

# 경수로 연료건물에서의 삼중수소 방출량 평가

김민철\*, 손중권, 강기두

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

\*kim.minchul@khnp.co.kr

## 1. 서론

한울1발전소는 기체 삼중수소의 환경 배출량이 최종안전성분석보고서의 연간예상배출량에 근접하고 있어 방출량 저감방안을 수립하기 위해 노력하고 있다. 프라마톰 원전인 한울1발전소의 기체 방사성물질은 격납건물 배기구와 공동배기구를 통해 배출하고 있다. 건물별로 독립된 배기구를 갖는 일반적인 경수로와 다르게 건물별 기체 방사성물질이 혼재되어 주로 공동배기구를 통해 배기되므로 건물별 방출량을 확인할 수 없다. 국외 운전경험 등을 바탕으로 기체 삼중수소 주요 배출경로 및 영향인자를 분석하고 한울1발전소에 적용 가능한 기체 삼중수소 방출량 저감방안을 제시하였다.

## 2. 본론

### 2.1 기체 삼중수소 배출경로 분석

미국 경수로 운전경험에 따르면 기체 삼중수소는 연료건물 50%, 보조건물 32%, 원자로건물 18%로 배기되는 것으로 보고된다[1]. 표준형원전인 한울2 발전소의 지난 10년(2003~2012) 동안의 기체 삼중수소 방출량 조사결과, 3호기 연료건물에서 42.3%, 4호기 연료건물에서 35.2%로 전체 배기구에서 방출되는 방출량의 77.5%를 차지하는 것으로 나타났다. 따라서, 연료건물에서의 배기량 저감방안을 도출하는 것이 효율적일 것으로 판단하였다.

### 2.2 삼중수소의 측정 및 배기량 평가

삼중수소 측정을 위해 방사능감시기와 버블러가 사용된다. 삼중수소 방사능 감시기는 원자로건물과 공동배기구에 설치되어 있고 배출허가를 위해 삼중수소 시료채집 버블러가 설치되어 있다. 배출방사능은 농도와 배기유량을 이용하여 평가한다. 배기유량은 격납건물에서는 적산유량계로, 공동배기구에서는 배기유량계에서 측정된 시간당 배출량을 이용하여 주간 기체 배출량을 계산한다. 적산유량계와 배기유량계의 고장시, 각 계통의 배출팬 용량과 운전시간으로 주간 기체배출량을 산출한다.

## 2.3 삼중수소 배출량 영향인자

### 2.3.1 RCS 재사용 및 손상핵연료

RCS 재사용은 삼중수소 재고량 증가에 영향을 미치며, 특히 연료재장전 기간 중 냉각재, 원자로수조와 사용후핵연료저장조(SFP)가 연결되어 삼중수소수의 유로가 형성된다. 이러한 계통수는 정화시스템(이온교환기 및 필터)을 거치며 핵분열생성물 및 방사화물질의 제거엔 효과적이거나 삼중수소 제거엔 도움이 되지 않는다. 한편, 핵연료 손상을 방지하는 노력이 필요하며, 장주기 운전, 출력증강 운전도 삼중수소 생성량을 증가시키는 원인이 될 것이다.

### 2.3.2 계통수 관리정책

과거 11년(2003~2014) 동안의 한울본부의 냉각재 내 삼중수소 농도를 분석하였다. 1호기 연평균 농도 대비 각 호기별 농도를 비교한 결과 2호기는 1호기와 유사했지만 3~6호기의 경우 약 50%로 호기별 냉각재 관리정책이 상이한 것으로 나타났다.

## 2.4 삼중수소 저감기술

상용화된 삼중수소 제거기술은 TRF(Tritium Removal Facility)가 유일하지만 삼중수소 농도가 높은 중수로에만 적합하다. 기타 기술로 CECE(Combined Electrolysis Catalytic Exchange)와 Bithermal Hydrogen-Water Process의 경우, 2차 폐기물의 처리가 상업화의 걸림돌이 되고 있다. Molecular Separation 기술은 매질 용량증대와 건조기술이 추가적으로 필요한 것으로 평가되었다[2]. 따라서 경수로에 적합한 삼중수소 제거기술은 현재 로선 요원한 상태이기에 삼중수소의 증발 최소화 방안이 현실적인 대안으로 판단되었다.

