

# FA1) 지하수로 인한 실내라돈오염시 현실적인 인체노출량 평가 Realistic Internal Dose Assessment of Indoor Radon Pollution by Groundwater

유동한 · 이한수  
 한국원자력연구소

## 1. 서론

본 연구에서는 지하수로부터 방출된 실내라돈오염을 해석하기 위한 수학적 모델에서 모델인자들의 불확실성을 고려하고 인체축적량을 정량적으로 해석하는 PBPK모델을 사용하여 호흡을 통한 라돈의 인체 축적량을 보다 현실적으로 평가하려고 한다. 우선, 전에 사용한 3 구역모델을 샤워실과 화장실을 구분하는 경계가 없다는 국내실정을 감안하여 보다 현실적으로 개량한 2-구역 모델을 개발하였다. 이렇게 개발된 2 구역모델을 활용하여 입력인자들의 불확실성을 고려하여 각 구역의 실내라돈농도분포를 결정하였다. 이러한 실내농도분포중에서 평균농도 및 상한치 (95th percentile)을 선정하여 두 경우에 대해 호흡으로 인한 체내축적량을 정량적으로 평가하였다. 그리고 체내 흡입된 라돈의 거동을 평가하기 위해 수학적 모델, 일명 PBPK(Physiologically-Based Pharmacokinetic) model을 개발하였다. 이 모델을 사용하여 인체장기중 폐에 축적되는 라돈의 축적량을 정량적으로 평가하여 보았다. 이러한 연구결과는 실내라돈오염에 의한 인체노출 저감방안을 마련하는데 필요한 구체적 근거를 마련하는데 도움이 되리라고 판단된다.

## 2. 연구 방법

본 연구에서는 우선 국내에서 대전지역을 대상으로 이루어진 기존 연구(Han and Park 1996)를 근거로 하여 지하수내 존재하는 라돈의 평균농도를 1106 pCi/L로 계산하였다.

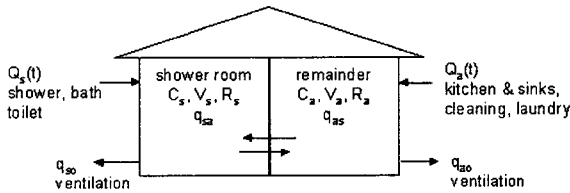


Fig. 1. A two-compartment model for simulating the transfer of radon from groundwater to indoor air

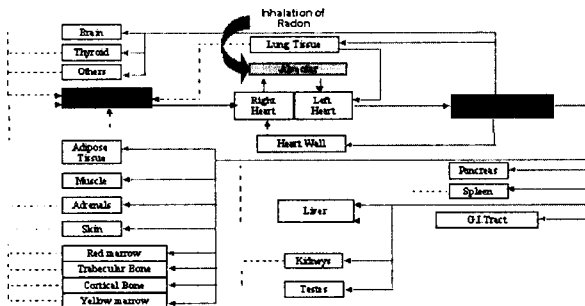


Fig. 2. A PBPK model used for Inhaled radon

### 2.1 2 구역모델

용해된 라돈이 함유된 지하수를 취수하여 음용수 및 생활용수로 사용하는 경우, 라돈이 휘발하여 실내공기에 확산, 이동하는 것을 모의하기 위해서는 주택실내를 간단히 2 구역(‘샤워실’, ‘그 밖의 집안’)으로 나누고 각 구역에서는 그림 1과 같은 공기환기의 조건을 가지고 있다고 가정할 수 있는 수학적 모델을 개발하여 모의를 하였다.

### 2.2 호흡노출을 위한 PBPK 모델

실내공기로부터 흡입된 라돈의 체내거동을 해석하기 위해 본 연구에서는 생리학을 바탕으로 한 동적 약리학 모델, Physiologically-Based Pharmacokinetic (PBPK) Model을 개발하여 활용하였다. 그림 2은 이 모델의 전체적인 구조를 보여주고 있다.

