

열전소자를 장착한 삼중수소 저장용기의 열전달 전산해석

송규민, 고병욱, 손순환, 강현구*, 장민호*, 윤세훈*, 정기정*, 정홍석**

한수원(주) 중앙연구원, 대전시 유성구 장동 25-1

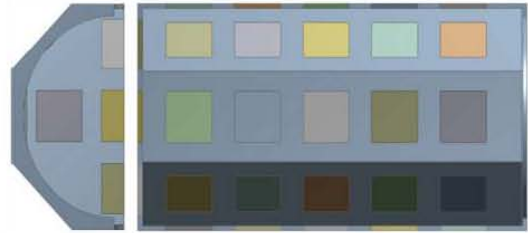
*국가핵융합연구소, 대전시 유성구 전민동 463-1

**한국원자력연구원, 대전시 대덕대로 989번길 111

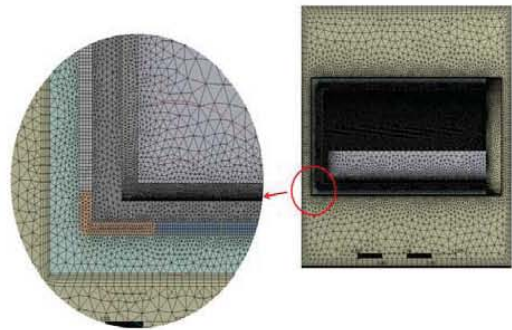
kmsong@khnp.co.kr

1. 서론

국제핵융합실험로(ITER: International Thermonuclear Experimental Reactor)는 핵융합연료로 중수소와 삼중수소를 사용할 예정이다. 핵융합 연료주기를 구성하는 대부분의 계통이 삼중수소 플랜트에 설치된다. 삼중수소 재고량을 관리하고 모니터링하는 방법 중에 열량계 방식이 적용된다. ITER로 운반된 삼중수소는 삼중수소 로딩 스테이션(TLS: Tritium Loading Station)에서 탈장되어 SDS(Storage and Delivery System) 저장용기로 흡장된다. 탈장 전 TLS에서는 삼중수소 열량계를 이용하여 재고량을 측정한다[1-2]. SDS에서는 휴지기(dwel) 중에 잔류 삼중수소 재고량을 파악하기 위해 in-bed 열량계를 적용한다[3]. 본 연구에서는 SDS 저장용기에 열전소자를 장착할 경우 저장용기 표면별 열전소자의 측정 효율을 전산해석을 통해 검토하였다.



(a) Modeling



(b) Layer

2. 본론

2.1 형상 모델링과 격자생성

본 연구는 ITER SDS 저장용기와 유사한 형태의 삼중수소 저장용기에 대해 Figure 1과 같이 외부표면에 열전소자를 장착한 경우에 대한 형상을 모델링하고 격자생성을 하였다. ITER SDS 저장용기와 열전소자 장착 형상은 세로축 방향에 대해 대칭으로 Figure 1-(a)와 같이 절반만을 모델링하였으며 모델링 프로그램은 ANSYS Design Modeler를 사용하였다. 격자의 형태는 열전소자를 제외한 공간에 대해서는 복잡한 형상을 구성할 때 편리한 tetra-prism mesh 형태를 적용하고, 열전소자에 대해서는 hexahedral mesh를 적용하였다. 전체 형상에 대해 한꺼번에 격자를 구성하여 각 파트간 1:1로 격자를 대응시켜 인터페이스 사이에서 데이터 교환시 계산오류를 최소화 하였다.

2.2 경계조건 및 실험조건

Table 1과 2는 실험조건과 열량계 내부 재료의 물성치를 보여주고 있다. 실험조건의 온도는 글로브박스의 온도이며 발열량은 저장용기 용량범위에서 삼중수소 재고량 변화를 반영하였다. 흡탈장 조건에 따라 또는 일교차에 의해 글로브박스의 온도가 변하는데 열전소자 효율에 미치는 영향을 살펴보았다. 단열계는 발포고무를 적용하였으며 저장용기 재질은 스테인리스 강, 열전소자는 세라믹을 적용하였다. 저장용기 내부는 진공영역으로 대류에 의한 열전달은 없고 복사에 의해서만 열전달이 일어난 것으로 하였다. 전산해석에 대한 분류를 위해 TXXWYY의 일련번호를 부여하였으며 XX는 온도를 YY는 발열량을 의미한다.

