

국내 원자력발전소 증기발생기 관리프로그램 추진 방안

정한섭
한국전력공사 전력연구원

Implementation of Steam Generator Management Program for Korean Nuclear Power Plants

Chung, Han-sub
Korea Electric Power Research Institute

1. 서론

국내에서는 현재 총 18기의 원자력발전소를 운전하고 있다. 2002년 6월 기준으로 원자력발전설비 용량은 총 14,716kW로서 전체발전설비 용량의 28%를 차지하며 2001년 원자력발전량은 58,222 백만kWh로서 전체의 39%를 차지할 만큼 국내 에너지공급원으로서 큰 기여를 하고 있다. 원자력발전소가 향후에도 지속적으로 주요 에너지공급원으로서 역할을 수행하기 위해서는 무엇보다도 안전성에 대한 신뢰성을 확보해야 할 것이다.

원전의 안전성에 대한 신뢰를 확보하기 위한 노력의 일환으로 국내 전호기를 대상으로 2005년부터 증기발생기관리프로그램(SGMP : Steam Generator Management Program)을 실행하고자 한다. 본 논문은 증기발생기관리프로그램의 배경과 실행내용을 기술하고자 한다.

2. 본문

2.1 증기발생기의 기능 및 구조

국내에서 운전 중인 원자력발전소는 모두 가압경수로 또는 가압중수로 형 발전소이다. 이는 비등경수로 형 원자로와 구분되는 설계개념으로서 핵연료가 핵분열반응을 일으키면서 발생하는 열을 제거하는 냉각재계통(일차계통)은 밀폐된 상태로 순환하며 터빈에 증기를 제공하는 주증기계통(이차계통)과 분리되어 있다. 즉, 증기발생기를 통하여 일차계통에서 이차계통으로 열에너지가 이동하는 것이다. 반면 비등경수로 발전소는 원자로에서 냉각재가 비등되어 생성된 증기가 터빈에 직접 공급되는 설계 개념이다.

증기발생기는 그림 1에 나타낸 바와 같이 직경이 1 inch가 채 안되는 열 교환 튜브가 U자형 다발로 구성된다. 하부 헤드는 양쪽으로 차단되어 있으며 한쪽으로는 원자로에서 나오는 고온의 냉각재가 공급되어 튜브 안쪽을 통하여 반대편 헤드로 흐르면서 이차계통에 열을 공급한다. 고온의 냉각재가 공급되는 헤드를 고온부(hot leg), 이차계통으로 열을 전달하고 나오는 헤드를 저온부(cold leg)라 부른다. 증기발생기 이차측은 튜브를 지지하는 지지구조물과 상부의 습분 분리장치로 구성된다.

2.2 증기발생기 손상

증기발생기는 가압형 원자로의 일차계통과 이차계통이 만나는 곳으로서 이차계통으로부터 급수를 공급받아 일차계통의 열로서 비등시킨 후 터빈으로 주 증기를 공급한다. 300℃ 이상 고온에서 설계수명인 40년 또는 그 이상 오랜 시간동안 운전하므로 다양한 손상원인이 존재한다.

첫째로는 고속의 냉각수가 흐르면서 전열관의 미세한 진동을 유발하여 지

지구조물과 전열관이 반복하여 접촉하면서 전열관의 마모손상을 일으킬 수 있다. 둘째로는 전열관의 부식손상이 발생할 수 있다. 급수를 통하여서 공급되는 물은 부식을 억제하기 위하여 상온 pH를 9.5 정도로 맞춘 환원성 환경의 수질로서 불순성분의 함량을 극히 낮은 수준으로 제어한다. 그러나 비등반응이 진행하면서 일부 불순성분의 농축이 진행하여 응력부식균열과 같은 부식반응이 발생할 수 있다.

증기발생기의 건전성을 확보하기 위한 연구개발은 괄목할 만큼 성과를 이루었다. 1980년대 초반에는 증기발생기의 손상에 따른 원전의 가동률 손실이 7%를 초과한 사례도 있으나 1990년대 후반에는 2% 선으로 하락하였다. 그림 2는 전 세계 원전에서 연도별 증기발생기 전열관 정비개수를 보이고 있다. 최근 들어서 전열관 정비개수가 많이 줄어드는 경향임을 확인할 수 있다. 기술개발의 결과로 증기발생기의 손상이 많이 완화되었으나 아직도 많은 전열관을 정비해야할 만큼 손상이 지속적으로 발생하고 있는 실정임을 알 수 있다. 증기발생기 손상이 감소하는 추세를 나타낸은 다음과 같은 요인에 의한 것이다.

