

가동중 중수로 경년열화 안전평가지침 개발 (1)

Development of Regulatory Guides on Aging Management for CANDU Reactors

노희영, 진태은

한국전력기술개발(주)
경기도 용인시 구성읍 마북리 360-9

김만웅, 정명조, 김홍기, 안상규, 김효정

한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19

요 약

주기적안전성평가의 법제화와 과기부고시 2002-5의 추진일정에 따라 국내 최초의 중수형 원전인 월성 1호기에 대한 주기적안전성평가 수행결과가 2003년 제출될 예정으로 있다. 이에 따라 한국원자력안전기술원에서는 규제관점에서 이에 대한 능동적인 대처를 위해 중장기 연구개발 과제의 일부로 중수로에 대한 경년열화 안전평가지침 개발을 한국전력기술개발주식회사의 지원을 받아 추진하고 있다. 본 연구에서는 중수로에 대한 안전평가지침의 개발방향, 평가지침의 구성체계와 작성수준을 포함하여 현재까지 수행한 결과와 향후 수행계획을 소개하고자 한다.

ABSTRACT

The results of the periodic safety review (PSR) for Wolsong Unit 1, a CANDU reactor is scheduled to submit in June 2003 according to the National Atomic Energy Law and the Notice of Minister of Science and Technology, 2002-5. In this regard, the Korea Institute of Nuclear Safety (KINS) are developing the regulatory guides on the management of aging for CANDU reactors in collaboration with the Korean Power and Electrical Company (KOPEC) as a part of mid- and long-term research and development (R&D) program. In this study, the R&D direction, structure and contents, and a level of depth for developing regulatory guides of the PSR for CANDU reactors are introduced. It is also described the results performed during the first phase (year 2002) and the implementation plan in the second phase (year 2003).

1. 서 론

주기적안전성평가(Periodic Safety Review : PSR)는 가동중인 원자력발전소 (이하 "원전"이라 함)에 대해 종합적이고, 체계적인 안전성 평가를 통하여 안전성에 영향을 줄 수 있는

현안사항을 확인, 개선함으로써 가동에 따른 안전성을 유지하고 [1], 국제기준에 부합하는 안전성을 유지하는데 있다. 또한 안전성 입증을 통하여 대 국민 이해 및 신뢰도 제고와 중수로 원전 설비의 건전성 유지 확인 및 안전여유도 확보를 통하여 장수명 운전에 대한 기반을 구축하는 데에도 활용될 수 있다. 우리나라에서도 2001년 1월 원자력법 개정을 통하여 가동 원전에 대한 주기적안전성평가의 수행을 법제화하였고 현재 가동 원전에 대한 안전성 평가 활동이 이루어지고 있다.

국제원자력기구 (IAEA)에서는 1988년 전문가 자문그룹 (Advisory Group)의 권고사항에 따라 PSR 안전인자의 하나인 경년열화와 관련한 연구를 시작하였고 현재 경수로 및 중수로의 일부 주요 기기에 대한 경년열화 평가 및 관리지침들을 제공하고 있다. 미국의 경우는 경수로 (PWR, BWR) 원전에 대해 운영허가갱신 관점에서 NUREG-1800,-1801[2,3]을 개발하여, 원자로 시설의 평가, 심사에 활용하고 있다. 캐나다의 경우는 가동중인 중수로 (CANDU) 원전의 수명유지 및 계속운전을 위해 주요 계통, 구조물 및 기기를 대상으로 경년열화평가를 수행하고 있으나 별도의 규제관점의 지침은 개발되어 있지 않은 상황이다. 미국을 제외한 대부분의 IAEA 회원국들은 IAEA의 PSR 안전지침에 따라 고유의 평가체계를 구축, 적용하고 있다.

국내에서는 PSR 제도화 추진과 함께 가압경수로를 대상으로 IAEA의 관련지침과 해외의 선행경험을 참조하여 경년열화를 포함한 관련 평가지침 개발을 추진하여 왔으며[4], 현재 고리 1호기를 포함하여 고리 2,3,4호기의 PSR 수행에 활용되고 있다. 국내 두 번째 상용원전인 월성 1호기 등 중수로의 경우는 경수로와는 계통의 구조와 특성에서 많은 차이가 있어 경수로의 지침을 적용하기에는 어려움이 있고 계속운전을 위한 주요기기의 수명평가와 PSR을 수행 중인 점을 고려할 때, 해당 원전의 특성에 맞는 지침개발 요구되었다. 이에 따라 경수로의 개발경험을 토대로 중수로 원전의 계통구조와 해당 특성을 고려하여 중수로에 대한 체계적이고, 독자적인 안전평가지침 개발을 추진하여 왔으며[5] 본 고에서는 현재까지 검토된 지침개발을 위한 개발방향, 작성체계 및 작성수준과 향후 추진계획을 제시하고자 한다.

