

표층처분고 및 사용후핵연료 저장시설에 대한 항공기 충돌평가

문태철*, 조천형, 박주완

한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 가정로 168번길 KT가정빌딩 내

*tcmoon@korad.or.kr

1. 서론

최근 표층처분고 및 건식저장시설이 외부에 노출되어 있어 항공기 혹은 미사일 충돌 등 외부사고에 대한 우려의 목소리가 높다. 특히 미국 911 테러 이후 원전시설의 항공기 충돌평가에 대한 요구가 급증하였으며, 미국은 원자로 등의 원전시설에 대한 항공기 충돌평가를 규정화 하였다. 그러나 표층처분고 및 사용후핵연료 저장시설의 항공기 충돌평가는 세계적으로 아직까지 규정에 반영된 사례는 없지만, 테러 등에 대비한 물리적 방호는 강화시키는 추세이므로 저장시설에 대한 항공기 충돌평가 역시 규정화 가능성이 높다. 미국 정부는 블루리본위원회(BRC)를 통하여 원전의 소내저장시설에 대한 안전성 강화를 권고하였고, 표층처분고나 사용후핵연료 저장시설에 대한 항공기 충돌에 대한 평가가 규제요건은 아니지만 발생 가능한 사고의 하나이고, 외부의 의도적인 테러는 물론 우리의 특수한 군사정세에 비추어 볼 때 항공기 또는 미사일 충돌 등을 평가하여 저장시설의 안전성을 확보할 필요가 있다고 여겨진다.

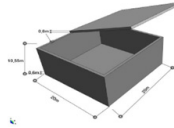
본 연구의 목적은 향후 2단계 처분시설인 중저준위 표층처분시설의 항공기 충돌 등의 외부사고에 대한 방벽의 건전성을 평가하였다.

2. 본론

2.1 표층처분고 및 저장시설 구조

표층처분고의 개념은 방사성폐기물을 환경으로부터 충분히 긴 시간동안 격리하여, 단반감기 핵종들의 붕괴를 통해 방사능의 세기를 줄이고, 장기간 처분시설 내에 잔존하는 방사성핵종들의 누출을 제한하는 개념으로 설계가 이루어진다. 또한 표층처분고는 주로 방사성폐기물, 공학적방벽, 자연암반 등으로 구성되며 콘크리트 처분고는 방사성폐기물로 물의 침투를 제한하기 위해 불포화대에 위치하며, 처분시설은 추가적으로 불투수 덮개층, 배수시스템, 침출수 수집 및 차단벽 등으로 구성된다.

Fig. 1은 경주 방폐장 2단계 표층처분시설에 대한 전반적인 규모와 구조물에 대해 개략적으로 나타내었다.



- 면적 : 71,014 m²
- 시설규모 : 12.5만 드럼 (200L 기준)
(부지정지 : 25만 드럼)
- 처분방식 : 점층처분
- 처분고 구조형식 : 월근콘크리트 구조물
- 처분고 규모 : 가로 20 m, 세로 20 m, 높이 10 m
- 구조해석 : 두께 60 cm 적용시 안전성 확보
- 드럼적치 : 9단
- 적지방법 : 각 단 적지 후 콘크리트 타설로 물과 접촉 최소화

Fig. 1. Schematic diagram of a near surface radioactive waste repository in Gyeongju.

사용후핵연료 저장시설의 경우, 저장시설을 방호할 목적으로 세계 각국은 여러 형태의 방호시설을 구비하고 있다. 위협설계기준을 가정하여 설계한 네덜란드의 Habog 저장시설, 항공기 충돌에 견디도록 설계된 스위스의 Zwibez 저장시설, 건물방벽을 가지는 독일의 Ahaus 등이 있다.

2.2 항공기 충돌해석 모델링

중저준위 처분고 및 저장시설을 보호하기 위하여 설정한 방벽에 대하여 충돌해석은 충격 전산해석 프로그램인 LS-DYNA를 이용하여 항공기 충돌에 대한 해석을 수행하였고, 파손여부와 파손모드에 대해 평가하였다. 처분고 콘크리트 방벽은 콘크리트로 이루어진 방호벽체로 구성된 구조물로 가정하였다. 일반적인 처분고 콘크리트 방벽의 경우, 방호벽체, 벽체강판, 슬래브, H형강 등 4개의 구조물로 구성되지만, 본 해석에서는 상세해석을 수행하기 전단계인 예비해석의 측면에서 해석을 수행한 결과이다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 3차원 해석 모델을 구성하고, Airbus380 민간항공기가 방벽의 측면에 수평으로 150 m/s (540 km/h)의 속도로 충돌하는 조건에 대하여 방벽의 두께와 이중 방벽 구조에 대한 변수에 대해 평가하였다.

