

원전 장수명운전을 위한 허용기준 설정에 관한 연구  
A Study on the Acceptable Licensing Basis for Continued Operation beyond  
Design Lifetime of Nuclear Power Plants

박윤원, 김만용, 이승혁, 강석철, 이종인  
한국원자력안전기술원

요 약

원전의 가동기간이 증가됨에 따라 설비의 노후화 및 열화에 따른 안전성 저하가 안전현안으로 제기되고 있다. 그러나, 지난 20여년간 선진국에서 수행되어온 원전 수명관리 연구결과에 따르면, 시설에 대한 적절한 보수와 노후관리를 통하여 충분한 안전여유도를 확보할 수 있다면 설계수명 이상의 장수명 운전이 가능한 것으로 나타나 있다. 특히, 1980년대 중반부터 일부 선진국에서는 가동중인 원전에 대한 수명연장 운전을 위하여 많은 노력을 기울여 왔으며, 미국의 경우 원전 수명연장을 위한 운영허가갱신규정을 제도화하였고, 일본에서는 가동중인 원전의 수명연장에 대한 기본방안을 발표하는 등 원전의 장수명운전에 대비하여 구체적인 방안들을 제시하고 있다. 한편 국내에서도 가동중인 원전에 대한 안전성 제고를 위하여 원전수명관리에 관한 연구가 활발히 수행되어 왔다. 특히, 최근에는 고리 1호기의 설계수명 만기가 10년 내로 다가옴에 따라 설계수명 이후의 연장운전 가능성에 대한 논의가 점차 활발해지고 있다. 본 연구에서는 원전설비의 노후화에 대하여 그동안 수행되어온 국내·외 연구결과와 운전경험 등을 토대로 원전의 장수명운전에 대한 허용여부 결정하기 위한 주요 허가기준과 절차 등을 제안하고자 한다.

I. 서 론

원자력발전소 (이하 “원전”이라 함)는 설계개발단계에서 설계수명을 정해 놓고 그 기간동안 충분한 안전여유도를 확보하면서 경제성있는 운전이 가능하도록 설계된다. 미국에서는 1954년 원자력법을 제정하면서 원전 운영허가 기간을 결정하는 데 있어 경제성을 고려하여 원전의 초기투자비용대비 이윤회수가 가능하도록 일반 산업시설의 인허가기간 (25년)에 비해 연장된 40년을 운영허가기간으로 결정하였다 [1]. 한편, 미국을 제외한 대부분의 국가에서는 별도의 운영허가기간을 명문화하고 있지 않으며, 국가별 규제관행 및 인허가절차에 따라 다소 상이하나 운영허가를 발급한 후 2~3년 주기로 운영허가를 갱신하는 방식 또는 운영허가를 별도로 갱신하지 않고 현장검사를 통하여 운전 안전성을 정기적으로 확인하는 형태로 운영되고 있다.

한편 미국에서는 상당수의 원전이 1970년대 초에 설계, 건설 및 운영되어, 2010년경에 이들 원전의 운영허가 기간이 만료됨에 따라 새로이 운영허가를 갱신하던지 아니면 폐로처분을 하여야 하는 상황에 있다. 그러나 이들 원전을 일시에 폐쇄를 하는 것은 전력공급에 큰 영향을 줄 우려가 있어, 1980년대부터 원전의 수명연장에 많은 관심을 갖고 연구를 수행하였으며, 그 결과, 1991년에 원전 운영허가 갱신규정이 10 CFR 54로 제정, 발간하였다 [2].

일본 및 유럽에서는 미국과 같이 운영허가 기간이 명시적으로 규정되어 있지 않으나, 원전의 설계수명 만료이후에도 지속적인 운전 여부를 결정하기 위하여 1980년대 후반부터 원전 수명관리에 대한 연구를 수행하여 왔다. 이들 국가는 운영허가 기간을 명문화하고 있지 않아 설계수명이 종료된 후 지속운전을 위하여 별도의 인허가요건을 마련하고 있지는 않으나, 설계에서 고려하지 못한 노후화의 영향 등에 대하여 주기적안전성평가제도를 통하여 검토를 하고 있으며, 또한 가동중검사를 강화하여 장수명 운전에 따른 안전여유도를 확보할 수 있도록 하고 있다 [3].

우리나라의 경우 원전 인허가심사 절차 및 규제요건은 미국의 규제요건 및 절차를 상당부분 도입, 적용하고 있는 반면, 운영허가 기간은 명시적으로 규정하고 있지 않다. 한편 정기검사는 일본의 정기검사제도와 유사한 체제를 유지하고 있어 인허가 절차 및 요건체제가 미국과 일본의 혼합체제로

운영하여 왔다. 그러나 고리 1호기의 설계수명 만기가 10년 내에 도달함에 따라 설계수명 이후 원전의 계속운전 여부를 판단하기 위한 운영허가기반 (Licensing Basis)을 설정하는 것이 중요한 과제로 대두되고 있다. 본 연구에서는 원전설비의 노후화에 대하여 그동안 수행되어온 국외 연구에 대한 기술현황 분석과 장수명 운전의 허용기준 및 허가절차 등에 대하여 제언하고자 한다.

