



울진 1, 2호기 대규모 설비개선 효과



하수영
한국수력원자력(주) 정비기획처 설비기술팀장

1. 머리말

1978년 12월 호메이니 주도로 회교혁명을 일으킨 이란이 전면적인 석유수출 중단에 나서자 배럴당 13달러였던 유가는 20달러를 돌파하였다. 이듬해 일어난 이란과 이라크의 전쟁으로 30달러 벽이 깨졌고, 사우디아라비아가 석유 무기화를 천명한 1981년에는 두바이유가 39달러의 정점에 도달했다. 이 같은 2차 석유 파동은 우리나라의 1980년도 실질성장률을 경제개발이후 처음으로 마이너스 2.1%를 기록하게 했다.

정부와 한전은 당시의 국가적 에너지 위기를 극복하고자 울진1,2호기 건설에 매진하여 1988년 9월에는 울진1호기를, 그 다음해에는 2호기를 가동하게 되었다.

가동 이후 울진1,2호기는 약 3,000억 KWh의 전력을 생산하여 국가기간산업으로서의 임무를 충실히 수행하였으나 20여년이 지나는 동안 주요설비의 성능저하에 따라 설비 안전성을 지속적으로 유지하고자 대규모 설비교체 사업이 진행 중이다.

울진2호기 대규모 설비개선은 2011년 9월로 예정된 계획예방 정비기간에 이루어지며, 울진1호기는 2012년 2월로 예정된 계획예방 정비기간에 설비를 교체한다. 본 설비개선의 시기와 범위는 성능이 저하된 주요설비의 정비 및 검사비용, 설비고장 발생시 정지비용, 정비원의 방사선 피폭량, 성능 개선으로 인한 투자비 회수 등을 종합적으로 평가하여 결정하였다.

[표 1] 울진1,2호기 교체대상 주요설비

교체설비		공급 계약사	
증기발생기	설계/제작	WESTINGHOUSE/두산중공업	
	교체 시공	AREVA-대림산업 컨소시엄	
저압터빈	설계/제작·시공	ALSTOM/두중	
주전력설비	발전기	설계·제작·시공	두산중공업
	여자시스템	설계·제작·시공	두산중공업
	IPB, GCB, GIB	설계·제작·시공	준비중

2. 증기발생기 교체

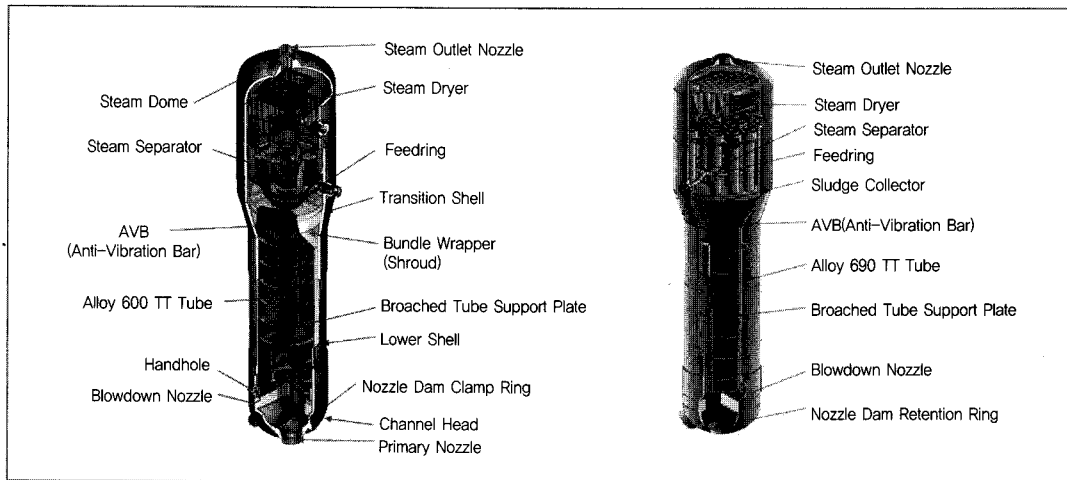
증기발생기는 원자로에서 발생한 열을 이용하여 터빈발전기의 동력원인 고압증기를 만들어내는 설비로써 열전달이 이루어지는 핵심부품인 전열관의 건전성은 증기발생기의 수명을 결정짓는다고 할 수 있다. 70년대 후반에 설계된 울진1,2호기 증기발생기 전열관은 열전달과 부식저항성이 최상인 Alloy-600TT로 제작되었으나 잔류응력에 의한 응력부식균열이 발견되어 관막음 및 예방 슬리빙률이 증가하여 교체 필요성이 대두되었다.

80년대 후반부터 세계적으로 증기발생기 전열관 재질은 열전달 능력은 약간 떨어지나 응력균열부식에 대한 저항성이 탁월한 Alloy-690TT를 사용하고 있다. 미국의 경우 80년대 후반 이후 현재까지 증기발생기를 교체한 원전 42개 호기 모두 Alloy-690TT 재질의 전열관을 사용하였다. 국내의 경우도 마찬가지로 고리1호기에 이어 두 번째로 교체되는 울진1,2호기 증기발생기도 전열관 재질을 Alloy-690TT로 채택하였다.

