

월성원전 삼중수소 제거시설에서의 삼중수소 감시기 운영 및 삼중수소 방출량 분석

공태영, 김희근, 정우태, 김석태
 한전 전력연구원, 대전시 유성구 문지동 103-16
eagertae@kepri.re.kr

1. 서론

2007년부터 월성원전의 삼중수소 제거시설(Tritium Removal Facility: TRF)이 가동됨에 따라 원전 냉각재계통과 감속재 계통내 삼중수소 농도가 꾸준히 감소하고 있다. 이는 월성원전의 기체와 액체 삼중수소 방출량 저감뿐만 아니라 일반인 및 원전 작업종사자의 방사선피폭도 저감시키는 효과를 가져다주었다. 그러나 삼중수소가 재질을 쉽게 투과(Permeation)하는 화학적 특성을 지니고 있어 TRF의 탈 삼중수소화 공정에서 작업종사자가 삼중수소(주로 원소형 삼중수소)에 의한 내부 피폭을 받을 수 있다. 따라서 월성원전 TRF에는 삼중수소 피폭이 예상되는 곳이나 가능성이 있는 곳에 지역 삼중수소 감시기를 설치하여 운영 중에 있다[1]. 이들 감시기는 시설내 공기 중 농도변화를 작업종사자에게 경고해 주고 있으며 필요에 따라 작업종사자에 대한 적절한 피폭관리가 이루어지도록 도와주고 있다. 작업종사자에 대한 삼중수소 피폭감시는 현재 월성원전에서 수행하고 있는 내부피폭감시와 동일하게 주기적인 뇨시료 분석을 통해 이루어진다. 한편, 월성원전 TRF에서는 환경으로 방출되는 삼중수소 기체유출물(원소형 삼중수소) 감시를 위해 버블러(Bubbler)를 사용하고 있다[1].

2. 본론

2.1 월성원전 삼중수소 제거시설 개요

월성원전 TRF의 목적은 감속재 및 냉각재 계통에 들어있는 삼중수소의 양을 줄이는 것이다. 현재 월성원전 TRF 중수급수의 삼중수소 제한치는 2.22 TBq/kg이다[1]. 본 제한치는 월성원전 TRF 설계, 안전성 분석 및 인허가의 기준이 된다. 월성원전 TRF의 전체적 기능은 4기의 가동 원자로계통으로부터 생성된 삼중수소를 제거하고 제거된 삼중수소를 고정화하여 부지에 안전하게 저장하며, 삼중수소가 제거된 중수를 원전에 되돌려 주는 것이다. 월성원전 TRF의 성능목표는 삼중수소화 감속재 중수를 100 kg/h으로 처리하여 삼중수소의 97%를 제거하는 것이다. 이러한 월성원전 TRF의 주요 설계규격은 월성 1,2,3,4호기 감속재 삼중수소 농도를 370 GBq/kg로 유지하는데 맞추어져 있다.

월성원전 TRF에서의 삼중수소 제거공정은 크게 세부분으로 이루어진다[1]. 첫 번째 공정(전단 공정)은 삼중수소가 중수 분자로부터 중수소 분자로 전이하는 공정이다. 현재 월성원전 TRF는 동위원소 전이를 위한 촉매로 방수형 촉매를 사용하고 있으며, 이러한 공정을 액상촉매교환공정(Liquid Phase Catalytic Exchange: LPCE)으로 부르고 있다. 두 번째 공정은 농축단계이며, $D_2 + DT$ 혼합물을 초저온 증류과정을 통해 삼중수소의 농도를 높여 순수한 D_2 와 T_2 를 생산하는 공정이다. 마지막 공정은 삼중수소의 안전한 장기 저장을 위해 농축된 T_2 를 측정하고 저장하는 단계이다. 월성원전 TRF에서는 탈 삼중수소화 공정에서 제거된 T_2 가 상온에서 티타늄금속과 반응하여 안정한 금속 삼중수소화물을 형성한다. 그림 1에 탈 삼중수소화 공정의 기본 개념을 나타냈었다.



Fig. 1. Tritium removal process at TRF

2.2 월성원전 TRF 삼중수소 감시기 운영현황

현재 월성원전 TRF에는 삼중수소 피폭이 예상되는 곳이나 가능성이 있는 곳에 지역 삼중수소 감시기를 설치하여 운영 중에 있다. 이들 감시기는 시설내 공기 중 농도변화를 작업종사자에게 경고해 주고 있다. 유출물과 관련하여, 월성원전 TRF에서는 환경으로 방출되는 삼중수소 기체유출물(원소형 삼중수소) 감시를 위해 버블러를 사용하고 있다. 이러한 버블러는 월성원전에서 사용 중인 기존 삼중수소 버블러와 설계가 동일하며

