

원자력발전소의 수명관리

원자력발전소의 수명에 관한 문제는 수명연장 자체 뿐만 아니라 원전의 장기간 운전에 따른 경년열화 대책의 측면에서도 중요한 의미를 가지고 있다.

우리의 경우에도 고리 1호기를 포함하여 장기간 운전하는 발전소가 늘어남에 따라 이제 원전수명관리 및 경년열화방지에 관심을 기울여야 할 때이다.

우 리나라는 높은 경제성장의 지속과 국민복지수준의 상승으로 전력수요가 급격히 증가하고 있다.

1990년대 들어서 전력수요는 매년 12% 이상의 높은 증가율을 보이고 있다.

더욱이 여름철 냉방전력에 의한 전력피크타임시의 소요전력이 지나치게 증가하여 문제가 되고 있다.

지난해 여름에는 피크타임시의 전력예비율이 3%대에 육박하여 제한수

전의 위기로까지 몰린 적도 있었다.

다행히도 그때 대용량의 원자력발전소가 고장없이 운영되어 큰 문제는 없었다.

그러나 만일 그 시기에 원자력발전소 하나만 정지되었더라도 전력수급에 상당한 어려움이 있었을 것이다.

우리나라는 원자력발전정책을 꾸준히 추진하여, 고리 1호기가 준공된 1978년 이후 현재는 9기의 원자력발전소가 가동중에 있으며, 7기의 원자력발전소가 건설중에 있다.

원자력발전소의 설비용량은 현재 761만6천kW로서 우리나라 전체 발전설비용량의 27.5%를 점유하고 있다.

1994년중에는 국내전력의 35.5%를 원자력발전이 공급하였다.

원자력발전소를 건설하는 데는 막대한 비용이 들 뿐만 아니라, 건설에는 6~7년의 장기간이 소요된다.

따라서 기존의 발전소를 안정적으로 운영하여 운전기간을 늘리는 문제는 발전소를 신규로 건설하는 것 못지않게 중요한 과제이다.

원자력발전소의 설계수명은 30~40년으로 되어 있지만, 최근에는 부지확보의 어려움과 경제성 증진의 이유 등으로 원자력발전소의 수명연장에 관한 문제가 활발히 논의되고 있다.

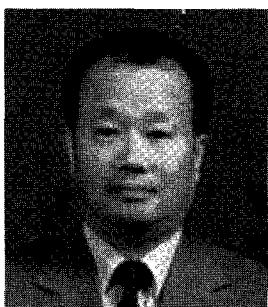
원자력발전소의 수명에 관한 문제는 수명연장 자체 뿐만 아니라 원전의 장기간 운전에 따른 경년열화대책의 측면에서도 중요한 의미를 가지고 있다.

우리의 경우에도 고리 1호기를 포함하여 장기간 운전하는 발전소가 늘어남에 따라 이제 원전수명관리 및 경년열화방지에 관심을 기울여야 할 때이다.

원전수명의 개념

원전의 수명이란 원자력발전소의 주요기기들이 설계된 대로 성능을 유지하면서 안전하게 운전할 수 있는 기간을 말한다.

원전수명에는 설비 자체의 기계적인 수명인 설계수명과 규제기관의 운



허 남

과학기술처
안전심사관

영허가 유효기간에 의한 법적인 수명이 있다.

초기 원전은 단순히 투자자본 회수를 고려하여 설계수명을 설정하였으나.

그러나 차츰 설계수명이 도래한 원전이 발생함에 따라 부족전력의 해소방안으로 원전수명에 대해 관심을 갖기 시작했다.

안전성평가기술 및 운영기술의 발달로 원전의 장수명화가 가능해짐에 따라, 발전소의 신규 건설에 따른 부지확보난 해소와 재정적 부담완화의 필요성 때문이다.

시설물의 설계수명은 안전성·경제성 등 제반여건을 고려하여 설계자가 결정하게 된다.

그러나 실제로 시설의 운전수명은 운전·보수 등 여러 환경여건에 따라 크게 달라진다.

동일한 설계와 동일한 부품으로 제작된 자동차의 경우에도 사용상태와 보수 등 관리상태에 따라 그 수명은 천차만별인 것과 같다.

