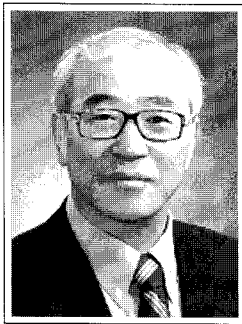




원전 주기적 안전성 평가 제도의 고찰

김 효 정

한국원자력안전기술원 규제심의위원



연세대 기계공학과 학사, 석사
미국 노스웨스턴대 기계공학 박사

한국원자력연구소 실장(책임연구원)
한국원자력안전기술원 실장, PM, 연구
부장
KAIST, 연세대, 경희대 겸직교수/강사
과기부 원자력연구개발 총괄조정위원
국가 R&D 에너지자원 전문위원회 위원
원자력안전위원회 원자로계통, 정책제
도 위원/간사
OECD 원자력시설안전위원회 위원

개 요

원전의 가동 연수의 증가와 노후화에 따른 새로운 안전 현안의 발생, 운전 경험의 축적, 안전 개념 변천에 따른 안전 기준의 변화 및 해석 기법의 진보 등으로 기존의 안전성 보장 활동만으로 가동 원전의 종합적인 안전을 보장할 수 있는지에 대한 의문이 제기되었다.

이에 따라 1999년 12월 제11차 원자력안전위원회에서는 가동 원전의 안전성 확인 및 향상을 위하여 주기적 안전성 평가(Periodic Safety Review : PSR) 추진 방안을 확정하였으며, [1][2] 고리 1호기부터 시범 적용하기로 하였다.

PSR 제도는 2001년 1월에 원자력법 개정을 통하여 법제화 되었으며, 이와 관련하여 2001년 7

월 동법 시행령 및 시행규칙이 개정되었고, 2002년 1월에는 발전용 원자로 시설의 최초 PSR 시기에 관한 규정으로 과학기술부고시 제2002-5호가 제정되었다.

PSR 제도의 주요 내용으로 원전 운영자는 원전의 안전성을 11개 안전 인자에 따라 주기적(10년)으로 평가하고 그 결과를 교육과학기술부 장관에게 제출하여야 하며, 교육과학기술부 장관은 PSR 평가 결과 또는 그에 따른 안전조치가 미흡하다고 인정되는 때에는 원전 운영자에게 시정 또는 보완을 명할 수 있도록 규정하고 있다.

PSR 제도는 국제원자력기구(IAEA) PSR 지침[3]을 참조하여 규정되었으며, 지침에서 제시하는 11개의 안전 인자를 채택하고 있다.

〈표1〉 개정된 IAEA PSR 안전 인자

개정 안전 인자 (NS-G-2.10 : 2003)	기존 안전 인자 (50-SG-O12 : 1994)
① 발전소 설계	① 원전의 실제 물리적 상태
② 계통/구조물/기기의 실제 상태	
③ 기기 검증	③ 기기 검증
④ 경년 열화	④ 경년 열화
⑤ 결정론적 안전성 분석	② 안전성 분석
⑥ 확률론적 안전성 평가	
⑦ 위험도 분석	
⑧ 안전 성능	⑤ 안전 성능
⑨ 운전 경험/연구 결과의 활용	⑥ 운전 경험/연구 결과의 활용
⑩ 조직 및 행정	⑧ 조직 및 행정
⑪ 절차서	⑦ 절차서
⑫ 인적 인자	⑨ 인적 인자
⑬ 비상 계획	⑩ 비상 계획
⑭ 방사선 환경 영향	⑪ 환경 영향

원전 운영자인 한수원은 제도의 도입에 따라 2000년 5월 고리 1호기에 대한 시범 평가를 착수하여 2002년 11월 PSR 결과보고서를 과기부에 제출하였으며, 2004년 5월 한국원자력안전기술원(KINS)의 심사 및 원자력안전위원회의 심의를 거친 바 있다.

현재까지 고리 1호기, 고리 2호기, 고리 3/4호기, 영광 1/2호기, 영광 3/4호기, 월성 1호기, 울진 1/2호기 등 11기의 원전에 대한 PSR이 완료되었으며, 월성 2호기(심사중), 월성 3/4호기, 울진 3/4호기에 대한 PSR은 수행중에 있다.

11기의 원전에 대한 PSR 결과 총 171건의 안전성 증진 사항이 도출되었으며, 73건이 완료되고 92건이 추진중이며 6건이 계획중에 있다. 최초로 수행된 고리 1호기의 안전성 증진 사항 40건은 모두 완료되었다.

PSR 제도의 도입과 운영으로 원전의 가동년수 증가와 노후화에 대응하는 확고한 안전 관리 체계가 구축되었으며, 운전 경험 및 최신 기술의 지속적 반영, 원전 운영 자료의 체계적 확보 및 운영 체계 효율화 등 그 효과가 크게 나타나고 있다.

또한 원전 현장 요원들의 안전성 제고 노력과 안전에 대한 이해 증진에 기여한 바가 지대하며, 국제 규범의 반영으로 국제적 신인도 제고 및 국민의 신뢰 증진 차원에서 그 성과가 가시화 되고 있는 실정이다.

특히 가장 오래된 원전인 고리

1호기의 경우 리스크가 30%로 감소하는 등 상당한 안전성 증진 효과를 보이고 있다.

이러한 많은 성과 및 파급 효과와 함께 오랫동안의 운영 경험을 토대로 제도의 발전을 위한 개선 방안이 여러 경로를 통해 다양하게 제안되어 왔다.

여기에서는 PSR 제도 도입 이후의 여건 변화를 분석하고, 11기 원전의 수행 경험을 토대로 문제점을 분석하여, 보다 선진화된 PSR 모델의 구축을 위한 개선 방안을 제안하고자 한다.

PSR 제도화 이후의 여건 변화

2001년 1월 PSR 제도의 법제화 이후 제도와 연관되는 여러 가지 여건 및 환경의 변화가 있었다. 여기에서는 제도에 전반적으로 영향을 미치는 주요 변화에 대하여 분석하고, 국부적인 사항에

대하여는 개별적인 개선 방안의 검토시 다루기로 한다.

