원전의 안전성 향상을 위한 주기적 안전성 평가 제도

김 숭 평
조선대학교 원자력공학과 교수

우리 나라는 국가 발전의 핵심 요소인 에너지의 안정적 확보를 위해 원자력 발전을 주요 에너지원으로 채택하고, 그 이용을 지속적으로 확대하여 왔다.

이와 병행하여 원자력 시설의 안전 관리 강화에 노력하여 국내 원자력 시설들은 선진국 수준의 안전성을 확보하고 있으며, 규제 체계 및 기술도 짧은 기간 동안에 괄목할 만한 발전을 이루었다.

그러나 가동중 원전 기수 및 가동 년수의 증가, 점점 높아지는 원자력 안전에 대한 국민 요구 수준, 원자력 안전의 국제 규범화 등에 따라 국내의 원전 안전 관리 체계를 한층 더 발전시켜야 할 필요성이 증대되고 있다.

특히 가동중인 원전에 대한 안전 관리의 중요성이 커지고, 최근의 잇단 사건들로 인해 국민들의 관심도 매우 고조되어 있다.

주기적 안전성 평가 제도

신규 원전의 건설 및 운영 허가시의 광범위한 인허가 심사와 비교할 때 국내에서는 가동중 원전에 대한 주기적인 종합적 안전성 평가는 이루어지지 않고 있다.

그러나 과학·기술의 진보 및 원전 운전 경험으로부터 도출된 주요 안전 현안을 토대로 가동중 원전에 대해 안전성을 평가하는 주기적 안전성 평가(Periodic Safety Review; PSR)는 대부분의 원자력 선진국들이 도입하는 등 국제 규범화되고 있으며, 원자력안전협약에서도 이의 이행 상황을 보고하도록 요구하고 있다.

국내에서도 1980년대 말부터 PSR 제도의 도입 필요성이 제기되었으며, 그 동안 국내 공감대 형성이 늦어져서 지금까지 미루어져 왔다. 그러나 과학기술부와 산업계·학계를 중심으로 이 제도를 도입하기 위한 기초적인 작업이 지속적으로 수행되어 왔다.

주기적 안전성 평가란 가동 원전이 현재의 안전 기준과 관행에 근거하여 안전한지, 그리고 원전의 안전을 유지하기 위해 적절한 대비가 이루어졌는지를 종합적으로 평가하기 위한 것이다.

가동중인 원전이 모든 현재의 요건을 충족하여야 한다고 요구하지는 않지만 현재 요건과 비교·평가를 하는 것이 중요하다.

내진과 같은 안전 특성은 쉽게 소급 적용될 수 없고 원전 설계중 어떤 설계는 변경하기 어려운 면도 있으나 가동 원전의 취약점과 관련된 위험도를 평가하고 계속적인 운전을 위한 근거를 분명히 밝히는 것이 필요하다.

대부분의 국가들은 가동 원전에 대해 일상 및 특별 점검을 수행해오고 있으나 경험에 의하면 이들 안전성 검토는 일반적으로 포괄적이지 못하고, 안전 기준 및 운전 경험,

원전 열화의 누적 효과, 운전 경험의 반영, 과학 및 기술의 진보가 고려되지 못하는 것으로 나타났기 때문에 PSR 개념이 개발되었다.

PSR 제도는 실제 원전의 안전성에 대해 전반적으로 이해하고 구형 원전의 안전성을 최신의 원전에 필적할만한 수준으로 안전성을 유지하고 증진시키기 위하여 필요하거나 그럴만한 가치가 있는 변경을 결정하는 데 있어서 최선의 방법으로 사료된다.

그런데 기존 안전성 확인 수단인 일상 및 특별(주요 사건 발생 후속 조치) 평가에서는 검토 당시 원전 상황 이외 경년에 따른 안전 평가 환경 변화를 고려할 수 없게 되어 있어 그 평가 결과에 대한 객관성과 신뢰성이 보장되기 어렵다.

따라서 주기적 안전성 평가 제도 채용의 필요성이 몇몇 원자력산업 선진국들에 의해 제기되어 유럽의 상용 원전 운영국들을 중심으로 시범 채용이 이루어졌으며, 채용국들 모두에 의해 그 성과가 만족스러움이 확인된 바 있다.

현재 많은 IAEA 회원국들이 약 10년 주기의 PSR 또는 그에 상응하는 대체 안전 평가 제도를 채용중에 있으며 일부 국가들에서는 PSR을 원전의 수명 관리 또는 운영 허가 갱신의 근거 및 요건의 하나로서 활용하고 있다.

