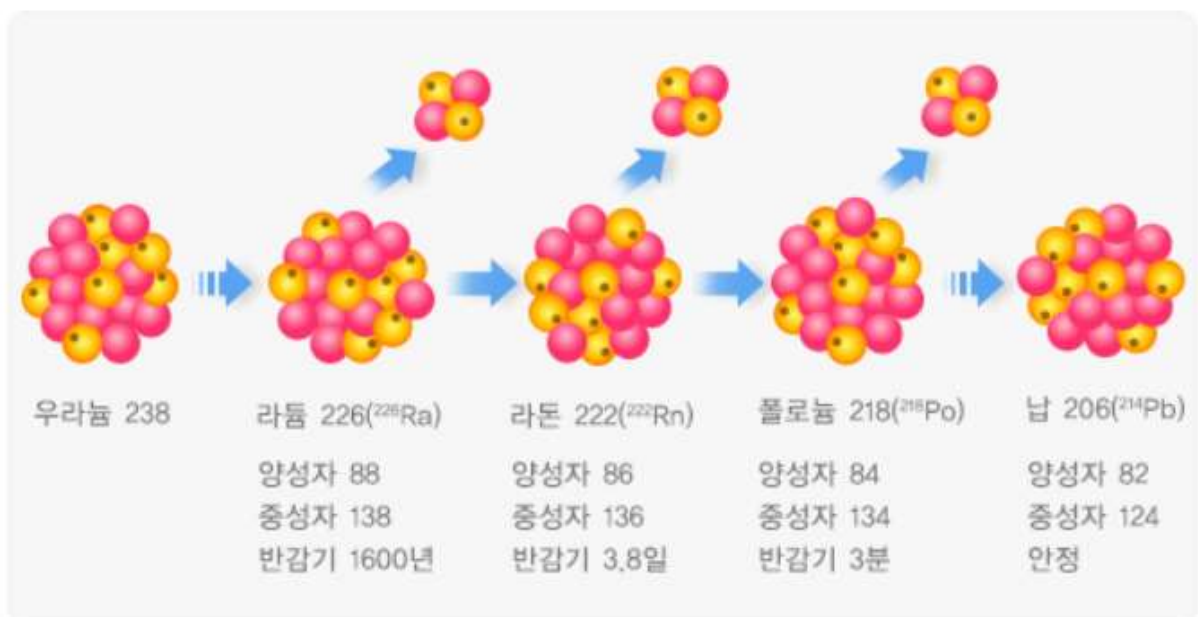


[제조물책임쟁점] 1급 발암물질 라돈(radon, Rn)의 생성과정, 관련 과학상식, 농도표시방법, 노출기준, 위험성 등 기본사항 정리

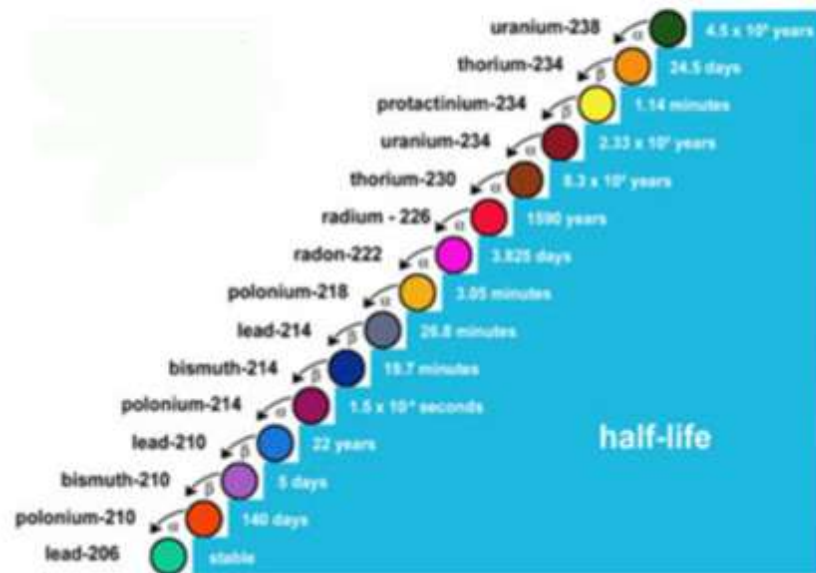


라돈[Rn]의 생성, 소멸 및 방출 방사선

〈그림 라돈 생성 과정〉

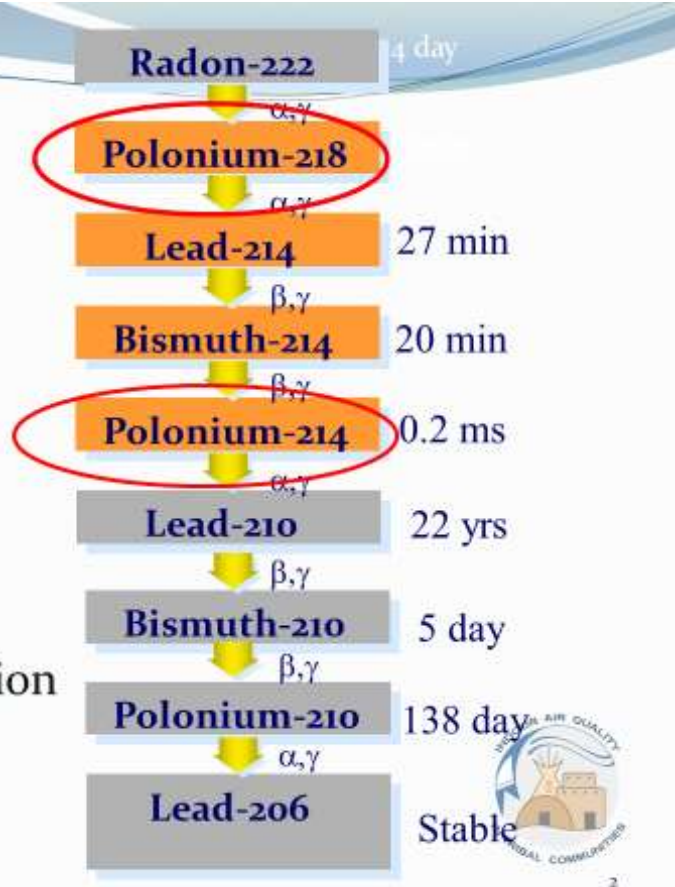


Radon “Daughters”



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

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