2. 중수로 PSR 안전평가지침 개발방향

2.1 국내 · 외 PSR 관련요건

우리나라에서는 가동중인 원전에 대한 PSR의 법제화 추진단계에서 IAEA의 안전지침을 기반으로 평가주기, 평가내용 및 평가방법을 설정하였다. IAEA 안전지침은 법제화 당시에는 11개의 안전인자가 고려되었으나 현재는 보다 세분화된 14개의 안전인자가 고려되고 있다. 이에 따라 중수로에 대한 PSR을 위한 안전평가지침의 개발방향으로 1994년 발행된 IAEA의 안전지침 (Safety Guide 50-SG-O12)를 기반으로 하고 있는 현행 원자력법(법률 제 6354호, 2001.1.16), 원자력법 시행령(대통령령 제17304호, 2001.7.16), 원자력 시행규칙(과기부령 제29호, 2001.7.25)을 기준으로 중수로 원전에 대한 안전평가지침을 개발하는 방안 (제1안), 추후 원자력관련 법규의 개정을 전제로 최신의 IAEA 안전지침을 기준으로 아래의 6개 범주, 14개의 안전인자를 반영하여 중수로 원전에 대한 안전평가지침을 개발하는 방안 (제2안), 그리고 제2안과 동일하나 원자력관련 법규를 먼저 개정한 후 최신 IAEA 안전지침을 기준으로 안전평가지침을 개발하는 방안 (제3안)을 검토, 분석하였다.

- Plant (*Plant Design, Actual Condition of SSCs, Equipment Qualification, Ageing*)
- Safety Analysis (*Deterministic Safety Analysis, Probabilistic Safety Analysis, Hazard Analysis*)
- Performance & Feedback of Experience (*Safety Performance, Use of Experience*)
- Management (*Organization & Administration, Procedures, Human Factor, Emergency Planning*)
- Environment (*Radiological Impact on Environment*)
- *Global Assessment*

원자력관련 법규에서 명시하고 있는 11개의 안전인자를 현재 개정된 최신 IAEA 안전지침의 14개 안전인자와 비교할 때 차이가 있는 발전소 설계 (Plant Design), 결정론적 안전해석 (Deterministic Safety Analysis), 확률론적 안전해석 (Probabilistic Safety Analysis), 위해도해석 (Hazard Analysis) 및 종합평가 (Global Assessment)는 기존의 안전인자를 세분화 또는 종합하는 것으로 기본적인 내용과 범위에 있어서의 차이는 없는 것으로 확인되었다. 또한 국내 PSR의 법제화 추진시점을 고려할 때 약 1~2년이 경과한 현 시점에서 원자력법과 원자력 시행령/시행규칙의 개정은 어려운 상황이며 IAEA의 안전지침도 아직 심의중에 있다. 이외에도 중수로 원전인 월성 1호기 PSR 일정을 고려할 때 시간적인 여유가 부족한 상황이며, 법규 개정을 수반할 경우 규제자는 물론 발전운영자 사이에서도 혼란이 가중될 수 있다. 따라서 제2안 및 제3안의 최신 IAEA 안전지침에 따른 현 원자력관련 법규의 개정 은 불필요한 것으로 판단되며 제1안인 현행 원자력법을 기준으로 개발하는 방안이 적절한 것으로 분석되었다.

2.2 안전평가지침 구성체계

중수로 경년열화 안전평가지침의 구성체계와 관련해서는 기존 경수로의 지침을 활용하는 방안과 신규로 별도 작성하는 방안을 중심으로 검토를 수행하였다. 이에 따라 기존의 경수로 안전평가지침에 중수로 고유의 사항을 추가하여 중수로의 지침으로 활용하는 방안 (제1안), 신규로 개발하되 기존의 경수로 안전평가지침과 동일한 형태로 중수로에 대해 별도로 구성하는 방안 (제2안), 그리고 중수로 고유의 시설물을 대상으로 신규로 개발하되 유사 계통, 구조물 및 기기를 통합하여 작성하는 방안 (제3안)의 3가지 구성체계를 가정하여 분석하였다.