## II. 외국의 장수명운전 동향

### 1. 미국의 기술현황

#### 가. 현행운영허가기반의 설정

미국은 원전의 운영허가기간을 1954년에 제정된 원자력법에 40년으로 명시적으로 규정하여 왔으며, 보다 구체적인 운영허가갱신 규정은 1991년 10 CFR 54로 발간하였다. 이 규정에서는 운영허가 갱신의 타당성을 평가하기 위한 허가기준으로 (1) 원전의 초기 운영허가기반 (Original Licensing Basis), (2) 운영허가갱신이 신청되는 시점에서의 허가기반, (3) 안전성의 중요도를 고려하여 초기 운영허가기반을 보완한 수정된 허가기반 등 세가지 방안을 제시하고 있다 [4].

안전성의 관점에서는 운영허가갱신이 신청되는 시점에서 적용되는 최신의 운영허가기반을 기준으로 하는 것이 가장 바람직하지만, 이를 위해서 규제요건의 소급적용 (Backfit)이 불가피하나, 여기에는 경제성 및 법적인 타당성도 고려하여야 하는 제한성도 있다. 한편 NRC(Nuclear Regulatory Commission)는 운영허가 기간내에서 허가당시의 운영허가기반과 이후 NRC에 의해 부가된 규제요건을 준수하며 안전하게 운전되던 원전이 단지 운영허가기간이 초과되었다고 더 이상 안전하지 않다고 할 수 있는 기술적 근거는 없다고 판단하고 있다. 그러나 허가당시의 운영허가기반만을 운영허가갱신을 위한 허가기준으로 고려할 경우, 낙후된 또는 충분하지 못한 기술기준에 근거에 따라 운영허가갱신을 결정할 우려가 있음을 지적하고 있다. 한편 신규 원전에 적용되는 운영허가기반을 적용할 경우, 기존 가동중 원전에 대해서 과도한 시설의 개선 및 보수작업을 요구하게 되는 문제점도 제기되고 있다. 따라서, 이 두가지 대안에 대한 최적 운영허가기반을 도출, 설정하는 것이 필요하다.

현재 고려되는 최적 운영허가기반으로는, 기존의 운영허가기반 (Existing Licensing Basis)에 FSAR(Final Safety Analysis Report)을 최신화(Update)하고, 관련 기술문서(Technical Specification, 절차서, 설계기준 등)를 보완, 수정하여 허가당시 운영허가기반에 첨부하는 것이 가장 적절한 대안으로 제시되고 있다. 한편 NRC는 운영허가갱신을 위하여 추가로 검토하여야 할 사항으로서, 경년열화 (age-related degradation)에 민감한 안전성 주요기기의 선정, 장수명운전을 위한 운전절차, 보수, 검사 및 교체계획 등을 고려하고 있으며, 이를 반영하여 현행운영허가갱신에 관한 기준을 설정하고, 설계수명 이후라도 현행운영허가기반을 지속적으로 만족시킬 수 있다면 원전의 안전성도 확보될 수 있다고 판단하고 있다 [5]. NRC의 현행운영허가기반 (Current Licensing Basis: CLB)의 정의는 다음과 같다.

“현행운영허가기반은 각 발전소에 적용되는 모든 NRC의 규제요건과 이러한 규제요건을 만족시키는 범위내에서 운전될 수 있음을 보장하기 위하여 사업자가 서면으로 약속한 모든 제반 규제사항들을 의미하는 것으로, 현재 명문화되어 유효한 상태에 있는 규제요건들을 말한다. 이러한 현행운영허가기반에는 미국 연방법 10 CFR 2, 19, 20, 21, 26, 30, 40, 50, 51, 54, 55, 70, 72, 73, 100 및 관련 첨부 부록을 비롯하여, 행정지시, 인허가조건사항, 예외조항, 기술지침서가 등이 포함된다. 또한, 10 CFR 50.71에서 요구하는 가장 최근의 최종안전성분석보고서 (FSAR)에 기술된 사항으로 10 CFR 50.2에 정의된 원전의 설계기반정보와, NRC의 고시 (Bulletin), 일반서신 (Generic Letter), 이행조치 (Enforcement actions)에 대한 사업자의 시정조치와 같이 NRC에 공식적으로 등재된 서신에 명시된 시정 이행사항, 그리고 NRC의 안전성평가보고서(Safety Evaluation Reports)나 사업자의 사고고장보고서 (License Event Reports)에 기재된 사업자 시정조치사항도 여기에 포함된다.”

