

원전 콘크리트 구조물의 수명관리 D/B 시스템 개발

Development of the Life Management D/B System for Concrete Structures in Nuclear Power Plants

이 종 석^{*} 김도겸^{*} 함영승^{**} 임재호^{***} 송영철^{****} 조명석^{*****}
Lee, Jong Suk Kim, Do Gyeum Ham, Young Sung Lim, Jae Ho Song, Young Chul Cho, Myoung Sug

ABSTRACT

This study was performed to develop effective management system of concrete structures in Nuclear Power Plants.

This D/B system includes three kinds of data : 1) visual inspection data(cracking, spalling, etc.) 2) durability data(carbonation, chloride attack, etc.) 3) in-service inspection data(prestraining force, material properties, etc). By using the Life Management D/B System, the field engineers can easily acquire the information about the various inspection data, repair and accidental histories of structures. This system will contribute to the efficient life management of concrete structures.

1. 서론

콘크리트 구조물에서 시간의 경과에 따라 발생하는 각종 열화현상들은 여러 가지 복합적인 요인에 의해 나타나므로 그 원인 분석 및 평가에 많은 어려움이 있다. 특히 원자력발전소 중요 구조물의 대부분을 차지하고 있는 콘크리트 구조물의 경우 이러한 열화현상에 대한 효율적인 관리는 국가 주요시설인 원전의 안전성 확보를 위한 필수적인 전제 조건이며, 이러한 필요성에 따라 실무자들을 위한 P.C용 데이터베이스시스템이 개발되게 되었다. 본 시스템은 사용자 편의방식으로 누구나 손쉽게 활용할 수 있도록 개발되었으며, 대상 구조물의 기본 이력사항에서부터 육안검사에 의한 열화상태 및 정밀검사에 의한 비파괴강도, 염화물량, 중성화깊이, 콘크리트의 pH, 철근부식도 측정 결과 등의 자료를 입력받아 체계적으로 관리·분석 할수 있도록 구성되어 있다.

본 고에서는 이와 같은 수명관리 D/B 시스템의 관리 체계 및 구성, 운용에 관한 전반적인 개요를 기술코자 한다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원

** 비회원, 한국전력공사 원자력발전처 토건부 부장

*** 비회원, 한국전력공사 원자력발전처 토건부 과장

**** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

***** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

2. 시스템의 관리 체계

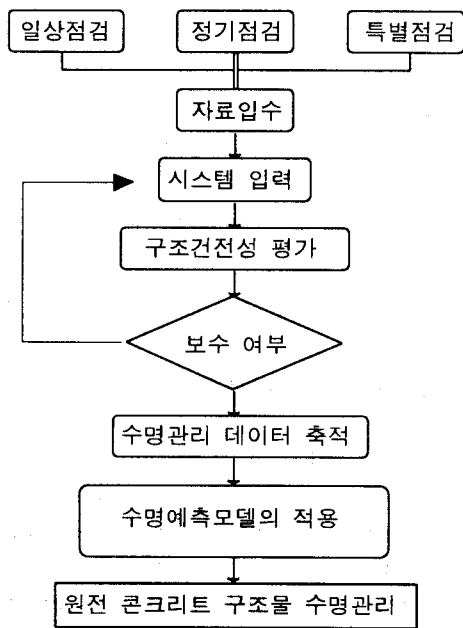


그림 1. 시스템 관리체계도

본 수명관리 D/B 시스템은 원전 안전성 관련 콘크리트 구조물의 점검과 유지관리, 보수 및 사고이력에 대한 정보를 전산화함으로써 신속한 현황파악과 관련 업무의 효율화, 현대화를 도모하고, 구조물 수명관리 기본 데이터를 확보함으로써 궁극적으로는 원전의 효율적인 수명관리 달성을 목적으로 하고 있다.

