

세라믹고화 고준위폐기물 처분용기의 취급 및 폐쇄후 구조적 안정성 분석

이종열, 이민수, 김현아, 최희주, 김정수

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

nivlee@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력발전소에서 전기를 생산하고 난 후 발생하는 사용후핵연료의 안전한 관리는 원자력에너지를 지속적으로 사용하기 위한 필수조건이다. 국내에서는 현재 사용후핵연료로부터 유용한 물질을 회수하는 파이로 공정에 대한 기술개발 및 이 공정으로부터 발생하는 폐기물에 대한 처분기술 개발을 수행하고 있다. 파이로 공정에서 발생하는 처분대상 폐기물은 크게 금속폐기물, 세라믹 고준위폐기물 및 고발열폐기물이 있다. 한국원자력연구원에서는 이들 폐기물 특성에 따라 각각의 처분용기 및 방벽 등 처분 모듈개념을 설정하였으며, 향후 이들 핵심기술에 대한 검증울 수행할 계획에 있다.

본 논문에서는 세라믹 고준위폐기물 처분용기 안전성 평가의 일환으로서 처분용기 취급공정 중 및 처분터널 폐쇄 등 처분공정을 완료한 후의 처분심도 환경에서의 처분용기에 대한 구조적 안정성을 분석하였다. 이를 위하여 세라믹 고준위폐기물 처분용기 등 처분모듈을 검토하고, 처분용기 취급공정 및 심지층 지하에서의 구조적 환경을 분석하여 하중조건을 설정하였다. 이를 바탕으로 주요요소를 이용한 상용 해석 툴인 아바쿠스를 활용하여 처분용기의 구조해석을 수행하고 그 결과 분석에 따른 안정성을 평가하였다.

2. 선진핵주기 폐기물 처분시스템 개념

2.1 세라믹폐기물 처분개념

사용후핵연료 재활용을 위한 파이로공정으로부터 고준위폐기물로서 세라믹고화 폐기물이 발생하게 되며 아래 그림에 보이는 바와 같이 저장용켄에 저장된다. 이 저장켄은 처분심도에 적합하게 설계한 처분용기에 7개씩 2단 적재된다.

세라믹고화 고준위폐기물은 지하 500 m 심도에 처분될 예정이며, 공학적 방벽과 암반의 자연방벽으로 구성된 다중방벽 개념을 적용한 대표적인 개념인 KBS-3 개념을 고려하고 있으며, 그림 1.

에는 수평처분에 대한 개념도를 나타내고 있다.



Fig. 1. 세라믹폐기물 처분용기 및 처분시스템.

2.2 선진핵주기 폐기물 지하 처분시스템

선진 핵연료 주기에서 발생하는 고준위폐기물인 세라믹폐기물은 가장 안전한 처분방식으로 고려하고 있는 심부지층의 안전한 암반에 다중방벽 개념을 적용하여 처분하는 시스템을 설정하였다. 그림 2는 세라믹폐기물에 대한 지하처분시스템 개념을 나타내고 있으며, 처분 심도는 500 m로 하고 공학적 방벽인 완충재의 건전성을 유지하기 위하여 완충재 내의 최고 온도가 100℃가 넘지 않도록 처분모듈 사이의 간격을 결정하였다.

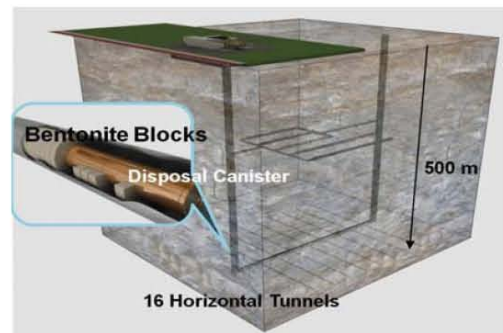


Fig. 2. 고준위폐기물 지하 처분시스템 개념.

3. 처분용기 구조적 안정성 분석

3.1 처분용기 취급시 구조적 안정성

3.1.1 하중 조건 도출

처분용기 이송차량에서 적재/하역시 정상 또는 비정상 조건에서 처분용기 뚜껑 파지부에 적용되

는 하중 조건을 다음과 같이 도출하였다.

