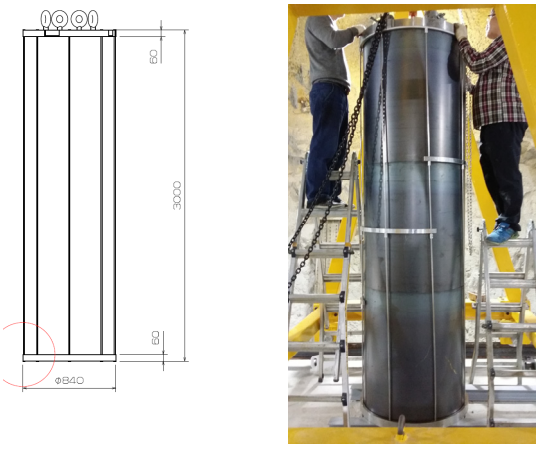
1/3 축소모델 방사성폐기물 처분용 완충재 컨테이너 구조해석

최영철[1*],김진섭[1], 김건영[1], 김소연[2], 박성호[2]
[1]한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
[2]한빛시스템, 대전광역시 대덕구 대덕대로 1324
*cyc@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위 방사성 폐기물 처분시스템은 지하 500 mm 심도에서 암반에 터널을 뚫어 고준위 폐기물 처분 용기를 넣고 주위를 완충재로 매우는 형식이다. 실제 처분에 앞서, 고준위 방사성 폐기물을 처분하였을 경우 암반 및 완충재에 어떠한 영향을 미치는지 실험으로 살펴볼 필요가 있다. 이를 위해 한국원자력연구원에서는 KURT (KAERI Underground Reseaarch Tunnel)에서 1/3 규모의 처분용기 및 완충재를 제작하였다. 시험공의 지름이 860 mm이기 때문에 시험공 안에서 완충재 블록을 조립할 수 없다. 따라서, 외부에서 완충재, 히터 및 센서를 조립하여 넣어야 하기 때문에 완충재 블록 전체를 들 수 있는 컨테이너가 필요하다. 조립 완료된 완충재, 히터 및 센서의 무게는 약 3톤이기 때문에, 본 논문에서는 구조해석을 통해 3톤의 무게를 견딜 수 있는지 컨테이터의 안전성을 분석하고자 한다.

2. 본론



(a) (b)

Fig. 1. (a) Design drawing and (b) picture of Buffer container.

2.1 전산해석을 위한 완충재 컨테이너 모델 작성

Fig. 1은 완충제 컨테이터의 설계도면 및 실제 사진을 보여주고, Fig. 2는 구조해석을 위한 3D모델을 보여주고 있다. ∅840 mm의 직경을 갖는 상부 플레이트와 하부 플레이트를 ∅10 mm의 지름을 갖는 3 m Bar 8개가 지지될 수 있도록 설계하였다. 상판과 하판의 두께는 500 mm이고, 하판의 경우 ∅10 mm의 직경을 갖는 Hole을 갖도록 설계하였다.

구조물의 상부의 축 방향으로 고정된 4개의 고정부는 Fixed조건을 부여하고, 구조물 내 가해지는 하중은 삽입될 완충재 개수를 고려하여 1, 2, 3, 4 ton으로 분포하중 조건을 부여한 후 각각 구조해석을 수행하였다.

2.2 요소 크기별 수렴성 검토

전산해석에 사용된 요소 크기별 수렴성 검토 (Convergence test)를 위해서 설계된 모델의 요소 수를 증가시킴에 따른 변형률 에너지의 변화를 계산하였고 그 결과는 Fig. 3와 같다. 그래프와 같이 요소 수에 따라서 변형률 에너지의 수렴성이 증가함을 확인하였고, 해석시간의 단축을 위해 요소 수는 103,963개로 정의하였다.

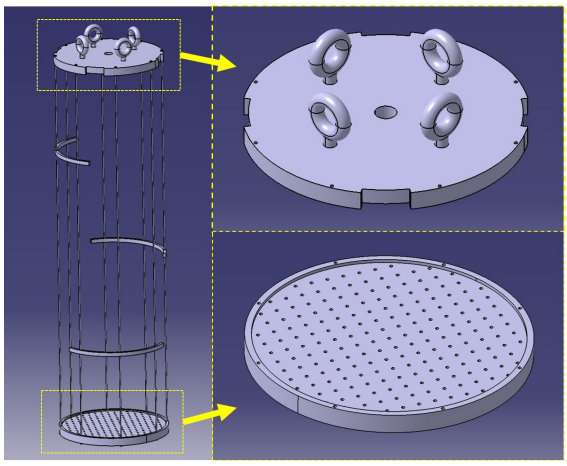


Fig. 2. 3D modeling for buffer container.

