

5A4) 실내 라돈의 측정과 제어 Radon Measurement and Control

조 승 연

연세대 환경공학과

1. 서 론

그 최근 국내는 물론 전 세계적으로 실내의 천연 방사성 라돈 기체(Rn-222)에 대한 관심이 증가하고 있다. 라돈 기체와 그 붕괴 생성물인 단반감기의 딸핵종들은 장기간 누적하여 호흡 피폭될 경우 초과 폐암의 위험이 있다는 사실이 과학적으로 밝혀졌다. 자연방사선은 인류 생활 환경의 일부분으로서 1988년 국제연합 방사선 영향 평가 과학위원회(UNSCEAR)에 따르면 인류의 자연방사선 피폭선량은 2.40 mSv/yr로서 이중 46%가 지각 중에 존재하는 U-238 붕괴계열 중 천연방사성 라돈과 그 딸핵종의 호흡 피폭에 의한 것이며, 인류가 실제로 원자력발전 등 원자력산업활동에서 방출되는 인공방사선원에 의한 평균 피폭선량 보다 10-100 여배 높은 것으로 알려지고 있다.

국제방사선방어위원회(ICRP)는 1984년 권고 39에서 자연방사선원에 의한 일반인들의 피폭제한 원칙을 권고하였으며, 1987년 권고 50에서 실내공기 중 라돈 및 딸핵종의 호흡피폭에 의한 초과 폐암의 발생 위험을 공식적으로 권고했고 1990년 권고 60에서 일반 대중의 자연방사선 피폭을 제한하기 위한 방사선 방어체계의 수립을 공식적으로 제안하였다.

라돈은 불활성기체로서 지각 중의 토양, 모래, 암석, 광물질 및 이들을 재료로 하는 건축자재 등에 미량으로(7.4-74 Bq/kg) 함유되어 있는 우라늄(U-238) 붕괴 계열 중 Ra-226의 방사성 붕괴시 생성된다. 생성된 라돈은 물질 내·외의 압력과 온도차에 의한 확산 및 대류과정에 의하여 지상 또는 실내 환경으로 방출된다. 라돈의 딸핵종들은 생성된 후 곧 주변의 미세 먼지, 수증기 등에 흡착되거나 구조물의 표면, 바닥에 침적 또는 부착되며 실내의 물리적인 환기 등에 의하여 제거를 한다. 흡착물, 침적물, 제거물 등은 동일한 실내에서도 공기 중 라돈과 미세입자의 농도, 미세입자의 크기, 실내의 환기와 습도, 실내 용적과 표면적의 비 등에 의하여 달라지므로 이들을 정밀하게 측정하고 평가할 필요가 있다.

이에 라돈의 정확한 측정과 제어 방법에 대해 알아 보고자 한다.

2. 라돈의 위해성

라돈(Rn-222)은 3.82일 만에 단반감기의 딸핵종으로 붕괴를 하며 이들은 화학적으로 활성적이며, Pb-210 까지 붕괴하는 동안 1.0 Bq 당 34,620 MeV의 잠재 알파에너지를 방출한다. 이들은 호흡시 폐에 누적 침적되어 폐기저 세포가 방사선 에너지 흡수에 의한 방사선 피폭을 받는다. 따라서 라돈 피폭이라는 말은 실제로 라돈 딸핵종에 의한 피폭을 의미하게 된다. 미국 EPA와 연방보건위생국에 따르면 미국인의 연간 폐암 사망자(136,000명/년: 1988) 중 대략 5,000명(3.7%)에서 15,000(11.0%)명이 라돈딸핵종의 누적피폭에 의한 것이며, 이는 대기오염에 의한 사망위험 보다 10배 이상 높은 것으로 예상되고 있다. 영국의 국립방사선방호청(NRPB)은 영국인 폐암사망의 41,000건당 대략 2,500건(6.1%)이 라돈딸핵종의 누적피폭에 의한 것으로 예상하고 있다. 국내의 경우 실내 라돈딸핵종의 누적 피폭에 의한 초과폐암사망의 기대치는 대략 연간 2,000건 정도로 예상된다. 국내 라돈기체에 대한 공기 중 최대허용농도(MPC)는 3.0 pCi/l (= 111 Bq/m³) 이다. 우리나라도 앞으로는 외국과 같이 ICRP의 권고에 따라 라돈딸핵종의 피폭을 제한하기 위한 개입준위 또는 복구준위를 설정할 필요성이 높아지고 있다.

