

원전 콘크리트 구조물의 장기내구성능 평가

Long-Term Performance of Safety Related Concrete Structures in Nuclear Power Plants

윤 의 식* 백 용 락* 임 재 호** 정 연 석*** 최 강 룡*
Yoon, Eui Sik Paek, Yong Lak Lim, Jae Ho Chung, Yun Suk Choi, Kang Ryong

ABSTRACT

Almost 30 years have been passed since the first nuclear power plant was operated in Korea. Many studies have been actively conducted from the early 1990's in order to develop the deterioration management system for concrete structures in NPPs(Nuclear Power Plants) accordingly. Base on these studies, a systematic deterioration management program has developed and operated since 1997. According to this program, systematic inspections to provide database and evaluation were periodically performed (every overhaul at intervals of 12~18 month and every five years). Accumulated deterioration database was usefully utilized for the NPP PSR (Periodic Safety Review).

In this paper, the long-term durability and integrity of Kori 1,2 NPP concrete structures which are the oldest ones in Korea were evaluated based on the precise inspection database and regulatory inspection results including compressive strength, depth of carbonation, amount of chlorination and spontaneous potential of reinforcing bar, etc. It was noted that Kori 1,2 NPP structures have not any serious durability problems.

Keywords : deterioration management program , longterm, durability, NPP

1. 서 론

국내 원전구조물은 냉각수 취·배수가 용이한 해안가에 위치하고 있어 가동년수가 오래된 원전구조물에서는 염화물 및 황산염이온 침투, 중성화 등에 의한 일부 열화·손상이 발생되고 있고, 원전구조물의 안전성에 관한 사회적 관심이 높아짐에 따라 발전소에서는 열화현상 점검 및 보수에 관한 열화관리 프로그램(SLMS, Structural Life Management System)을 개발하여 1997년부터 가동중 원전에 대한 종합적인 열화관리가 이루어지고 있다. 원전구조물의 열화관리는 매 6개월 주기로 실시되는 일상점검(격납 건물 내부 및 매설 콘크리트관은 발전소 정비주기 마다)과 5년 주기의 정기점검이 이루어지며, 정기점검에서는 구조물의 외관상태 조사 외에 강도, 중성화깊이, 전 염화물 이온량, 자연전위 측정 등을 측정하여 구조물의 내구성능을 평가하고 있으며, 이들 열화관리 Data는 최근 원전의 주기적 안전성평가 및 계속 운전(수명연장)을 위한 안전성 평가시 구조물 건전성 평가를 위한 기초자료로 유용하게 활용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 사용년수가 가장 오래된 고리 1호기를 대상으로 정기점검 및 주기적안전성평가 자료를 기초로 구조물의 장기내구성능을 평가하였으며, 인접해 위치한 고리 2호기의 내구성을 평가하

* 정회원 · 한국원자력안전기술원 구조부지실 책임연구원 · 공학박사

** 정회원 · 한국수력원자력(주) 울진원자력본부 시설부장

*** 정회원 · 한국원자력안전기술원 규제기술연구부 책임연구원 · 공학박사

여 비교·분석하였다.

2. 조사 및 평가방법

2.1 조사항목 및 평가방법

원전구조물의 내구성 평가를 위한 대상구조물 및 조사항목을 표 1에 나타내었다.

표 1. 원전구조물의 내구성 조사개요

대상 구조물	기호	조사항목 및 평가방법
차폐건물	RB	<ul style="list-style-type: none"> 압축강도 : 비파괴강도, 고리 1호기는 코어강도 비교평가
보조제어건물	AB	<ul style="list-style-type: none"> 초음파속도 : 미국 NIST의 비파괴시험방법 판정기준 사용
핵연료취급건물	FB	<ul style="list-style-type: none"> 중성화깊이(mm) : 10cm의 코어공시체 사용, 5개소 측정(평균)
기기냉각수건물	CB	<ul style="list-style-type: none"> 철근 피복두께(mm) : 구조물표면이 양호한 5개소 측정(평균)
1차기기냉각 취수구조물	IS	<ul style="list-style-type: none"> 전염화물이온량 (%) : 코어공시체의 표면부, 중간부 및 철근부 3부분에서 분말시료 10g을 채취해 전염화물 이온량 측정, ACI 222R-96 및 콘크리트 표준시방서 평가기준에 준하여 판정
디젤발전기건물	DB	<ul style="list-style-type: none"> 철근의 자연전위(mV) : ASTM C 876에 의해 철근부식 평가

2.2 구조건전성 평가방법

원전구조물의 구조건전성은 정기점검결과를 이용하여 그림 1과 같은 절차에 의해 평가하였다.