- 전열관 재질 개선 : 기존의 Alloy 600MA(Mill Annealed)보다 부식저항성이 우수한 Alloy 600TT(Thermally Treated) 또는 Alloy 690TT를 개발.
- 증기발생기 설계 및 제작공정 개선 : 신규 원전의 건설 또는 증기발생기 교체 시에 개선된 모델을 채택
- 수질관리, 검사 및 정비기술 개선

2.3 증기발생기 관리프로그램

기술적인 발전에 의해서 증기발생기 전열관의 손상은 괄목할 만큼 감소하는 추세를 나타내고 있으나 여전히 상당히 많은 전열관의 손상이 발생하고 있는 추세이다. 특히 원자력발전 설비의 건전성에 대한 사회적인 관심이 고조되면서 예전보다는 훨씬 엄격한 신뢰성을 요구하고 있다. 전력회사에서도 수질관리와 예방정비를 강화하고 엄격한 검사와 정비프로그램을 실행함으로써 설비의 신뢰성을 확보하기 위한 노력이 매우 중요한 현안인 것이다. 즉, 원자

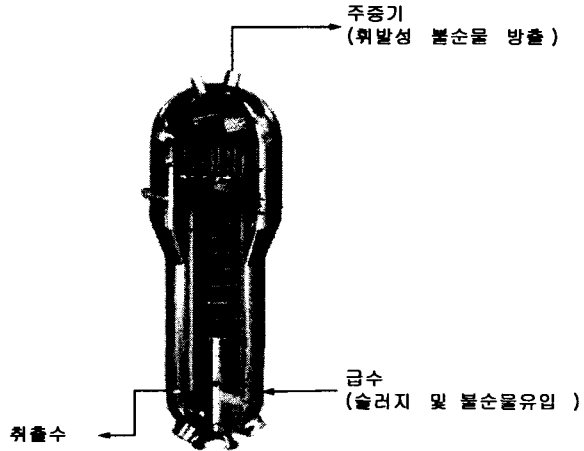


그림 1 증기발생기 구조

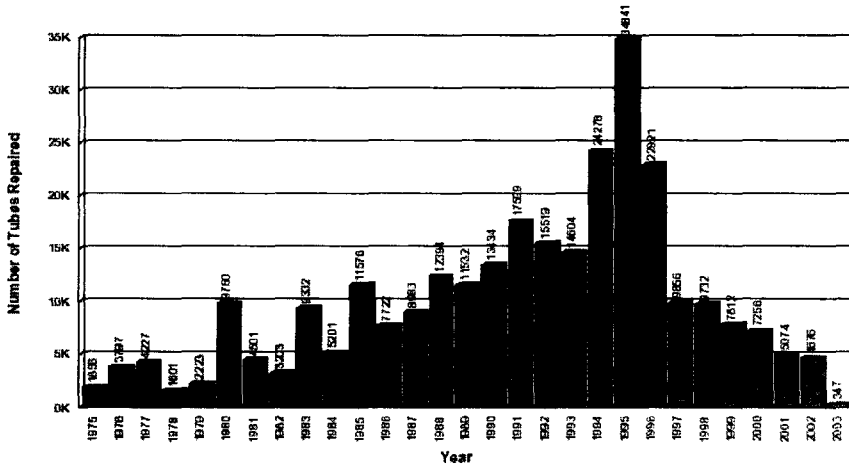


그림 2 연도별 전 세계 원전 증기발생기 전열관 정비 개수

력발전설비의 안전성에 대한 신뢰를 확보하는 동시에 가동 중 불시정지를 예방하고 설비의 수명을 연장할 수 있는 것이다.

미국은 1999년부터 모든 가압경수로 원전에서 NEI 97-06 문서를 준수하는 증기발생기 관리프로그램을 실행하고 있다. 이의 핵심은 다음과 같다.

