

한국의 주기적 안전성 평가 추진 계획과 현황

홍승열 · 김태룡 · 김범년 · 양준석
한전 전력연구원

김대겸 · 박병록
한국수력원자력(주)

서 언

국제원자력기구(IAEA)는 오래된 원전의 안전성 유지와 증진에 대해 회원국들의 노력을 촉구하고 있으며 궁극적으로는 새로운 원전의 건설보다는 가동중인 원전의 안전성 유지가 향후 원자력계의 중요 사회적 현안임을 강조하고 있다.

또한 국제원자력기구는 원전 운영과 안전 문화 측면에서 일련의 안전 지침(Safety Guideline)을 Safety Series 형태로 개발하고 있으며 각 협약국들은 이를 참조하도록 권고하고 있다. 특히 가동 원전의 주기적 안전성 평가에 관한 지침은 많은 국가에서 매우 효과적으로 활용되고 있다. 그러나 국가별로 가동중인 원전에 대한 안전성 증진 관련 제도와 정책은 다양하다.

한국은 발전용 원자로로 운영 허가된 18기의 발전소를 보유하고 있다. 총가동 연수는 2002년 현재 189 원자로·년이며, 이 운전 기록은 앞으로 매우 빠른 성장을 보일 것이다.

한국은 지금까지 원전을 운영하면서 국제 원자력 사건 등급 구분에 의한 사고는 1등급 단 1건 밖에 없을 만큼 매우 높은 원자력 안전성을 유지하고 있다.

이러한 안정된 원전 운영 기반에서 한국 정부와 한국수력원자력(주)는 국제원자력기구에서 권고하는 바를 받아들여 국제적 의무를 다함과 동시에 보다 높은 수준으로 안전성을 증진하기 위한 제도적 장치로써 주기적 안전성 평가 제도를 채택하고 있다.

한국 정부는 1999년 12월 원자력

안전위원회 의결에 따라 주기적 안전성 평가 제도 도입을 결정하고 이어 법적 기반을 정립하였다.

즉 원자력법 개정을 통해 주기적 안전성 평가 제도 시행을 의무화하고 이를 시행하기 위한 시행령·시행규칙 및 기술기준, 그리고 관련된 시행 일정에 대한 과학기술부 고시를 제정하는 등 전반적인 이행 기반을 2002년 1월까지 마무리하였다.

이에 따라서 한국수력원자력(주)는 가동중인 18개 원전에 대한 주기적 안전성 평가 시행을 위한 기본 계획을 2000년 5월에 수립하고 고리 1호기 주기적 안전성 평가를 같은 시기에 착수하였다.

현재 한국에서는 고리 1호기, 월성 1호기, 고리 2호기 및 고리 3·4호기 등 총 5개 호기에 대한 주기적 안전성 평가 프로그램이 진행중이다.

〈표 1〉 주기적 안전성 평가 추진 현황표

원전	노형	설비 용량	상업 운전일	주기적 안전성 평가 수행 기간
고리 1호기	가압경수로	586MW	1978. 4.	2000. 05 ~ 2002. 11
월성 1호기	가압중수로	678MW	1983. 4.	2001. 05 ~ 2003. 06
고리 2호기	가압경수로	650MW	1983. 7.	2002. 04 ~ 2003. 12
고리 3·4호기	가압경수로	950MW	1985. 8.	2002. 07 ~ 2004. 06
		950MW	1986. 4.	

본 논문에서는 한국에서 수행하고 있는 주기적 안전성 평가 제도의 시행 현황과 계획, 그리고 현재까지의 수행 경험을 종합적으로 설명하고자 한다.

가동 원전 주기적 안전성 평가 추진 현황

1. 법적 기반

한국 정부는 가동 원전에 대한 주기적 안전성 평가 제도 시행을 위한 평가 방법 및 기준, 평가 내용 등에 관한 요건을 정하기 위해 원자력법과 시행령을 2001년도 1월 및 7월에 각각 개정, 공포하였다. 주요 내용은 다음과 같다

가. 평가 시기

해당 원전의 운영 허가를 받은 날부터 매 10년이 되는 날을 평가 기준일로 하여 평가 기준일로부터 1년 6월 이내에 평가 보고서를 제출한다.

