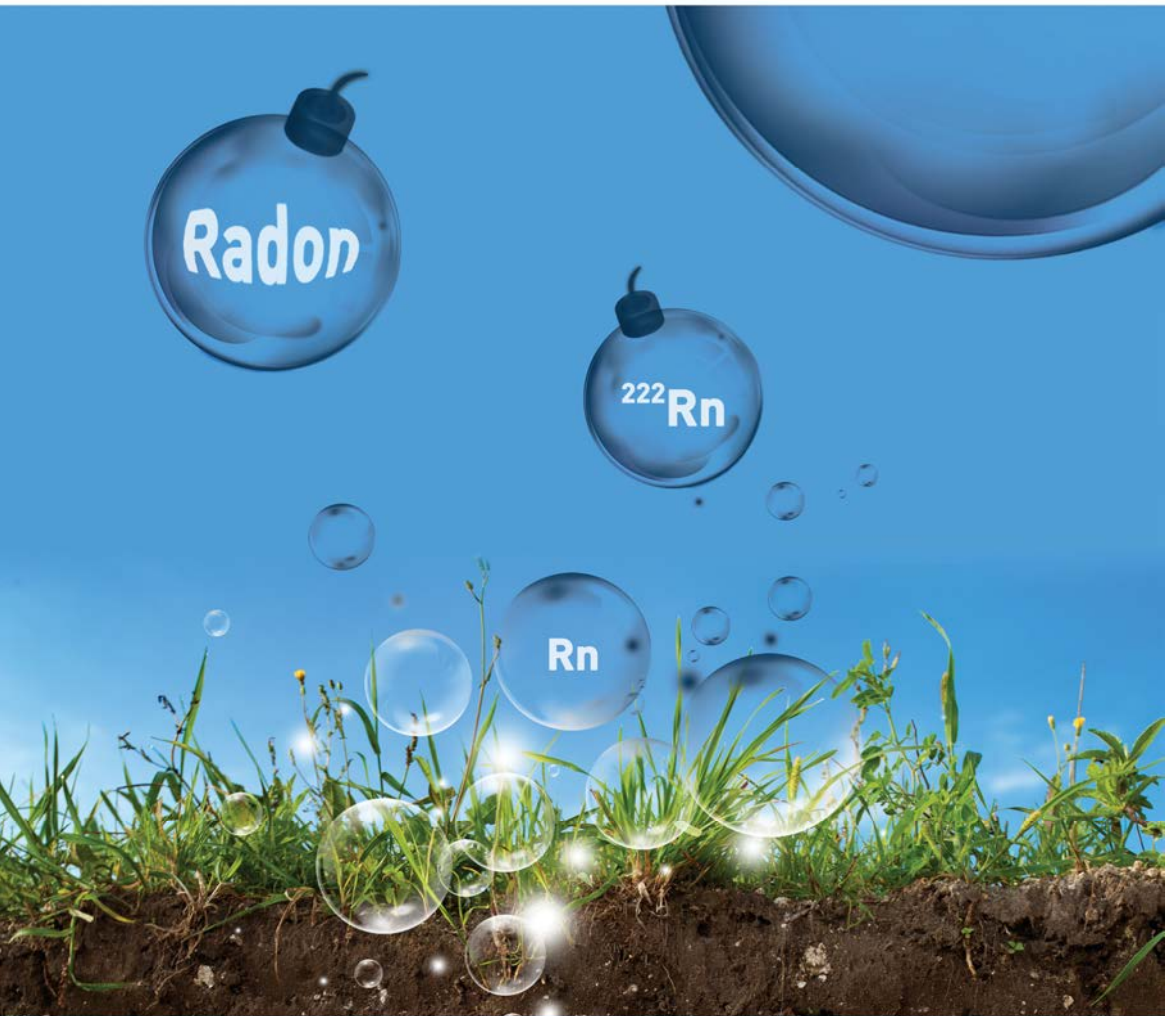




생활 속 자연 방사성 물질, 2016. 12 라돈의 이해

나도 모르는 사이 내 주변에 있는 라돈.
이 라돈이 과연 무엇인지, 어떤 영향을 미치는지 아시나요?
또 라돈으로부터 우리의 몸을 보호하려면
어떻게 해야하는지 아시나요?

이 소책자는 이런 것을 이해하는데
도움을 드리기 위하여 만들었습니다.



목차

I. 라돈이란?	4
1. 라돈은 어떤 물질일까?	5
2. 라돈은 어디에 있을까?	11
II. 라돈, 얼마나 있을까?	14
1. 라돈은 우리 주변에 얼마나 있나?	15
2. 실내 라돈농도에 영향을 미치는 요인은?	17
III. 라돈, 왜 관리해야 하나?	20
1. 라돈은 우리 몸에 어떻게 들어올까?	21
2. 라돈이 우리 몸에 미치는 영향은?	22
IV. 라돈, 어떻게 관리하나?	26
1. 라돈은 어떻게 측정하나?	27
2. 실내의 라돈농도, 어떻게 줄이나?	32
3. 우리 나라는 라돈을 어떻게 관리하나?	37
4. 외국은 라돈을 어떻게 관리하나?	40
5. 우리 나라와 외국의 관리현황 비교	45
V. 라돈, 바로 알고 제대로 대처하자	46
1. 라돈 바로알기	47
2. 생활 속 라돈을 줄이는 방법	50
[참 고]	
방사선이란 무엇인가?	53
우리 생활 속 방사선	58
[부 록]	
용어 해설	61



라돈이란?

라돈은 어떤 물질일까?

라돈은 어디에 있을까?

1. 라돈은 어떤 물질일까?

물질을 구성하는 가장 작은 입자단위를 ‘원자’라고 하는데, 이러한 원자는 ‘양성자’와 ‘중성자’로 이루어진 ‘핵’, 그리고 핵 주변을 돌고 있는 ‘전자’로 구성된다. 대부분의 원자는 안정된 상태를 유지하지만, 일부 원자는 안정된 상태일 때보다 많은 에너지를 가지고 있어 불안정한 상태로 있기도 한다. 이렇게 불안정한 원자는 양성자, 중성자, 전자 중 일부와 에너지를 밖으로 내보내 안정한 상태가 되려고 하는데, 이런 과정을 ‘방사능 붕괴’라고 한다. 방사능 붕괴를 하는 불안정한 원자군을 ‘방사성 핵종’이라 하고, 이 방사성핵종을 일정 비율 이상 갖고 있는 물질을 ‘방사성 물질’이라 한다.



흙도 방사성 물질?

우리가 흔히 만지고 보는 흙, 즉 토양에는 방사능 붕괴를 하는 원자가 포함되어 있다. 그렇다고 토양을 방사성 물질이라고 하지는 않는다.

이렇듯 자연에 있는 대부분의 물질은 방사성핵종을 포함하고 있지만, 모든 물질이 방사성 물질은 아니다. 방사성 물질은 방사성핵종을 일정량 이상으로 포함하고 있어야 한다. 「원자력안전법」에서는 방사성핵종별로 에너지 크기를 고려하여 방사성 물질로 보는 최소 수량과 농도를 규정하고 있다.

〈 방사성핵종별 방사성 물질의 최소 수량 및 농도 〉

방사성핵종	우라늄(^{238}U)	라듐(^{226}Ra)	라돈(^{222}Rn)	요오드(^{131}I)	세슘(^{137}Cs)
최소수량(Bq)	1×10^4	1×10^4	1×10^8	1×10^6	1×10^4
최소농도(Bq/g)	1×10^1	1×10^1	1×10^{10}	1×10^2	1×10^1

우리는 일상 생활에서 방사성 물질이 붕괴할 때 생성되는 에너지인 방사선에 쉽게 노출되고 있다. 일상 생활에서 노출되는 방사선의 85%는 암석, 별, 음식물 섭취 등 자연적으로 만들어지는 것이고, 자연적으로 만들어지는 방사선의 약 48%가 라돈에서 만들어진다.

방사성 물질의 단위

방사성 물질의 양은 방사능을 나타내는 단위인 베크렐(Bq), 큐리(Ci) 등을 사용한다.

- 베크렐(Becquerel, Bq) : 방사능의 국제 표준단위로, 1초에 방사선 한 개가 핵에서 1번 방출되는 것, 즉 1초 동안 하나의 방사선이 나오는 세기
- 큐리(Curie, Ci) : 방사성 물질의 원자핵 붕괴수가 1초에 약 3.7×10^{10} 일 때 방사능의 강도

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} \rightarrow 1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

두 단위는 모두 프랑스의 물리학자 이름에서 따온 것이다. ‘베크렐’은 우라늄에서 나온 광선(베크렐선)을 발견한 앙투안 앙리 베크렐(1852~1908)의 이름을 따온 것이다. 그리고 ‘큐리’는 라듐을 발견하고 베크렐선이 어떤 물질에서 에너지를 내는 방사선임을 밝혀낸 퀴리부부(피에르 퀴리(1859~1906), 마리 퀴리(1867~1934))의 이름에서 따온 것이다.

자연에서 만들어지는 기체, 라돈

암석, 토양 등에 있는 우라늄(^{238}U)과 토륨(^{232}Th)이 방사능 붕괴를 하면서 자연적으로 라듐(^{226}Ra , ^{224}Ra)이 만들어지고, 라듐이 붕괴하여 라돈(^{220}Rn , ^{222}Rn)과 같은 방사성 물질을 만든다. 그러니까 라돈은 땅에서 자연적으로 생기는 방사성 물질이다.



토륨(^{232}Th)이 붕괴하면서 만들어지는 라돈(^{220}Rn)을 일반적으로 ‘토론’이라고 한다. 토론은 반감기가 55.6초로 매우 짧고, 우라늄(^{238}U)이 붕괴하면서 생기는 라돈(^{222}Rn)에 비해 지표나 대기 중으로 나오는 양이 매우 적다. 따라서 흔히 ‘라돈’이라고 하면 우라늄이 붕괴하면서 만들어지는 라돈, ^{222}Rn 을 말한다.



반감기란?

원자핵이 방사능 붕괴를 할수록 처음에 갖고 있었던 방사능 양이 점점 줄어드는데, 방사능의 양이 절반으로 줄어드는 데까지 걸리는 시간을 반감기라 한다. 반감기는 짧게는 0.15초(^{216}Po), 길게는 44.7억년(^{238}U)으로 핵종에 따라 다르다.