1. IAEA PSR 지침 개정

IAEA는 2003년 지금까지 수행된 PSR 결과를 반영하고, 현행 안전 기준 및 관행에 따른 원전 설계?운영의 평가와 원전 수명 기간 동안의 최상의 안전 수준을 유지하기 위하여 PSR 지침을 개정한 바 있다.[4]

이는 당시 유럽 국가를 중심으로 PSR 결과를 원전 계속운전 및 수명 연장의 허용 여부 판단을 위한 주요 기술적 근거 자료로 활용함에 따라, 이를 수용할 수 있는 안전 인자의 세분화 및 내용을 명확히 하기 위한 의도가 내포되어 있었다.

개정된 주요 내용은 PSR 평가 범위를 나타내는 안전 인자를 기존의 11개에서 14개로 확대한 것

으로(<표 1>), ‘원전의 실제 물리적 상태’를 ‘발전소 설계’ 및 ‘계통/구조물/기기의 실제 상태’로 세분화하고, ‘안전성 분석’을 ‘결정론적 안전성 분석’, ‘확률론적 안전성 평가(PSA)’ 및 ‘위해도 분석’의 3개 안전인자로 확대하였다.

2. 원전 설계 수명 이후의 계속운전 제도화

1970년대 전후로 급속히 늘어난 원전의 설계 수명이 도래함에 따라 원전의 설계 수명 이후 계속운전으로 신규 원전 건설에 소요되는 막대한 투자 비용의 절감과 기존 발전 설비의 효율적 활용을 극대화 하고 있는 국제적인 추세를 반영하여,^[5] 우리나라에서도 계속운전에 대한 제도적 장치가 확립되었다.

고리 1호기의 설계 수명이 2008년에 도래하게 되어 설계 수명 이후의 계속운전에 대한 제도화가 요구됨에 따라, 2005년 9월 원자력법 시행령 및 시행규칙의 개정을 통하여 계속운전에 대한 제반 절차 및 요건이 규정화 되었으며, 2005년 12월 원자력 시설의 계속운전 평가를 위한 기술기준 적용에 관한 지침이 과학기술부고시 제2005-31호(과학기술부고시 제2008-17호로 개정)로 제정되었다.

계속운전 제도의 주요 내용으로 원전 운영자는 설계 수명 종료 5년 내지 2년 이전에 평가보고서를 제출하여야 하며, 10년 단위

로 계속운전을 신청할 수 있도록 규정하고 있다.

특기할 사항은 계속운전 대부분의 요건 및 절차가 PSR 요건과 직접적으로 연계되어 있으며, PSR의 11개 안전 인자와 더불어 원전 주요 기기의 수명 평가 및 방사선 환경 영향 평가를 평가 내용으로 규정하고 있다는 것이다.

원전 운영자인 한수원은 계속운전의 절차와 요건에 따라 2006년 6월 고리 1호기에 대한 평가보고서를 교육과학기술부에 제출하였으며, 2007년 12월 한국원자력안전기술원의 심사 및 원자력안전위원회의 심의를 거친 바 있다.

문제점 제기

2001년 1월 원자력법 개정을 통한 PSR 제도의 법제화 이후 대부분의 가동원전에 대한 PSR이 수행되면서 운영 경험 및 여건 변화를 반영하여 제도의 문제점 및 개선에 대한 제안이 여러 경로를 통하여 다양한 형태로 제기되었다. 제기된 문제점 및 제안을 살펴보면 다음과 같다.

1. 한국원자력안전기술원 연구보고서

2005년 2월 원자력중장기연구개발사업으로 수행된 ‘원자력 안전 규제 체계 및 제도의 최적화 방안 연구’^[6]에서 PSR 제도와 관련하여 안전성 평가의 목적, 상해 범위 및 심도, 상세 기술기준

의 설정 등이 명확하게 규정되어 있지 않아 혼선의 여지가 있음이 지적되었다. 또한 PSR의 실제 수행 과정과 법규상의 수행 절차를 일관성 있게 보완할 필요성이 제기되었다.

보고서에서는 개선 방안으로 PSR 수행의 기본 목적, 평가 기준으로 최신 기술의 활용, PSR 계획서/결과/이행 계획의 장관 승인과 PSR 결과의 원자력안전위원회 심의 절차 등을 원자력법령에 명시할 것을 제안하였다. 또한 PSR 평가 범위인 기존의 11개 안전 인자를 IAEA PSR 지침 개정 내용을 반영하여 14개 안전 인자로 확대할 것을 제안하였다.

또한, 2007년 2월 원자력중장기연구개발사업으로 연구용 원자로의 규제 제도 개선 방안에 대한 연구^[7]가 수행되었으며, 연구 결과로서 연구용 원자로의 장기 운전 안전성 확보와 외국의 사례를 토대로 PSR 제도의 도입이 제안되었다.

2. 원자력학회 주관 PSR Workshop

2008년 5월 28일 경주교육문화회관에서 개최된 원자력학회가 주최하고 한수원이 후원하는 PSR Workshop에서는 PSR 제도 운영 현황과 수행 과정상 나타난 문제점을 검토하고 수행 경험을 반영한 다양한 제도 개선 방안이 제기되었다.^[8] 또한 PSR 제도를 신축적으로 활용하기 위하여 규제자 및 사업자로 구성된



‘PSR공동협의회’의 설치·운영이 제안되었다.

주요 개선 사항으로 가동 기간 20년 이내 원전에 대한 경년 열화 평가의 면제 혹은 완화, 안전 인자에서 조직 행정 및 비상 계획 평가의 삭제, 환경 영향 평가의 부지 단위 수행, 도출된 안전성 증진 사항의 이행 조치시 비용-편익 분석의 의무화 등이 제안되었다.

이외에도 PSR 제도와 연계되어 있는 원전 설계 수명 이후의 계속운전과 관련한 사항으로 계속운전 기간의 20년으로 연장, 계속운전 평가 보고서의 수명 만료 5~10년 전 제출, 가연성 기체 연소 평가의 완화 등이 제안되었다.

