

## 원소형 삼중수소의 인체대사모델과 선량평가

김희근 · 공태영 · 정우태 · 김석태 · 김영식\* · 박정환\* · 이병국\*  
한전전력연구원 · 한수원 월성원자력본부\*  
E-mail: hkkim@kepri.re.kr

중심어 (keyword) : 원소형 삼중수소, 인체대사모델, 내부피폭선량평가, 유기결합삼중수소, 삼중수소제거시설

### 서론

중수로원전에서는 중수(Heavy Water)를 감속재와 냉각재로 사용하기 때문에 중성자의 방사화 과정에 의해 많은 양의 삼중수소가 생성되고, 작업구역의 공기중으로 수증기형태(Tritiated Water Vapour)로 소량 누설이 일어난다. 이에 따라 방사선 관리구역에 출입한 종사자는 삼중수소의 체내 섭취에 의한 내부피폭을 받게 된다. 중수로원전에서 방사선작업종사자의 전체 피폭방사선량 중에서 삼중수소에 의한 내부피폭선량의 기여가 약 20-40%에 이르고 있다[1].

최근 가동을 시작한 월성원전의 삼중수소 제거시설(Tritium Removal Facility: TRF)은 감속재와 냉각재로부터 삼중수소를 분리하여 제거한다. 따라서 일차계통의 삼중수소 준위가 감소되고, 또한 작업구역 내 공기 중 삼중수소 농도를 낮추게 되며, 종사자의 내부피폭선량도 더불어 저감하게 된다. 그림-1에 삼중수소 저감 예상치를 나타내었다. 또한 삼중수소의 환경 배출량을 줄임으로써, 일반인 피폭방사선량도 감소하게 된다. 그러나 삼중수소의 제거과정에서 원소형 형태(Elemental Type)의 삼중수소가 추가로 생성되는데, 이는 종사자와 일반인의 피폭선량 증가로 이어질 수 있어, 원소형 삼중수소에 대한 관리가 중요하다.

본 논문은 월성원전에서 삼중수소 제거시설의 가동에 따라 발생하는 원소형 삼중수소의 피폭방사선량 평가에 대해 살펴보았다. 특히 원소형 형태의 삼중수소에 대한 방사선학적 특징, HT에 대한 인체대사모델과 내부피폭 선량 평가방안 등에 대해 검토하였다.

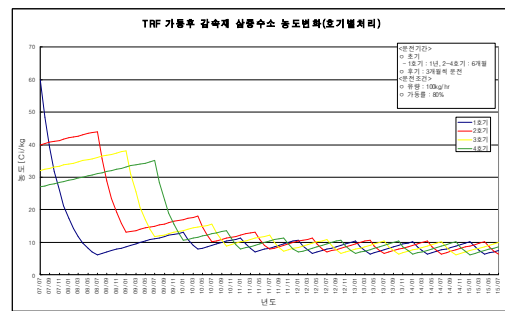


그림-1. 월성원전의 삼중수소 저감 예상치

### 삼중수소의 방사선학적 특성

삼중수소( $^3\text{H}$ )는 물리적 반감기가 12.3년이고, 저에너지 베타선을 방출하며  $^3\text{He}$ 로 붕괴된다. 이 때 베타선은 18.6 keV 최대에너지와 5.7 keV 평균에너지를 방출한다. 사람 조직과 유사한 물속에서 베타선의 최대 비정은 약 6  $\mu\text{m}$ 이다. 삼중수소의 저에너지 베타선은 분자를 이온화시킬 수 있는 충분한 에너지를 갖고 있지만, 짧은 베타 비정을 가지고 있기 때문에 외부피폭에 따른 위험은 높지 않다. 왜냐하면, 피부암 등을 유발 시킬 수 있는 표적세포는 외피층(20-100 $\mu\text{m}$ )과 진피층(1-3mm)에 존재하기 때문에 삼중수소로부터 방출되는 베타선은 표적세포에 도달할 수가 없다[2].

수증기형 삼중수소는 순베타선 방출 핵종인  $^{32}\text{P}$ 와  $^{90}\text{Sr}$ , 베타-감마선 방출 핵종인  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ 과 비교할 때 상대적으로 낮은 방사화학적 독성을 갖고 있다. 하지만 생물학적으로 수소와 결합하여 체내에서 분포하기 때문에 잠재적으로 내부피폭 위험도는 커질 수 있다. IAEA 기본안전기준에 따르면 원소형 삼중수소

(HT)의 선량환산계수(Dose Conversion Factor)는 1.8E-14 Sv/Bq로서 수증기형 삼중수소(HTO)의 선량 환산계수 1.8E-11 Sv/Bq에 비해 3개 오더가 낮다[3].