### 2.3 불확실성분석

본 연구에서는 민감도분석후 불확실성분석을 위한 입력인자들을 다음과 같이 선정하였다.

- Ra (residence time of air volume of remainder)
- TE (transfer efficiency shower water to air)
- fo (fraction of air leaving shower room exhausted outdoors )

그림 3은 이러한 입력인자의 불확실성이 고려된 실내라돈농도의 분포를 보여주고 있다.

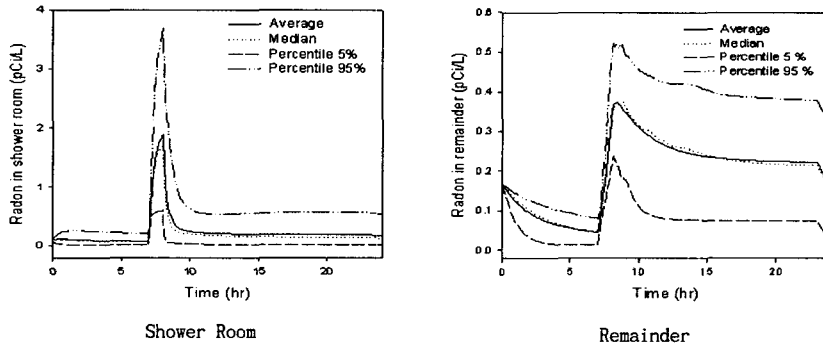


Fig. 3. Uncertainty profile of Indoor radon

### 3. 분석 결과

대상을 인체장기자료를 구할 수 있어 PBPK모델 모의가 가능한 남자로 한정하였고 인체노출시나리 오는 남자가 직장으로 출근하여 낮동안 라돈노출이 없는 기준경우와 낮동안 집안에서 머물러 라돈노출이 가장 많은 최악경우로 나누었다.

각 경우에 대해 앞서 불확실성분석에서 얻어진 각 구역에서의 실내라돈의 평균과 상한치 (95th percentile)에 대한 농도분포의 경우에 PBPK모델을 사용하여 인체내 폐조직에 축적되는 라돈의 인체축적량의 변화를 모의하여 보았다. 각 경우 폐조직에 축적된 라돈량의 변화는 그림 4에 수록하였다. 기준 경우 노출시 평균과 상한치가 거의 2배의 차이를 보이고 있고 최악 경우 노출시에는 거의 같은 양상을 보이고 있다. 두 경우를 비교하면 기준경우의 평균치보다 최악경우의 상한치가 4.5 배이상 차이를 보이고 있다.

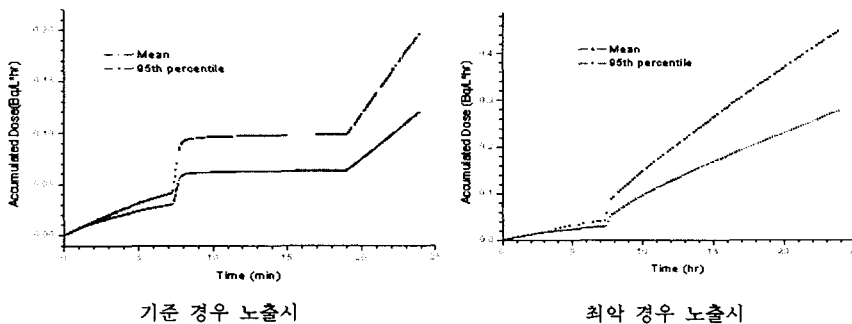


Fig. 4 comparison of internal dose at Lung Tissue

### 4. 결론

본 연구는 수학적 모델의 불확실성을 고려하여 보다 현실적인 라돈의 실내농도분포를 평가하였고 이 결과를 사용하여 인체에 축적되는 라돈의 정량적인 내부축적량을 PBPK 모델로 모의하였다. 이와 같은 연구방법은 보다 현실적인 라돈의 인체위해도를 평가하는데 도움을 주리라고 판단된다.