

사용후핵연료 저장조 사고시 핵연료 피복관 발화에 관한 연구

방제건*, 전태현, 김선기, 구양현

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*jgbang@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료 저장수조내에 보관중인 사용후핵연료는 원자로 노심부에 비해 상대적으로 안전하다고 여겨져 왔으며, 이에 대한 관심의 부재로 인하여 저장조내 사고시 안전성과 관련한 연구가 매우 부진한 실정이다. 그러나 미국에서 2001년 9.11테러사건이 발생한 이후 원전에 대한 사보타주 가능성이 제기되면서 사용후핵연료의 저장조에 대한 안전성을 검토하기 시작하였다. 이후 미국 Sandia 국립연구소(Sandia National Laboratory)에서 사용후핵연료를 모사한 공기 중 실험을 통해 저장조내 냉각수상실사고 발생시 피복관의 발화에 따른 화재발생 가능성을 제기하였다. 최근 일본 후쿠시마 4호기 저장조에서 발생한 화재 또한 사용후핵연료 저장조의 안전성 관련하여 더 이상 안전대상이 아닌 것으로 인식되고 있다. 사용후핵연료 저장조 내의 핵연료봉은 고온/고압의 원자로 내부에 존재하는 핵연료봉과 달리 저온/저압상태에 놓여 있어 냉각수상실 사고 시에도 조속한 조치가 취해지면 사고발생 확률은 매우 낮지만, 사용후핵연료 저장조 경우는 노심의 경우와 달리 격납용기가 존재하지 않아 핵연료 파손 시 방사능 물질이 대기로 직접 방출되게 된다. 그러나 피복관의 발화에 따른 피복관의 화재발생은 핵연료 파손에 따른 방사능 물질이 대기로 직접 방출량이 비교할 수 없을 정도로 큰 방사능 물질이 대기로 직접 방출을 야기시키게 된다. 또한 사고 대처장비 및 보조 안전시스템도 매우 미비하므로 만일 사고가 발생하면 안전성 관점에서 더 위협적인 수 있다. 방사성 물질 관점에서 보면 사용후핵연료 저장조가 원자로 노심에 비해 약 20배 이상 많이 포함하고 있으므로 저장조의 안전성 확보는 매우 중요하다.

후쿠시마 원전사고 이후 원자력 발전소 운영의 패러다임이 안전 최우선으로 변화함에 따라 사용후핵연료 저장조의 안전성 평가 및 강화가 절실하게 요구되고 있으나, 현재 전 세계적으로 저장조의 냉각기능 상실관련 사고 시 고온에서의 사용후피복관 발화/화재 조건 관련 기초자료가 매우 부족 하며

공기가 존재하는 저장조 사고조건 특성상 발화 및 화재의 가능성은 그 만큼 높다고 보고되어 왔다. 특히, 사용후핵연료 저장조 사고시 대량의 방사능 대기방출 및 오염을 야기할 수 있는 피복관 발화에 따른 화재발생은 피복관의 용융을 야기하며, 이러한 피복관의 용융은 핵연료 소결체의 직접적 대기노출로 이어져 방사능 물질의 대기중 대량방출이 우려된다.

이에 본 연구에서는 피복관 발화/화재 관련하여 최근의 OECD-NEA SFP Project에 따른 Sandia 국립연구소 실험연구를 중심으로 고찰하고자 한다.

2. 본론

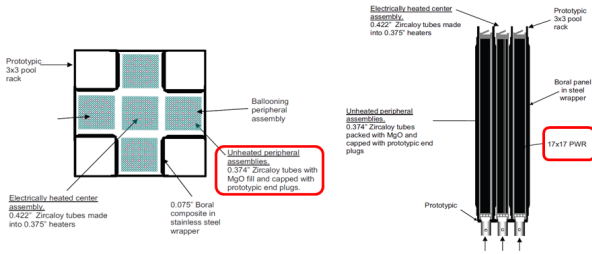
국내외 연구현황을 간략히 정리하면 다음과 같다. 미국 NRC[1]에서는 사용후핵연료 저장조 사고시 공기중 산화에 따른 피복관의 발화/화재 가능성과 방사능 물질의 대기중 대량방출 가능성을 주장하였으며, 미국의 NAS(national academy of sciences)[2] 또한 사고 시 피복관의 발화/화재 가능성과 방사능 물질의 대기중 대량방출이 가능함을 주장하였다.

이에 OECD NEA/SNL/NRC SFP Project가 진행되어 핵연료집합체 1개를 대상으로 화재발생실험을 수행 Sandia 국립연구소(SNL)에서 수행하고 있다. MgO 모의 펠릿을 장전하여 내부 히터를 사용해 붕괴열을 모사하였으며 공기중 고온산화에 따른 발화/화재 발생을 실험적으로 보여주었다.

미국 Sandia 국립연구소에서는 사용후핵연료 저장조의 냉각수 상실사고 시 지르코늄 핵연료피복관의 화재발생 가능성에 관한 집합체 단위 실험연구를 수행하였다[3]. 본 실험의 경우 핵연료봉단위 실험이 아닌 핵연료집합체 1개를 대상으로 화재발생실험을 수행하였고, 이러한 결과를 활용하여 현재는 특정 발화시발 사용후핵연료 집합체로부터 인접 사용후핵연료 집합체로의 화재발생 전파를 연구하기 위해 핵연료집합체 5개를 대상으로 하는 실험을 추진하고 있다.

OECD NEA에서는 SFP(spent fuel pool) 프로

젝트 수행을 통해 미국 Sandia 국립연구소와 함께 핵연료피복관의 발화연구를 수행하고 있으며, 미국 Sandia 국립연구소의 사용후핵연료에 대한 실험자료를 국제공동연구 협력기관들에 제공하고 있다. 미국 NRC 또한 OECD NEA와 미국 Sandia 국립연구소와 협력하여 공동 연구를 수행하고 있다.



Postmortem of the assembly after ignition.



Fig. 1. Ignition Test in the Sandia Fuel Project.

3. 결론

본 연구에서는 사용후핵연료 저장조에서 냉각기능 혹은 냉각수 상실 사고가 발생할 경우 진행되는 공기중산화에 따른 피복관 발화/화재 관련하여 최근의 OECD-NEA SFP Project에 의해 수행되고 있는 Sandia 국립연구소 실험연구를 중심으로 살펴보았다. 현재 1개 집합체를 대상으로 한 실험에서는 공기중산화에 따라 발화/화재가 발생하여 집합체 전체로 전파되는 현상을 관찰하였으며, 추후 5개 집합체를 대상으로 한 실험결과를 통해 좀 더 구체적인 사고 시 발화/화재에 관한 현상들이 규명될 것으로 보인다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 지원아래 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.
(NRF-2012-2012M2A8A4013172)

5. 참고문헌

- [1] NUREG-1738, Technical study of spent fuel pool accident risk at decommissioning nuclear power plants, NRC, 2001.
- [2] National Academy of Sciences, Safety and security of commercial spent nuclear fuel storage: Public Report, 2006.
- [3] Benjamin A. S., Sandia National Laboratory, CONF-971162, 1997.