

## 중저준위 방사성폐기물 기체발생 실증실험장치 구조해석

김석훈, 김주열, 박진백\*, 김성훈\*\*, 황철규\*\*

(주)미래와도전, 경기도 용인시 기흥구 탑실로 46

\*한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*\* (주)둔포기계, 충남 아산시 영인면 윤보선로 248번길1

[kuni0808@fnctech.com](mailto:kuni0808@fnctech.com)

### 1. 서론

국내 중·저준위 방사성폐기물 영구처분시설(월성 원자력환경관리센터)이 2014년 6월 준공을 목표로 건설 중에 있다. 해당 시설은 지하 80~130m의 대수층에 위치하므로, 폐쇄 이후 지하수로 포화되어 다양한 기체(수소, 이산화탄소, 메탄 등)가 발생될 것으로 예상된다. 월성원자력환경관리센터에 처분되는 다양한 잡고체 방사성폐기물로부터 폐쇄 후 발생하는 기체의 종합관리방안 수립을 위하여, 건설터널 심도에 위치한 실증실험동굴 내부에 기체발생 실증실험시설을 2012년 9월부터 설치/운영할 예정이다.

해당 시설은 설치 후 최소 10년 이상 장기 모니터링 수행을 목표로 하므로 운영에 앞서 전체 구조물의 장기 구조 건전성 평가가 선행되어야 하며, 본 논문에서는 중저준위 방사성폐기물 기체발생 실증실험장치에 대한 구조해석 수행결과를 제시하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험장치 개요

일반 잡고체 폐기물은 일반적으로 200L 및 320L 드럼에 포장하여 각각 16-pack 및 9-pack 콘크리트 처분용기에 정착한 후 월성원자력환경관리센터에 영구처분된다. 이러한 특성을 고려하기 위해 기본 처분단위(즉, 16-pack 및 9-pack 처분용기)를 기준으로 기체발생 실증실험장치를 별도로 구성하며, 장치 내부에는 별도 특성 분석을 통해 도출된 대표조성 폐기물로 포장된 200L 드럼 16개, 320L 드럼 9개가 각각 배치된다. 실증실험장치는 크게 처분용기 및 폐기물을 둘러싸고 있는 외부탱크와 상부에 별도로 설치되는 제어용기로 구성되며, 내부공간은 처분환경에 대한 대표적인 지화학 조건 및 미생물 특성을 반영하기 위해 처분시설 현장부지 지하수로 충수된다.

최소 10년 이상의 설계수명을 만족할 수 있도록 외부탱크 및 제어용기는 ASTM 규격에 따른 내식성의 스테인리스강(SA240-TP316L) 재질을 사용하여

제작된다. 실증실험동굴 내부에 설치된 기체발생 실증실험장치 전경은 그림 1과 같다.

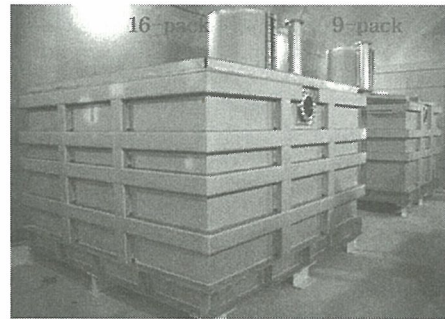


Fig. 1. Large-scale in-situ gas generation experiment facility installed in the experimental research tunnel.

#### 2.2 해석목적 및 방법

구조해석 목적은 선정된 소재두께가 설계 허용응력 범위 내에 포함되는가를 평가함으로써 외부탱크/제어용기 및 지지구조물에 대한 정적 상태 건전성을 확인하는 것이다.

이를 위해 CAE(Computer Aided Engineering) 전용 유한요소 처리도구인 MSC.Patran & Nastran을 사용하여 해석을 수행하였다. 구조해석을 위한 유한요소 모델링 결과를 그림 2에 예시하였다.

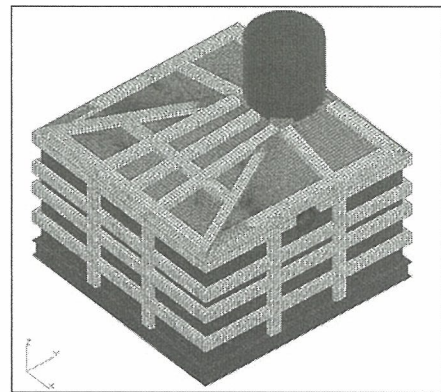


Fig. 2. Configuration of finite elements (16-pack).

