

발암물질 라돈(radon, Rn)의 생성과정, 관련 과학상식, 농도표시방법, 노출기준, 위험성 등
기본사항 + 라돈(Rn) 방출 제품에 대한 제조물 책임 및 확대손해 관련 배상책임



라돈(Rn, 원자번호 86)은 퀴리 부부가 1898년 찾아낸 방사성원소 라듐(Ra, 원자번호 88)이 붕괴할 때 방출되는 방사성 기체에서 발견되었습니다. 라듐(Radium)이라는 이름은 방사선을 뜻하는 라틴어 'radius'에서 따왔다. 라듐보다 1년 뒤에 발견된 라돈(Radon)은 여기에 비활성 기체의 접미어 'on'을 붙여 지은 이름입니다.

라돈은 무색 무취 무미의 기체로 공기보다 약 8배 무겁기 때문에 호흡을 통해 인체 내에 흡수되기 쉬운데 라돈 자체 혹은 이의 방사성 붕괴 생성물들이 내는 강한 방사선때문에 인체에 매우 해로운 원소입니다. 미국환경보호국에서는 라돈을 흡연 다음으로 위험도가 높은 폐암 원인으로 보고 있고, 국제암연구기구는 라돈을 1군 발암물질로 분류하고 있습니다.

1급 발암물질 라돈 방출 침대 매트리스의 제품의 하자, 상품적합성 결여, 제조물의 결함이 분명하므로 제조업체에 대한 손해배상책임도 쉽게 인정될 것입니다. 핵심쟁점은 손해배상의 종류 및 범위 문제입니다.

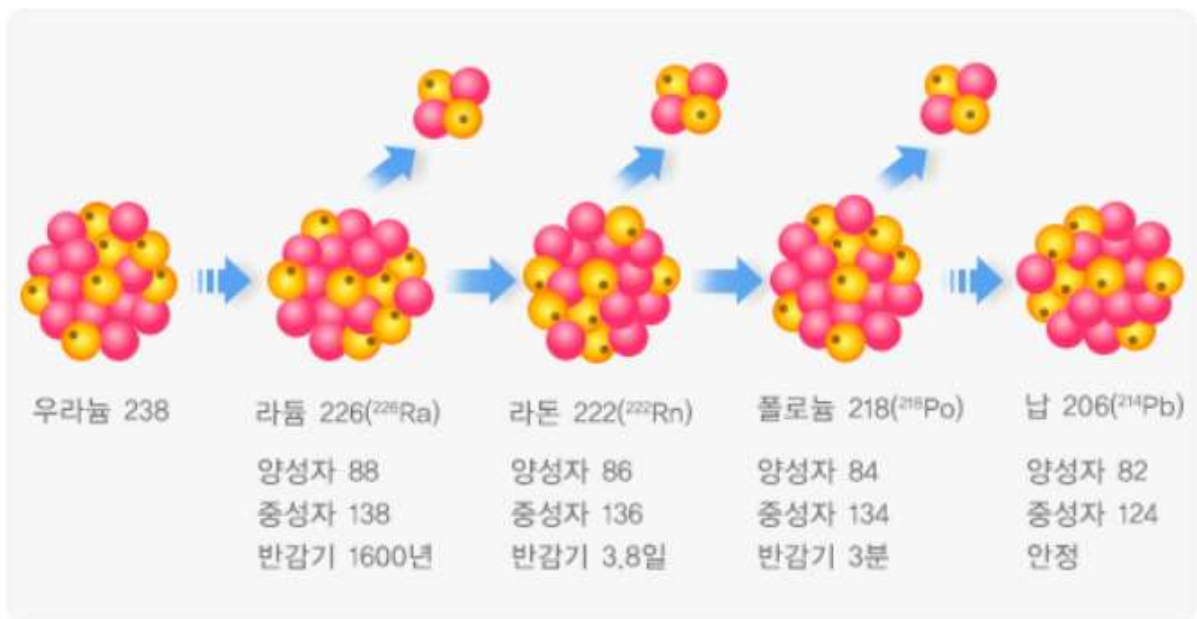
통상손해에 해당하는 구입대금 환불이나 대체품 교환 등은 별다른 문제가 없습니다. 법적으로 매도인은 구매계약에서 거래 통념상 객관적 성능이 결여되지 않은 완전물을 지급할 의무가 있기 때문입니다. 매매 목적물인 매트리스에 하자가 있다면 매도인에게 귀책사유가 없더라도 하자에 대한 담보책임을 부담합니다. 매수인은 하자로 인해 계약의 목적을 달성할 수 없을 경우 계약을 해제하거나 손해배상을 청구할 수 있고, 또는 선택적으로 계약 해제나 손해배상 대신 하자가 없는 물건으로 교환해 줄 것을 청구할 수 있습니다.