나. 평가 범위 및 내용

평가 범위는 원자로 안전에 관한 모든 시설과 운영 체제이며, 평가 내용은 원자로 시설의 평가 당시의 물리적 상태에 관한 사항, 안전성 분석에 관한 사항, 기기 검증에 관한 사항, 경년 열화에 관한 사항, 안전 성능에 관한 사항, 원전 운전 경험 및 연구 결과의 활용에 관한 사항, 운영 및 보수 등의 절차서에 관한 사항, 조직 및 행정에 관한 사

항, 인적 요소에 관한 사항, 비상 계획에 관한 사항, 환경 영향에 관한 사항 등 11개 항목으로서, IAEA에서 권고하는 11개 안전 인자(Safety Factors)와 동일하다.

다. 평가 기준 및 방법

주기적 안전성 평가 당시 해당 원자로 시설에 유효한 기술 기준을 활용하여 평가하며, 해당 원자로 시설의 종합적인 안전성은 11개 항목에 대한 평가 내용과 그 평가에 따른 안전 조치 결과를 고려하여 종합적으로 판단한다.

2. 수행 현황

2000년 5월에 고리 1호기가 주기적 안전성 평가 시범 호기로 착수된 이래, 현재 월성 1호기, 고리 2호기 및 고리 3·4호기 등 5개 호기에 대한 주기적 안전성 평가 프로그램이 진행중에 있으며, 수행 현황은 〈표 1〉과 같다.

3. 추진 체계

주기적 안전성 평가 추진 체계는 과학기술부가 주기적 안전성 평가 시행 지침을 수립하고, 운영자인 한국수력원자력(주)가 주기적 안전성 평가 이행 계획을 수립, 평가를 실시하고, 규제 기관인 한국원자력안전기술원이 그 결과를 심사하여 과학기술부에 보고하는 방식으로 되

어 있다.

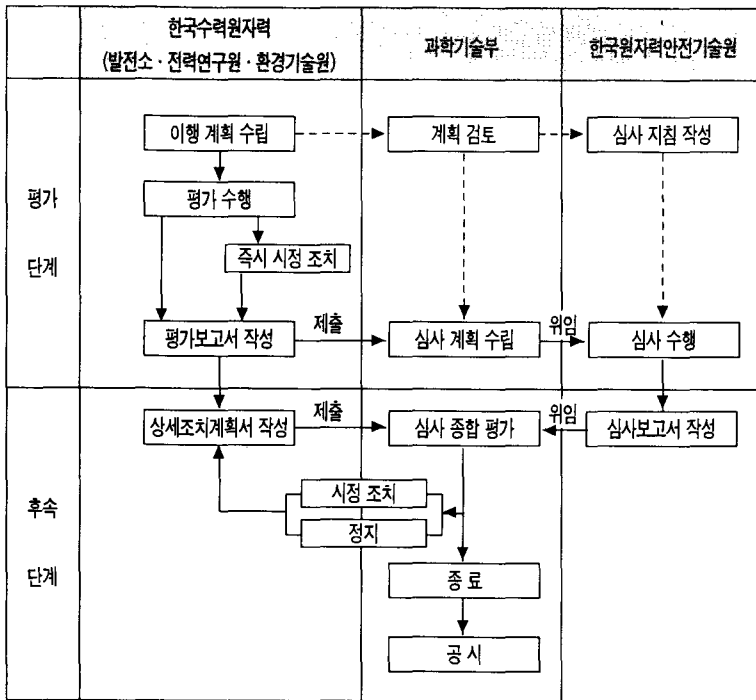
원전 운영자인 한국수력원자력(주) 본사가 가동 원전 주기적 안전성 평가에 관한 전반적인 시행 계획 수립 및 정부와 관련한 모든 정책적인 업무를 총괄하고 고리·월성 등을 포함한 각각의 발전소에서는 주기적 안전성 평가 시행 전담 부서를 운영중에 있다.

해당 발전소별 주기적 안전성 평가 시행 계획에 따라 평가 실제 업무는 원자력 기술 개발을 담당하고 있는 전력연구원 및 환경기술원에서 발전소 전담 부서와 함께 수행하고 있다. 현재 전력연구원은 고리 1호기, 월성 1호기 및 고리 2호기에 대한 주기적 안전성 평가를 수행하고, 환경기술원은 고리 3,4호기에 대한 주기적 안전성 평가를 주관 수행하고 있다.