- 증기발생기의 건전성을 확보하기 위한 전열관의 성능기준(performance criteria)을 설정하고 이를 만족함을 정량적으로 감시한다. 성능기준은 전열관의 파열을 막기 위한 구조건전성기준과 누설에 의한 피해를 예방하기 위한 누설건전성기준으로 구성된다. 검사주기, 결함의 성장속도, 재질특성, 검사오차 등을 매주기마다 정량적으로 평가하여 성능기준을 만족함을 감시하는 체제로 운전하는 것이다.
- 미국 중앙전력연구소(EPRI : Electric Power Research Institute)에서 발간한 제반 지침서를 준수함으로써 신뢰성 있는 관리프로그램을 운영한다. 제반 절차서는 수질 관리, 누설관리, 검사, 건전성평가 및 정비 등 분야별로 전력회사가 준수해야 할 요건을 제시하는 것이다.

국내에서는 2005년부터 전호기를 대상으로 NEI 97-06 문서를 준수하는 증기발생기관리프로그램을 실행하고자 준비 중이다. 증기발생기 관리프로그램 실행체계를 그림 3에 나타내었다. 계획예방정비를 전후하여 결함평가(DA; Degradation Assessment), 상태감시평가(CM; Condition Monitoring Assessment), 운전평가(OA; Operation Assessment) 3단계로 건전성평가를 수행하는 것이다. 증기발생기관리프로그램을 실행하고자 사전준비의 핵심은 다음과 같다.

- 증기발생기 관리프로그램 통합지침서 작성 : 증기발생기의 운영과 정비에 필요한 검사, 정비, 수질관리, 누설관리, 정비, 규제기관보고 등 제반 요소에 대한 절차와 기준을 통합지침서로 작성한 후 규제기관의 승인을 받을 예정이다.
- 건전성평가기술 확보 : 결함유형별 검사기술별 검사오차, 전열관의 파열 및 누설

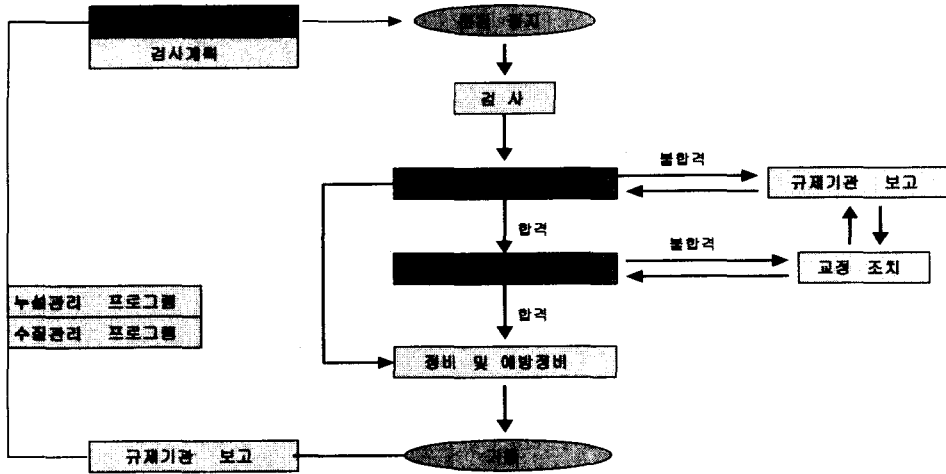


그림 3 증기발생기 관리프로그램 추진체계

예측모델, 결함의 생성 및 성장추세 예측 모델 등 성능기준 기반 정량적인 건전성 평가 기술을 확보하고 2003년부터 4개 원전에 대한 건전성평가 시범적용을 착수한다.

증기발생기 관리프로그램을 실행함으로써 증기발생기의 건전성에 대한 확실한 기술적인 근거를 확보할 수 있다. 즉, 충분히 보수적인 방법으로 정량적인 평가를 수행하여 성능기준을 만족함을 감시하면서 운전하는 체계를 가동하는 것이다. 아울러 검사, 정비, 수질관리, 누설관리, 건전성평가 등 증기발생기를 관리하기 위해서 필요한 제반 요소들을 기술적으로 일관성 있는 절차와 기준에 맞춤으로서 운영효율을 향상시킬 수 있다.

3. 결론

2005년부터 국내의 모든 원전을 대상으로 미국 NEI 97-06 문서를 준수하는 증기발생기 관리프로그램을 실행하고자한다. 원전설비의 신뢰성을 향상시키면서 동시에 전력회사의 증기발생기 관리를 위한 투자의 효율성을 증대시킬 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] Nuclear Energy Institute 97-06[Rev 1], "Steam Generator Program Guidelines" January 2001