원소형 삼중수소를 감지하기 위해 산화장치와 후단 Bubbler가 추가적으로 사용되고 있다. 월성원전 TRF의 공기 중 삼중수소 감시계통은 9개의 삼중수소 감시기로 구성되어 있으며, 여러 지역을 연속 감시하고 있다. 이들 감시기는 대기로 누출되는 모든 삼중수소화 수증기(HTO)나 삼중수소 기체(HT)를 검출하게 된다. 삼중수소 감시기의 시료채취 위치와 감시지역은 표 1과 같다[1]. 한편 배기기로 방출된 삼중수소 방사능량은 버블러 순수내 삼중수소 방사능량에 유량비율을 보정하여 산출한다.

$$\text{배출량} = \frac{\text{Bubbler포집삼중수소량}}{\text{포집기유량}} \times \text{연돌유량} \text{---(Eq. 1)}$$

Table 1. Tritium Monitors (TM) at Wolsong TRF

구분	지역/위치	감시지역
TM 1	지하 공정구역	·중수 이송배관 터널 ·삼중수소 저장고 ·액체수집탱크구역
TM 2	드럼 취급구역	·드럼취급 격실구역
TM 3	중수 세정실	·급수펌프구역 ·생산물 펌프구역 ·정화장치구역
TM 4	삼중수소 취급 Glove box 구역	·삼중수소 Glove box구역 ·보수작업실 Fume hood
TM 5	공기 정화실	·건조기 재생구역 ·재순환 송풍기구역
TM 6	1층 수소구역	·LPCE 촉매탑 펌프구역 ·CD탑 구역(EL.100) ·고농도 삼중수소 팽창탱크 구역
TM 7	2층 수소구역	·LPCE 공급 압축기구역 ·건조기 공급 압축기구역 ·퍼지가스 및 재결합기 구역
TM 8	4층 수소구역	·LPCE 촉매탑 구역(EL.100) ·CD탑 구역(EL.118) ·전해조 구역(EL.112)
TM 9	건물배기구	기체 유출물 감시

2.3 월성원전 TRF 삼중수소 방출량 분석

월성원전 TRF에서 방출된 삼중수소 총 연간 방출량은 2007년 1.86×10^{14} Bq, 2008년 1.87×10^{14} Bq, 2009년 6.15×10^{13} Bq이며 이중 약 90%가 원소형 삼중수소이고 나머지 10%는 삼중수소 수증기인 것으로 조사되었다. 그림 2와 3에 연도

별 월성원전 TRF 월별 삼중수소 방출량과 화학형에 따른 연간 삼중수소 방출량을 나타내었다(단위: Bq).

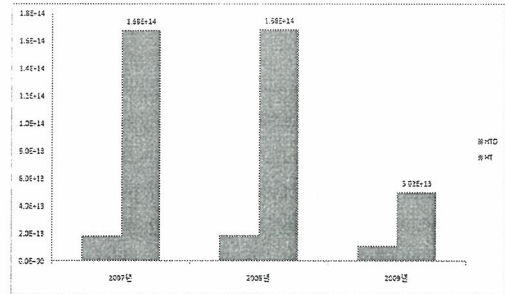


Fig. 2. Annual amount of tritium effluents at TRF

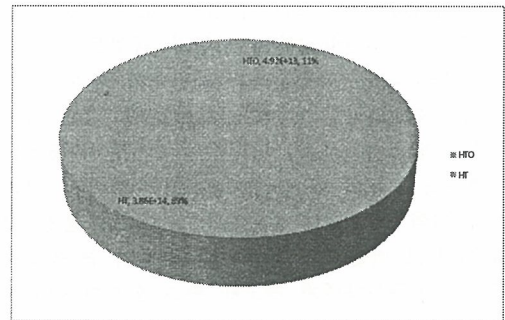


Fig. 3. Annual amount of tritium effluents depending on the chemical forms at TRF

3. 결론

본 논문에서는 월성원전 TRF 운영과 관련하여 기본적인 탈 삼중수소화 공정에 대해 간략히 소개 하였으며, 삼중수소 감시기 운영현황 및 감시절차를 분석하여 기술하였다. 또한 삼중수소 화학형에 따른 연간 월성원전 TRF 삼중수소 방출량을 분석한 결과, 월성원전 TRF에서 방출된 삼중수소 총 연간 방출량 중 약 90%가 원소형 삼중수소이고 나머지 10%는 삼중수소 수증기인 것으로 조사되었다.

4. 감사의 글

본 연구는 한국수력원자력(주)와 한전전력연구원의 협약과제로 수행되었다.

5. 참고문헌

- [1] 한국수력원자력. 월성원전 삼중수소제거설비 안전성분석보고서, 개정번호 3, 2009.