

“라돈”(Rn-222)



金潤信

(한양대 의과대학 부교수)

I. 서론

도시인들이 실내에서 생활하는 시간이 길어지고 고층건물과 주택이 더욱 밀폐되어 감에 따라 실내 공기오염의 영향이 더욱 중요시 되고 있는 실정이다. 실내공기오염물질 중 방사능물질인 라돈(Radon; Rn-222)은 최근 구미각국에서 그 영향에 대한 조사연구가 활발히 진행되고 있다.

최근들어 우리나라에도 라돈탕 또는 라돈온천수 등으로 알려진 라돈이란 물질에 대해 자세히 고찰해 볼 필요가 있다.

라돈은 지구상에서 발견된 약 70여 가지의 자연 방사능물질의 하나로서 사람이 가장 흡입하기 쉬운 기체성 물질로서 그 반감기는 3.8일간으로 라듐(Radium; Ra-226)의 핵분열시 생성되는 물질이다.

먼저 방사능(Radioactivity)의 발견과정을 보면 1895년에 ‘뢴트겐’이 X선을 발견하였고 다음해인 1896년에 프랑스의 물리학자 ‘베크렐’은 검은 종이에 쓴 사진건판이

감광되는 것을 보고, 이는 우라늄에서 방출되는 방사선이라고 생각하였다. 보통 이것을 방사능의 발견이라고 일컫는다. 그후 ‘큐리’부부에 의하여 방사능을 가진 새로운 두가지 원소인 폴로늄(Po, 원자번호 84)과 라듐(Ra, 원자번호 88)이 발견되었고(1898년), ‘라더포드’는 우라늄 방사선의 투과력에 대하여 조사한 결과 α선과 β선의 방사선 형태가 있는 것을 알게 되었다.

그는 ‘로이드’와의 실험결과 라돈(Rn, 원자번호 86)으로 부터 방출된 α 입자는 헬륨(He)의 원자핵

이며 곧 원자를 얻어 헬륨원자로 되는 것을 증명하였다. 라돈은 무색, 무취로서 액화되어도 색을 띠지 않는다. 핵분열시 방출되는 라돈의 생성과정을 보면 그림 1과 같다.

여기서 한가지 밝혀줘야 할 것은 라돈사우나나 라돈온천수 등의 라돈이 어떤 의미로 사용되는지 분명치 않으나 다만 라돈이 광천 온천 지하수등에 용해되어 있는 것에서 유래했다고 추측할 수 밖에 없다.

