

삼중수소 입출고 관리용 twin cell 방식 삼중수소 열량계

송규민, 이계우, 고병욱, 손순환, 정양근

한국전력공사 전력연구원, 대전광역시 유성구 문지로 65

kmsong@kepri.re.kr

1. 서론

전력연구원은 2007년 7월에 준공된 월성원전 삼중수소 제거설비(TRF)의 가동에 따라 생산되는 삼중수소를 자원화하기 위해 이를 계량·분배할 수 있는 시설인 삼중수소 실험실을 구축 중에 있다. 월성원전 TRF는 정상상태 운전 시 연간 700g의 삼중수소를 생산할 수 있으며 삼중수소 가격만으로 환산 시 약 200억원의 경제적 가치가 있다. 현재까지 약 1 kg의 삼중수소가 생산되어 TRF 삼중수소기체취급 및 저장시스템(TGHSS)에 저장되어 있으며, 향후 월성원전 TRF의 본격적인 가동과 국제핵융합실험로 건설이 가시화 되면서 삼중수소 활용에 대한 수요가 증대될 것으로 기대된다.

삼중수소 실험실의 삼중수소 재고관리를 위해 월성원전 TRF 또는 외부에서 공급된 삼중수소를 입고하거나 분배·저장하여 외부로 출고할 경우 저장용기에서 인출하지 않은 상태에서 삼중수소를 계량할 필요성이 있다. 이에 적합한 측정 장비 중 하나가 삼중수소 열량계이다. 본 연구에서는 삼중수소 열량계의 측정원리를 설명하고 삼중수소 실험실의 삼중수소 입출고 재고관리에 적용할 삼중수소 열량계의 설계요건과 제작현황을 소개하고자 한다.

2. 설계 및 결과

측정원리 및 특징

삼중수소를 저장용기에서 꺼내어 측정하기 곤란한 삼중수소나 폐기물내 잔존하는 미량의 삼중수소를 기존의 측정방법으로 측정하는 것은 어렵다. 하지만 삼중수소 1g은 붕괴를 하면서 약 0.32W(0.91mW/TBq)의 열을 발산하게 되는데 이를 감지할 수 있다면 삼중수소를 쉽게 정량할 수 있다. 삼중수소 칼로리미터는 시료채취를 통해 측정하기 곤란한 밀봉선원 또는 폐기물 특히 삼중수소화물내에서 발생하는 삼중수소 붕괴열만을 감지하여 삼중수소의 재고량을 정량하는 측정장비를 말한다.

삼중수소 열량계는 비파괴검사가 가능하며, 높은 정밀도와 재현성을 갖고 있다. 삼중수소나 플루토늄에 적용이 용이하며, 방사성물질의 형태에 상관없이 측정이 가능하다. 부피에 큰 영향을 받지 않으며 시료채취가 불필요하다는 장점이 있다. 붕괴열이 다른 여러 성분의 방사성물질이 혼합되어 있을 경우는 정성분석 없이 계량이 어렵지만, 삼중수소 실험실의 경우 삼중수소 이외의 다른 방사성물질이 없으므로 적합하다.

삼중수소에서 발생하는 열량을 측정하는 방법은 여러 가지가 있다. 수 천개의 열전쌍으로 이루어진 열전대열(thermopile)를 이용하거나 펠티에 소자를 이용하는 방법이 있다. 혹은 헬륨과 같은 열전달 매체를 이용하여 온도차를 측정하는 방법도 있다. 이 중에서 많이 사용하는 방법이 열전대열과 펠티에 소자를 이용하는 방법이며 삼중수소 실험실에는 펠티에 소자를 적용한 twin cell 방식의 삼중수소 열량계를 적용하였다.

펠티에 소자의 펠티에 효과는 열전쌍의 제베크 효과와 반대되는 현상으로 두 종류의 금속을 접촉하여 전류를 흘리면 접합부에서 열이 발생하거나 흡수가 일어나는 현상이다. 삼중수소 열량계에서는 삼중수소 붕괴열에 상응하는 흡수열을 펠티에 소자가 발생시키는데 필요한 전류량을 제어함으로써 삼중수소 붕괴열을 측정한다. 이때 운전환경에 따라 발생하는 열량을 보정하기 위해 twin cell 방식을 적용하였다.

