

삼중수소 내부피폭에 관한 연구

박문수, 곽성우, 강창순

서울대학교

요 약

인체내로 흡입된 삼중수소에 의한 영향을 평가하기 위한 기존의 내부피폭 평가 모델들을 검토하고, 이를 사용하여 body water와 OBT에 의한 선량을 계산하였다. 또한 이 모델들의 단점들을 도출하고, 이를 보완하기 위한 방안을 제시하였다.

1. 서 론

현재 국내에서 가동중인 중수로에서 발생하는 삼중수소에 의해 야기되는 여러가지 문제가 쟁점화되고 있다. 그 중 삼중수소에 의한 환경 및 인체에 미치는 영향이 가장 큰 관심을 끌고 있다. 삼중수소는 외부피폭의 영향은 극히 미약하나, 인체내로 흡입될 수 있는 가능성이 다른 핵종에 비해 클 뿐만 아니라, 인체내로 흡입되었을 경우, 인체내에서 물과 같이 거동하면서 β 선을 방출하여 유전자 및 세포조직에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 삼중수소의 선량계산을 위하여 인체모델에 대한 연구와 개발이 필요하다.

2. 기존 모델의 고찰

중수로내 삼중수소의 생성반응의 유형은 다양하지만 그 중에서도 $H(n, \gamma)T$ 반응에 의해 생성된 삼중수소가 대부분을 차지한다. 이렇게 생성된 삼중수소는 β^- 붕괴를 통해 He^3 로 전환된다. 삼중수소는 수소동위원소 중 가장 무거운 원소로서 화학적 성질은 수소와 유사하지만 수소 및 중수소와는 다르게 방사성 동위원소로서 최대 에너지 18.6 keV, 평균 에너지 5.7 keV의 β 선을 방출한다. 그리고 물리적 반감기는 약 12.43년 정도이고, 생물학적 반감기는 약 10일 정도이다.

삼중수소의 피폭경로는 외부피폭, 호흡, 섭취, 피부흡수의 네가지로 알려져 있으며, 외부피폭의 경우, 삼중수소 베타입자의 최대 비정거리가 작기 때문에, 일반적으로 무시되고 있다.

삼중수소는 HT와 HTO 형태로 대기중에 존재하며, 이들은 인체내로 흡입되어, 각기 다른 대사과정을 거쳐 인체에 영향을 미친다고 알려져 왔다. 따라서

이들 각각에 대한 개별모델이 개발되어 HT와 HTO의 내부피폭에 의한 영향을 평가하는데 사용되어 왔다.

HT의 흡입에 대한 모델로서는 Peterman이 제안한 모델이 있으며, 그 형태는 그림 1에서 보여지는 바와 같다. 삼중수소 가스는 호흡에 의해 허파로 유입된 후 대부분은 다시 배출되고 극히 일부분만 혈액에 용해되어 소장으로 전달된 후 산화된다. HT가 산화되어 생성된 HTO는 혈액에 의해 몸 전체에 균일하게 분포되며 체액내 물과 같은 거동을 하게 된다. 이 모델에서는 인체내에 존재하는 모든 삼중수소가 몸 전체에 균일하게 분포되어 물과 같은 거동을 하는 것이 아니라, 그중 일부는 조직의 유기물질과 결합(OBT, organically bound tritium)하여 독특한 체내대사 과정을 거쳐 체액내 삼중수소와는 다른 생물학적 효과를 발생시키는 것으로 간주하였다. OBT는 결합형태에 따라서 크게 exchangeable bound tritium과 non-exchangeable bound tritium으로 구분된다. exchangeable bound tritium은 체내의 산소, 질소, 황, 인 등과 같은 유기물질과 결합한 삼중수소로 체액내 물과 쉽게 교환될 수 있고, 체액에 존재하는 HTO와 비슷한 거동을 한다. 반면에, non-exchangeable bound tritium은 탄소와 결합한 삼중수소로 제거하기가 매우 어렵고 다만 enzymatic breakdown에 의해서만 제거될 수 있다. 사고시 HT 1 Ci를 흡입했을 때, body water와 OBT에 대한 선량을 그림 2에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 체내에 존재하는 삼중수소는 급격히 감소하여 어느 정도 경과후에는 유기 조직에 존재하는 양보다 적어진다. 이는 유기조직과 결합해 있는 삼중수소의 생물학적 반감기가 체액에 존재하는 삼중수소의 생물학적 반감기보다 훨씬 길기 때문이다.