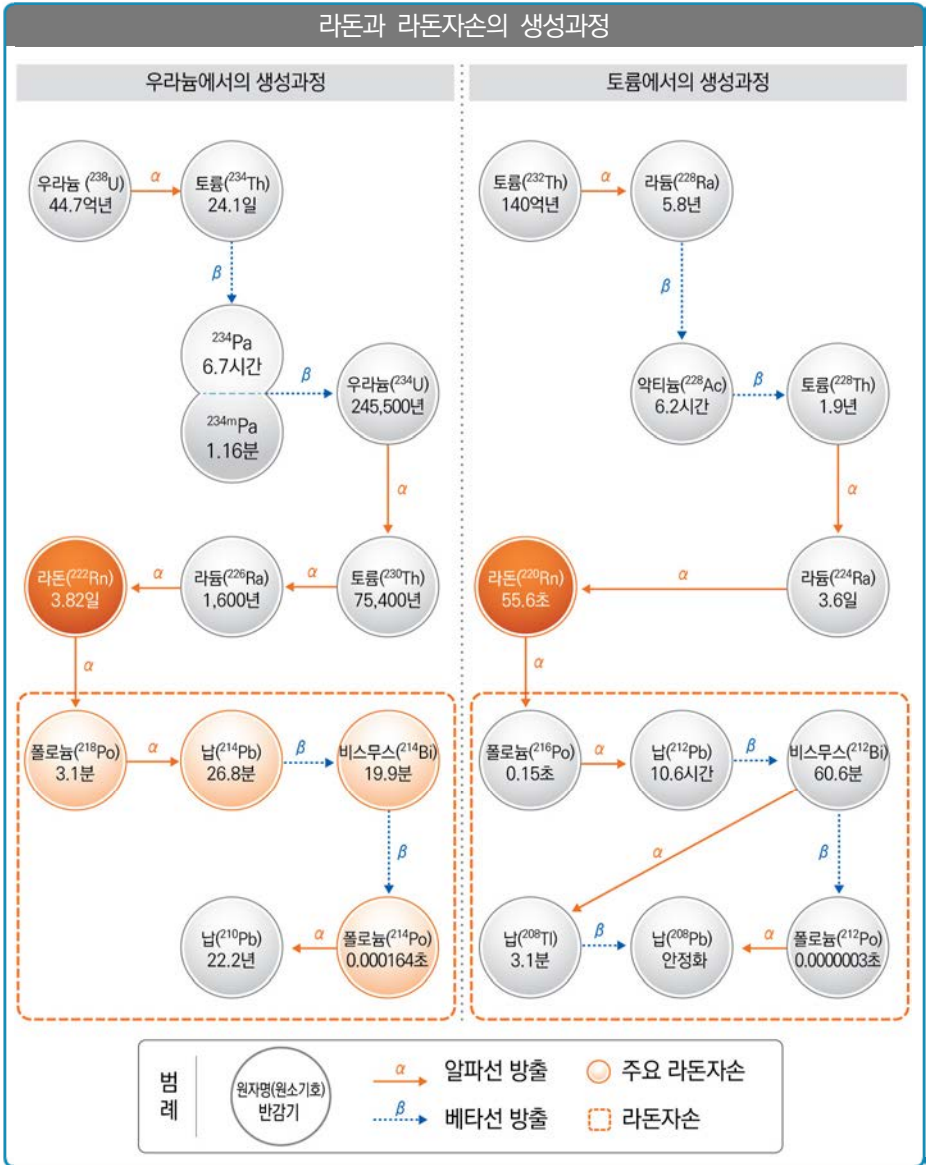
라돈을 처음 발견했을 때에는 ‘방사성 물질에서 방출되는 기체’라는 뜻으로 ‘에마나티온(emanation)’이라고 불렀다. 이후에는 기체에서 액체로 변할 때 빛을 내는 것이 발견되어 ‘빛난다’라는 뜻의 라틴어(nitere)를 따서 ‘니톤(niton)’이라고 불렀다. 하지만 원소나 화합물의 이름을 정하는 국제순수·응용화학연합(IUPAC)에서 1923년에 ‘라돈(Radon)’이라고 이름을 다시 붙인 후부터는 ‘라돈’이라고 부르고 있다. ‘라돈(Radon)’은 ‘라듐에서 태어난 기체’라는 뜻인데, ‘라듐(Radium)’에 비활성 기체를 나타내는 ‘on’이 합쳐져서 만들어진 말이다.

라돈은 색깔과 냄새, 맛이 없어서 우리가 라돈의 존재를 직접 느낄 수 없다. 밀도는 표준 상태(0°C , 1기압)에서 9.73g/L 로 공기(1.29g/L)보다 약 8배 무겁다. 다른 물질과 화학반응을 잘 하지 않지만, 물리적으로는 매우 불안정하여 강한 방사선을 방출하면서 붕괴한다. 반감기는 3.8일로 짧다.

라돈에서 생성되는 라돈자손

라돈이 방사능 붕괴를 하면 폴로늄(^{218}Po , ^{214}Po), 비스무스(^{214}Bi)가 만들어지고, 최종적으로 안정된 물질인 납(^{214}Pb)으로 변하는데, 이 물질들을 라돈자손이라고 부른다.

라돈이 기체상태인 것과는 달리 라돈자손은 입자형태로 되어 있으며, 물리화학적으로 반응성이 높다. 그래서 미세한 먼지에 잘 달라붙는데, 우리가 숨을 쉴 때 몸속으로 들어와 폐포나 기관지에 잘 달라붙어 손상을 줄 수 있다.





방사능 붕괴를 할 때 방출되는 방사선

에너지가 높은 상태에 있는 입자들은 불안정하기 때문에 에너지를 내보내 안정된 상태가 되려고 하는데, 이 때 나오는 에너지를 방사선이라 한다. 우리가 흔히 말하는 빛(가시광선), 적외선, 자외선도 넓은 의미에서는 방사선이라고 할 수 있다. 그러나 일반적으로는 파장이 짧아서 X선 이상의 에너지를 갖는 것을 말한다. 알파선, 베타선, 감마선 등이 여기에 해당한다.

방사선은 크게 입자형 방사선과 파동형 방사선으로 구분할 수 있다.

■ 입자형 방사선

대표적인 입자형 방사선에는 알파선, 베타선, 중성자선이 있다.

- ① 알파선 : 양성자 2개와 중성자 2개로 이루어진 알파입자를 방출하는 방사선을 말한다. 상대적으로 질량이 크고, +2의 전하량을 가지고 있다. 에너지와 다른 물질을 이온화시키는 능력(전리작용)이 크다. 멀리 나가지 못하고, 물질을 뚫고 지나가는 힘(투과력)이 약해 얇은 종이나 인체의 피부조직으로도 막을 수 있다.
- ② 베타선 : -1의 전하를 띠는 전자 흐름을 말한다. 알파선에 비해 매우 가볍고 빛과 비슷한 속도로 움직인다. 전리작용은 알파선보다 약하다. 투과력이 크지 않아 얇은 플라스틱이나 금속판으로 차단할 수 있다.
- ③ 중성자선 : 방사능 붕괴를 할 때 중성자가 방출되는 방사선이다. 속도는 빠르지 않지만 전기적으로 중성을 띠어 전리작용이 작고 물질 속에서 멀리까지 나아간다. 즉, 투과력이 강하기 때문에 중성자선을 효과적으로 막기 위해서 두꺼운 콘크리트, 합성수지 등을 사용해야 한다.

■ 파장형 방사선

파장형 방사선은 파장이 짧은 감마선부터 장파에 이르기까지 다양하며, 파장이 짧을수록 에너지가 크다.

- ① 감마선 : 감마선은 파장이 매우 짧은 전자기파이다. 전리작용은 가장 약하지만 투과력은 가장 세기 때문에 인체 외부에 존재할 때도 인체 내부 장기에 손상을 줄 수 있다. 이러한 감마선을 효과적으로 막기 위해 두꺼운 납이나 콘크리트를 사용한다.
- ② X선 : X선은 일반적으로 감마선보다는 파장이 길고, 빛보다는 파장이 짧은 전자기파이다. 물질을 뚫고 지나가는 성질이 있어 의료 분야에서 많이 사용된다. X선의 성질은 감마선과 거의 같다. 다만, 감마선은 원자핵이 에너지가 높은 상태(들뜸현상)에 있을 때 방출되는 반면, X선은 전자가 들뜸 현상에 있을 때 방출되는 에너지라는 점에서 차이가 있다.



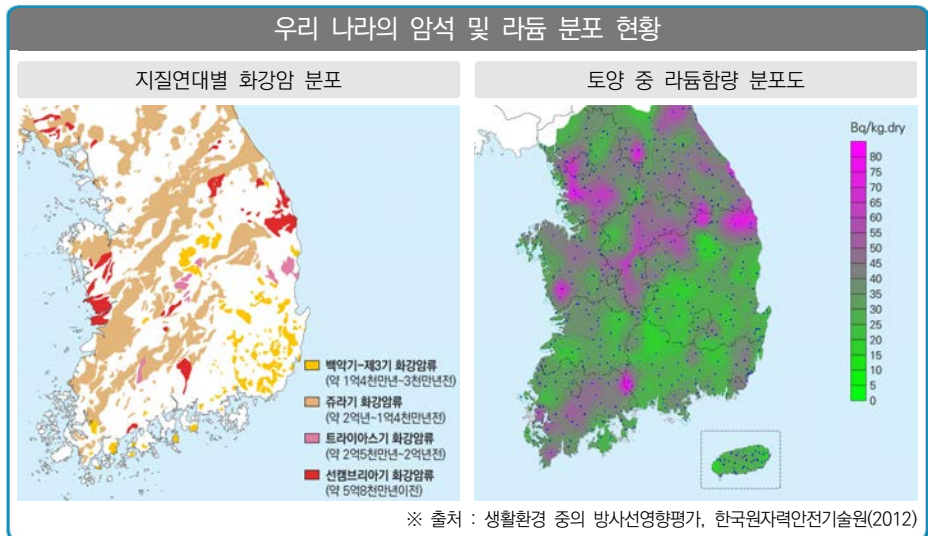
2. 라돈은 어디에 있을까?

라돈은 화강암·변성암과 같은 암석, 토양, 그리고 우라늄이나 라듐을 함유한 건축자재에서 발생한다. 또한 우라늄이나 라듐이 포함되어 있는 암반 주변에 흐르는 지하수에 포함되어 있기도 하다.

암석·토양에 있는 라돈

땅에 있는 우라늄이 붕괴되면서 라듐이 만들어지고, 라듐이 다시 붕괴되면서 라돈이 만들어진다. 이 라돈은 기체 상태로 대기 중으로 방출되거나 주변에 있는 지하수로 녹아든다.

라돈농도는 지역에 따라 다르게 나타나는데, 대체로 표층 토양에 라듐이 많이 포함된 지역과 화강암 분포지역에서 높게 나타난다. 우리 나라에서도 화강암·편마암 지질대나 옥천단층 지대에 있는 지역에서 라돈농도가 높게 나타나는 것으로 조사되고 있다.



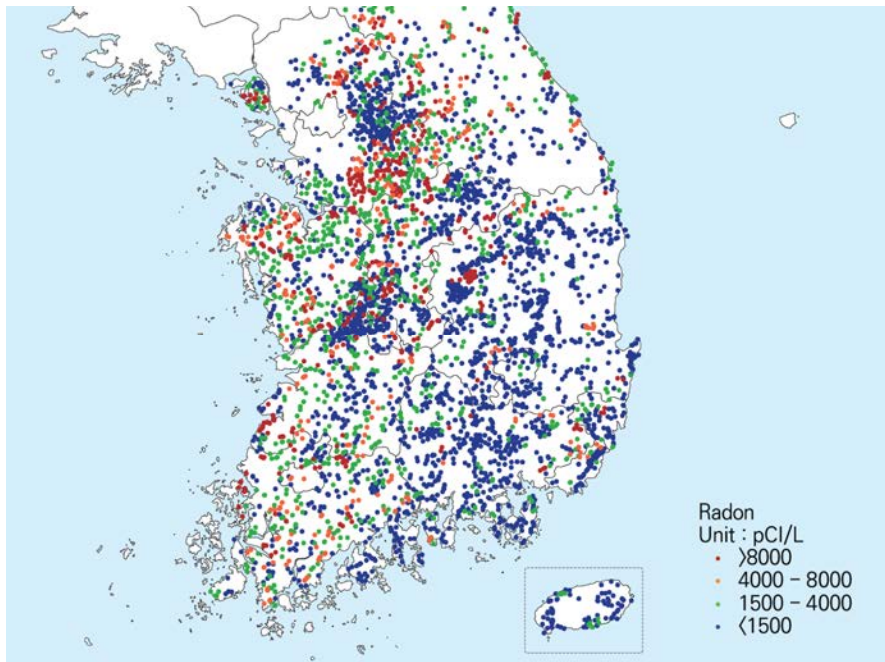
지하수에 있는 라돈

우라늄이나 라듐이 포함된 암석 주변으로 지하수가 흐르면 암석 또는 토양에서 생긴 라돈이 지하수로 녹아들어갈 수 있다. 그래서 토양에 우라늄이 많이 있을수록 지하수에서의 라돈농도가 높은 경우가 많다.

우리 나라의 마을상수도 등을 대상으로 지하수의 라돈농도를 조사한 결과('07~'14, 약 4,800개소), 주로 화강암 등 결정질암 지역에서 라돈농도가 8,000pCi/L 이상으로 높게 나타났다. 그리고 일부 변성암 및 퇴적암(석회암 등) 지역에서도 라돈농도가 높게 나타났다.

지하수의 라돈농도가 8,000pCi/L인 경우에는 실내의 라돈농도를 0.8pCi/L(약 29.6Bq/m³)정도 증가시키는 것으로 추정하고 있다.

우리 나라 지하수의 라돈농도 분포 현황



※ 출처 : 지하수 중 자연방사성물질 함유실태조사 연구, 국립환경과학원(2015)

건축자재에 있는 라돈

토양과 직접 닿아있지 않은 고층 건물에서도 간혹 라돈이 검출되는데, 이때의 라돈은 주로 건축자재에서 나오는 것으로 보고 있다.