라돈이 건강에 치명적일 수 있는 1급 발암물질이지만 구체적으로 생명, 신체에 손해가 생긴 경우가 아니라면, 제조물 책임을 물을 수 없습니다. 또한, 확대손해, 특별손해에 대한 배상책임도 인정될 가능성도 높지 않습니다.

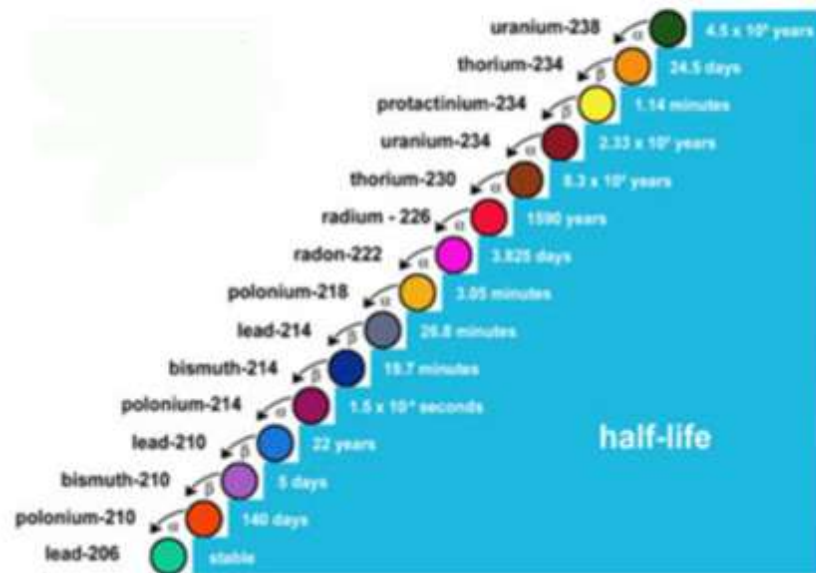
종래의 참고사례로, 대법원에서 베이비파우더에 함유된 석면 탈크 성분이 발암물질인 점이 분명한데도, 사용자에게 생명, 신체에 손해가 발생하지 않았다면, 그와 같은 제품의 사용으로 인한 정신적 손해도 인정할 수 없다고 판결한 사례가 있습니다. 실제 생명, 신체에 손해가 발생한 가슴기 살균제 사안과 다르다고 보아야 할 것입니다.

