

## 住宅과 建物內에서의 라돈管理

近年에 들어 住宅과 建物 室內에서의 라돈問題가 주요한 관심사항으로 부각되고 있다. 原子力發電所에 근무하는 종사자들의 의복에 대해서 라돈 붕괴생성물을 측정함으로써 이 문제에 관해 一般大衆이 더한층 관심을 갖게 되는 계기가 되었으며, 또한 美國放射線防禦測定審議會의 최근 연구결과에 따르면 美國 國民이 받는 방사선량의 반 이상은 라돈에 의한 것으로 나타났다.

一般國民들의 대다수가 라돈문제를 인식하고 있으며, 또한 수천명은 그들 주택 실내의 방사선량을 측정하고 있지만, 실내의 라돈농도를 줄이기 위해서 실제로 조치를 취한 사람의 수는 적다. 이처럼 대책을 마련한 사람의 수가 적은 중요한 이유는 일간신문에 발표된 가장 일반적인 緩和技術은 중산층의 주택 소유주들이 그 기술을 시행하기에는 너무 비용이 많이 들고 능력에 부쳐서 업두를 못내기 때문이다.

그러나 이 문제에 정통한 기술자들은 용이하게 응용할 수 있는 완화기술의 범위를 알고 있다. 다음은 이러한 기술을 소개한 내용인데, 몇가지 경우에는 동일한 어프로치가 원자력시설에서도 유용하게 적용될 수 있을 것이다.

### 라돈崩壞生成物

라돈은 라듐의 붕괴에 의해서 생성되는 방사성 기체로서 우라늄계열 붕괴생성물중 한가지 핵종이다. 라돈 그 자체는 비교적 害가 없는

불활성 기체로서 호흡을 통해 폐에 들어갔다가 방출된다. 그러나 라돈이 붕괴되면 역시 방사성인 고체상태의 붕괴생성물이 되는데, 호흡에 의해서 이 생성물을 들며마시면 신체내에 머무르면서 폐에 상당한 방사선량을 주는 방사선원이 될 수 있다.

라돈가스의 측정은 비교적 간단하고 명확한데 반해, 공기중의 라돈 붕괴생성물의 측정은 복잡하기 때문에 미국환경보호청(USEPA)은 붕괴생성물의 Remedial Action Level을 라돈가스의 농도로 환산하여 표현하는 방법을 택하고 있다. 이 Remedial Action Level은 4pCi/litre로 정의되어 있는데, 이것은 라돈가스의 붕괴율을 기초로 한 것이다. 붕괴생성물이 라돈가스와 50%로 평형을 이룬 상태라고 가정하면, 4 pCi/litre의 라돈농도는 0.02 Working Level (WL)의 공기중 붕괴생성물농도가 되는데, 이것은 라돈 붕괴생성물이 붕괴되면서 공기 단위체 적당 방출하는 알파에너지를 나타낸다.

어떤 사람이 0.02WL의 라돈 붕괴생성물이 함유되어 있는 공기를 지속적으로 호흡하였을 경우 그 사람의 기관지조직은 연간 12~14rem (0.12~0.14 Sv)의 선량을 받게 되며, 전신에 대한 年間有效線量當量은 약 1rem(10mSv)이 된다.

라돈 붕괴생성물 대부분은 알파방출체로서 형성된 초기에는 붕괴생성물 전부가 전기적으로 높게 帶電되며, 이러한 특성으로 인해 붕괴생성물이 어떤 종류의 의복에는 잘 달라붙는 성질을 갖고 있다. 그러나 이 붕괴생성물의 전기적인 특성을 완전히 이해하면 붕괴생성물의 관리방법을 개발하는데 활용할 수 있다.