### 원소형 삼중수소의 발생 및 배출

핵연료재처리시설에서는 대략 60%는 HTO 형태로 40%는 HT 형태로 배출된다. 또한 핵융합로와 TRF에서 HT가 다량 배출된다[4]. 그러나 환경으로 배출된 HT가 HTO로 빠르게 전환은 일어나지 않는다고 많은 연구결과에서 제시하고 있다. 환경에서 발견된 HTO는 핵융합로나 TRF에서 배출된 HT가 토양으로 확산되어 들어가 유기물에 의한 산화과정에서 HTO가 생성되는 것으로 알려져 있다[5]. 한편 TRF를 가동하고 있는 캐나다의 Darlington TRF에서는 원소형 삼중수소가 수증기형(산화형) 삼중수소에 비해 3-5배 정도 많이 발생하는 것으로 알려져 있다[6]. 이는 국내 TRF에서도 이와 유사한 것으로 알려져 있다.

### 원소형 삼중수소의 인체대사모델

HT의 피폭경로는 흡입이나 오염된 표면의 접촉으로 인한 피부를 통해 일어나며, 체내에서 혈액으로의 흡수(Uptake)는 매우 낮은 것으로 알려져 있다. 체내로 흡입된 약 1% 미만이 혈액 속으로 용해되는 것으로 알려져 있다. 지원자를 대상으로 수행한 연구결과에서도 HT가 신체 내에서 약 0.01% 만이 HTO로 전환되는 것으로 조사되었다. 또한 HT의 체내 섭취에 따라 유기 결합 삼중수소(Organic Bound Tritium)가 형성된다는 증거는 발견되지 않고 있다[7].

HTO는 체내 섭취에 따라 HTO가 약 2시간 정도에 인체의 물과 혼합하여 평형에 도달하고 약 10일의 유효 반감기로 뇨를 통해 체외로 방출한다[2]. 그런데 HT는 체내로 들어와 허파와 혈액을 거쳐 일정한 시간이 경과한 후에 소량만이 인체의 물과 섞이게 되고 최종적으로 외부로 배설이 일어나고 있어, HTO 인체대사모델과는 다르게 나타나고 있다[8]. 그림-1에 국내원전에서 연구된 Johnson의 HTO 인체대사모델을 나타내었다.

### 결론

이상의 검토를 통해 국내 월성원전의 삼중수소 제거시설에서 발생하는 원소형 삼중수소의 발생특성과 방사선학적 특성을 조사하였다. 또한 HTO와 HT 인체대사모델을 개략적으로 리뷰하였다. 아직 원소형 삼중수소의 현황 분석과 조사를 수행하는 과정으로 추가 검토와 분석 등을 통해 피폭방사선량 평가와의 연계 방안을 수립할 계획이다.

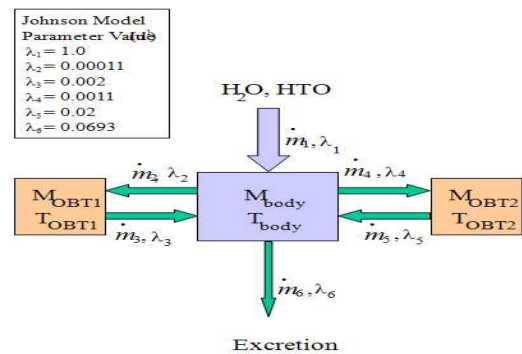


그림-2. HTO 인체대사모델

### 참고 문헌

1. 한수원(주), 방사선관리연보, 2008.
2. 김희근, 공태영, 삼중수소 체내섭취 인체대사모델과 유효반감기분석, J. of RP, Vol.34, No.1, 2009
3. IAEA, Basic Safety Standards-96, 1996
4. C.E.Murphy, Environmental Transport and Cycling of Tritium, IAEA-SM-332/80, 1980
5. R.M.Brown, Oxidation and Dispersion of HT, Health Physics, 58:171-181, 1990
6. OPG, Annula Summary and Assessment of Environmental Radiological Data, 2005
7. R.L.Hill and J.R.Johnson, Metabolism and Dosimetry of Tritium, Health Physics
8. B.F.Peterman et.al., HT/HTO Conversion in Mammals, Fusion Technology, 1985

### 감사의 글

이 논문은 한수원 월성원전과 전력연구원의 전력사공동 중장기연구개발사업에 의해 수행되었습니다.