## 2.5 삼중수소 배출량 저감방안

미국 전력연구원에선 SFP에서의 증발량 계산 실험식을 다음과 같이 제시하였다[2].

$$Q_m = A(x_1 - x_2)a_e \quad (1)$$

여기서,

$Q_m$  = SFP 삼중수소 증발량(kg/hr)

$A$  = SFP 표면적( $m^2$ )

$x_1$  = 특정 상대습도에서 SFP 상부 습분량 (kg  $H_2O$ /kg Air)

$x_2$  = 특정 상대습도에서 연료건물의 습분량 (kg  $H_2O$ /kg Air)

$a_e$  = 증발계수(kg/ $m^2$ hr)

증발계수는 다음 식과 같다.

$$a_e = (25 + 19v) \quad (2)$$

여기서,  $v$  = SFP 상부의 공기 유속(m/s)

SFP 상부 공기 속도를 "0"으로 가정하면, 식(1)을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_m = A(x_1 - x_2)a_e = 25A(x_1 - x_2) \quad (3)$$

습공기선도(Psychrometric chart)에서 구한 SFP와 연료건물의 습분량과 각 SFP의 삼중수소 비방사능량을 식(3)에 적용하여 증발량을 계산할 수 있다.  $x_1$ 은 상대습도 100%로 가정하였다. SFP 내 삼중수소 비방사능을 2회(2014년 2월/5월) 분석하였고 그 결과, 2월의 1호기는 1,303 Bq/g, 2호기는 1,568 Bq/g으로, 5월은 1,343 Bq/g, 1,633 Bq/g으로 나타났다. 공동배기구의 방출량은 주간단위로 합산하여 계산되므로 측정일자가 포함된 주간(2.12~2.28, 5.1~5.7)에 대해 Table 1의 정보는 동일하다고 가정하였다.

Table 1. Operation data for Evaporation Calculation

1) Feb. 3 <sup>rd</sup> Week, 2014(2.12~2.18)			
Item	Temperature (°C)		R.H of Fuel BD
	SFP	Fuel BD	
1호기	20.0	28.1	10%
2호기	18.7	28.3	10%
2) May 2 <sup>nd</sup> Week(5.8~5.14)			
1호기	22.1	27.0	20%
2호기	20.6	28.1	20%

### 3. 결론

상기 정보를 증발량 산식에 적용하여 계산한 증발량을 Table 2에 나타내었다. 또한 실제 공동배기구를 통해 배기된 삼중수소 방사능량을 Table 3에 제시하였다. 2월 3주간, 5월 2주간의 한울1발전소 SFP에서의 삼중수소 증발량은 각각 1.43E+10 Bq, 1.45E+10 Bq 이고, 공동배기구를 통한 삼중수소 배기량은 2.76E+10 Bq, 3.60E+10 Bq 이다. 따라

서, 연료건물에서의 기체 삼중수소 증발량은 배기구 방출량의 51.7%, 40.2%로 평가되어 미국 운전 경험과 유사한 것으로 나타났다.

Table 2. Evaporation Calculation

Item	Temp (°C)	Weight (g)		Evaporation Amount (kg)	Activity (Bq)		
		$x_1$	$x_2$				
Mon							
	#1	20.0	28.1	14.7	2.3	5249.7	6.84E+09
Feb							
	#2	18.7	28.3	13.6	2.4	4741.6	7.43E+09
May							
	#1	22.1	27	16.7	4.4	5207.3	6.99E+09
	#2	20.6	28.1	15.5	4.7	4572.3	7.47E+09

Table 3. Gaseous Tritium Release by common stack

Item	Release Amount ( $m^3$ )	Activity Concentration (Bq/ $m^3$ )	Activity (Bq)
Feb	53,280,000	5.18E+02	2.76E+10
May	51,936,000	6.92E+02	3.60E+10

SFP의 삼중수소 증발에 대한 주요변수인 SFP 온도와 연료건물 습도에 대하여 증발량 추이분석을 수행하였고 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

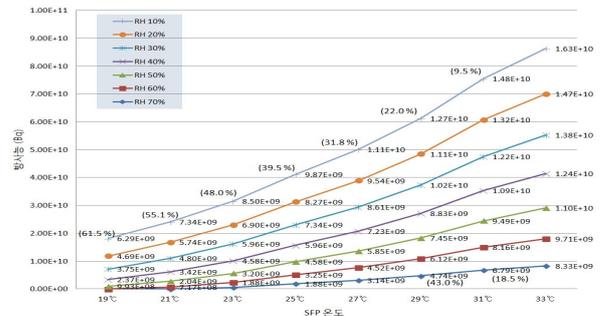


Fig. 1. Evaporation Analysis by Temp. & Humidity.

연료건물에서의 온·습도 조절을 통해 삼중수소 증발량을 관리할 수 있을 것으로 기대되나, 발전소 적용을 위해서는 주변 설비 및 기기에 대한 영향성 분석이 수반되어야 할 것으로 판단된다.

### 4. 참고문헌

[1] NUREG-0017, Rev. 1, 1985.  
 [2] EPRI Tritium Management Model, TR-1009903, 2005.