설계수명이 다했다고 하더라도 적절한 수명관리로 설비의 성능을 유지하는데 문제가 없다면 내용년한이 연장되는 것은 당연한 일이다.

물론 이 경우 구성부품의 적절한 교체, 설계기준의 재평가, 운전보수이력 등을 종합적으로 평가하여 내용년한을 초과하여 사용하여도 안전운전이 가능하다는 확신이 전제되어야 할 것이다.

원전의 장수명화를 위해서는 운전 중에 철저한 수명관리를 필요로 한다.

원전의 수명관리란 원전의 주요계통·기기·구조물의 현상태를 분석하여 원전의 최적수명을 평가하고, 이를 토대로 하여 수명기간 동안 원자력발전소를 안전하고 경제적으로 운영하기 위하여 노력하는 제반활동을 말한다.

기계설비의 수명단축은 경년열화에 의한 기능저하가 가장 큰 원인이다.

모든 생물은 나이가 들어감에 따라 노화되어 가는 것과 같이 기계설비도 사용년수가 증가함에 따라 열화되어 가는 것은 자연의 이치이다.

이와 같이 사용년수의 증가에 따라 구조물의 기능이 저하되는 것을 경년열화라고 한다.

이 경년열화의 문제는 원자력발전소 뿐만 아니라 화력발전소·화학공장·철도·선박 및 일반기계 등 모든 인공적 시설물 관리에서 큰 과제로 되어 있다.

경년열화는 때로는 대형사고를 일으켜 인명과 재산상에 큰 희생을 치르게도 하며, 이의 복구에 막대한 비용이 들기도 한다.

따라서 수명관리의 주안점은 결국 운영설비에 대한 경년열화의 완화 및 방지를 위한 노력으로 집약된다.

원전에 대한 법적인 인허가수명을 규정하고 있는 국가는 미국으로, 운영허가 시점으로부터 40년의 기간을 법적인 수명으로 하고 있다.

이 기간 이후에는 해당 원전에 대하여 안전성을 평가한 후 허가기간을 연장할 수 있다.

우리나라는 원전운영허가서 유효기간을 명시하지 않아 법적인 수명은 없다.

다만 운영허가서의 최종안전성분석 보고서에 주요기기의 설계기준연도가 명시되어 있을 뿐이다.

원전수명관리 현황

1. 미 국

원전의 수명연장에 관한 연구는 원전역사가 가장 오래된 미국에서 1980년대 중반부터 활발히 진행되어 왔다.

이는 1970년대 말 이후 경제성장의 부진 및 원전 건설비용의 증대 등으로 원전의 신규건설이 어렵게 된 것이 주요 원인이었다.

그 뿐만 아니라 40년의 인허가 기간에서는 1961년 가동을 시작한 Yankee Rowe 원전이 2000년에 허가기간이 만료된다.

또한 2005년까지 5기의 원전이, 2010년까지는 32기의 원전에 대한 운영허가기간이 만료됨에 따라 원전의 수명연장에 관한 문제가 현실적인 문제로 대두되게 된 것도 큰 원인 중의 하나였다.

미국전력연구소(EPRI)는 1979년, 수명연장에 따른 경제성에 대한 연구를 실시하였다.

이 연구에서 평가된 수명연장에 관

한 경제성은 이득이 비용의 4배에 달한다는 것이었다.

또한 전력사업자측에서는 1985년부터 EPRI/DOE가 공동주관하여 Surry-1(PWR, 82만kW)과 Monticello(BWR, 57만kW) 등 2개의 원전을 대상으로 연구를 수행하여, 수명연장에 따른 경제성평가와 주요기기, 계통 및 구조물의 경년열화영향 평가 연구를 수행하였다.

이 연구결과 수명연장을 저해할만한 기술적인 요인은 없으며, 경제성도 충분히 있다는 것이 결론이었다.

이 연구결과는 1990년 10월 US-NRC에 제출되었다.

