

원전 구조물의 유지관리 현황과 과제

함영승, 송영철, 조명석, 방기성
한국전력공사 원자력발전처, 전력연구원

요약

원전 구조물의 대부분은 해안가에 위치하고 있어 염해와 장기적으로 발생하기 쉬운 피로, 중성화등 각종 열화조건에 노출되어 있다. 한편 구조물의 유지관리에 관한 기술은 근본적으로 체계적으로 확립된 절차에 따라 수행되어야 하는 것이 원칙이며 특히 원자력 발전소의 경우에는 결함요인을 사전에 제거함으로써 원자력 안전성에 대한 신뢰도를 높이기 위한 자체기술의 확립이 필요하다.

이러한 필요성에 따라 “원전 안전성 관련 콘크리트 구조물의 열화에 관한 연구”에서는 체계적인 열화현상 검사 절차 및 유지관리기술의 핵심 요소라 할 수 있는 각종 검사 및 이력사항들에 대한 데이터베이스 시스템의 구축, 표준적인 보수·보강 절차를 제시하였으며, 이러한 제반 성과들이 원전 구조물의 유지관리업무에 실용화 될 때 원전의 안전성 향상에 크게 기여하리라 생각된다.

1. 서론

전력사업은 국가 기간산업으로서 국가 경제발전에 크게 이바지하여 왔으며 국민생활 수준 향상에 따른 전력 수요의 급증으로 현재의 전력 예비율을 감안할 때 전력의 안정적 공급이라는 측면에서 한치의 오차를 허용치 않는 수준에 이르렀다. 따라서 신규 발전소 건설의 활발한 추진은 물론이고 기존 발전소의 철저한 유지관리를 통한 안전성 확보와 운전 정지의 사전예방이 무엇보다도 중요한 과제로 부상하고 있다. 이에 안전성을 최우선으로 하고 있으며 국가 전력 에너지의 상당한 부분을 차지하고 있는 우리나라의 원자력 발전도 향후 예상되는 구조물의 경년 열화현상에 대한 대책을 수립 시행함이 절실히 요구되고 있다.

원자력 발전소는 대부분 철근 콘크리트 재료로 이루어져 있고 구조물에 나타나는 경년 열화(Aging) 현상은 매우 복잡하며 단일 요인에 의해서라기 보다는 여러 요인의 복합적인 작용에 의해 나타나므로 그 요인분석 및 평가에 어려움을 주고 있다. 특히 균열, 부식, 변형등 구조물에 발생할수 있는 각종 열화 현상에 대한 요인을 규명하고 적절한 대책을 수립하기 위해서는 정확한 측정 및 이력관리 데이터가 무엇보다도 중요한 요소이다. 따라서 이를 체계화하고 종합화하여 효율적인 유지관리 방안을 수립키 위해 “원전 안전성 관련 콘크리트 구조물의 열화에 관한 연구”를 수행중에 있다. 이에 본고에서는 전력 생산설비를 지지하고 기능 유지를 위한 구조물을 중심으로 유지관리방안을 소개하고 향후 과제에 대하여 기술 하고자 한다.

2. 원전구조물의 유지관리 시스템

본 시스템은 원전 안전성 관련 콘크리트 구조물의 각종 열화현상에 대한 체계적인 검사 절차와 획득된 열화 이력 사항의 효율적인 관리를 위한 데이터베이스 시스템, 검사 결과에 따른 보수·보강공법 선정 및 절차 제시로 구성되어 있으며, 이와같은 전반적인 유지관리 시스템의 흐름도는 그림1과 같다.

