

주기적안전성평가의 경년열화평가 대상기기 선정을 위한 기준
Screening Criteria of System Structure and Components
to Evaluate of Aging in Periodic Safety Review

문호림* · 박준현 · 정일석

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요약

주기적안전성평가(periodic safety review)는 가동중인 원전의 안전성 확보 또는 향상을 위해 일정주기로 안전성과 관련된 제반 사항들을 평가하고 개선이 필요한 사항들을 도출해내는 제도이다. 원자력법 시행령에 제시된 주기적안전성평가에서 다루어야 하는 인자는 12개이며 이중에서 가장 많은 비중을 차지하는 것은 경년열화 평가 분야이다. 경년열화 평가란 요구되는 안전여유도를 유지하기 위해 원자로시설의 계통·구조물·기기의 경년열화가 효과적으로 관리되고 있는지의 여부와 향후 원자력발전소 안전운전을 위하여 적절한 경년열화 관리계획이 확립되어 있는지를 확인하는 것이다. 원자력발전소 경년열화 평가를 위해서는 주기적안전성평가의 근본 취지에 부합하도록 경년열화 평가범위에 해당하는 주요 계통, 구조물과 기기를 선정한 후 평가를 수행하여야 한다.

본 논문에서는 국내 원자력법, 시행령, 시행규칙과 주기적안전성평가 시행지침을 기준으로 하고 IAEA의 주기적안전성평가 지침과 미국의 인허가갱신규정 등을 참조하여 경년열화평가 대상 주요 계통, 구조물 및 기기 선정기준을 수립하였다. 또한 선정기준에 따라 고리 1호기를 대상으로 주기적안전성평가 경년열화 평가 대상기기를 선정하였다.

Abstract

Periodic safety review(PSR) is considered to be the best way to obtain overall view of actual plant safety, to determine necessary or worthwhile changes that should be made in order to maintain a high level of safety and to improve the safety of older nuclear power plant to level comparable with that of modern plants. According to the nuclear power law, PSR must be applied to operating nuclear power plants. Evaluation item for PSR is composed of 12 factors. The object of Management of aging that one between 12 factors is to determine whether aging in a nuclear power plant(NPP) is being effectively managed so that required safety margins are maintained, and whether an adequate aging management program is in place for future plant operation.

The object of this paper is to establish screening criteria and methodology for evaluation of aging management of periodic safety review(PSR). For this purpose, domestic nuclear laws related on PSR was investigated and made comparison with license renewal and maintenance rule. The evaluation scope for aging management of PSR is consists of system, structure and components(SSCs) on safety and stable operation of NPPs. The SSCs for aging evaluation of Kori 1 PSR was selected by screening criteria and methodology.

1. 서론

주기적안전성평가란 가동중인 원자력발전소에 대하여 사용기간 동안 안전성을 유지하기 위하여 일정한 주기로 수행하는 종합적인 안전성 평가활동을 의미한다. 국제원자력기구의 국제 원자력안전협약 제14조에 의하면 “원자력시설의 건설 및 시운전 그리고 시설의 수명기간동안 포괄적이고 체계적인 안전성 평가를 시행하여야 하며 이러한 평가는 운전경험과 중요한 최신 안전정보를 지속적으로 반영하여야 함”을 명시하고 체약국에 대해 주기적안전성평가 수행을 권고하였다. 국내의 경우는 원자력법 제23조 3항[1]에 주기적안전성평가를 시행하도록 규정되어 있다. 이를 통해 10년 주기로 가동중 원전의 안전성을 종합적으로 평가함으로써 발전소 가동년수 증가에 따른 기능 저하를 예방하고 기기 건전성과 안전성을 유지시킬 수 있다. 즉, 주기적안전성평가의 목적은 가동중인 원자력발전소가 현재 이용되고 있는 안전기준과 관행을 볼 때 안전한지 여부와, 이러한 안전을 계속 유지하기 위해 원전운영자가 적절한 조치를 취하고 있는가를 종합적인 평가를 통해 안전성을 확인·증진하는데 있다[2].

