 김현탁, 이철민, 권명희, 박태현, 박시현, 곽정은(2016) 라돈의 위해의사소통 기법 수립을 위한 사전 인식도 조사연구. Journal of Odor and Indoor Environment. Vol.15, No.4, pp.375-384.
- 박종연, 임영옥, 신동천, 장은아(2001) 일반인과 전문가의 환경문제에 대한 위해도 인식 차이. KORJ.ENVIRON.TOXICOL. Vol.16, No.2, 75~84.
- 신용승, 임종한, 김선덕, 조성경(2014) 라돈의 실내 공기질 규제에 따른 위해저감 효과 및 건강편익 산정, p.88.
- 조승연(2016) 라돈, 불편한 진실, p.184~186.
- 통계청 보도자료(2018.9.19.) 2017년 사망원인통계, p.13.
- 한국환경공단(2016) 실내라돈관리, p.11.
- 환경부(2011) 실내 라돈 저감 시범 사업 최종보고서, p.2.
- 환경부(2015) 라돈관리계획 수립 지침 및 위해도 소통 방안 마련 연구, p.16-p.58.
- 환경부(2016) 생활 속 자연 방사성 물질, 라돈의 이해 p.21~45.
- Radiological Protection Institute of Ireland(2005) An Evaluation of Radon Mapping Techniques in Europe.