본 시스템은 각종 점검등에서 획득된 자료를 개별적으로 데이터베이스 시스템에 등록하여 체계적인 유지·관리가 이루어지도록 구성 하였으며, 점검 결과 보수가 이루어진 부분에 대하여는 이를 다시 feed-back 시켜 시스템에 입력하므로써, 구조물의 모든 이력에 대한 관리가 이루어지게 된다. 이러한 일련의 과정은 현재 전 원전 구조물에 구축되어 있는 일상점검, 정기점검, 특별점검 등의 점검체계에 따라 계속적으로 실시되며, 이와 같이 축적된 자료는 수명관리를 위한 기초데이터로서 활용되게 된다.

즉, 확보된 데이터들로서 열화 상태 및 진행성을 분석, 구조건전성 평가를 수행하게 되며, 최종적으로는 현재 개발중인 콘크리트 구조물의 잔존수명예측 모델에 입력 데이터로서 활용되게 된다.

3. 시스템의 구성 및 운용

본 시스템은 각종 열화현상에 대한 관련자료를 수치 및 텍스트로서 관리 할 수 있는 데이터베이스 시스템 체계를 갖추고 있으며, 효율적인 자료의 입출력을 위하여 Windows 환경하의 GUI(Graphic User Interface) 방식에 따라 시스템의 화면 구성 프로그램을 작성하였다. 화면의 구성은 가능한 한 사용자의 편의를 위하여 시스템의 운용에 필요한 키(key)를 최소화하도록 하였으며, 이와 같이 구축된 D/B 시스템을 지원하여 화면조회, 출력, 검색, 통계처리, 그래프 작성 등으로 사용자의 의사결정에 도움을 주는 각종 운용프로그램을 작성하였다. 또한, 각종 정보가 화면을 통하여 일정형식의 데이터로 입력되면 컴퓨터 내부에서 데이터가 체계적으로 정리·보존되며 사용자가 필요시 분석에 편리한 여러 가지 양식으로 화면, 프린터 등을 통하여 검색 또는 출력할 수 있다.

3.1 초기화면

초기 화면 상단부에는 각종 기능의 실행을 위한 pull-down menu, 좌측 창에는 대상 원전의 개략적 위치를 그림으로 나타내었고, 대상 구조물의 유지·관리에 필요한 주요 제원은 우측창에 나타나 있으며, 주요내용들은 텍스트창을 통해 입력 및 수정할 수 있다. (그림 2 참조)

본 시스템에서 대상 원전 및 구조물을 선택하는 방법은 상단부 pull-down menu에서 해당구조물을 선택 하거나 평면도 위에 놓인 선택막대를 통해 선택할 수 있으며, 이는 시스템의 모든 선택항목에 있어 공통적으로 적용된다.

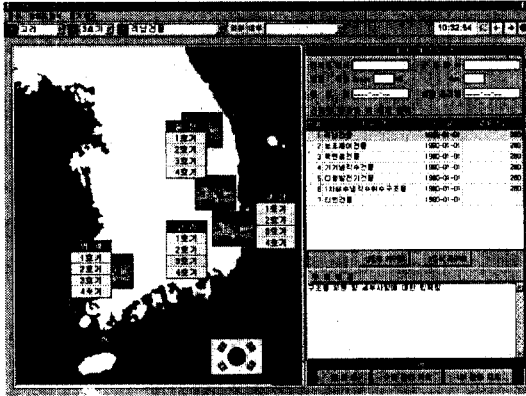


그림 2. 시스템의 초기화면

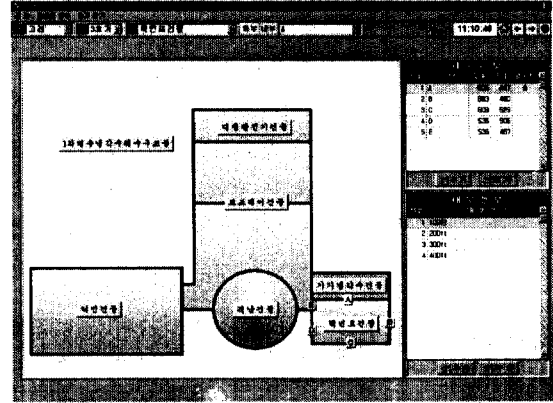


그림 3. 구조물 정보창

3.2 구조물별 열화도 관리

3.2.1 구조물 정보창

그림 3과 같이 좌측창의 구조물 평면도는 외부에서 스캐너에 의해 입력받을 수 있으며, 평면도 위의 건물명 및 선택버튼은 시스템에서 자동 설정되어 있으나 필요에 따라 명칭 및 위치를 향시 수정할 수 있다. 또한 우측창에는 외부정보 및 내부정보창을 설정하므로써, 대상 구조물의 외부 및 내부의 기본정보를 나타내었고, 선택막대로서도 활용할 수 있다.