국내외 현황 분석

1. 국외 현황

주기적 안전성 평가 제도는 스웨덴을 필두로 프랑스 · 영국 · 벨기에 · 일본 · 독일 · 네덜란드를 대체하는 규제 제도를 운용하고 있다. 원자력발전소를 운영하고 있는 각국의 PSR 수행 현황은 운영 허가 제도와 함께 〈표 1〉에 요약하였다. 〈표 2〉에는 세계 주요국의 PSR 수행 방법, 〈표 3〉은 세계 주요국의 PSR 실시 항목을 요약 · 비교하여 제시하였다.

각국의 PSR 운용 현황을 요약하여 소개하면 다음과 같다.

가. 미국

미국 원자력규제위원회(US Nuclear Regulatory Commission : US NRC)는 비교적 오래된 가동중 원전에 대한 설계 재평가 및 안전성 확인을 위하여 1977년 Systematic Evaluation Program(SEP)을 시행하였으며, 이어서 1984년 Integrated Safety Assessment Program(ISAP)을 수행하여 가동 원전의 안전성을 재평가하였다.

이후 안전 수준의 향상과 60년으로의 수명 연장을 위하여 1955년 허가 갱신 제도(LRP : License Renewal Program)를 채택하였으며, 보수 규정(Maintenance Rule, 1996년) 적용, Individual Plant Evaluation(IPE)의 시행 및 Systematic Assessment of Licensee Performance(SALP) 제도 운용 등의 규제 활동을 통하여 가동 원전의 안전성을 주기적으로 확인하고 있다.

1977년 SEP를 최고령 10개 원전에 대해 수행하였고, 1984년에 ISAP로 변경하여 41개 구형 원전들에 대하여 안전성 평가를 수행 · 완료하였으며, 현재 이와 같은 특별 규제 조치들을 통해서 PSR 제도 이상의 가동중 원전 안전성 평가를 수행하고 있다.

나. 캐나다

통상 2년(경우에 따라서는 6개월 ~ 5년)의 운영 허가 갱신 주기로 발전소 안전 수준과 운영 성적 등을 종합 평가해서 개별적으로 허가 기간을 갱신해주는 독특한 규제 제도(PLR ; Periodic Licensing Reviews)를 채용하고 있다.

CANDU-6 원전의 설계 수명은 30년이지만, 이미 Ontario-hydro사는 발전소 설비를 유지 · 보수하는 경영 관리 제도 및 조직이 장기간 부실하게 운영된 결과로 Pickering A 원전 4개 및 Bruce A 원전 3기에 대해 자발적으로 운전 정지를 결정한 바가 있다.

한편 캐나다의 CANDU 구형 원전에 대해 50년 혹은 그 이상의 수명 연장을 목표로 3단계 발전소 수명 관리 프로그램이 수행중에 있다.

다. 영국

영국 원자력 안전 규제 당국인 원자력시설검사단(NII)이 환경성 보건안전위원회(HSC) 산하의 보건안전집행부(HSE)를 대표해서 운영허가를 발행하고, 안전을 위하여 적절한 조건을 부과할 수 있는 권한을 갖도록 입법화되어 있다.

1980년 초부터 사업자와 규제자간의 합의하에 장주기 안전성 평가(LTSR; Long Term Safety Review)를 수행하여 오다가 1990년대 초에 PSR 수행이 허가 조건 「Licence condition 15」으로 부과되었다.

PSR의 수행 주기는 통상 10년이나 경우에 따라 NII가 발전소 전체 또는 일부에 대하여 더 높은 빈도로 PSR 수행을 요구할 수 있다.

또한 2년 주기의 운영 허가 갱신(STBR; Short Term Biennial Reviews)시에는 제한된 범위의 특별 안전성 평가를 수행하고 있다.

라. 스웨덴

원자로안전위원회의 권고에 따라 안전 규제 기관인 국립원자력검사소(SKI)는 PSR 성격인 As-Operated Safety Review를 8~10년 주기로 이행하고 그 결과에 관한 보고서 (ASAR) 제출을 의무화하는 규칙을 제정하여 1981년부터 시행하였다.

Oskarshamn 1호기가 최초 1981년에 착수하여 1983년에 수행·완료한 이래 단계적으로 전발전소가 ASAR 결과 보고서를 주기적으로 제출하였고 1995년도에 모든 원전에 대해서 1주기의 PSR을 완료하였다.