구조해석은 스테인리스강 부분(외부탱크, 제어용기, 지지구조물)과 PVC 재질로 이루어진 점검창 부분으로 구분하여 수행하였으며, 각 재질에 대한 주요 입력자료를 표 1에 요약하였다.

Table 1. Input data for each material.

Property	Stainless Steel	PVC Rigid
Young's Modulus [MPa]	1.93E+5	2.50E+3
Poisson Ratio	0.31	0.42
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	7.75	1.30

### 2.3 해석조건

전술한 바와 같이 본 해석의 가장 중요한 목적은 구조물 전체가 장기간(10년 이상)에 걸쳐 구조적 건전성을 유지할 수 있음을 확인하는 것이다. 이에 수반된 부하(Load)는 피로조건과 부식조건인데, 본 구조물은 피로조건이 거의 없기 때문에 무시할 수 있다고 판단되며, 부식조건 또한 선정된 재질이 10년 이상 부식을 일으키지 않을 정도의 기계적 특성을 나타내므로 고려대상에서 제외하였다. 따라서, 정적 상태에 대한 구조해석으로 충분하다고 판단된다.

16-pack 및 9-pack 실험장치에 대해 하중 적용조건을 고려하여 각각 다음과 같은 2가지 케이스로 구분하여 해석을 수행하였다.

- Case 1 : 용접부 기밀성 확인을 위한 가압시험 조건 → 1.5 bar(대기압을 제외한 0.5 bar만 고려)의 내부 공기압 및 구조물 자중 적용
- Case 2 : 실제 운영조건 → 깊이에 따른 수압(제어용기 높이의 2/3 지점까지 충수된 것으로 가정), 콘크리트 하중 및 구조물 자중 적용

각 소재에 대한 항복강도 및 안전율(1.5)를 고려한 설계 허용강도는 표 2와 같다.

Table 2. Yield strength and the maximum allowable stress for each material.

Property	Stainless Steel	PVC Rigid
Yield Strength [MPa]	177 [1]	50 [2]
Allowable Stress [MPa]	118	33

### 2.4 해석결과

16-Pack 모델과 9-Pack 모델에 대한 케이스별 최대응력 평가결과는 표 3과 같으며, 특정 케이스에 대한 위치별 세부 평가결과를 그림 3에 제시하였다.

Table 3. Evaluation results of the Von-Mises stress for each case

Stress [MPa]	16-pack		9-pack	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
Stainless Steel	111.0	36.2	107.0	34.1
PVC	17.6	< 3.10	25.2	< 3.22

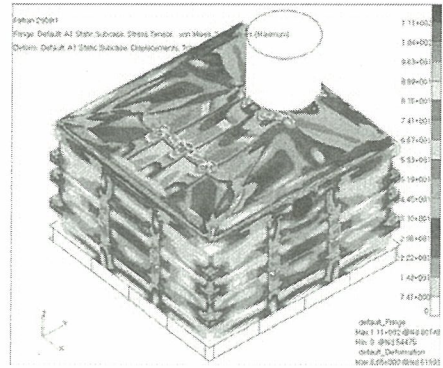


Fig. 3. Contour of the Von-Mises stress (Case 1 for 16-pack).

## 3. 결론

표 3을 통해 모든 케이스에서 스테인리스강 및 점검창 부분 모두 항복강도 및 안전율을 고려한 설계 허용응력 이내에 있음을 확인할 수 있다. 이에 따라 기체발생 실증실험장치는 장기간에 걸쳐 구조적 건전성을 유지할 수 있다고 판단된다.

또한, 본 해석을 통해 도출된 위치별 세부 해석결과는 응력 분포의 균일성 확인 및 취약부분에 대한 지지구조물 추가 설치 등을 위해 활용될 수 있다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(2009T100100500).

## 5. 참고문헌

[1] ASTM Standard A240/A240M-12, Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications, 2011.  
 [2] <http://www.plasticsintl.com/datasheets/PVC.pdf>