

## 월성원전 압력관교체 운반플라스크의 특별운반을 위한 구조평가

정성환\*, 심성보, 맹성준

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

shcung@khnp.co.kr

### 1. 서론

월성원전의 압력관 교체 시 발생하는 방사성물질을 원자로건물에서 원전부지내 저장시설까지 운반하기 위한 운반플라스크는 압력관 교체작업 및 원자로건물과의 연계성을 고려하여 캐나다 규정에 따라 건전성을 평가하고 설계하였으나 국내규정의 기술기준과 상이하기 때문에 국내 원자력법에 따른 특별운반승인에 대한 규제기관의 심사를 위하여 상용 전산코드를 이용한 구조해석 및 실제 낙하시험을 수행하여 건전성을 평가하였다.

### 2. 운반플라스크

운반플라스크는 압력관 교체작업에서 발생하는 방사성물질이 삽입되는 컨테이너를 적재하여 운반차량을 이용하여 저장시설로 운반하기 위한 것으로, 압력관, 원자로관, 원자로관 삽입체 및 환형스페이서를 삽입한 소형컨테이너를 적재하는 소형운반플라스크(그림 1)와 엔드피팅을 삽입한 대형컨테이너를 적재하는 대형운반플라스크(그림 2)로 구분한다. 각 운반플라스크는 2개의 동심원으로 된 탄소강판과 그사이의 납차폐체로 구성되는 원통형으로 상하부에 직사각형의 게이트가 부착되는데, 소형은 전체높이 1.1m, 최대중량 7.2톤이며, 대형은 전체높이 2.9mm, 최대중량 10톤이다.

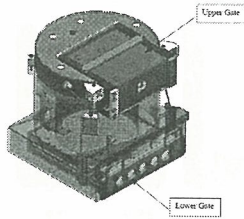


그림 1. 소형운반플라스크

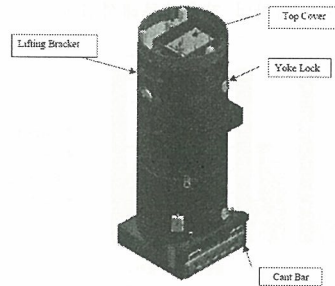
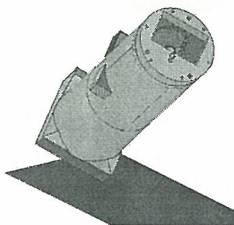


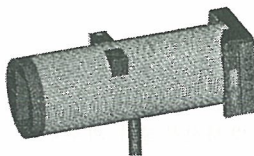
그림 2. 대형운반플라스크

### 3. 운반사고조건 구조평가

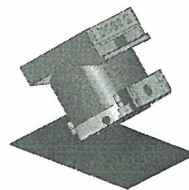
소형과 대형 운반플라스크의 건전성을 평가하기 위하여 교과부 고시 제2008-69호[1]에 따른 운반사고조건인 9m 자유낙하, 1m 파열 및 200m 침수 조건에 대하여 구조해석을 수행하였다. 외연적시간적분방식을 적용하는 유한요소프로그램인 상용 LS-DYNA3D 전산코드를 이용하여 3차원 solid 및 shell 요소로 구성되는 해석모델에 대하여 동적탄소성해석을 수행하였다. 9m 자유낙하조건은 최대손상방향을 고려하여 운반플라스크의 충돌 가능한 6가지 방향(상·하부수직, 수평, 상·하부모서리, 경사)에 대하여 해석을 수행하였으며, 1m 파열조건은 운반플라스크의 3군데(상·하부, 중앙부)가 파열봉 위로 타격하는 것을 기준으로 해석을 수행하였다(그림 3 참조). 또한, 침수조건은 200m 수심에 대한 정수압을 고려하였다.