마. 프랑스

1987년에 핵시설안전부(DSIN)가 기본 원자력 시설 관련 법령에 의거하여 6기의 CP0 시리즈 900MWe 원자로들의 안전성을 재평가하도록 전력공사(EDF)에게 요구하였다.

그리고 1990년 1월에는 산업성 장관 및 보건성 장관이 수시로 사업자에게 시설 안전성 검토를 요청할 수 있도록 동 법령을 개정하였다. 안전 당국은 약 매 10년 주기로 PSR을 사업자가 수행하도록 요구하였다. CP0 시리즈 발전소 6기(Fessenheim 원전 2기 및 Bugey 원전 4기)에 대하여 사업자측이 1988년에 PSR 이행을 착수하여 1995년에 수행·완료하였고, 1990년 7월에 EDF에게 CP1~CP2 시리즈 발전소 28기에 대한 PSR 이행을 요구하여 현재 수행 중에 있다.

바. 일본

통상산업성(MITI)이 1992년에 사업자들에게 PSR을 수행하고 그 결과를 보고하도록 통지하였다. 이러한 통지는 형식적인 측면에서 권고 사항이라 할 수 있지만, 일본의 원자력 안전 규제 관행상 강제성을 띠고 있어 모든 전력 회사들이 이를 따르고 있다.

1994년에 3개 원전, 1995년에 4개 원전의 PSR 결과에 관한 평가를 이미 완료하였고, 1997년부터 6개 원전의 PSR 결과에 대한 검토를 수행 중에 있다.

사. 독일

1988년에 원자로안전위원회(RSK)가 모든 원전에 대하여 PSR 이행을 권고하고 사업자들이 자발적으로 수행하는 형식을 채용하였다. 일부 원전들에 대해서는 10년 운전 후의 PSR 이행이 인허가 조건으로 되어 있다.

1993년 1월에 900MWe BWR KKP1을 위시한 구형 원전들로부터 시작하여 최신 원전인 Konvoi PWR 발전소들에 이르기까지 모든 가동 원전들에 대한 첫 주기 PSR이 수행·완료될 예정이다.

아. 네덜란드

체르노빌 사고 후 1980년대 말 네덜란드 원자력안전국(KFD)은 독일 원자로안전연구소(GRS)에 기술안전 검토 수행을 요청하였고, 이를 토대로 1989년에 미국·독일 및 IAEA의 규제, 규제 지침 및 규제 관행을 적용하여 Backfitting Policy를 개발하였다.

본 Backfitting Policy는 사업자에게 10년 주기로 PSR을 이행하고 2년 주기로 가동 원전의 운전 안전 기준을 검토할 것을 요구하고 있다.

현재 가동중인 Dodewaard

60MWe(BWR, 1968) 및 Borssele 80MWe(PWR, 1973) 원전에 대하여 1990년부터 시작하여 7년에 걸쳐 안전 평가(Full scope PSA, 운전 경험, 열화 관리 및 중대 사고 관리 등을 포함한 기술 안전성 검토)가 수행되었고, 그 결과 안전검토보고서(Safety Concept Report)가 규제 기관(KFD)에 제출되어 평가되었다.

PSR과 관련하여 파악된 외국 현황 중에서 중요한 사항을 설명하면 다음과 같다.

O 미국과 캐나다를 제외한 대부분의 국가에서 PSR 제도를 시행하고 있다. 미국은 SEP · ISAP · IPE · SALP 등 다른 제도들에 의해 PSR 이상으로 종합적 안전성을 확인하고 있으며, 캐나다는 독특한 규제 체계로 가동중 원전에 대한 안전 관리를 수행하고 있다.

O PSR 시행의 근거는 국가별로 매우 다양하여 영국 · 스웨덴 · 핀란드 · 헝가리 등은 법적 위상을 갖추고 있으며, 독일 · 벨기에 등에서는 신규 원전에 대한 인허가 조건으로 부과하였고, 프랑스 · 일본 · 스위스 · 네덜란드 · 스페인 등에서는 규제 권한에 의하거나 규제 기관의 권고를 사업자들이 자발적으로 받아들이는 방식으로 수행되고 있다.

O PSR은 대부분의 국가에서 10년 주기로, IAEA 안전 지침에 제시된 11개 안전 인자에 대한 평가를 수행하되, 구체적인 평가 범위 및 깊이는 국가별 또는 PSR 기능별로 상당한 차이가 존재한다.