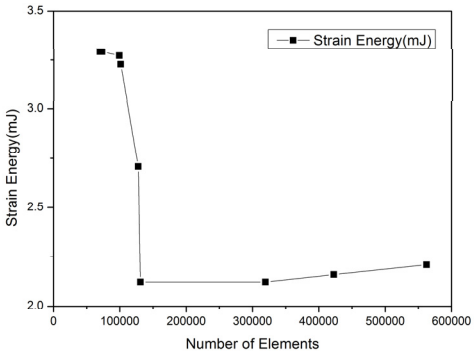


Fig. 3. Convergence evaluation of strain energy according the number of elements.

2.3 각 Bar의 하중별 변위량 및 구조 건정성 해석

해석 모델은 축을 기준으로 대칭되는 영역으로 나누어졌고 한 영역 내 해당되는 4개의 Bar에 대하여 각각의 하중에 따라 안쪽방향으로 변형되는 변위량을 계산하였다. 최대 하중조건인 4 ton의 경우 0.173 mm의 변위량이 계산되었다. 하부 플레이트에 최대 부피로 적재되었다고 가정하였을 때, 적재물과 Bar사이의 간격은 5 mm이다. 따라서 ∅ 10 mm의 직경을 갖는 Bar가 최대 하중조건을 겪을 때 삽입물에 영향을 주지 않을 정도의 변위량을 갖는 것으로 나타났다. 또한 중력방향으로 가해지는 하중에 따른 하부 플레이트의 최대 변위량 계산 결과에서 최대 하중조건인 4 ton일 때 1.033 mm의 변위량이 계산되었다.

Table 1. Displacement(mm) of each bar

	Bar 1	Bar 2	Bar 3	Bar 4	Under plate
1 ton	0.046	0.052	0.046	0.042	0.2999
2 ton	0.826	0.092	0.082	0.074	0.5444
3 ton	0.119	0.132	0.118	0.107	0.7887
4 ton	0.155	0.173	0.154	0.139	1.0332

2.4 각 Plate의 구조 건정성 해석

각 하중조건에서 최대응력은 모두 ∅ 10 mm Bar에서 나타났고 삽입물의 무게가 1 ton일 때 21.328 MPa, 2 ton일 때 38.874 MPa, 3 ton일 때 56.421 MPa, 4 ton 일 때 73.967 Mpa로 계산되었다. 구조물이 받는 최대 하중인 4ton인 경우에서 상부 플레이트와 하부 플레이트의 등가 응력 분포는 각각 Fig. 4과 Fig. 5와 같이 나타났다.

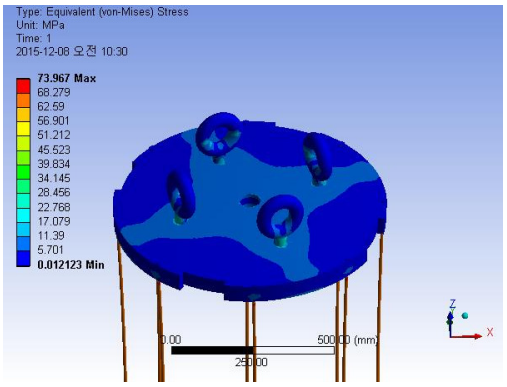


Fig. 4. the stress distribution of the upper plate when load is 4 tone.

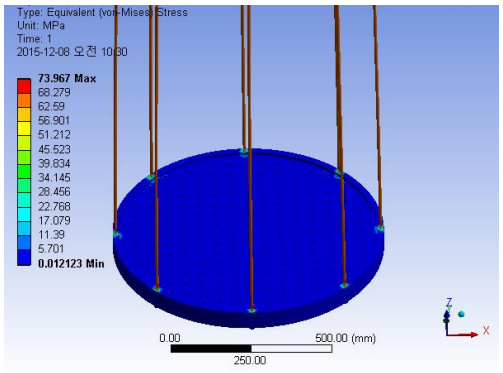


Fig. 5. the stress distribution of the lower plate when load is 4 tone.

2.5 하중별 안전계수 계산

Table 2는 각 하중 별로 등가응력이 항복강도에 이르렀을 때 항복이 일어나는 계수로 프로그램 내 safety factor tool에 의해 계산되었다.

Table 2. Safety factor according to the load

Cases	Safety factor
1 ton	10.722
2 ton	5.431
3 ton	3.431
4 ton	2.379

3. 결론

본 논문에서는 방사성폐기물 처분용 완충재 컨테이너의 구조안정성을 확인하기 위해서 전산해석을 수행하였다. 그 결과 완충재 블록 조립체를 터널 내에 삽입하기 위해 설계된 컨네이너는 비교적 높은 안전성을 갖는 것으로 분석하였다. 따라서 터널 내에 설치가 가능함을 알 수 있었다.