건축자재 중에서도 주로 석고보드에서 라돈이 방출될 수 있는데, 석고보드 중에서도 인산부산석고를 이용하여 만든 석고보드에서 방출된다. 인산부산석고는 비료를 만들 때 인광석에서 인산을 뽑아내고 남는 물질로, 라듐과 우라늄의 함량이 높아 라돈이 많이 방출될 수 있다.

또한, 고농도 라듐이 포함된 모래 또는 자갈로 만든 벽돌이나 모래, 콘크리트 등의 건축자재에서도 라돈이 방출되어 실내 공기 중으로 들어올 수 있다.





라돈, 얼마나 있을까?

라돈은 우리 주변에 얼마나 있나?
실내 라돈농도에 영향을 미치는 요인은?

1. 라돈은 우리 주변에 얼마나 있나?

암석, 토양 및 지하수, 건축자재에서 발생한 라돈은 압력차, 온도차 등에 의해 대기 중이나 실내 공간으로 확산된다. 일반적으로 라돈농도는 대기에서는 낮지만 집안이나 사무실과 같은 실내에서는 높게 나타날 수 있다. 이는 실내에서 바깥으로 빠져나가는 라돈보다 실내로 들어와 축적되는 라돈의 양이 많기 때문이다. 그래서 실내 라돈을 관리하는 것이 중요하다.

실내 라돈 분포현황

실내 라돈농도는 지역에 따라 다르게 나타나는데 대체로 화강암 분포 지역에서 높게 나타난다. 화강암에는 우라늄과 라듐이 많이 들어있는 것으로 알려져 있다.

세계보건기구(WHO)에서 발간한 가이드라인(2010년)에 따르면 프랑스, 독일 등 29개 국가의 평균 실내 라돈농도는 $11\sim140\text{Bq/m}^3$ 로 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 140Bq/m^3 로 가장 높은 수치를 보였다. 체코를 포함한 유럽의 일부 국가는 지형적으로 화강암이 발달한 지역이어서, 그 영향으로 라돈농도가 높게 나타나는 것으로 보인다.

국가별 라돈 분포현황

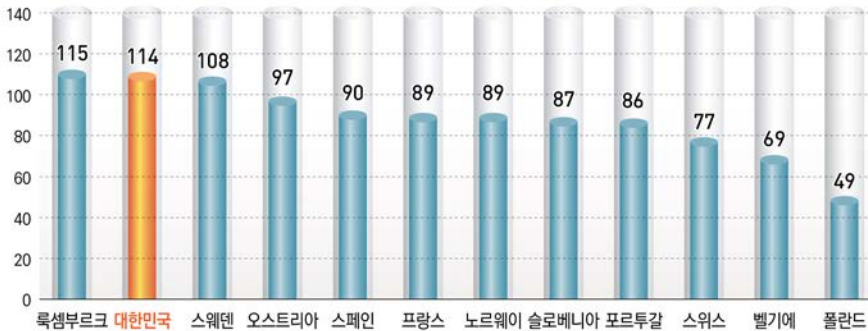
연간 측정 기준

실내 라돈농도(Bq/m³)



2~3개월 측정 기준

실내 라돈농도(Bq/m³)



※ 우리 나라는 2010~2014년 겨울철(11~2월) 기준이며, 다른 국가의 조사 계절은 알 수 없음

우리 나라의 연평균 라돈농도는 53Bq/m³로 조사되었다. 그러나 겨울철에는 바깥과 실내의 온도 차이가 많이 나고, 환기 횟수가 줄어들기 때문에 평균 농도가 114Bq/m³로 높게 나타났다. 지역별로는 화강암·편마암 지질대 또는 옥천단층 지대가 분포되어 있는 강원도, 전라북도, 충청북도에서 라돈농도가 높게 나타나고 있다.

2. 실내 라돈농도에 영향을 미치는 요인은?

토양층을 통과하여 땅 위로 올라온 라돈은 보통 건물 아래의 바닥이나 벽을 통해 실내로 들어온다. 건물 내부의 기압이 토양 내의 기압보다 낮기 때문에 기체가 압력이 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르는 원리에 따라 실내로 흘러들어오는 것이다.

또한, 건축물 내부에 사용된 건축자재에서 라돈이 방출되거나 지하수를 실내에서 사용할 때 라돈이 공기 중으로 휘발되기도 한다.

이렇듯 라돈은 다양한 경로로 실내로 들어올 수 있으나, 그 양은 주로 계절이나 건물 형태(구조), 노후도 등의 영향을 받는다.

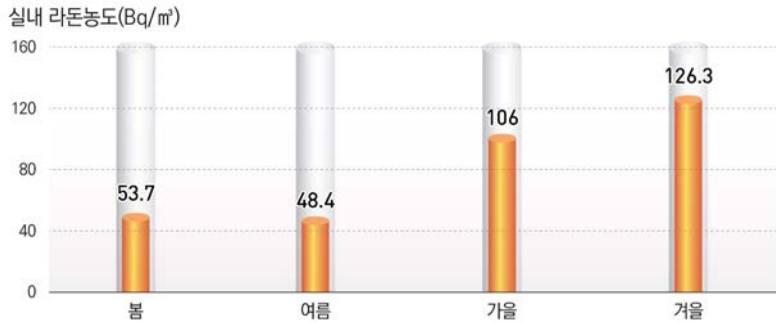
기온이 낮을 때 높아지는 라돈농도

겨울에는 건물 아래 토양의 온도는 낮아지고, 건물 안은 난방으로 바닥 온도가 높아진다. 그래서 토양과 실내 바닥의 온도 차이가 커지고, 이로 인해 압력 차이도 커진다. 이로 인해 토양에 있던 공기가 실내로 들어오는 양이 다른 계절보다 많아지고, 라돈도 더 많이 실내로 들어오게 된다.

또한, 겨울철에는 환기를 자주 안 하는 것도 실내에 있던 라돈이 바깥으로 빠져나가는 것을 어렵게 만든다.

즉, 겨울에는 다른 계절에 비해 실내로 들어오는 라돈의 양이 많지만 바깥으로 빠져나가는 양은 줄어들기 때문에 실내 라돈농도가 높아진다.

계절별 실내 라돈농도



※ 출처 : 전국 주택라돈조사(2010-2011), 국립환경과학원

주택유형에 따라 달라지는 라돈농도

단독주택, 연립·다세대 주택, 아파트 등 주택유형도 라돈농도에 영향을 미친다. 실내 생활공간이 토양과 직접 닿아있는 단독주택에서는 라돈농도가 높게 나타날 가능성이 크다. 반면, 고층 아파트나 건축물은 1층을 제외하고는 토양에서 라돈이 들어올 가능성이 적어 상대적으로 라돈농도가 낮다. 하지만 고층 건물에서도 땅과 직접 접하고 있는 저층이나 지하층이 있는 경우에는 라돈농도가 높아질 수 있다.

주택유형별 실내 라돈농도



※ 출처 : 전국 주택라돈조사(2013-2014), 국립환경과학원

틈새가 많을수록 높아지는 라돈농도

토양에 있던 라돈은 건축물 바닥이나 벽의 갈라진 틈을 통해서 실내로 들어온다. 일반적으로 오래된 건물일수록 벽이 갈라지고 틈이 생길 가능성이 높기 때문에 신축 건물보다는 오래된 건물에서 실내 라돈농도가 높게 나타날 수 있다.



이 외에도 건축물 하부의 토양이 모래와 같이 통기성이 좋은 경우 공기가 상부로 이동하기 좋아 실내 라돈농도가 높아질 수 있다. 또한, 건축물 이용자나 거주자가 환기를 얼마나 자주하는지도 영향을 줄 수 있다. 여기서 말하는 환기에는 안팎을 드나들 때 간접적으로 이루어지는 환기도 포함된다.



라돈, 왜 관리해야 하나?

라돈은 우리 몸에 어떻게 들어올까?

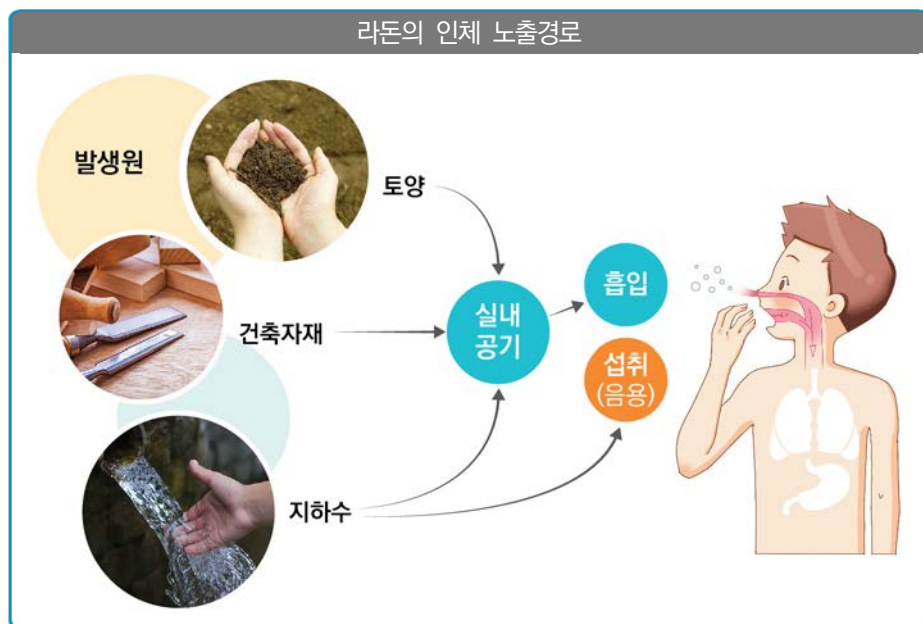
라돈이 우리 몸에 미치는 영향은?

1. 라돈은 우리 몸에 어떻게 들어올까?

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

우리 몸에 노출되는 라돈은 대부분 공기 중에 있는 것으로, 그 중에서도 특히 실내 공기 중에 있던 라돈에 가장 많이 노출된다.

일반적으로 실내 공기에 포함된 라돈의 85~97%는 토양이나 암석에서 발생한 것이고 2~5%는 건축자재에서, 1~2%는 지하수를 사용할 때 공기 중으로 흘러들어오는 것으로 알려져 있다. 지역이나 기후 등에 따라서 이 비율은 달라질 수 있다.



2. 라돈이 우리 몸에 미치는 영향은?

1900년대 후반에는 체코, 오스트리아 등 세계 각지에서 라돈탕이 크게 유행했다. 우리 나라에서도 한때 목욕탕이나 온천에서 ‘라돈탕’이라고 홍보하는 경우도 있었다.

대표적인 라돈탕으로 일본 돗토리 현에 있는 미사사 온천을 꼽을 수 있다. 이 온천은 800년 이상 된 곳으로, 지금도 많은 사람들이 찾고 있는 명소이다.

이렇게 많은 사람들이 라돈탕을 이용하는 것은 ‘호메시스(Hormesis) 효과’ 때문이다. 호메시스 효과는 ‘너무 많은 양의 방사선은 우리 몸에 해롭지만, 아주 적은 양의 방사선은 오히려 건강에 좋다’는 주장을 말한다. 그렇지만 아직까지 호메시스 효과에 대해서 명확하게 밝혀지지 않았으며, 라돈이 건강 증진에 도움을 준다는 확실한 증거도 없다.

오히려 라돈은 폐암을 일으키는 주요 원인물질인 것으로 밝혀졌다. 또한 라돈이 녹아있는 물을 마시면 위장에도 안 좋은 영향을 줄 수 있다. 물론, 그 영향은 폐에 미치는 영향과 비교하면 매우 작은 것으로 알려져 있다.

폐암을 일으키는 라돈

세계보건기구(WHO) 산하기관인 국제암연구소(IARC:International Agency for Research on Cancer)는 라돈과 라돈자손을 1군 발암물질로 분류하였다. 또한, WHO에서는 전 세계적으로 발생하는 폐암의 3~14%가 라돈에 노출되어 발생한 것으로 보고, 라돈을 흡연에 이은 두 번째 폐암 원인물질로 지정하고 있다.

