

월성 삼중수소 저장 시설 안전성 평가를 위한 시간에 따른
삼중수소 농도 평가

Evaluation of Time Dependent Tritium Concentration for Safety
Analysis in Wolsong Tritium Removal Facility

육대식, 이진재
한국과학기술원
정홍석
한국원자력연구소

요 약

본 연구의 목적은 월성의 삼중수소 저장 시설의 안전성 평가를 위해 개발 중인 환경영향 평가 코드의 시간에 따른 삼중수소 농도를 기존의 연구 결과와 비교하여 신뢰성을 높이기 위해 수행되어졌다. 그 결과 삼중수소 저장시설이 2005년에 가동된다고 가정 하였을 때 가동시점에서의 월성 발전소 내의 삼중수소의 농도는 각 호기별로 60.9Ci/kg, 36.3Ci/kg, 30.0Ci/kg, 26.5Ci/kg로 기존의 문헌 결과 값과 거의 일치하는 결과를 얻었다. 그러나 TRF 시설의 가동에 따른 발전소별 농도 감소 속도는 기존 문헌 보다 더 빨리 감소하는 결과를 얻었으며 최종적으로는 각 발전소별 감속재 내의 삼중수소의 농도가 10Ci/kg 이하로 떨어지는 것은 같음을 확인 할 수 있었다.

Abstract

The objective of this study is to improve the reliability of the safety evaluation code for Wolsong Tritium Removal Facility(WTRF) which is on the development for environmental assessment. To achieve this, tritium concentrations calculated in the Wolsong Units of this study are compared with that of the existing reference. As the result, the tritium concentration in each Wolsong nuclear power plant unit just before operating WTRF is 60.9Ci/kg, 36.3Ci/kg, 30.0Ci/kg, 26.5Ci/kg under the assumption that the WTRF begins operation in 2005, respectively. This result is almost same with that of the existing reference. But the reducing rate of tritium concentration in the moderator is faster than that of the reference result. Finally it is expected to drop below 10Ci/kg after WTRF operation. And this result is also similar with that of the existing reference.

1. 서 론

현재 월성에서는 4기의 중수로형 원전이 가동중에 있다. 중수형 원자로는 경수형 원자로에 비하여

삼중수소의 생성이 약 100배 정도 더 높은 것으로 알려져 있다[1]. 이에 따라 한국수력원자력 회사는 월성 원전 부지에 삼중수소제거설비를 건설하겠다고 천명한 바 있으며 현재 2005년 가동을 목표로 건설 중에 있다. 또한 이에 따라 월성원전 삼중수소제거설비 안전성분석 보고서가 작성되었다[2]. 현재의 안전성 평가는 가상사고시 글로브 박스 내의 삼중수소만이 누출 될 수 있는 것으로 가정하고 있으며 TRF 저장 시설의 지하에 보관되는 삼중수소 저장 용기로부터의 누설은 없는 것으로 가정하고 있다. 그러나 현재 한국과학기술원에서는 예기치 않은 가상사고 발생시 글로브 박스 내의 삼중수소뿐만 아니라 이러한 삼중수소 저장 시설 지하에 저장되는 삼중수소의 누출까지도 고려 할 수 있는 전산 코드를 작성 중에 있다. 이 전산 모사 코드는 TRF 시설내에 저장되는 삼중수소의 농도변화를 시간에 따라 예측하고, 이러한 삼중수소의 농도를 선원향으로 하여 가상사고 발생 시점에 따른 주민 피폭 선량 평가를 모사 할 수 있는 전산 코드로써 다양한 시나리오에 따라 기존의 안전성 평가에서 제시하는 여러 가상사고 뿐만 아니라, TRF 저장 시설 지하에 저장된 삼중수소의 누출까지도 고려 할 수 있도록 하였다. 이러한 연구의 일환으로 본 논문에서는 월성 각 호기별 시간에 따른 삼중수소 농도의 변화를 예측하고 TRF 저장 시설에 저장될 삼중수소의 농도 또한 예측하여 기존의 문헌 연구 결과[3]와 비교하여 작성중인 전산 코드의 신뢰성을 높이고자 한다.

