삼중수소 저장용기 열용량이 삼중수소 열량계 측정성능에 미치는 영향

송규민, 고병욱, 이계우, 손순환, 정양근, 장민호*, 윤세훈*, 강현구*, 조승연*, 정기정*, 정홍석**
한전전력연구원, 대전시 유성구 문지로 65
*국가핵융합연구소, 대전시 유성구 신성로 14
**한국원자력연구원, 대전시 대덕대로 1045
kmsong@kepri.re.kr

1. 서론

국제핵융합실험로(ITER: International Thermo-nuclear Experimental Reactor)는 핵융합연료로 삼중수소를 사용할 예정이다. ITER 운영기간동안 약 18 kg의 삼중수소가 필요한데 월성 TRF (Tritium Removal Facility)나 캐나다 달링톤 TRF로부터 공급될 가능성이 높다. ITER로 운반된 삼중수소는 삼중수소 저장 및 공급시스템으로 장입되기 전, 운반용기에서 인출되지 않는 상태로 재고량을 확인하여야 하는데 이때 삼중수소 열량계를 이용한다[1-3]. 본 연구에서는 ITER 삼중수소 운반용기의 열용량 및 레퍼런스셀의 적용여부가 삼중수소 열량계의 측정성능에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

2. 본론

2.1 실험방법

본 실험에 사용된 열량계는 쎄타렘 580 시리즈 twin cell type이며, 발열량 측정센서로 펠티에소자를 장착하고 있다. 열량계의 성능시험과 검량을 위해 외부에서 전원을 공급할 수 있는 JEC(Joule effect cell)을 이용한다. Figure 1의 (a)가 JEC이며 (b)는 ITER 삼중수소 운반용기에 적용 될 알루미늄 2차용기와 유사한 구조와 열용량을 갖는 더미용기이다. 알루미늄 2차용기는 2개를 제작하여 Figure 2와 같이 열량계의 측정셀과 레퍼런스셀에 장착하고 열용량 변화에 따른 열량계 성능특성과 레퍼런스셀 적용여부에 대한 영향을 살펴보았다. 삼중수소 0.1~60 gT 범위에 대한 등가열량인 100~20,000 ㎽의 열량을 공급하면서 정상상태에 도달하는데 소요시간을 측정하였다. 정상상태 도달여부는 해당시간 이전 30분 동안 펠티에소자에서 측정된 기전력의 %RSD (relative standard deviation) 값이 0.1% 이내에 들어오는 것을 기준으로 삼았다. 0.1%는 ITER 삼중수소 운반용기의 최대용량을 기준으로 약 0.7 gT (≈700 Ci)에 해당되는 양이다.

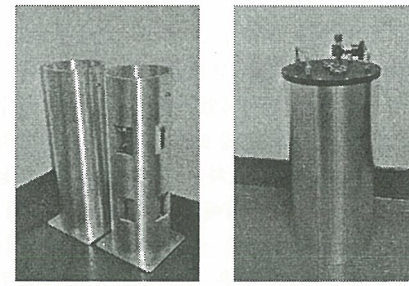

Fig. 1. Joule effect cell and aluminum container

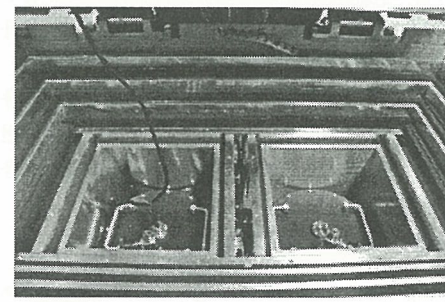

Fig. 2. Al container equipped in the calorimeter

2.2 결과 및 고찰

Figure 3은 JEC와 알루미늄 2차용기를 적용했을 경우 측정시간의 변화를 보여주고 있다. 알루미늄 2차용기는 JEC에 비해 상대적으로 열용량이 큰 편이며 현재 설계중인 ITER 운반용기의 알루미늄 2차용기와 열용량이 유사하다. 그림에서 보듯이 JEC를 적용한 경우 측정시간은 14시간이지만 알루미늄 2차용기를 적용할 경우 20시간이었다. 삼중수소 재고량 측정시간을 줄이기 위해서는 ITER 운반용기의 설계 시 열용량에 대한 고려가 필요하다.