O PSR 수행을 위해서는 최초 2년 이상, 그 이후 1~2년의 기간이 필요하며, 50~100 Man-Year의 사업자 인력과 5~10 Man-Year의 규제 인력이 소요되는 것으로 파악되고 있다. 그러나 이 값은 PSR의 범위 및 깊이에 따라 크게 달라진다.

2. 국내 현황

국내에서 가동 원전에 대한 주기적 안전성 평가(PSR)의 필요성이 제기된 것은 1980년대 후반부터이다.

그 당시에는 1970년대 후반 영국으로부터 비롯된 PSR이 다른 국가들에도 파급되어 대부분의 유럽 국가들이 이를 이미 시행하거나 시행 준비를 하고 있었다. 10여년간의 적용 경험을 통해 PSR의 유용성이 확인되고, PSR에 포함될 내용에 대해서도 공감대가 형성되었기 때문이다. 또한 이웃 일본에서도 PSR 시행을 위한 준비 작업이 진행되고 있었다.

그 후 PSR 제도가 원전을 소유한 대부분의 국가에서 시행되어 국제적인 규범이 되었음에도 불구하고, 사업자 측의 자발적 수행이나 제도화는 이루어지지 못하였다.

특히 1997년 확정된 원자력 진흥 종합 계획에서도 도입 필요성이 천명되었고, 국제원자력기구의 원자력안전협약의 준수를 위해서도 반드시 필요한 제도인데도 도입이 지연된 것이다. 그 가장 큰 원인은 새로운 제도 도입의 필요성에 대한 명확한 이해와 공감대가 부족하였기 때문이다.

한편 한국원자력안전기술원과 한국과학기술원 등에서는 PSR 제도 도입 방안에 대한 연구를 계속하여 그 필요성을 확인하고 국내에 적용 가능한 모델들을 도출하게 되었다.

이에 따라 정부는 1998년 9월 말 제출된 원자력안전협약 국가보고서에서 가동 원전에 대한 주기적 안전성 평가 제도의 도입을 계획하고 있음을 천명하였다.

또한 과학기술부에서는 1998년 PSR 법제화를 추진하였으나, 당시 범정부적으로 장려되던 규제 간소화 분위기에서 현실화되지 못하였다.

그러나 PSR 도입을 둘러싼 논란을 통하여 PSR에 대한 이해가 넓혀졌으며, 전력 회사에서도 막연한 부담감에 따른 반대보다는 도입이 불가피하다는 인식을 갖게 하는 계기가 되었다.

이에 따라 1999년도에 들어서서는 PSR의 도입을 전제로 하여 합리적인 이행 방안을 마련하는 방향으로 공감대가 형성되었다.

1999년 봄 연속적으로 발생하였던 영광 원전의 고장 정지는 가동중 원전의 안전성에 대한 국민과 정치권의 우려를 고조시켰을 뿐만 아니

라 PSR의 도입이 시급함을 다시 한번 일깨워주었으며, 당정간 협의에서 PSR의 조속한 시행을 천명하기에 이르렀다. 또한 10월 이후 벌어진 월성 원전 중수 누출 사건 및 울진 원전 미확인 용접부 존재 가능성 문제 등은 PSR의 도입을 기정사실화한 측면이 있다.

한편 한국전력공사는 1990년대 중반부터 1978년 가동된 고리 원자력 1호기에 대한 수명 관리 연구를 수행하여 왔다.

이는 설계 수명 30년을 연장 운전하기 위한 목적으로 이루어진 것이지만, PSR 도입에 필요한 주요 기술을 산업체에서 이미 확보해오고 있음을 의미한다. 한전에서는 고리 1호기를 PSR 시범 호기로 정하여 2000년 초부터 적용하기로 하였다.

IAEA의 PSR 지침

국제원자력기구에서는 1994년 「Periodic Safety Review of Operational Nuclear Power Plants」를 Safety Series No. 50-SG-O12로 발행하였다. 이 지침은 그 이후의 적용 경험을 반영하여 현재 개정 작업중인 것으로 파악되며, 2000년 중에 개정된 지침서가 발행될 것으로 예상된다. 현 지침서의 핵심적인 내용은 다음과 같이 요약될 수 있다.