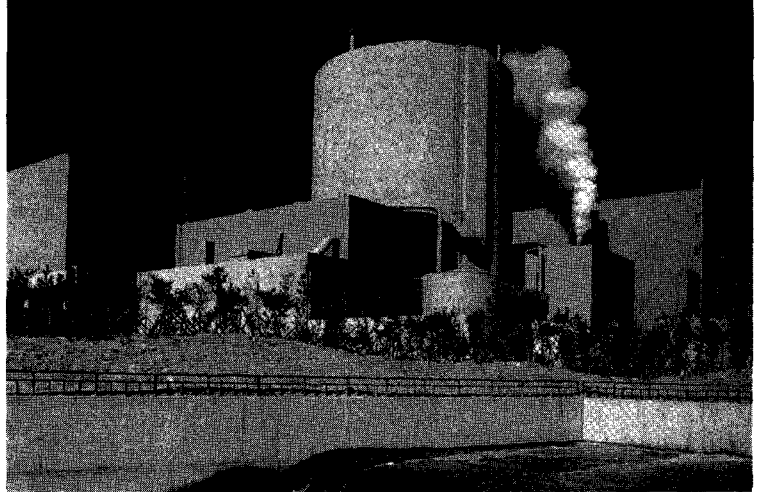
1980년대에는 에너지성·전력연구소·규제기관·전력회사·산업체 등 원자력발전 관련 모든 기관이 거의 참여하여 주로 시설의 성능측면에서 수명을 연장하기 위한 시범연구를 수행하였다.

주요 연구내용은 수명연장의 타당성 검토 및 평가기술개발 등이었다.

이를 바탕으로 미국은 1990년대 들어서면서 수명관리에 관한 기술을 본격적으로 개발하는 한편 수명연장에 관련된 제도를 확립하게 되었다.

원자력규제위원회(NRC)는 원전수명연장에 대한 법적인 근거로 1992년 1월 10CFR54를 제정하여, 최초허가기간인 40년에서 20년 이내의 기간동안 연장할 수 있도록 하였다.

NRC는 인허가 갱신에 따른 기준 및 절차를 마련하기 위하여 허가기간



고리 1호기는 현재 17년째 가동중에 있어 시설의 안전성과 경제적인 측면에서 원전수명관리에 대한 필요성이 대두되고 있다.

연장에 따른 절차 및 기술적인 요건, 환경영향평가에 대한 사항들을 주요 내용으로 하는 기초연구를 현재 수행하고 있다.

한편 NRC에서는 1990년 12월 인허가 갱신을 위한 표준심사지침(NU-REG-1299)을 제정하여 인허가 갱신 조치를 지원하는 지침으로 활용하고 있다.

이 지침은 △ 열화평가대상 주요기기, 계통 및 구조물의 선택기준 △ 열화에 영향을 미치는 설계, 운전, 환경요인 평가지침 △ 열화평가 및 관리계획 등으로 구성되어 있다.

2. 일 본

일본은 미국과는 달리 원전수명에 관한 법적인 인허가 기한이 없다.

따라서 원전의 수명에서 법적인 인

허가 수명 측면보다는 미하마 1호기 등 20년의 운전년수가 경과한 원자력 발전소가 발생됨에 따라, 원전의 안전성과 운전효율의 증진을 위한 경년열화에 관한 연구에 보다 중점을 두고 있다.

미국의 경우 주로 전력사업자가 중심이 되어 경년열화연구를 수행하는데 비하여, 일본의 경우는 정부 주도로 주로 정부예산에 의하여 수행되고 있다.

1985년부터 11년 계획으로 발전설비기술검사항목에서 수명년한의 예측, 경년열화의 진단, 수명연장에 따른 기기의 교환 및 수리를 위한 신기술 개발 등을 주로 실증실험 위주로 연구를 추진하고 있다.

이들 연구는 1985년 ~ 1986년을 1단계로, 1987년 ~ 1992년을 2단계

로, 1993년 ~ 1995년을 3단계로 나누어 수행하고 있다.

1단계에서는 연구대상 주요기기를 선정하고 수명년한 예측에 관한 연구를 수행하였다.

2단계에서는 경년열화 감시시스템 개발 및 재료시험을 포함하는 확증시험을 실시하는 한편 기기의 교환 및 수리장비 개발연구를 수행하였다.

