

사용후핵연료 건식저장방식별 열성능 및 설계특성 분석

김형진, 백창열, 이경구, 이상인
 한국방사성폐기물관리공단, 대전광역시 유성구 덕진동 150-1
hikim@krmc.or.kr

1. 서론

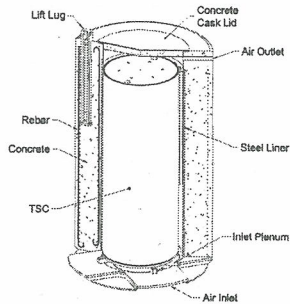
사용후핵연료 건식저장시스템은 일반적으로 용기방식(금속/콘크리트용기, 모듈), 볼트 방식으로 구분할 수 있으며[1], 최근 국의 건식저장시스템의 운영현황[2]을 살펴보면 저장용량 확장 및 자본투자의 이점으로 인해서 용기방식을 선호하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이에 용기방식을 대상으로 열성능 관련 설계특성 및 열제거능 개선을 위한 설계동향을 파악하고자 한다.

용기방식 중에 모듈방식과 콘크리트방식을 대상으로 했으며, 각각 2007년과 2009년에 미국 NRC의 인허가를 취득한 Transnuclear Inc.사의 NUHOMS-HD(수평저장형모듈방식), NAC International사의 MAGNASTOR(콘크리트저장용기방식)를 선택했다. 본 분석을 통해서 최근 국의 건식저장시스템의 열성능 관련 기술현황 및 설계특성을 파악하고, 이를 통해서 향후에 개발/운영될 수송 및 저장 시스템의 개념설계에 활용하고자 한다.

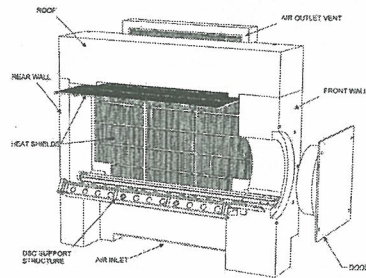
2. 본론

2.1 시스템 개요

MAGNASTOR와 NUHOMS-HD는 수송과 저장을 겸하는 캐니스터와 운반전용용기, 저장전용용기로 구성되어 있다.[3][4] 방식의 차이는 있지만 두 시스템 모두 콘크리트 구조물에 저장을 한다. 즉 사용후핵연료에서 발생하는 열을 효과적으로 제거하기 위한 설계가 가장 필요한 부분은 콘크리트 구조물이라 할 수 있다. 이에 콘크리트저장용기/모듈의 설계특성 및 열제거능을 알아보고자 한다. 두 모델의 저장용기 및 모듈은 그림 1과 같으며, 저장가능한 PWR 사용후핵연료의 열적특성은 표 1과 같다.[5][6] 사용후핵연료 다발당 열량은 MANASTOR, NUHOMS-HD 각각 0.959kW, 1.088kW이다.



(a) MAGNASTOR의 콘크리트저장용기



(b) NUHOMS-HD의 HSM-H

그림 1. 콘크리트저장모듈 및 저장용기

표 1. 사용후핵연료(PWR) 열적특성

	저장량 (다발)	농축도 (w/o)	연소도 (GWd/MTU)	냉각기간 (년)	열용량 (kW)	설계승인 (년)
MAGNASTOR	37	5.0	60	4	35.5	2009
NUHOMS-HD (32PTH 캐니스터)	32	5.0	60	5	34.8	2007

2.2 저장용기 설계 특성

MAGNASTOR의 콘크리트 저장용기는 자연대류를 통해서 캐니스터의 열을 제거하는 방식으로 용기 상·하부에 공기 입출구를 가지고 있다. 저장용기 하부에는 유량 조절장치를 설계하여 캐니스터 주위로 고른 유량 분포를 보이도록 하였으며, 용기내부 금속라이너는 캐니스터의 복사열을 공기유로 혹은 콘크리트로 대류,전도의 형태로 열을 제거한다. 또한 금속라이너는 과도한 복사열을 차단하는 역할 및 캐니스터 전복 시에 콘크리트 저장용기를 보호하는 기능도 겸하고 있다.

NUHOMS-HD도 MAGNASTOR와 마찬가지로 HSM(Horizontal Storage Module) 내부의 자연대류를 통해서 캐니스터와 열차단체(heat shield)의 열을 제거하며, HSM 전면부 양쪽과 상부양쪽에 공기 입출구를 가지고 있다. 이 모델은 최소한의 차폐는 가능하지만 모듈의 완전한 차폐를 위해서는 좌/우/후면에 다른 모듈을 설치해야한다. 즉 모듈의 공기와의 접촉면적이 작기 때문에 대류에 의한 모듈의 열제거능은 용기방식에 비해 현저히 떨어진다. 또한 모듈별로 밀착해서 설치를 하기 때문에 인접한 모듈간의 열교환이 이루어질 수 있다. 이러한 이유로 인해서 NUHOMS-HD에서의 열차단체는 설계상 중요한 부분으로, 그림 1에서도 확인할 수 있듯이 모듈 내부 전체에 설치가 되어있음을 확인할 수 있다.

2.3 열제거능

저장시 정상조건하에서 두 모델의 주요 부분에서의 최대온도는 표 2와 같다. 열용량을 고려하더라도 MANASTOR의 온도가 대체적으로 높은 것으로 나타난다. 열전달 효율은 두 모델이 유사하며, 접촉면적의 차이에도 불구하고 NUHOMS-HD의 콘크리트 최대온도가 표 2와 같은 것은 열차단체에 의한 것으로 판단된다. 열차단체의 경우 측면에 비해 상부의 온도가 높게 나타나고 있다. 모듈내부의 공기 입출구 위치에 의해서 상부 중앙 측은 상대적으로 공기 유량이 작기 때문에 대류에 의한 차단체의 열제거가 떨어지기 때문으로 보인다. 차단체의 형상 및 재질에 따라 열제거능의 성능이 달라지며, 표 3은 형상과 재질에 따른 열용량을 나타내고 있다.

표 2. 정상조건 최대온도

	최대온도(℃)		최대허용온도(℃)
	MAGNASTOR	NUHOMS-HD	
핵연료 피복관	379	362	400
캐니스터	236	208	
상부 열차단체	-	93	
측면 열차단체	-	86	
콘크리트	132	100	149

표 3. NUHOMS-HD 열차단체에 따른 수용가능 열용량

	알루미늄(굴곡형상)	알루미늄	아연도금강
열용량(kW)	34.8	32.0	26.1

3. 결론

콘크리트저장용기 혹은 수평저장모듈은 콘크리트 구조물의 장기건전성 측면에서 최대온도를 낮추기 위하여 열차단체를 고려해보아야 할 것으로 판단된다. 차단체의 형상과 재질, 저장용기/모듈 내부 전체적으로 균일한 유량을 확보하는 방안도 고려해야 할 것이다. 안전성과 구조물의 장기건전성 측면을 모두 고려하는 개념설계를 위하여 열성능 측면에서는 이러한 사항을 검토해봐야 할 것으로 보인다.

참고문헌

[1] IAEA-TECDOC-1100, Survey of Wet and Dry Spent Fuel Storage, IAEA, 1999
 [2] IAEA-TECDOC-1613, Nuclear Fuel Cycle Information System, IAEA, 2009
 [3] <http://www.transnuclear.com/nuhoms.htm>
 [4] <http://www.nacintl.com/default.aspx?pgid=magnastor>
 [5] MAGNASTOR Safety Analysis Report, NAC International, 2008
 [6] Final Safety Analysis Report For The NUHOMS-HD®, Transnuclear Inc., 2007