## 나. 노후화에 대한 규제요건 개발

원전 시설의 노후화에 대한 평가는 설계시에 일정기간동안의 안전운전을 목표로 설정되었던 설계요소들을 연장기간동안에도 안전하게 유지할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위하여 시설의 노후화에 따라 추가 고려되어야 할 사항을 반영하고, 설계수명기간내에 고려되었던 시간제한적 설계요소를 연장기간까지 확장하여 그 타당성이 평가되어야 한다. 따라서 연장운전기간동안에도 안전하게 운전될 수 있도록 운전경험과 연구결과를 토대로 계통, 기기 및 구조물의 노후화에 따른 불확실성을 최소화시키고 신뢰성을 유지하기 위하여 원전 주요 설비들에 대한 피로누적계수 및 잔여수명에 대한 영향이 평가되어야 한다. 이를 위해서는 (1) 기기에 적용된 설계코드 및 기술기준의 차이, (2) 과거에 사용된 측정 및 기록의 적절성, (3) 계통, 기기 및 구조물의 파손에 노후화가 미친 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 모델의 적용성 및 제한성, (4) 기기 및 구조물의 노후화를 탐지, 검사, 감시 및 보수하는 방법의 적절성, (5) 노후화된 원전의 운전 및 관리에 필요한 조정사항의 도출 및 이행 등과 같은 요소들이 평가에 고려되어야 한다 [4].

그러나, 경년열화와 관련된 사항들은 불확실성이 커서 확정적인 기술적 기준이나 규제입장을 정하기 어렵기 때문에, 일반적으로 안전성 확보측면에서 보수적으로 고려하여 노후화가 안전성에 미치는 영향을 최소화시키되, 경년열화에 대한 자료, 모델 등에 포함된 불확실성을 고려하여 (1) 보수, 검사 및 신뢰도확보에 집중하는 예방적인 노화관리와, (2) 노화에 의한 파손 발생시 원자로의 안전성을 유지할 수 있는 심층방어에 집중하도록 하는 두 가지 방안을 고려할 수 있다 [5, 6]. NRC에서는 최종적으로 예방적인 노화관리에 초점을 맞추어 운영허가갱신 규정을 제정하였다.

## 다. 운영허가갱신 규정의 제정

NRC는 운영허가갱신에 대한 수요에 대비하여 1982년부터 원전노화연구 (Nuclear Plant Aging Research: NPAR) 프로그램을 착수하여 대부분의 노화관련 문제들에 대해 관리를 하고 있으며, 1991년 운영허가갱신규정인 10 CFR 54를 발행하여 5개 원전에 시범적으로 적용한 바 있다. 그 결과 대부분의 노화기구가 이미 운영허가기간동안에 발생하여 적절히 관리되고 있음을 확인하였고, 또한 신규 운영허가갱신 규정이 가동중 원전의 노화현상을 관리하는데 적용하는 보수규정 (Maintenance Rule)과 같은 기존의 프로그램을 충분히 활용하고 있지 않음을 지적하고 있다 [7].

이러한 문제점을 보완하여 1995년 운영허가갱신 규정을 보완, 발표하였고, 여기에서는 노화의 영향에 대한 관리측면에 초점을 두고 있으며, 노화 평가의 불확실성 관리, 연장운전기간동안 보수검사 및 신뢰도 확보에 중점을 두고 있다. 신규 운영허가갱신규정에서는 운영허가갱신 신청서에 포함하여야 할 기술정보자료로서, 원전에 대한 종합평가결과, 운영허가갱신 신청기간동안의 현행운영허가기반 변경사항, 시간제한 노후화 해석, 최종안전성분석보고서, 운영기술지침서, 환경영향평가서 등을 요구하고 있다 [5].

## 2. 일본의 기술현황

일본에서는 원전 수명에 대한 명시적인 규정을 갖고있지 않으나 관행적으로 30년을 설계수명으로 간주해 오고 있다. 일본은 미국과 마찬가지로 국가전력수급의 안정을 위하여 원전의 수명연장에 대해 적극적으로 대처해왔는데, 1985년부터 MITI의 지원하에 12년에 걸쳐 원전의 수명연장에 관한 연구 (Plant Life Extension Program: PLEX)를 수행하였고, 그 결과로 MITI는 노후화된 원전에 대한 기본정책 (Basic Policy on Aged Nuclear Power Plants, '96년 4월)을 발표한 바 있다 [8, 9].

