

사용후핵연료 저장시설 Design Case 관점에서 해외사례 분석 및 적용방안에 대한 고찰

이동진*, 정재훈, 윤희준, 이병식
한국전력기술(주), 경북 김천시 혁신로 269
*djlee@kepco-enc.com

1. 서론

사용후핵연료 공론화위원회 최종보고서에 따르면 사실상 중간저장시설에 해당하는 처분전 저장시설 및 단기저장시설의 건설이 필요하다고 명시되어 있다. 이러한 사용후핵연료 저장시설 설계 시 고려해야 할 요소 중 최근 9.11 테러 및 후쿠시마 사고 이후 사용후핵연료의 안전한 저장을 위해 항공기 충돌평가 및 보안 설계를 중요시 하는 움직임을 보이고 있다.

본 논문에서는 최근 사용후핵연료 저장시설 설계 시 중요하다고 판단되는 Design Case(항공기 충돌평가, 보안설계)에 대한 해외사례를 분석하고 그 적용방안에 대한 고찰을 해보고자 한다.

2. 본론

2.1 항공기 충돌평가 관점

원자력발전소의 항공기 충돌평가(Aircraft Impact Assessment)는 발생 빈도가 극히 낮은 사건이므로, 항공기 충돌평가를 확률론적 안전성평가 틀 안에서 수행한다. 사건 발생빈도 및 유출 확률을 계산하여 원전의 입지 및 설계 시 항공기 충돌로 인해 방사능 재해가 발생할 확률이 $10^{-7}/\text{yr}$ 미만으로 안전하다고 판단되는 경우 항공기 충돌 시 발생하는 위험도를 고려하지 않는다. 그러나 9.11 테러사건 이후 위에서 고려한 항공기 운항 중에 발생하는 사고 조건 이외에 테러로 인한 항공기 납치에 의한 충돌에 대비한 안전성 평가 및 설계 기준의 필요성이 대두되었다. 원전과 동일한 이유로 사용후핵연료 수송 및 저장시스템에도 항공기 충돌평가를 수행할 필요성이 대두되었으며, 전투기 충돌뿐만 아니라 대형 민항기(Boeing 767)에 대한 충돌평가를 요구하는 등 관련 기준이 강화되고 있다.

항공기 충돌평가(Aircraft Impact Assessment)는 평가대상에 따라 크게 시설관점, 용기관점 2 가지로 분류된다. 시설 관점에서 독일의 사용후핵연료 저장시설이 참조할 만한 사례이다. 독일에는 설계사에 따라 WTI, STEAG 라는 2 가지 형태의 사용

후핵연료 저장시설이 있다. 독일 북부 5개 지역에서 운영 중인 STEAG Concept의 경우 벽의 두께가 1.2 m으로 충돌 평가 결과, 심각한 건물의 손상 및 항공유의 건물 유입이 발생하지 않는 것으로 평가되었다. 반면 독일 남부 6개 지역에서 운영 중인 WTI Concept의 경우 벽 두께가 0.7 ~ 0.8 m로 상대적으로 얇기 때문에 일부 벽 및 지붕의 붕괴 등 보다 큰 구조 손상이 초래되고 항공유의 유입의 예상되는 것으로 평가되었다. 그러나 시설 하부에 배수구가 있어서 항공유 유입으로 인한 화재 손상을 미비할 것으로 평가되었다. 용기 관점에서 미국 샌디아국립연구소(Sandia National Lab)에서는 HI-STORM 시스템에 대한 대형 민항기 충돌평가를 수행하여 별도의 구조물 없이도 항공기 충돌로 인한 안전성을 입증한 바 있다.

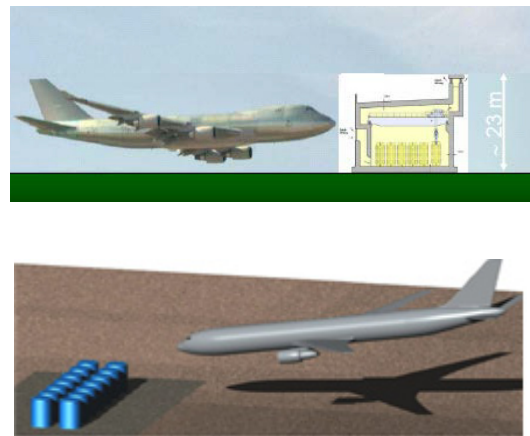


Fig. 1. Aircraft Impact Assessment.