구조물 정보창에서는 구조물의 외부를 A, B, C, D ... 로, 내부를 층, meter, feet...와 같이 표현하여 구분하고 있으며, 선택시 각 구역의 열화입력 화면으로 이동한다.

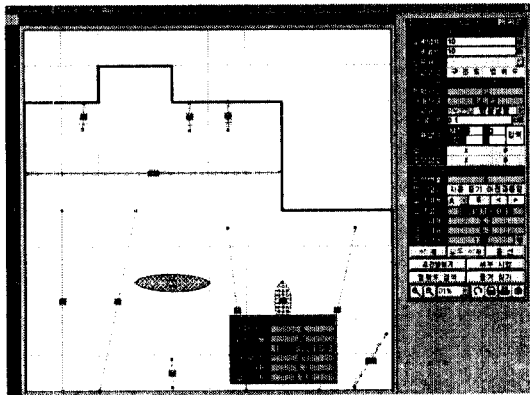


그림 4. 열화도 입력창

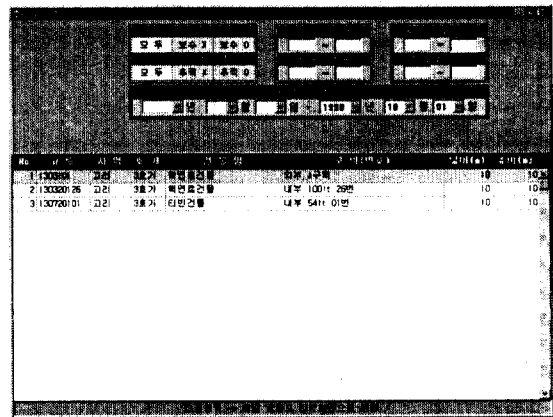


그림 5. 열화도 검색의 결과의 한 예

3.2.2 열화도 입력창

본 시스템의 열화도 입력창에서 선택옵션으로 구성되어 있는 콘크리트의 열화현상은 일반균열, 망상균열, Honey Comb, 백태, 철근노출, 박리·박락 등이며, 기타 보수 등의 필요한 이력사항들도 입력이 가능하게 구성되어 있다. 열화도 입력창은 기본정보창과 균열자료 입력창, 포인터 정보창, 부가메뉴창으로 구성되어 있으며, 균열 등의 열화현상 입력은 균열자료 입력창에서 균열폭과 균열의 시점 및 종점을 입력함으로써 이루어지고, 열화유형 항목에서 그 항목을 지정할 수 있다. 또한 부가메뉴창은 그림 4에 예시한 바와 같은 옵션창, 조건별보기창, 세부사항창, 즐겨찾기창이 있다. 옵션창은 열화자료의 온라인옵션, Grid 옵션, 열화번호옵션, 포인터옵션을 가지고 있으며, 조건별보기창은 선택적으로 열화현상을 화면 혹은 프린터로 출력하는 기능이 있고, 세부사항창은 각 열화의 세부이력을 텍스트로 입력하는 창이며, 즐겨찾기창은 현재화면을 즐겨찾기 메뉴에 등록하여 작업속도 향상을 꾀한 것이다. 또한 열화도 화면은 확대 및 축소가 가능하므로, 복잡한 열화현상의 경우에는 확대 기능을 이용하여 편리하게 입력할 수 있다.

