

한울3,4호기 삼중수소 배출량 및 부지경계농도 평가

손중권*, 김민철, 강기두

한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

*jungkwon.son@khnp.co.kr

1. 서론

원자력발전소에서 발생하는 삼중수소는 대표적인 장수명 저에너지 순수베타 방출체이다. 삼중수소는 연간 배출량이 크고 반감기가 길어 환경에서 오랜 기간에 걸쳐 방사선학적 영향을 미치기 때문에 원자력발전소 삼중수소 배출을 제한, 감시 및 관리하는 것은 매우 중요한 일이다. 한울원전의 경우 기체 삼중수소에 의한 주민선량은 약 75%, 액체 삼중수소 및 미립자에 의한 주민선량은 96.4%를 차지하고 있다.

한울 3,4호기의 최근 운영실적에 따르면 액체방사성유출물을 통한 연간 삼중수소 배출량이 설계배출량에 근접하게 운영되고 있으며, 가동 연수가 증가함에 따라 액체 삼중수소 배출량의 증가가 예상되고 있다. 한울 3,4호기의 설계기준 연간 액체 배출량은 액체 방사성폐기물의 재사용설계 기준으로 평가되었으나, 현재 액체폐기물의 재사용이 이루어지지 않고 있다. 따라서 원전 운영여유도 확보를 위해 FSAR의 설계기준 연간 삼중수소 예상배출량을 재평가하여야 한다.

2. 본론

2.1 PWR-GALE 코드를 이용한 배출량 평가

한울 3,4호기 가동연수 증가에 따라 액체방사성 유출물내 삼중수소의 농도가 증가하여 FSAR의 배출설계값에 근접하게 운영되고 있다. 2004년 ~ 2013년까지의 액체 및 기체 방사성유출물내 평균 삼중수소의 배출량은 각각 57.44% 및 2.11%이지만, 점점 증가하는 추세이다. 특히 2014년의 경우 액체 삼중수소의 설계값 대비 배출비율이 약 95%로 거의 배출설계값에 근접하였다.

한울 2발전소의 경우 실제 액체 및 기체 삼중수소 배출량을 평가해보면 액체유출물의 삼중수소가 93.75%로 대부분을 차지하고 있다. 그러나 FSAR의 삼중수소 배출설계값을 보면 총 배출량 중 기체형태로의 배출이 액체 형태로의 배출보다 크게 설계되어 있다. 이는 한울 2발전소에만 국한된 문제

로 한울 2발전소를 제외한 모든 표준원전의 설계값을 보면 액체 유출물의 삼중수소 비율이 높다. 또한 국내 표준원전 실제 운영자료를 분석해 보아도 액체형태로의 삼중수소 배출이 대부분을 차지하고 있다.

이와 같이 설계값과 실제 운영값이 차이가 나는 이유는 설계시 고려된 삼중수소의 배출유로별 배출률과 실제 원전 운영시 배출률과의 차이로부터 기인한 것이다. 즉 한울 2발전소 설계시 FSAR의 배출설계값은 1차냉각재 및 방사성폐기물의 재사용을 고려하여 설계되었으나, 발전소 가동후 실제로 계통에서 처리된 응축수는 수질요건(전도도 및 DO 농도)에 불만족하여 발전소 용수로 재사용이 불가하여 전량 배출되고 있는 실정이다. 현재 Hold Up Tank 저장수(일차냉각재)는 봉산농축기(BAC) 운전 후 증류수를 액체방사성폐기물로 처리하고 있으며 청정폐기물 및 오염폐기물은 액체방사성폐기물 처리계통에서 처리된 응축수는 전량 배출하고 있다.

따라서 액체배출을 개선을 위해 상기 항목에 대한 변수를 수정하여 재계산하면 현재 운영상황에 맞는 배출설계값을 구할 수 있다.

한울 3,4호기의 삼중수소 연간 예상 배출량 설계값 재평가는 미국 NRC (Nuclear Regulatory Committee)에서 개발한 PWR-GALE (NUREG-0017) 전산프로그램을 사용하여 평가하였다[1]. PWR-GALE 코드의 액체폐기물 입력 유로는 6개를 고려하고 있다. 6개의 유로는 각각 화학제어제(Shim Bleed), 기기 배수(Equipment Drain Waste), 청정 폐기물(Clean Waste), 오염폐기물(Dirty Waste), 취출 폐기물(Blowdown Waste) 및 재생폐기물(Regenerate Waste)이다. 한울 2발전소의 운영 현황을 고려하면 이중 화학제어제(Shim Bleed), 기기배수(Equipment Drains), 청정폐기물(Clean Waste) 및 오염폐기물(Dirty Waste)의 PWR-GALE 코드 입력값을 변경해야 한다. 프로그램 입력 데이터는 화학제어제(Shim Bleed), 기기배수(Equipment Drains), 청정폐기물(Clean Waste) 및 오염폐기물(Dirty Waste)의 액체방출률을 제외하고는 한울 3,4호기의 FSAR 표 11.2-10의 'PWR-GALE 전산

프로그램에 입력된 변수값과 동일하게 적용하여 평가하였다. 재평가를 위해 변경된 변수는 Table 1 과 같다.