2. 본 론

2.1 월성 원전의 삼중수소 농도 예측 [4]

본 연구에 사용된 전산 모사 코드는 참고문헌 [4]에서 제시한 월성원전내 삼중수소 농도 예측 모델 및 시나리오를 활용하여 포트란 언어로 작성하였으며, 전산 모사의 흐름도는 그림 1에 나타내었다. TRF의 운전 시나리오는 TRF에서 처리된 중수의 삼중수소 농도가 냉각재의 삼중수소 농도보다 높을 경우, 냉각재로 사용할 수 없기 때문에 감속재로 공급하는 운전방식으로 운용되다가 냉각재 내의 삼중수소의 농도 보다 작아지면 중수를 냉각재로 보내는 방식을 택하였다. 즉 TRF에서 처리된 중수의 삼중수소 농도가 냉각재의 삼중수소 농도보다 높은 경우의 중수의 흐름은 「감속재 → TRF → 감속재」이고, TRF에서 처리된 중수의 삼중수소 농도가 냉각재의 삼중수소 농도보다 낮아지는 시점이후에는 중수 흐름이 「감속재 → TRF → 냉각재 → 감속재」로 변경된다. 이를 운전 방식 I과 운전 방식 II로 구분한다. 그 결과 값은 그림 2와 그림 3을 통해 각 호기별 감속재 및 냉각재에서의 삼중수소 농도로써 나타내었다.

2.2 TRF 저장 시설에 저장되는 삼중수소 농도 예측

TRF 저장 시설에 저장되는 삼중수소의 농도는 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$\frac{dA_{TRF}}{dt} = \frac{\lambda}{3.7 \times 10^{10}} \cdot N_m \cdot \left(1 - \frac{1}{DF}\right) \cdot TF \cdot a_T \quad (1)$$

여기서,

A_{TRF} : TRF저장시설내의 삼중수소 농도 [Ci]

λ : 삼중수소의 붕괴상수 [sec^{-1}]

N_m : 월성 원전내 감속재내의 삼중수소농도 [#/ $\text{kg-D}_2\text{O}$]

DF: 탈삼중수소율 [-]

TF: TRF 처리량 [kg/sec]

a_T : TRF 가동율 [-]

참고 문헌 [3]에서 제시한 월성 원전의 감속재내 농도 예측 식의 결과 값을 식 (1)에 적용하여 시간에 따른 TRF 저장 시설내에 저장될 삼중수소 농도를 예측하였다. 또한 TRF시설에 저장되는 삼중수소는 TRF 시설의 운전기간인 40년간 축적되어 저장되기 때문에 삼중수소의 반감기를 고려하여 총 저장량을 계산하여야 한다. TRF 저장 시설내 축적되는 총 삼중수소량은 다음과 같이 표현된다.

$$A_{tot-TRF} = \sum_{k=1}^N N_{TRF}(k) \cdot \exp(-\lambda \cdot t_{(N-k+1)}) \quad (2)$$

여기서,

$A_{tot-TRF}$: TRF 저장시설에 저장되는 총삼중수소양[Ci]

$N_{TRF}(k)$: 각 시간대별 TRF 저장 시설에 저장되는 삼중수소 [Ci]

t : 시간[sec]

식 (1) 과 식 (2)에 의해서 계산된 월별 삼중수소의 농도 및 그에 따른 소요 저장 용기의 소요량을 그림 4에 나타내었다.