설계요건 개발 및 제작현황

Table 1은 삼중수소 열량계 및 전용룸의 설계요건을 정리한 표이다. 삼중수소 열량계는 월성원전 TRF TGHSS에 적용하고 있는 삼중수소 저장용기와 삼중수소 실험실에서 삼중수소를 계량·

분배하여 저장할 소형 저장용기를 측정 대상으로 고려하였다. 우선 저장용기 규격이 가장 큰 월성 원전 TRF TGHSS에 적용한 삼중수소 저장용기는 직경 19.2 cm에 높이 56.8 cm로 삼중수소 열량계는 이를 수용할 수 있어야 한다. 삼중수소 열량계에 적용할 최소 크기로 소형 저장용기 중 1 kCi를 저장할 수 있는 직경 10.2 cm에 높이 20 cm의 저장용기도 측정되어야 한다. 따라서 삼중수소 열량계의 측정범위는 0.01 gT에서 60 gT로 정하였으며, 정확도는 0.1 mg 즉 최소 ±1%를 설계 요건으로 하였다. 삼중수소 0.1 mg은 0.032 mW의 붕괴열이 발생하며 5μV를 측정할 수 있는 범위에서 민감도 155 μV/mW를 만족한다. 삼중수소 열량계는 항온의 조건으로 유지되는 별도의 방에 설치될 예정이다. 습도에 대한 영향은 거의 없다.

Table 1. Design requirements of tritium calorimeter and its dedicated room.

측정범위	1 mW ~ 26 W	온도	25 ±2 °C
민감도	155 μV/mW	습도	35 ~ 60 %RH
측정시간	30 hours	전기	220 V, 60 Hz
방식	Dual cell symmetric heat flow		
측정소자	Peltier element		

Fig 1은 설계·제작중인 삼중수소 열량계의 단면과 항온을 위한 냉각수 라인을 보여주고 있다. Twin cell 방식으로 측정대상 저장용기는 측정 셀에 넣고 보정을 위한 레퍼런스 셀은 빈 공간으로 둔다.

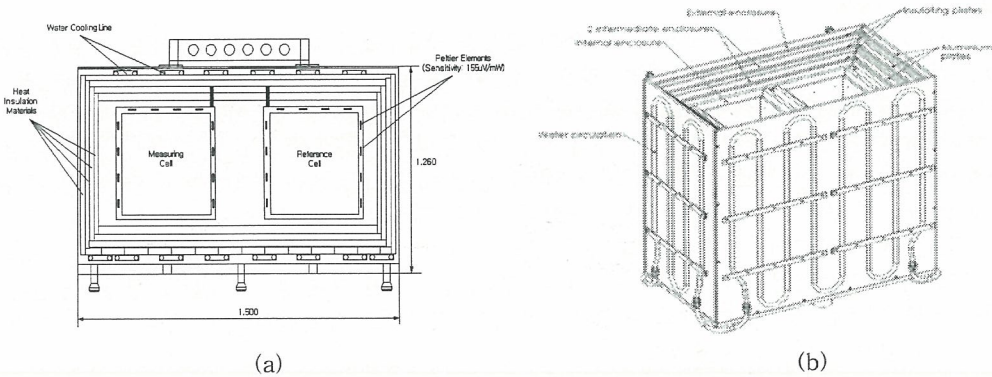


Fig 1. Twin cell calorimeter: (a) cross-section, (b) cooling water line

삼중수소 실험실을 위한 삼중수소 열량계의 제작은 프랑스 Setatam에 의해 진행되고 있으며 10월 중순 현장시험을 수행하고 11월 말에는 삼중수소 실험실에 설치되어 운영될 예정이다.

3. 결론

전력연구원은 월성원전 TRF에서 생산된 삼중수소를 새로운 자원으로 활용하기 위하여 삼중수소 계량인증시설을 구축 중에 있다. 본 시설에서 취급될 다양한 용량 및 형태의 삼중수소 저장용기를 입고할 때 삼중수소의 계량관리를 위해 삼중수소 열량계를 적용할 예정이다. 향후 국제 핵융합실험로 건설지원과 월성원전 삼중수소 제거설비 운영지원 등 각 시설의 특징에 따라 삼중수소 열량계 개선 또는 개발을 수행할 예정이다.

사 사

본 연구는 지식경제부의 전력산업연구개발사업으로 수행 중에 있다.