IARC의 발암물질 구분

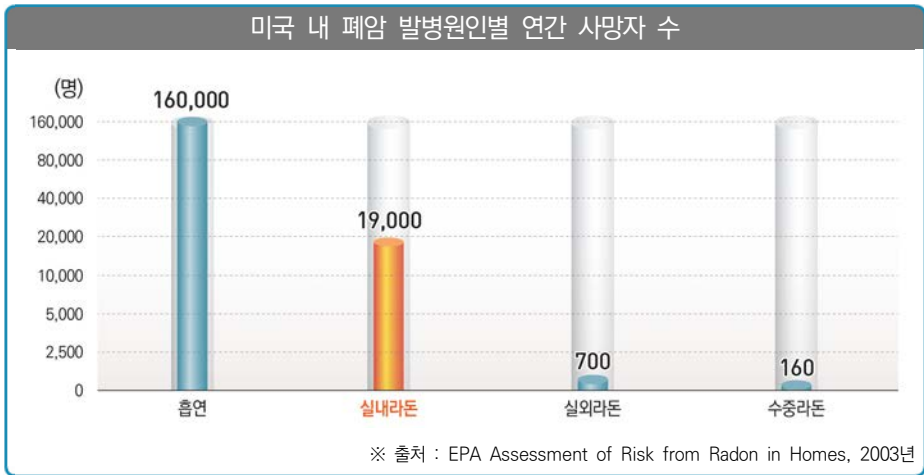
구 분	내 용	예 시
1군 (발암물질)	인체에 대한 연구, 동물 실험에서 암을 일으키는 물질이라는 충분한 결과가 나온 경우	담배, 석면, 라듐, 라돈
2A군 (발암추정물질)	암을 일으킨다는 결과가 인체에 대한 연구에서는 일부 나타나지만 동물 실험에서는 충분한 증거가 인정되어, 분명히 인체에 암을 일으킬 수 있다고 인정하는 경우	석유정제 아근근무교대
2B군 (발암가능물질)	암을 일으킨다는 것이 인체에 대한 연구에서는 일부 나타나지만 동물실험에서 충분히 나타나지 않는 경우	무선주파수 전자기장, 극저주파 자기장, 절인야채, 낱
3군 (발암성비분류물질)	암을 일으킨다는 것이 인체에 대한 연구와 동물 실험에서 모두 충분히 나타나지 않는 경우	차, 잉크, 페놀, 카페인
4군 (비발암성추정물질)	사람에게 암을 일으킬 가능성이 없는 경우	나일론 원료

숨을 들이쉴 때 공기에 포함되어 있던 라돈이 몸 안으로 들어가더라도 대부분은 다시 숨을 내쉴 때 빠져나온다. 그래서 라돈은 인체에 직접적인 영향을 끼치지 않는다. 문제는 라돈이 방사능 붕괴를 하면서 생기는 라돈자손이다. 라돈자손이나 라돈자손이 부착된 미세입자가 폐 안으로 들어가면 호흡기에 달라붙는다. 라돈자손은 반감기가 30분 미만으로 짧아서 몸 밖으로 배출되기 전에 방사능 붕괴를 하여 방사선을 방출한다.

방사선에 노출된 폐세포는 유전자가 손상되거나 안정성이 변하면서 결과적으로 악성 종양(암)이 발생할 수 있다. 즉, 라돈자손에 지속적으로 노출되면 폐세포가 손상되고, 그 손상이 누적되면 폐암이 발생할 수 있다.

라돈자손이 방출하는 방사선 중에서도 특히, 폴로늄(^{218}Po , ^{214}Po)에서 방출되는 알파선이 폐암을 일으키는 데 가장 큰 영향을 준다. 알파선은 투과력이 약해 사람 몸 밖에 있을 때에는 인체에 미치는 영향이 매우 낮은 수준이지만, 사람 몸 안에 있을 때에는 에너지가 커서 큰 영향을 미치는 것이다.

미국 환경보호청(EPA) 연구결과(2003년)에 따르면, 미국에서 1년 동안 폐암으로 사망하는 사람 중 10% 이상(약 20,000명)이 라돈과 라돈자손에서 방출되는 방사선에 지속적으로 노출되어 사망한 것으로 나타났다.



우리 나라에서는 한국원자력안전기술원과 한국환경정책평가연구원에서 라돈에 의한 폐암발생 위험도를 연구¹⁾하였는데, 우리 나라 전체 폐암 환자 중 라돈 노출로 인한 경우를 각각 12%, 12.6%로 추정하고 있다.

1) 「거주지역의 라돈가스 노출에 의한 폐암 발생 기여 위험도 산출」(한국원자력안전기술원, 2013년), 「라돈의 실내 공기질 규제에 따른 위해저감효과 및 건강편익산정」(한국환경정책평가연구원, 2014년)

라돈과 흡연의 상승효과

라돈의 영향으로 폐암이 발생할 확률은 담배를 피우지 않는 사람보다 담배를 피우는 사람에게서 더 높게 나타난다. 상대적으로 낮은 농도의 라돈에 노출될 경우에는 세포가 대부분 죽지 않고 유전자가 변이되는데, 이 상태에서 담배에 있는 발암물질에 노출되면 정상적인 세포일 때보다 훨씬 큰 영향을 받기 때문이다.

2012년에 미국 환경보호청(EPA)에서 발간한 ‘라돈에 대한 시민안내서(A Citizen's Guide to Radon)’에 따르면, 권고기준인 148Bq/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.

라돈농도별 흡연자·비흡연자의 폐암 발생률		
라돈농도 (Bq/m ³)	폐암발생률(1,000명당)	
	흡연자	비흡연자
740	260명	36명
370	150명	18명
296	120명	15명
148	62명	7명
74	32명	4명
48.1	20명	2명
14.8	3명	-

※ 48.1Bq/m³는 평균 실내농도, 14.8Bq/m³는 평균 실외농도 수준 (미국 기준)



라돈, 어떻게 관리하나?

라돈은 어떻게 측정하나?

실내의 라돈농도, 어떻게 줄이나?

우리 나라는 라돈을 어떻게 관리하나?

외국은 라돈을 어떻게 관리하나?

우리 나라와 외국의 관리현황 비교

1. 라돈은 어떻게 측정하나?

라돈농도를 측정하는 방법은 공기가 측정장치로 들어오는 방법에 따라 수동형(passive) 측정법과 능동형(active) 측정법으로 구분된다.

수동형 측정법은 공기 이동이나 확산처럼 자연스럽게 공기가 검출기로 들어가 라돈 농도를 측정하는 방법이다. 능동형 측정법은 흡인펌프를 이용하여 검출기 안으로 공기를 모은 후 라돈농도를 측정하는 방법이다.

수동형 측정장치

수동형 측정장치는 대부분 가격이 저렴하고 외부 전원이 필요 없다. 하지만 어디에서 측정하는지, 거주하고 있는 사람의 생활습관이 어떤지에 따라 측정결과가 다르게 나타날 수 있다. 그래서 수동형 측정장치를 이용하여 라돈농도를 측정할 때에는 3~12개월 동안 장기적으로 측정하는 것이 바람직하다.

■ 알파 비적 검출기(Alpha track detector)

알파 비적 검출기는 공기가 이동·확산하는 공간인 챔버(chamber)와 챔버 안에 필름으로 되어있는 검출소자로 구성되어 있다. 라돈이나 라돈자손이 방사능 붕괴를 하면서 방출되는 알파입자가 필름 표면에 부딪히면서 미세한 자국(비적, 飛跡)을 남기며 손상시킨다. 측정이 끝나면 필름을 회수해서 필름 표면을 부식(에칭)시키고 비적을 확인한다. 현미경과 영상처리시스템을 이용하여 알파입자로 인한 비적을 확인하고, 라돈농도를 계산한다.

이 검출기는 사용 방법이 간편하여 대규모 조사에 많이 사용된다. 외부 환경의 영향을 적게 받기 때문에 3~12개월에 이르는 장기 측정에 사용된다. 그리고 측정결과에 대한 신뢰성이 높아 국제적으로 가장 많이 사용되고 있다.

알파비적검출기를 활용한 라돈농도 측정



1 검출기 바코드의 숫자 및 설치 일자를 기록



2 겹표지를 개봉하고 측정위치에 설치·측정



3 측정완료 후 정전기방지 지퍼백에 넣어 실험실로 이송



4 검출기 내부의 필름 회수



5 필름의 비적 부식(예칭)



6 비적 분석 및 농도 계산

■ 충전막 전리함 검출기(Electretion chamber detector)

충전막 전리함 검출기는 (+), (-)를 띠는 전하로 충전되어 있는 충전막과 충전막을 고정시키는 통으로 구성되어 있다.

검출기 안으로 들어온 라돈이 붕괴하여 생긴 알파입자는 검출기 내부의 공기를 이온화시켜 (-)를 띠는 전자를 생성한다. 이 전자가 충전막에 모여 충전막의 전압을 낮추는데, 라돈농도가 높을수록 전압이 낮아지는 정도가 크다. 따라서 전압이 낮아진 정도를 측정하여 라돈농도를 확인한다.

이 측정 방법의 장점은 현장에서 라돈농도를 바로 확인할 수 있으며, 충전막의 전압이 어느 정도 남은 경우에는 재사용할 수 있다는 점이다.

그러나 라돈농도가 높을 경우에는 방사능 붕괴로 생성되는 전자가 충전막 내에 있는 전하량보다 많을 수 있다. 이런 경우에는 검출기의 측정범위를 초과하기 때문에 라돈농도를 정확하게 측정할 수가 없다. 또한, 감마선에 의해서도 전압이 떨어질 수 있어 오차 조정이 필요하고, 전기적인 마찰이나 습도의 영향을 받아 오차가 발생하기도 한다. 따라서 정확한 라돈농도가 필요한 경우에 알파 비적 검출기 등으로 다시 측정해야 한다.

충전막 전리함 검출기를 활용한 라돈농도 측정



1 설치 전 충전막 전하량 체크



2 충전막과 챔버 결합



3 챔버 뚜껑을 열고 개봉 시간 기입



4 측정 위치를 선정하여 설치



5 측정 완료 후 뚜껑 닫고 시간 기입



6 충전막 분리·전하량 체크

■ 활성탄 캐니스터 검출기(Charcoal canister detector)

활성탄 캐니스터 검출기는 활성탄과 활성탄을 담고 있는 금속용기(canister)로 구성되어 있다. 측정하는 동안 라돈이나 라돈자손이 활성탄에 달라붙고, 라돈과 라돈자손이 방사능 붕괴를 할 때 알파선과 같이 나오는 감마선을 감마질량분석기를 이용하여 측정한다.

검출기의 최대 노출기간은 7일 이하로, 주로 짧은 기간 동안 라돈농도를 측정할 때 사용된다. 분석비용이 저렴하고 다루기 쉬워 쉽게 설치할 수 있다. 그러나 온도·습도의 영향을 많이 받고, 활성탄에 붙어있던 라돈이 쉽게 떨어지기 때문에 측정한 후에 바로 분석해야 한다. 또한, 공기 흐름에 민감하기 때문에 많은 사람들이 이용하는 시설에서 측정할 때에는 적합하지 않다.

활성탄 캐니스터 검출기는 주로 1차 예비검사 목적으로 사용하고 있으며, 라돈농도가 높게 측정된 경우에는 반드시 정확하게 라돈농도가 측정되는 방법을 이용하여 90일 이상의 장기간 동안 측정하여야 한다.

활성탄 캐니스터 검출기를 활용한 라돈농도 측정



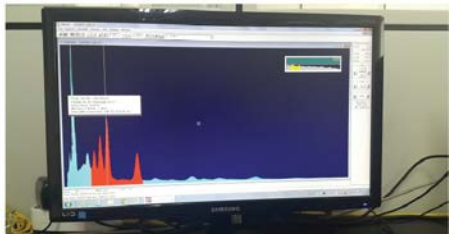
1 뚜껑을 열어 설치 및 측정



2 밀봉 후 분석실 이동



3 감마질량분석기를 이용한 감마선 측정



능동형 라돈 측정장비

능동형 라돈 측정장비는 흡인펌프를 이용하여 공기를 측정기 안으로 계속 빨아들여 라돈농도를 측정하는 방법이다. 능동형 측정법은 시간대별 라돈농도를 연속적으로 측정하여 측정기간 동안 라돈농도 변화를 확인할 수 있다. 이 장비는 2일~90일 정도의 단기간 측정에 사용한다.