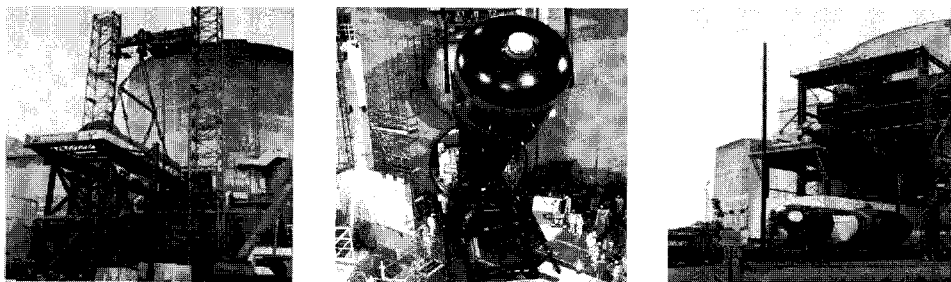
[표 2] Alloy-600TT와 690TT의 화학적 성분 비교

성분	600TT	690TT	비고
Ni	Min. 72	Min. 58	
Fe	6-10	7-11	
Cr	14-17	27-31	내부식성 강화
Cu	Max. 0.5	Max. 0.5	
Mn, C, Si, S	약간	약간	

새로 설치되는 증기발생기는 미국의 WESTINGHOUSE社가 설계하고 제작은 두산중공업이 맡고 있으며 특징으로써 Alloy-690 전열관 채택 외에 전열관의 잔류응력을 저감하기 위한 수압확관방식 채택, 방사선 피폭 저감을 위한 1차측 냉각수 접촉 표면의 전해연마처리, 수격현상 방지 및 이물질 유입 방지를 위한 급수노즐 설계를 들 수 있다. 이밖에도 전열관 지지판 개선, 습식 휴관설비 신설, 일체형 Channel Head 설계 등 최신기술을 설계와 제작에 반영하여 성능향상 및 안전성 확보를 꾀하였다.



[그림 1] 울진1,2호기 기존 증기발생기(좌) 대비 교체용 증기발생기(우) 내부 비교



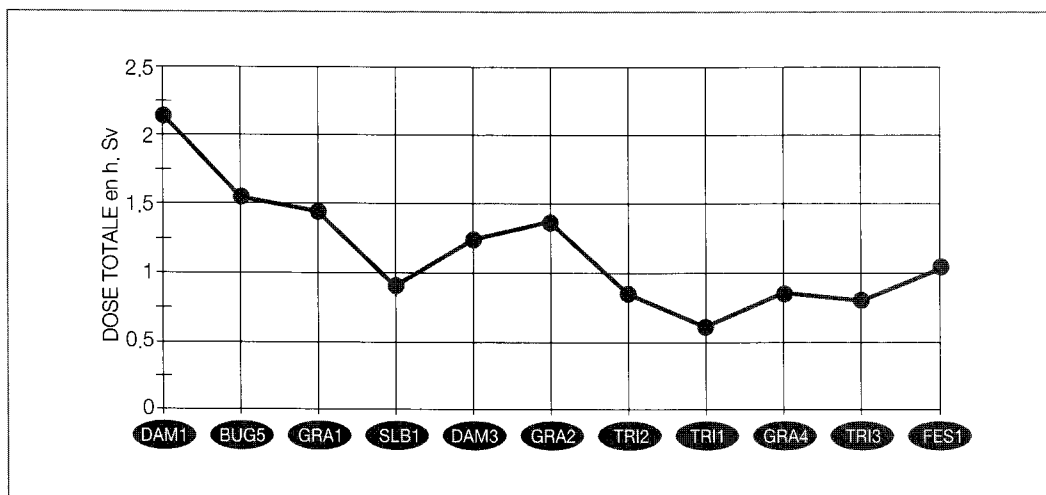
[그림 2] 증기발생기 교체 시공

증기발생기 교체 시공은 기존 증기발생기를 제거하고 신규 증기발생기를 설치하는 것으로써 국내에서는 1998년 고리1호기가, 해외에서는 미국의 Diablo Canyon 원전 등 84개 호기에서 (삭제) 교체한 경험이 있다.

울진1,2호기 증기발생기 교체 시공의 계약자는 AREVA-대림산업 컨소시엄이며 총 6대의 증기발생기(호기당 3대)를 교체한다.

교체 시공의 주요 역무는 증기발생기 교체 외에 기존 증기발생기 저장고 신설, 폴라크레인 임시 인양설비 설치, 증기발생기 이송, 방사성 물질의 제염 등이다.

