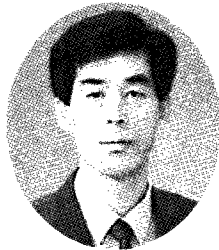


原電劣化 關聯調查 및 器機診斷 評價技術 開發現況

최근 한국의 원전에서도 설비/기기의 노후화 현상이 대두되고 있으며 이는 재료의 경년열화현상으로 나타나 경우에 따라서는 원전의 불시정지를 초래하고 있다. 원전의 경년열화현상은 세계 각국이 경험하고 있으며 일찍이 이 현상에 대한 연구 및 관리방안이 모색되고 있다. 본 자료는 한국의 경우 경년열화현상에 대한 관리방법을 모색하는 사전단계로서 활동을 소개하고자 한다.



장 순 식

한국원자력안전기술원 선임연구원

현재 전세계적으로 발전설비의 가동기간이 설계수명(약 40년)에 임박한 발전소가 증가하여 설비/기기의 노후화에 대한 관심이 증대되고 있으며, 국내 원자력 발전소의 가동기간도 10년을 초과함으로써 설비/기기의 노후화(경

년열화)문제가 대두되어 이에 대한 평가 및 대책의 강구가 절실하다.

원전열화 관련활동의 배경

이와 같은 관점에서 기계 구조물의 수명예측 및 건전성 평가는 매

우 중요한 문제로 등장하고 있으며, 이에 따라 구조물의 보수관리를 위한 의사결정 지원시스템의 개발에 관한 연구와 파괴역학분야에 대한 전문가시스템 및 강도평가를 위한 대형화 시스템 개발 등의 다양한 연구가 세계적으로 진행되고 있다.

14년의 가동이력을 가지는 한국의 원자력산업은 최근 열화(노후화)현상을 경험하고 있다. 이는 14년이라는, 원자력산업에 있어서의 선발 외국에 비교하여 상대적으로 짧은 역사에도 불구하고 겪게되는 현상이며, 원자력산업의 중요성 및 안전성을 고려할 때, 이에 대한 조사 및 연구가 요구된다. 현재 한국은 이에 대한 대응조치로서 금년 1월에 고리원전 1호기에 대한 열화상황을 조사, 분석하여 평가하는 과제와 아울러 원전 플랜트 경년열화현상의 모니터링을 현실화하는 연구과제를 수행하고 있다.

열화현황을 조사, 분석 및 평가하는 업무는 「고리 1호기 주요설비 안전성 재평가 연구」라는 과제로 수행되고 있는데, 이는 당 호기가 국내 선발 호기임과 동시에 열화문제를 가장 빈번히 나타내고 있어 고리원전 1호기의 열화현상에 대하여 심도있는 조사와 아울러 가능한 열화현상의 정리, 열화기구의 해명 및 그 대책방안의 강구와 동시에 원전의 심사, 검사 및 규제업무에 관한 입장의 정리를 목적으로 하고 있다.

또한 열화현상의 모니터링은 「원전 플랜트 경년열화현상 규명연구」라는 과제로 수행되고 있다. 원전

의 열화현상에 대한 연구는 제외국에서 이미 오랜 기간에 걸쳐 그 기구와 대책 등이 연구되어 왔으며 현재까지도 진행되고 있다. 그러나 열화의 정도를 밝히는 기술에 있어서는 기존의 비파괴검사의 수준을 크게 뛰어 넘지 못하고 있는 실정이다. 원전 기기/설비의 열화는 그 기구가 매우 다양하며 모든 종류의 열화를 측정할 수 있는 방법은 그 개발에 막대한 시간과 경비가 소요될 것이다. 본 과제에서는 열화의 원인 중 열적 열화에 대한 일부 재료의 열화도를 측정할 수 있는 방법을 개발함에 그 목적을 두고 있다. 이하 상기 활동에 관한 내용을 소개하고자 한다.