Table 1. Revised Input of PWR-GALE Code

Release Pathway	Revision
Shim Bleed	0.46 → 1.0
Equipment Drain Waste	0.46 → 1.0
Clean Waste	0.1 → 1.0
Dirty Waste	0.1 → 1.0

배출량 개선방안을 적용한 한울2발전소의 연간 기체 및 액체 삼중수소 예상배출량 평가를 수행한 결과는 Table 2와 같다. 한울 3,4호기의 삼중수소 배출설정치 재평가 결과, 기체 및 액체 삼중수소 배출치는 각각 110 Ci/yr 및 1010 Ci/yr로 평가되었다. 총 삼중수소 배출량에서 액체 삼중수소가 차지하는 비율은 35%에서 90%로 증가하였다.

Table 2. Comparison between FSAR and Calculated Tritium Release (Ci/yr)

Type	FSAR	Calculated
Gas	720	110
Liquid	400	1,010

2.2 부지경계농도 평가

한울 3,4호기의 삼중수소 연간 예상 배출량 재평가결과를 바탕으로 변경되어야 하는 제한구역경계에서의 기체 및 액체배출물의 방출농도를 재평가하였다. 제한구역경계에서의 기체 및 액체배출물의 방출농도는 원자력안전위원회고시 2014-34호의 제 6조 '배출관리기준(별표3의 제1란의 당해 방사성핵종에 대한 제5란과 제8란의 농도)'에서 제시하는 방사성핵종별 기체 및 액체 방출 농도제한치를 만족하여야 한다[2]. 이 기준은 일반인에 대한 선량 제한치로부터 도출된 것으로 전체 부지에 대한 기준이다.

제한구역경계에서 기체방출물의 설계기준 방출농도는 식 (1)로 구한다.

$$C_i = \frac{N_{WD}}{N_{WE}} Q_i (X/Q) \quad (1)$$

여기서, C_i = 제한구역경계에서 기체 방출물의 방출농도, (Bq/m³)
 Q_i = 기체 방사성물질의 핵종별 예상방출량, (Bq/sec)
 (X/Q) = 제한구역경계에서의 대기확산인자, (sec/m³)
 N_{WD} = 1차 냉각재의 설계기준 비방사능, (Bq/g)
 N_{WE} = 1차 냉각재의 예상 비방사능, (Bq/g)

제한구역경계에서 액체방출물의 설계기준 방출농도는 식 (2)로 구한다.

$$C_D = \frac{N_{WD}}{N_{WE}} \frac{Q_i}{W_P} DF \quad (2)$$

여기서, C_D = 제한구역경계에서 액체 방출물의 방출농도, (Bq/m³)
 Q_i = 액체 방사성물질의 핵종별 예상방출량, (Bq/sec)
 W_P = 배수로를 통한 냉각수 방출량 (m³/sec)
 N_{WD} = 1차 냉각재의 설계기준 비방사능, (Bq/g)
 N_{WE} = 1차 냉각재의 예상 비방사능, (Bq/g)
 DF = 해수에 의한 희석인자 (=2)

평가 결과 원자력안전위원회 고시의 배출관리기준 제한치와의 비율은 기체의 경우 8.69E-04, 액체의 경우 5.58E-04로 법적 제한치를 충분히 만족한다.

3. 결론

한울3,4호기의 삼중수소 배출설계값을 재평가하였으며 이에 따른 제한구역경계에서의 기체 및 액체삼중수소의 부지경계농도에 대해 재평가를 수행하였다. 재평가 결과, 한울 3,4호기 전체 삼중수소 중 액체 삼중수소의 비율이 크게 증가하였으며 제한구역경계에서의 기체 및 액체 삼중수소를 포함하여 모든 기체 및 액체폐기물의 배출물농도가 원자력안전위원회 고시의 배출제한치를 충분히 만족하는 것으로 평가되었다.

4. 참고문헌

- [1] US NRC, NUREG-0017, Calculation of Release of Radioactive Materials in Gaseous and Liquid Effluents from Pressurized Water Reactors, 1985.
- [2] 원자력안전위원회고시 제2014-34호, 방사선방호 등에 관한 기준, 2014.