Dunford와 Johnson이 개발한 HTO에 대한 인체모델은 그림 3에 제시되어 있다. 이 모델은 초기 흡입경로만의 차이가 있을 뿐, 나머지 체내 대사는 위에서 언급한 것과 같다. HTO 1 Bq에 대한 선량계산 결과를 그림 4에 제시하였다.

3. 모델 개선을 위한 제안

위에서 언급한 두 모델들은 장기들을 간단한 구획(compartment)으로 나타내었기 때문에 각 장기들을 적절히 묘사하지 못하였다. 특히 폐의 경우 삼중수소가 인체내로 흡입될 수 있는 가장 중요한 경로이고, 각 장기의 선량계산을 수행하는데 있어 많은 영향을 줄 수 있다. 또한 호흡기는 그것을 구성하는 세포가 다양하고 구조적으로 상당히 복잡함에도 불구하고 다른 장기와 같이 하나의 구획으로 표현되었기 때문에 선량계산의 불확실성을 야기시킬 수 있다. 따라서 이러한 문제들을 해결하기 위하여 폐에 대한 자세한 계산모델의 개발이 필요하다.

NCRP에서 제안한 호흡기에 대한 선량을 계산하는 모델이 있다. 이 모델에서는 호흡기를 naso-oro-pharyngo-laryngeal (NOPL), tracheobronchial(TB), pulmonary(P), pulmonary lymph nodes (LN)의 네 부분으로 나누고 있다(그림 5). NOPL 영역은 전부(anterior), 후부(posterior)로 나뉘어진다. TB 영역은 후두(larynx)에서 시작하여 마지막 기관지(bronchiols)에서 끝난다. 이 부분은 원통모형으로 가정한다. P 영역은 기관지로부터 폐포(alveoli)까지의 모든

구조를 포함한다. 호흡기의 모든 영역에서의 물질의 제거는 수송(transport)과 흡수(absorption)의 경쟁적인 과정을 통하여 이루어진다. 용해도가 큰 물질은 수분내로 흡수되고, 용해도가 상대적으로 낮은 물질은 lymph nodes나 TB영역의 섬모운동(ciliary action)에 의하여 제거 된다고 가정된다.

기존의 ICRP 30에서는 폐의 총 질량에 대하여 폐에서 평균선량을 계산하는데 비하여, 이 모델에서는 흡입된 방사성 핵종으로부터 기인된 폐내 대사과정을 흡착(deposition), 배설(clearance), 선량(dose) 등이 각 영역에 대하여 계산하고 있다. 따라서 방사선 피폭에 의한 민감도와 흡입된 방사성 핵종으로부터 다양한 세포와 조직에 의해 받는 방사선 선량의 차이를 반영할 수 있다.

이러한 호흡기 모델을 삼중수소 선량 모델에 도입한다면, 삼중수소에 의한 내부피폭양을 좀 더 정확히 계산할 수 있을 뿐만 아니라, 호흡기 내의 세부 영역들, 즉 비강, 기관지, 폐 등에 대한 영향을 평가할 수 있을 것이다.

4. 결 론

삼중수소의 내부피폭의 선량계산을 위하여 기존의 모델을 사용하여 계산한 결과 body water의 선량은 시간이 지남에 따라 급격히 감소함에 반하여, OBT에 의한 선량은 시간이 지나도 그다지 감소하지 않는 것으로 나타났다. 따라서, OBT에 의한 영향에 대한 연구가 뒷받침되어야 할 것이다. 또한 기존의 모델에 NCRP에서 제안한 호흡기 모델과 같은 구체적인 모델을 도입하여 삼중수소 선량계산에 있어 폐에 대한 영향을 고려하는 것이 바람직할 것이다. 마지막으로 이러한 체내대사 모델들은 모두 외국인의 신체조건에 해당되는 모델이므로 우리나라 사람들의 신체조건에 맞는 독자적인 모델의 개발도 시급한 연구과제 중의 하나라고 생각된다.