■ 섬광셀 검출방식(Scintillation cell detector)

섬광셀 검출방식은 루카스셀(Lucas cell)이라는 섬광셀을 이용한 측정법이다. 셀 안쪽 면에는 섬광체인 황화아연(ZnS)이 도포되어 있다.

셀 안으로 들어온 라돈과 라돈자손에서 알파입자가 방출되어 섬광체에 부딪히면 빛이 나온다. 이 빛을 광증배관으로 증폭하여 전기신호로 변환하고, 이를 이용하여 라돈농도를 측정한다. 온도가 섬광효율에 영향을 미치므로 온도가 매우 낮거나 높을 때에는 별도로 교정해야 한다.

셀 크기에 비례해 검출기의 민감도가 증가하므로, 일반 환경 중의 라돈농도를 측정할 때는 비교적 큰 섬광셀 검출기를 사용한다.

■ 펄스형 전리함 검출방식

펄스형 전리함 방식은 전위계와 데이터 자동저장시스템으로 구성되어 있다. 공기를 전리함으로 유입시키면 안으로 들어온 라돈자손이 방사능 붕괴를 하면서 이온을 생성하는데, 이 이온을 전기적인 펄스형태로 변환시켜 라돈농도를 측정한다.

챔버 용량은 1~1.5L 정도이며, 챔버 크기가 크면 클수록 정확도가 높아진다.

■ 실리콘 검출방식

실리콘 검출방식은 챔버 벽과 실리콘 검출기 사이에 전압을 걸어 2,200V에 이르는 높은 전위차를 이용한 측정법이다. 챔버 안으로 들어온 라돈과 라돈자손이 붕괴되면서 방출하는 알파입자를 실리콘 검출기 표면에 모아 측정한다.

능동형 라돈 측정장비

섬광셀 검출방식



펄스형 전리함 검출방식



실리콘 검출방식



2. 실내의 라돈농도, 어떻게 줄이나?

라돈은 바깥 공기와 실내 공기에 모두 존재하지만, 바깥 공기 중의 라돈농도는 매우 낮다. 따라서 우리가 ‘라돈 노출’이라고 하면 일반적으로 실내 공기에 있는 라돈에 노출되는 것을 말한다.

실내 공기 중 라돈농도를 줄이는 대표적인 방법으로는 라돈이 실내로 들어오는 것을 막는 방법과 실내에 들어온 라돈을 밖으로 내보내는 방법이 있다.

실내로 들어오는 라돈 줄이기

■ 토양 중 라돈가스 배출법(토양가스배출법)

토양에서 나오는 라돈이 실내로 들어오기 전에 미리 바깥으로 내보내면 실내의 라돈 농도를 줄일 수 있다. 토양 중 라돈가스 배출법은 건물 바닥의 토양에 라돈 배출관을 설치하고, 아래의 사진(하얀색 원)처럼 배출관 중간에 환풍기를 설치하여 땅 속에 있는 라돈을 외부로 내보내는 방법이다. 환풍기가 작동하면 라돈을 포함하고 있는 토양 안의 공기가 실내로 들어오기 전에 바깥으로 배출된다.

이 방법은 기계나 장치를 이용한 저감방법 중에서 비교적 간편하고, 공사기간이 짧아 국내·외에서 가장 많이 사용되고 있다. 또한 설치비용과 유지관리비용이 저렴한 편이며, 실내 라돈을 약 50~70%정도 줄일 수 있다.

기존 주택 토양라돈 배출장치 설치 예시



기존 주택보다 건물을 새로 지을 때 라돈 배출관을 설치하면 적은 비용으로도 큰 저감효과를 얻을 수 있다. 라돈 배출관 설치 방법은 다음과 같다. ①건물을 짓기 위하여 기초공사할 때 토양에 자갈을 깔고 토양 라돈 배출관을 설치한다. ②플라스틱 시트를 깔고 틈새가 없도록 밀봉한다. ③바닥에 있는 라돈 배출관으로 모인 공기가 밖으로 나갈 수 있도록 배출관의 최종 배출구를 설치한다.

신축 주택 토양라돈 배출장치 설치 예시



■ 압력으로 라돈 유입 저감(외부공기 유입법)

실내에 환기구를 설치하여 바깥 공기를 실내로 들여보내면 실내 공기의 압력이 커지는데, 이 방법으로 건물 내부의 압력을 건물 아래에 있는 토양의 압력보다 높게 유지하면 토양에서 실내로 라돈이 들어오는 것을 막을 수 있다.

이 방법은 시공이 간편하지만, 여름철에는 뜨거운 바깥공기가 안으로 들어오고, 겨울철에는 차가운 공기가 들어와 실내 공기가 여름에는 더워지고, 겨울에는 추워지는 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위하여 열교환기를 설치하여 열손실을 줄이기도 하는데, 열교환기를 설치하고 관리하는 비용이 추가적으로 드는 문제점이 있다.

외부공기 유입을 통한 라돈 저감 예시



■ 틈새를 막아 라돈 저감(차폐시공법)

실내 라돈의 85~97%는 건물 바닥이나 벽의 갈라진 틈을 통해 실내로 들어온다. 그래서 보강재나 콘크리트 마감재 등을 이용해 틈새를 막아 실내로 들어오는 라돈을 차단할 수 있다. 이음새에 있는 파편들을 깨끗하게 정리한 다음에 봉합제를 충분히 사용하여 틈새를 막는다.

이 방법은 라돈을 줄일 수 있는 간편한 방법으로, 실내 라돈농도가 높으면 건물바닥이나 벽 등에 갈라진 틈이 있는지 확인하여 막으면 된다. 하지만 근본적으로 실내 라돈농도를 줄일 수 있는 방법이 아니므로, 1차적으로 건물 틈새를 막고 나서 추가적으로 다른 방법을 적용하는 것을 권장한다.

틈새 막음 예시



실내에 있는 라돈을 밖으로 내보내기(환기법)

실내에 들어온 라돈을 줄이는 대표적인 방법은 환기이다. 환기는 실내 라돈농도를 줄이는 효과적이고 쉬운 방법이다. 실제로도 사람들이 활동하면서 자연적으로 환기가 자주 되는 낮 시간에 라돈농도가 낮게 나타났으며, 이와 반대로 취침 시간대인 밤중에는 안팎을 오가는 횟수가 줄어들면서 자연적으로 환기 횟수도 줄어 라돈농도가 높아지는 경향이 있다. 그러므로 아침에 일어나면 모든 창문을 동시에 열어 실내·외 공기가 충분히 순환되도록 해야 한다.

라돈을 효과적으로 줄이기 위해서는 하루에 3번 이상, 최소 30분 이상 환기를 해야 한다. 그리고 실내의 먼지농도를 낮추어 라돈자손들이 가급적 달라붙지 않도록 한다.

시간별 라돈농도 변화



※ 출처 : 전국 주택라돈조사(2013-2014), 국립환경과학원

환기에 의한 실내 농도변화



※ 출처 : ISO11665-1. Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods

창문의 수가 적거나 크기가 작아서 자연적으로 환기가 잘 되지 않는 경우에는 환기를 위하여 기계장치를 설치할 수 있다.

라돈을 줄이는 기계식 환기 설비에는 벽체형과 창문형이 있다. 이러한 장치들은 실내의 공기를 강제로 교환시켜 실내 라돈농도를 낮춰준다. 이 설비 시설에 열교환기가 들어있는 경우 난방비 절감에도 도움이 된다.

라돈 저감을 위한 환기 설비

벽체형 환기



창문형 환기



3. 우리 나라는 라돈을 어떻게 관리하나?

실내 공기질 관리기준

「실내공기질 관리법」에 따라 실내 라돈농도를 어린이집, 지하철역사 등 여러 사람들이 이용하는 시설(다중이용시설)에서는 148Bq/m^3 이하로, 연립주택 등 공동주택에서는 200Bq/m^3 이하로 관리하도록 권고하고 있다. 또한, 다중이용시설 소유자는 2년에 한번씩 실내의 라돈농도를 측정하여야 한다.

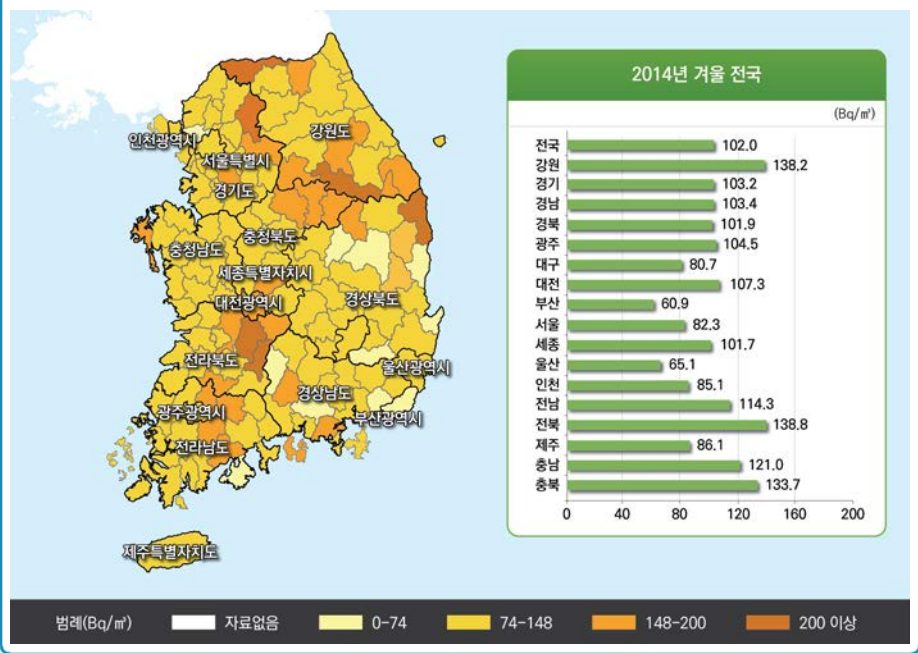
「학교보건법」에서는 유치원과 초·중·고등학교 중 지하에 있는 교실을 다중이용시설의 권고기준과 동일한 수준인 $4\text{pCi/L}(148\text{Bq/m}^3)$ 이하로 관리하도록 하고 있다.

라돈 실태조사 및 라돈지도 제작

환경부는 2008년부터 우리 나라의 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 라돈 관리정책을 마련하는 데 필요한 기초자료로 사용된다.

또한 ‘전국 실내 라돈 실태조사’ 결과를 한눈에 쉽게 볼 수 있도록 라돈지도를 만들고 있다. 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.

전국 시·군·구별 실내 라돈 지도



실내 라돈 무료측정 및 라돈 저감 서비스

환경부는 2012년부터 라돈농도가 높게 나타날 가능성이 높은 1층 이하의 아파트, 주택 등에 거주하는 사람을 대상으로 신청을 받아 무료로 라돈농도를 측정해주고, 라돈을 줄이는 방법을 알려주고 있다.

라돈농도를 측정한 결과에 따라서 라돈저감 서비스를 제공하고 있다.

라돈농도가 148Bq/m³ 이상에서 400Bq/m³ 이하인 경우에는 라돈 알람기를 나누어 주고 있다. 알람기는 거주자가 환기하여 라돈농도를 줄일 수 있도록 148Bq/m³ 이상 일 때 경계음을 낸다. 그리고 라돈농도가 400Bq/m³ 이상일 때는 환기만으로 라돈 농도를 줄이기 어려워 저감설비를 설치해 주고 있다.

2016년부터는 많은 사람들이 라돈저감 혜택을 누릴 수 있도록 ‘무료측정 서비스 및 라돈 저감’ 대상을 마을회관으로 확대하였다. 농·어촌에 있는 마을회관은 어르신들의 휴식공간이자 부녀자·청년들의 활동공간으로 사용되고 있다. 특히, 겨울철에 농사일이 거의 없을 때에는 어르신들이 하루를 보내는 주요 공간이기도 하다. 환경부는 보다 많은 사람들이 저감효과를 볼 수 있도록 노력하고 있다.

라돈알람기 보급 및 라돈저감시공



교육 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.

라돈 저감 매뉴얼



4. 외국은 라돈을 어떻게 관리하나?

라돈 관리기준

세계보건기구(WHO)에서 유럽, 북미, 중국의 일반가정에 대한 연구결과를 분석한 결과, 200Bq/m^3 이하의 라돈농도에서도 폐암 발생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이에 따라 2009년에는 건강을 보호하고, 라돈에 의한 피해를 미리 방지하기 위하여 실내 라돈을 100Bq/m^3 로 관리하도록 권고하였다.