원자력 시행령 제42조의3에 주기적안전성평가 평가항목 12개가 규정되어 있다. 12개의 평가항목 중 경년열화¹⁾ 평가란 요구되는 안전여유도를 유지하기 위해 원자로시설의 계통·구조물·기기의 경년열화가 효과적으로 관리되고 있는지의 여부와 향후 원자력발전소 안전운전을 위하여 적절한 경년열화 관리계획이 확립되어 있는지를 확인하는 것[3]이다.

본 논문의 목적은 국내 주기적안전성평가 수행의 법적 근거인 원자력법, 시행령, 시행규칙 및 주기적안전성평가 시행지침에 따라 경년열화 평가 대상기기 선정기준과 방법을 수립하는 데 있다. 이를 통해, 고리 1호기 주기적안전성평가 경년열화평가 대상 계통·구조물·기기를 선정하였다.

2. 주기적안전성평가 관련 국내법령

2001년 5월 24일에 개정된 원자력법[1]에 원자로 및 관계시설의 안전성을 평가하도록 주기적안전성평가의 시행을 명시되어 있다. 원자력법 시행령에는 주기적안전성평가의 시기, 내용, 방법 기준이 제시되어 있다. 주기적안전성평가는 운영허가를 받은 날부터 10년마다 안전성을 평가하도록 규정되어 있다. 주기적안전성평가의 내용은 다음의 12개항목으로 세분화하였으며 각 항목의 세부 내용은 다시 원자력법 시행규칙[4]에 제시되어 있다.

- 원자로시설의 평가 당시의 물리적 상태에 관한 사항
- 안전성 분석에 관한 사항
- 기기검증에 관한 사항
- 경년열화에 관한 사항
- 안전성능에 관한 사항
- 원자력발전소 운전경험 및 연구결과의 활용에 관한 사항
- 운영 및 보수(補修) 등의 절차서에 관한 사항
- 조직 및 행정에 관한 사항
- 인적 요소에 관한 사항
- 비상계획에 관한 사항
- 환경영향에 관한 사항
- 그 밖에 과학기술부장관이 필요하다고 인정하는 사항

1) 시간경과 또는 사용에 따라 원자력발전소의 , 구조물, 기기의 손상을 초래하는 물리적 또는 화학적 과정

표 1 주기적안전성평가 시행지침 217~219 항 내용

항목	평가대상
217	원자로의 안전정지와 안전정지조건의 유지능력, 원자로 압력경계의 건전성 확보, 잠재적인 방사선 소외누출을 유발할 수 있는 사고의 방지 및 완화 등 원전의 안전기능을 보장하기 위한 계통·구조물·기기
218	원전의 안전기능에 영향을 미치는 비안전 관련 계통·구조물·기기
219	해당 원전에 규제기관이 특별히 요구한 사항과 관련된 계통·구조물·기기

주기적안전성평가 시행지침의 제 217~219항에 경년열화 평가대상 기기 선정기준이 명시되어 있으며 그 내용은 표 1과 같다. 각 항은 원자력발전소의 안전성과 관련된 계통·구조물·기기를 평가대상에 포함되어야 함을 규정하고 있다.

3. 경년열화 평가 대상기기 선정기준 및 방법

미국의 경우는 주기적안전성평가 제도를 두고 있지 않으나 인허가갱신규정과 정비규정 등을 두어 원자력발전소의 안전성 확보 제도를 갖추고 있다. 이들 규정의 적용 대상기기는 안전운전에 직접적인 영향을 주는 SSCs로 제한하고 있다. 표 2에 미국의 인허가갱신규정과 정비규정, 그리고 주기적안전성평가 시행지침의 평가 대상기기 선정기준을 비교하였다. 화재방호 등은 인허가갱신규정에는 포함되나 정비규정에는 포함되어 있지 않다.

안전성과 관련 있는 안전/비안전 SSCs, 기타 안전성 관련품목 및 규제기관 요구품목을 주기적안전성평가 경년열화평가를 위한 대상기기로 선정하였다. 따라서 경년열화평가 대상기기는 발전소의 안정적인 운전에 영향을 미치는 능동형/피동형 기기가 모두 포함되도록 선정기준을 수립하였다.