또한 건전성저하 평가항목으로는 외관조사 4개요인(콘크리트의 균열, 박리/박락, 백화현상 및 철근의 노출/부식 등)과 정밀검사 6개요인(콘크리트의 강도, 염분량, 중성화, 초음파속도, 자연전위, 부등침하 등)을 선정하였으며, 건전성은 표 2와 같이 평가하였다.

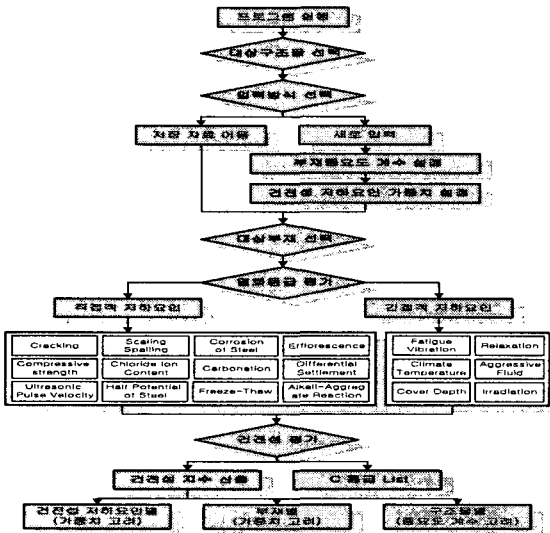


표 2. 건전성 평가기준

등급	건전성지수	평가
I	1.0~1.49	양호
II	1.5~2.49	보통
III	2.5~4.0	불량

그림 1. 원전콘크리트 구조물의 구조건전성 평가절차

3. 조사 및 평가 결과

3.1 압축강도

고리 1, 2호기 구조물의 콘크리트강도 측정결과는 그림 2에 나타낸 바와 같이 모두 설계강도를 상회하는 것으로 나타났으며, 각 호기에서의 구조물별 강도 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 고리 1호기의 비파괴강도와 코어강도를 비교·평가한 결과 일정한 상관관계는 확인할 수 없었으나, 재령계수를 고려한 비파괴강도가 코어강도와 유사하게 나타나 구조물의 콘크리트 강도평가에 무리가 없음을 확인하였다.

3.2 초음파속도

고리 1, 2호기 안전관련 구조물의 초음파속도 측정결과는 그림 3에 나타낸 바와 같이 3.06~4.05km/sec 정도로 나타나 콘크리트의 품질이 미국 NIST의 판정기준에서 제시한 '보통~양호'한 수준에 있는 것으로 확인되었으며, 고리 1,2호기의 차폐건물에 대해서는 지속적인 관찰이 필요한 것으로 판단된다.

3.3 철근 피복두께 및 중성화 깊이

고리 1, 2호기 구조물의 중성화깊이는 그림 4에 나타낸 바와 같이 구조물의 종류에 관계없이 2호기가 1호기에 비하여 작은 것으로 조사되었으나, 1호기 및 2호기의 중성화 진행률은 각각 철근피복두께의 32~48% 및 10~28% 정도인 것으로 조사되어 중성화에 의한 철근부식은 발생되지 않은 것으로 판단된다.

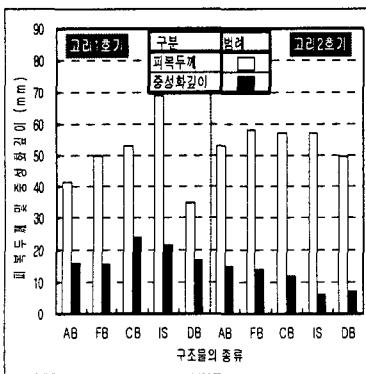


그림 2. 비파괴강도

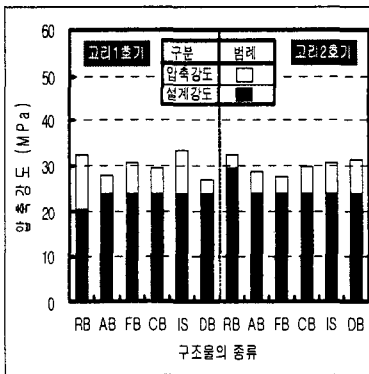


그림 3. 초음파속도

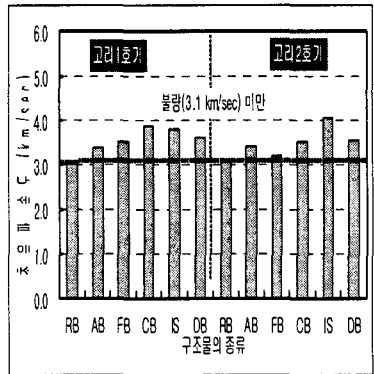


그림 4. 중성화깊이

3.4 전염화물이온량

고리 1, 2호기의 구조물의 전염화물이온량 측정결과는 그림 5에 나타낸 바와 같이, 1호기가 2호기에 비하여 구조물 종류에 관계없이 전염화물이온량이 다소 높게 나타났으나, 대부분 허용한계치 0.026%를 크게 밀도는 것으로 나타나 염화물이온 침투에 의한 성능저하는 거의 없는 것으로 판단되며, 2호기 취수구조물도 철근부에서는 허용한계치를 크게 밀도는 것으로 확인되어 큰 문제는 없는 것으로 판단된다.

