실내환경에서의 라돈의 위해성

이 철 민 | 한양대학교 환경 및 산업의학연구소
연구교수
E-mail : spica@hanyang.ac.kr

I. 서 론

최근 도시화가 급진전되면서 도시의 인구집중과 교통량의 팽창은 도시지역 대기오염을 더욱 악화시켰으며, 경제적 수준의 향상과 함께 도시인의 생활방식과 직장인의 근무양식에도 큰 변화가 초래되어 1일 실내 생활활동 시간이 증대(하루 24시간 중 90%이상을 실내에서 생활)되고 있다. 도시의 인구집중 결과 지하공간의 활용을 자극하게 되었고 차량과 교통량의 증가는 선진국형 도시 교통기관이라 할 수 있는 지하철을 확대시키는 결과가 되었다. 이로 인하여 지하시설의 실내공기질에 대한 인식이 새롭게 부각되기에 이르렀다.

실내공기에는 일반적으로 물리적, 화학적 및 생물학적으로 매우 다양한 오염물질이 존재할 가능성이 있으며 이러한 오염물질들은 외부 공기의 유입, 실내에서의 요리, 흡연, 청소, 페인트, 건축자재 등과 같은 복합적인 배출원에서 기인됨으로써 그 배출량 역시 오염물질에 따라 상당한 편차를 나타내는 것으로 알려져 있다.

실내공기 중 오염물질이 발생되는 과정은 각종 요인에 의해 좌우된다. 즉, 실외 대기오염물질의 실내 침투성, 환기와 공기조화체계, 기상학적 인자와 지형학적 인자, 실외 오염원의 위치, 각 거주자들이 이용할 수 있는 공기의 용적, 에너지의 보존 상태 등의 인자들에 의하여 영향을 받는다.

대표적인 실내 공기오염 물질로는 라돈(Rn), 포름알데히드(HCHO), 석면, 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO_2), 분진(PM10), 환경담배연기(ETS : Environmental Tobacco Smoke), 미생물성 물질, 휘발성 유기화합물(VOCs), 악취, 소음 등이 있다.

이중 라돈은 천연 방사성 가스로서 자연에 존재하기 때문에 생활환경 어디에나 존재하고 있으며, 1990년 National Safety Council 보고에 따르면 미국은 한해에 약 14,000명이 라돈가스에 의함 폐암으로 사망한 결과가 있었다. 이는 담배에 이어 두 번째로 높은 암 사망 원인이다. 이와 같이 라돈가스가 폐암에 큰 영향을 미침에도 불구하고 라돈가스에 대하여 국내에서는 다른 오염물질에 비하여 그 중요성이 인식되지 않아 소개하고자 한다.

II. 본 론

1. 라돈의 정의

라돈은 자연적으로 존재하는 암석이나 토양에서 발생하는 thorium, uranium의 붕괴로 인해 생성되

는 방사성 가스이며, 알파선을 방출시키는 Po-218 이나 Po-214와 같은 방사성 원소로 붕괴되는데, 이들은 폐포에 심각한 피해를 줄 수 있으며, 무색, 무취, 무미한 가스이므로 인간의 감각에 의해 감지될 수 없으며, "침묵의 살인자"라고 불리운다.

중요한 라돈 동위원소에는 Rn-222 (반감기 = 3.82일), Rn-220 (반감기 = 55초), Rn-219 (반감기 = 4초)이 있는데, Rn-222가 실내 대기에서 인체의 위해성 측면에서 깊은 관심의 대상이 되는 이유도 바로 반감기가 길기 때문이다.