표 2 평가 대상기기 선정기준 비교

기준 \ 규정	인허가갱신규정	정비규정	주기적안전성평가 시행지침
안전성관련 품목	○	○	○ (217)
안전성에 영향품목	○	○	○ (218)
기타 안전성 관련품목	○	△	△ (217)
규제기관 요구품목	△	×	△ (219)

3.1 선정기준

표 3에 주기적안전성평가의 선정기준과 원자력발전소의 품질등급을 비교하였다.

3.1.1 안전성 품목

주기적안전성평가 시행지침 217항에서 언급한 계통·구조물·기기는 안전기능을 수행하는 품목으로서 품질등급 “Q”에 해당하며 이는 설계기준사고의 진행 또는 사고후 다음의 세 가지 기능을

표 3 주기적안전성평가의 선정기준과 원자력발전소의 품질등급

선정기준	품질등급	내용
안전성 품목	Q	고장 또는 결함 발생 시 일반인에게 방사선 장애를 직접 또는 간접으로 미칠 가능성이 있는 원자로 및 원자로의 안전에 관련된 품목 또는 용역
안전성 영향품목	T	고장 또는 결함 발생 시 안전성 등급 품목의 기능에 영향을 줄 수 있는 품목 또는 용역
기타 안전성 관련품목	Q, T	화재방호/기기검증/가압열충격/원자로정지 불능사고/발전소정진
규제기관 요구품목	R	신뢰성 품목중 과학기술부 지적사항 또는 권고사항으로 발급한 계통·구조물·기기

보장하기 위한 것이다. 여기서 안전등급의 분류는 각 기기들의 기능에 따른 것으로 설계 또는 품질 요건에 의한 것은 아니며 비안전관련 기기이면서 기기고장이 안전관련 기능을 방해하는 경우는 안전관련 기기로 분류하였다.

- 원자로냉각재 압력경계의 건전성 유지(10 CFR 100 Appendix A VI (a)(1)[5])
- 원자로의 정지능력과 안전정지 상태를 유지하는 기능(10 CFR 21.3 (a)(1)[6])
- 10 CFR Part 100 지침에 비교할 만한 잠재 소외노출을 초래할 수 있는 사고의 결과를 방지하거나 완화하는 기능(10 CFR 50.49 (b)(1)[7])

3.1.2 안전성 영향품목

주기적안전성평가 시행지침 218항에서 언급한 계통·구조물·기기는 안전성 영향품목으로서 품질등급 “T”에 해당한다. 영광 3, 4호기 이전의 발전소에서는 안전성 영향 기기에 Regulatory Guide 1.29[8]에 따라 내진설계가 요구되는 비안전관련 기기를 포함시키고 있다. 한편 영광 3, 4호기 이후 발전소에서는 위의 Regulatory Guide 1.29에 따른 기기 이외에 ANSI/ANS 51.1, 3.3.1.4에 따라 아래의 기능을 수행하는 기기를 안전성 영향 기기로 분류하고 있다.

- 방사성폐기물의 공정, 추출, 밀봉, 저장
- 원자로냉각계통과 연료저장계통의 방사성 물질 세정
- 중성자 흡수체의 재사용을 위한 방사성폐기물의 추출
- 방사성 유출물의 감시
- 기기 고장이 안전관련 기기의 기능을 방해
- ANSI/ANS 51.1, 3.3.1.4의 기능을 수행하는 기기의 지지
- 안전관련 기기 또는 운전원 보호
- 방사성 물질과 관련한 운전, 보수, 사고후 회복
- 안전정지 또는 유지와 관련 안전관련 기기의 환경 조성
- 사용후 핵연료 취급
- 저장 연료의 방사능 제어
- 화재후 안전정지와 관련한 안전등급 2, 3 기기의 보호
- 아래의 변수 감시
 - 기술지침서의 운전조건 (제장전 용수 저장탱크 수위, 안전관련 냉각수 온도)
 - 보호계통의 상황 지시