이들 3개 방안에 대한 장단점 분석결과 제1안과 제2안의 경우는 상세지침을 제공할 수 있다는 장점은 있으나 지침개발을 위한 국내외의 관련연구 자료가 부족하고 기존 경수로형 지침에서 제기된 문제의 보완이 어렵다는 단점이 있다. 제3안의 경우는 경수로형과 중수로형에 대해 이원화된다는 단점이 있으나 국내 최초의 중수로 원전인 월성 1호기의 PSR 일정을 고려하여 조속한 개발, 중수로 고유의 계통, 구조물 및 기기의 고려, 기존 경수로형 평가 지침의 작성경험 활용과 규제기관 및 발전운영자의 경험 반영 등 융통성을 부여할 수 있다는 장점이 있다. 이들 장단점을 고려할 때 중수로 안전평가지침의 구성은 제3안의 계통, 구조물 및 기기 그룹별 작성하는 방안이 가장 적절한 것으로 분석되었다.

2.3 안전평가지침 작성수준

중수로 안전평가지침의 개발방향, 구성체계에 따른 안전평가지침의 작성수준은 크게 부록을 포함하여 기존 경수로형 안전평가지침의 수준을 유지하는 방안 (제1안), 기존 경수로형

안전평가지침의 수준을 유지하되 지침에서 원자로 압력관[6] 및 원자로 집합체[7] 등 중수로 고유의 계통, 구조물 및 기기에 대해서 IAEA의 해당 TECDOC 문서를 참조토록 하는 방안(제2안), 기존 경수로형 안전평가지침의 표, 부록에 포함되었던 내용을 본문에서 다루되 합축, 요약하여 기술하는 방안(제3안)의 3가지 방안을 중심으로 검토, 분석하였다.

이들 3개 모델에 대해 장단점을 분석한 결과 제1안과 제2안의 경우는 지침개발에 소요되는 인력과 시간을 줄일 수 있다는 장점은 있으나 기존 경수로의 지침에서 제기된 문제들이 상존하거나 지침 자체의 내용부재로 인한 유명무실화의 가능성이 있다는 단점이 있다. 제3안의 경우는 관련 연구결과가 불충분하고 평가지침 작성에 상대적으로 많은 시간이 소요될 수 있으나 경수로의 지침을 일부 보완하여 개발이 가능하고 경수로 안전지침에 대해 제기된 문제의 보완, 해외의 평가경험 반영 등 융통성을 부여할 수 있다는 장점이 있다. 이외에도 국내 고유의 중수로 규제지침을 확보하여 규제자 및 발전운영자가 모두 활용가능하고 국제적인 위상을 높일 수 있다는 점을 고려할 때 제3안이 가장 적절한 것으로 분석되었다.

3. 안전평가지침 개발

3.1 목차구성

중수로에 대한 PSR 안전평가지침에서 Part I은 일반사항으로서 기존 경수로형의 것을 활용하고 Part II는 기존과 유사하게 가동원전의 PSR 평가결과 심사에 활용할 수 있도록 검토 범위, 검토기준, 검토절차, 검토결과, 이행, 참고문헌 등을 기술하되 그 구성을 발전소 현황, 경년열화 평가, 기기검증, 방사선 방호 및 폐기물 관리, 안전성 분석 및 발전소 운영의 6개 장으로 구분하는 방안으로 목차(안)를 구성하였다. 특히 Part II, 제2장의 경년열화 평가와 관련해서는 대상설비 선정기준 및 결과, 구조물, 원자로집합체, 원자로 공정 계통, 공학적 안전설비, 계측제어계통, 전력계통, 보조계통, 터빈발전기 및 보조계통의 9개절로 구분하였다. 여기서 펌프그룹, 밸브그룹 및 압력용기그룹은 공학적 안전설비에서 열교환기그룹, 공기조화계통 및 비상발전기 계통은 보조계통에 포함하였다. 이에 따라 계통, 구조물 및 기기에 대한 경년열화 안전평가지침 개발을 위해서는 대상설비 선정기준 등 19개 항목에 대한 지침개발이 요구된다.