2.3 항공기 충돌해석 결과

본 해석의 결과에서 알 수 있는 점은 실제 콘크리트 방벽을 모사하지 않고 순수 콘크리트로 이루어진 방벽이라는 점에서 실제와 다소 차이가 발생할 수 있다는 사실을 전제로 방벽 두께가 50 cm의 경우에는 관입, 스폴링, 스캐빙, 관통이라는 파

손모드가 시간이 경과에 따라 순차적으로 발생하며, Fig. 3 (c)과 같이 방벽 전체에 대해 균열이 발생하고 일부에서는 처분시설이 붕괴되는 결과를 보이고 있다는 것을 알 수 있다. 이 경우 처분고로서의 기능을 완전히 상실했다고 판단할 수 있다.

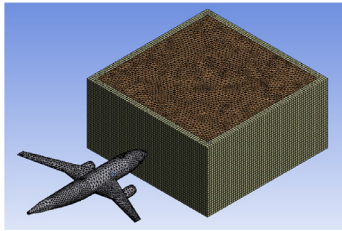


Fig. 2. Model for aircraft impact analysis for near surface facility.

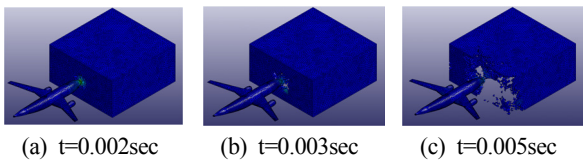


Fig. 3. Aircraft impact results for wall thickness 50cm and single protecting wall.

Fig. 4와 같이 방벽 두께가 100 cm의 경우에는 초기에는 관입모드가 발생하고 시간이 흐름에 따라 스프링 파단양상이 나타나고 충돌하는 방벽전면에 균열이 발생은 하지만 스캐빙과 관통이라는 파단모드는 발생하지 않았다. 즉 국부적으로 방벽에 손상이 발생하긴 하나 처분고로서의 기능은 상실하지 않았음을 알 수 있다.

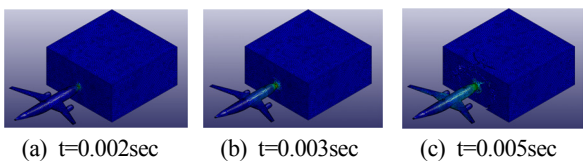


Fig. 4. Aircraft impact results for wall thickness 100cm and single protecting wall.

또한, 방벽을 보강하기 위한 방법으로 이중 방벽 구조로 되어 있는 경우의 항공기 충돌해석을 수행하여 위의 단일방벽과 비교하여 파단양상을 살펴보았다.

이중방벽구조이면서 방벽두께가 100 cm인 경우, Fig. 5에 나타낸 바와 같이 초기에는 관통이 나타나고 점차 충돌면 전면에서 일부 균열이 발생하는 결과를 보였다. 앞선 단일방벽 구조와 파손 모드를 비교해 보면 균열이 충돌면 전면부에만 발생하고 내부 방벽으로는 영향이 없음이 확인되어 항공기 충돌 시에도 처분고와 저장시설은 방벽에 의하여

안전하게 보호될 수 있을 것으로 분석되었다.

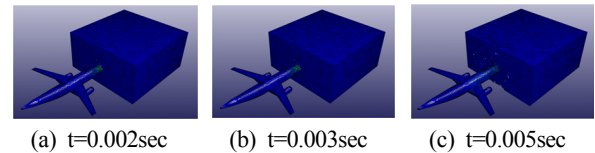


Fig. 5. Aircraft impact results for wall thickness 100cm and double protecting wall.

3. 결론

무근 콘크리트 방벽을 갖는 처분고 및 저장시설에 대해 항공기 충돌시 발생하는 파단양상을 살펴보고 방벽으로서의 기능을 판단하기 위해 방벽두께와 방벽 형상에 따른 충돌평가를 수행하였다. 방벽의 두께가 100 cm 이상의 경우에는 방벽 형상에 관계없이 방벽의 안전성에 문제가 없는 것으로 평가되었다. 본 연구에서는 무근 콘크리트 방벽을 갖는 처분고의 항공기 충돌해석을 수행하였으나, 실제의 방벽의 구조는 콘크리트 벽체 외에 벽체강판, 철근 등으로 보강을 하기 때문에 본 해석결과보다는 파손의 정도의 차이는 있을 것으로 예상되며, 구조적으로 훨씬 안전할 것이라고 유추할 수 있다. 본 평가를 바탕으로 안전한 방호를 위한 방벽의 설정과 설계가 효율적으로 이뤄질 수 있을 것이라고 판단되며, 처분고의 안전성 확보 및 대국민 수용성 제고에 기여할 수 있을 것으로 여겨진다.

4. 감사의 글

본 연구는 산업통산자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20111710200011)

5. 참고문헌

- [1] R. Lo Frano, G. Forasassi, G. Pugliese, Preliminary safety evaluation of an aircraft Impact on a near surface radioactive waste repository, 15th ASME 2013 International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, Sep. 8-12, Belgium (2013).
- [2] 정성환, 정윤창, 이희환, 김용배, 사용후핵연료 건식저장시설 방벽(안) 및 평가, 한국방사성폐기물학회 2014년 추계학술논문, 61-62 (2014).
- [3] 한국원자력연구원, 사용후핵연료 저장시설 항공기 충돌사고관련 현황분석자료 요약집 (2013).