### 建物の改造

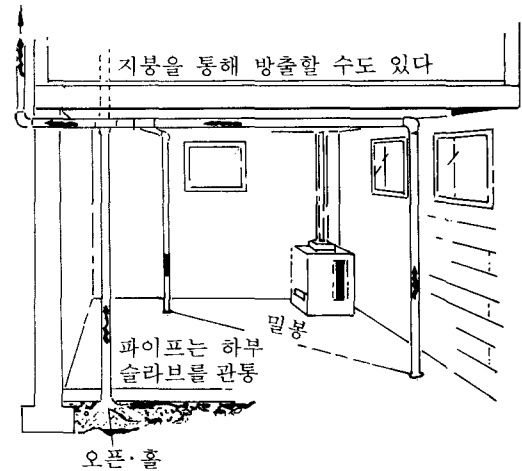
일반적으로 라돈이 주택의 실내로 들어오는 주경로는 주택의 기초토양으로부터 라돈가스가 스며들어오는 것이고, 선별적인 경우에는 음료수(특히 우라늄을 함유하고 있는 토질을 경유하여 흐르는 地下水源에서 끌어올린 물)가 중요한 라돈源이 될 수 있다.

室内的 라돈농도를 최소화하는 한가지 방법은 라돈의 침입을 저지하는 것으로서 라돈가스가 실내로 들어오기 전에 라돈가스를 다른 곳으로 환기시키거나, 라돈源과 거주공간 사이에 장벽을 설치하여 라돈源을 제거하는 방법이다. 이 방법은 주택을 신축하는 경우에는 쉽게 응용할 수 있겠으나 기존 주택에서 실시하기는 쉽지가 않다. 즉, 기존 주택에서 라돈源을 제거시키는 것은 주택 바로 아래와 주변의 기초토양을 파내고 새로 대체하여야 함을 의미한다.

水源에 대한 라돈의 효과적인 관리는 다른 水供給源으로 바꾸거나, 물에서 라돈을 제거시키는 에어레이션 또는 차콜흡착시스템을 설치하는 것이다.

만약 라돈源이 기초토양이라면, 실내로 들어오는 라돈을 막는다는 세가지 방법이 유효하게

팬으로 라돈을 외부로 방출



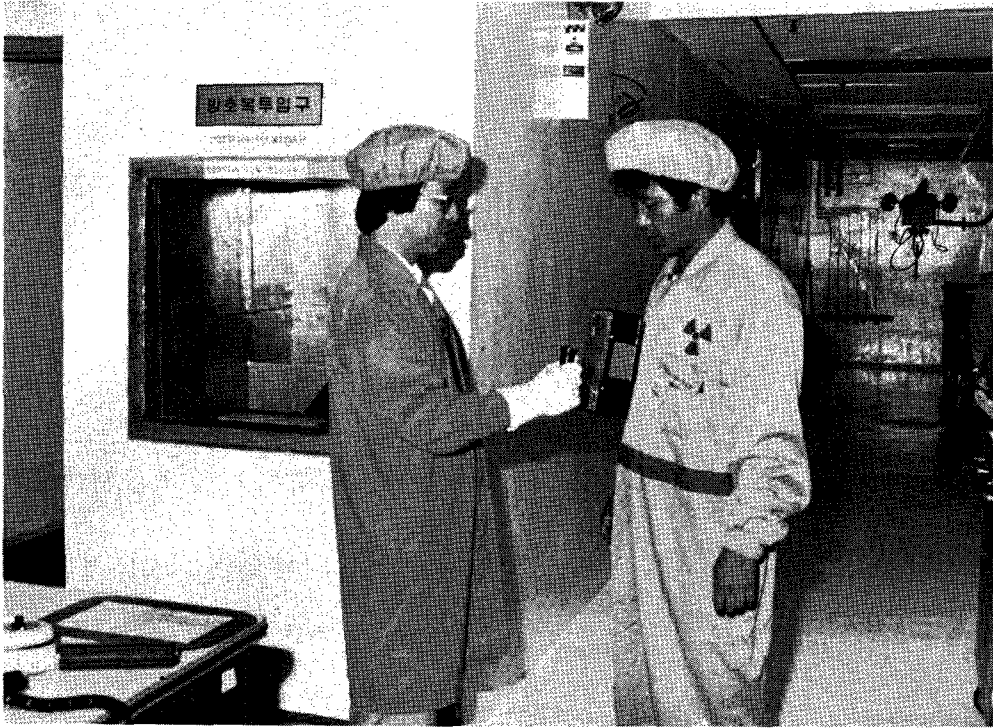
<그림 1> 서브·슬라브 지하실 배기시스템

활용될 수 있다.