- 안전관련 기기의 상황 지시
- 사고후 조사관련 원인 또는 결과 결정관련 변수

3.1.3 기타 안전성 관련품목

미국의 소급적용 규정(Backfitting Rule)은 가동중인 원전의 안전성 향상을 위해 초기 인허가 연도에 관계없이 의무적으로 적용해야하는 규정이다. 국내에는 소급적용 규정과 같은 내용이 법제화되어 있지 않지만 최근의 신규원전에서는 소급적용 규정에서 다루고 있는 내용을 대부분 설계 단계에서 반영하고 있고 규제기관에서도 인허가 단계에서 이의 반영여부를 검토하고 있다. 고리 1호기의 경우 가압열충격평가를 완료하였고 화재방호, 기기검증, 원자로정지불능사고, 발전소정전 등은 현재 설비개선을 계획하고 있거나 진행중이므로 향후 수년 이내에 소급적용 규정을 모두 만족할 것으로 예상된다. 따라서 소급적용 규정을 적용 받는 설비는 발전소 안전성 향상과 관련된 설비이므로 경년열화 평가대상에 포함하였다.

- 화재방호 (10 CFR 50.48)[9]
- 기기검증 (10 CFR 50.49)[7]
- 가압열충격평가 (10 CFR 50.61)[10]
- 원자로정지 불능사고 (10 CFR 50.62)[11]
- 발전소정전 (10 CFR 50.63)[12]

3.1.4 규제기관 요구관련 품목

주기적안전성평가 시행지침 219항에서 언급한 계통·구조물·기기는 품질등급 “R”에 해당하는 신뢰성 품목중 규제기관 요구와 관련한 품목이다. 따라서 품질등급 “R” 기기중 발전소의 안전성 향상을 위해 과학기술부가 지적사항 또는 권고사항으로 발급한 계통·구조물·기기를 대상기기 포함하였다.

- 행정권고 사항
- 정기검사 권고사항
- 정기검사 지적사항

3.2 선정방법

고리 1호기 주기적 안전성평가의 경년열화평가 대상기기의 선정방법은 그림 1에 도시하였다. 먼저 고리 1호기 최종안전성분석보고서(FSAR) 4~10장과 관련한 계통·구조물 및 기기중 PUMAS N-II(Power Unit MAintenance System for Nuclear ver. II; PUMAS N-II)[13]를 이용하여 대상 계통·구조물 및 기기를 도출하였다. 즉, PUMAS N-II의 검색을 통해 품질등급 Q, T에 해당하는 기기와 R에 해당하는 기기중 발전소의 안전성 향상을 위해 과학기술부가 지적사항 또는 권고사항으로 발급한 기기를 분류하였다.