그 주요내용으로는 (1) 정기검사(Periodic Inspection)와 정기점검(Periodic Examination)은 장수명 운전에서 원전의 안전운전을 보장해 줄 수 있는 주요 수단이 되며, (2) 원전의 안전성은 정기검사 및 정기점검과 함께 철저한 예방보수 활동을 통하여 충분히 확보될 수 있다. 그러나 정부차원의 정기검사와 사업자가 수행하는 정기점검은 30년을 기준으로 개발된 것이기 때문에 설계수명이후의 노후화를 고려할 때 추가 개선이 필요하다. 또한 (3) 사업자는 30년 운전후에 모든 원전의 기기에 대해 상세한 기술평가를 수행하고 그 결과에 따라 세부 보수계획을 마련하는 것이 필요하며, (4) 노후화에 따른 재료의 파괴인성변화에 관련된 요건 및 기술기준은 현재까지 축적된 기술을 반영하고 미국

의 기술기준을 참조하여 향후 더 많은 연구가 수행되어야 하고, (5) 노후화된 원전을 신뢰성 있게 관리하기 위해서는 더 많은 기술개발이 필요하다. 따라서, 검사 및 보수 기술을 지속적으로 개발하는 노력이 필요하고, 이를 위하여 노화와 관련된 재료에 대해 더 많은 정보와 운전자료를 수집, 확보하도록 요구하고 있다. 한편 교체가 어려운 구조물 및 기기에 대하여 건전성 평가를 수행하고 장수명운전에 대한 대비책을 마련토록 하는 MITI의 요구사항에 대하여, 일본원자력, 간사이 전력, 토교전력 등 세 원전 사업자는 쓰루가 원전 1호기, 미하마 원전 1호기, 후쿠시마 다이찌 원전 1호기의 안전관련 기기 및 구조물에 대하여 기술평가를 수행하여 기존 보수활동을 더욱 강화한 새로운 보수조치를 마련하여 장기보수계획에 이를 반영하였다 [10].

### 가. 장기보수프로그램

일본원자력, 간사이 전력, 토교전력 등 세 전력회사에서는 현재의 보수프로그램을 장수명운전 시 계속 사용할 경우 노화현상에도 효율적으로 대처할 수 있는지를 평가하였다. 평가결과 30년 이후부터는 보수프로그램이 개선되어야 한다고 판단하고 주기적안전성평가에서 재확인되어야 할 조치와 30년 수명에 도달한 시점부터 이후 5년 내에 이행되어야 할 조치, 그리고 10년 내에 이행되어야 할 조치 등 세가지 조치사항으로 구분하여 시행하고 있다. 또한 해석만으로 건전성이 확인될 수 있는 기기들에 대해서는 주기적안전성평가에서 검토되도록 하고, 5년 내에 이행되어야 할 기기에 대해서는 비파괴검사의 범위를 확대하여 실시토록 하였다. 이와함께 10년 내에 이행되어야 할 기기에 대해서는 원전의 실제 운전자료를 평가하고 새로운 점검 및 검사기술을 사용하여 보수토록 하였다.

### 나. 노화관리에 대한 방안

노화관리에 대한 일본 규제기관의 접근방법은 크게 3가지로 요약되는데 첫째는 종합적 설비 관리 시스템에 대한 것이고, 둘째는 노후화에 대한 기술기준 및 코드의 개발, 그리고 셋째는 기술개발의 추진이다.

첫 번째 종합적 설비관리 시스템측면에서는 상기 세 전력회사의 평가결과를 토대로 30년 간의 상업운전 이후에 모든 기기 및 구조물의 건전성을 평가하도록 하고, 10년 주기의 장기보수프로그램을 수립하여 실시토록 하며, 10년 이후에는 전반적인 재평가가 다시 수행되도록 하고 있다. 이에 대해서 사업자가 주체가 되어 이행토록 하며, 정부에서는 이를 확인 감독하고, 특히 사업자 자체적인 품질보증 활동이 적절히 되는지를 감시할 예정이다. 한편, 기존 정기검사관행을 개선하기 위하여 MITI는 기존 정기검사에서 수행하는 등급 1기기에 대하여 수행하는 가동중검사를 미국의 ASME Sec. XI과 같이 가동원전에 적용할 새로운 보수기준으로 개발중에 있다. 이밖에 MITI는 정기검사와 현재의 보수관행에 따라 사업자가 장기보수계획을 마련하여 제출하도록 하고 이 계획의 적절성을 검토하여 향후 정기검사를 통해 이러한 계획의 이행을 점검할 예정으로 있다.

둘째 접근방법인 노화를 고려한 기술기준 및 코드의 개발은 검사/감시방법, 예방보수/수리방법, 노화평가방법의 3가지분야로 구분하여 산.학.연의 협력체계를 구축, 업무분담을 통하여 기술개발을 하고 있다. 셋째로는 실제 원전의 운전자료 취득, 노화특성평가, 검사 및 보수기술의 개발 등을 위해 2008년까지의 장기계획을 수립하고, 이에 따라 기술개발이 추진중에 있다.