2. 대기 라돈 농도 및 실내의 라돈 농도

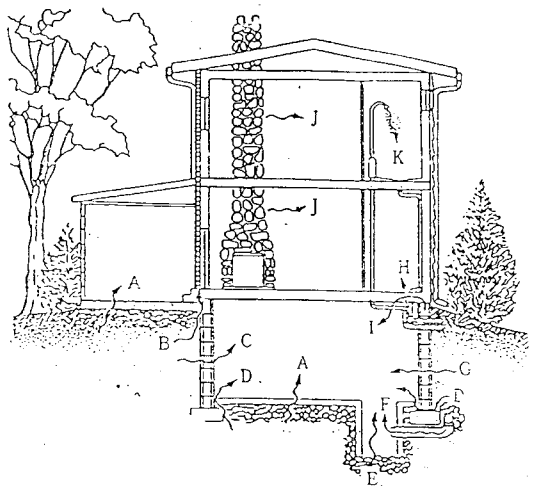
NCRP(1984)는 뉴욕과 뉴저지 지역의 지표 1~2 미터에서 측정된 기하평균 값을 기준으로 대기의 라돈 농도를 평균 0.18pCi/L로 정한 적이 있으며, 우리가 살고 있는 실내 라돈의 평균 농도는 대체로 1pCi/L이므로 대기의 평균과 견주면 약 5배 정도 높은 수치이다. 이는 실내의 절반이 밀폐된 공간이고 밖에서 들어온 라돈이 실내에 쌓이기 때문이다.

3. 우라늄 광물 찌꺼기에서 뿜어내는 라돈의 양

우라늄 광산에서 채광되는 인광석을 선광할 때, 나오는 선광찌꺼기(광미)와 광물을 녹여 우라늄을 추출 할 때, 생기는 부산물 등은 대부분이 여러 종류의 광물과 방사성 물질이 들어있다. 그들 속에는 ^{238}Th(반감기 75000년)과 ^{236}Ra(반감기 1600년) 등이 특별히 많다.

4. 라돈의 실내유입

라돈은 주오염원이 건물지반이나 주변토양, 광석, 상수도 및 건물자재 등이 있으며, 주로 건물의 균열, 연결부위, 혹은 배수관이나 오수간, 전기가스 상하수도 주변의 틈을 통해서 실내로 유입된다. 라돈이 토양에서 대기 중으로 이동하는 경우 토양의



A. 콘크리트 슬래브의 균열
B. 벽돌 내벽 공간
C. 콘크리트의 기포들
D. 바닥과 벽의 연결 부분
E. 토양 노출부
F. 드레인
G. 모르타르 접합부
H. 파이프 주변부
I. 블록 벽체의 구멍
J. 건축 자재(골재, 암석 기타)
K. 물의 증발

그림 1. 라돈의 실내유입 경로

투과성, 기공성, 수분함유량, 온도 및 토양과 건축물 사이의 압력차와 같은 인자에 영향을 받으며, 이와 같은 확산은 기본적으로 분자 확산과 대류이동에 의해 발생하게 된다.

5. 라돈농도의 측정방법

1) Continuous Radon Monitoring(연속 모니터링) :
   - ERM(Electrostatic Radon Monitor)
2) Alpha Track Detector or AT<ATD>(알파 비적 검출기 측정방법)
   - RadtrakTM Radon Gas detector : alpha-track detector
3) Activated Charcoal Adsorption Device, AC(활성탄 흡착방법)
4) 기타
   (1) Charcoal liquid scintillation method(활성탄 액체 섬광 방법)

(2) Electret ion chamber방법
(3) Grab radon/scintillation cell방법
(4) Grab radon/pump-collapsible bag방법
(5) Three-day integrating evacuated scintillation cell method(섬광셀을 이용한 3일 누적량 평가방법
(6) Pump-collapsible bag방법
수동형 연속라돈검출기(Continuous Passive Radon Detector : CPRD)

6. 라돈에 의한 인체영향

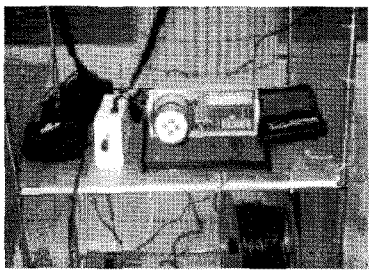
라돈자체는 불활성이므로 사람이 호흡하더라도 폐에 흡수되지 않고 다시 방출된다. 방사능 물질이 생물에 피해를 주는 것은 방사능 물질 자체의 독성 때문이 아니고 방사능 원자가 붕괴하면서 방출하는 α, β, γ 선의 영향 때문이다. 라돈역시 라돈의 붕괴생성물인 자핵종들이 붕괴하면서 내놓은 α선으로 인하여 인체에 영향을 미친다. 라돈자핵종들은 방사능 붕괴시 6.00 MeV~7.69 MeV의 알파방사능을 방출하며, 이로 인해서 라돈과 라돈 붕괴자손은 기관지 세포에 악영향을 미칠 수 있고 미량일지라도 인체에 영향을 미칠 수 있으며, 발암성물질(carcinogen)로 알려져 있다.