국제비전리방사선방호위원회(ICRP)에서는 1년간 사람이 라돈으로부터 방출되는 방사선에 노출되는 양(유효선량)을 최대 약 10mSv 로 설정하고, 이에 해당하는 농도인 300Bq/m^3 를 가정에서 관리해야할 기준으로 제시하고 있다.

미국에서는 라돈의 건강 영향 및 비용-효과 분석, 라돈 저감 기술 수준 등을 고려하여 실내 라돈 권고수준을 148Bq/m^3 로 제안하고 있다. 라돈이 건강에 미치는 영향을 연구한 결과, 148Bq/m^3 이하에서도 건강 위험이 발생할 수 있는 것으로 나타났으나, 실내 라돈을 줄이는 기술 수준과 비용-효과 분석을 토대로 조치 수준은 148Bq/m^3 로 유지하고 있다.

영국을 비롯한 스웨덴, 체코 등 많은 국가들이 기존에 있던 건물과 새로 짓는 건물을 구분하여 라돈을 관리하고 있다. 라돈농도가 대체로 높은 유럽 국가들은 IARC와 유럽연합 집행위원회(European Commission)의 권고기준을 바탕으로 경제적이고 효율적인 수준을 기준으로 설정하였다. 일반적으로 신축 건물과 기존 건물을 구분하여 권고기준을 $200\sim 400\text{Bq/m}^3$ 로 정하고 있으며, 영국은 기존 건물의 경우 200Bq/m^3 , 신축 건물의 경우 100Bq/m^3 로 제시하고 있다.

국가별 실내 라돈 관리기준 비교

(단위: Bq/m³)

국가	기존 건물	신축 건물	국가	기존 건물	신축 건물
WHO	100		캐나다	200	
ICRP	300		스웨덴	200	
한국	148		벨기에	400	200
독일	100	100	노르웨이	200	200
미국	148		체코	400	200
영국	200	100	핀란드	400	200

권고기준

의무기준



국제비전리방사선방호위원회와 유럽연합 집행위원회

국제비전리방사선방호위원회(ICRP)는 방사선 방호에 관한 권고와 지침을 제공하는 국제 비영리 자문기구이다. 유럽연합 집행위원회(European Commission)는 유럽 통합과 관련된 조약을 수호하고 유럽연합(EU)의 행정부 역할을 담당하고 있다. 또한, 관련 각종 정책을 입안하고 이익을 수호하는 유럽 통합의 중심 기구이다.

국가 또는 기관별 라돈관리



WHO

WHO에서는 2005년에 40여개 국가가 참여한 국제 라돈 프로젝트를 시작하여 라돈의 위험성, 라돈을 관리하고 줄이는 방안, 라돈의 위험성을 알리는 방법에 대해서 자료를 수집하고 분석하였다.

이 프로젝트를 통해 국가별 거주지의 실내 라돈농도, 라돈 저감 수준, 라돈 규제, 라돈 연구기관, 라돈 관련 권한 등을 데이터베이스로 구축하였다. 그리고 라돈 관리의 중요성을 알리고 사람들이 관심을 갖도록 하기 위해 공중보건 가이드라인을 마련하였다. 또한, 라돈 노출로 건강 피해를 입었을 때 예상되는 치료 비용을 산출하고, 라돈의 위험성과 관리 필요성을 알리는 방법을 개발하였다.

2009년에는 ‘WHO 실내 라돈 핸드북(WHO Handbook on Indoor Radon-A Public Health Perspective)’을 발간하여 주민들의 건강 증진 관점에서 라돈 노출에 대해 알리고, 라돈 저감 정책과 라돈의 위험성에 대해 안내하고 있다.

WHO에서는 실내 라돈을 줄이기 위한 방법으로 토양가스배출법, 환기법, 표면 밀봉법, 지하수 처리법 등을 권장하고 있다.



미국

미국 환경보호청(EPA)과 주(州)정부에서는 1989년부터 1991년까지 실내 라돈 조사를 실시하였다. 또한, 라돈 위험지도 작성, 국민 홍보물 발행 등 라돈의 피해를 줄이기 위한 프로그램을 운영하고 있다. 주 정부에서는 부동산 중개업자, 저감시공업자, 지역 사회단체 등 다양한 대상에게 홍보를 시행하고 있다.

EPA는 ‘국가 라돈 조치 계획(The National Radon Action Plan)’을 수립하였다. 2020년까지 5백만 가구의 라돈 위해도를 줄이고 연간 3,200명의 폐암 사망을 막는 것을 목표로 설정하였다.

한편, 주택 소유자들이 스스로 라돈농도를 줄이고 관리하도록 라돈농도 조사를 의무화하였다. 또한 주택을 거래할 때 라돈 측정농도, 저감 시공정보 등 라돈 관련 내용을 제시하도록 하고 있다. 특히, 라돈농도가 높은 지역인 미네소타주에서는 2009년 1월부터 신축되는 주택의 경우 의무적으로 라돈방지시공(Radon Resistant New Construction, RRNC)을 하도록 하고 있다. 이 제도의 시행으로 라돈 기준 초과율이 40%에서 20%로 감소하였다. 또한 시공을 한 주택은 2~5년마다 주기적으로 라돈농도를 측정하도록 권고하고 있다.



미국의 주택 거래시 권장사항

주택을 거래할 때 거래 계약체결 전에 주택 판매자가 의무적으로 해당 주택의 라돈정보를 제공하도록 하고 있다. 공개해야 하는 정보는 다음과 같다.

- ① 판매 대상 주택의 라돈농도 확인 여부
- ② 1회 이상의 실내 라돈 측정경험 유무
- ③ 실내 라돈농도 측정기록
- ④ 저감 시공한 주택일 경우 관련 정보

판매자가 해당 주택의 라돈정보를 제공하지 않아 피해가 발생한 경우, 구매자는 민사소송을 통해 보상받을 수 있다.



캐나다

캐나다는 라돈 가이드라인을 통하여 라돈농도가 200Bq/m³를 초과하는 주택의 재측정 및 저감, 건물 신축시 라돈 저감시공 등을 권고하고 있다.

캐나다 연방보건부(Health Canada)는 ‘국가라돈프로그램’을 운영하고, 2007년 국가라돈연구소(Nation Radon Lab)를 설립하여 DB구축, 라돈지도 작성, 라돈관련 연구 및 교육 등을 추진하고 있다.

새로 짓는 집의 라돈농도를 줄이기 위하여 토양가스배출법을 적용하도록 하고, 라돈 저감시공 가이드라인을 마련하여 라돈 측정·저감 사업자를 대상으로 ‘라돈 인증제도 (C-NRPP, Canadian-National Radon Proficiency Program)’를 운영하고 있다.

또한, 라돈에 대한 인식을 높이기 위해 방송, 교육자료 제작·배포, 라돈 간이측정 세트 보급 및 시연을 추진하고 있으며, 전문가와 이해관계자를 대상으로 ‘국가 라돈봉사 캠페인’을 추진하고 있다.



캐나다의 라돈 인증제도

라돈전문가 양성을 위하여 ①측정, ②저감, ③분석, ④교육, ⑤시공 총 5가지 분야에 대해 교육을 실시하고 있다. 교육을 이수한 사람이 일정한 평가를 통과한 경우에는 인증서를 발급하고 있다.

C-NRPP를 운영하는 기관은 국가에서 인정한 곳으로 보건부, 캐나다 부동산 협회, 캐나다 폐협회, 산업안전보건센터 등이 있다. 이 기관들은 소비자들이 라돈 서비스를 제공받을 수 있도록 C-NRPP를 이수한 전문가를 연결해주거나 홈페이지에 전문가 현황을 게재하고 있다.



영국

영국은 1980~2005년에 국가 실내 라돈농도 조사를 실시하였다. 또한, 토양 라돈 배출시스템 등 라돈 저감 방법을 개발하여 보급하고 있다. 정부에서는 라돈농도가 높은 지역에 대해 라돈 검사를 권고하고, 검사 비용을 일부 지원하고 있다.

홈페이지를 통해서 가구주, 고용주, 전문가 등 각 대상별로 필요한 라돈 정보를 제공하고 있다. 그리고 주택의 연간 평균 라돈농도, 가정 내 흡연자 유무, 건물 1층 바닥 유형 등을 고려하여 라돈농도 저감 조치사항을 권고하고 있다.



스웨덴

스웨덴은 1979년부터 지속적으로 전국의 실내 라돈농도를 조사하고 있다. 1988년부터는 의무적으로 건물부지에 대한 측량조사 시 라돈농도를 조사하도록 하고 있다. 라돈 함량이 많은 일부 건축자재의 생산을 금지하는 등 건축자재도 관리 중이다. 라돈이 고농도로 나타나는 주택이 라돈저감을 위하여 기계를 설치할 경우에 국가에서 그 비용의 50%(최대 £1500)를 지원하고 있다.

5. 우리 나라와 외국의 관리현황 비교

라돈관리는 크게 기준 설정, 실태조사, 저감, 발생원 관리, 홍보 등으로 구분할 수 있다. 우리 나라에서도 다중이용시설, 학교에 대해 권고기준을 마련하여 관리하고 있으며, 국내 라돈분포에 대해서 지속적으로 조사하고 있다. 외국과 우리 나라의 라돈 관리제도를 비교하면 아래의 표와 같다.

외국과 우리 나라의 라돈관리제도		
구 분	국 내	국 외
관리기준	◦ 다중이용시설, 학교	◦ 건축물
조사	◦ 주택, 다중이용시설 등 실내라돈농도	◦ 주택, 학교 등 실내라돈농도 ◦ 건물부지 라돈조사 권고(스웨덴)
저감시공	◦ 일부 주택, 마을회관 등 지원	◦ 라돈저감 매뉴얼 보급 ◦ 라돈저감방법 권고 및 비용지원 (스웨덴, 벨기에)
주택관리	◦ 농도 무료측정, 저감지원	◦ 부동산 거래시 라돈농도 확인(미국) ◦ 고농도주택 라돈저감 설치비용 국고보조 (스웨덴)
건축자재관리	◦ 연간 선량한도(1mSv) 적용 ◦ 환경표지 인증기준 적용 (벽 및 천장마감재)	◦ 방사선 지수 적용(체코) ◦ 라듐(²²⁶ Ra)의 함량기준 설정 (체코, 노르웨이, 독일, 스웨덴)
지도제작	◦ 주택 라돈농도 기반 지도 제작	◦ 주택 라돈농도 기반 지도제작 (미국, 오스트리아, 스페인 등) ◦ 위험도지도(노르웨이, 미국 등) ◦ 주택라돈농도 초과율(아일랜드, 캐나다)
홍보 및 교육	◦ 소책자 제작·보급 등	◦ 핸드북 등 보급 ◦ 라돈 기술인력의 숙련도 프로그램 운영(미국) ◦ 라돈 서비스·교육 전문가 인증 프로그램 운영 (캐나다)



라돈, 바로 알고 제대로 대처하자

라돈 바로알기

생활 속 라돈을 줄이는 방법

1. 라돈 바로알기

Q1. >>>

라돈은 땅속에서 나오는
미세먼지인가요?

Q2. >>>

라돈이 포함된 공기만
관리하면 되나요?

Q3. >>>

라돈이 폐에 영향을 미칠
수 있나요?

Q4. >>>

라돈을 조금만 흡입해도
건강에 큰 영향을 주나요?

Q5. >>>

외부에서 들어오는 라돈을
줄이기 위해 환기횟수를
줄여야 할까요?

Q6. >>>

옆집에서 라돈이 높게
나타나면 우리집도 높은
건가요?

Q1. 라돈은 땅속에서 나오는 미세먼지인가요?

정답 : ✕

라돈은 색깔과 맛이 없으며, 냄새도 나지 않는 기체입니다. 암석이나 토양 등에 함유된 우라늄이 붕괴되어 만들어지는 자연 방사성 물질이 라돈입니다. 그런데 라돈이 방사능 붕괴를 하여 만들어지는 라돈자손들은 입자 상태로 존재하며, 공기 중의 미세입자에 잘 달라붙습니다.

Q2. 라돈이 포함된 공기만 관리하면 되나요?