〈표 1〉 국가별 운영 허가 및 주기적 안전성 평가 제도

국가명	운전 가능 기간/ 운영 허가 기간	PSR 수행 여부 /이행 주기	PSR 이행 근거	PSR과 운전 기간 연장과의 연계
한국	제한 없음/ 규정 없음(설계 수명)	없음/ —	—	—
미국	제한 없음/ 40년 + 20년 단위 갱신	SEP · ISAP · IPE · SALP 등이 대체	규제 권한	별도의 운영 허가 갱신 (LR)규정
캐나다	제한 없음/ 통상 2년마다 갱신	일반적 의미의 PSR은 없음	—	안전성 검토 결과에 따라 운영 허가 갱신
프랑스	제한 없음/ 없음	수행/10년	규제 권한	간접적으로 연계
일본	제한 없음/ 다음 정기 검사까지	수행(MITI 권고 사항)/10년	규제 권고(훈령)	간접적으로 연계
영국	제한 없음/ 다음 정기 검사까지	수행/ 10년	규제 규정	PSR 결과가 장기(10년) 연장 운전 여부 결정
독일	설계 수명(?)/ 설계 수명과 동일	수행/10년	기존:PSK 요구 신규: 허가 조건	간접적으로 연계
스웨덴	제한 없음/ 없음	수행/10년	규제 규정(규칙)	간접적으로 연계
핀란드	제한 없음/ 10년	수행/10년	규제 규정	PSR 결과에 따라 운영 허가 갱신
스페인	제한 없음/ 2년	수행/10년	규제 권한	간접적으로 연계
스위스	제한 없음/ 없음	수행/10년	규제 권한	간접적으로 연계
벨기에	제한 없음/ 없음	수행/10년	허가 조건	간접적으로 연계
헝가리	제한 없음/ 10년	수행/10년	규제 규정	PSR 결과에 따라 운영 허가 갱신

주 : SEP : Systematic Evaluation Program
ISAP : Integrated Safety Assessment Program
IPE : Individual Plant Examination
SALP : Systematic Assessment of Licensee Performance

1. PSR의 정의

가동중인 원전에 대해 노후화, 시설 변경, 운전 경험, 기술 발전 등과 같은 누적된 영향을 다루고, 원전 운전 기간 동안 고도의 안전성을 보증하기 위하여 일정 주기로 수행되는 체계적인 안전성 평가.

2. PSR의 목적

가동중 원전이 현재의 안전 기준

〈표 2〉 세계 주요국의 PSR의 수행 방법 비교

항목	명칭	목적	방법	항목
IAEA	Periodic Safety Reviews	• 현행의 안전 기법 등으로부터 판단해도 원전이 높은 안전 수준에 있는 것을 보여 준다.	• 최대 10년 간격 • 현행의 안전 해석 수법 • 아래의 3step으로 실시 ① 현상태 ② 전문가에게 의존하는 평가 ③ 상세 평가 • 대책은 가능한 조기에 실시 대응할 수 없을 때, 그 risk를 평가 • 공공 기관 등 미디어에 대하여 보고 또는 고려 • 폐기물 · 환경에의 영향 등도 대상으로 할 것	• 운전 정보뿐만 아니라 설계 · 제조 · 건설의 data도 포함시켜 아래의 11항목에 관하여 평가한다. ① 원전의 현상태 ② 현행 기법에 따른 안전 해석 ③ 기기 검증 ④ 노후화 대책 ⑤ 안전 성능 ⑥ 타원전 경험 반영 ⑦ 운전 절차서의 평가 ⑧ 조직/관리 factor ⑨ 인적 인자 ⑩ 비상 계획 ⑪ 환경 영향
일본	정기 안전 Review	• 시간 경과와 같이 최근의 정보로 원전 안전성을 일층 향상시킨다.	• 약 10년 간격 • 아래의 관점에서 평가 ① 과거 운전 경험의 포괄적 평가 ② 최신 기술적 지식의 반영 ③ PSA에 의존 평가 • 실시 항목 ① 현상 ② 전문가에게 의존하는 평가 • 지방 자치 단체와 언론 보도 • 폐기물 처리 상황 등도 평가 • 개별 원전마다 평가	• 안전 규정, IAEA 지침 등을 기본으로 하여 운전 경험을 아래에 분류 · 정리 ① 운전 관리 ② 보수 관리 ③ 연료 관리 ④ 방사선 관리 ⑤ 방사성 폐기물 관리 ⑥ 조직 ⑦ 비상시의 보고 · 사고 · 고장 등에 대응
프랑스	Re-evaluation of Safety	• 설계시의 안전 level의 추대 • 최신 기준에 적합성 평가	• 10년 간격 • 아래의 관점에서 평가 ① 경험의 반영 ② 설계시의 안전 level ③ 최신 원전의 안전 대책과 동일 ④ 최신 정보에 기초한 평가 • 환경 변화 등도 대상으로 함 • 원전의 표준화를 진행하기 위해 노형별 평가	① 외부 사건 ② 내부 사건 ③ 안전 방호계 ④ 내부 구조물 ⑤ 1차 계통 ⑥ 2차 계통 ⑦ 보조 계통 ⑧ 격납 용기 ⑨ 계장 · 제어 장치 ⑩ 사고 연구 ⑪ 일반 운전 규칙 ⑫ 일반 원칙