라돈은 거의 대부분이 호흡을 할 때 함께 배출되므로 라돈 자체로서는 인체에 피해가 거의 없다. 그러나 붕괴자손인 Po-218과 Po-214와 같은 붕괴자손은 전기적으로 대전되어 있으며, 이들 종은 인체에 직접적으로 혹은 분진에 부착되어 간접적으로 흡인되어져 폐 속에 침착 되어 궁극적으로 암을 발생시킬 수 있다.

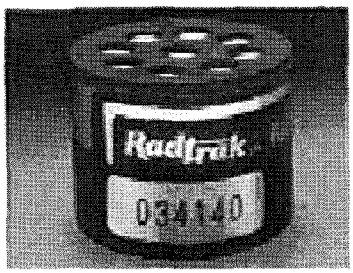
라돈의 알파(α)-붕괴에 의하여 라듐의 낭핵종이 생성되는데 이 낭핵종은 기체가 아닌 미세한 입자로 흡입시 폐에 흡입되어 폐포나 기관지에 부착되어 알파선을 방출하기 때문에 폐암이 발생되는 것으로 알려져 있다.

국제방사선 보호 및 특정위원회(National Council on Radiation Protection and Measurement ; NCRP)의 보고에 의하면 우라늄 광부들의 높은 폐암 사망원인은 주로 이들이 채광하던 우라늄 붕괴계열에서 발생하는 고농도의 천연 방사성 라돈 및 그 자핵종들을 장기간 호흡한 결과 폐 내에 침적된 라돈 자핵종이 폐기도의 상피조직(bronchial epithelium)의 기저세포(basal cell)에 알파방사선의 방출에 의한 방사선 손상(radiation damage)을 주므로 임상학적으로 인체에 초과폐암(excess lung cancer)을 일으킨다는 것으로 밝혀졌다.

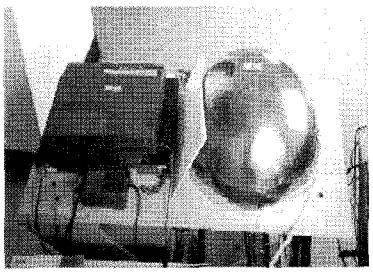
실제로 미국의 EPA와 연방보건위생국의 발표에 의하면 미국인의 년간 폐암사망자중(136,000 건/년;1988) 약 5,000(3.7%) ~ 15,000(11.0%) 여명이 라돈딸핵종의 누적피폭에 의한 것이며, 이것은 대기오염에 의한 사망위험보다 10배 이상 높은 것으로 예상하고 있다. 또한 영국의 국립방사선방호청(NRPB)는 영국인의 폐암사망건수 41,000 건중 약



1) Pylon AB-5 Continuous Passive Radon Detector : CPRD



2) RadtrakTM Radon Gas Detector



3) ERM(Electrostatic Radon Monitor)

그림 2. 라돈측정기기의 실제모습

2,500건(6.1%)이 라돈딸핵종의 누적피폭에 의한 것으로 예상하고 있다. 국내의 경우 원자력연구소에서 실내 라돈딸핵종의 누적피폭에 의한 초과폐암 사망의 기대치는 대략 년간 2,000건 정도가 될 것으로 평가한바 있다.

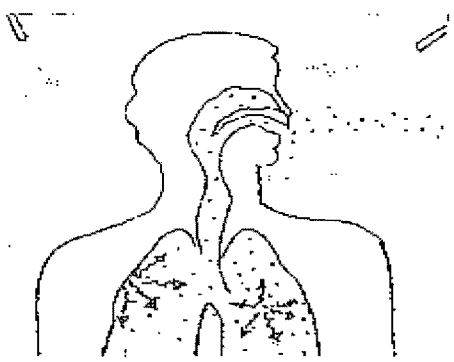


그림 3. 라돈딸핵종의 폐에 대한 알파방사능 피폭모형

표 1. 라돈의 피해평가

농 도 (pCi/l)	인체에 대한 영향
4	일생동안 폭로될 경우 폐암으로 사망할 위험률이 1-2% 정도로 추산
5	이 농도에서 1년간 생활한 경우 1백만명 중 400명 정도의 폐암발생 추정
200	약 44%의 폐암 발생 위험률에 달할 수 있는 농도

7. 라돈의 제어방법

1) 주택에서의 라돈 제어

거주하는 실내에서 라돈을 감소시키기 위해 라돈이 실내로 어떻게 들어오는가를 확인하는 것은 중요하다. 주택에서는 대체로 지하 주변의 토양으로부터 온다. 적은 양이긴 해도 경우에 따라 물 공급원으로부터 오기도 한다. 따라서 집을 지을 때 라돈이 집으로 들어오는 길을 차단하는 설계를 할 필요가 있다.

