

삼중수소 붕괴열에 의한 열량계 내 열전달 전산해석

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

한전전력연구원, 대전시 유성구 문지로 65

*국가핵융합연구소, 대전시 유성구 신성로 14

**한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

kmsong@kepri.re.kr

1. 서론

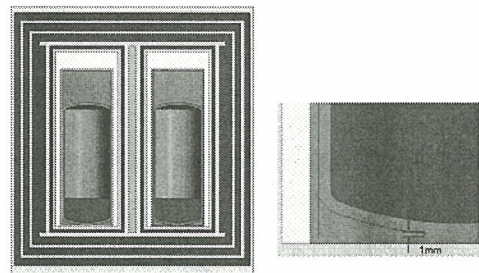
국제핵융합실험로(ITER: International Thermonuclear Experimental Reactor)는 핵융합연료로 삼중수소를 사용할 예정이며, ITER로 운반된 삼중수소는 삼중수소 로딩 스테이션(TLS: Tritium Loading Station)으로 장입되기 전, 밀봉상태에서 삼중수소 열량계를 이용하여 재고량을 측정한다 [1-2]. 본 연구에서는 TLS 전용 열량계 설계요건 개발 및 규격서 작성을 위해 필요한 설계자료 생산을 위해 삼중수소 붕괴열이 열량계 내부에서 전달되는 형상을 전산해석으로 검토하였다.

2. 본론

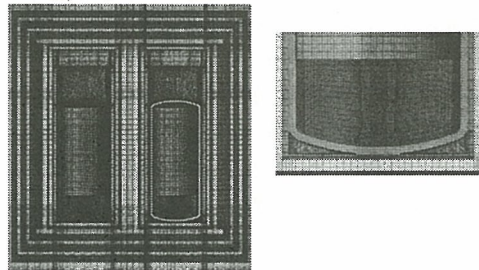
2.1 형상 모델링과 격자생성

본 연구는 한전전력연구원에 설치된 twin cell 형태의 열량계[3]와 ITER 삼중수소 운반용기의 구성품 중의 하나인 알루미늄 2차용기를 대상으로 하였다. 알루미늄 2차용기는 ITER 삼중수소 플랜트내 2차격납과 열량계에서의 오염방지를 위해 삼중수소 저장·운반용기의 요건에 의해 사용된다. 삼중수소 열량계는 twin cell 형태로 측정셀과 레퍼런스셀이 있으며 이를 적용하여 Figure 1 처럼 열량계 내부에 저장용기와 레퍼런스용기를 설치한 형상과 격자를 생성하였다. 열량계 형상은 얇은 판이 여러 겹으로 구성되어 있어 테트라 격자를 사용할 경우 너무 많은 격자가 필요하다. 본 해석에서는 헥사격자로 구성하여 격자작업 시간이 많이 걸리는 단점은 있으나 계산에 소요되는 시간을 줄이고 수렴성을 높였다. 특히 밀폐된 공간에서 자연대류 유동을 해석하는 경우 수렴성이 많이 떨어지게 되는데 헥사격자를 적용하여 수렴성을 확보하였다. 격자구성을 위해 사용된 프로그램은 ICFM CFD 격자 생성프로그램으로 소요된 격자수는 300만 노드였다. 저장용기가 들어가는 공간사이의 형상이 복잡하여 Figure 1(b)의 오른

쪽처럼 별도로 격자를 생성하여 도메인 간에 인터페이스 처리를 하였다.



(a) Modeling



(b) Layer

Fig. 1. Calorimeter modeling and layering

2.2 경계조건 및 실험조건

Table 1과 2는 실험조건과 열량계 내부 재료의 물성치를 보여주고 있다. 열량계 경계조건으로 외부온도는 18 °C로 하였으며 열원은 Figure 1의 붉은부분인 저장용기 하부에서만 발생하는 것으로 하였다. 단열재는 발포고무를 적용하였으며 저장용기 재질은 스테인리스 강, 알루미늄 판 재질은 Al 2017-O를 적용하였다. 저장용기 내부는 진공영역으로 대류에 의한 열전달은 없고 복사에 의해서만 열전달이 일어나며 열량계 측정셀과 레퍼런스셀은 공기가 채워져 있는 것으로 하였다.