정답 : ✕

인체에 영향을 미치는 라돈은 주로 실내공기 중에 포함되어 있습니다. 따라서 실내공기 중 라돈을 우선적으로 관리하는 것이 중요합니다. 하지만 지하수나 건축자재에서도 라돈이 방출될 수 있습니다. 지하수나 건축자재에 포함된 양이 많으면 건강에 나쁜 영향을 줄 수 있으므로 지하수나 건축자재에 대해서도 관리하는 것이 좋습니다.

Q3. 라돈이 폐에 영향을 미칠 수 있나요?

정답 : ○

숨을 쉴 때 우리 몸 속으로 들어온 라돈과 라돈자손은 붕괴되면서 알파선을 방출하여 폐조직을 파괴합니다. 따라서 라돈에 장기간 지속적으로 노출되면 폐암이 발생할 위험이 있습니다. 그래서 라돈을 흡연과 더불어 폐암의 주요 원인물질로 보고 있습니다.

Q4.

라돈을 조금만 흡입해도 건강에 큰 영향을 주나요?

정답 :



라돈이 우리 몸에 나쁜 영향을 끼치지 않는 안전한 양이 어느 정도인지는 아직 밝혀진 바가 없습니다. 그러나 지금까지의 연구결과에 따르면 오랫동안 지속적으로 라돈에 노출될 경우 폐암 발생 위험이 뚜렷하게 증가하는 것으로 나타났습니다. 우리가 라돈에 잠깐 노출된다고 해서 몸에 해로운 것은 아니지만, 라돈 노출로 폐세포 손상이 누적될수록 위험성도 커지기 때문에 최대한 낮은 농도를 유지하도록 노력해야 합니다.

Q5.

외부에서 들어오는 라돈을 줄이기 위해 환기횟수를 줄여야 할까요?

정답 :



건물 하부의 토양 또는 암석으로부터 방출된 라돈은 건물 바닥, 벽 등의 눈에 쉽게 보이지 않는 미세한 틈을 통해서도 실내로 들어옵니다. 따라서 이러한 라돈을 줄려면 자주 환기하여 실내에 있는 라돈을 밖으로 내보내야 합니다.

Q6.

옆집에서 라돈이 높게 나타나면 우리집도 높은 건가요?

정답 :



라돈농도는 지질의 영향을 받기 때문에 동일한 지질대에 있는 마을에서는 라돈농도가 비슷할 가능성이 높습니다. 하지만 토양으로부터 들어오는 라돈은 건물의 노후도, 밀폐성과 환기 등 생활습관 등에 영향을 받으므로 라돈농도는 집집마다 다를 수 있습니다. 그리고 토양에 비해 수치는 낮지만, 건축자재 등에서도 라돈이 발생할 수 있기 때문에 살고 있는 집의 라돈농도를 직접 측정하는 것이 가장 확실합니다.

2. 생활 속 라돈을 줄이는 방법

주기적으로 창문을 열자

라돈을 줄이는 가장 쉽고 효과적인 방법은 ‘환기’이다. 주기적인 환기를 통해 실내 공기 중에 라돈이 쌓이는 것을 막을 수 있다. 특히, 라돈 노출에 취약한 겨울철과 오래된 주택에 사는 환기를 더 자주 해야 한다.



틈새를 잡자

라돈농도 측정 결과 기준치를 초과했다면, 바닥이나 벽 등의 갈라진 틈을 확인하여 꼼꼼히 메워준다. 틈새를 막는 것만으로도 땅에서 집으로 들어오는 라돈의 양을 줄일 수 있다.



지하수는 끓이거나 잠시 두었다가 사용하자

지하수를 생활용수로 사용하는 곳에서는 지하수 중 라돈농도를 알아보아야 한다. 라돈농도가 높을 경우 실내 창문을 열거나, 환기 장치를 켜 둔 상태에서 지하수를 10분 이상 끓이거나 방치한 뒤 사용하면 라돈농도가 낮아진다. 이 밖에도 폭기, 활성탄 처리 등의 방법을 사용할 수 있다.



친환경 건축자재를 사용하자

주택을 새로 짓거나 리모델링할 때 사용하는 벽, 천장 마감재는 환경표지인증정보를 확인한다. 환경표지대상제품 인증 정보에는 방사능 지수(I, activity concentration index)가 포함되어 있다. 방사능 지수는 제품의 라듐, 토륨, 포타슘 농도를 바탕으로 실제 영향 수치를 계산한 것으로, 벽 및 천장 마감재의 환경표지 인증기준에 방사능지수를 1.0 이하로 하고 있다. 구매하는 제품에 친환경마크가 부착되어 있다면, 방사능 지수 기준을 통과한 제품이며, ‘녹색제품정보시스템’ 사이트를 통해 인증된 제품 정보를 제공받을 수 있다.



※ 환경부에서는 생활환경정보센터(<http://iaqinfo.neir.go.kr>)를 통해 라돈과 관련된 정보와 자료를 제공하고 있습니다. 라돈 지도를 통해 살고 있는 지역의 평균 라돈농도를 확인할 수 있습니다. 거주지의 라돈농도 측정을 희망하는 경우 인터넷 홈페이지 www.radon-free.or.kr과 라돈콜센터(☎ 1899-9148)를 통해 라돈 무료측정 서비스를 신청해 주시기 바랍니다.

참 고

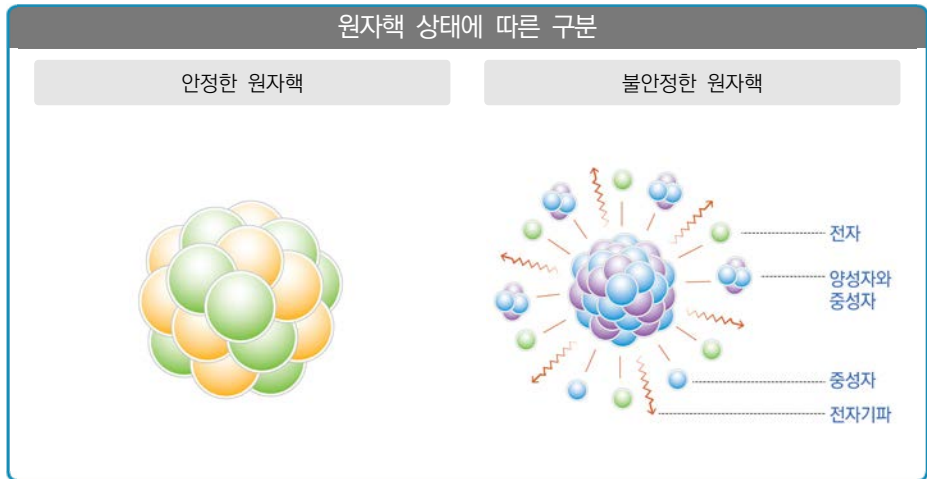


방사선이란 무엇인가?
우리 생활 속 방사선

방사선이란 무엇인가?

일반적으로 원자핵은 양성자와 중성자가 아주 강한 힘으로 단단하게 결합되어 있어 안정된 상태로 존재한다. 하지만 우라늄이나 토륨처럼 양성자가 매우 많은 원자핵은 양성자끼리 서로 밀어내는 힘이 강해 불안정하게 된다.

불안정한 원자핵은 양성자, 중성자, 전자 또는 전자기파를 밖으로 내보내는데, 이것을 통틀어 ‘방사선’이라 한다. 즉, 방사선은 일반적으로 에너지를 갖고 있는 입자나 파장이 전파해 나가는 에너지의 흐름을 말한다.



방사선은 방사능 붕괴를 할 때 어떤 것이 밖으로 방출되는 지에 따라 구분할 수 있다. 양성자, 중성자, 전자가 나오는 방사선은 입자로 되어 있어 ‘입자형 방사선’이라고 하고, 전자기파 형태로 나오는 방사선은 ‘파장형 방사선’이라고 한다.

입자형 방사선

대표적인 입자형 방사선에는 알파선, 베타선, 중성자선이 있다.

■ 알파선

원자핵이 방사능 붕괴를 할 때, 양성자 2개와 중성자 2개로 이루어진 알파입자를 방출하는 방사선을 알파선이라 한다. 상대적으로 질량이 크고, +2의 전하량을 가지고 있다. 에너지와 다른 물질을 이온화시키는 능력(전리작용)이 크다. 멀리 나아가는 힘이나 물질을 통과하는 힘이 약해 얇은 종이나 인체의 피부조직으로도 차단할 수 있다.

■ 베타선

베타선은 전하를 띠는 전자의 흐름을 가리킨다. 알파선에 비해 매우 가볍고 빛과 비슷한 속도로 움직인다. 전리작용은 알파선보다 약하다. 베타선은 물질을 통과하는 힘이 크지 않아 얇은 플라스틱이나 금속판으로 차단할 수 있다.

전기의 '전자'와 베타선의 '전자'

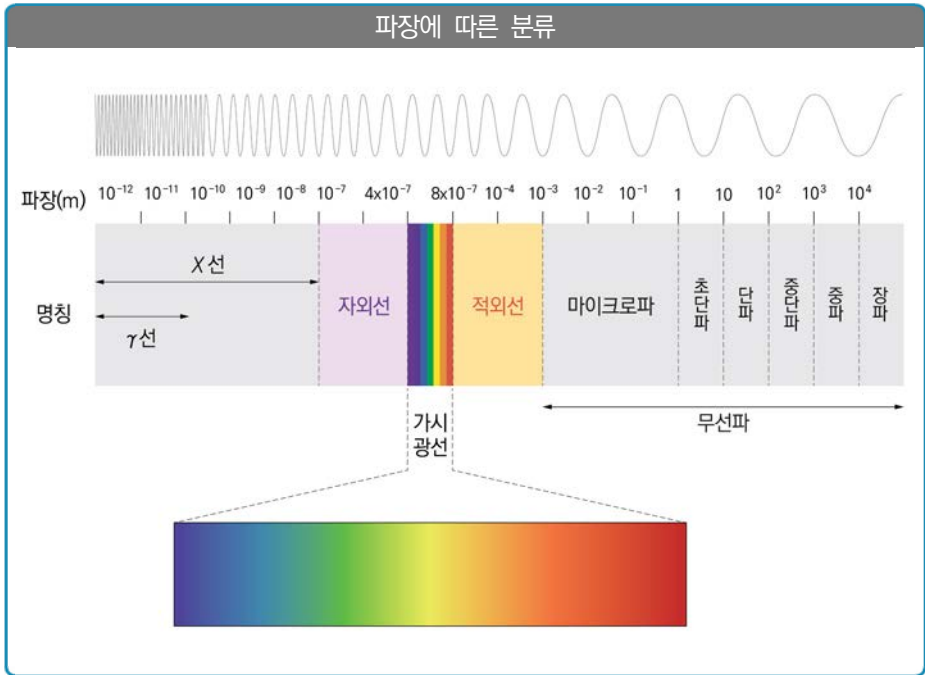
전기의 '전자'와 베타선의 '전자'는 음(-)의 전하를 갖는 동일한 입자이다. 하지만 전자가 생기는 원인이 다르다. 전기의 전자는 전위 차이가 생기면 전기가 통하는 물체를 따라 이동한다. 반면, 베타선의 전자는 불안정한 원자핵이 안정한 상태로 변하기 위해 방사능 붕괴를 하면서 스스로 원자에서 방출된다. 전자가 갖는 에너지나 위해성은 전류, 전압, 원자핵의 종류에 따라 다르다.

■ 중성자선

중성자선은 방사능 붕괴를 할 때 중성자가 방출되는 방사선이다. 속도는 빠르지 않지만 전기적으로 중성이라 물질을 이온화시키는 능력이 작고 물질 속에서 멀리까지 나아간다. 그러므로 중성자선을 효과적으로 막기 위해서는 두꺼운 콘크리트, 합성수지 등을 사용해야 한다.

파장형 방사선

파장형 방사선은 파장이 짧은 감마선부터 장파에 이르기까지 종류가 다양하다. 가시광선, 적외선, 자외선 등 우리가 흔히 말하는 ‘빛’도 파장형 방사선에 속한다. 하지만 일반적으로는 X선 이상의 에너지를 갖는 것을 ‘방사선’으로 보며, 감마선, X선이 여기에 해당한다.