라돈은 일반적으로 흙, 시멘트, 콘크리트, 대리석, 모래, 진흙, 벽

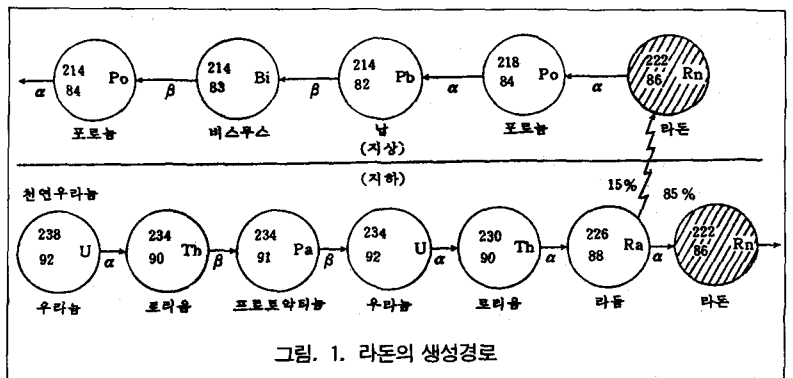


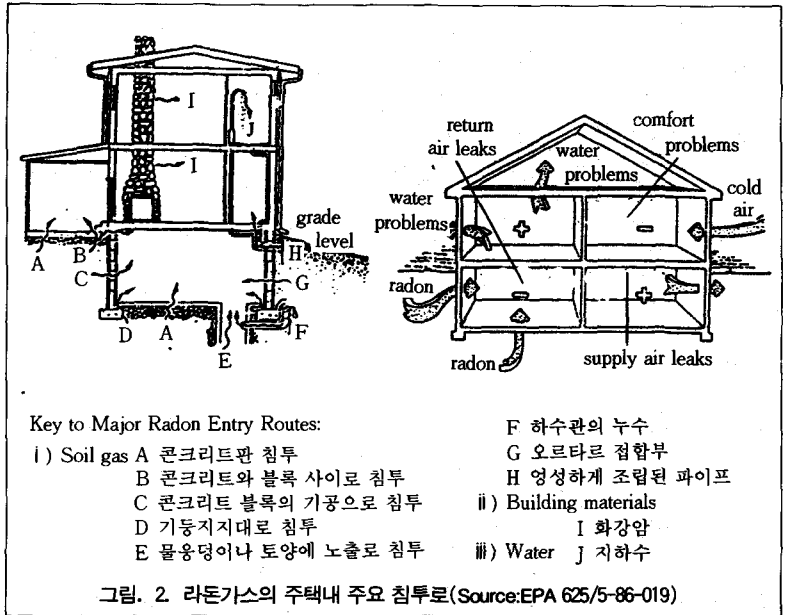
그림. 1. 라돈의 생성경로

돌등의 건축자재 및 우물, 동굴, 천연가스등에 존재하며 공기중으로 방출되고 있다. 이와같이 라돈은 자연계에 널리 존재하며 주로 건축자재를 통하여 인체에 영향을 미치고 있으며 화학적으로는 거의 반응을 일으키지 않으며 흡속의 공간에서 방사선 붕괴를 일으킨다. 따라서 주택에서 라돈오염은 우라늄을 함유한 암석질 토양을 사용한 주택, 천연석고보드 등 라돈 함유량이 높은 건축자재를 사용한 주택, 토양에 노출되기 쉬운 지하실을 갖춘 주택 또는 암석을 축열체로 사용하는 태양열주택등에서 문제가 될 수 있으며 이와같은 주택에서 실내라돈 농도는 환기시설이 불량할수록 높게 나타날 수 있다. 라돈가스가 주택으로 침투하는 경로를 보면 그림 2와 같다. 실내라돈농도는 지역, 지상조건, 외기중의 라돈농도, 건물의 건축자재, 토양, 음료수등의 라돈함유량, 건축구조, 실내기상조건등에 따라 형성될 수 있다.

토양에서 방출되는 라돈가스는 콘크리트판이나 블록의 기공을 통하여거나 사이틈, 물웅덩이, 하수관이 누수됨으로 침투할 수 있으며 건축자재에서 방출되는 라돈은 화강암(그림 2의 (I))에서 2.4~3.0pci/g을 방출할 수 있다.

또한 라돈가스는 공기보다 9배나 무겁기 때문에 지표에 가깝게 존재하므로 그 방출량은 대기압이 낮은 시간에 증가될 수 있다.

실내에서의 라돈농도는 극히 미량의 외기 라돈농도를 최저치로 하여 여기에 각종 라돈발생원에서 실내로 침투하는 라돈농도량과 환기량의 비에 의하여 산출된다. 예로서 60.5m² 크기의 방을 가정할 때 내측벽에 라돈함유량이 높은 석고보드를 사용했을 경우 라돈 방사율(건축자재에서 생성하는 라돈량에



대한 실내공기중으로 방출하는 라돈량의 비율)을 매개변수로 한 환기량과 라돈농도와의 관계를 보면 0.1로 추정되며, 실내환기수를 0.2 회/시간으로 가정 했을 경우 약 1pCi/l 정도의 라돈 농도가 산출된다.

라돈의 농도를 나타내는 단위는 주로 pCi(pico Curie)/l 또는 Bq(Bequerels)/m³을 사용한다. 방사능의 단위는 큐리(Curie, 보통 Ci로 표시)로서 이 단위는 1g의 라듐과 평형을 이루고 있는 라돈의 양을 의미한다. 1Ci(큐리)는 어떤 방사능 핵종이 1초에 3.7×10¹⁰ 만큼 붕괴할 때의 방사능의 단위이다. 즉, 1초간에 370억개의 원자핵이 붕괴되고 있는 상태를 1큐리라고 한다.

1Ci=3.7×10¹⁰Bq이고, 1pCi(pico Curie)=0.037Bq로 표시한다. 1pCi=Ci×10⁻¹², 1Bq/m³=37pCi/l로 나타낼 수 있다.