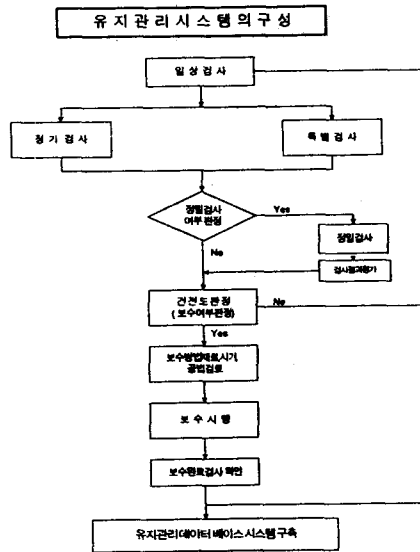


그림 1. 유지관리 시스템 흐름도

2.1 열화현상 검사절차

구조물의 유지관리 기술은 구조물에 대한 이력사항의 세부 기록 유지가 매우 중요한 요소이며 이를 위하여는 발전소 구조물의 구조재료적 특성과 주변의 환경조건하에서 도출되는 실질적인 기술자료 축적을 위한 체계적인 검사절차가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 구조물에 대한 자료의 생산, 획득, 분석 및 활용이 체계적으로 이루어지도록 하고, 열화손상의 조사, 원인규명 및 향후의 효율적인 유지관리기술 확립을 위하여 열화현상 검사절차서를 개발하였다.

2.1.1 적용범위 및 대상구조물

원전 안전성 관련 콘크리트 구조물의 열화현상 검사에 적용하며 다음과 같은 6개 구조물을 대상으로 한다.

- 1) 격납건물
- 2) 보조건물
- 3) 기기냉각수 구조물
- 4) 핵연료 건물
- 5) 필수냉각수 취수구조물
- 6) 디젤 발전기 건물

2.1.2 검사의 종류

본 절차서에서는 검사의 종류를 관련 유지관리 부서에서 일상적으로 실시하는 일상검사와 특정주기로 실시하는 정기검사, 예기치 않은 재난 발생시 등에 실시하는 특별검사로 구분하였으며 정기검사, 특별검사등 정밀성과 전문성이 요구되는 검사는 객관적이고 합리적으로 수행할 수 있는 전문기관에 그 검사를 위탁할 수 있도록 하였다. 또한 본 절차서에 의해 조사된 모든 자료는 유지관리 데이터베이스 시스템에 입력하여 관리하므로써 체계적인 이력관리가 될 수 있도록 하였다.

1) 일상검사

일상검사는 구조물에 발생하는 새로운 열화현상을 조기에 발견하고 특정열화현상의 상태 및 진행여부를 파악하기 위하여 일상적으로 실시하는 검사로서, 주목할만한 열화현상, 이상변형등이 발견된 부분은 추적검사구역으로 선정하여 특정주기로 일상검사를 실시한다.

2) 정기검사

현존 또는 잠재하고 있는 열화현상의 원인 및 이력파악, 보수·보강 여부의 판단, 체계적인 자료 확보를 위하여 구조물별 특정 주기에 따라 실시하는 검사로서 외관검사와 정밀검사로 구분한다. 외관검사는 콘크리트 구조물에 보편적으로 발생하고 있는 균열, 변형·변질, 철근부식 등의 상태를 검사대상 구역을 격자화하여 실시하는 검사로서, 열화현상이 현저한 구역에 대하여는 외관검사자료를 검토한 후 정밀검사를 실시한다. 정밀검사의 기본항목은 염해 및 중성화로 하며 필요시 검사항목을 추가할수 있다.

3) 특별검사

지진, 화재, 천재지변등 예기치 않은 재난이 발생하였거나 특정부위의 심각한 열화현상에 대한 열화요인 분석을 목적으로 실시하는 검사로서 발생한 현상에 따라 필요한 검사항목을 선정하여 실시한다.

2.2 유지관리 데이터베이스 시스템

본 시스템은 원전 안전성 관련 콘크리트 구조물의 검사와 유지관리, 보수 및 사고이력 등의 제반 사항에 대한 입력 및 검색을 일선실무자들이 손쉽게 할 수 있도록 개인용 컴퓨터로 전산화함으로써 신속한 현황파악 및 유지관리 업무의 효율 극대화를 위하여 개발된 것으로서, 앞절에서 기술한 열화현상 검사절차에 따라 획득된 자료를 바탕으로 데이터베이스 시스템의 구축, 자료의 입출력을 위한 화면구성 프로그래밍, 데이터베이스 시스템 자료의 효율적인 관리를 위한 각종 응용프로그램 작성등으로 기본 개발 방향을 설정하였으며 개발된 시스템의 주메뉴 및 부메뉴 화면은 그림2와 같다.