환기 조건, 실내 구조물 형태 등은 주택의 라돈을 제어하는 기본요소 이다. 새집을 지을 때부터 라돈이 들어올 길을 막는다면 보다 더 효과적이다.

2) 라돈 제어 대책

거주하는 실내에서 라돈을 줄이기 위한 활동에는 여러 가지 기술이 사용될 수 있다 이들 기술은 라돈 농도를 감소시키는 대책에 따라 선택된다. 그 대책들은 다음과 같다.

1) 실내 거주 공간에서의 환기량을 증가시키고
2) 입구 봉쇄로 인한 집으로부터의 라돈 유입 방지하며
3) 라돈이 실내로 들어오기 전에 자연에서 집 주변의 토양으로 라돈을 전달하고
4) 라돈이 집으로 들어 올 수 없게 실내의 공기압력을 증가시킨다.

이러한 대책들을 결정하는 데 도움이 되는 기후, 토양, 기타 그 지역의 조건에 따라 건축물을 설치해야 한다.

3) 물속의 라돈 제어

개인이나 작은 지역의 우물물로 가정 용수를 공급받는 곳은 실내 라돈의 농도가 높을 수 있다. 세탁을 하거나, 샤워를 할 때, 물에 녹아 있던 라돈들이 실내 공기에 섞일 수 가 있다.

가정에서 물 공급시 라돈을 감소시키기 위해서 첫째 스프레이나 거품으로 분산시켜야하고, 둘째 활성탄여과기로 여과시키되 여과기는 정기적으로 교환해야 한다.

다량의 라돈이 녹아 있는 물을 마신다고 암을 일으킨다는 증거는 아직 없으나, 이런 경로에 의한 암의 위해도는 공기중 흡입으로 인한 위해 보다 낮다.

8. 우리나라 라돈관련 법규

현재 우리나라에서의 과돈에 관한 법규는 1996

년 12월 지하생활공간공기질 관리법, 1997년 12월 지하생활공간공기질관리법 시행령, 1998년 1월 지하생활공간공기질 관리법 시행 규칙 제정이 전부이며, 이 법안의 대상 중 라돈이 포함 되어 있다. 하지만 이법 시행 규칙 별표 2에 제시된 지하공기질 기준에는 라돈에 대한 기준치가 없는 실정이다. 최근 2008년 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 시행규칙 별표 3 실내공기질 권고기준에 라돈 4.0pCi/l 이하의 기준이 표기되어 있다.

III. 향후 연구 방향

국내에서 최근 실내의 라돈에 대한 관심과 우려가 일반인들 사이에서 점차 증대하고 있으나 앞으로 라돈농도의 표준측정방법 개발, 장기간에 걸친 지역별 라돈농도의 측정 및 분포현황 조사, 라돈의 인체영향 평가, 라돈농도의 저감 기술개발 등이 우선 이루어 져야 하며, 나아가 일반 대기 환경연구분야로써 대륙간 장거리 이동에 대한 추적자로써의 활용 및 지질화학적 연구분야로써 지진예측연구의 지표물질로써의 활용 등 라돈을 이용한 연구분야는 매우 광범위하다고 할 수 있다.

- 참고문헌 -

1. NCRP Report 96, comparative carcinogenecity of ionixing radiation and chemicals, NCRP, Bethesda (1989)
2. A. V. Nero, Radon and its decay products in indoor air: an overview, In: Radon and its decay products in indoor air, W.Nazaroff and A.Nero(eds), john Wiely and Sons, New York(1988).
3. 김윤신, 실내환경과학, 민음사, 1994
4. 김윤신, "실내공기질 관리방안에 관한 연구", 1999
5. 김윤신, "지하철 라돈농도 오염원 측정 및 저감 방안 연구", 1999
6. 한국 원자력연구소, "라돈자핵종의 실내거동 및 인체 피폭위험평가", 1992