II. 인체에 미치는 영향

일반적으로 라돈이 인체에 미치는 영향은 폐암을 유발시키는 것은

로 나타나 그 중요성이 새롭게 인식되고 있다. 라돈은 α 붕괴에 의하여 라듐의 낭핵종(Radon daughter)을 생성하는데 이 낭핵종은 기체가 아닌 미세한 입자로 호흡입시에 폐에 흡입되어 폐포나 기관지에 부착되어 α 선을 방출하기 때문에 폐암이 발생하는 것으로 알려져 있다. 미국의 국립방사능방어 및 측정위원회(NCRP)에서는 미국내 연간 13만명의 폐암사망중 약 5천~2만명이 주택내에서 발생한 라돈농도에 폭로된 영향으로 사망한 것으로 추정하고 있다. 또한 구미각국에서는 역학조사및 동물실험을 통하여 라돈 농도가 5pCi인 상태에서 1년간 생활할 경우 1백만명중 4백명정도의 폐암발생을 나타낸다고 추산하고 있다.

1976년 미국 환경청에서는 라돈의 기준권고치 농도로서 4pCi/l 또는 그 이하로 정하고 있다. 이 농도에 일생동안 폭로될 경우 폐암으로 사망할 위험율이 약 1~2% 정도로 추산하고 있으며 200pCi/l에서는 약 44%의 폐암발생의 위험율에 달할 수 있는 농도로 추정되고 있다. 특히 인간의 수명을 70세로 가

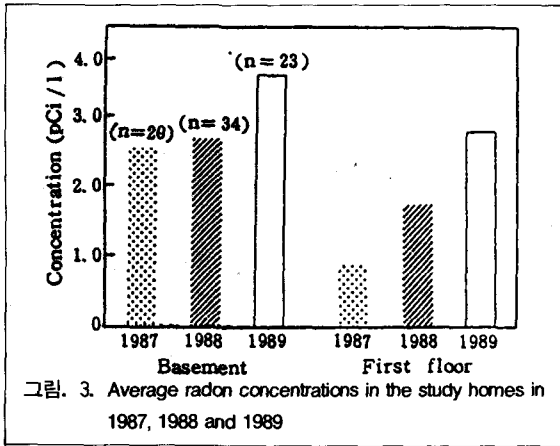


그림. 3. Average radon concentrations in the study homes in 1987, 1988 and 1989

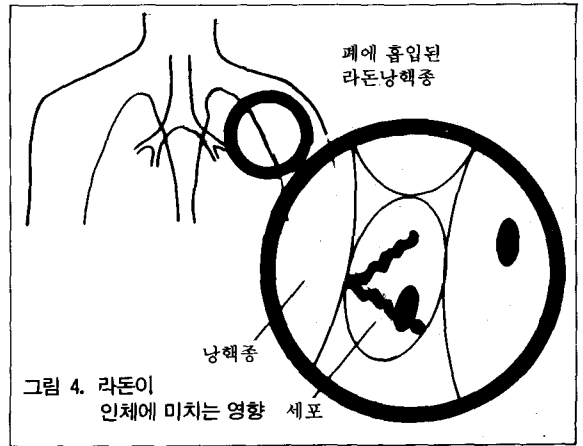


그림 4. 라돈이 인체에 미치는 영향

정했을 경우 일생의 70%이상을 가정에서 생활하는 것으로 나타나 가정내 라돈농도가 높을 경우 폐암으로 사망할 확률은 높아 질 수 있겠다.

이와같이 라돈에 의한 폐암발병 위험성이 높아 구미각국에서는 주택내 라돈농도의 조사 및 역학 조사가 활발히 진행되고 있다. 그러나 국내에서는 라돈에 대한 연구가 저자가 1987년에 처음 실내라돈농도 측정결과를 발표한 이후 다른 연구는 전무한 상태이다.

III. 연구동향

저자가 국내에서 처음으로 주택내 실내라돈농도를 측정하기 위하여 1987년 1~9월에 걸쳐 서울시내에 위치한 30가구를 조사한 결과, 지하실의 라돈평균농도는 2.49pCi/l, 1층거실은 0.86pCi/l로 나타나 지하실이 1층에서의 라돈농도에 비하여 약 3배정도 높게 나타났다. 이와같은 지하실의 라돈농도는 일본(혼슈)의 가정에 비하여 약 5.2배, 미국의 가정에 비하여 1.7배에 해당하며, 지질학적인 원인으로 세계에서 가장 라돈농도가 높은 스웨덴의 2.7pCi/l에 육박하는 수준이었다. 따라서 지하에 거주하는 사람들과 지하상가의 주민들의 건강을 위해서는 환기장치의 강화가

시급한 것을 시사하고 있다.

