

## B(U)형 동위원소 전용운반용기 설계

임성규, 강한목, 장용준, 김동현, 안창석, 장동철

한일원자력주식회사, 경기도 안양시 만안구 안양7동 동영벤처스텔 3차 301호

ls9800@hanilnuclear.co.kr

### 1. 서론

방사성동위원소(RI)는 의료분야, 산업체 및 기타 분야등을 포함한 사회 각 분야에서 널리 사용되고 있으며 수요량 또한 해마다 크게 증가하고 있는 추세이다. 사용량의 증가와 함께 사용 후 RI의 폐기분야도 상대적으로 증가하고 있으며 따라서 폐기 RI의 운반 및 폐기관련 작업의 발생 시 및 안전하고 효율적인 운반을 위한 전용운반용기의 필요성과 함께 해외에서 RI의 수입 시 별도의 운반용기 임대료등 부수적인 비용이 발생하고 있으며 국내로 반입되는 RI 수입량 및 그에 따른 운반횟수의 증가추세는 앞으로도 지속적으로 증가할 것으로 판단되어 운반용기 임대료등의 부수적인 발생비용 또한 크게 증가 할 것으로 예상되어 동위원소 전용운반용기를 제작하게 되었다. 운반용기의 설계기준은 교육과학기술부 고시, IAEA Safety Standard 및 미국 10CFR등에서 규정하고 있는 조건들을 만족할 수 있도록 설계기준을 설정하였으며 정상 및 사고시 조건등 운반용기에 대한 시험 및 평가는 전산해석프로그램을 사용하여 수행하였다. 본 논문에서는 현재 진행 중인 전용운반용기의 설계, 정상 및 비정상상태의 조건들에 대한 전산해석을 수행하여 용기의 구조 건전성을 평가 하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 전용운반용기의 설계

운반용기는 차폐용기와 완충용기로 구성 되었다. 완충용기 내부에 차폐용기를 결합하는 방식으로 제작하였으며, 16개의 볼트로 체결하여 기밀을 유지하였다. 완충용기는 바깥지름 980mm, 두께 10mm, 내부에 완충제를 충진 하였으며, 차폐용기는 바깥지름 480mm, 두께 20mm, 내부에 차폐체인 납이 충진 되었다. 4가지 이상 재료로 구성되어 있으며 전반적인 구조재는 STS304를 사용하였고 열 시험평가를 위해 구조재와 완충제 사이에 단열재를 충진 하였다. 또한 낙하 시험시 완충용기의 파손을 보완 하기 위해 용기 상 하부에 Over Pack을 결합하여 안정성을 한층 더 높였다

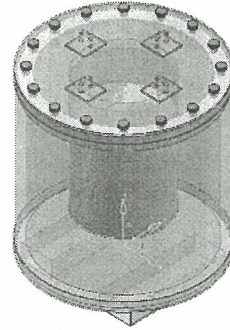


Fig. 1. 운반용기 투시도

#### 2.2 운반용기 건전성평가

운반도중 충돌 시 운반용기 뚜껑은 용기의 본체와 외경이 같은 상태로 함께 충돌하기 때문에 뚜껑볼트에 충격하중이 발생하지는 않는다. 그러나 보수적인 해석을 위해 뚜껑 혹은 용기 충돌로 인해 100g의 가속도를 받아 전체 중량의 100배인 충격하중(Ft)이 작용한다고 가정하였으며 운반 내용물의 중량은 전체 1600kg 으로 가정하였다.

$$\sigma_y = \frac{Wt}{A*n} = \frac{1600*100*9.81*4}{\pi*d^2*n} \dots\dots\dots (1)$$

M30을 사용할 경우 안전율은 약 4.5로 만족하였으며 차폐용기의 볼트선정을 위해 차폐용기 무게는 약 1000kg으로 가정하였다. B형 운반용기 내부압 규정에 따라 내부압 700KN으로 선정 볼트에 가해지는 압력은 W는 “용기무게 + 내부압”을 적용하였으며 볼트 수량은 16개로 적용하였다.

$$\sigma_y = \frac{W}{A*n} \dots\dots\dots (2)$$

#### 2.3 차폐성능 평가

전산 해석 프로그램(MCNPX)을 통하여 차폐성을 평가 하였으며 전산해석프로그램의 구속조건 사항은 지름 480mm, 높이 480mm 의 실린더 형

태이며 운반대상 선원은 400Ci의 Co-60, 차폐체는 납을 적용하였다. 전산프로그램 해석결과는 차폐체의 외부표면에서의 방사선량율이 약 0.19 mSv/h로 차폐 건전성이 유지됨을 확인하였다.