현재 진행중인 3단계에서는 그동안의 연구결과를 종합평가하고, 경제성을 고려한 원전수명연장 절차를 준비하는 한편, 수명연장과 관련된 규제요건 및 기술기준 마련을 위한 연구를 수행하고 있다.

발전설비기술검사회 이외에도 각 연구소와 전력회사에서도 경년열화와 관련하여 부분적인 연구를 수행하고 있다.

일본전력중앙연구소와 일본원자력연구소에서는 원자로압력용기, 전기케이블, 콘크리트구조물 원전주요기에 대한 노후화연구와 관련 데이터베이스를 개발하고 있다.

전력회사에서는 미하마 1호기를 대상으로 하여 수명연장에 대한 타당성평가를 완료하고, 현재 웨스팅하우스사와 공동으로 수명연장에 대한 정밀평가연구를 수행하고 있다.

3. 우리나라

우리나라는 일본과 마찬가지로 원자력발전소 인허가수명에 관한 특별한 법적규제는 없다.

현재의 원전운영허가는 무기한 유효하도록 되어 있다.

다만 운영허가시 정부에 제출한 최종안전성분석보고서(FSAR)에서 발전소별로 주요설비의 설계기준 수명년한을 설정하고 있을 뿐이다.

우리나라의 경우 가장 먼저 건설된 고리 1호기가 2010년대 후반에야 설계수명에 도달하게 되어 있다.

아직은 제도적인 측면에서의 수명연장문제가 현실적으로 시급한 과제는 아니다.

고리 1호기는 1995년 현재 17년째 가동중에 있어 시설의 안전성과 경제적인 측면에서 원전수명관리에 대한 필요성이 점차 대두되고 있다.

특히 고리 1호기는 원전초기 1960년대에 설계된 원자력발전소로서 증기발생기에 많은 결함이 발생되어 수명 이전에 증기발생기를 교체해야 할 필요성이 대두되고 있다.

한국전력공사에서는 고리 1호기의 증기발생기를 1998년에 교체할 것을 추진하고 있다.

우리나라의 원전수명관리 기본방향은 원전의 설계수명까지 안전하게 운전하는 것을 1차적인 목표로 하고 있다.

그리고 연구개발을 통하여 수명관리기술을 개발하고, 이의 효과적인 시행으로 실제 수명을 다시 평가하여 최적수명까지 운전기간을 연장하는 것을 2차적인 목표로 하고 있다.

국내의 수명연장에 관한 연구는 한

국전력공사 및 한국원자력연구소를 중심으로 하여, 1980년대에는 원전수명관리 동향과약, 기술현황 및 방법론조사 등 원전수명관리방안에 관한 기초조사연구를 수행한 바 있다.

현재는 원자력관련 산업계 및 한국원자력연구소에서 원자력발전소의 수명연장 및 수명관리를 위한 기술개발연구를 수행하고 있다.

한국원자력안전기술원에서도 미국 NRC와의 긴밀한 협력하에 1989년부터 원전의 장기간 운전에 따른 경년열화현상 규명을 위한 연구를 수행한 바 있다.

이 연구에서는 원전 주요기기의 경년열화의 현상을 파악하고 기기의 열화도검사장비를 개발하는 한편 원전 계통재료의 건전성평가기법을 연구하였다.

한국전력공사에서도 1993년부터 10년간의 계획으로 원전수명관리를 위한 중장기 연구를 주로 고리 1호기를 대상으로 하여 수행하고 있으며, 웨스팅하우스사의 수명관리 프로그램에도 참가중이다.

경년열화 방지대책

경년열화는 사용기간의 증가에 따라 계통 및 부품의 마모와 재질의 노후화에서 비롯된다.

경년열화에 대한 대책으로는 기본적으로 설비에 대한 열화의 원인을 파악하고 적절한 시점에서 노후된 기기

들을 교체하는 것이다.

그러나 실제에 있어서 적절한 교체 시점을 찾는다는 것은 생각보다 쉬운 일이 아니다.

개별 부품의 관점에서 보면 그 부품의 수명이 다하도록 사용하고 고장난 다음에 교체하는 것이 가장 경제적이다.