- 지하실의 바닥과 벽 사이를 밀폐
- 라돈의 침입을 저지시키기 위해 지하실내의 압력을 높임
- 기초토양과 지하실 바닥으로부터 들어오는 라돈을 제거시키는 배기시스템을 설치(서브·슬라브 지하실 배기시스템, 그림 1 참조)

그러나 상기의 세가지 방법에는 각각 장·단점이 있다. 즉, 모두 경비가 많이 들며, 실내에서의 라돈 거동과 라돈源을 완전히 이해한 다음에 적합한 적용방법을 택하여야 한다. 하나의 實例를 들면, 아무리 잘 건설되었다고 하더라도 일반 주택에서는 지하실과 기초토양 사이에는 균열 및 하수도과 수도배관 주위의 틈 등 10 ㎡ 이상의 開口部가 있다. 라돈가스가 들어오는 것을 충분히 막을 수 있도록 관리하려면 이러한 틈의 면적을 1/2평방인치 이하로 줄여야 한다.

만약 주택 소유주가 지하실내의 압력을 높이는 방법을 선택한다면, 윗층에서 하실로 공기를 불어넣는 팬을 설치하여야 하며, 또한 지하실과 윗층 사이가 빈틈없이 밀봉되어 있어야 한다.



만일 윗층과 지하실 사이에 있는 문이 열린다면 압력이 같아져서 이 시스템은 효과가 없어진다.

한편 서브·슬라브 지하실 배기시스템의 경우에는 지하실 바닥 바로 아래 부분이 減壓된 상태를 유지할 수 있도록 계속 작동하는 팬을 설치하여야 한다. 만약 팬이 작동을 멈추거나 주택 소유주가 소음 때문에 이 팬을 끈다면 이 시스템은 무용지물이 되며, 그밖에 배기굴뚝에서의 고농도 라돈과 이에 수반하는 붕괴생성물의 방출도 우려된다.

또한 문제를 더욱 복잡하게 하는 것은 이러한 방법들을 이용할 때, 특히 서브·슬라브 배기시스템의 경우 바람직하지 않은 여러가지 영향이 나타날 수 있다는 사실이다. 예를 들면, 서브·슬라브 배기시스템에서는 외부의 찬 공기가 지하실 바닥 밑부분으로 들어가기 때문에 下部

의 물이 얼어서 지하실 바닥에 균열이 생기게 하는 원인이 되기도 하며, 배기시스템에 의해 지하실 바닥 밑부분의 地下水가 제거되어 집이 침전되는 현상이 나타나기도 하고, 또 제거되는 공기중에 함유된 수분이 배기시스템내에 응축되었다가 누출되어 주택에 손상을 입히기도 한다.

그밖에 지금까지의 경험에 의하면 이러한 모든 시스템의 효능은 시간이 경과함에 따라 저하되는 것으로 나타나고 있다. 따라서 이러한 시스템을 설치하였다 하더라도 라돈을 관리할 수 있는 2차적인 방법을 보완할 필요가 있다.

### 其他 管理方法

전적으로 건물의 개조에 입각한 대처방법에는 문제점이 있음이 인식됨에 따라 다른 방법의 개발이 추구되었는데, 그중 가장 간단한 방법의

하나가 회석방법이다.

건물 실내의 라돈농도는 라돈을 회석시킬 수 있는 공기의 양이 한정되어 있기 때문에 높다. 그러나 이와는 대조적으로 라돈이 실외로 배출되면 무한한 양의 공기속으로 쉽게 회석될 수 있어서 실외의 라돈농도는 낮다.