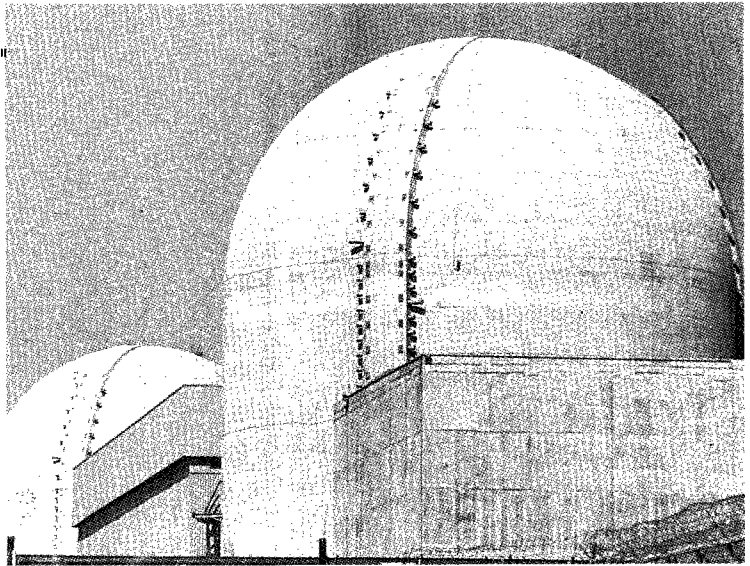
원전 열화현상에 대한 활동

1. 고리 1호기 주요설비 안전성 재평가 연구

(1) 목 표

1978년 4월에 상업운전을 시작한 고리원전 1호기는 14년 이상의 가동으로 인한 제반 주요 설비의 경년열화로 부품의 고장 및 불시정지횟수가 급격히 증가하고 있다. 이에 따라 정부는 1991년 6월 고리원전 1호기에 대한 종합안전검사를 실시하였다. 이 점검결과 고리원전 1호기의 안전관련 계통 및 기기에 대한 건전성을 분석, 평가하고 주요 저해요인인 열화현상에 대한 근원적 대처방안을 모색할 필요성이 대두되었다.

본 과제는 상기와 같은 상황에서 고리원전 1호기의 주요 설비/기지에서 발생되고 있는 경년열화



(노후화)현상을 파악하고, 고리원전 1호기의 안전성 확보를 위한 장단기 적용계획 및 안전규제지침을 수립하고자 한다. 또한 주요 기기의 안전성 평가를 통하여 고리원전 1호기는 물론 노후화되는 국내 다른 호기의 가동 신뢰성 및 안전성 제고에 기여하고자 하며, 경년열화현상에 대한 평가기술이 현재 국내 외적으로 개발단계에 있는 점을 감안하여 향후 이 현상에 대한 규제 적용의 관점에서 그 방안을 모색하고자 한다.

(2) 과제수행내용

본 과제는 4개 분야로 나뉘어 각 분야별 전문인력이 투입되어 실시되고 있다. 각 분야별 대표적인 항목을 열거하면 다음과 같다.

- ㉠ 압력경계의 건전성 평가
- ㉡ 원자로압력용기의 취화현상평가
- ㉢ 가압기 밀림관의 열성층화에 따른 피로안전성 평가
- ㉣ 압력경계의 건전성 평가를 위한 탄소성 파괴역학 전문가 시스템 개발
- ㉤ 증기발생기 및 관련 급수계통 배관의 부식 및 침식영향 평가

