

## APR+ 사용후연료 저장시스템 설계특성

김성환, 김동학, 유일용

한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

[sunghk@khnp.co.kr](mailto:sunghk@khnp.co.kr)

### 1. 서론

최근 일본 후쿠시마 원전사고 이후 원전을 운영하는 세계 각국에서는 복합화·대형화되는 재난에 대비, 자국의 원전 운영여건에 적합한 설계개선사항을 수립, 안전성 제고 노력을 기울이고 있다. 특히, 급변의 후쿠시마원전 사고에서는 사용후연료 저장수조 상부에 누적된 수소로 인한 것으로 추정되는 폭발과 화재로 건물의 손상까지 발생된 바, 본 논문에서는 현재 표준설계에 대한 인허가심사가 진행 중인 APR+의 사용후연료 저장시스템의 설계특성에 대하여 기술한다.

### 2. 본론

APR+의 사용후연료 저장시스템은 국내 기존원전의 안전요건을 모두 만족시키고 있음은 물론 최근의 강화된 안전성 설계요건을 충족할 수 있도록 개발되었다. 본 논문에서는 특히 APR+의 저장방식과 안전성이 강화된 냉각능력 등의 설계특성에 관하여 기술한다.

#### 2.1 사용후연료 저장조

APR+는 사용후연료의 저장을 위하여 국내운전 중 원전의 경우와 동일하게 습식저장방식을 기본으로 하되, 저장용량은 국내의 사업자요건과 해외경쟁원전 설계현황, 국내의 운영경험 등을 토대로 20년 가동시 인출된 사용후연료 저장분과 진노심에 대한 저장용량을 기본설계요건으로 채택하였다. 저장조는 기존의 크기를 유지하면서 저장 랙(Rack) 구조체에 중성자 흡수체를 부착하여 랙 간 저장간격을 줄여, 임계도(Keff)는 0.95이하를 유지, 모든 정상 및 비정상운전조건은 물론, 단일사고시에도 미 임계상태를 유지할 수 있도록 설계하였다. 사용후연료는 그림 1과 같이 저장조 내 2개의 Region I(신연료 및 부분연소연료 저장, 415개), Region II(사용후연료 저장, 1480개) 저장구역으로 구분·저장할 수 있도록 설계되었다. Region I에는 노심과 손상연료 등을 저장하고,

Region II에는 20년 가동시 인출되는 사용후핵연료를 저장할 수 있도록 설계되었다.

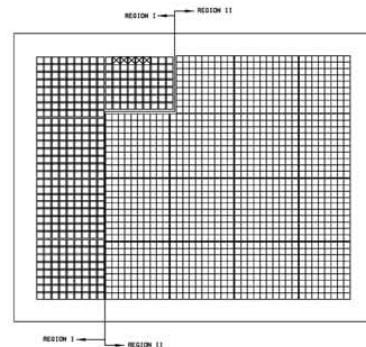


Fig 1. The regional schematic for APR+ spent fuel pool.

사용후연료 저장조 및 취급구역의 배치는 기존호기의 경우와 같이 중량물로 인하여 저장중인 연료의 파손사고가 방지될 수 있도록 Heavy Load Control 요건(NUREG-0612)을 만족할 수 있도록 설계되었다.

#### 2.2 냉각능력

APR+는 출력 증가와 원자로 정지 후 인출노심 대기시간을 80시간으로 단축시킨 요건을 적용함에 따라 냉각펌프와 열교환기 등의 설비 용량이 증가되었다. 계통은 다중성을 확보할 수 있도록 100% 용량의 2계열로 구성하였으며, 재장전을 포함한 발전소 정상운전조건 및 비정상운전시에 도 저장조의 수온을 140°F 이하로 유지시킬 수 있도록 설계되었다. 또한, 한 계열이 이용불능이 되는 고장발생 시라도 수온을 180°F 이하로 유지시킬 수 있도록 설계되어 있다.

Table 1. The cooling capacity of spent fuel pool cooling system.

열부하 조건	설계요건
정상운전 : 1/3 노심 + 20년 저장노심	120°F
재장전운전 : 전 노심 + 20년 저장노심	140°F
비정상운전 : 전노심+ 20년 저장노심+ 1/3노심	140°F

### 2.3 안전성 강화 특성

APR+는 원자로건물 내의 저장전수조(In-Containment Refueling Water Storage Tank), 또는 탈염수 저장탱크 등 발전소 내 가용가능한 수원이 고갈되는 경우에도 외부 소방차에 의한 비상 충수가 가능한 배관과 밸브를 설치, 사용후연료 저장조의 냉각성능을 유지할 수 있도록 사고 대응력을 강화시켰다. 외부소방차에 의한 비상 충수는 이외에도 발전소 정전사고 발생 등에 대비 원자로건물 내 냉각수원으로도 공급될 수 있도록 설계되었다.

또한, 사용후연료 저장조, 냉각펌프 등의 주요설비들이 위치한 보조건물 외벽은 신규 강화된 규제요건을 적용, 항공기 충돌시에도 사용후연료 저장조의 냉각기능이 유지될 수 있도록 두께를 보강(5ft)하였으며, 이중 철판으로 된 SC구조를 채택, 상대적으로 콘크리트 구조물의 파손으로 인한 냉각기능의 손상가능성을 최소화시킬 수 있도록 설계되었다.

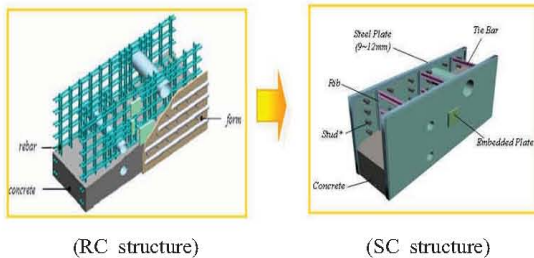


Fig 2. The schematic of RC and SC structure.

### 3. 결론

이상과 같이 APR+의 사용후연료 저장시스템은 기존 호기 대비 저장용량과 냉각능력이 크게 증가되었다. 또한, 비상시 사용후연료 저장조의 대체 수원으로 외부 소방차에 의한 냉각수 공급과 항공기 충돌에 대비한 외벽구조 채택 등, 국제적으로 강화된 규제요건 적용과 일본 후쿠시마 원전사고와 관련하여 현재까지 국제적으로 권고하고 있는 개선사항들을 설계에 반영함에 따라 사고대응력도 상당히 증진된 상태라 할 수 있다. 이와 같은 안전성 강화특성은 APR+의 해외 선진원전과의 수출경쟁력 제고에 크게 기여할 것으로 예상된다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

### 5. 참고문헌

- [1] 한국수력원자력(주) 중앙연구원, APR+ 설계 기본요건 개발보고서(II), 2010.
- [2] 한국수력원자력(주) 중앙연구원, APR+ BOP 및 플랜트 종합설계보고서, 2012.
- [3] 한국수력원자력(주) 중앙연구원, APR+ URD (Rev.A), 2012.