3. KINS 원자력안전본부 - 한수원 발전본부 간담회

2008년 11월 18일 KINS에서 개최된 원자력 안전성 제고 간담회에서 한수원은 PSR 운영을 통하여 운영 허가 이후 제기된 안전 현안의 심층 검토와 해소로 장기 가동 원전의 종합 안전성 확인 및 리스크의 획기적인 감소 등 상당한 효과가 있었으며, 설계 수명 이후 원전 운영에 대한 안전성 입증으로 계속운전이 성공적으로 추진되었음을 성과로 제시하였다.

이와 더불어 PSR 운영 경험을 토대로 제도적·기술적 문제점을 도출하고 그 개선 방안을 제안하였다.[9]

제도적 측면에서 조직 행정 및 비상 계획 평가를 안전 인자에서

삭제하고, 설계 개념이 동일하고 운영 허가 시기가 유사한 원전들에 대하여는(예 : 월성 2호기, 월성 3/4호기) 선행 원전의 일정에 따라 통합 평가를 제안하였다.

또한 PSR 제도와 연계되어 있는 원전 설계 수명 이후의 계속운전과 관련된 사항으로 계속운전 기간의 20년으로 연장, 계속운전 평가 보고서의 수명 만료 10년 전 제출 등을 제안하였다.

기술적 측면에서 최신 기술기준의 적용에 따라 사고시 대기 확산 인자의 증가로 제한 구역에서 계산된 소외 선량이 증가하고, 소외 선량의 허용 기준을 만족시키기 위해 안전 여유도가 감소되고 있음을 지적하였다.

이러한 문제점에 대한 근본적인 해결책으로 해외의 최신 기술기준인 대체 선원항(RG 1.183)의 적용을 제안하였다.

4. 기타 제기된 문제점

기타 여러 경로에서 제기된 문제점을 간추려 보면, PSR 결과로도 도출된 조치사항의 성격 규명 및 이행 체계, 조치 사항의 비용-편익 분석, 확률론적 안전성 평가(PSA) 결과의 PSR에의 활용성 등이 있다.

문제점 분석 및 개선 방안

지금까지 제기된 문제점과 제안들은 여건 변화 및 운영 경험을 토대로 나름대로의 배경과 의미를 갖고 있다. 여기에서는 이러한

문제점과 제안들을 종합적으로 분석하여 보다 효과적이고 효율적인 제도 운영을 위한 발전적인 방향으로의 개선 방안을 제안하고자 한다.

1. IAEA PSR 지침 변경 사항 반영 : 평가 범위 확대

2001년 1월 원자력법 개정을 통한 주기적 안전성 평가 제도의 도입시에 참조하였던 IAEA PSR 지침이 2003년 개정되어, 국제적으로 PSR 제도가 가동 원전의 안전성 제고를 위한 확고한 척도로 활용되고 있다.

앞에서 언급한 바와 같이, 개정된 주요 내용은 PSR 평가 범위를 나타내는 안전 인자를 기존의 11개에서 14개로 확대한 것이다.

본 개정은 최근 유럽 국가를 중심으로 PSR 결과를 원전 계속운전 및 수명연장의 허용 여부 판단을 위한 주요 기술적 근거 자료로 활용함에 따라, 이를 수용할 수 있는 안전 인자의 추가 및 평가 범위를 명확히 하기 위한 의도가 내포되어 있다는 것이다.

우리나라에서도 2005년 9월 원자력법 시행령의 개정을 통하여 원전의 설계수명 이후의 계속운전에 관한 규정이 신설되었으며, 주기적 안전성 평가와 직접적으로 연계되어 있다.

이러한 연계는 IAEA PSR 지침 개정의 의도와 또한 PSR을 통하여 계속운전을 허용하는 외국의 경우와 일관성이 있으므로 개정된 IAEA PSR 지침의 반영에

대한 고려가 있어야 할 것이다.

특히 설계 수명 이후의 계속운전 여부의 결정은 원전의 장기 운전이라는 관점에서 기존의 PSR 목적인 가동 원전의 종합적인 안전성 평가보다 훨씬 높은 수준의 안전과 성능을 확신할 수 있는 척도가 제시되어야 할 것이다.

PSR 평가 범위를 나타내는 기존의 11개 안전 인자는 원자력법 시행규칙 제19조의 2(주기적 안전성 평가의 세부 사항)에 규정되어 있다.

개정된 IAEA PSR 지침[4]에서의 14개 안전 인자와 비교하면 '원전의 실제 물리적 상태' 및 '안전성 분석' 등 2개 안전 인자의 세분화 혹은 확대를 볼 수 있으며, 그 적용성과 효과성을 검토하면 다음과 같다.

첫째, 기존의 안전 인자인 '원전의 실제 물리적 상태'는 원전의 물리적 상태를 파악하고 유효한 기록이 이들을 정확히 나타내고 있는지를 확인하는 것이나, 개정된 지침에서는 '발전소 설계(Plant Design)' 및 '계통/구조물/기기의 실제 상태(Actual Condition of SSC)'로 세분화하고, 평가 세부 내용으로 현행 국제 표준 및 관행의 관점에서 원전 설계의 적합성을 확인하고 원전의 실제 상태가 이러한 설계 목적에 적합하지 그리고 적절하게 문서화 되어 있는지를 확인하는 것이다.

원전 설계가 현재 유효한 안전 기준에 적합한가를 평가하는 것은 원전의 가동년수 증가와 노후

화에 따른 안전성 평가와 현재의 안전 수준을 평가하는 데 필수적인 항목이다,

특히 우리나라의 경우 소급 적용(Backfitting) 규정이 제도화 되어 있지 않아 운전 경험 및 신 기술을 반영한 새로운 안전 기준의 적용을 통하여 가동 원전의 안전성을 제고할 수 있는 제도적 장치가 없다는 측면도 고려되어야 할 것이다.

또한 PSR에서 규정된 안전 인자가 원전 계속운전의 평가 범위 및 내용과 직접적으로 연계되어 있는 측면에서도 필히 안전 인자로 반영되어야 할 사항이다.

둘째, 기존의 안전 인자인 '안전성 분석'은 결정론적 방법을 통한 안전성 분석만을 평가 범위로 설정하고 있으나, 개정된 지침에서는 '결정론적 안전성 분석', '확률론적 안전성 평가(PSA)' 및 '위해도 분석(Hazard Analysis)'의 3개 안전 인자로 확대하여 확률론적 안전성 평가와 위해도 분석까지 그 평가범위를 포함한 것이다.