## III. 장수명 운전 적용기준 제안

우리나라의 원전 운영허가기준은 원자력법 제 22조에 명시되어있으며, 세부규정은 원자력법 시행규칙 부령 제16호 “원자로시설등의 기술기준에 관한 규칙”에 제시되어 있으나, 운영허가 기간은 명시적으로 규정하고 있지 않으며, 운영허가의 갱신에 대해서도 명문화되어 있지 않다. 다만, 허가받은 사항에 대하여 변경하기 위한 운영허가 변경신청이 원자력법 제21조 제1호 규정되어 있으나, 원전 장수명운전을 위한 별도 인허가 요건, 절차 등이 제도화 되어있지 않다. 한편, 인허가 기술기준은 미국, 프랑스, 캐나다 등 원자로 공급국의 기술기준을 대부분 준용하고 있으나, 이러한 기술기준은 허가기간 또는 설계수명내의 안전운전을 보장하기 위한 것으로서, 설계수명이후에 대해서는 별도 고려하지 않고 있다. 따라서, 우리나라도 장수명운전을 위해서는 미국 및 일본의 사례에서 보는 바와 같이 인허가상에 별도의 고려가 필요하다.

## 1. 인허가 제도

장수명운전 관련 제도로써 고려될 수 있는 인허가 제도는 다음과 같이 4가지의 방안을 고려해 볼 수 있다.

- (1) 원자력법 제21조 (운영허가)의 변경허가규정을 보완, 적용
- (2) 미국과 같이 별도의 운영허가갱신규정을 신설
- (3) 주기적안전성평가(PSR)과 연계하여 설계수명 만료 직전에 수행하는 PSR에 대해서는 노화 및 보수프로그램을 보완, 적용
- (4) 장수명운전 요청시 노화관리 및 유지보수에 관한 부분만 검토보완

첫번째 방법은 현행 법체제하에서 인허가를 수행할 수 있는 장점은 있지만, 운영허가 변경신청 자체가 설계수명이내의 원전을 대상으로 하고 있어 설계수명 이후의 원전 운전을 위해서는 별도의 규정보완이 필요하다. 반면에 둘째 방법은 규제측면에서는 가장 명확하게 설계수명이후의 운전 안전을 확인할 수 있으나, 운영허가기간 및 연장기간에 대하여 별도 명문화하여야 하므로 현 인허가 제도를 대폭 개정하여야 하며, PSR제도와 운영상 중복성이 예상된다. 셋째 방법은 가동중 원전에 PSR을 적용하기로 법제화가 추진중에 있으므로 이를 장수명운전과 연계하여 운용하는 방안이 모색될 수 있다. 단, 수명기간내 적용하는 PSR과 연장운전을 목표로 적용하는 PSR의 정도 및 범위 등을 이원화하여 설정하여야 하는 어려움이 있으며, 네 번째 방법은 현행 허가제도의 기초를 유지하되 사업자가 장수명운전을 신청할 경우 노화관리 및 보수프로그램을 제출토록 하여 이를 규제기관이 검토, 승인하며, 노화관리 및 보수프로그램의 타당성을 PSR 및 정기검사를 통하여 확인하는 인허가방식으로 일본의 제도와 유사한 인허가 방안이다. 제안된 4가지 인허가 방안중 현행의 규제체제를 그대로 유지하고 현행운영허가기반에 대한 신뢰를 부여한다는 측면에서 네 번째 방안이 적절하나, 장수명운전을 PSR제도와 효율적으로 연계할 수 있다면 세 번째 방안이 현실적으로 적절한 방안으로 판단된다.

## 2. 장수명운전 허용기준에 대한 제안

원전 장수명운전을 위하여 미국은 운영허가갱신제도를 통해서 시행하고있는 반면, 일본은 PSR을 사업자 주도로 시행하고, 정부의 정기검사를 강화하며, 설계수명이후에 대한 노화관리 및 보수프로그램을 강화하였다.

우리나라에서는 가동중 원전의 안전성을 확보, 유지하는데 있어 현행 운영허가기반이 적절히 적용, 운용되어 왔으며, 현행 운영허가기반이 설계수명이후에도 계속 유지될 수 있다면 원전의 안전성은 지속적으로 보장될 수 있다고 볼 수 있다. 따라서, 원전 장수명운전을 위한 허용기준을 설정하기 위하여 현행 운영허가기반에 대한 명시적인 정의가 필요하며, 이를 위하여 본 연구에서는 현행 운영허가기반에 대한 정의를 다음과 같이 제안한다.

“**현행 운영허가기반 (CLB)**은 각 발전소에 적용되는 모든 규제요건과 이러한 규제요건을 만족시키면서 규제요건의 범위내에서 운전할 것을 보장할 수 있도록 사업자가 서면으로 약속한 제반 내용 모두를 의미하는 것으로서 현재 유효한 상태에 있는 것을 말한다. 이 CLB에는 원자력법, 동법 시행령, 동법 시행규칙 및 과기부 고시, 현재 외국의 기술기준이지만 준용규정에 따라 적용하고 있는 Code 및 기술기준과, 행정지시, 운영허가조건사항, 예외조항, 기술지침서가 포함된다. 또한, 최근의 최종 안전성분석보고서 (FSAR)에 문서화된 것으로서 원전의 설계기반정보와, 사업자의 답변과 같은 등록된 서신에 담겨져 있는 현재 유효한 약속사항, 정기검사와 수시검사 및 품질보증검사의 지적/권고 사항과 이에 대한 사업자의 답변문서 그리고 운영허가 변경신청 및 경미한 사항변경 신고, 규제기관의 안전평가보고서 및 사업자 사건보고서에 기재된 사업자 약속사항도 이에 포함된다.”

