

폴리머 콘크리트 고건전성 용기의 자유낙하에 대한 구조적 안전성 평가

남경오, 서기석, 김종범, 민병주*

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

*(주)계림폴리콘, 충남 부여군 임천리 군사리 516번지

namko@kaeri.re.kr

원자력 발전시설의 증가와 적체된 중저준위 방사성폐기물의 처분문제가 매우 시급한 현안으로 대두되고 있다. 중저준위 방사성폐기물의 저장은 일반적으로 고형화를 통한 처분이 일반적이지만 고화 후 부피의 증가, 고화제의 내침수성 저하 및 침출속도의 표준화 어려움 등과 같은 문제점이 지적되고 있다. 이와 같은 단점을 보완하고자 방사성폐기물을 고화하지 않고 300년 이상의 장기적인 기간 동안 구조적 안전성과 건전성이 입증된 용기, 즉 고건전성용기에 직접 담아 저장하는 방식이 개발되었다. 고건전성용기는 중저준위 폐기물의 저장뿐만 아니라 처분용기의 기능을 가지기 때문에 처분을 위한 별도의 용기개발 필요성이 없게 된다.

고건전성용기의 재질로는 대표적으로 폴리에틸렌, 섬유강화 플라스틱, 콘크리트, 스테인리스 강, 탄소강 등이 사용되고 있다. 스테인리스강이나 탄소강의 경우 구조적인 안전성은 뛰어나지만 화학 반응에 의한 내부식성이 떨어지고 고분자재료의 경우 경제적인 측면 및 생산의 용이성에서는 장점을 가지지만 기계적 강도가 낮은 단점을 가진다. 콘크리트의 경우 경제성은 있지만 인장강도나 내충격성과 같은 기계적 측면에서 문제점을 가지고 있다. 따라서 근래에는 이와 같은 문제점을 보완하기 위해 섬유강화 플라스틱이나 폴리머 함침 콘크리트 등을 이용한 고건전성용기 개발을 위한 연구가 수행되고 있다.

- 폴리머 콘크리트

폴리머 콘크리트는 골재대신 유기재료인 폴리머로 결합시킨 것으로, 시멘트와 물을 전혀 사용하지 않은 특수 콘크리트의 일종이다. 폴리머 콘크리트는 일반 콘크리트와 비교하면 높은 인장, 휨, 압축강도를 가지며 특히 내약품성, 내마모성, 방수성, 동결융해 저항성, 절연성, 접착성 등이 뛰어나다. 폴리머 콘크리트는 내구성뿐만 아니라 고강도의 재료이기 때문에 재료의 치수를 줄임으로써 중량감소효과를 가져올 수 있어 비용의 절감을 가져올 수 있다. 일본은 1970년대 중반 이후 압축강도 1,200 kgf/cm² 정도를 갖는 폴리에스터 폴리머 콘크리트를 개발한 바 있으며, 여러 나라에서 이미 600~900 kgf/cm² 내외의 압축강도를 갖는 폴리에스터 폴리머 콘크리트를 실용화되고 있다.

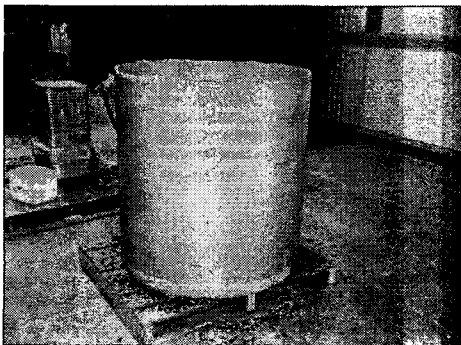


그림 1. 폴리머 콘크리트 고건전성 용기 개념

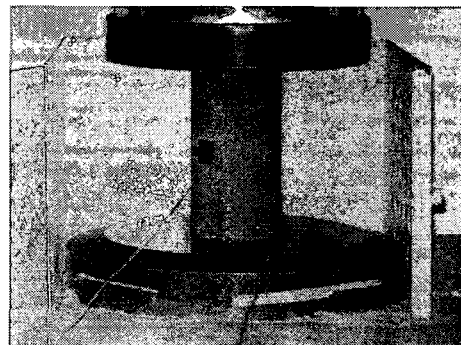


그림 2. 폴리머 콘크리트의 강도시험

- 폴리머 콘크리트 고건전성 용기

폴리머 콘크리트를 이용한 고건전성 용기는 높이 1260 mm, 지름 1200 mm의 원통형 구조를

가지며 65 mm의 벽 내부에는 15 mm 두께의 원통형 복합재질의 보강재를 가지는 1차 시편을 제작하였다. 또한 외부의 충격에 대한 폴리머 콘크리트의 취성을 향상시키기 위해 용기의 외부 그리고 폴리머 콘크리트와 보강재 사이에 1 mm 두께의 유리섬유를 삽입한 2차 시편을 제작하였다. 용기의 주요 재질인 폴리머 콘크리트는 제작시마다 그 특성이 변하기 때문에 매회 KS 규격에 따른 필요한 강도시험을 수행해야한다. 일반적으로 폴리머 콘크리트는 일반 콘크리트보다 강도 측면에서 향상된 결과를 보였다.

- 전산해석 및 낙하시험

폴리머 콘크리트의 고건전성용기의 1.2 m 자유낙하해석을 위해 ABAQUS Explicit 코드를 이용해 Dynamic해석을 수행하였다. 자유낙하 자세는 바닥면에 가장 큰 충격이 가해지는 경사낙하를 수행하였다. 경사는 용기의 무게중심 높이 667 mm를 고려하여 바닥면과 48도의 경사각을 적용하였다. 모델은 대칭성을 고려하여 1/2 모델을 이용하였다. 또한 동일한 경사조건을 적용하여 1차와 2차 시편에 대한 1.2 m 자유낙하시험을 수행하여 해석결과와 비교하였다. 이를 위해 주요 지점에 스트레인 게이지와 가속도 센서를 부착하여 NI C-DAQ 장비를 이용하여 데이터를 취득하였다.

- 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 원자력발전소에서 발생하는 중저준위 방사성폐기물의 저장 및 처분을 위한 용기개발을 목적으로 폴리머 콘크리트를 이용한 고건전성용기의 구조적인 안전성 평가항목 중 자유낙하에 의한 용기의 안전성 평가를 위해 전산해석과 자유낙하 시험을 수행하였다. 전산해석과 시험을 통해 다음과 같이 결과를 요약하였다.

. 48도 경사낙하에 대해 1차와 2차 시편 모두 1.2 m에서 바닥 모서리 부분이 파괴되었다. 이는 전산해석 결과와 유사한 경향을 보였다.

. 특히 2차 시편의 경우 폴리머 콘크리트의 내충격성 향상을 위해 적용한 유리섬유는 큰 영향을 미치지 못했다.

. 폴리머 콘크리트 내부의 복합재는 외관상 큰 영향을 받지 않았다. 이를 통해 폴리머 콘크리트의 충격에 의한 파괴 대안책으로 복합용기에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

향후 폴리머 콘크리트의 내충격성을 높이기 위한 재료적 측면에서의 연구 또는 완충시스템에 대한 설계 보완이 필요할 것으로 판단된다.