이는 원전의 안전을 리스크 차원에서 접근하고 있는 최근의 추세를 반영한 것으로, 원전의 안전도를 종합적으로 평가하고 내·외부 재해 요인에 대응하는 원전의 방호 능력을 평가하기 위하여 필수적인 항목이다.

PSA는 우리나라의 경우 법적 규제 요건은 아니지만 사업자의 자발적인 안전성 확보 노력의 일환으로 각 원전에 대하여 충실히 수행되고 있으므로, PSA를 안전

인자로 포함하는 것이 사업자에게 추가적으로 큰 부담이 되지 않을 것이다. 또한 위해도 평가는 대부분의 평가 내용이 원자력 시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제13조(외적 요인에 관한 설계 기준), 제14조(화재 방호에 관한 설계 기준 등), 제15조(환경 영향 등에 관한 설계 기준) 등에 규정되어 신규 원전에 대하여는 이미 적용되고 있어 적용상에 큰 문제는 없을 것이다.

따라서 IAEA에서 제안하는 PSR 평가 범위의 수용은 가동 원전의 안전성 확인을 위한 보다 강건한 체계를 구축하고, 국제 규범의 수용과 원전 안전의 사회적 수용성 제고 차원에서도 매우 바람직한 방향으로 작용할 것이다.

2. PSR 평가 기준 명확화

PSR 평가 기준에 관하여 원자력법 시행령 제42조의4(주기적 안전성 평가의 방법 및 기준) 제1항 제4호의 규정은 "안전성 평가 당시 해당 원자로 시설에 유효한 기술기준을 활용하여 평가할 것"이라고 규정하고 있다.

반면에 시행규칙 제19조의 2(주기적 안전성 평가의 세부 사항) 제1항 제2호(안전성 분석에 관한 사항)에서는 "현행 분석 방법 및 안전 기준과 지식을 적용하여 기존 안전성 분석이 어느 정도의 타당성을 유지하고 있는지를 확인하는 것"으로 규정하고 있다.

또한 시행규칙 제19조의3(주기적 안전성 평가의 기준)에서는



현행 원자력법상의 기술기준인 원자로 시설의 위치, 원자로 시설의 구조·설비·성능, 원자로 시설의 운영에 관한 기술기준 등을 적용하도록 규정하고 있어, 원자력법 시행령상의 평가 기준에 관한 규정과 혼선을 야기하고 있다.

이러한 평가 기준의 혼선은 PSR 수행에서 규제자와 사업자 간의 이견 발생의 소지가 되고 있으며, 제도 운영의 효율성에도 큰 저해 요인이 되고 있다.

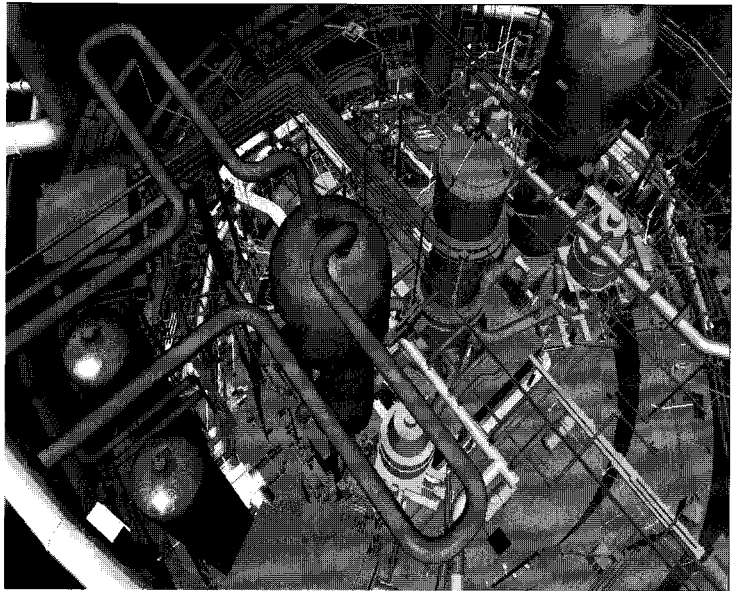
IAEA PSR지침³⁾에서는 PSR의 목적을 가동 원전이 현재의 안전 기준과 관행에 근거하여 안전한지, 그리고 원전의 안전을 유지하기 위하여 적절한 대책이 수립되어 있는가를 종합적으로 평가하는 것으로 기술하고 있다.

또한 PSR 평가 전략에서도 각 안전 인자는 현재의 방법을 사용하여 평가하고 그 결과들은 현재의 안전 기준 및 관행과 비교하도록 기술하고 있다.

이처럼 PSR의 기본 개념은 가동중인 원전이 모든 현재의 요건을 충족하여야 한다고 요구하지는 않지만 현재 요건과 비교·평가하는 것에 초점을 두고 있다.

원전의 노후화에 따른 현재의 안전 수준을 평가하기 위해서는 현재의 기준과 관행의 관점에서 조명하는 것이 타당하며, 이는 PSR에 관한 국제 규범과도 일치하는 방향이다.

특히 우리나라의 경우 소급 적용(Backfitting) 규정이 제도화되어 있지 않아 운전 경험 및 신기술을 반영한 새로운 안전 기준



PSR 제도는 도입 초기의 어려움을 극복하고 수행 주체인 한수원의 적극적인 노력으로 가동 원전의 안전성 증진 등 제도 운영에 따른 성과와 파급 효과가 크게 나타나고 있다.

의 적용을 통하여 가동 원전의 안전성을 제고할 수 있는 제도적 장치가 없다는 점을 고려할 때 더욱 개선이 필요한 부분이다.

따라서 PSR 목적에 부합하는 평가 기준을 설정하여 원자력법령상의 혼선을 없애고 제도의 명확화와 운영상의 효율성을 제고하여야 할 것이다.

3. 안전 인자 '환경 영향 평가' 부지 단위 수행

원자력법시행령 제42조의2(주기적 안전성 평가의 시기 등)에서 PSR 평가 보고서는 원자로 시설별로 작성하되 최종 안전성 분석 보고서를 공유하는 원자로 시설에 대하여는 하나의 평가 보고서로 제출할 수 있도록 규정하고 있다. 즉 PSR 평가를 원전 시설별

로 평가하도록 규정하고 있다는 것이다.

