

## 사용후핵연료 저장조 저장용량 증가에 대한 열수력 평가

정성환, 김민철, 최종락

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전시 유성구 장동 25-1

shchung@khnp.co.kr

### 1. 서론

원전의 사용후핵연료 저장용량을 확충하기 위하여 기존 사용후핵연료 습식저장조에 조밀저장대를 추가 설치하는 경우에 대하여 국내외 관련규정의 기술기준에 따라 열수력 해석을 수행하여 건전성을 평가하였다. 여기서는 영광5,6호기 및 울진5,6호기 사용후핵연료 저장조의 조밀저장대 758셀을 추가 설치하는 것에 대하여 고찰하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 사용후핵연료 저장조 현황

영광5,6호기 및 울진5,6호기의 사용후핵연료 저장조는 모든 호기가 동일하게 영역-I 250셀 및 영역-II 450셀의 저장대가 설치되어 총 700셀의 저장용량을 구비하고 있으며, 영역-II 저장대는 중성자흡수재를 사용한 조밀저장대이다. 또한, 영역-II에 474셀의 조밀저장대를 추가 설치할 수 있도록 인허가를 받았다(Fig. 1 참조).

사용후핵연료 관리에 대한 정책지연에 대비하여 원전의 사용후핵연료 저장용량을 확충하여야만 하므로 영광5,6호기 및 울진5,6호기 저장조의 저장용량을 최대한 확장하고자 저장조 공간을 최대한 활용하고 기존저장대의 재배치를 통하여 초기 인허가 저장용량 474셀을 초과하여 총 758셀을 추가 설치한다.(Fig. 2 참조)

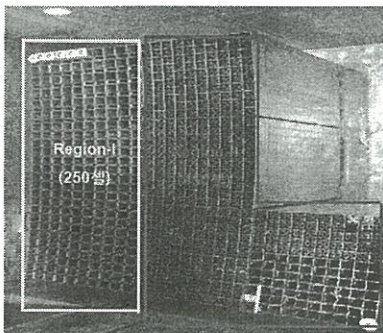
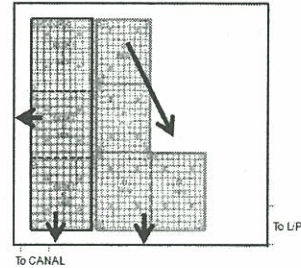
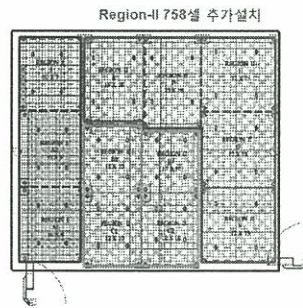


Fig. 1. Existing spent nuclear fuel racks



(a) existing racks



(b) new racks

Fig. 2. Arrangement of new spent nuclear fuel racks

#### 2.2 기술기준

사용후핵연료 저장대 추가설치로 인하여 기존 저장조 냉각계통의 냉각성능에 대한 건전성을 재평가하여야 하는데, 미국 10 CFR 50 Appendix A의 General Design Criteria 61[1]에 따르면 예상되는 저장조의 운전 및 사고 조건에 대하여 잔열제거능력을 구비하고 사고 시 냉각수 감소를 방지하여야 한다고 규정하고 있다.

상세요건으로는 저장조의 포괄온도가 정상조건에 대하여 허용온도(영광5,6 60°C, 울진5,6 49°C) 이하, 재장전조건 및 비정상조건에 대하여 60°C 이하이어야 하며, 비상조건에 대하여 저장조 수면온도는 국부비등이 없어야 하고 냉각기능 상실 후 연료상부 3m 수위까지 도달시간을 평가하여야 한다. 또한, 저장조 국부온도는 포화온도 115°C 이하, 연료의 피복재 온도는 허용치인 344°C 이하이어야 한다. 정상조건은 냉각계통 1개가 가동하고

저장연료와 1회 재장전노심, 재장전조건은 냉각계통 1개 가동 및 저장연료와 1회 전 노심, 비정상 조건은 냉각계통 2개 가동 및 저장연료, 1회 재장전노심과 1회 전 노심을 고려하고, 비상조건은 냉각계통의 기능이 상실되고 저장연료, 1회 재장전노심 및 1회 전 노심을 고려한다.