현행 운영허가기반(CLB)을 설정하는 데 있어 미국이나 일본에서 수명연장이 가능한 원전의 허가기반을 참조수준으로 고려할 수 있다. 이를 위하여 수명연장이 가능한 국외 유사원전의 허가기반을 우리나라의 원전에 적용하여 허용가능할 경우 우리나라에서도 장수명운전 가능성을 평가할 수 때문에 다음절에서는 고리 1호기와 미국의 유사원전인 Surry 원전에 적용된 허가기반을 조사하여

우리의 장수명운전 허가기반의 참조수준으로 분석하고자 한다.

### 3. 제안 허용기준에 대한 고찰

고리 1호기와 원자로형과 원전 수령이 유사한 미국 Surry 1, 2호기에 적용된 현행운영허가기준을 조사하여, 이를 고리 1호기에 적용된 규제요건과 비교, 검토하였다. Surry 1, 2호기는 Westinghouse 설계의 가압경수형 원자로로 822 MWe의 출력, 3-Loop발전소이며 1972년 12월과 1973년 5월에 두발전소가 각각 상업발전을 개시하였으며, 고리 1호기는 Westinghouse사가 설계한 PWR형 원자로로 출력 556 MW, 1978년 4월에 상업발전을 시작하였다. 본 절에서는 Surry 원전의 허가갱신에 대비하여 작성된 현행운영허가기반과 고리 1호기에 적용된 규제요건과의 차이점을 조사, 분석하였다.

### 가. 설비의 개선

Surry 원전과 고리1호기의 설비개선 부분을 비교 검토한 결과, 표 1에서 보는 바와 같이, 26개의 설비개선 항목중 8개의 항목을 제외한 대부분의 항목에 대하여 개선작업이 고리 1호기에서도 완료되었다. 고리 1호기에서는 '98년에 증기발생기를 교체하면서 추가적인 설비개선과 상당부분의 안전해석이 수행되었는데 이는 표 2에 나타나 있다.

표 1. Surry 원전 설비개선사항 반영현황

			1	
1	Modification of Fire Protection System		o	98 C/V
2	Installation of RCP & SG Supports	GL-84-04, Revised GDC-	x	
3	Core Exit Thermocouple (CET) Program	NUREG-0737, Item II.F.2	o	
4	Smoke Detector in Aux-Building		o	
5	Improvement of Circulation Water & Service Water System		o	96 TRAVELLING SCREEN, TRASH CAR
6	Main Control Room & Emergency Switchgear Room Air Conditioning Upgrade		x	UP-GRADE
7	CVCS and Safety Injection System	NUREG-0452, NUREG-1431, GL-83-05	o	TECH SPEC
8	ATWS	GL-85-06	x	
9	Emergency Power for the Spent Fuel Pool Cooling Pumps	10 CFR 50.71(e)	x	
10	Completion of Thermo-Lag 330-1 Corrective Actions		-	가
11	Containment Sump Level Meter	NUREG-0733, II.F.1	o	
12	Modification of Service Water and Circulating Water System Expansion Joint		x	
13	Correction of Service Water Problem	GL-89-13	o	
14	Installation of RCS Ultrasonic Level Indicator	GL-88-17	o	
15	Emergency Diesel Generator Sequencing	IE Information Notice 85-91	o	D/G SEQ
16	Safety Parameter Display System (SPDS): Safety Analysis Report		o	SPDS
17	Containment Isolation Valve Position Indication	Reg. Guide 1.97, B-14	o	ON/OFF
18	Appendix R Modification - Neutron Flux Monitoring		o	2D 3D
19	Upgrade of Auxiliary Building Ventilation System	Reg. Guide 1.52, Revision 2, Position C.3.c, ANSI N509-1976	x	UP-GRADE
20	Independent Spent Fuel Storage Installation (ISFSI)		x	
21	Modification of Remote Monitoring Panel		o	94
22	Post-Accident Sampling System (PASS)	NUREG-0733, ITEM II.B.3	o	PASS
23	Plant Effluent Noble Gas Monitoring, Sampling, and	NUREG-0737, ITEMS II.F.1.1, II.F.1.2, GL-82-05	o	
24	Reactor Coolant Sampling System	NUREG-0737, ITEM II.B.3, GL-82-05	o	ON-LINE
25	Other Post-TMI Related commitments	NUREG-0737, GL-82-33	o	
26	Other GL-82-05 Commitments	NUREG-0737, GL-82-05	o	TMI