Table 1. Numbering experimental conditions.

		Temperature [°C]			
		15	20	25	30
Heat [W]	2	T15W2	T20W2	T25W2	T30W2
	6	T15W6	T20W6	T25W6	T30W6
	10	T15W10	T20W10	T25W10	T30W10
	15	T15W15	T20W15	T25W15	T30W15
	20	T15W20	T20W20	T25W20	T30W20

Table 2. Properties of materials.

Domain	Material	Specification	
		ρ (kg/m ³)	k (W/m·K)
Fluid domain	Air	1.185	0.0261
Solid domain	Vessel	7,920	16
	Aluminum	2,790	237
	Insulator	140	0.034
	Peltier element	3.9	28

2.3 결과 및 고찰

Figure 2는 전산해석결과로 SDS 저장용기 표면에 설치된 열전소자를 통해 방출되는 열플럭스를 나타낸 그림이다. 삼중수소 재고량이 적어 붕괴열이 낮을 경우 플럭스가 감소하는 경향이 있고 위치별로 약간의 차이는 있지만 열전소자별로 유사한 패턴을 나타내고 있다. 열전소자의 기전력 측정값이 가장 높을 것으로 예상되는 위치는 바닥 2번째 열의 첫 번째 행으로 나타났다. Figure 3은 실험조건별로 열전소자 전체에 대한 열플럭스를 적분하여 저장용기 삼중수소 재고량 함수로 나타났다. 붕괴열과 열전소자를 통과하는 열플럭스간의 선형성이 높아 열전소자 장착을 통한 삼중수소 재고량 측정 가능성이 높음을 확인할 수 있다.

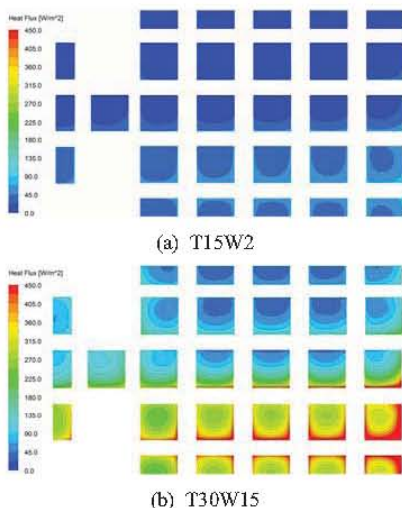


Fig. 2. Heat flux on the internal surface.

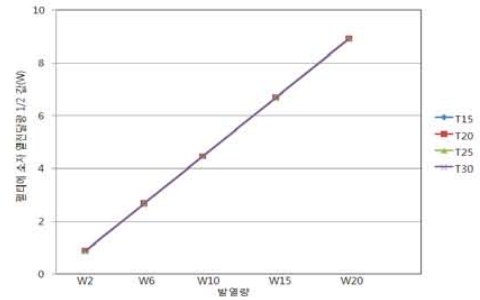


Fig. 3. Heat flux through Peltier elements.

3. 결론

삼중수소 붕괴열을 열원으로 하는 SDS 저장용기 표면에 열전소자를 장착한 구조에 대해 외부 온도와 재고량에 따른 열플럭스를 위치별로 계산하였다. 열전소자를 통과하는 열유량을 적분하여 삼중수소 재고량 예측이 가능함을 보였다. 향후 열전소자의 수량과 설치위치에 따른 효율성을 설계에 반영하고 실제 실험을 통한 적용 가능성을 확인할 필요가 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 지식경제부의 국제핵융합실험로 공동개발사업(2011-0000293)으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 송규민, 이계우, 고병욱, 이숙경, 손순환, 장민호, 윤세훈, 강현구, 조승연, 정기정, 정홍석, “펠티에 소자를 이용한 소형 열량계 특성시험”, 한국방사성폐기물학회, 2011년 춘계학술대회 논문요약집, p111-112, 2011.
- [2] K. M. Song, et al, “Test of a large-volume calorimeter in KEPRI tritium laboratory”, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 38(3), p295-299 (2010).
- [3] H. Kang, E. S. Lee, S. Cho, M. H. Chang, S. H. Yun, M. Y. Ahn, K. J. Jung, H. Chung, M. Shim, K. M. Song, H. Yoshida, Thermo-hydraulic analysis on in-bed calorimetry in a thin double-layered annulus metal hydride bed, *Fus. Eng. Des.* 84, 989-992 (2009).