PSR 평가 인자 중 '환경 영향 평가'는 시설별보다는 대부분 부지 단위로 관리되고 있으므로, '환경 영향 평가'를 부지 단위로 수행할 것이 제안된 바 있다.

원자력법 시행규칙 제19조의2(주기적 안전성 평가의 세부 사항) 제1항제11호에서는 안전 인자인 '환경 영향' 평가를 원전의 환경 영향 감시 계획이 적절히 수립되어 이행되고 있는지를 확인하는 것으로 규정하고 있다.

또한 세부 평가 사항으로 방사능으로 오염될 가능성이 있는 모든 유출 경로에 대한 방출 제한치 및 방출 기록, 발전소내로부터 계획되지 아니한 유출물 방출에 대한 경보 장치, 원자로 시설의 주변 주민에 대한 피폭 방사선량,

발전소의 지역에 대한 방사선 환경 감시 등을 포함하도록 규정하고 있다.

한편 원자력법 제104조의6(환경 보전) 및 시행규칙 제133조(방사선 환경 조사 및 평가)에서는 원전 운영자의 방사선 환경 조사 및 방사선 환경 영향 평가의 실시에 관한 사항을 규정하고 있으며, 교육과학기술부고시 제2008-28호(원자력 이용 시설 주변의 방사선 환경 조사 및 방사선 환경 영향 평가에 관한 규정)에서는 시료의 채취, 주민에 대한 피폭 방사선량 등 구체적인 조사 및 평가에 관한 사항을 규정하고 있으며, 동일한 부지에 여러 시설이 있을 경우 환경 조사 및 환경 영향 평가를 통합하여 수행할 수 있도록 규정하고 있다.

또한 원자력법 제104조의7(전국 환경 방사능 감시)에서는 국토 전역에 대한 방사선 및 방사능의 감시 및 그 결과 평가와 이의 체계적 수행을 위한 중앙 및 지방 방사능측정소의 설치·운영에 관하여 규정하고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 환경 영향 평가의 대부분의 내용이 기존의 규제에 의하여 수행되고 있고, 또한 부지별로 관리 및 시행되고 있음을 알 수 있다.

따라서 PSR 평가 안전 인자 중 '환경 영향 평가'는 원전별에서 부지 단위의 수행으로 변경하고, 부지별로 10년 단위로 평가하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 또한 기존의 규제에 의하여 수행되는 부분에 대하여는 자료를 첨부

하는 형태가 바람직 할 것이다.

4. 안전 인자 '비상 계획' 평가

PSR 안전 인자인 '비상 계획'의 평가 내용이 2003년 5월에 제정된 '원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법'(약칭 : 방재법)과 동일하고 동법에 의하여 별도로 시행되고 있으므로, 불필요한 중복을 피하기 위하여 PSR 안전 인자에서 '비상 계획'을 삭제하자는 제안이 있었다.

또한 앞서서도 언급한 바와 같이, 원자력법 시행령 제42조의2(주기적 안전성 평가의 시기 등)에서는 PSR 평가를 원전 시설별로 평가하도록 규정하고 있으나, '비상 계획'은 시설별보다는 대부분 부지 단위로 관리되고 있으므로 개선되어야 한다는 제안도 있었다.

원자력법 시행령 제42조의3(주기적 안전성 평가의 내용)에서 '비상 계획'의 평가는 방재법 제20조(원자력 사업자의 방사선 비상 계획)의 규정에 의한 방사선 비상 계획에 관한 사항을 따르도록 규정하고 있다. 또한 원자력법 시행규칙 제19조의2(주기적 안전성 평가의 세부 사항) 제1항제10호에서는 안전 인자인 '비상 계획'의 세부 평가 사항을 기술하고 있다.

PSR 안전 인자인 '비상 계획'의 평가는 방재법 제20조의 내용을 따르도록 하고 있어 평가 범위 및 내용이 중복되고, 또한 비상 계획이 대부분 부지 단위로 시행

되고 있음을 알 수 있다.

또한 비상 계획은 방재법의 규정에 따라 국가 방사능 방재 계획과 연계되어 종합적이고 체계적으로 시행되고 있다. 따라서 PSR에서 '비상 계획'을 굳이 안전 인자로 규정할 필요는 없는 것으로 판단된다.

그러나 국제 표준의 수용 측면, 10년 단위의 종합적인 원전 안전성 평가와 PSR 안전 인자의 계속 운전과의 연계 측면에서 PSR 안전 인자로 유지하는 하되, 방재법에 따른 시행 내용을 부지 단위로 첨부하는 것도 고려할 필요가 있다.

5. 안전 인자 '조직 행정' 평가

PSR 안전 인자인 '조직 행정'의 세부 평가 항목들이 규제 기관의 원전 정기 검사시에 대부분 다루어지고 있으며, 한수원 자체적으로도 매 2년마다 발전소별 안전운영점검팀(KOSART)에서 점검하고 있기 때문에, '조직 행정'의 특성상 수행 주기가 10년인 PSR에서 평가하는 것은 부적절하므로 PSR 안전 인자에서 삭제하자는 제안이 있었다.

원자력법 시행규칙 제19조의2(주기적 안전성 평가의 세부 사항) 제1항제8호에서는 안전 인자인 '조직 행정'의 평가를 원전의 안전 운전을 위하여 조직과 행정이 적절히 운영되고 있는지를 확인하는 것으로 규정하고 있다.

또한 세부 평가 사항으로 안전 목표 및 안전 우선 원칙 이행을 포함한 안전체제, 문서화된 개인



과 단체의 역할 및 책임, 원전 운영의 유기적 구성 방법, 전문가 활용 체제, 직원의 교육 훈련, 품질 보증 감사와 품질 보증 계획 등을 포함하도록 규정하고 있다.