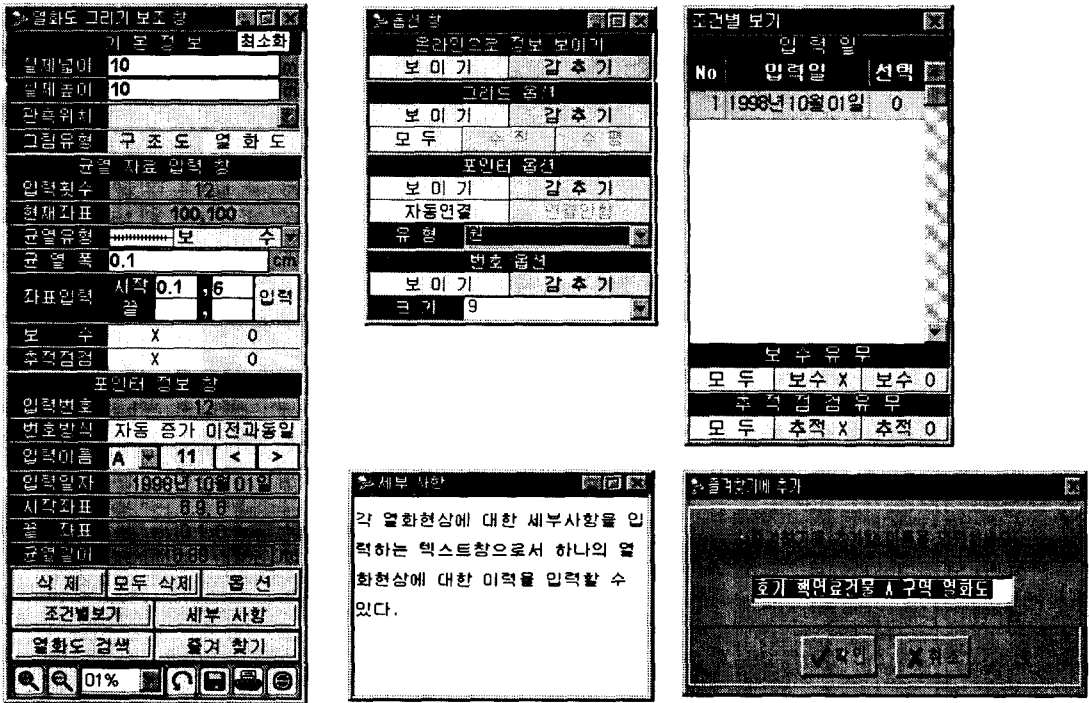


그림 6 열화도 그리기 보조창

3.2.3 열화도 검색창

입력되는 각 열화자료들은 각각 구조물위치, 열화유형, 균열폭, 균열의 시점·종점, 균열길이, 보수여부, 추적점검 여부, 자료 입력일자 등에 대한 데이터베이스를 가지고 있다. 본 시스템은 이러한 데이터베이스를 검색하고 출력하는 열화도 검색창을 만들어 구조물의 일부뿐만 아니라 전체 구조물을 동시에 관리할 수 있게 하였고, 각 항목에 따라 선택적으로 열화상태를 관리할 수 있다. 검색 결과는 검색된 열화현상의 정보가 텍스트창으로 나열되며, 이를 선택할 경우 열화가 발생한 위치로 화면이 이동된다. (그림 5 참조)

3.3 구조물별 내구성 자료 관리

본 시스템에서는 콘크리트 구조물의 정량적 수명평가를 위하여 콘크리트 깊이에 따른 중성화 진행상태 및 염화물 함유량, 철근부식도, 균열폭의 진행성 평가, 콘크리트의 비파괴강도, 초음파에 의한 콘크리트의 품질평가, 부동침하등 구조물 내구성 관련 자료를 관리하고 있으며, 필요시 추가 항목에 대한 자료도 관리할수 있도록 시스템의 유연성을 확보하였다.

1) 콘크리트의 비파괴강도

대상 구조물에서 얻은 비파괴강도값을 근거로 계산된 추정강도값을 입력하며 정해진 주기에 따라 계속 적으로 자료를 축적해 간다. 그림 7은 임의로 7년간의 자료를 입력하여 그 결과를 도식화하여 나타낸 예이다.