3.1 초안개발

중수로의 안전평가지침 평가항목으로 선정된 경년열화 관련된 계통, 구조물 및 기기 (SSC: Structure, System and Components)를 대상으로 중수로 고유의 설비로 신규 개발이 필요한 항목, 기존 경수로에 대한 지침을 일부 보완하여 개발이 필요한 항목, 그리고 경수로와 중수로에 공통적으로 적용할 수 있는 항목으로 구분하였다. 그 결과 중수로형 경년열화 안전평가지침은 계통, 구조물 및 기기에 대해 19개 항목의 개발이 필요한 것으로 분석되었으며 이중 신규 개발항목이 3개, 기존 경수로형 지침의 보완, 개발이 필요한 항목이 4개 그리고 공통항목으로 개정이 필요한 항목이 12개로 분석되었다. 현재 이들 평가항목의 각 특성별 지침개발에 대한 적절성 및 문제점 확인을 위해 신규 개발항목으로 핵연료 채널, 기존 경수로형 지침의 보완항목으로 증기발생기 그리고 공통항목으로 개정이 필요한 항목으로 열교환기를 표본항목으로 선정하여 안전평가지침 초안을 작성하였으며 나머지 16개 항목에 대해서는 현재 개발 중이다.

4. 결 론

중수로에 대한 안전평가지침 개발을 위해 IAEA를 포함하여 캐나다 등 중수로 원전 보유국의 경년열화관련 지침 및 평가현황 등에 대한 검토와 경수로 PSR 안전평가지침서 대비 중수로 적용가능성에 대한 종합적인 검토를 통하여 중수로 안전평가지침 개발 현안사항으로 평가지침의 개발방향, 구성체계 및 작성수준에 대하여 다음과 같이 설정하였다.

- 중수로 안전평가지침 개발방향(안)은 기존 원자력법 및 원자력 시행령/시행규칙의 개정 또는 신규 제정의 어려움과 월성 1호기 PSR 수행일정 등을 고려하여 현행 원자력법을 기준으로 한다.
- 중수로 안전평가지침 작성체계(안)는 일반적인 경년열화 평가관행과 지침의 간결성, 평가의 효율성을 고려하여 중수로의 고유 계통, 구조물 및 기기별로 작성한다.
- 중수로 안전평가지침 작성수준(안)은 중수로에 대한 경년열화 평가/관리 분야의 규제 관련 문서가 충분하지 않으므로 현재 개발된 설계문서 등을 활용하여 작성한다.

한편 상기의 중수로 안전평가지침의 개발방안에 따라 안전평가지침의 목차(안)로 다음과 같이 설정하였다.

- Part I은 일반사항으로서 기존 경수로형것을 활용하나 중수로 고유특성을 반영한다.
- Part II는 6개의 장(1장 발전소 현황, 2장 경년열화 평가, 3장 기기검증, 4장 방사선 방호 및 폐기물 관리, 5장 안전성 분석, 6장 발전소 운영)으로 구분한다.
- Part II, 2장의 경년열화 평가와 관련해서는 대상기기 선정기준을 포함하여 안전관련 계통, 구조물 및 기기를 안전평가지침 항목으로 고려한다.
 - 발전소 전체 계통에 산재해 있는 배관, 지지대, 밸브, 펌프, 압력용기 및 열교환기에 대해서는 단일 기기와 유사하게 각각 1차 및 2차 배관, 기기 및 배관 지지대, 밸브그룹, 펌프그룹 압력용기그룹 및 열교환기그룹으로 고려한다.
 - 기존 PWR 지침의 표, 부록에 포함되었던 내용을 본문에서 다루되 함축, 요약하여 기술한다.

중수로 경년열화 안전평가지침은 계통, 구조물 및 기기에 대해 19개 항목을 개발할 예정이며, 현재 지침작성에 따른 적절성과 문제점 확인을 위해 신규 개발항목, 기존 경수로형 지침의 보완 항목, 신규 개발이 필요한 항목 중 표본항목을 선정하여 핵연료 채널, 증기발생기 및 열교환기를 대상으로 안전평가지침 초안을 시범적으로 작성, 검토중에 있다. 기타 항목에 대해서도 2003년도 상반기에 초안을 개발 완료할 예정이다.

참고문헌

1. IAEA, Periodic Safety Review of Operational Nuclear Power Plants, A Safety Guide, Safety Series No. 50-SG-O12, Vienna, 1994
2. USNRC, Standard Review Plan for the Review of License Renewal Applications for NPPs, NUREC-1800, April 2001

3. USNRC, Generic Ageing Lessons Learned (GALL) Report, NUREC-1801, April 2001
4. 한국원자력안전기술원, 가동원전 경년열화 안전평가지침 개발, KINS/HR-376, March 2001
5. 한국원자력안전기술원, 가동중 중수로 경년열화 안전평가지침 개발, KINS/HR-525, March 2003
6. IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plants important to safety : CANDU pressure tubes, IAEA-TECDOC-1037, 1998
7. IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plants important to safety : CANDU Reactor Assemblies, IAEA-TECDOC-1197, Feb. 2001