교육과학기술부고시 제2008-22호(원자로 시설의 정기 검사 대상 및 방법에 관한 규정)에서 정기 검사의 대상으로 운영 기술 능력 분야를 규정하고 있으며, 운영 조직, 자격 및 훈련, 인적 요소 관리 등을 검사 대상 항목으로 포함하고 있어, 안전 인자인 '조직 행정' 평가의 세부 항목과 일부 중복되는 요소가 있다. 또한 가동 원전의 품질 보증 검사에 관하여 원자력법 시행령 제31조(품질 보증 검사) 및 제43조(준용 규정)에서 규정하고 있어 중복의 요소가 있다.

따라서 안전 인자인 '조직 행정' 평가의 대부분이 기존 규제와 중복되고 있어 굳이 안전 인자로 규정할 필요는 없는 것으로 판단된다.

그러나 PSR 세부 평가 내용인 '안전 목표 및 안전 우선 원칙 이행 체계' 등의 중요성, 국제 표준의 수용 측면, 10년 단위의 종합적인 원전 안전성 평가와 PSR 안전 인자의 계속운전과의 연계 측면에서 PSR 안전 인자로 유지하는 것도 고려할 필요가 있다.

6. 안전 인자 '경년 열화' 평가

경년 열화는 원전이 가동된 초기에는 큰 문제가 되지 않고 비교적 운전 기간이 어느 정도 지난

원전에서 나타나고 있으며, 원전 설계에서 경년 열화의 진행 정도를 예측하여 설계에 반영하고 있기 때문에, PSR 안전 인자인 '경년 열화'를 운영 허가일부터 기존의 10년에서 20년 이후에 평가하는 제안이 있었다.

원자력법 시행규칙 제19조의2(주기적 안전성 평가의 세부 사항) 제1항제4호에서는 안전 인자인 '경년 열화' 평가를 원전 계통·기기·구조물(SSC)의 경년 열화가 효과적으로 관리되고 있는지 그리고 향후 안전 운전을 위한 경년 열화 관리 계획이 적절히 확립되어 있는지를 확인하는 것으로 규정하고 있다.

또한 세부 평가 사항으로 i) 평가 대상 SSC의 분류 및 선정, ii) 경년 열화 현상 분석, iii) SSC의 기능 및 안전 여유도, iv) SSC의 성능 미달 시점 및 미래 상태 예측, v) SSC의 경년 열화 완화 대책 및 관리 계획 등 5개 항목을 포함하도록 규정하고 있다. 다만, 'v) SSC의 경년 열화 완화 대책 및 관리계획'은 운영 허가일부터 20년이 경과한 후에 실시하도록 하고 있다.

PSR 안전 인자인 '경년 열화' 평가의 이행 시점에 관하여 2001년 7월 PSR제도 도입 당시에는 모든 세부 항목(5개)을 10년부터 평가하도록 하였으나, 그 후 많은 논의가 있었으며 2006년 7월 시행규칙 개정시 'v) SSC의 경년 열화 완화 대책 및 관리 계획'은 20년이 경과한 후에 실시하도록 변경한 바 있다.

PSR은 원전의 노후화에 따른 원전의 안전성을 평가하는 것으로, '경년 열화' 평가는 PSR의 핵심적인 안전 인자이다. 설계 당시의 예측된 열화 정도와 실제 운전 에 따른 열화의 차이, 새롭게 도출되는 열화 현상과 신기술의 개발에 따른 SSC의 안전 여유도 및 성능 미달 시점 등은 초기부터 지속적으로 평가되어야 한다.

이러한 평가 자료는 경년 열화의 경향 분석에 중요한 자료가 될 것이며, 경년 열화 관리 계획의 수립시 요긴하게 활용될 수 있을 것이다.

따라서 PSR 안전 인자인 '경년 열화' 평가의 세부 항목의 이행 시점은 현행대로 'v) SSC의 경년 열화 완화 대책 및 관리 계획'을 제외한 4개 항목을 운영 허가 후 10년부터 시행하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

7. PSR 목적 및 절차 요건 규정화

PSR의 기본 목적을 법령에 규정하고, PSR 평가 계획서/평가 결과/안전성 증진 사항 이행 계획서의 장관 승인, 평가 결과의 원자력안전위원회 심의 등 절차 요건을 원자력법령에 명문화 할 것이 제안되었다.

PSR 결과의 원자력안전위원회 심의는 비록 PSR 절차에 명문화되어 있지는 않지만 원자력법 제5조의2(안전위원회의 기능) 규정에 따라 위원회에서 심의되고 있으며, 한수원이 제출한 안전성 증진 사항 이행 계획서는 교육과

학기술부 및 KINS에서 그 타당성을 검토한 후 이행되고 있다.

지금까지 수행된 11기 원전의 PSR 운영 경험을 통하여 제도의 의미와 효용성에 대한 사업자 및 규제자의 이해가 성숙되어 있으며, 나름대로의 운영에 관한 관행이 유지되고 있다.

이러한 측면에서 모든 운영상의 절차를 법령에 규정하는 것보다는 지금까지의 운영 경험과 관행을 토대로 규제자 및 사업자의 상호 협의를 통하여 운영의 효율성을 도모하는 것이 바람직해 보인다.

8. PSR 결과 조치 사항 이행

PSR의 효용성 제고를 위하여, 도출된 시정/보완 조치 및 안전성 증진 사항 등 조치 사항에 대하여 각각의 성격을 명확히 규정하고 이행 절차 및 체계를 구체화할 필요성이 제기된 바 있다. 또한 타 원전에도 공통적으로 해당되는 조치 사항의 추진 방안과 조치 사항의 이행에 따른 비용-편익 분석의 필요성이 제기되었다.

이는 지금까지의 PSR 결과에서 조치 사항이 시정/보완 조치(3건)보다는 안전성 증진 사항(171건)으로 대부분 추진되고 있으나, 이의 이행 절차에 대한 법적 규정이 없어 일부 소극적으로 이행되고 있다는 배경을 갖고 있다.

원자력법 제23조의3(주기적 안전성 평가)에서 PSR 결과 또는 이에 따른 안전 조치가 미흡할

경우 교육과학기술부 장관은 사업자에게 시정 또는 보완을 명할 수 있도록 규정하고 있으며, 이를 위반할 경우에 대하여 동법 제24조(운영 허가의 취소 등) 및 제119조(벌칙) 등의 규정을 두어 시정/보완 조치의 엄격한 이행을 위한 절차를 명확히 하고 있다.