5. 참 고 문 헌

- 1) ICRP Publication 30, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, Part 1. Pergamon Press, Oxford, 1979
- 2) Robin L. Hill and John R. Johnson, "Metabolism and Dosimetry of Tritium", Health Phys. 65(6), 628-647, 1993
- 3) R. F. Phalen et al., "Main Features of the Proposed NCRP Respiratory Tract Model", Radiation Protection Dosimetry, vol. 38, 179-184, 1991
- 4) I. Y. Chang et al., "Software for the Draft NCRP Respiratory Tract Dosimetry Model", Radiation Protection Dosimetry, vol. 38, 193-199, 1991
- 5) B. F. Peterman, "Computer Modelling of HT Gas Metabolism in Humans", Radiation Protection Dosimetry, 3, 129-133, 1982

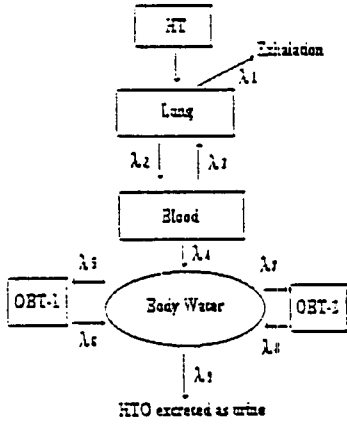


그림 1. HT 모델

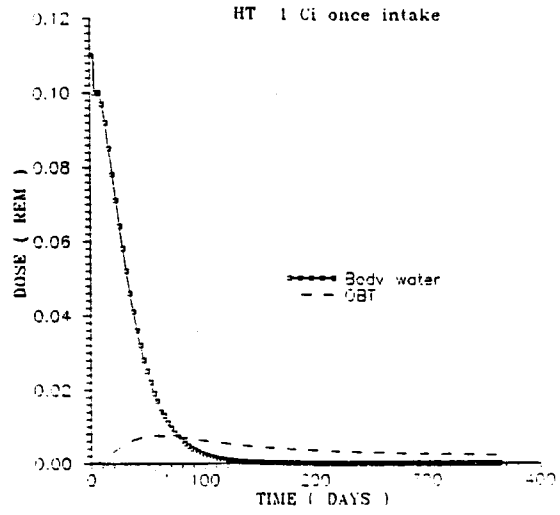


그림 2. HT 모델에 의한 선량계산

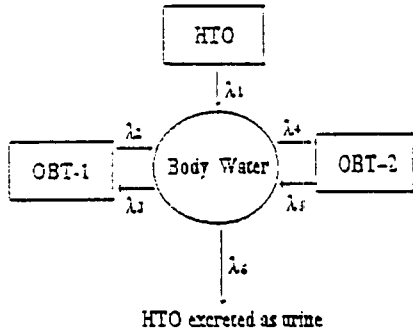


그림 3. HTO 모델

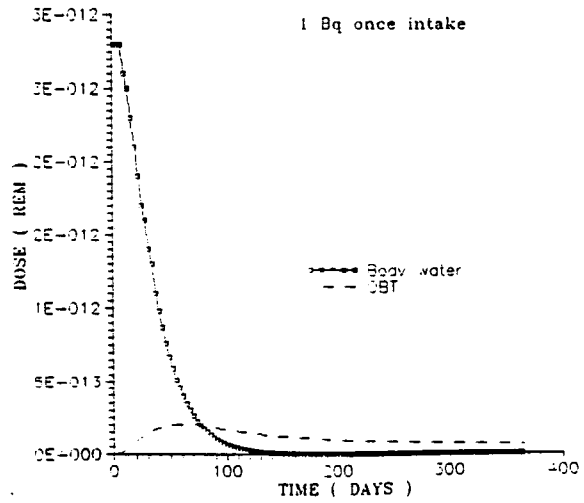


그림 4. HTO 모델에 의한 선량계산

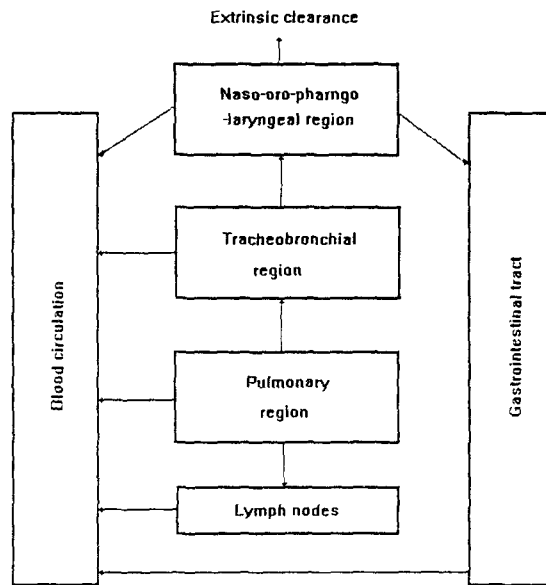


그림 5. NCRP 호흡기 모델