

삼중수소 열량계 성능시험 및 삼중수소 테스트

송규민, 이계우, 고병욱, 손순환

한국전력공사 전력연구원, 대전광역시 유성구 문지로 65

kmsong@kepri.re.kr

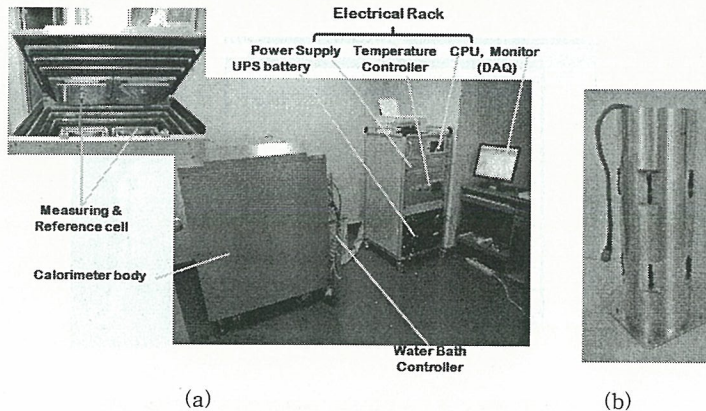
1. 서론

한국전력공사 전력연구원은 한수원(주)의 월성원전 삼중수소 제거설비(TRF)의 본격적 가동으로 생산되는 삼중수소를 계량·분배할 수 있는 시설인 삼중수소 실험실을 구축 중에 있다. 삼중수소 실험실은 삼중수소 입출고 재고관리를 위해 삼중수소 열량계를 적용할 예정이다. 삼중수소 열량계는 삼중수소를 저장용기로부터 꺼내지 않고 삼중수소 붕괴열만을 측정하여 재고량을 정량하는 비파괴 분석기기이다. 본 논문에서는 삼중수소 실험실에 설치된 삼중수소 열량계의 성능시험 및 실제 삼중수소 테스트 결과를 기술하였다.

2. 본론

2.1 삼중수소 열량계

삼중수소 열량계는 시료채취를 통해 측정하기 곤란한 밀봉선원 또는 폐기물 특히 삼중수소화물내에서 발생하는 삼중수소 붕괴열만을 감지하여 삼중수소의 재고량을 정량하는 분석장비를 말한다. 삼중수소 1g은 베타붕괴를 하면서 약 0.32 W (0.91 mW/TBq)의 열을 발산하게 되는데, 이를 열량계 측정셀과 레퍼런스 셀에 설치된 펠티에소자를 이용하여 측정한다. 본 삼중수소 열량계는 운전환경에 따라 발생하는 열량을 보정하기 위해 트윈셀 방식을 적용하였다. <그림 1(a)>는 전력연구원 삼중수소 실험실에 설치된 삼중수소 열량계 사진이다. 삼중수소 열량계 본체, 제어계측 전원랙, 모니터로 이루어지며, 열량계 안정화 및 정량화된 성능시험을 위해 <그림 1(b)>의 Joule effect cell (JEC)를 이용한다. JEC는 측정셀에 설치되어 실험하고자 하는 삼중수소 붕괴열을 컴퓨터제어를 통해 발산해 주는 역할을 한다. JEC는 성능시험에만 사용되며 실제 삼중수소 실험 시에는 제거한다.



<그림 1> 삼중수소 열량계 (a) 설치 모습, (b) JEC (Joule effect cell)

2.2 성능시험

<표 1>은 삼중수소 붕괴열 10 W와 50 mW에 대해 JEC로 모사하여 성능시험을 수행한 결과이다. 각 붕괴열에 대해 3회의 실험을 수행하였으며, 정밀도는 입력평균값에 대한 상대표준편차로 정의하여 나타냈다. 결과에서 보듯이 삼중수소 붕괴열 50 mW에서 0.28%, 10 W에서 0.13%의 정밀도를 보였다. <표 2>는 삼중수소 열량계의 항목별 성능시험 결과를 나타낸 표로 평균 측정감도는 약 95 μ W/mW에 최소 3 mW 이하의 열량을 감지할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 삼중수소 약 0.01 g에 해당된다. 안정화 소요시간도 성능요건인 48 시간 이내를 모두 만족하고 있다.