2.4 전산해석프로그램을 이용한 건전성 평가

전산해석프로그램(ANSYS ver. 12.1)을 이용하여 용기의 건전평가 항목들에 대한 모의시험을 실시하였으며 평가방법은 교육과학기술부 고시 “방사성물질운반용기의 제작검사 및 사용검사에 관한 규정” 등의 평가항목을 적용하였다.

낙하 조건 시 응력 한계설정

“방사성물질 운반용기의 제작검사 및 사용검사에 관한 규정 고시”에 관한 평가 사항을 ASME code section iii division 3 값에 준수 하여 건전성을 입증해야하며 완충용기와 차폐용기의 구조재인 “ST304”에 대하여 건전성을 평가 하였다. 낙하시험은 운반용기의 무게가 5000kg 미만이므로 정상조건에서 자유낙하 1.2m, 비정상조건에서는 9m 높이를 적용하여 수직 및 수평낙하시험을 실시하였다. 전산해석 구속조건은 낙하 바닥면은 강체, 해석속도는 0.01sec로 하였다.

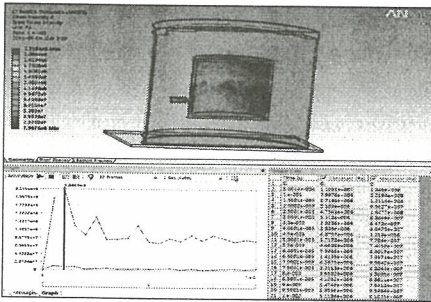


Fig. 2. 1.2m 수직낙하 응력수치 및 그래프

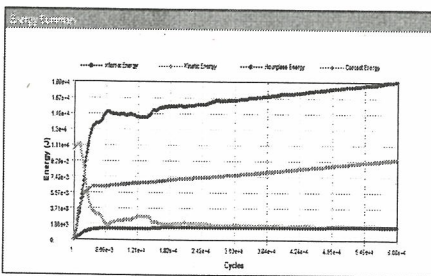


Fig. 3. 1.2m 수직낙하 에너지 그래프

관통시험

정해진 규격의 봉을 용기로부터 1m높이에서 자유낙하시켜 용기의 건전성을 평가하였으며 수평 및 수직 관통시험을 실시하였다. 수직관통 시험결과 1차 막응력은 41,609MPa, 2차 일반응력은 79,324MPa, 최대변형률은 0.0011596m/m이 발생하였으며 에너지에러 발생수치가 낮으므로 전산해석은 올바르게 수행된 것으로 평가하였다. 1차 막응력 및 2차 일반응력의 한계수치 이내로서 건전성을 확인하였다. 낙하사고조건인 9m 높이에서 자유낙하시험결과도 한계수치 이내였으므로 건전성이 유지된다고 판단하였다.

열시험 평가

열시험은 용기의 구조재, 단열재, 완충재, 차폐용기 구조재, 납 및 선원에 대해 실시하였으며 전산해석을 위한 구속조건은 자연대류계수 38℃, 용기내부에는 체적 1cm<sup>3</sup>의 선원에서 1451.5W/m<sup>3</sup>이 발생하며 용기표면 방사율은 -0.85로 설정하여 해석하였다.

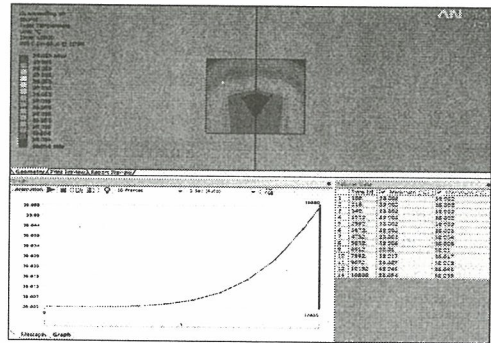


Fig. 4. 선원을 30분간 가열 후 3시간 방치

3. 결론

방사성동위원소 전용운반용기를 설계하여 제작 전 전산해석프로그램을 이용하여 운반용기의 평가항목별 전산해석 및 평가를 실시하였으며 해석결과에 따른 설계 반영 및 보완등의 작업을 실시하였다. 본 논문은 용기의 제작 및 실제 평가시험을 준비하는 과정에서 사전 전산해석을 실시한 결과에 대한 내용이며 운반용기의 실 제작 및 건전성평가를 실시하여 향후 방사성동위원소의 전용운반용기로 사용할 계획이다.

4. 감사의 글

본 논문은 2010 중기청 기술개발혁신과제 실용부문의 일환으로 수행되고 있는 과제임.