특히 이번 교체시공은 증기발생기를 일체형(One Piece)으로 교체하여 공사기간을 단축하고 원자로냉각재 배관의 원격 절단 및 협개선 용접(Narrow Gap Welding)을 함으로써 방사선 피폭을 감소시키는데 큰 특징이 있다. 본 교체시공을 담당하는 아레바는 울진1,2호기 원전 설계기술을 보유하고 있으며 그동안 프랑스 및 해외에서 반복적으로 증기발생기를 교체한 경험을 바탕으로 기술력을 크게 향상시켜 교체에 따른 방사선 피폭선량을 저감시키는데 주력하여 왔다.



[표 3] 증기발생기 교체에 따른 방사선 피폭 추이 (AREVA社 실적)

3. 저압터빈 교체

울진1,2호기 저압터빈은 장기운전으로 인해 터빈의 동익손상이 빈번하게 발생하여 정비비용이 증가함에 따라 근본적인 고장발생을 최소화하기 위해서 교체를 결정하였다. 계약자는 ALSTOM-두산중공업 컨소시엄이며 저압터빈의 회전체 6대(호기당 3대)를 증기발생기 교체시기에 맞추어 교체할 예정이다. 교체후 출력은 기존대비 약17MWe 증가하며 정비주기는 기존 5년에서 10년으로, 운전수명은 40년 이상으로 향상될 전망이다. 또한 기존 저압터빈의 공진문제를 해결하기 위해 동익 수량 및 터빈 단수 증가 등 신기술이 적용된 터빈으로 제작된다.

[표 4] 교체 전, 후 터빈 특성비교

항 목	현재 저압터빈	신규 저압터빈
제작방법	Welded Drum Type Rotor	Welded Drum Type Rotor
터빈형식	충동터빈	반동터빈
터빈단수	7단	11단
최종단 동익 길이	47"	47"

4. 발전기 등 주전력설비 교체

주전력설비라 함은 발전기에서 스위치야드 접속점까지의 전력설비를 말하며, 금번 교체대상은 발전기, 여자기, 발전기 차단기, 상분리모선, 가스절연모선 등이 있다.

울진1,2호기 주전력설비 교체는 장기 사용으로 인한 잦은 고장으로 정비비용의 상승, 부품 단종에 따른 가격상승 및 품질저하에 따른 설비 신뢰도 저하 문제를 해결하고 또한 터빈 및 습분분리 재열기 교체에 따른 전기출력 증가분과 향후 출력증강을 고려하여 현재보다 용량을 증대하여 교체한다.

[표 5] 주전력설비 교체시 고려사항

고려항목	출력증가 효과		
	예상 최대 증가량	개선 후 출력	
MSR 교체	13MW	998MW (1108.9MVA)	
LP 터빈 개선	20MW	1,018MW (1131.1MVA)	
출력증강 ^{주1)}	고압터빈 개조	49MW	1,067MW (1185.6MVA)
	MUR ^{주2)}	16MW	1,083MW (1203.3MVA)
여자기 제거	5MW	1,088MW (1208.9MVA)	

5. 맺 음 말

지금까지 기술한 울진1,2호기 주요설비 교체 외에 고압터빈, 노내 및 노외 핵계측 설비, 제어봉 설비, 방사선 감시설비, 스위치 야드 등도 증기발생기 교체에 맞추어 최신설비로 교체할 예정이며, 본 설비개선 사업이 성공적으로 완료되면 다음과 같은 효과가 나타날 것으로 기대된다.

첫째, 발전소 안전성 및 일반국민의 원전 수용성 향상이다.

울진1,2호기 노후설비 교체는 고장으로 인한 불시정지를 현격히 감소시킬 것이며, 증기발생기 전열관 누설 제로화로 안전성은 향상되어 규제기관이나 일반국민의 원전 수용성은 개선될 것이다.

둘째, 울진1,2호기의 경제성 향상이다.

최신 기술을 반영한 저압터빈과 습분분리 재열기 교체를 통해 효율은 향상시키고, 노후설비의 정비비용 및 불시정지로 인한 발전중단 비용을 낮추게 됨으로써 설비개선사업 투자비용 약 6,800억원을 11년 내에 회수하고(출력증강이 적기에 이루어지면 7년 내에 투자비용 회수 가능) 이후 설계수명까지 경제성을 확보할 것이다.

원전 주요설비의 교체는 그 자체가 안전성이 증명되고 국민의 건강과 안전이 완벽히 보장되는 범위에서 이루어져야한다. 이를 위해 사업자는 정밀한 평가와 해석을 통해 설비교체 모든 과정의 안전성을 입증할 것이다. 이와 함께 공정, 품질, 기술, 예산 등 모든 사업관리를 철저히 하여 새롭게 태어나는 울진1,2호기가 저탄소 녹색성장의 주역이 될 수 있도록 최선을 다할 것이다. KEA

-
- 주1). 출력증강은 가동원전의 발전설비가 보유하고 있는 설계상의 안전여유분을 상세하게 재평가하여 출력을 상승시키는 방법이다.
 - 주2). 소규모 출력증강 방법인 MUR(Measurement Uncertainty Recapture)은 급수유량 측정방법을 정밀하게 개선하여 열 출력을 증가시키는 방법이다.