그림 2.1 유지관리 데이터베이스 시스템 로고 화면

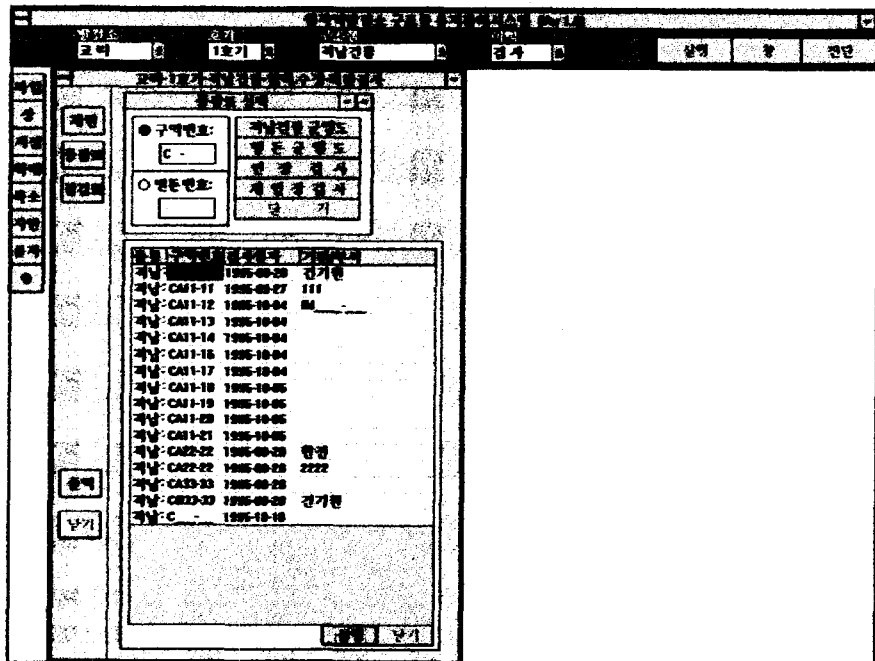


그림 2.2 유지관리 데이터베이스 시스템 기본 화면

2.2.1 데이터베이스 시스템 구축

구조물의 열화관리를 위한 대상자료는 구조체의 제원과 열화현상 검사절차서에서 규정한 제반 검사자료(일상검사, 정기검사, 특별검사) 및 각종 이력관리 자료(보수이력, 구조변경이력, 사고이력)등이다. 이들의 모든 항목을 자세하게 연관시켜 관리하면 정확하게 구조물의 열화상태 및 건전성 등을 파악할 수 있으나, 현실적으로 데이터 조사 여건과 인력투입, 하드웨어 시스템과 개발 소프트웨어 Tool등 소요되는 노력과 경비를 감안하여 적정 수준에서 데이터 항목이 관리되어야 할 것이다. 따라서 본 유지관리 데이터베이스 시스템에서는 제안된 열화현상 검사절차서상의 검사항목 측정자료를 기본으로 하여 격납건물에 대한 기존 ISI 검사자료 및 각종 이력사항을 입력 관리토록 전체 데이터베이스를 구축하였다.

2.2.2 화면구성 프로그래밍

구축된 데이터베이스 시스템으로의 효율적인 자료의 입출력을 위하여 Window 환경하의 GUI(Graphic User Interface) 방식에 따라 화면구성 프로그램을 작성하였으며, 가능한 한 사용자의 편리를 위하여 운용에 필요한 Key를 최소화 하도록 하였다.

2.2.3 운용프로그램 개발

이와같이 하여 구축된 유지관리 데이터베이스 시스템을 지원하여 화면조회, 출력, 검색등으로 사용자의 의사결정에 도움을 주는 각종 운용프로그램을 개발하였으며, 아울러 현장 실무자들이 발생한 열화현상에 대하여 1차적인 열화요인을 추정할 수 있는 진단 시스템을 개발, 데이터베이스 시스템에 접목시켰다.

2.3 보수·보강절차

열화현상 검사절차서에 의한 검사 결과 보수·보강이 필요할 경우의 표준적인 절차와 보수재료의 선정기준을 제시하였고, 보수·보강 공법에 있어서는 비진행성 균열, 진행성 균열, 철근부식에 대한 공법등으로 세분화하여 제시하므로써 현장적용시에 내구성, 안전성, 기밀성 뿐만 아니라 경제성을 고려할 수 있도록 하였다.