2.3 열수력 전산해석

기술기준에 따른 각 조건에 대하여 상용전산 해석프로그램인 FLUENT 코드 및 WINSTEAM 코드를 이용하여 저장조 포괄온도, 비등온도 도달 시간, 저장조 국부온도 및 연료의 피복재 온도 등을 계산하였다.

저장수 포괄온도 및 비등온도 도달시간 해석에 대하여 배출되는 연료는 일시에 저장조로 이동하고, 저장연료와 이송되는 연료는 원자로에서 최대 연소되며, 냉각계통 기능 상실은 저장조 냉각수가 최대온도일 때 발생하며, 저장조 주변온도는 40°C로 가정하였다. 저장조 국부온도 및 연료의 피복재 온도 계산은 저장대 상부의 개방구가 50% 막혀있고 배출연료는 붕괴열이 높은 것을 한 곳에 집중 배치하는 것으로 가정하였다.

2.4 해석결과 및 평가

정상, 재장전, 비정상 및 비상 조건을 기준으로 해석한 결과에 대하여(Fig. 3 참조) 저장조 냉각수의 최대포괄온도, 비등온도 도달시간, 연료상부 3m 수위 도달시간, 저장조 최대국부온도 및 연료의 최대피복재온도를 Table 1~Table 4에 각각 나타내었다.

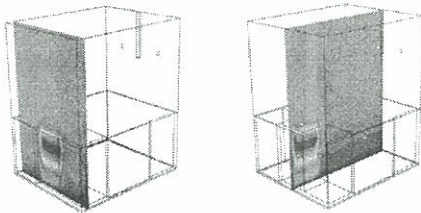


Fig. 3. Thermal hydraulic analysis

Table 1. Bulk temperature of the pool

구 분	최대포괄온도 (°C)	최대온도 도달시간(h)	허용온도(°C)	
정 상	47.9	159	영광	60
			울진	49
재장전	59.0	194	60	
비정상	51.6	484.5	60	

Table 2. Reaching time to boiling temperature

구 분	비등온도 도달시간(h)	연료상부 3m 도달시간(h)	냉각계통 복구시간(h)
정 상	8	59	8
재장전	3	32.5	8
비정상	2.5	22	8

Table 3. Local temperature of the pool

구 분	최대포괄온도 (°C) <sup>주</sup>	최대국부온도 (°C)	허용국부온도 (°C)
재장전	60	69	115
비정상	60	69	115
비 상	100	114	115

주) 보수적으로 계산치보다 높은 허용치 적용

Table 4. Fuel cladding temperature

구 분	최대국부온도 (°C)	최대피복재온도 (°C)	허용피복재온도 (°C)
재장전	69	80	344
비정상	69	81	344
비 상	114	127	344

사용후핵연료 저장조의 최대포괄온도는 각 조건에 대하여 영광5,6호기 및 울진5,6호기 각각의 허용온도 이하이므로 건전성을 유지하는 것으로 나타났다. 사용후핵연료 저장조의 냉각수가 증발하여 상부로부터 3m 수위에 도달하는 시간 이전에 저장조 냉각계통의 복구가 가능한 것으로 나타났다. 사용후핵연료 저장조의 최대국부온도 및 연료의 최대피복재온도 역시 각 조건에 대하여 허용치인 115°C와 344°C 이하로 관련 기술기준을 만족하여 저장조는 건전성을 유지하는 것으로 나타났다.

3. 결론

영광5,6호기 및 울진5,6호기의 사용후핵연료 저장조에 총 758셀의 신규 조밀저장대를 추가 설치하는 경우에 대하여 상용전산코드를 이용하여 열수력 해석을 수행하여 건전성을 평가하였는데, 조밀저장대를 추가 설치하여도 사용후핵연료 저장조는 관련규정의 기술기준을 모두 만족시키어 건전성을 충분히 유지하는 것으로 평가되었다.

4. 참고문헌

[1] US 10 CFR Part 50, Appendix A General Design Criteria for NPPs, 2010