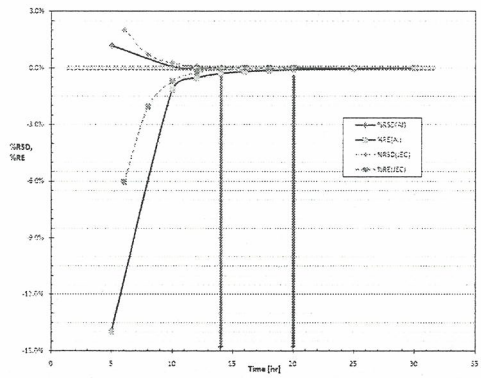

Fig. 3. Effect of heat capacity on measuring time

Figure 4는 레퍼런스셀의 유무에 따른 열센서의 시그널 안정성을 보여주고 있다. 20,000 ㎽에서는 레퍼런스셀의 유무와 상관없이 열센서에서 감지되는 시그널이 안정적이었지만, 100 ㎽의 경우 레퍼런스셀을 적용하지 않으면 시그널이 상당히 불안정하며 이로 인한 오차가 발생할 수 있음을 보여주고 있다. 추가 실험에서 500 ㎽에서도 시그널이 안정적이었다. 또한 실제 삼중수소를 이용한 실험에서 열용량이 작은 용기를 사용할 경우 레퍼런스셀의 적용이 큰 영향을 주지는 않았었다. 하지만 저장용기의 열용량이 큰 상태에서 발열량이 적을 경우 레퍼런스셀에 의한 영향이 있음을 가늠할 수 있다. 따라서 기존 JEC만을 이용한 검량방법 보다는 ITER 운반용기와 동일한 열용량을 갖는 더미용기를 측정셀뿐만 아니라 레퍼런스셀에도 적용하는 것이 정밀도를 높일 수 있음을 알 수 있다.

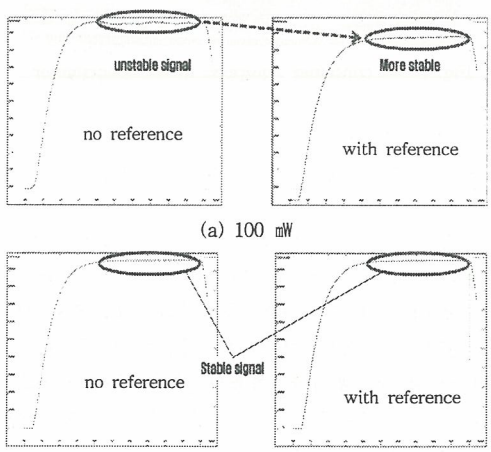

Fig. 4. Effect of reference on signal stability

3. 결론 및 향후계획

삼중수소 저장용기의 열용량과 레퍼런스셀의 유무가 삼중수소 열량계 측정시간과 시그널 안전성에 미치는 영향을 확인하였다. 삼중수소 약 15.43 kCi에 해당하는 500 ㎽ 이상에서는 레퍼런스셀의 적용여부에 대한 영향이 크지 않았지만, 미량의 삼중수소 약 3.09 kCi 이하에 해당되는 100 ㎽에서는 열센서의 시그널이 안정적이지 못하여 정밀도를 떨어트릴 수 있었다. 또한 알루미늄 2차용기를 적용할 경우 JEC만을 적용하였을 때 보다 측정시간이 6시간 이상 증가하여 저장용기 열용량이 삼중수소 열량계 측정시간에 큰 영향을 주고 있음을 확인하였다.

향후 국제핵융합실험로에 삼중수소를 공급하기 위한 운반용기 설계가 완료되면 이와 동일한 형태와 열용량을 갖는 삼중수소 붕괴열 모사장치를 제작하여 삼중수소 열량계 측정특성을 살펴보고 삼중수소 재고량 측정시간의 예측을 포함한 삼중수소 재고관리 방안을 마련하고자 한다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 국제핵융합실험로 공동개발사업으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] K.-M. Song, "Status of TLS calorimeter development", Bilateral meeting between ITER IO and KO DA, Feb. 2-3, 2010.

[2] 송규민, 고병욱, 이계우, 손순환, 강현구, 윤세훈, 장민호, 조승연, 정기정, 구대서, 정홍석, "ITER 삼중수소 저장 및 공급시스템의 삼중수소 측정과 재고관리방안", 한국방사성폐기물학회, 2009년 추계학술대회 논문요약집, 5-P-19, 2009

[3] 송규민, 이계우, 고병욱, 이숙경, 손순환, "민감도 분석에 따른 삼중수소 열량계 운영방안개발", 한국방사성폐기물학회, 2009년 추계학술대회 논문요약집, 5-P-05, 2009