3. 유지관리의 향후 과제

원자력 발전소는 다량의 냉각수를 필요로하여 대부분 해안가에 위치하고 있어 일반구조물과는 달리 염해와 같은 열화의 환경적 요인을 많이 내포하고 있다. 따라서 이러한 요인을 조기에 발견하여 보수를 행하지 않으면 발전소 수명기간 중의 안전운전에 중대한 영향을 미치리라는 것은 쉽게 예측할 수 있는 것이며 전력사업이 국가경제에 차지하는 비중이 대단히 막중함을 감안할 때 구조물의 유지관리 능력을 보다 체계적이고 기술적으로 행함은 대단히 중요한 과제이다. 특히 구조물의 외관상 결함을 인지하여 보수를 행하더라도 원천적인 원인제거가 불가능한 경우도 발생할 수 있고 그 손상부위가 국부적이라 하더라도 구조물 전체의 내용년수를 단축시키는 결과를 초래케 할 수도 있다. 이러한 측면에서 구조물을 효율적으로 유지관리 하기 위해서는 대상 구조물에 대한 점검이 종합적이고 체계적으로 이루어지고 시의 적절한 대책을 수립함으로써 문제점에

대한 근원적 해결은 물론 이를 계획, 설계, 시공 단계에 반영함으로써 사용중 유지관리의 최소화를 달성할 수 있을 것이다.

또한 구조물 유지관리 기술은 지역성(Locality) 과 이력사항(History)이 매우 중요한 분야로서 구조물의 주변여건, 사용조건, 중요도 등에 부합되는 유지관리 기술의 확립을 요구하고 있으며 구조물의 일상검사에서 보수에 이르는 일련의 유지관리 기술의 단계별 향후 과제는 다음과 같다.

(일상검사 단계)

- 현장계측정보의 자동적 측정과 계측기기의 개발, 개선
- 육안에 의한 객관적 평가 기준

(정기검사 단계)

- 취득 정보의 정량화 및 기록 보존
- 판정기준의 객관화 기술 확립
- 신뢰성 있는 비파괴 시험방법의 개발과 활용
- 열화의 원인별 검사항목과 방법의 기준화
- 검사결과 분석방법, 열화정도의 정량적 판정 및 예측기법 개발

(보수·보강 단계)

- 구조물의 열화원인과 열화정도에 상응하는 표준 보수·보강 방법 확립
- 각종 보수방법의 효과와 내구성 측정 방법
- 새로운 보수·보수공법의 개발 및 적용
- 보수재료의 성능시험 방법과 성능판정 방법의 확립

이상의 과제중에는 현재 상당부분 확립된 기술도 있으나 유지관리업무 실무자들이 쉽게 적용하고 판단할 수 있도록 이들을 종합화하고 체계화하는 것이 전력구조물 유지관리의 최종 목표이며 이와같은 유지관리 기술의 선진화를 앞당기기 위해 앞으로도 지속적인 연구개발과 투자가 이루어져야 할것이다.

4. 결 론

이상에서 현재 개발중인 원전 구조물 유지관리 시스템의 중요 구성내용 및 향후 과제에 대하여 개괄적으로 기술하였다. 한편 원전의 사용년수 증가 및 신규 발전소의 증설 계획과 더불어 유지관리 관련 업무량도 증대할 것으로 예상되고 있다. 이에따라 유지관리와 관련된 제반 규정과 기준의 정비는 물론이고 전산화에 의한 업무의 효율화, 지속적인 점검·측정 및 자료의 기록 보존, 연구개발 등을 통해 우리 실정에 맞는 체계적이고도 종합적인 유지관리 기술을 확립코자 한다. 또한 구조물 유지관리상에서 나타난 제반 열화현상의 근원적 해결을 위한 연구개발이 수행 되어야 하며 이를 설계, 시공단계에 반영하는 총체적 시스템을 확립하므로써 전력사업의 최우선 과제인 전력의 안정적 공급에 기여하리라 확신한다.