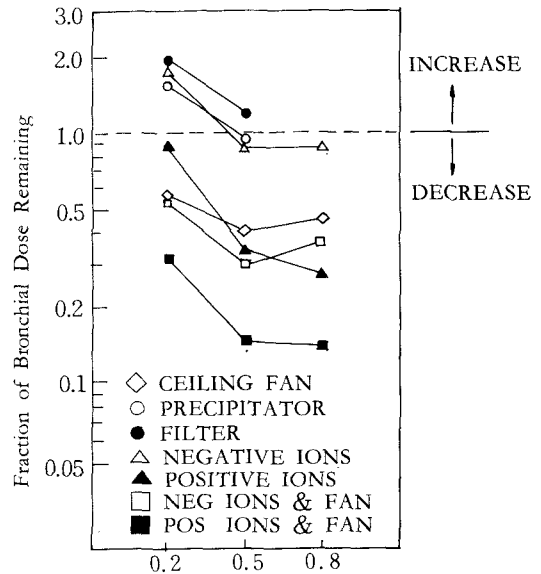
따라서 주택에서 실내의 라돈농도를 낮출 수 있는 가장 손쉬운 방법의 하나는 창문을 열어서 바깥쪽의 공기가 실내로 들어오도록 하는 것이다. 그렇지만 이 방법은 효과적이기는 하나, 특히 추운 겨울이나 무더운 여름기간 동안에는 비경제적이다.

이와 같은 이유로 인해 이 기술을 응용하는데는 많은 제약이 따른다. 공기-공기방식의 열교환기를 사용함으로써 난방-냉방손실의 일부를 보상할 수는 있으나, 이러한 열교환기는 실내와 실외의 온도차이가 크게 날 경우에만 효과가 있다.

## 空氣淨化方法

라돈 붕괴생성물이 고체라는 사실에 입각한 초기의 공기정화방법은 여과와 정전기 집진식이었다. 이 두 방법은 효과적인 것으로 입증되었으나, 데이터를 상세히 분석해 본 결과 놀라운 사실이 밝혀졌다. 즉, 처리된 공기를 호흡한 사람의 폐에 대한 선량이 오히려 증가하였다.

이처럼 역설적인 결과가 나온 이유는 라돈 붕괴생성물이 형성되는 당시에 높게 帶電되기 때문이다. 주위의 공기중에 불활성 더스트입자가 존재한다면, 붕괴생성물은 즉시 이 더스트입자를 끌어당겨 달라붙게 된다. 이때 여과나 정전기 집진시스템이 설치되어 있고 또 설계된 대로 제 기능을 발휘한다면, 이 시스템은 공기중의 더스트입자 대부분을 제거시킨다. 그렇게 되면 이 시스템은 그때까지 공기중에 잔존하면서 새로운 붕괴생성물을 만들어내는 라돈가스에 대해서는 효과를 발휘할 수 없게 된다.

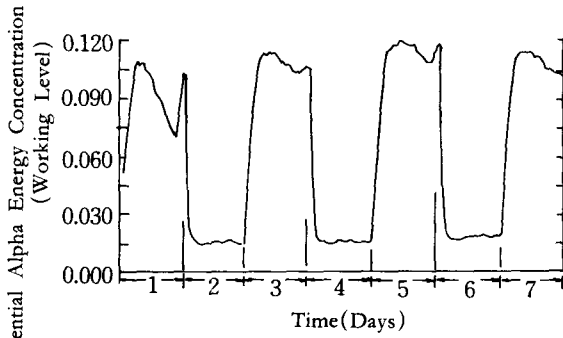


〈그림 2〉 공기정화방법별 효과평가

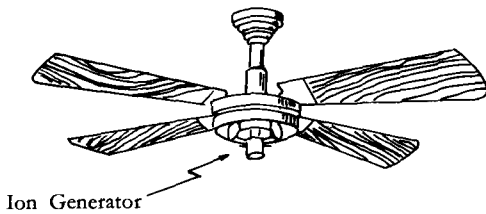
왜냐 하면 이 새로 만들어진 붕괴생성물은 달라붙을 더스트입자가 극히 적기 때문에 거의 대부분이 더스트입자와 결합하지 않은 상태로 존재하게 되는데, 이러한 라돈 붕괴생성물은 더스트입자와 결합되어 있는 붕괴생성물의 원자보다 폐에 대해서 30~40배 높은 선량을 준다. 따라서 이 시스템으로 처리된 공기를 호흡하는 사람의 경우 2배의 선량을 받는 결과를 가져오게 된다(그림 2 참조).