항목	명칭	목적	방법	항목
스웨덴	As-oper ated Safety Review	• 규제 당국 등의 장기적 목표 설정 • 규제 당국 등의 세대 교체의 경우 경험등의 확실한 전수	• 8~10년 간격 • 아래의 관점에서 실시 ① 과거의 경험 ② 최신 정보와의 비교 ③ 최신 기준에의 적합성 • 대책의 실시는 보통 작업 순서와 동일 (특별한 경우 제외) • 개선 결과는 팜플렛 등으로 공개 • 폐기물 발생량 등도 대상	PSA를 주체로 하는 아래의 항목을 대상으로 한다. ① 조직과 품질 관리 ② 운전 경험 ③ 품질 관리-운전과 보수 ④ PSA ⑤ 직원 훈련 ⑥ 실시 후의 안전성 개선 ⑦ 실시중의 안전성 개선
영국	Long Term Safety Reviews	• 설계 수명 초과 가동시 안전성 확인 • 노후화 평가 • 실용적인 개선 실시	• 약 10년 간격 • 아래의 관점에서 실시 ① 전성능에 대한 안전성 확인 ② 앞으로의 안전성에 영향을 주는 원인의 특정 평가 ③ 실용적인 개선 실시 • 미실시 항목 등의 공학적 판단에 PSA는 중요한 tool임. • 모든 원전의 공통 문제를 우선적으로 실시한다.	• Magnox로에 아래 항목 실시 ① 1차 압력 계통 ② 압력 계통 내부 구조물 ③ 재해 설비 ④ 운전 정지 계통 ⑤ 제어 장치 ⑥ 전원 ⑦ 냉각 계통 ⑧ 고장 조사 ⑨ 연료 취급 ⑩ 운전원 ⑪ 방사선 관리 ⑫ 방사성 폐기물 ⑬ 폐로 ⑭ 노후화 감시 ⑮ 최신 기준 ⑯ 개요 보고

과 관행의 관점에서 안전한지, 그리고 안전을 유지하기 위한 적절한 대책이 이행되고 있는지를 종합적으로 평가

3. PSR 이행 방법

- 이행 주기: 10년
- 이행 범위: 11개 안전 인자에 대한 평가 범위를 제시
- 이행 방법: 원전 운영자가 수행하고, 규제 기관이 그 결과를 심사
- 계속 운전 허용에 대한 근거를 제시

〈표 4〉는 IAEA 지침에서 요구하는 11개 안전 인자들을 요약하고 있으며, 지침에서 제시하고 있는 PSR을 위한 3단계 수행 절차를 〈그림 1〉에 제시하였다.

PSR의 수행 범위

PSR에서 이행되어야 하는 안전성 평가 범위는 IAEA Safety Series No. 50-SG-O12에 비교적 잘 제시되어 있다.

이 문서에서는 모두 11개의 안전 인자(Safety Factor)에 대한 평가 목적 및 범위를 다루고 있는데 주요 사항을 〈표 2〉에 요약한 바 있다.

〈표 3〉 세계 주요국의 PSR 실시 항목 비교

IAEA의 항목	일본	프랑스	스웨덴	영국
1. 현재 물리적 상태	○	○	○	○
① 구성 기기도를 포함한 현상태	○	○	○	○
② 기록에 누락된 것이 있을 경우 보충				
2. 현행 기법에 의존한 안전 해석	○	○	○	○
① 외부 사고		○		○
② 설계 당시의 해석 기법/결과와 비교	○	○	○	○
3. 기기 검증		○		○
① 운전에 앞선 성능 보증				
② 운전중의 성능	정기 검사에 포함			○
③ 설계 수명은 사용 상태 등에 따라 볼 필요가 있다.				
4. 노후화 관리	○	○	○	○
① 기록 등 보다는 경년 예측 또는 보수 시기의 결정을 행함.	○	○	○	○
5. 안전 성능	○	○	○	○
① 운전 이력	○	○	○	○
· 안전에 관한 모든 parameter의 평가	○	○	○	○
② 운전 경험 이외에 다음 항목에 대하여도 평가				
· 사고	○	○	○	○
· 안전성의 실제 지표				
· 핵폐기물	○	○	○	○
· 품질 보증	○		○	
· 건설도의 기록				○
· 방사선 장치와 폐기물 방출의 기록	○		○	○
6. 타원전 운영 연구 경험 정보 등의 feed back	○	○	○	○
① 원자력 이외에도 포함된 정보를 입수, 평가				
7. 운전 · 보수 등의 개선 절차서	○	○	○	○
① 과거의 경험 등에 기반을 두고 절차를 평가	○	○	○	○
8. 조직/관리			○	
① 외부의 consultant 등의 협력을 얻어 실시			○	
9. 인적 인자				
① 외부의 consultant 등의 협력을 얻어 실시				○
10. 비상 계획	○			○
① 사고 관리 계획의 기본적인 평가	○			
11. 환경 영향				
① 환경 parameter를 기본으로 하여 감시				○