라돈[Rn]의 생성, 소멸 및 방출 방사선

〈그림 라돈 생성 과정〉

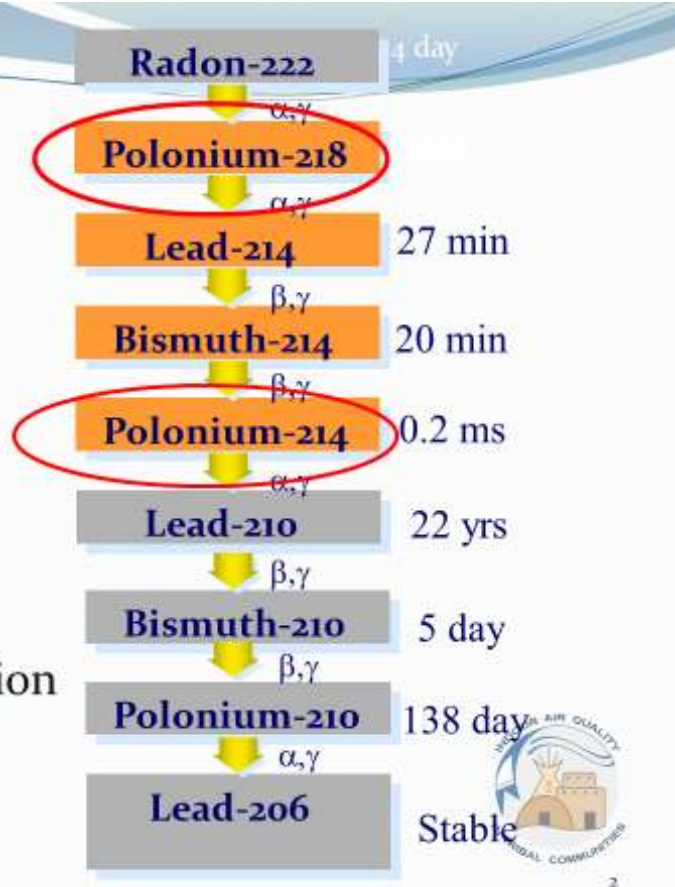


Radon “Daughters”



Radon Decay Products

Po-218 and Po-214
Deliver majority of radiation dose to lungs



라돈[Rn]은 우라늄-238(238U)의 붕괴 생성물인 라듐-226(226Ra)이 알파(이하 α) 붕괴하여 생성된다. 라돈은 α 선을 방출하고, 이후 폴로늄-218(218Po)으로 붕괴가 된다. 붕괴는 지속되어 폴로늄-218(218Po, 3.05분) → 납-214(214Pb, 26.8분) → 비스무트-214(214Bi, 19.9분) → 폴로늄-214(214Po, 0.00016초) → 납-210 (210Pb, 22.3년)이 된다. 이처럼 라돈[Rn]이 있으면 방사선을 방출하고 상대적으로 반감기가 짧은 4종의 라돈[Rn] 딸 핵종이 발생한다.

라돈[Rn]의 동위원소인 219Rn은 235U[우라늄]의 자연 붕괴에서, 220Rn는 232Th[232토륨]

의 자연 붕괴에서, 그리고 ^{222}Rn 는 ^{238}U 자연 붕괴[우라늄 계열]에서 각각 ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{226}Ra 의 α 붕괴로 생성된다. 생성된 라돈 동위원소들은 모두 α 붕괴를 하여 폴로늄[Po]이 되고, 최종적으로는 납[Pb]동위원소가 된다. 중간 생성물로 여러 방사성 동위원소들이 생기는데, ^{222}Rn 의 방사성 중간 생성물로는 ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Po 등이 있다. 라돈 [^{222}Rn]과 이의 중간 생성물들은 높은 에너지의 α 입자를 방출하고 최종적으로 안정한 ^{206}Pb 가 되는데, 이 과정에서 β 선과 γ 선도 방출된다.

1g의 라듐[^{226}Ra]은 하루에 1/1000 cm^3 의 라돈[^{222}Rn]가스를 방출한다. 대지나 지하수에 포함된 라듐에서 라돈[Rn]이 생성되고, 이것이 환기가 잘되지 않은 건물 내부에 존재하면 축적될 수 있다.

라돈의 전구물질인 라듐은 화강암에는 암석 10억 톤당 0.4 mg의 비율로 들어있으며, 이외에도 인광석, 석회석, 변성암, 흙 등에도 들어있다. 따라서 ^{222}Rn 은 우라늄광, 인광석, 화성암 및 변성암, 석회석, 흙, 석유 등에서 미량 발견된다.

라돈[Rn]은 균열된 암반 사이에서 대기 중으로 방출된다. 따라서 환기가 잘 되지 않는 일부 건물의 실내나 지하실에서는 외부 대기에서 보다 월등히 높은 농도로 라돈이 축적될

수 있다. 일부 온천수, 광천수, 지하수 등에서도 평균 이상의 라듐과 라돈이 발견된다. 평균 이상의 라듐이나 라돈이 녹아 있는 온천을 라듐 온천 또는 라돈 온천이라 부른다.