4. 평가 범위 및 내용

평가 범위는 2001년 7월에 개정, 공포된 원자력법 시행령 제42조 3(주기적 안전성 평가 내용) 및 시행규칙 제19조의 2(주기적 안전성 평가 세부 내용)의 규정에 따라 '경년 열화에 관한 사항' 등 11개 평가 인자와 이에 따른 세부 항목으로 정하고 있다.

평가 분야는 주기적 안전성 평가의 효율성과 분야별 전문성을 고려



〈그림 1〉 주기적 안전성 평가 추진 체계도

하여 '사업 운영'과 '평가 수행'으로 크게 구분하여, 발전소 상태, 안전성 분석, 방사선 안전, 발전소 운영 관리 및 종합 관리 분야 등 5개 대분야로 분류하고, 이를 다시 10~13개 세부 분야로 구성하여 추진 중이다.

총 10~13개 세부 분야는 한국 내 유관 기관의 분야 분담 및 전문화 필요에 의거하여 한국수력원자력(주) 사업 주도하에 호기에 따라 전력연구원 또는 환경기술원 수행 분과 외부 기관 위탁분으로 나누어 균형있게 추진하고 있다. 대표적인 주기적 안전성 평가 세부 업무 내용은 <표 2>와 같다.

평가 내용으로서, 발전소 현상태 분야에서는 원자로 시설의 평가 당시 물리적인 상태를 파악하고 현재 유효한 기록이 원전의 상태를 정확히 나타내고 있는지의 여부를 확인

한다. 또한 원자로 시설의 주요 안전 관련 설비가 설계 수명 기간 동안에 의도된 안전 기능을 수행할 수 있음이 검증되어 있는지 확인하고, 요구되는 안전 여유도를 유지하기 위하여 원자로 시설의 계통·기기·구조물의 경년 열화가 효과적으로 관리되고 있는지 여부와 향후 원전 안전 운전을 위하여 적절한 경년 열화 관리 계획이 확립되어 있는지를 확인한다.

안전성 분석 분야에서는 원자로 시설의 평가 당시의 상태 및 수명 종료시의 상태를 고려하고 현행 분석방법 및 안전 기준과 지식을 적용하여 기존 안전성 분석이 어느 정도 타당성을 유지하고 있는지 확인한다. 또한 원자로 시설의 안전 성능과 운전 경험에 관한 기록의 조사 및 분석을 통해서 안전 성능의 변화 경향을 확인한다.

방사선 안전 분야에서는 원자로 시설의 비상 사태 대응에 적합한 계획과 인원·설비 및 기기를 갖추고 있는지, 비상 체제가 지방 자체 단체 및 중앙 정부 기구와 유기적 협조 관계가 유지되고 있는지, 정기적인 훈련이 이루어지고 있는지 확인한다. 또한 원자로 시설의 환경 영향 감시 계획이 적절히 수립되고 이행되고 있는지 확인한다.

발전소 운영 관리 분야에서는 조직과 행정이 원자로 시설의 안전 운전을 위해 적절하게 운영되고 있는지 확인하며, 원자로 시설의 안전 운전에 영향을 줄 수 있는 다양한 인적 요소의 관리 상태를 확인한다.

또한 원자로 시설의 운전·보수·점검·시험·변경 및 비상 대응을 위한 절차서가 적절한 기준에 따라 작성되어 있는가를 확인한다.

5. 추진 방법

주기적 안전성 평가 추진 방법 및 절차는 <그림 2>에서 제시한 바와 같이 결정론적 평가방법을 기본으로 하고 확률론적 방법을 보완적으로 활용하는 것을 기본 원칙으로 한다.

현장 실사와 점검을 통해 설비의 현재 상태를 확인하고, 필요시 면담 및 시험 분석을 통한 진단 평가를 병행한다. 후속 보완 조치 또는 안전성 향상을 위한 개선 방안은 결론으로 제시된다. 평가 수행중에도 지속적으로 규제 기관과 협의를 통해

〈표 2〉 주기적 안전성 평가 세부 업무 구분(예)

