

사용후핵연료 수송/저장 용기 제작성 평가를 위한 고려사항 및 평가항목

문태철, 김형진, 백창열, 이상동*

한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

*두산중공업, 경상남도 창원시 성산구 귀곡동 555

tcmoon@krmc.or.kr

1. 서론

국내 사용후핵연료 수송용기 제작성 평가 기술은 현재 원전에서 운영중인 KN-12 용기를 2002년 2세트(고리) 및 2007년 3세트(영광 및 울진) 두산중공업이 제작 및 공급한 경험을 가지고 있으며, 제작하는 동안 상세 제작 설계 및 제작, 공급을 통해서 KN-12 용기에 대한 제작성 평가에 대한 기술력을 보유하고 있다[1].

본 연구의 목적은 사용후핵연료 수송/저장 용기 개념설계를 바탕으로 수송/저장 시스템의 제작과정이나 절차에 문제점이 발생하지 않도록 설계단계에서부터 충분한 제작성 평가와 이를 반영한 시스템 최적화를 수행하기 위함이다. 또한 수송/저장 용기의 설계결과에 대한 실제 제작성을 검증하기 위함이다. 사용후핵연료 수송/저장 용기는 제작 안전성을 위하여 ASME에서 별도로 구성한 세션의 기술기준을 준수하여 제작해야 하며, 설계과정에서도 원자력 품질보증 시스템을 적용하여 안전성이 보증되어야 한다. 또한 고유의 특수재질이 많이 사용되므로, 이에 대한 재질특성/재료수급 및 제작 용이성 등을 충분히 반영하는 것이 필요하다. 따라서 설계사의 수송/저장 용기 원형 모델에 대한 설계도면 개발시 제작가능성이 반영된 기본설계도면 개발지원 및 설계사의 수송/저장 용기의 각 부품별 소재 선정에 대한 적정성 평가 지원에 대하여 분석하였다[2].

2. 본론

2.1 금속용기 제작성 평가

개발 중인 금속용기는 방사성질을 운반하는 특수용기이며, Body Shell(SA-350 LF-3) 최대벽 두께 215 mm(8.465 inches)이다. 따라서 제작 시 재료의 성능검사 외에 Reg. Guide 7.12과 ASME Sec III, Div. 3, WE-2330 등의 특별한 기준을 만족시켜야 한다[3]~[4].

금속용기 설계시 적용한 모든 재료에 대하여 수

급성 및 제작 용이성을 검토하였다. 대부분의 소재는 적합하였으며, 변경 및 고려사항이 필요한 재료 및 의견은 Table 1와 같다.

Table 1. Modification and considerations of steel cask materials.

부품명	설계소재	추천소재	비고
Lid Bolt	SB637 N07718	SA453 GR.651 CL.A	-자재수급 어려움 -금액고가
Round Bar	SA240 TP304	SA479 TP304	-적용 Standard 오류
Trunnion Adapter	SA182 GR.F6NM	SA350 LF3	-제작성 고려시 용기소재와 동일한 소재 추천
증성자 흡수체	BORAL	METAMIC BORAL MAXUS	-Nanotec Metal -Ceradyne -Nikkeikin

사용후핵연료 운반/저장 및 원자력 분야에서 사용하는 금속 O-ring의 제조사는 Garlock France(프랑스)와 Helicoflex(미국)가 있다. 전자의 경우 Cask용 고성능 금속 O-ring을 생산하는 곳이며, 다른 곳은 원자로용을 주로 생산하고 있다. 전 세계적으로 두 곳 만이 원자력용 금속 O-ring을 사용하고 있으며, 해당 제품을 사용하여 많은 저장용기가 제작되고 있다. 수송/저장 용기에서 사용한 금속 O-ring 예는 Fig. 1와 같다.

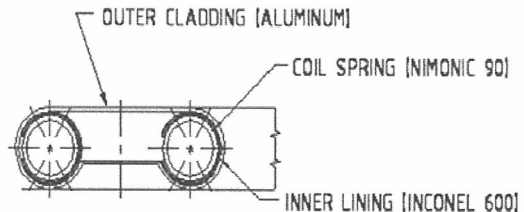


Fig. 1. Example of steel O-ring in steel cask.