또한 저자가 1988년 2월부터 1989년 1월에 걸쳐 서울시 소재 지하실이 있는 주택 34가구를 대상으로 조사한 결과, 지하실의 라돈농도는 최저 1.5pCi/l에서 최고 9.9pCi/l 까지 검출되었다. 또한 1층 거실은 1.0pCi/l ~3.2pCi/l의 수준으로 평균농도는 1.7pCi/l로 나타났다. 이같은 수치는 국제방사선방어위원회(ICRP)의 기준치인 2.7pCi/l를 초과하는 수치도 보이며 미국 환경청의 라돈 권고기준치인 4pCi/l를 초과하는 주택도 있는 것으로 나타났다.

또한 1988년 7월 주한 미공군의 보고에 의하면 미공군 기지 주변의 라돈농도가 4~20pCi/l를 나타내고 있어 더욱 경각심을 불러일으키게 되었다.

또한 저자가 1989년에 걸쳐 서울, 군산, 송탄, 도고등 4개 지역의 75가구를 대상으로 실내라돈의 평균 농도를 측정, 분석한 결과, 서울과 군산이 2.7pCi/l, 도고와 송탄 지역이 3.2pCi/l으로 각각 나타났다. 이 결과에서 거실의 라돈농도 중 서울은 5%, 송탄 16%, 도고 18%, 군산 14%에 해당하는 가구가 미국 환경청에서 정한 라돈농도의 기준치인 4pCi/l를 초과하는 것으로 나타났다. 또한 조사대상 가구의 거실의 평균농도는 2.

7pCi/l, 지하실은 3.6pCi/l로 지하실의 라돈농도가 높은 것은 전년에 조사된 결과치와 유사성을 보이고 있어 지하실을 갖은 주택은 라돈의 폭로위험성이 높은 것을 시사하고 있다. 그림 3은 1987년 이후 저자가 조사 측정된 대상가구의 라돈농도를 지하실과 거실로 나눠 나타낸 것으로 오히려 매년 높아진 경향을 보였다.

이상에서 우리나라에서의 일부 가정내 라돈평균농도를 보면 구미각국의 가정내 평균 라돈농도보다 오히려 높은 수준을 보이고 있었다. 일본의 경우 조사대상 주택의 평균 라돈 농도는 31.4Bq/m³으로 비교적 낮은 수치를 나타냈다.

주택내에서 발생한 라돈에 의한 피해사태가 우리나라에서는 보고되지 못하여 확실한 피해를 알 수 없으나, 미국의 피해(폐암발생 및 사망수)를 근거로 우리나라의 전 가구 약 610만 가구(1985년 기준)중 폐암에 폭로될 절대위험을 2%를 곱하여 추정해보면 1987년 우리나라 폐암사망수 3,578명 중 약 3.8~15.4%에 해당하는 128~551명이 주택내에서 방출된 라돈에 의해 사망된 것이라 추정할 수 있다. 이같은 추계는 미국의 추계치를 우리나라에 적용한 것에 불과하나 실내라돈의 폐암사망의 위험율을 나타내는데 큰 의의가 있다고 사료된다.

이와같이 라돈이 외국의 허용기준치를 초과하여 방출되는 것으로 보아 라돈의 규제와 이에 대한 예방대책이 시급하다.

IV. 향후대책

스웨덴에서 라돈의 발생농도를 법적으로 규정하고 있으며 신축주택에서는 1.9pCi/l, 개축주택은 5.4pCi/l, 기존주택은 10.8pCi/l 이하로 규정하고 있다.

미국을 포함한 독일, 영국등의 조사자료에 의하면 주택의 경우 1pCi/l 이하, 지하실의 경우 2~4pCi/l로 나타나고, 음료수의 경우 10~100pCi/l로 측정조사되었다.