항공기 충돌을 고려한 저장용기에 항공기 충돌을 고려한 구조물을 건설하게 되면 이중 설계가 되어 결과적으로 과설계(Over Design)가 되어 비용이 많이 발생하게 된다. 독일의 경우 용기제작 관점에서 항공기 충돌을 고려한 설계를 하면 충분할 것으로 판단하고 있으며 시설 관점에서는 항공기 충돌평가를 통해 구조물의 안전성을 확인하는 수준으로 수행하고 있다. 항공기 충돌평가를 고려한 설계를 용기 또는 시설에 적용하는지 여부는 관련 규제요건에 따라 정해질 것이므로 해외 사례를 통해 우리나라 상황에 적합한 저장 시스템을 구축하

는 것이 필요하다. 사용후핵연료 안전한 관리를 위해 추가적인 구조물을 건설하는 것은 다음의 3가지 측면, 1) 추가적인 방사선 차폐 및 구조적 건전성 제고, 2) 접근 제한의 용이성으로 인한 보안성 확보, 3) 개방저장방식에 비해 높은 주민수용성에서 이점이 있다. 그러므로 분단국가라는 특수한 우리나라의 상황을 미루어 볼 때 항공기충돌평가를 고려한 구조물 설계는 긍정적으로 고려해야 할 항목이다.

2.2 보안설계 관점

사용후핵연료의 안전한 저장을 위해서는 보안설계에서 갖추어야 할 요건들이 있다. NRC 10 CFR 73.51에 따르면 사용후핵연료 저장시설에서 미확인된 보안적 위협으로부터 보호하기 위한 물리적 방호 수단을 갖추어야 한다고 명시되어 있다. 이에 해당하는 것이 이중방벽, 연속적인 감시, 인적 확인 및 잠금 계통 등이 있다.

미국의 경우 보안설계를 고려한 사용후핵연료 저장 시스템으로는 HI-STORM UMAX 가 있다. 이 시스템은 땅 속에 HI-STROM 용기를 묻는 방법으로 자연방벽이 추가적인 방벽 역할을 수행함에 따라 보안설계 관점에서 타 시스템에 비해 상대적으로 우수하다. 이 시스템은 이미 미국 Callaway ISFSI에서 채택된 바 있으며, 최근 뉴멕시코주 남동부 지역의 대규모 사용후핵연료 중간저장시설의 방식으로 선정되었다. 보안 설계 관점에서 HI-STORM UMAX는 매립을 통해 추가 방벽을 확보하고 침입을 방지할 수 있는 긍정적인 측면이 있으나, 용기 표면 부식 등 감시의 어려움 및 지하수의 유입 가능성 등으로 인한 부정적인 측면도 있다.

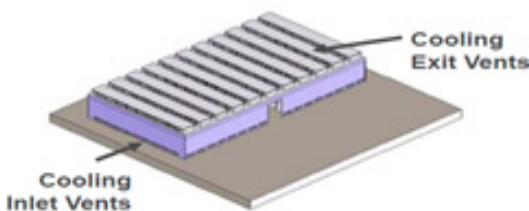


Fig. 2. Sizewell B spent fuel storage facility in UK.

영국의 경우 사용후핵연료 보안설계 관점에서 참조할 만한 해외 사례로 Sizewell B 저장시설이 있다. 영국의 Sizewell B 에서는 보안 설계 및 부하열의 효율적인 제거를 위해서 별도의 금속 건물을 건설하였다. 이는 차폐를 위한 설계가 아니며 단지 보안설계(Security System)를 고려하여 채택

하였으며, 자연대류(convection)을 통한 효율적인 부하열 제거가 가능토록 설계하였다는 점에서 주목할 만하다. 벨기에의 경우 사용후핵연료 보안설계 관점에서 참조할 만한 사례로 Zwibez 사용후핵연료 중간저장시설이 있다. 이 시설에서는 미국 홀텍사의 HI-STAR 모델을 사용하고 차폐(shielding) 효과 및 외부 침입 방지를 위한 별도의 구조물을 설치하여 저장한다.

위 사례로 미루어 볼 때 보안설계 관점에서 유리한 시설을 설계하기 위해서는 자연방벽을 활용하거나 별도의 구조물을 설치하여 저장시설로의 접근을 제한하고 침입을 사전에 방지토록 하는 시설 설계가 필요하다. 그러므로 해외 사례를 통한 교훈을 반영하여 어떤 방법을 채택할 것인지에 대한 면밀한 검토를 할 필요가 있다.

3. 결론

사용후핵연료의 안전한 저장 및 효율적인 관리를 위해서 기술적/정치적/사회적으로 고려해야 할 요소들이 많다. 이 중에서 본 논문에서 선정한 Design Case(항공기충돌평가, 보안설계)는 사용후핵연료 저장시설 설계시 중요하며 고려되어야 하는 요소로 대두되고 있다. 이와 연계하여 사용후핵연료 안전한 관리에 대한 시급성 및 주민수용성을 고려할 때 개방저장방식보다는 독일을 비롯한 유럽에서 채택하고 있는 구조물 내 용기저장방식이 유리할 것으로 판단된다.

이 논문에서 선정한 Design Case 이외에도 고려해야 할 설계 요건들이 있으며 이에 대한 추가적인 연구개발이 필요하다. 또한 사용후핵연료 관리 선진국의 사례 및 경험을 바탕으로 선제적으로 연구개발을 해야 할 필요성이 있다.

4. 참고문헌

- [1] National Research Council, Safety and Security of Commercial Spent Nuclear Fuel Storage, 2006.
- [2] Nuclear Fuel, NRC weighs retrievability issue as it reviews storage transport rules, 2012.