현재 설계한 금속용기의 형상 및 재료를 기준으로 열전달핀 및 트러니언에 대한 제작성을 검토하였다. 재료의 수급성 및 재료 자체의 제작에는 큰 문제가 없으나, 용기 본체와 열전달핀 및 트러니언 부착 부위의 재료가 다르므로 인해서

Fig. 2와 같이 추가적인 작업(버터링)이 필요하지만 용기본체와 동일재료를 사용하여 추가적인 작업 없이 가능하도록 하였다. 특히 트리니언의 경우 큰 하중을 받는 부위이므로 향후 추가적인 검토 및 설계변경이 필요하다고 판단된다.

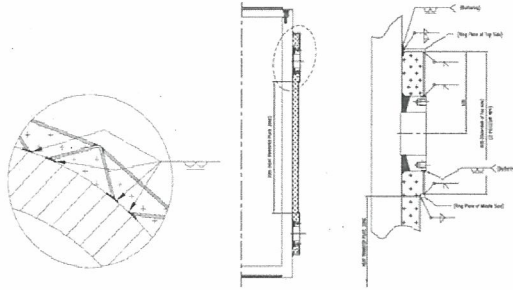


Fig. 2. Heat transfer fin and trunnion in steel cask.

또한 제작시 많은 어려움이 따를 것으로 예상되므로 용기의 열적 안전성을 저해하지 않는 범위에서 열전달핀의 설치 구간은 상하부 트리니언 사이로 할 것을 제안하였다.

열전달핀과 트리니언 및 최외곽 셸(shell)을 갖는 용기의 구조로 인해서 실제 용기의 제작시 중성자흡수체 구조 및 트리니언 부착에 어려움이 따를 것으로 판단된다. 따라서 Fig. 3와 같이 2단계에 걸쳐 외부셸 제작 및 중성자흡수체를 제작하는 방안을 기본설계에 반영되도록 제안하였다. 1단계는 트리니언 근처까지만 외부셸 및 중성자흡수체를 제작하며, 트리니언의 용기 본체 부착이후 2단계로 트리니언 상하부의 외부셸 및 레진을 주조하는 방안이다. 2단계로 제작을 하지 않을 경우 열전달핀으로 인해서 트리니언 하부의 중성자흡수체 구조는 불가능하다고 판단된다.

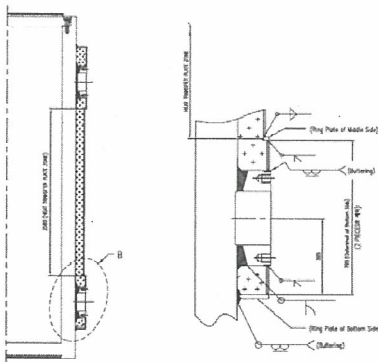


Fig. 3. Manufacture of heat transfer fin and trunnion.

2.2 Mock-up 부위 선정

현재까지 수행한 제작성 검토 및 용기의 설계를 반영하여 금속용기의 Mock-up 부위를 선정하였다. 금속용기에서 가장 복잡한 형상 및 제작과정이 필요할 것으로 판단되는 상하부 트리니언을 포함하는 길이방향 1/4 대칭모델이 적합할 것으로 판단된다.

3. 결론

개발 중인 사용후핵연료 운반/저장 겸용 금속용기에 대하여 설계에 따른 제작성 평가 및 재료에 대한 검토를 수행하였다. 사용후핵연료 운반 용기 제작 시 필요한 제작 검사를 분석하여, 설계중인 겸용 금속용기의 해당 성능기준을 제시하였다. 선정된 재료에 대한 수급성 및 제작성에 대한 검토를 하였으며, 이 과정을 통하여 재료의 변경 및 수급의 용이성을 위한 안을 제안하였다. 설계단계에서부터 충분한 제작성 평가와 이를 반영한 시스템 최적화를 수행하기 위하여, 현재까지 수행한 제작성 평가를 바탕으로 설계변경이 필요한 부위 및 변경안을 제시하였고, Mock-up 부위를 선정하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 방사성폐기물관리기술개발 중장기기획과제의 일환으로 수행중에 있습니다.

5. 참고문헌

- [1] 사용후핵연료 수송저장 시스템 상용화 기술개발, 2단계 보고서, 2011.
- [2] 사용후핵연료 수송저장 시스템 최적화 기술개발, 2단계 1차년도 보고서, 2012.
- [3] Fracture Toughness Criteria of Base Material for Ferritic Steel Shipping Cask Containment Vessels with a Wall Thickness Greater Than 4 inches (0.3m), Reg. Guide-7.12, 1991.
- [4] Containments for Transportation and Storage of Spent Nuclear Fuel and High Level Radioactive Material and Waste, 2010 ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec III, Div 3, 2010.