〈표 4〉 국가 IAEA 50-SG-012의 평가 대상 11개 안전 인자

안전 인자	평가 목표	평가 범위
원전의 실제 물리적 상태	발전소의 실제적인 물리적 상태 확인	원전의 구조물 · 계통 및 기기의 실제 물리적 상태를 파악하고 평가
안전 해석	발전소의 실제 상태, 예상되는 수명 만료 상태, 현행 해석 방법, 안전 기준 및 지식을 고려하여 기존 안전 해석의 타당성 확인	- 기존 안전 해석 방법의 타당성 평가 - 공통 원인 및 교차 결합 사고 가능성 평가 - 결정론적 방법을 기본으로 하고 확률론적 방법 병행
기기 검증	안전에 중요한 설비들이 수명 기간 동안 주어진 안전 기능을 수행할 수 있음이 검증되었는지를 확인	- 수명 기간 동안 안전 기능 수행을 보장하는 증거 제시 및 문서화 - 경년 열화 · 변경 · 보수 · 정비 · 고장 · 교체 · 비정상 운전 조건 · 이력 등 고려
노화(경년 열화)관리	필요한 안전 여유도가 유지될 수 있도록 경년 열화가 효과적으로 관리되었는가와 향후 경년 열화 관리 프로그램의 확립 여부 확인	- 구조물 · 계통 및 기기의 미래 상태 예측 - 성능 저하 시점 예측, 감시 및 완화 조치 - 경년 열화 관리 프로그램 및 안전 여유도 유지 계획
안전 성능	발전소의 안전 성능과 운전 기록으로부터의 그 경향을 확인	안전 관련 사건, 안전 계통 이용 불능 기록, 방사선 피폭 기록, 방사성 폐기물 및 유출량 기록 분석 - WANO의 안전 성능 지표 활용 가능
타발전소의 경험 및 연구 결과의 사용	다른 원전들로부터의 안전 경험과 연구 결과들이 적절하게 반영되고 있는가를 확인	- 운전 경험 및 연구 결과 피드백 제제의 타당성 평가 - 시의 적절한 이행 여부 평가
절차서	운전 · 유지 보수 · 검사 · 시험 및 변경 등에 대한 원자력발전소 절차서들이 적절한 기준에 따라 되어 있는지를 확인	- 정상 및 비정상 상태 운전 절차서 - 유지 보수 · 시험 및 검사 절차서 - 방사선 방호 절차서 등
조직 및 행정	조직과 행정이 원자력발전소의 안전한 운전을 위해 적합한가를 결정	- 관리, 조직 구성 통제, 기술 및 계약적 지원, 훈련, 품질 보증, 기록, 규제, 다법규 준수 등
인적 인자	발전소의 안전한 운전에 영향을 줄 수 있는 다양한 인적 인자들의 상태를 확인	- 직원 채용, 선발 및 훈련, 직원 관련 현안들, 절차서 유형, 인간-기계 연계 등 평가
비상 계획	소유/운영자가 비상 사태에 대비한 계획 · 인력 및 장비를 갖추고 행정 조직과 협조 관계를 잘 이루고 있으며 정기적으로 훈련하는지를 확인	- 비상 계획 및 비상 훈련의 적합성 평가
환경 영향	운영/소유자가 원전의 환경 영향을 감시하기 위한 적절한 프로그램을 갖고 있는가를 확인	- 환경 감시 프로그램의 적합성 평가 - 발전소가 환경에 미치는 방사선 영향 평가

PSR을 수행하고 있는 대부분의 국가에서는 〈표 2〉의 안전 인자들을 모두 평가 범위에 포함시키고 있는 것으로 파악되고 있으나 구체적인 내용은 국가별로 상당한 차이가 나타날 수 있으며, 이러한 사항들은 각국의 규제 철학 및 관행에 따라 영향을 받고 있다.