3. 결과 및 제언

본 연구에서 사용된 삼중수소 생성 및 TRF 운전에 따른 제거 시나리오는 월성 1호기에 대해서 TRF시설을 우선 적용한 후에 1호기 감속재 농도와 2호기 감속재 농도가 같아지면 TRF 시설의 처리 용량을 반으로 나누어 1호기와 2호기를 처리하는 운전 시나리오를 따른다. 또한 다시 1,2호기의 감속재내의 삼중수소 농도가 3호기와 같아지면 TRF 시설의 처리 용량을 1/3로 나누어 각각의 호기별 감속재 농도를 감소시켜, 최종적으로는 월성의 4기의 발전소 감속재의 농도를 균일하게 낮추는 방식을 채택하였다. 본 시나리오는 참고문헌 [3]에서 제시하는 8가지 시나리오 중의 일부로써 채택되어 있어 그 결과 값의 비교가 가능하다. 참고문헌에서 제시한 결과 값이 그래프를 통해서 제시되어 있기 때문에 정량적인 비교는 불가능 하지만 정성적으로 비교했을 때 TRF 가동 전 감속재 내의 삼중수소 농도나 최종적으로 감소후의 감속재 내의 삼중수소 농도는 거의 일치하는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 삼중수소의 감소 속도에서는 본 연구를 통해서 수행한 결과가 더 빠르게 나타났다. 이러한 결과는 같은 방법론과 시나리오를 채택하였다 하더라도 그 방법론을 구체적으로 구현하는 전산 모사의 방법 차이에서 발생하는 것으로 판단되어 진다. 특히 냉각재 내에서의 삼중수소 농도 감소 형태는 기존의 참고 문헌과 많은 차이를 보이고 있어 추후 좀더 세밀한 비교 평가가 필요한 것으로 나타났다. 구체적으로 결과 데이터를 비교해 보면 참고 문헌에서는 초기 감속재내 삼중수소의 농도로 1호기 62Ci/kg, 2호기 38Ci/kg, 3호기 31Ci/kg, 4호기 29Ci/kg을 제시하였으며 본 연구 결과는 60.9Ci/kg, 36.3Ci/kg, 30.0Ci/kg, 26.5Ci/kg의 결과 값을 산출하여 거의 일치하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 감속재 내 삼중수소의 농도가 10Ci/kg 이하로 떨어지는 시기에 대해서는 참고문헌에서는 대략 2010년 이후를 제시하고 있으나 본 연구 결과는 2009년도 하반기 정도면 10 Ci/kg 이하로 도달 할 수 있는 것으로 계산되어 차이를 보이고 있었다. 감속재 내에서의 삼중수소 농도가 급격히 감소 한다는 것은 TRF 저장 시설에 저장되는 삼중수소의 양이 기존의 문헌에서 제시하는 양보다 더 많아 진다는 것을 의미하기 때문에 추후 환경영향 평가를 위해서 사용될 선원항 으로서의 삼중수소의 양이 보수적인 값을 갖게 됨을 알 수 있었다.

4. 감사의 글

본 연구는 과기부의 원자력 중장기 연구개발 사업의 일환으로 수행되었으며, 본 연구와 관련하여 많은 조언을 해주신 한전 전력연구원의 손순환 부장님과 송규민 박사님께 감사를 드린다.

5. 참고 문헌

- [1] NCRP Report No. 62, "Tritium In The Environment", 1979
- [2] 한국수력원자력(주), "월성원전 삼중수소제거설비(TRF) 안전성분석 보고서"
- [3] 송규민 외, "WTRF 가동에 따른 월성 원전 계통내 삼중수소 농도변화 및 제거량", 2003 추계 학술발표회 논문집, 대한방사선방어학회, 2003
- [4] 송규민 외, "Parameter Analysis를 통한 월성 삼중수소 제거시설의 설계요건 분석", TM.96NJ18.R1998.200, KEPRI, 1998