핀란드의 경우 라돈의 전장치가 기존건물이 9.7pCi/l, 신축건물이 1.9pCi/l 이고, 폴란드는 0.5pCi/l, 미국은 기존건물이 4.1pCi/l, 소련은 신축건물이 1.9pCi/l 이하로 제한하고 있다. 각 나라에 따라 건물내 공기중 라돈농도의 기준치는 지역에 따라 표1과 같이 차이를 보이고 있다.

현재 우리는 원자력시대에 살고 있어 방사능에 노출될 위험도 그만큼 커지고 있다. 또한 자연상태에서 방출되고 있는 라돈과 같은 방사능에 장기간 폭로됐을 경우는 폐암에 걸릴 확률이 높은 것이 증명되었다. 특히 우라늄광산에서 일하는 광부들에서 폐암사망율이 월등히 높은 것은 이것을 반영하는 사실이다.

따라서 구미각국에서는 실내라돈에 대한 조사연구가 활발히 이뤄지고 있다. 미국 환경청에서는 최근 라돈농도 조사결과, 폐암발생에 심각한 영향을 주는 라돈의 위험도는 집안에서의 라돈 피폭과 거의 연관성이 있는 것으로 발표하여 전국적인 대중매체를 통한 캠페인을 실시

표 1. Airborne radon standards for buildings

Houses built on uranium mine wastes in U.S.	<3pCi/L
Phosphate mining regions in Florida	4pCL/L:remedial action required 2pCL/L:reduction to a reasonably feasible level required
Uranium mining regions in Canada	30pCL/L:prompt remedial action required 4pCL/L:remedial action required 2pCL/L:investigation recommended
Sweden(maximum levels permitted)	11pCL/L(existing buildings) 5pCL/L(houses undergoing remodeling) 2pCL/L(new houses)
Union of Concerned Scientists	>5pCL/L:remedial action indicated 2-5pCL/L:remedial action suggested

1987년 우리나라 폐암사망자중 3.8~15.4%에 해당하는 사람들이 주택내에서 방출된 라돈에 의해 사망한 것으로 추정됐다.

하여 일반 사람들이 라돈의 인체에의 영향에 대한 위험성을 새롭게 인식시켜 라돈으로 인한 피해를 감소하기 위한 노력을 강구하고 있다.

특히 라돈은 어린아이들에게 더욱 민감한 반응을 일으킬 수 있는 데도 불구하고 등한시 해 왔으므로, 미국 환경청에서는 라돈농도가 높은 지역을 대상으로 정기적인 주택내 라돈측정조사를 실시할 것을 그 지역의 교육구청에 건의하였다. 이와 같은 미국내의 현 추세는 라돈이 우리 인체에 얼마나 심각한 영향을 줄 수 있는지를 알려주고 있다.

일반적으로 라돈농도를 감소시키려면 건축시에 방사능 물질이 적게 섞인 모래와 시멘트를 사용하여야 하고, 지하실은 바닥이 갈라진 틈

이 없도록 처리하고 환기장치를 설치하여 실내속에 방사능가스가 축적되는 것을 방지하여야 한다.

주택에서 라돈오염의 피해를 막기 위해서는 토양등에서 발생하는 라돈을 외부로 부터 침투하는 것을 차단하거나 실내에서 적당한 환기를 통하여 실내 라돈농도의 증가를 방지하여야 한다. 또한 건축설계시 유의사항으로는 배수구나 하수구에 연결된 기초주위에 틈을 밀봉하고, 건물하부에 물웅덩이가 생기지 않도록 하여야 하며, 벽의 상단 및 하단은 콘크리트로 빈틈없이 막도록 해야 한다. 또한 건물하부 및 지면에 노출된 실내하부에 콘크리트 또는 투습방지막을 설치하고 실내환기량을 늘려 냉온방 부하를 줄이기 위한 열교환기를 이용해야 한다.

무엇보다도 가정에서의 라돈방사능은 주로 건축자재에서 발생되므로 라돈이 함유된 건축자재의 사용 제한이 시급할 뿐 아니라 외국과 같이 우리나라에서도 라돈의 발생원, 농도측정조사, 기준치 설정, 피폭자의 보건학적 영향평가조사를 장기적으로 계속적으로 조사하여 라돈오염방지에 대한 대책을 강구하여야 한다. ◀