대분야	중분야	세부 분야(과제)	비고	
사업 운영		종합 관리	전산 운영 체제 운용	
평가 수행	발전소 현상태	경년 열화	경년 열화 평가 I	피동형 기기 평가
			경년 열화 평가 II	현재 물리적 상태 및 능동형 기기 평가
		기기 검증	내환경 검증 평가	-
			기기 내진 검증 평가	-
	안전성 분석	안전 해석	안전 해석 평가 I	사고 해석 평가
			안전 해석 평가 II	설계 안전성 평가
			비상 운전 절차서 평가	-
		안전 성능	안전 성능 평가	-
	방사선 안전	방사선	방사선 방호 평가	-
		비상/환경	비상 계획/환경 영향 평가	-
발전소 운영 관리	조직 행정	조직/인적 자원/절차서 관리	-	
	인간 공학	인간 공학 평가	-	

추진 실적을 점검하고, 주요 현안 사항 및 문제점에 대한 해결 방안을 검토하고 있다. 평가 완료 후 후속 조치를 위해 안전성 개선 사항은 설비 개선, 운영개선 및 제도 개선 등으로 구분하며, 안전 중요도 및 시급성 그리고 소요 기간 및 비용 등을 고려하여 우선 순위를 결정한다.

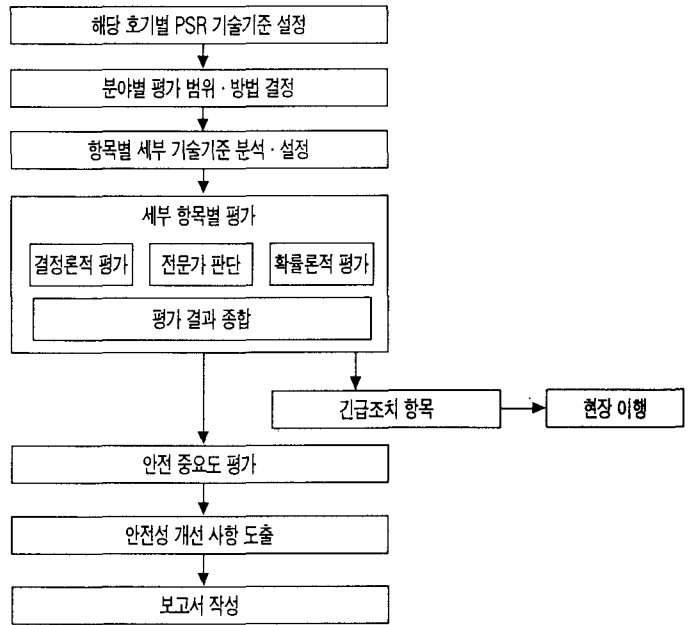
주기적 안전성 평가 수행 경험

한국 정부와 원전 운영자인 한국수력원자력(주)는 주기적 안전성 평가 첫 대상 발전소로 고리 1호기를 선정하였다.

고리 1호기는 주기적 안전성 평가 수행과 평가 방법론 설정을 병행하여 추진함으로 인해 수행 초기에는 다소의 시행 착오는 있었지만 지금은 대부분의 문제점을 해결한 상태이다. 규제 기관에서는 후속적으로 고리 1호기 주기적 안전성 평가 보고서에 대한 심사 세부 계획을 수립하고 있으며, 2003년도 말에는 기본적인 주기적 안전성 평가 총괄 수행 체계 및 심사 체계가 완성될 것으로 전망되며, 현재까지의 수행 과정에서 얻은 주요 경험은 다음과 같다.

1. 규제 기관과 긴밀한 업무 협의 필요

국제원자력기구는 주기적 안전성 평가 제도의 원활한 시행을 위해서 원전 운영자와 규제 기관이 주기적



〈그림 2〉 주기적 안전성 평가 추진 방법 및 절차

안전성 평가의 제반 범위와 요건, 그리고 일정 및 결과물에 대해서 사전에 충분히 협의하고 수행하도록 권고하고 있다.

고리 1호기의 경우 법령이 제정되기 이전에 주기적 안전성 평가를 착수한 발전소로서, 주기적 안전성 평가에 관한 기본적인 지침을 제공

하기 위해 정부는 주기적 안전성 평가 수행 지침을 제공하였다.

그 이후 법령 체제 정비를 위하여 운영자와 많은 협의를 추진하였다. '주기적 안전성 평가 실무협의회', '주기적 안전성 평가 추진협의회' 등이 바로 초기 단계에서 이루어졌던 주기적 안전성 평가에 관련한 규



제 기관과 원전 운영자 사이의 협의체였다.