4. 선정결과

4.1 계통 분류 및 선정

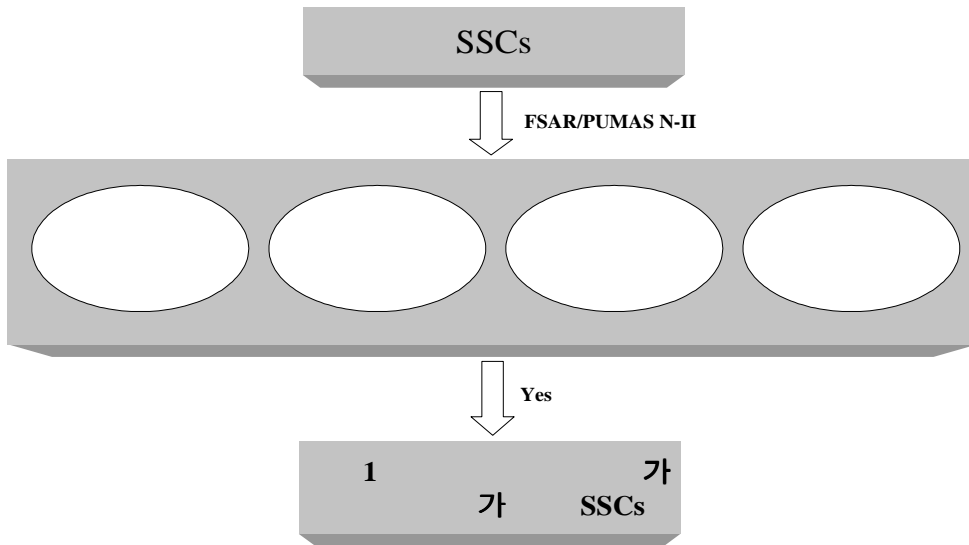


그림 1 경년열화평가 대상기기 선정방법

고리 1호기 FSAR 목차 순서에 PUMAS의 108개 계통을 분배하여 계통을 분류하였다. 표 4와 같이 PUMAS의 계통중 선정기준이 하나라도 있으면 평가계통으로 선정하였다. 26개의 소급관련 계통을 포함하여 73개 계통을 선정하였다.

표 4 대상 계통 분류 및 선정

계통명	안전성	안전성 영향	기타 안전성	규제 기관 요구	선정 결과
Reactor Coolant System and Connected Systems	○	○	○		○
Acoustic Leakage Monitoring System					×
Tools and Equipment	○	○			○
Reactor Control Rod Vent and Cooling System					×
Steam Generator	○	○			○
Residual Heat Removal System	○	○	○		○

4.2 기기 분류 및 선정

PUMAS의 전체 기기중 상기 기술한 선정기준이 하나라도 해당되면 평가기기로 선정하여 총 8,270개 기기를 선정하였다.

4.3 구조물 분류 및 선정

표 5와 같이 PUMAS를 이용하여 경년열화 평가와 관련한 대상 구조물을 분류하였다.

표 5 경년열화 평가 대상 구조물

구조물명	안전성	안전성 영향	기타 안전성	규제 기관 요구	선정 결과
Containment Building					
- Prevent Fission Product Escape	○				○
- Provide Radiation Shielding Around RCS		○			○
- Provide Refueling Canal, Equipment		○			○
Auxiliary Building - House Support Equipment		○			○
Shielding Building - Provide Radiation Shielding Around RCS		○			○
Vital Service Pumphouse - house safety related equipment		○	○		○
Service Building					X
Turbine Building					X

5. 결론

본 논문에서는 경년열화 평가 대상기기 선정을 위해 주기적안전성평가와 관련된 국내 원자력법령을 검토하였고 외국의 인허가갱신제도, 정비규정 등과 비교하였다. 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 국내 주기적안전성평가 수행의 법적 근거인 원자력법, 시행령, 시행규칙 및 주기적안전성평가 시행지침에 따라 경년열화평가 대상기기 선정기준과 방법을 수립하였다.
- (2) 이를 이용하여, 고리 1호기 주기적안전성평가 경년열화평가 대상 계통·구조물 및 기기를 선정하였다.

참고문헌

- [1] 법제처, 법률 제6472호, 원자력법, 2001.5.24.
- [2] 과학기술부, 주기적안전성평가지침, 2000.5.25.
- [3] 행정자치부, 대통령령 제17304호, 원자력법 시행령, 2001.7.17.
- [4] 과학기술부, 과학기술부령 제29호, 원자력법 시행규칙, 2001.7.25.
- [5] USNRC, *Reactor Site Criteria*, Appendix A to 10 CFR 100.
- [6] USNRC, *Reporting of Defects and Noncompliance*, 10 CFR 21.
- [7] USNRC, *Environmental Qualification of Electric Equipment Important to Safety for Nuclear Power Plants*, 10 CFR 50.49.
- [8] USNRC, *Seismic Design Classification*, Reg. 1.29., Rev. 3, 1978.
- [9] USNRC, *Fire Protection*, 10 CFR 50.48.
- [10] USNRC, *Fracture Toughness Requirements for Protection Against Pressurized Thermal Shock Events*, 10 CFR 50.61.
- [11] USNRC, *Requirements for Reduction of Risk from Anticipated Transients Without Scram(ATWS) Events for Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants*, 10CFR 50.62.

[12] USNRC, *Loss of All Alternating Current Power*, 10 CFR 50.63.

[13] 한국전력공사, 원전설비정비관리시스템(Power Unit MAintenance System for Nuclear Ver. II; PUMAS N-II) 사용자안내서, 1996.