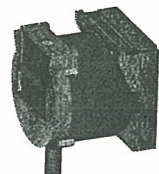
(대형-경사낙하)



(대형-중앙부파열)



(소형-상부모서리낙하)



(소형-상부파열)

그림 3. 운반플라스크 해석모델 예

방사성물질은 운반플라스크의 내부에 적재되는 컨테이너에 삽입되므로, 컨테이너 셀의 주요부가 완전히 파손되지 않는 이상 내부의 방사성물질이 외부로 유출되지 않을 것이므로 운반플라스크의 자유낙하, 파열 및 침수 조건 등 각 해석결과에서 내부 컨테이너의 셀 주요부에 발생한 최대응력에도 파손되지 않음을 확인하여 건전성을 평가하였다(그림 4~그림 7 참조). 또한, 내부 컨테이너의 이동경로인 운반플라스크의 상하부 게이트의 개방을 차단하는 게이트차단장치의 구성품에 대한 파손 및 변형상태를 분석하여 운반사고조건에서 파손되지 않고 게이트가 개방되지 않아 내부의 방사성물질이 유출되지 않는 것으로 평가되었다.

특히, 방사성물질이 비교적 작은 칩 형태로 장전되는 소형컨테이너에 대하여 운반 및 저장 과정에서 최대취급높이(7.37m)의 낙하시험을 가정하여 방사성물질의 유출여부를 실제 컨테이너와 방사성물질을 모사하여 낙하시험을 수행하였는데, 어느 부위도 파손되지 않으며 내용물인 방사성물질이 외부로 유출되지 않음을 확인하였다(그림 8 참조).

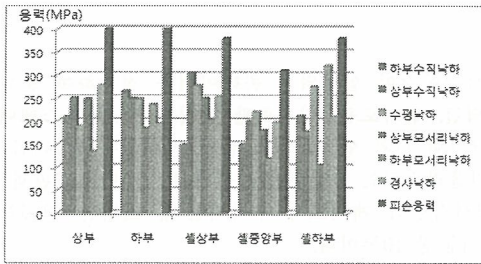


그림 4. 대형컨테이너 자유낙하해석결과

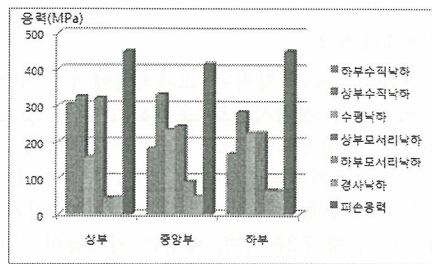


그림 5. 소형컨테이너 자유낙하해석결과

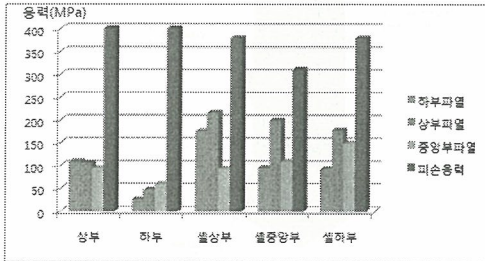


그림 6. 대형컨테이너 파열해석결과

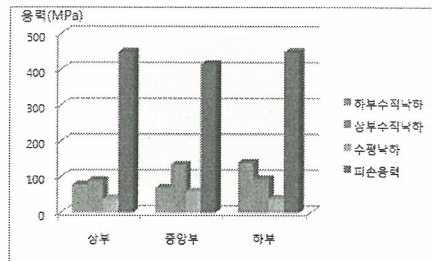


그림 7. 소형컨테이너 파열해석결과

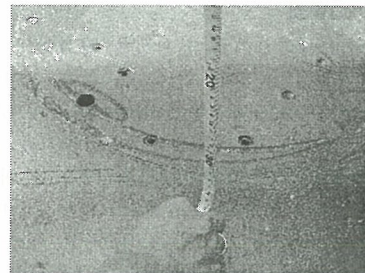
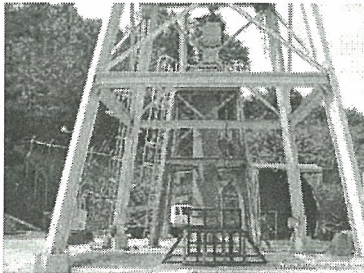


그림 8. 소형컨테이너 최대취급높이 낙하시험

#### 4. 결론

두 종류의 월성원전 압력관교체 방사성물질 운반플라스크를 대상으로 관련규정의 운반사고조건에 대하여 전산코드를 이용한 구조해석 및 실제 낙하시험을 수행하여, 어느 경우에서도 방사성물질이 삽입된 운반플라스크 내부의 컨테이너가 파손되지 않으며 방사성물질이 외부로 유출되지 않음을 확인하였다.

#### 참고문헌

[1] 교육과학기술부 고시 제2008-69호, 방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정, 2008