한편, 안전성 증진 사항은, PSR 결과 평가 기준의 제반 요건을 만족하고 있어 가동 원전의 안전성에 문제는 없으나, 보다 높은 수준의 안전성 제고를 위하여 사업자의 자발적인 노력과 규제자의 권고로 도출되는 사항으로 이해된다.

이러한 관점에서 볼 때, 사업자가 제출한 이행 계획서가 교육과학기술부 및 KINS의 타당성 검토 후 이행되고, 그 이행 상황이 주기적(반기별)으로 관리되고 있는 현재의 관행과 절차는 큰 문제가 없는 것으로 보인다.

따라서 PSR 결과의 조치 사항과 관련하여 제도상의 개선 요인은 없는 것으로 판단된다. 다만 PSR결과 도출된 조치 사항이 시정/보완 조치인지 혹은 안전성 증진 사항인지에 대한 분류를 분명히 함으로서 이행 과정에서 야기될 수 있는 혼선을 해소할 수 있을 것이다.

또한 조치 사항의 이행에 따른 비용-편익 분석과 관련한 문제 제기도 이러한 조치 사항의 분류를 명확히 하고, '4.2 PSR 평가 기준 명확화'에서 언급한 기술 기준의 명확화를 통하여 해소될 수 있을 것이다.

PSR 결과 조치 사항의 적극적인 추진을 위하여 이행 현황에 대한 서류 검토와 병행하여 현장 확인의 필요성이 있는 경우 정기 검사와 연계하여 수행하는 운영 체계를 확립할 필요가 있다.

또한 타원전에도 공통적으로 해당되는 조치 사항에 대하여는 현재도 한수원 자체적으로 노력하고 있으므로 자율적 활동을 권장하고, 필요시 원자력법 제30조(발전용 원자로 및 관계 시설의 사용 정지 등의 조치) 및 제103조(보고·검사 등)의 규정이나 정기 검사와 연계하여 추진할 수 있을 것이다. 이러한 사항들은 대개 규제자와 사업자의 원활한 협조와 협의를 통하여 추진할 수 있는 운영상의 문제로 보인다.

9. 원전 설계 수명 이후의 계속운전 관련 요건

원전 설계 수명 이후의 계속운전과 관련하여, 계속운전 기간을 현행 10년에서 20년으로 연장하고, 계속운전을 위한 설비 개선 기간을 고려하여 계속운전 평가 보고서의 제출 시점을 현행 수명 만료 2~5년 이전에서 5~10년 이전의 제출로 변경하자는 제안이 있었다.

계속운전 기간의 20년으로의 연장은 외국의 사례와 경험, 원전 장기 운전 안전성 평가를 위한 우리나라의 현 기술 능력 등을 고려할 때 긍정적으로 판단된다.

그러나 원전의 계속운전 제도가 10년 주기로 수행되는 PSR



제도와 직접적으로 연계되어 있음을 고려할 때, 이의 연장을 위해서는 계속운전의 규제 방식에 새로운 개념 정립이 우선되어야 할 것이다. 계속운전 평가 보고서의 제출 시점 변경도 이러한 규제 방식과 맥락을 같이 하여야 할 것이다.

계속운전과 관련하여, 교육과학기술부고시 제2008-17호(원자로 시설의 계속운전 평가를 위한 기술 기준 적용에 관한 지침) 제8조(운전 경험, 연구 결과 반영 필요 사항) 제8항제1호에서 중대 사고 경위를 선정하여 가연성 기체의 양을 결정하도록 하는 규정의 삭제가 제안된 바 있다.

이는 우리나라 원자로 건물 형태가 중대 사고 발생시 수소에 의한 손상 가능성이 희박하고, 신규 원전이 아닌 기존 원전의 계속운전에서 중대사고에 대응하는 성능 개선이 필요한지에 대한 의문에 근거를 두고 제기되었다.

고시에서 규정하고 있는 가연성 기체 연소에 대한 안전성 평가는 운전 경험 및 연구 결과를 반영하기 위한 규정으로서, 가연성 기체의 연소는 중요한 안전 현안으로 전 세계적으로 안전성 확보를 위하여 이미 고려하고 있는 사항이므로 보다 기술적인 분석을 통하여 결정되어야 할 것이다.

원전 설계 수명 이후의 계속운전에 관하여는 제도의 운영 경험을 토대로 상기 사항을 포함하여 보다 종합적으로 다루어야 할 별도의 사안으로 여기에서는 더 이상의 검토를 유보하고자 한다.

10. 연구용 원자로에 PSR 제도 도입

우리나라에는 하나로 연구용 원자로(30MW : 1995년 운전 개시)와 AGN-201 교육용 원자로(10W : 1982년 운전 개시)가 운영되고 있다. 2005~2006년 하나로 원자로에서 연속적으로 발생한 안전 사고에 효과적으로 대응하기 위하여 종합적이고 주기적인 안전성 평가의 필요성이 대두된 바 있다.

이의 일환으로 KINS에서 연구가 수행되었으며, 연구 결과로서 [7] 장기 운전 안전성 확보와 외국의 사례를 토대로 연구용 원자로에 대한 PSR 제도의 도입이 제안되었다.

현재 영국, 프랑스, 일본 등에서는 10년 주기의 PSR을 규정화하고 있으며, IAEA에서는 '연구용 원자로의 안전에 관한 행위 준칙' [10]을 통하여 연구용 원자로에 대한 일정 주기의 안전성 평가를 권장하고 있다.

우리나라는 연구용 원자로에 대하여 인·허가 기술기준, 규제 검사, 운영에 관한 안전 조치, 방사선 환경 조사 및 방사선 환경 영향 평가, 방재법상의 비상 계획 등 대부분의 규제를 발전용 원자로와 동일하게 적용하고 있다.

다만 발전용 원자로에서 선택적인 부지 사전 승인과 표준 설계 인가에 관한 규정은 없으며, 건설·운영 통합 허가 제도를 채택하고 있다.