- 정상 조건 : 폐기물 적재상태 처분용기 자중
- 비정상 조건 : 권양기 고장으로 인하여 급속 정지, 자유낙하 중 급속정지(0.5초 내)

3.1.2. 해석 결과 및 분석

세라믹고화 고준위폐기물 처분용기 취급시 정상 및 비정상 하중조건에서 취급부위에 대한 구조적건전성 해석 모델 및 분석 결과는 표 1.에 나타내었다. 정상조건인 경우 안전율 6을 유지하였으며, 비정상인 경우도 안전율을 1.1이상 유지하여 구조적 건전성을 확보할 것으로 판단되었다.

Table 1. 처분용기 취급시 구조적건전성 평가.





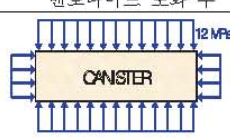
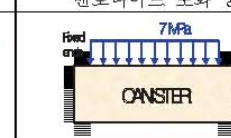
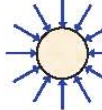
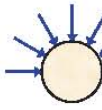

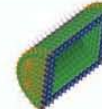
모델	정상운전	감속	자유낙하
			
Max. Stress	7.4 MPa	12.9 MPa	40.0 MPa
Safety Factor	45/7.4 (S.F.: 6.0)	45/12.9 (S.F.: 3.5)	45/40.0 (S.F.: 1.1)

Table 2. 처분용기 폐쇄후 건전성 해석 하중 및 모델.

벤토나이트 포화 후	벤토나이트 포화 중
	
	
	

3.2 폐쇄후 처분용기 구조적 안정성

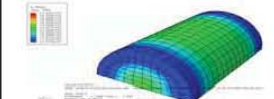
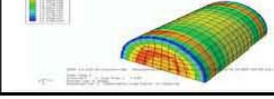
3.2.1 하중조건 도출 및 해석 모델

세라믹폐기물 처분용기의 폐쇄후 구조적 안정성분석은 정상하중의 경우와 극한 하중의 경우 2 경우를 고려하여 수행하며, 적용하중 및 해석모델은 다음 표 2.에 나타낸 바와 같다. 정상하중은 완전포화 후 등분포하중을 고려하였으며, 비 정상하중은 포화 중 또는 포화 후 팽윤압의 비정상 작용을 고려한 것이다.

3.2.2. 해석결과 및 분석

파이로공정으로부터 발생하는 고준위폐기물인 세라믹고화폐기물 처분용기의 처분시스템 폐쇄후 구조적안정성 해석결과는 정상 하중의 경우와 극한 하중의 경우에 대해서 아래 표에 나타낸 바와 같다. 정상하중의 경우 안전율 3.0 이상을 유지하고 있으며, 극한하중을 적용한 경우에도 용력이 구조물의 항복강도 범위 이내에 있어 구조적 건전성을 확보할 것으로 판단되었다.

Table 3. 처분시스템 폐쇄후 처분용기 건전성 평가.

	Results	Max. Value	Safety Factor
Normal Case		71.0 MPa	3.3 (235/71.0)
Extreme Case		223 MPa	1.05 (235/223)

4. 결론 및 향후 계획

고준위폐기물 처분용기는 처분공정을 수행하는 과정에서 취급시 및 처분공정 완료 후 처분터널 폐쇄 후의 환경조건에서 구조적 안정성을 유지하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 세라믹폐기물 처분용기의 구조적 안정성 확인을 위한 해석 및 결과분석을 수행하였으며, 도출된 정상 및 비정상 하중조건에서 처분용기의 건전성이 확보됨을 확인하였다.

향후, 실제 처분부지가 확보되고 처분시스템이 확정되면, 그에 적합한 부지 및 완충제 자료를 입력하여 상세한 해석 및 결과분석이 요구된다.

5. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행하였습니다.

6. 참고문헌

- [1] 최희주 외, "처분시스템 개발," 한국원자력연구원, KAERI/RR-3100/2009, 2010.
- [2] Heikki R., "Design analysis report for the canister," SKB TR-10-28, 2010.
- [3] Kari I., "Mechanical Analysis of Canisters for Spent Nuclear Fuel," POSIVA WR 2005-12, 2005.