라돈[Rn]의 위험성

세계보건기구(WHO)는 라돈[Rn]을 흡연 다음으로 폐암을 일으키는 발병 요인이라고 하였다. 폐암 발병의 3~14 %가 라돈[Rn]에 의해서 발생한다. 미국 환경청(EPA)에 따르면 미국인의 연간 폐암 사망자의 10 % 이상인 약 21,000명 정도가 라돈[Rn]에 기인한 것이며, 이는 익사나 화재에 의한 사망위험 보다 높고, 음주운전에 의한 사망자보다 더 높다고 발표했다.

EPA가 국민을 대상으로 라돈[Rn]문제를 홍보하기 위해 발간한 자료 "라돈[Rn]에 대한 시민안내서(A citizen's guide to Radon)"에서 규제기준인 4 pCi/L의 라돈[Rn]농도가 유지되는 실내공간에서 평생 동안 생활하면 흡연자인 경우 1,000명중 약 62명(6.2%)이 폐암의 위험이 있다고 한다(비흡연자는 이의 1/10).

라돈의 농도 표시

라돈[Rn]의 농도는 베크렐(Bq)이나 피코큐리(pCi)로 표현한다. 베크렐 방사선 양의 국제단위(SI)는 베크렐(Bq)인데, 1 Bq는 1초에 원자 1개가 방사성 붕괴할 때 나오는 방사선 양이다. 널리 사용되는 또 다른 단위는 퀴리(Ci)인데, 1 Ci는 1g의 라듐(^{226}Ra)이 1초 동안 붕괴할 때 나오는 방사선 양으로, 1초당 3.7×10^{10} 개의 원자가 붕괴할 때 나오는 방사선 양과 같다. 따라서 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 이다.

공기 중 라돈의 농도는 Bq/m^3 이나 pCi/L 로 표시하며, 1 pCi/L 는 37 Bq/m^3 에 해당한다. 대기 중의 라돈 농도는 장소에 따라 다르며, 평균적으로 대략 4 Bq/m^3 이다. 이는 공기 1L에 약 2,000개의 라돈 원자가 들어있는 것에 해당하는데, 공기 1L에 들어 있는 분자의 총 수는 약 2.7×10^{22} 개이다.

라돈의 노출기준

노출기준이란 건강한 사람에서 라돈[Rn]으로 인한 건강영향을 예방하기 위하여 더 이상 노출되어서는 안 되는 가장 낮은 수준의 라돈[Rn]농도를 말한다. 라돈[Rn]농도에 대한 기준으로는 미국과 우리나라의 경우 148 Bq/m^3 , 캐나다의 경우 200 Bq/m^3 이며 스웨덴의 경우 기존 주택(400 Bq/m^3)보다 신규주택(200 Bq/m^3)의 기준을 더 낮춰 적용하여 설정하고 있다.

우리나라는 1989년 '지하공간 환경기준 권고치 설정'으로 라돈[Rn]의 권고기준을 148 Bq/m³으로 정하였다. 1996년 "지하생활공간 공기질 관리법"에서는 라돈[Rn]을 오염물질로 규정하였으나 자연 방사능이라 해서 기준설정을 하지 않았지만, 2003년 "다중이용시설 등의 실내공기질관리법"을 제정하고 라돈[Rn]에 대한 노출기준을 다시 148 Bq/m³으로 정하였다.

Radon Levels

- Red alert - radon level above 4 pCi/L (pico Curies per Liter)
- Yellow alert - radon levels between 2 pCi/L and 4 pCi/L
- Average radon indoor air about 1.3 pCi/L

유해물질, 인과관계조사, 손해배상, 특별손해, 제조물책임, 관리책임, 민형사소송, 법률자문

T. 02-591-0657 E. kkh@kasanlaw.com H. www.kasanlaw.com