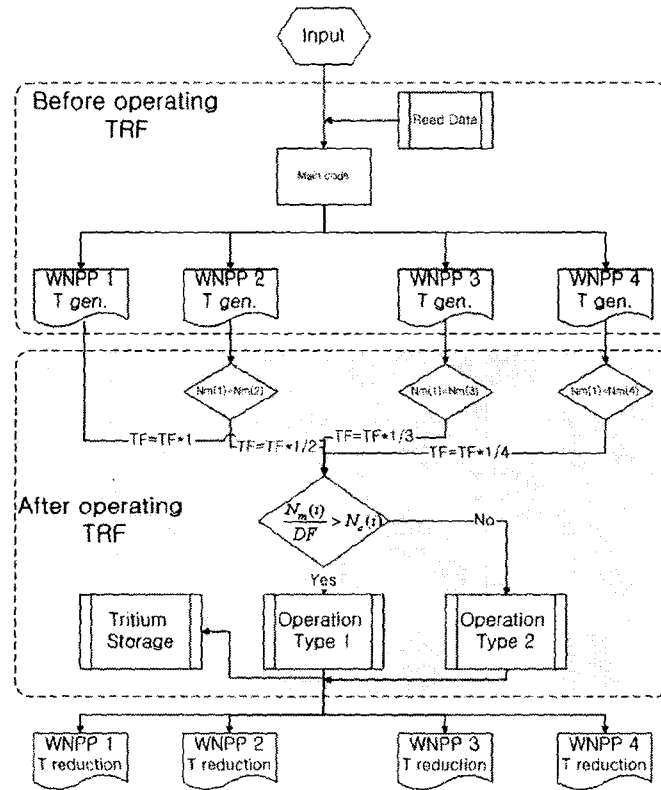


그림 1. 삼중수소 생성 및 제거에 따른 농도 계산 전산 코드 흐름도

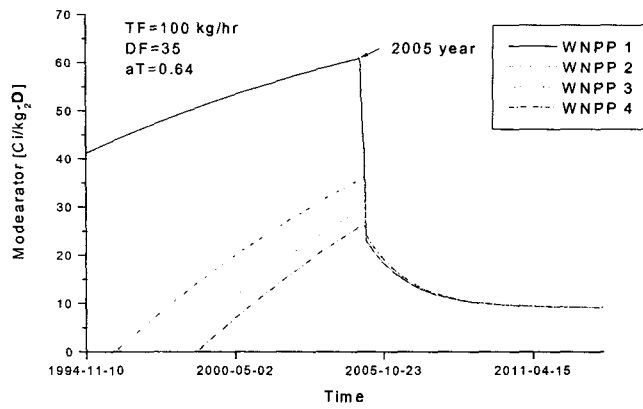


그림 2. TRF 가동에 따른 각 호기별 월별 감속재내의 삼중수소 농도 변화

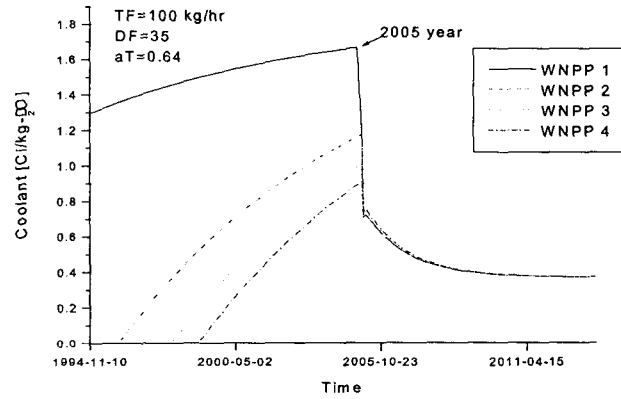


그림 3. TRF 가동에 따른 각 호기별 월별 냉각재내의 삼중수소 농도 변화

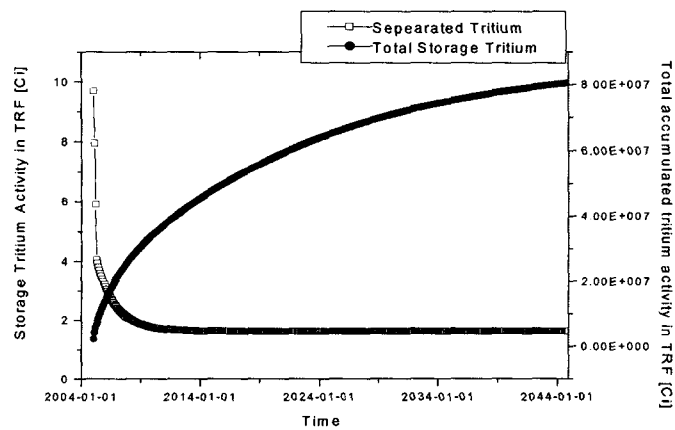


그림 4. TRF 가동에 따라 소요되는 월별 삼중수소 저장 용기 소요량과 TRF 시설에 저장되는 삼중수소의 전체 양