그러나 부품의 수명이 다하여 고장으로 연결되었을 때 다른 부분에 더 큰 고장을 일으킬 수 있으며, 그로 인하여 사고가 난다면 경제적인 손실은 그 부품값과는 비교할 수 없이 커진다.

따라서 개별 부품의 경우 제반여건을 판단하여 수명이 다하기 전에 교체하는 것이 바람직하다.

최근에 고리원자력발전소의 잦은 불시정지가 국민의 많은 관심을 불러 일으킨 적이 있었다.

그 고장의 원인은 주로 원자로의 운전을 제어하는 각종 전자제어카드의 단위 부품의 열화에 의한 것이 대부분이었다.

원자력발전소에는 수천개의 전자제어카드가 있으며 불시정지와 직접 관련있는 것만도 수백개에 달한다.

또한 한개의 전자제어카드에는 저항·콘덴서·반도체 등 수백개의 작은 단위소자로 구성되어 있다.

따라서 아무리 정비를 철저히 한다고 하여도 그런 단위소자의 열화상태를 사전에 감지한다는 것은 거의 불가능에 가깝다.

따라서 사업자가 전자제어카드의 고장으로 인한 불시정지를 줄이는 가장 효과적인 방법은 카드를 적기에 교체하여 주는 것이다.

그러나 실제에 있어서는 그 제어카드 교체의 적절한 시기를 판단하는 일이 그리 쉽지 않다. 기자재 자체의 기술적인 요인 뿐만 아니라 경제성, 고장으로 인한 사회적인 문제까지를 고려하여야 하기 때문이다.

결국 사업자는 제어카드 자체의 수명, 열화원인, 고장발생의 확률적인 고려 등 기술적인 평가보다는, 원자력발전소가 정지됨으로써 입는 경제적 손실, 불시정지의 빈발에 따른 국민여론 등을 감안하여, 관련된 제어카드 모두를 교체하기로 하였다.

이러한 사례는 경제적이고 안전한 최적의 수명관리방안을 찾는다는 것이 얼마나 어려운 일인가를 보여주는 좋은 예이다.

원자력발전소의 정비는 관련규정에 의하여 발전소를 정지하고 주기적으로 실시하는 정기보수와 운전중 개별 기기에 대하여 실시하는 일상정비로 나누어진다.

현재의 원전보수는 기기분해점검 및 부품교체를 위주로 하여 운전시간에 따른 일정한 주기에 따라서 정기적으로 실시되고 있다.

이러한 방법은 교체부품의 조달 및 확보, 예산배정 등 보수계획을 수립하기는 쉬운 장점이 있다.

그러나 이는 시설의 운영상태와 사

용환경에 따른 해당 부품의 열화정도를 반영하지 못하는 단점이 있다.

열화상태와 잔여수명을 예측하고 이에 맞는 적절한 점검빈도와 교체계획을 수립하는 것이 필요하다.

원자력발전소의 경년열화는 원전의 가동기간이 경과함에 따라 중성자照射, 고온, 고압, 반복적인 과도상태 등 특이한 가동환경 시간의 함수로 누적된다.

이는 결국 기기, 계통, 구조물 등의 성능저하와 물성변화를 일으키게 된다.

경년열화가 심화되면 궁극적으로는 기능상실과 안전성저해의 요인이 되므로 적절한 열화방지대책을 수행하여 기기, 계통, 구조물 등의 열화정도가 안전허용범위 안에서 유지되도록 관리하여야 한다.

원자력발전소의 경년열화를 방지하여 수명을 연장하는 방안으로서는 다음의 몇가지를 들 수 있다.

첫째, 설비를 적절히 관리하여 열화의 진행을 늦추는 일이다.

예방정비를 철저히 하여 기기의 마모를 줄이고 운전환경을 잘 관리하여 재질의 노후화를 지연시킬 수 있다.

기기의 무리한 운전을 피하고 작동 부분에 윤활유를 잘 주입함으로써 마모를 줄일 수 있으며, 수질관리를 철저히 함으로써 배관계통의 부식을 줄일 수도 있다.

둘째, 부품의 열화상태를 파악하여 적기에 해당부품을 교체하는 것이다.