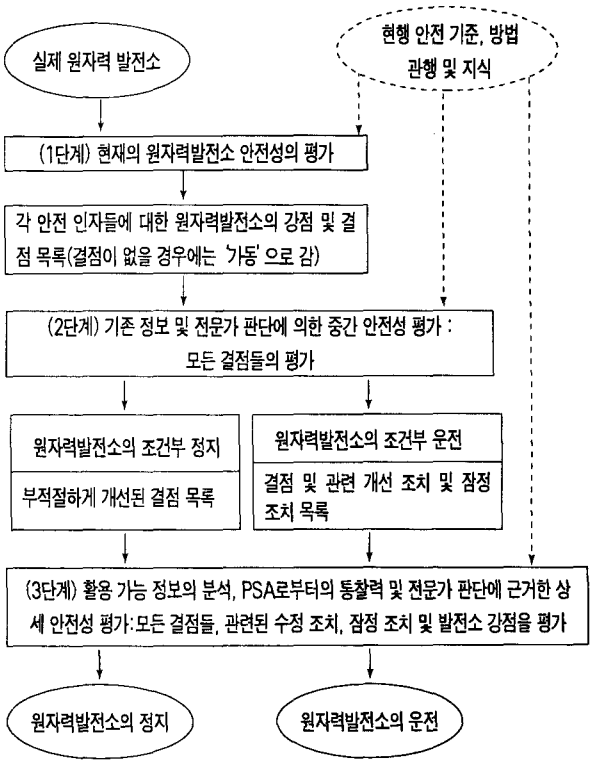
현재 논란이 되고 있는 사항 중의 하나는 안전 해석 평가에서 확률론적 안전성 평가(PSA)의 필요성 여부인데, PSA는 반드시 수행하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. PSA를 수행하는 과정에서 발전소의 실제 물리적 상태에 대한 보다 정확하

고 체계적인 지식을 확인할 수 있으며, 결정론적 방법으로는 간과하기 쉬운 취약점을 도출하여 안전성 증진에 기여할 수 있기 때문이다.

특히 PSR이 도입되지 않은 현재에도 개별 원전 안전성 평가의 일환으로 가동중 원전에 대한 PSA가 진행되고 있는데, 보다 확고한 안전성 확보를 위한 PSR 제도를 도입하면서 이를 삭제하는 것은 합리적이 아니다.

과거에 PSA를 수행한 발전소의 경우 그 동안의 변경 사항을 중심으로 하는 단순화한 PSA가 가능할 것으로 판단된다.

한편 PSA 결과가 양호한 안전성을 나타낸다고 하여 결정론적인 검토가 면제될 수는 없다. 현행 안전 규제 철학은 위험도 기반 규제를 점차 중시하고는 있지만, 가장 기본적인 안전성 확인 수단은 결정론적인 방법에 의존하고 있기 때문이다.



〈그림〉 IAEA 지침에 따른 PSR 이행 절차

PSR의 이행 방식

PSR을 이행하고 있는 대부분 국가의 경우와 IAEA 지침에서의 제안과 마찬가지로, PSR은 원전 운영자가 수행하여 이를 규제 기관이 검토하는 형식으로 수행되는 것이 바람직하다.

원전 안전 관리의 궁극적인 책임은 운영 기관에게 있고, 또한 운영 기관은 설계·운전 및 안전 관리에 관한 모든 자료를 보유하고 있으므로 운영 기관이 주도하는 경우만이 체계적인 PSR 수행이 가능할 것이다.

이 경우 전체적인 규제 절차는 원전 건설 허가 또는 운영 허가시와 유사하나, 도출된 취약점에 따른 개선 조치의 이행 및 결과 확인 절차가 추가로 필요하다.

원전 운영 기관은 PSR 착수 이전에 이행 계획을 수립하여 규제 기관의 검토를 받은 후 확정해야 할 것이다.

PSR의 원활한 추진을 위해서는 관련 법규의 제정뿐만 아니라, 심사 지침서가 마련되어 포함될 업무를 명확하게 할 수 있어야 한다. 그러나 현시점에서 PSR과 관련된 세부 사항들을 모두 명문화하는 것은 비현실적이므로, 운영자의 의견을 수렴하여 기본 지침을 만든 후 고리 1호기에 대해 시범 적용하고, 그 결과에 따라 세부 사항들을 확정할 계획이다.