2. 세부 기술 기준 분석 필요

평가시 적용하는 기술 기준은 기본적으로 법령상의 기술 기준을 기본으로 하고, 법령에 구체적으로 명시되어 있지 않은 세부 사항에 대해서는 평가 수행 당시 호기별로 유효한 기술 기준을 활용하여 평가하고 있다. 이와 같은 과정을 통해서 고리 1호기의 현행 인허가 기반이 확립되었으며 이 자료들은 후속적인 안전성 평가의 중요 기준으로 활용되었다.

3. 종합 평가 전문 기술 인력 양성

현재 수행중인 5개 호기에 대한 주기적 안전성 평가 경험으로 볼 때 한국에서는 1개 발전소 주기적 안전성 평가 수행에 약 24개월 내외의 기간과 약 45~50 인·년의 전문 인력이 필요한 것으로 나타났다.

향후 한국에서는 사업자는 평균적으로 매년 약 3건의 주기적 안전성 평가를 수행하고, 규제 기관에서는 평균적으로 약 2건의 주기적 안전성 평가 보고서 심사를 수행할 것으로 예상된다.

본 제도는 아직 심사가 시작되지 않은 단계이며 주기적 안전성 평가의 후속 조치(안전성 개선 조치)도 본격적으로 시작되지 않고 있어 현재의 체제와 전담 인력은 지속적으로

로 확충될 계획이지만 이에 대비한 전문 인력 확보도 매우 중요한 요소로 제기될 수 있다.

즉 각 분야 기술 전문가로 구성되어 지속적으로 주기적 안전성 평가를 전문적으로 수행할 내부 기술 인력 양성이 필요하다. 또한 장기적으로 주기적 안전성 평가를 향후 '계속 운영' 제도의 기반으로 활용할 계획이므로 장수명 관리와 연계한 전문 평가 및 관리 기술 인력 양성이 중요 과제일 수 있다.

맺음말

한국은 2002년 9월 현재 14,716 MW의 원전 시설 용량을 갖고 있으며, 1000MW급 한국 표준형 원자로에 이어 1400MW급 신형경수로 설계 기술을 개발한 국가이다.

또한 고리 3호기가 지난 9월 2일 497일의 무정지 운전을 기록하고 2001년도의 경우 16개 호기의 평균 이용률이 93.2%로써 세계 평균보다 높은 점 등 안정된 운영 기술을 시사하고 있다. 그러나 절대적인 안전성이 확보되지 않고는 높은 이용률이나 낮은 불시 정지율(0.5회/발전소)이 유지될 수 없다.

이를 위해 한국은 원전의 종합적 안전성평가 방안인 주기적 안전성평가 제도를 2000년부터 도입해 시행함으로써 원전 안전성 향상을 위해 가일층 노력하고 있다.

2000년 고리 1호기를 시작으로 하여 현재 5개 호기에 대한 주기적 안전성 평가가 진행중이며, 향후 모든 원전에 대해 매 10년마다 평가가 수행될 예정이다.

주기적 안전성 평가는 기본적으로 현재 상태에서 원전의 안전성을 확인하고 향후 계속 운영을 위한 성능 진단 및 안전 여유도 등을 확인하는 것이기 때문에, 설계 수명 이후 원전의 계속 운영과도 직접 연계가 가능하다고 본다.

따라서 한국의 원전에서도 원전의 설계 수명이 도래하기 전까지는 주기적 안전성 평가를 통해 원전의 설비 및 운영을 개선하여 안전성을 지속적으로 향상시키고, 설계 수명 도래시에는 설계 수명 이후 계속 운영 여부 판단을 위한 주요 수단으로 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

한국은 앞으로 가압경수로형 및 가압중수로형, 그리고 오래된 원전 및 비교적 신형 원전에 대한 주기적 안전성 평가를 경험하는 유일한 국가가 될 것이다. 또한 다수 호기를 동시에 수행하는 독특한 체제를 갖추게 되어 주기적 안전성 평가가 가동 원전의 안전성 향상과 계속 운영에 관련한 중요 수단으로 정착될 것으로 전망되기 때문에 활발한 국제적 협력과 경험 교류가 필요하며, 특히 오래된 원전을 다수 보유하고 있는 일본 원자력 산업계와의 협력은 더욱 중요하다. ☞