표 2. 고리 1호기 설비개선, 추가 사고해석 현황

TMI	
	TSC
1	RTD Bypass
	RCS
	S/G
	LOCA (Small LOCA, Large LOCA)
	Non-LOCA (RCP Locked Rotor. )
	RCS
	I&C

표 1에 나타난 Surry 원전의 설비개선과 비교할 때, 고리 1호기에서는 증기발생기의 교체로 인하여 1차측 설비에 대하여 많은 보완이 이루어졌음을 확인할 수 있다. 또한 고리 1호기에서는 원자로보호 및 공정제어계통 계측제어설비를 디지털설비로 전면 교체하여 계측제어설비의 신뢰도를 향상시키고 노후화에 대비할 수 있도록 하였다. 따라서, 고리 1호기의 설비개선은 Surry 원전의 설비개선에 비해 결코 손색이 없다고 볼 수 있다.

#### 나. NRC 일반서한(Generic Letter)의 반영

표 3은 Surry 원전에 반영된 NRC의 GL(Generic Letter)의 목록과 이에 대한 고리 1호기에서의 반영여부를 조사한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 전체 23개의 적용 GL 항목중 고리 1호기에 반영된 것으로 확인된 것은 7개 항목이나, 원자로용기 건전성과 관련된 항목은 고리 1호기에서 가압열충격해석(PTS, Pressurized Termal Shock)을 기 수행하였으므로 이와 동등하게 처리되었다고 볼 수 있으며, 안전관련 모터구동밸브에 대한 사항은 현재 중장기 연구과제를 통하여 수행중에 있다. 설계기준사고 조건하에서의 격납건물 건전성평가는 증기발생기 교체시 기 수행하였고, 동일한 환경 조건하에서의 기기운전성에 대한 사항은 현재 연구가 추진중에 있다. 또한, 저수위운전과 관련된 GL 88-17, ATWS 등에 대해서도 현재 연구가 추진중에 있어 5개 사항에 대해서 조만간 보완이 이루어질 것으로 예상된다. 그러나 비상디젤발전기에 대한 GL 84-15 및 RG 1.105, RG 1.9 Rev. 3의 관련 요건은 아직 반영되지 않은 상태이므로 이에 대한 추가보완이 필요하다고 판단된다. 이와 같이 고리 1호기와 Surry 원전간에 설비개선 및 GL 반영현황을 비교, 검토한 결과, 고리 1호기에서도 Surry 원전에 대하여 NRC가 보완 또는 시정조치한 대부분의 항목에 대해서도 이미 개선이 이루어지거나 진행중에 있는 것으로 확인되었다. 또한 일부 항목에 대해서는 고리 1호기에는 개선이 이루어진 반면, Surry 원전에서는 아직 개선이 이루어지지 않은 부분도 확인할 수 있었다. 따라서 고리 1호기의 설비개선과 GL 반영현황이 미국의 유사원전에 비해 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다.

표 3. Surry 원전에 적용된 Generic Letter 내용의 고리 1호기 반영현황

GL No.	Title		1
99-02	Lab testing of Nuclear-Grade Activated Charcoal	06-03-99	
98-01	Y2K Readiness of Computer System at Nuclear Power Plants	05-11-98	
97-01	Degradation of CRDM Nozzle & Other Vessel Closure Head Penetration	04-01-97	
97-06	Degradation of Steam Generator Internals	12-30-97	
96-05	Periodic Verification of Design-Basis Capability of Safety-Related Power Operated Valves	09-18-96	MOV 00
96-06	Assurance of Equipment Operability and Containment Integrity During Design-Basis Accident Conditions		
93-05	Line-Item Technical Specifications Improvements to Reduce Surveillance Requirements for Testing During Power Operation	09-27-93	ISTS
92-01	Reactor Vessel Structure Integrity	02-28-92	PTS
90-09	Alternative Requirements for Snubber Visual Inspection Intervals and Corrective Actions	05-14-90	
89-10	Safety-Related Motor Operated Valve Testing and Surveillance	06-28-89	MOV
89-13	Service Water System Problems Affecting Safety-Related Equipment	07-18-89	
88-17	Loss of Decay Heat Removal	10-17-88	
88-20	Individual Plant Examination For Severe Accident Vulnerabilities	11-23-88	
87-02	Fastener Testing to Determine Comformance with Applicable Material Specifications	11-06-87	
86-10	Implementation of Fire Protection Requirements	04-24-86	
85-06	Quality Assurance for ATWS Equipment That is not Safety-Related	01-16-85	
84-15	Proposed Staff Actions to Improve & Maintain Diesel Generator Reliability	07-02-84	
83-28	Equipment Classification Programs for All Safety-Related Components		
82-05	Post TMI Requirements	03-17-82	
82-10	Post TMI Requirements	05-05-82	
82-25	Integrated IAEA Exercise for Physical Inventory at LWR	11-03-82	
82-33	Supplement to NUREG-0737 Emergency Response Capability	12-17-82	
81-21	Natural Circulation Cooledown	05-05-81	

#### IV. 결 론

우리나라에서도 첫 상업용 원자로인 고리 1호기의 설계수명만기가 10년 미만으로 도래하게 됨에 따라, 설계수명이후의 연장운전에 대한 논의가 활발히 진행되고 있어 우리도 설계운전 이상의 장수명운전 허용여부에 대한 대비가 시급하다고 하겠다. 이러한 관점에서 이미 운영허가갱신규정을 마련하여 가동중 원전에 대하여 인허가갱신을 발급한 미국과, 설계수명이후의 연장운전을 허용한 일본의 제도를 검토하여 원전 장수명운전을 위한 인허가 절차 및 현행운영허가기반을 제시하였다.