그러나 한편으로는 라돈 붕괴생성물이 전기를 띠는 성질을 이용하여 효과적으로 이들을 제거시킬 수도 있다. 팬을 사용하여 실내의 공기를 순환시키는 것은 용이하다. 붕괴생성물이 방의 천장, 바닥, 벽 또는 여러 종류의 가구 등 실내의 어떤 표면과 접촉하게 되면 이 붕괴생성물은 TV 화면에 많은 먼지입자들이 쌓이듯이 그 표면에 달라붙게 된다.

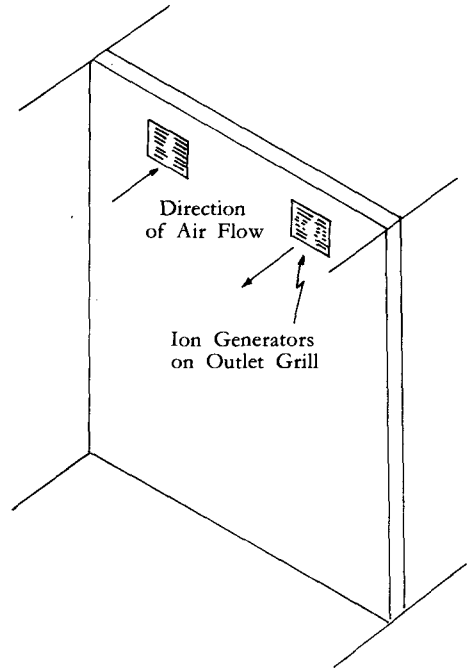
이 라돈 붕괴생성물이 일단 제거되면 호흡을 통해 폐에 들어가지 않게 되므로 더이상 건강에 해를 주지 않는다고 볼 수 있다. 왜냐 하면



〈그림 3〉 팬·이온발생기시스템 실험결과



〈그림 4〉 이온발생기와 천장팬



〈그림 5〉 벽에 설치된 팬·이온발생기

붕괴생성물들은 짧은 반감기를 갖고 있으며, 또한 대부분 알파방출체이므로 인체 내부로 흡입되지 않고 외부에 있는 한 큰 위해가 없는 것으로 평가되고 있다.

실제로 실험실 및 현장에서의 연구결과에서도 실내에 팬을 설치하는 간단한 공정으로 공기중의 라돈 붕괴생성물이 감소되는 것으로 나타났으며, 이 방법은 더스트입자와 붕괴생성물이 결합된 상태이든 결합되지 않은 상태이든 두가지 종류 모두를 제거하기 때문에 폐에 대한 선량도 낮아짐이 관찰되었다.

이러한 성공에 힘을 얻어 라돈 붕괴생성물이 전기를 띠는 성질을 최대한 이용하기 위해 다음 단계로 실내 공기중의 라돈 붕괴생성물을 줄이는 방법으로 이온발생기의 응용을 시도하였다. 이 연구에서는 양이온발생기와 음이온발생기에 대한 평가가 수행되었는데, 양이온발생기가 더욱 효과적인 것으로 확인되었다. 이는 양이온

발생기로 실내에 電氣場을 형성시키면 양전기로 帶電된 공기중의 붕괴생성물을 방의 천장, 벽, 바닥 쪽으로 튕겨주는데 연유하는 것 같다. 이와 같은 방법으로 제거되는 붕괴생성물의 범위는 60~80%가 되었다.

그 다음 단계는 팬을 이용한 공기순환과 이온발생기를 병용하는 것이었다. 이 방법은 공기중 라돈 붕괴생성물의 농도를 80~90% 정도 줄이는 효과를 보였는데, 이 두가지 방법을 병용하여 함께 작동시키면 서로 상승효과를 가져오기 때문에 이 두 방법을 각각 독립적으로 이용하였을때의 합보다 더 큰 감소효과를 기대할 수 있다. 그밖에 팬·이온발생기 병용방식의 원리는 다양한 형태로 응용될 수 있어서 그 성과가 더 큰데, 이 원리를 휴대용 팬·이온발생기(그림 3 참조)에 응용하기도 하고, 전등소켓에 꼽을 수 있는 이온발생기를 개발하여 천장의 팬과 함께 사용할 수도 있으며(그림 4 참조),

방의 벽에 설치할 수 있는 팬·이온발생기도 개발되었다(그림 5 참조).