3. 라돈의 측정

공기 중 라돈과 그 딸핵종의 측정 방법은 세 가지로 분류할 수 있다. 즉, 동시측정법(instantaneous), 연속측정법(continuous)과 시간평균법(time-averaged method)이 그 것이다. Ionization chamber와

scintillation cell은 주로 동시측정이나 시료포집측정(grab samples)에 주로 쓰이지만 연속측정에 적당하게 조절하여 이용할 수 있다. 라돈을 검출하기 위한 수동적 방법(passive methods) 또한 일반적으로 사용되는데 그 이유는 대규모 환경 조사를 위해서는 연평균 폭로치를 평가하기 위해 장시간 동안 검출기가 적당한 지역에 위치해야 하기 때문이다. 실제로 수동적 방법은 단반감기의 딸핵종에 의해 신호를 얻게 된다. 기본적으로 세 가지의 수동적 라돈 검출법이 있다. Solid-state nuclear track detectors (etched tracks in plastic films), charcoal adsorption과 thermoluminescent dosimeters가 그 것이다. Etched track detector는 알파 입자가 필름을 통과할 때 형성되는 눈에 보이지 않는 손상된 구멍이나 흔적이 부식성의 용액으로 에칭을 시키면 빛현미경에 의해 나타나는 것이 그 원리이다. 필름은, 라돈은 통과되지만 딸핵종이 들어오는 것을 막아주는 수동확산장벽(passive diffusion barrier)이 부착된 일정한 부피의 cell 내에서 감광되며 보통 3개월 이상 환경 중에 노출된 후 측정한다. 수증기 제거 장치나 확산장벽기(diffusion barriers)가 설치되거나 설치되지 않은 여러 가지 크기의 목탄정화통(charcoal canisters)은 약 1주일간 전개될 수 있다. 라돈 가스가 목탄에 흡착하지만 라돈과 방사성 평형을 이루고 계측되는 것은 감마선 방출 딸핵종인 ^{214}Pb 와 ^{214}Bi 이다. 계측은 주로 NaI gamma scintillation 계측기나 spectrometer를 가지고 수행한다.

Thermoluminescent dosimeter(TLDs) 또한 라돈을 측정하는데 사용될 수 있다. 이 기기는 고정된 부피의 장치에 놓여지고 수동확산(passive diffusion) 장치나 소형 유체흐름장치가 라돈을 검출기로 보내게 된다. 전하를 띤 딸핵종은 음으로 하전된 전극에 모여져 신호를 강화시킨다. TLD 물질은 전극의 밑이나 위에 위치하여 딸핵종에서 방출되는 알파나 베타 입자와 상호 반응하게 된다.

4. 라돈의 제어

실내에 존재하는 라돈을 제어하는 방법에는 크게 방출원의 제거, 방출원을 조절, 그리고 공기를 청정하는 방법이 있다. 먼저 방출원을 제거하기 위해, 토양 내의 라돈의 농도가 높을 경우 건물 아래의 토양을 교환하는 경우가 있으나 이는 비용이 많이 든다. 그 외 물리적 장벽을 설치하여 토양과 건물의 기초가 직접 접촉하는 것을 방지하거나 토양 중 라돈의 농도가 낮은 곳을 건축지로 선택하는 방법이 있다. 방출원을 조절하는 방법에는 먼저 라돈의 유입 경로(배수구, 속이 빈 콘크리트 벽, 벽과 바닥의 교차 부분과 바닥재의 이음새, 열에 의한 팽창과 재료들의 수축에 의한 틈, 지하실 바닥의 틈, 건물의 갈라진 틈 등)를 차단하거나 배출파이프를 지하실 slab 밑에 넣어 소위 subslab 환기를 시켜주는 방법이 있다. 후자는 가장 효과적인 라돈 경감대책 중의 하나이다. 또한 지하실에서 지상으로 라돈이 유입되는 것을 방지하기 위해 지하실 쪽으로 약 3-4 Pa 정도의 약한 압력을 걸어주어 지상 실내의 라돈 농도를 4 pCi/l 이하로 감소시킬 수 있다.

공기를 청정함으로써 라돈을 제어할 때 주의할 것은, 대부분의 공기청정기는 부유 분진과 이에 부착된(attached) 라돈의 딸핵종만 제거하므로 공기 중에 많은 양의 비부착(unattached) 라돈이 존재할 수 있어 인체에 더욱 위험할 수도 있다는 사실이다. 또한 건물의 환기율을 증가시킴으로써 실내 라돈 농도를 세배까지 줄일 수 있으나 에너지효율에 문제가 있을 수 있다. 실내 공기를 순환시킬 때는 반드시 실내분진의 농도를 낮추어 가능한 한 라돈의 딸핵종들이 부착되지 않도록 하여야 한다. 이외에도 실내공기청정 방식으로써 활성탄베드를 가장 흔히 사용하는데 이때 먼저 molecular sieve 등을 이용해 수분과 CO_2 를 제거하여야 그 흡착 효율이 높아진다. 실내에 흔히 존재하는 isooctane, ethylene, chloride, formaldehyde 등에 의해 흡착이 방해될 수 있으나 toluene은 라돈의 흡착 능력을 향상시킨다. 실내청정설비의 습도조절 시스템에 carbon-based 시스템을 통합하여 운영하면 라돈제어가 효과적일 수 있다. 그러나 이러한 시스템은 라돈 흡착 능력이 커야함은 물론이고 습기나 다른 VOC들에 의한 간섭이 최소화 되어야 하며 반복 사용을 위해 재생하여 사용할 수 있어야 한다.