또한 현행운영허가기반에 적용 타당성 검토를 위하여 고리 1호기와 유사한 원자로형 및 수령을 갖는 미국의 Surry 원전에 적용된 현행운영허가기반을 비교, 분석한 결과 일부 상이점이 있기는 하지만 심각한 차이는 없었다. 즉, 우리나라의 경우 규제요건 소급적용규정(Backfit Rule)이 별도 제도화되어 있지는 않지만 정기검사, 품질보증검사, 수시검사, 정부의 행정명령 등을 통하여 지속적으로 안전성을 지속적으로 확인, 점검하여 왔기 때문에 실제 원전의 안전여유도는 충분히 유지되고 있

다고 볼 수 있다. 이상의 고찰을 토대로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 국내의 운전경험 및 외국의 유사원전에 적용되는 현행운영허가기반을 비교평가하여 우리의 현행운영허가기반을 새로이 정의하였다. 이 현행운영허가기반을 만족하고 있다면 해당원전은 안전성을 유지하고 있다고 볼 수 있으며, 이 운영허가기반은 연장운전기간 동안에도 계속 만족되어야 한다.
- 2) 단, 현행운영허가기반은 설계수명내의 안전운전에 기반을 둔 것이므로 사업자가 설계수명이상의 장수명운전 신청시, 설계에서 미처 고려하지 못한 기기의 노화 및 운전중 새로이 발견된 안전현안에 적절히 대처할 수 있음을 보이는 자료를 제출하도록 하고 이를 규제기관이 검토하여 승인하도록 하며, 정기검사와 PSR 등 규제활동을 통하여 확인토록 하는 것이 적절할 것이다.
- 3) 노화관리는 보수, 검사의 신뢰도확보 등 사고예방조치를 위주로 하며 교체가 어려운 장수명기와 피동설비에 초점을 맞추도록 한다.

결론적으로, 원전의 안전성을 확보하기 위해서는 현재 적용되고 있는 현행운영허가기반을 기본적으로 만족하여야 하며, 이러한 현행운영허가기반은 장수명운전을 위해 설계수명이후 연장운전기간동안에도 지속적으로 만족되어야 한다. 또한 원전 장수명운전을 위해서 사업자는 보수 및 노화관리 프로그램을 설계수명 종료 이전에 제출하여 규제기관의 검토를 받아야 하며, 규제기관에서는 정기점검을 통하여 안전성이 유지되는지를 확인하는 방안을 제시해 본다.

## 참고문헌

- [1] AIF/NESP-040, Regulatory Considerations for Extending the Life of Nuclear Power Plants, prepared for the national environmental studies project of the Atomic Industrial Forum, by Grove Engineering, Dec. 1986
- [2] NRC Homepage Licensing Renewal, TIP: 1-License Renewal, 1999.
- [3] 백원필, "원전 수명연장관련 국외 규제 및 기술동향", 원전 수명연장 및 가동원전 주기적안전성평가 워크샵, 1999. 9. 13, 한국원자력안전기술원
- [4] NUREG-1317, Regulatory Options for Nuclear Plant License Renewal, USNRC, August 1988
- [5] USNRC, "Requirements for Renewal of Operating Licenses for Nuclear Power Plants", 10 CFR 54, 1995
- [6] NUREG/CR-6490, Nuclear Power Plant Generic Aging Lessons Learned (GALL), USNRC, Dec. 1996
- [7] NUREG-1568, License Renewal Demonstration Program: NRC Observations and Lessons Learned, USNRC, Dec. 1996
- [8] "Current Status of Life Management Policies for Nuclear Power Plants in Japan", Takehiro Otsuka, IAEA/IWG-LMNPP, Specialist Meeting on Strategies and Policies for Nuclear Power Plant Life management, Vienna, Austria 28-30 September 1998
- [9] "Assessment of Aging Countermeasures of Electric Utility Companies for Nuclear Power Plants and Future Approaches to management of Plant Aging", Presented by ANRE/MITI, February 1999
- [10] "Assuring a 60years lifetime for Mihama 1", Yonezo Tsujikura, Takao Nakamura, Yoshihiko Horikawa and Keiji Matsueda, Nuclear Engineering International, Dec. 1999