그러나 이 방법들도 모든 관리기술과 마찬가지로 각각 장·단점을 갖고 있다. 공기정화방법의 가장 두드러진 장점중의 하나는 라돈源에 구애받지 않고 이 문제를 관리한다는 점이다. 이 기술은 단순하고 응용에 큰 비용이 들지 않으며, 외부의 지원없이 주택 소유주가 적용할 수 있다.

한편 단점은 공기중의 라돈 붕괴생성물만을 제거시키지 라돈 자체는 제거시킬 수 없다는 점이며, 그밖에 처리된 공기가 순환되는 실내에서만 효과가 있다는 점에도 주의하여야 한다.

공기정화방법의 또다른 응용이 현재 연구되고 있는데, 여기에는 이온발생기와 필터의 병용, 더스트입자와 결합되지 않은 공기중의 라돈 붕괴생성물을 제거하도록 특별히 고안된 필터의 개발, 라돈가스 자체의 제거를 목적으로 하는 차콜흡수시스템의 개발 등이 있다.

## 結 論

주택 실내의 라돈관리를 위해서 다양한 방법이 활용되고 있다. 실내공기의 순환에 의해서 라돈이 감소되어 충분히 관리되는 것으로 측정 결과가 나오면, 그 필요성을 느끼는 모든 주택 소유주들은 공기를 순환시키기 위한 팬을 설치할 것이다. 또한 냉난방조절시스템이 갖추어진 주택이라면 지속적으로 작동하는 시스템에 팬을 부착시킴으로써 간단히 보호대책을 강구할 수도 있다.

실내의 라돈농도가 5~10배의 Remedial Action Level로 측정되면 보완관리대책이 필요한데, 그 한가지 방법이 휴대용 팬·이온발생기를 설치하는 것이다. 이 유닛은 간단하고 효과적인데 유지보수가 거의 필요없고 소비전력도 75W 이하이며 비용도 약 200달러 정도로서 경제적이다.

주택 실내의 라돈농도가 비정상적으로 높게 측정되면 주택건물을 약간 개조하여야 한다. 그러나 이런 경우이더라도 주택 소유주는 주택의 개조와 더불어 마음의 안정을 위해 공기정화 방법으로 보완을 원할 수도 있다.

한편 공기중의 라돈 붕괴생성물문제는 많은 원자력발전소에서 자주 겪는 문제이다. 사실 어떤 발전소에서 작업원이 작업구역을 떠나 밖으로 나가려고 할때 人工방사선헤중이 아닌 의복에 달라붙은 라돈 붕괴생성물 때문에 현관의 경보가 울리는 경우가 가끔 있다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서는 팬·이온발생기를 설치하여 공기중의 라돈 붕괴생성물을 제거하여야 한다.

마찬가지로 공기중의 핵분열생성물, 특히 발전소 작업원의 의복에 잘 부착되는 것으로 알려진 불활성가스를 관리하는데 팬·이온발생기의 사용이 고려되고 있다.

결론적으로 上記의 개념중 몇가지는 많은 원자력시설에서 문제점으로 대두되고 있는 Hot 입자를 관리하는데 유용할 것이다. 현재 한 원자력발전소에서 연구되고 있는 실현 가능한 방법은 작업원이 Hot입자구역으로 들어가거나 나오려고 할때는 먼저 “에어·샤워”를 통과하도록 하는 것이다. 이러한 샤워나 챔버는 공기가 빠른 속도로 아래 쪽으로 통풍되도록 고안되어 있으며, 일련의 이온발생기와 커플이 되어있다.

이온발생기는 작업원의 의복과 신체의 정전기를 제거시켜 작업구역내에 머무르는 동안 Hot 입자에 포착되는 기회를 줄인다. Hot입자구역을 떠날때는 작업원은 다시 한번 에어·샤워를 통과하여야 한다. 이렇게 함으로써 의복이나 피부에 부착된 입자들이 떨어져 배기공기와 함께 배출되는데, Hot입자들이 환경으로 나가는 것을 방지하기 위해 에어·샤워의 배기공기는 필터시스템을 거치도록 되어있다.