

3B2) 모델을 바탕으로 한 지하수로부터의 라돈에 의한 인체노출평가

A Model-Based Assessment of Radon Exposure from Groundwater

유동한 한 문 회
 한국원자력연구소

1. 서 론

라돈은 바위나 토양 속에 존재하는 우라늄이 붕괴하면서 자연발생하므로 사실상 지구 어느 곳에서나 존재한다. 최근 국내에서는 대덕연구단지 지역주민이 애용하는 샘물에서 라돈과 우라늄등 방사성핵종의 농도가 미국 환경보호청(USEPA)의 음용수 수질 기준치를 훨씬 상회하여 인체에 유해성이 우려된다는 보도가 있었다.[1] 본 연구는 지하수내에 존재하는 라돈이 인체건강에 영향을 주는 두 가지 인체노출경로를 파악하고 이들 경로에 대해 각각 수학적 모델들을 개발하여 인체노출량을 정량적으로 평가하여 보았다. 본 연구의 결과는 추후 라돈의 정량적인 인체위해도를 평가하는데 도움을 주리라고 판단된다.

2. 방 법

2.1 연구체계

본 연구에서는 우선 국내에서 대전지역을 대상으로 이루어진 기존 연구[2]를 근거로 하여 지하수내 존재하는 라돈의 농도를 결정하였다. 이 분포를 lognormal 분포라 가정하고 이 때 지하수내 라돈의 평균농도는 1106 pCi/L 로 계산되었다. 이렇게 지하수에 존재하는 라돈은 두가지 노출경로를 통해 인체에 영향을 주게 된다. 첫째는 지하수내 라돈의 휘발로 인한 실내오염시 호흡노출 (Inhalation Exposure)이고 다른 하나는 지하수내 라돈의 음용수를 통한 섭취 노출(ingestion Exposure)이다. 우선, 라돈의 휘발로 인한 실내오염시 호흡노출의 경우, 실내공기내 라돈의 이동과 분포를 평가하기 위해 수리적인 3 구역모델을 개발하였다. 이런 구역모델은 주택의 실내공간에서 라돈의 이동 및 분포를 예측하는데 활용되었고, 예측된 각 구역내 라돈의 농도로부터 실제 실내에 거주하는 개개인의 노출량을 평가하기 위해 호흡노출을 평가하기 위한 동적 약리학 모델(PBPK: Physiologically-Based Pharmacokinetic model)을 개발하였다. 한편, 라돈의 음용수를 통한 섭취노출을 평가하기 위해 앞서 개발한 동적약리학모델을 일부 수정하여 사용하였다. 이러한 수학적 모델들을 사용함으로써 일관성있고 정량적인 인체노출량을 평가할 수 있다. 그림 1은 본 연구에서 사용한 연구체계를 보여 주고 있다

2.2 구역모델 개발

라돈의 실내오염을 정량적으로 평가하는 모델을 개발하기 위해 주택실내를 3 개의 구역으로 나누어 각 구역내에서 수리적인 라돈의 거동을 모의하는 구역모델을 개발하였다. (그림 2 참조)

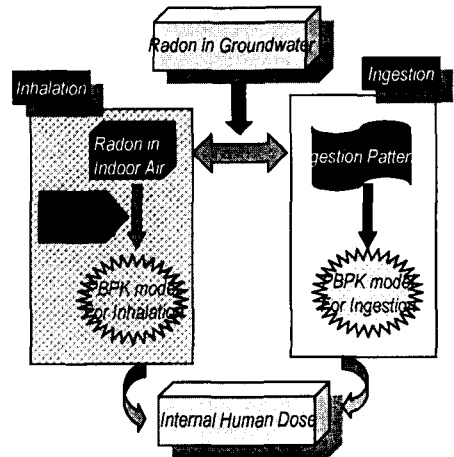


Fig. 1. Current Research Framework

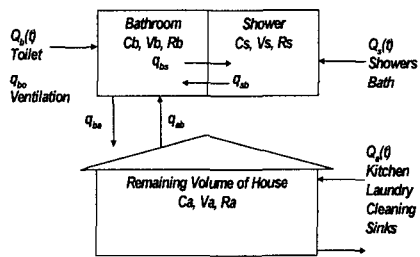


Fig. 2. 3-Compartment Model for indoor radon pollution

2.3 인체노출평가를 위한 동적 약리학 모델 개발

개발한 모델들은 라돈의 노출시 인체내에서 거동요사를 위해 라돈의 시간에 따른 각 장기 및 혈류속에서의 움직임 인체구조 내에서 수학적으로 평가할 수 있다. 이러한 수학적 모델을 사용하는데 있어 현실적으로 일부 인자들에 대한 불확실성은 존재하나, 라돈의 경우에는 비교적 많은 연구가 많이 수행된 관계로 기존문헌[3]에서 필요한 입력자료들을 참조하여 개발하였다.(그림 2)

2.4 인체노출시나리오

호흡노출의 경우 실내에 머무는 시간에 따라 인체노출시나리오를 기준경우와 최악경우로 나누어 평가하고 음용수를 통한 섭취노출의 경우, 하루에 2 Liter의 물을 8시간 간격으로 섭취하는 경우와 4시간 간격으로 섭취하는 경우로 나누어 모의하였다.

3. 분석 결과

동적 약리학 모델을 통해 두 주요인체노출경로별로 나누어 라돈의 인체흡수 후 인체 장기별 축적양상을 모의할 수 있다. 일반적으로 인체장기중 라돈의 피해는 주로 폐(lung)에 집중되는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 하루동안 두 인체노출경로별로 폐조직에서의 축적량을 계산하여 표 1에서 수록하였다. 결과에서 보듯 라돈이 함유된 물을 마시는 섭취노출보다 라돈이 함유된 지하수를 생활용수로 사용하여 발생하는 실내오염을 통한 호흡노출의 경우가 인체노출량이 6 배이상 높은 것을 알 수 있다. 만약 라돈에 의한 인체위해도가 인체노출량에 직선적으로 비례한다고 가정할 경우, 라돈에 의한 실내오염으로 발생하는 호흡노출에 대한 위해도가 라돈을 음용수로부터 직접 섭취하는 섭취노출의 위해도보다 6배이상 높은 것으로 예상된다.

Table 1. Internal Dose at the Lung Group

Internal Dose of Radon in the Lung Tissue (Bq/L/day)			
Inhalation		Ingestion (2L/day of water)	
Worst Case Exposure	17.06	8 hour-interval Exposure	3.34
Base Case Exposure	6.585	4 hour-interval Exposure	3.62

참 고 문 헌

- [1] 연합뉴스 1998.5.23일자 보도.
- [2] Han, J.H. and Park, K.H. (1996) Abundances of Uranium and Radon in Groundwater of Taejeon Area, *Econ. Environ. Geol.*, Vol.29 (5), 589-595
- [3] Leggett RW, Williams LR.(1995) A proposed blood circulation model for reference man, *Health Physics* 69:187-201.