■ 감마선

감마선은 파장이 매우 짧은 전자기파이다. 다른 물질을 이온화시키는 전리작용은 가장 약하지만 물질을 통과하는 힘은 가장 세기 때문에 인체 외부에 존재할 때도 인체 내부 장기에 손상을 줄 수 있다. 이러한 감마선을 효과적으로 막기 위해 두꺼운 납이나 콘크리트를 사용한다.

■ X선

X선은 일반적으로 감마선보다는 파장이 길고, 빛보다는 파장이 짧은 전자기파이다. 물질을 뚫고 지나가는 성질이 있어 의료 분야에서 많이 사용된다. X선의 성질은 감마선과 거의 같다. 다만, 감마선은 원자핵이 방사능 붕괴를 하면서 발생하는 것이고, X선은 전자가 갖고 있던 에너지량이 변하면서 생기는 방사선이라는 점에서 차이가 있다.

방사선의 에너지

모든 방사선의 에너지는 이동 거리가나 물질을 뚫고 지나가는 힘에 따라 달라진다. 역제곱의 법칙(Inverse square law)에 따라 에너지의 크기는 거리의 제곱에 반비례한다. 즉, 거리가 멀수록 에너지가 줄어든다는 것이다.

또한 파장이 작을수록 높은 에너지를 갖고 있어, 장거리 이동이 가능하고 투과율이 높아진다. 입자형 방사선 중에서 알파선과 베타선은 파장형 방사선에 비해 파장이 길어 상대적으로 작은 에너지를 방출한다. 이에 반해 중성자선은 파장형 방사선과 비슷하거나 더 짧은 파장을 가지고 있어 에너지도 크고 투과력도 크다. 파장형 방사선 중에서는 감마선이 X선보다 파장이 짧아 상대적으로 에너지와 투과율이 높다.

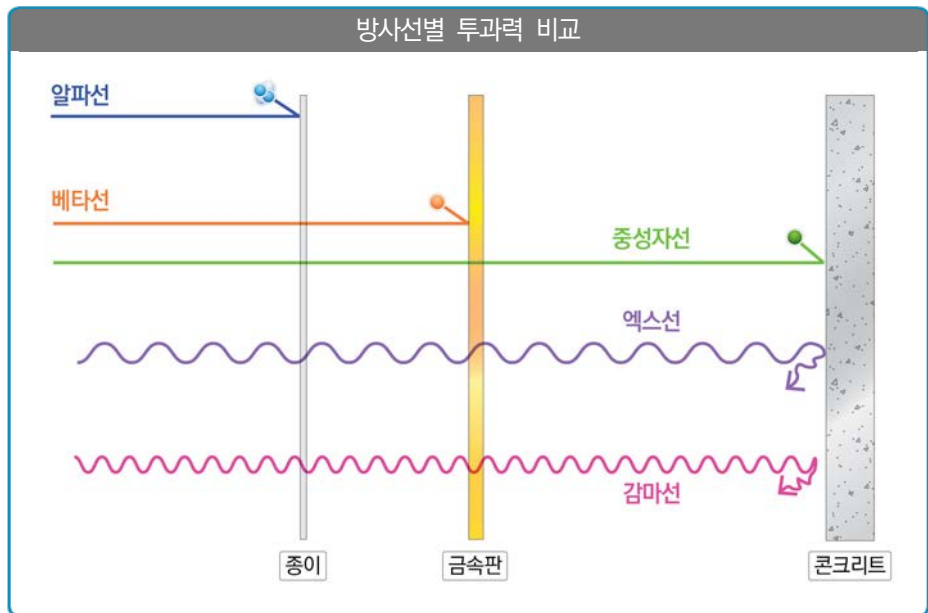
각 방사선별로 에너지 크기를 비교하면 ‘알파선 → 베타선 → X선 → 감마선 → 중성자선’ 순으로 나타낼 수 있다.

방사선의 영향

방사선에 노출되면 에너지가 세포에 흡수되어 세포를 파괴시키거나 변형시키는 등 신체에 나쁜 영향을 끼친다. 그 영향은 다른 물질을 이온화시키는 전리능력에 비례하고, 생체에 흡수되기 쉬울수록 크다. 또한 방사선에 노출된 신체 부위가 어디인지도 중요하며, 신체조직과의 반응성에 따라서도 방사선에 의한 인체 영향이 달라진다.

방사선 중에서 전리작용은 알파선이 가장 크고, 그 다음은 베타선, 감마선 순서이다. 투과성은 반대로 감마선이 가장 크며, 베타선, 알파선 순서로 약해진다. 따라서 몸 밖에서 방사선에 노출되었을 때는 감마선이 위해성이 가장 크지만, 몸 안으로 들어온 방사선의 경우에는 알파선이 가장 큰 영향을 준다. 베타선도 알파선과 같이 주로 몸 안으로 들어온 경우 영향을 미친다. 즉, 같은 방사선이라도 노출된 부분이 몸 안인지 밖인지에 따라 영향여부와 그 정도가 달라진다.

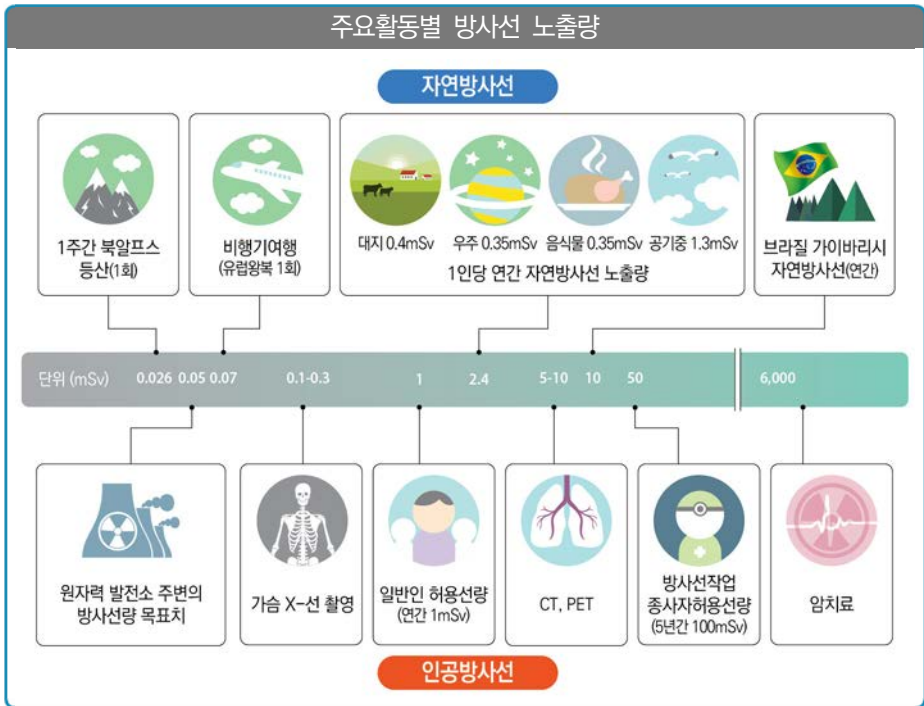
방사선에 노출되었을 때 어떤 신체부위가 영향을 받는지는 방사성핵종에 따라 달라진다. 예를 들면 라돈은 알파선을 방출하므로 몸 안으로 들어온 경우에 영향을 미치며, 기체물질로 호흡기를 통해 몸 안으로 들어오므로 주로 폐에 영향을 준다. 또한 요오드(^{131}I)는 주로 베타선을 방출하는 물질이므로, 몸 안에 들어왔을 때 인체에 영향을 미친다. 인체가 몸 안으로 들어온 요오드(^{131}I)를 정상적인 요오드(^{127}I)로 인식하여 요오드를 필요로 하는 부위인 갑상선으로 이동·축적시키기 때문에 신체 중에서도 갑상선을 중심으로 나쁜 영향을 미친다.



우리 생활 속 방사선

사람은 일상 생활에서도 방사선에 노출되고 있다. 1년 동안 노출되는 방사선의 85%는 자연방사선에 의한 것으로, 그 양은 전세계 평균 2.4mSv이다.²⁾ 2.4mSv는 두개골 CT 촬영할 때 노출되는 방사선량의 약 1/4~1/2에 해당하는 양이다. 자연방사선에는 암석 등에서 나오는 지각방사선, 별에서 방출되는 우주방사선 등이 있다.

반면, 자연방사선과 달리 X선촬영, CT촬영 등 질병을 진단하고 치료하는 데에 사용하기 위해서 사람이 일부러 방사선을 만들기도 하는데, 1년간 사람이 노출되는 방사선의 약 14%는 의료과정에서 사용되는 평균 방사선량에 해당한다.



2) 이온화 방사선의 발생원과 영향(Sources and effects of ionizing radiation), 유엔방사선영향과학위원회(UNSCEAR : 이온화 방사선의 노출 수준 및 영향에 대한 정보를 수집하고 평가하기 위하여 설립된 국제기구), 2008.

우리 나라에서는 원자력 발전시설이나 방사성 물질이 포함된 제품사용 등 개인 의사와 상관없이 노출되는 방사선의 양에 대하여 일반인에게 노출되는 연간 선량한도를 1mSv로 규정하고 있다.³⁾ 이는 방사선 위험과 일반인이 위험을 감수하는 수준을 고려하여 국제방사선방호위원회(ICRP)에서 권고한 값이다. 여기에는 사고로 노출되는 방사선이나 진료·치료를 위해 사용하는 방사선은 해당되지 않는다.

선량한도는 방사선 방출시설을 안전하게 관리하기 위한 수단일 뿐, 위험 여부를 판단하는 값은 아니다. 인위적으로 방사선에 노출될 수 있는 상황에서 사전에 그 정도를 충분히 예측해 필요한 조치를 취하도록 하는 법정 기준이다.

자연방사선이나 우발적 사고로 방사선에 노출되는 것은 의도한 상황이 아니므로 선량한도를 적용하지 않는다.

국제방사선방호위원회에서는 자연방사선 발생원 중 하나인 라돈을 참고준위인 연간 10mSv 이하로 관리하도록 권고하고 있다.

3) 「원자력 안전법」 시행령 제2조4호 및 「생활주변방사선 안전관리법」 제15조.

부 록



용어 해설

용어 해설

방사선	방사성 물질의 원자가 붕괴되면서 방출하는 에너지로 알파선, 베타선, 감마선 등이 있음.
반감기	방사성 물질의 방사능 양이 반으로 줄어든 때까지 걸리는 기간
변성암	높은 온도와 압력에 의해 액체로 변하지 않고 고체 상태로 변화된 암석
편마암	변성암의 일종으로, 퇴적암이 높은 온도 하에 넓은 지역에 걸쳐 기존의 암석이 변화된 암석
결정질암	화성암과 변성암을 일컫는 말로 비교적 큰 결정으로 구성된 암석
유전자 변이	생식 세포의 유전자 그 자체의 성질이 변화하는 것
극저주파	주파수대의 구분 중 하나로, 보통 3kHz 이하, 수 Hz 이상의 주파수대를 말함. 약칭으로 ELF라고 함.
흡인펌프	펌프 종류의 하나로, 빨아들이는 용도로 사용
비적	방사선의 이동 경로로, 전하를 가지고 있는 입자의 비적만 관측 가능
전하	물체가 갖고 있는 정전기의 양으로, 양전하와 음전하로 구분됨. 정전기나 전류 등 전기적 현상을 일으킴.
활성탄	미세한 구멍으로 인해 표면적이 매우 넓어지도록 만들어진 숯
섬광체	방사선 검출에 사용되는 형광체. 방사선이 부딪히면서 상섬광을 발생시키는 물질
유효선량	인체 조직별로 방사선에 노출되었을 때 위험정도를 통합하여 나타내는 값. 인체 조직별 등가선량(생물학적 영향을 고려하여 보정한 흡수선량)과 가중치를 곱하여 모두 합산한 양
방사능지수	제품 중 자연 방사성 물질 라듐(^{226}Ra), 토륨(^{232}Th), 포타슘(^{40}K)의 농도를 이용하여 연간유효선량을 나타낸 지수

MEMO



환경부

발 행 : 환경부 대변인실(044-201-6061)
30103 세종특별자치시 도움6로 11

정책담당 : 환경부 환경보건정책과(044-201-6754)

© 2016 Copyrights Ministry of Environment. All Rights Reserved.