Table 1. Experimental conditions

Case	1	2	3
Voltage [V]	4	6	8
Power [W]	1.4576	3.2652	5.8032

Table 2. Properties of materials

Domain	Material	Specification	
		ρ (kg/m ³)	k (W/m·K)
Fluid domain	Air	1.185	0.0261
	Vessel	7,920	16
Solid domain	Aluminum 2017	2,790	193
	Insulator	140	0.034

2.3 결과 및 고찰

Figure 2와 3은 전산해석결과로 열량계 전체의 온도분포와 열량계 내부 벽을 통한 열전달 플럭스를 나타낸 그림이다. 열원이 작을 경우 온도분포나 플럭스의 구분이 크게 없지만, 열원이 커질수록 부분별 차이가 현저하게 나타난다. 이는 측정셀 내 온도차에 의한 자연대류가 중요해지면 이로 인해 부분별 온도구배가 나타나고 플럭스의 변화가 나타나기 때문이다. 측정셀 표면별 플럭스 차이는 측정센서 위치 및 수량 최적화에 영향을 주는 인자이다. 또한 플럭스 차이가 열량계 측정 정밀도에 주는 영향을 최소화하기 위해 측정셀과 알루미늄 블록 간 열전달이 원활하게 이루어지게 하는 구조적 설계가 필요한지 추가로 분석해 볼 필요가 있다.

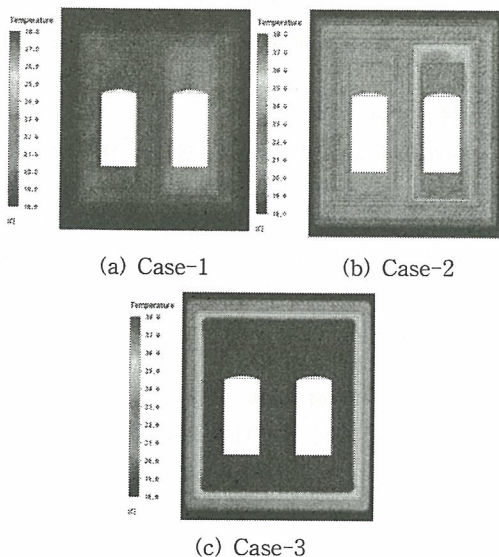
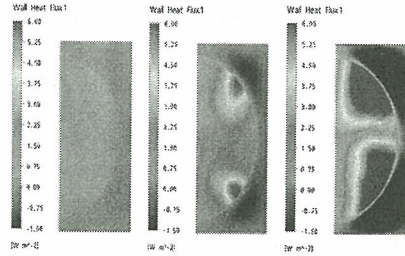


Fig. 2. Temperature profile



(a) Case-1 (b) Case-2 (c) Case-3
Fig. 3. Heat flux on the internal surface

3. 결론

삼중수소 붕괴열을 열원으로 하는 열량계 내 열전달해석을 수행하였다. 열원의 크기에 따라 측정셀 여러 면의 온도구배와 플럭스에 미치는 영향을 살펴보았으며 열량계 정밀도를 향상시키기 위하여 측정센서의 위치와 수량, 단열구조에 따른 열량계 설계 최적화 필요성 여부를 확인하였다.

4. 감사의 글

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

5. 참고문헌

- [1] 송규민, 이계우, 고병욱, 손순환, 정양근, 장민호, 윤세훈, 강현구, 조승연, 정기정, 정홍석, "삼중수소 저장용기 열용량이 삼중수소 열량계 측정성능에 미치는 영향", 한국방사성폐기물학회, 2010년 춘계학술대회 논문요약집, p85-86, 2010.
- [2] 송규민, 이계우, 고병욱, 이숙경, 손순환, 장민호, 윤세훈, 강현구, 조승연, 정기정, 정홍석, "펠티에 소자를 이용한 소형 열량계 특성시험", 한국방사성폐기물학회, 2011년 춘계학술대회 논문요약집, p111-112, 2011.
- [3] K. M. Song, et al, "Test of a large-volume calorimeter in KEPRI tritium laboratory", *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 38(3), p295-299 (2010).