<표 1> 삼중수소 열량계 정밀도 측정실험 결과 및 항목별 성능시험 결과

실험조건 및 번호	입력값 (mW)	평균값 (mW)	측정값 (mW)	편차 (mW)	정밀도
10 W No.1	9999.69	9998.94	10013.34	13.07	0.13%
10 W No.2	9998.30		10012.45		
10 W No.3	9998.84		10010.24		
50 mW No.1	49.90	49.91	50.03	0.14	0.28%
50 mW No.2	49.91		49.93		
50 mW No.3	49.91		49.76		

<표 2> 삼중수소 열량계 항목별 성능시험 결과

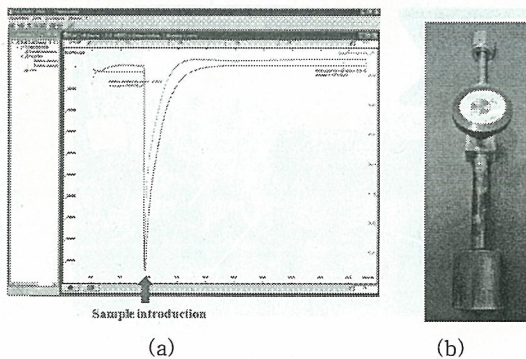
항목	성능요건	FAT* 측정값	SAT** 측정값	Pass/Fail
Precision (%RSD)	1% on the whole range	0.28% at 50 mW 0.13% at 10 W	0.23% at 50 mW	Pass
Detection limit	3 mW	< 0.212 mW	< 0.200 mW	Pass
안정화 소요시간	< 48 hours	< 12 up to 13	< 14 hours	Pass

*FAT: Factory Acceptance Test, **SAT: Site Acceptance Test

2.3 삼중수소 테스트

RCTritec에서 구입한 실제 삼중수소를 대상으로 삼중수소 열량계 측정실험을 수행하였다. 삼중수소 양은 실험 당시 2009년 1월 13일 기준 972.59 Ci였다. 이는 RCTritec에서 삼중수소 납품 시 제시한 2008년 9월 10일 1,000 Ci를 기준으로 계산한 값이다. 용기가 작아 저장용

기의 열용량(mCp)이 작다는 가정 하에 레퍼런스 셀에 별도의 레퍼런스 용기를 넣지 않고 측정을 하였다. 안정화 작업도 측정 셀과 레퍼런스 셀 모두 빈 상태에서 수행하였다. 측정결과 <그림 2(a)>의 측정 곡선을 얻었고 이로부터 삼중수소 972.01 Ci를 계산할 수 있었다. RCTritec에서 제공한 값을 기준으로 상대오차는 -0.06%였다. <그림 2(a)>에서 중간에 열유량 곡선이 하향한 후 다시 상승한 것은 열량계 안정화 후 측정대상인 삼중수소 저장용기를 측정 셀에 넣기 위해 열량계 측정셀 상부를 열어 열 출입이 발생했기 때문이다.



<그림 2> 실제 삼중수소 (0.1 gT) 측정실험 결과
(a) 열량계 측정곡선, (b) 측정대상 삼중수소 저장용기

3. 결론 및 향후계획

한국전력공사 전력연구원 삼중수소 실험실에 설치된 삼중수소 열량계에 대한 성능시험과 삼중수소 테스트를 수행하였다. 본 열량계는 삼중수소 붕괴열 50mW에서 0.28%, 10 W에서 0.13%의 정밀도를 보였고, 0.1 gT 삼중수소 테스트에서는 상대오차 -0.06%를 보였다. 향후 삼중수소 열량계의 효율적인 관리 및 정확도 향상을 위한 운전절차개발과 정량분석시스템을 구축할 계획이다.

사 사

본 연구는 지식경제부의 전력산업연구개발사업으로 수행 중에 있다.