3.5 자연전위

고리 1호기 안전관련 구조물의 자연전위는 그림 6에 나타낸 바와 같이 구조물의 종류에 관계없이 모두 -200 mV 이상으로 나타나고 있어 철근의 부식은 발생되지 않은 것으로 조사되었으며, 2호기 자연전위도 1호기 측정결과와 유사하게 나타났다.

3.6 건전성 평가결과

고리 1호기 차폐건물, 기기냉각수건물 및 1차기냉각수 취수구조물에 대한 구조부재별 건전성 평가결과

는 그림 7에 나타난 바와 같이 모든 구조부재의 건전성지수가 1.0~1.46의 범위 내에 있는 것으로 확인되었으므로, 이들 구조물은 소요의 내구성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

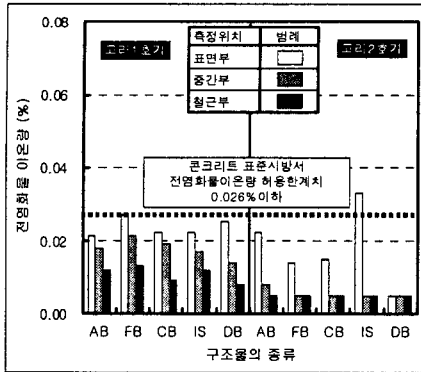


그림 5. 전염화물 이온량

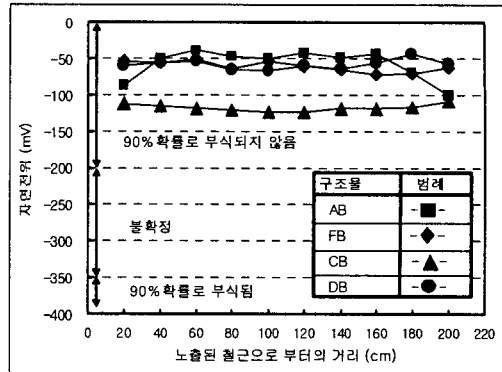


그림 6. 자연전위(고리1호기)

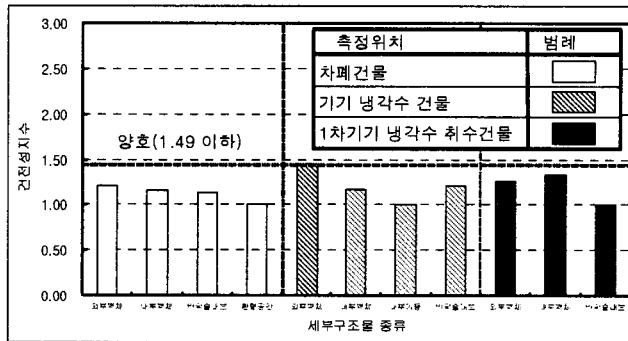


그림 7. 고리 1호기 안전관련 구조물의 구조건전성지수

4. 결 론

- (1) 고리 1호기 및 2호기의 비파괴강도는 모두 구조물에 관계없이 설계강도를 크게 상회하는 것으로 나타났으며, 사용년수 경과에 따른 뚜렷한 강도 저하현상은 나타나지 않았다.
- (2) 고리 1호기 및 2호기의 중성화깊이는 각각 철근 피복두께의 32~48% 및 10~28% 정도로 조사되었고, 전염화물 이온량은 콘크리트 표준시방서의 한계치인 0.026% 이하를 만족하는 것으로 나타났으며, 자연전위는 모두 -200 mV 이상으로 나타나 염해 및 중성화에 의한 철근부식은 발생되지 않은 것으로 판단된다.
- (3) 고리 1호기 차폐건물, 기기냉각수건물 및 1차기냉각수 취수구조물에 대한 구조부재별 건전성 평가결과, 건전성지수가 1.0~1.46의 범위 내에 있는 것으로 평가되어 내구성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) 한수원(주), 고리 1발전소 원전 안전성 관련 콘크리트 구조물 열화현상 점검절차서
- (2) 한수원(주), 고리 1,2호기 안전관련 구조물 정기점검보고서, 2003
- (3) 한수원(주), 고리 1호기 주기적안전성평가 보고서, 2004