㉦ 주요 기기에 대한 PSI, ISI 비파괴검사 자료의 재검토 및 평가

㉧ 주요 기기에 대한 열화 문제점을 국내외 운전, 보수경험 및 자료를 바탕으로 도출하고 이를 체계적으로 분석, 평가하여 해결방안 수립

㉨ 안전운전에 영향을 주는 기기의 성능평가

㉩ 주요 안전관련 펌프, 밸브의 성능시험 및 보수이력조사, 분석과 성능평가기술지침 개발

㉪ 주요 계측제어설비와 전기 기기의 보수이력 조사 및 운전상태 평가

㉫ 주요 계측제어회로 부품의 열화현상 평가

㉬ 구조물의 건전성 평가

㉭ 격납건물 내부 구조물, 차폐건물, 주요기기 지지부 Element, High Energy 배관 관통부의 콘크리트 열화 평가

㉮ 방진기의 성능 및 건전성 확인과 평가

㉯ 격납건물 내의 코팅재 건전성 확인

㉺ 증기발생기의 건전성 평가

㉻ 전열관 손상원인 분석 및 평



가

㉔ 전열관 파손에 대한 Flow Induced Vibration의 영향 분석

㉕ 미하마 SGTR 사고경위의 적용을 통한 안전성 재평가

㉖ SGTR 평가를 통한 운전원 대처능력 및 관련 EOP 타당성 재평가

2. 플랜트 경년열화현상 규명 연구활동

(1) 연구의 배경

기계구조물의 수명을 지배하는 인자는 매우 다양하며, 재료의 사용조건, 사용이력 등 시간과 더불어 재료의 강도특성이 변화하는 현상 즉 열화(Deagrdtation)의 영향을 기계구조물의 수명예측 또는 건전성평가에 어떻게 도입하는가 하는 것은 중요한 사항이다.

원자력발전설비는 가동조건의 특성상, 반응로의 방사선에 의한 조사취화(Radiation Embrittlement), 고온과 화학물질에 의한 부식환경 및 불규칙한 외부응력에 노출되어 환경조장열화에 매우 취약한 상태에 놓여 있다. 이러한 사실은 현재까지의 원전 설계기술에 있어서 경년열화현상에 대하여 충분한 검토가 이루어지지 않았음을 반영하는데, 이것은 열화현상 종류의 다양성 뿐만 아니라 그 생성기구가 다

양한 가동환경의 복합적인 형태가 원인이 되므로 말미암아 겪게되는 문제이다.

전세계적으로 원전의 전반적인 경년열화현상에 대응하여 열화현상의 규명과 방지를 위한 지대한 노력이 경주되고 있으나 타 분야에 비하여 국제협력이 원활하지 않은 편이다. 또한 열화정도의 평가에 관한 연구는 상대적으로 그 노력이 적은 편이다. 이는 기존의 파괴/비파괴적인 제반 검사방법이 가지는 한계성이 한 원인이 된다고 할 수 있겠다.

본 과제는 이러한 상황에서 원전 설비/기기 재료의 열화 중에서 열적 원인에 의하여 발생하는 열화의 측정방법을 개발하고자 한다.

(2) 연구개발의 목표

본 과제의 목표는 열화평가의 실험 및 자료 표준화분석을 통하여 열화현상 규명과 아울러 원전 설비/기기 재료의 열화진단을 위한 측정장비의 모델을 개발함에 있다.

(3) 연차별 연구개발 내용

- ① 열화현상 기구의 정리
- ② 연구현황의 파악 및 열화측정 개념의 확립
- ③ 열화평가 기초실험
- ④ 적용기술의 자료 생산
- ⑤ 측정장비의 기본, 상세설계 및 Prototype 제작

(4) 본 연구의 접근방법

원자력발전 설비/기기에 대한 경년열화현상을 전문적으로 계측할 수 있는 방법은 현재까지 개발된 바는 없는 상황이다. 그러나 일반적인 플랜트 설비/기기에 대한 열화도의 측정은 정량, 정성적인 많은 방법이 제시되어 온 바, 본 과제에서는 이러한 기존 측정방법에 대하여 그 특성을 정리하고, 원전 설비/기기의 열화도 측정에 응용 내지는 적용 가능한 방법을 발굴하여 그 가능성을 시험하기로 하였다.

(5) 적용 기술의 선택

기존의 평가방법 중 비파괴적이면서도 현장 적용이 용이한 방법으로는 전기화학적인 방법과 Replica법의 두 가지로 압축할 수 있었다. 두 방법의 특성을 고려하면 자료의 분석에 있어서 전기화학적 방법은 재료 물성변화의 정량화가 가능하나, Replica법은 적용에 있어서 지극히 간편하다는 장점은 가지나 즉각적인 정량적 평가가 불가능하다. 그러나 전기화학적인 방법은 Replica 방법과 같은 조직학적인 분석에 의한 재료내 미세조직의 변화를 알지 못하고서는 정확한 값을 평가할 수 없다는 문제점을 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 문헌 등 여러가지 자료에 나타나 있는 재료의 열화에 대한 조직학적인 시험결과를 바탕으로 재료내 조직변화를 잘 나타내 줄 수 있는 용액을 선정함을 전제로, 전기화학적인 방법을 택하여 재료의 열화를 평가하고자 한다.■