열화되어 성능이 떨어진 부품을 적기에 교체하여 다른 계통에 대한 2차적인 고장의 파급을 막아야 한다.

열화된 부품을 적기에 교체하려면 설비진단기술을 개발하는 등 열화와 관련된 연구가 평소에 이루어져야 하고, 시설의 운전 및 보수에 관한 각종 정보가 잘 정리되고 이의 활용체계가 수립되어야 한다.

경년열화에 관한 연구는 열화의 근본원인 규명, 각 부품의 열화상태의 진단 및 감시, 설비의 정비 및 교환기술 등 열화방지를 위한 모든 부분에 대하여 종합적이고 체계적인 계획에 실시되어야 한다.

셋째, 적절한 설계개선을 통하여 기기 및 계통의 수명을 연장하는 것이다.

계통의 설계개선으로 운전효율을 높일 수 있으며, 부식 및 마모에 강한 재질을 사용함으로써 열화를 억제할 수 있다.

현재 원전의 수명과 관련하여 가장 크게 문제되고 있는 증기발생기의 세관재질이 초기에는 열처리되지 않은 인코넬합금이 사용되었으나, 지금은 고온열처리되고 마모에 강한 인코넬합금을 개발하여 부식, 마모에 의한 열화를 상당히 줄일 수 있었다.

맺음말

시설에 대한 적절한 수명관리를 통하여 가동중 원전의 경우에는 안전여

유도를 확보할 수 있다.

사업적인 측면에서는 운전기간이 늘어남에 따른 경제적인 이득을 기할 수 있다.

수명이 다한 원자력발전소를 해체할 경우에는 막대한 경비가 소요되며 기술적인 면에서도 간단하지 않다. 아직 해체한 경험도 없다.

또한 폐쇄할 경우에도 국토이용 측면에서나 환경보전 측면에서 문제가 있다.

언제까지나 폐쇄할 수는 없으므로 결국은 해체하여야 한다.

안전성이 확보되고 경제성 있는 성능이 유지되는 한 발전설비의 수명은 연장되는 것이 바람직하다.

경년열화와 관련한 원전의 수명에 관한 연구가 가장 활발한 나라는 미국으로, 다른 나라는 아직 이에 대한 연구나 인식이 깊지 못한 것이 현실이다.

다른 나라는 아직 수명을 걱정할 만큼 원전운전년수가 많지 않기 때문일 것이다.

따라서 미국을 제외한 다른 나라에서는 경년열화연구를 수명연장과 직접 연결시키기 보다는, 열화관리를 통하여 가동중 원전의 안전여유도 확보와 불시정지요인을 감소시킬 목적으로 수행되고 있다.

우리나라의 경우에도 고리 1호기의 경우 설계수명이 10년 이상 남아 있어 수명에 관한 문제는 아직은 현실적으로 중요한 문제로 인식되지 않고 있

다.

그러나 수명관리는 수명이 다한 다음 이루어지는 것이 아니라 설비를 평소에 효과적으로 관리함으로써 이루어지는 것이다.

따라서 지금부터 열화방지를 위한 적절한 대책을 수립하여 효과적인 수명관리를 기하여야 한다.

최근 고리 1호기 증기발생기 세관의 누설에 의한 원전의 장기간의 보수는 안전성이나 경제성 차원을 넘어 PA 측면에서도 많은 우려를 자아내게 하고 있다.

원자력발전정책을 계속 추진하고 있는 우리의 현실에서 원자력발전소의 안전상의 문제점은 기술적인 문제 이상으로 원자력산업 전반에 미치는 영향이 크다.

정부에서는 고리 1호기 등 장기간 운전해 온 원자력발전소에 대하여 경년열화로 인한 기능저하와 안전성저해 요인을 철저히 감시하여 평가하는 한편 관련 연구도 다각적으로 수행하도록 하고 있다.

한편 규제제도의 변경은 충분한 기간을 가지고 검토·시행하여 사업자로 하여금 사전에 대비하게 하는 것이 바람직하므로, 인허가기한 도입 검토, 증기발생기 등 주요기기의 교체에 따른 안전심사 등 수명연장과 관련한 각종 안전규제제도의 확립을 위한 연구도 조속히 착수할 예정이다. ⊗