이처럼 우리나라는 연구용 원

자로의 규제 개념과 안전 수준을 발전용 원자로와 유사하게 다루고 있음을 알 수 있으며, 이러한 측면에서 연구용 원자로에 PSR 제도의 도입은 일관성 있는 규제라 볼 수 있다.

또한 발전용 원자로에서 경험한 바와 같이, 연구용 원자로에 PSR 제도 도입시에도 종합적인 안전성 확인뿐만 아니라 현장 종사자의 안전 의식 고취, 운영 자료의 체계적 확보 등 그 효과가 지대할 것으로 예견되므로, 제도의 도입 자체는 긍정적으로 보인다.

그러나 발전용 원자로의 체반 규제를 연구용 원자로에 동일하게 적용함에 따른 논란이 있으며, 특히 기술기준, 안전 조치 등의 준용은 기술적인 혼란을 야기할 바도 있다.

외국의 경우, 연구용 원자로에 대한 규제 요건 및 기술 기준 등을 별도로 설정하여 발전용 원자로와 내용상의 차이를 두고 있으며 이를 구체화하는 연구용 원자로에 대한 규제 지침 등을 확고하게 제시하고 있으나, 우리나라의 경우 아직도 별도의 기준이나 지침을 구비하지 않고 있다. 또한 '4.2 PSR 평가 기준 명확화'에서 분석한 바와 같이, 명확하지 않은 기술 기준으로 발전용 원자로의 PSR에서도 상당한 혼선의 소지가 있음을 경험한 바 있다.

하나로 연구용 원자로는 발전용 원자로에 비해 출력 크기 및 리스크 수준이 현저하게 낮으며, 개방형 풀 타입 원자로이기 때문에 외부 환경에 영향을 미칠 수

있는 심각한 사고의 가능성은 무시할 수 있는 수준이다.

또한 하나로 연구용 원자로는 1995년 운전을 개시한 지 13년이 경과하여 전 세계의 약 700여 개 연구용 원자로와 비교하면 비교적 최신 원자로이며, IAEA 행위준칙[10]에서의 권장 사항도 이러한 최신 원자로보다는 수많은 구형 원자로에 초점을 두고 있다.

따라서 연구용 원자로에 PSR 제도의 도입은 긍정적으로 보이나, 연구용 원자로에 대한 출력 규모 및 리스크 수준 등을 고려한 규제 개념의 정립과 함께 기술 기준과 지침의 구비가 우선되어야 할 것이다. 이러한 단계에서 제도의 도입 여부를 검토하는 것이 바람직한 것으로 보인다.

AGN-201 교육용 원자로도 이와 맥을 같이 하여야 할 것이나, 출력의 규모(10W) 등을 고려할 때 논의의 대상이 아닌 것 같다.

11. 기타 검토 사항

설계 개념이 동일하고 운영 허가 시기가 유사한 경우에 선행 원전 일정에 따라 PSR을 통합 평가 하자는 제안이 있었으며, 예로서 월성 2호기(운영 허가 : 1996년 11월)와 월성 3/4호기(1997년 12월/1999년 2월)의 통합 평가가 제기되었다.

현재 11기에 대한 PSR 평가가 완료되고 나머지 원전에 대한 평가가 진행중에 있어 풍부한 평가 경험이 축적되었음을 고려할 때 상당히 긍정적인 제안으로 평가

된다.

다만, 월성 2호기와 월성 3/4호기는 최종 안전성 분석 보고서(FSAR)를 공유하고 있지 않기 때문에 원전 설계 및 운영의 차이 등 기술적인 사항에 대한 충분한 검토가 필요할 것이다.

이외에도, 대기 확산 인자 재평가(부지 특성 분야)에서 최신 기술 기준(USNRC RG 1.23 Rev.1)의 적용에 따른 제한 구역에서의 소외 선량 증가와 이에 따른 안전 여유도의 감소에 대한 해결 방안으로 대체 선원항(USNRC RG 1.183)의 적용이 제안되었으나, 신규 원전에도 해당되는 기술적인 사안으로 본 검토에서는 제외하였다.

맺음말

PSR 제도는 도입 초기의 어려움을 극복하고 수행 주체인 한수원의 적극적인 노력으로 가동 원전의 안전성 증진 등 제도 운영에 따른 성과와 파급 효과가 크게 나타나고 있다.

이와 함께 오랫동안의 운영 경험 및 여건 변화를 토대로 제도의 문제점 및 개선에 대한 제안이 여러 경로를 통해 다양한 형태로 제기되었다.

이러한 문제점과 제안들을 종합적으로 분석하여 보다 효과적이고 효율적인 제도 운영을 위한 발전적인 방향으로의 개선 방안이 제안되었다.

개선 방안은 보다 선진화된 PSR 모델의 구축을 위하여 향후

PSR 제도의 개정 및 운영에 활용될 수 있을 것이다. ☉

(본 내용은 필자 개인의 의견이며, KINS의 공식적인 입장이 아님을 밝힌다.)

<참고 문헌>

- [1] 김효정 등, '가동원전 안전성평가 제도화 방안', KINS/AR-667, 1999.
- [2] 김효정 등, '가동원전 주기적안전성평가 제도화 방안', KINS/GR-210, 2000.
- [3] IAEA, 'Periodic Safety Review of Operational Nuclear Power Plants', Safety Series No. 50-SG-O12, 1994.
- [4] IAEA, 'Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants', Safety Standards No. NS-G-2.10, 2003.
- [5] 김효정 등, '원전 설계수명 이후 계속운전 안전확인체계 제도화 방안', KINS/RR-313, 2005.
- [6] 안상규 등, '원자력 안전규제 체계 및 제도의 최적화 방안 연구', KINS/GR-284, 2005.
- [7] 이훈주 등, '연구용원자로시설 규제제도 개선방안', KINS/RR-477, 2007.
- [8] 함철훈, '주기적안전성평가(PSR) 제도의 효과와 개선방안', PSR워크숍 발표자료, 경주교육문화회관, 2008. 5.
- [9] 한수원(주), '주기적안전성평가 수행현황 및 개선방안(안)', KINS-한수원 원자력안전성제고 간담회, 한국원자력안전기술원, 2008. 11.
- [10] IAEA, 'Code of Conduct on the Safety of Research Reactors', General Conference GC(48)/7, 2004.