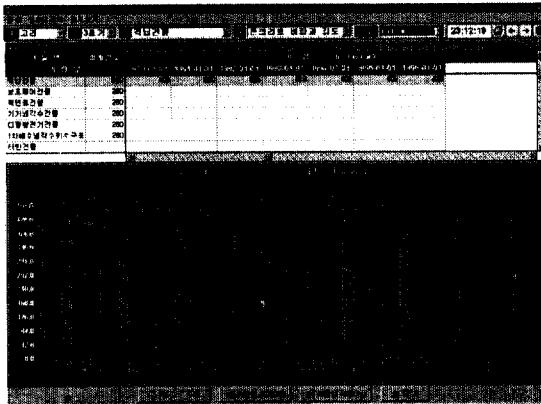


그림 7 콘크리트 비파괴강도 입·출력 화면

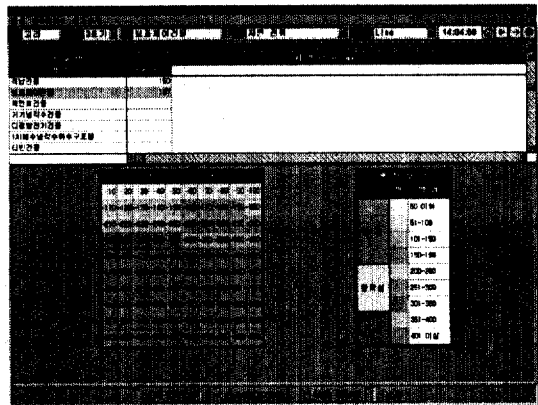


그림 8 자연진위 측정값의 입·출력화면

2) 균열의 진행성 평가

콘크리트의 발생된 균열 중 진행성이 있다고 판단되거나, 계속적인 관찰이 필요한 경우 균열폭의 진행성 평가 측정용 스테드를 설치하며, 설치된 스테드를 균열폭 측정용 다이얼게이지(DEMEC Gauge)로서 1mm의 정밀도로써 읽어 균열폭 변동의 추이를 기록한다. (그림 9 참조)

3) 염화물량 측정

염화물량은 측정은 대상 구조물의 코어를 현장에서 채취한 후 실험실에서 염화물량 측정기로서 분석하여 실시된다. 이 측정은 기본적으로 콘크리트 표면부와 철근부의 2개 부위에서 실시된다.

4) 중성화 깊이 및 pH

콘크리트의 중성화 깊이는 현장에서 채취된 코어공시체를 페놀프탈레인 1% 용액을 콘크리트 할열면에 분무하여 착색되지 않은 부분을 여러곳에서 측정하여 평균값을 구하며, 콘크리트의 pH 값은 채취된 코어를 깊이별로 컷팅을 하여 pH 측정기로서 측정, 입력한다.

5) 자연전위 측정

대상 구조물의 철근 부식 정도를 추정하기 위해서 황산동전극을 기준전극으로 한 자연전위를 측정하여 입력하며, 입력된 자연전위는 -200mV 이상의 값(90% 확률로 부식되지 않음)에서는 녹색, -200~-350mV의 값(부식상태 확인불가)에서는 노란색, -350mV 이하의 값(90% 확률로 부식됨)에서는 붉은 색을 나타내도록 하여 즉각적인 판단이 가능토록 하였다. (그림 8 참조)

6) 구조물의 부등침하

구조물의 부등침하를 측정하기 위하여 각 구조물 벽체에 약 10m 내외의 거리로서 부등침하 측정점을 설치하였으며, 이 측정점간의 상대고저차를 측량하여 초기 데이터값으로 기록한 후, 정기점검시 또는 필요하다고 판단되는 시점에서 재측량을 실시하여 상대고저차를 확인함으로써 부등침하의 여부 및 정도를 확인할 수 있다. 이에 따라 본 시스템에서는 부등침하 측정점의 평면 위치도를 입력할 수 있게 하였으며, 이들의 측량 결과를 수치 및 그래프로 출력하여 관리할 수 있도록 하였다.

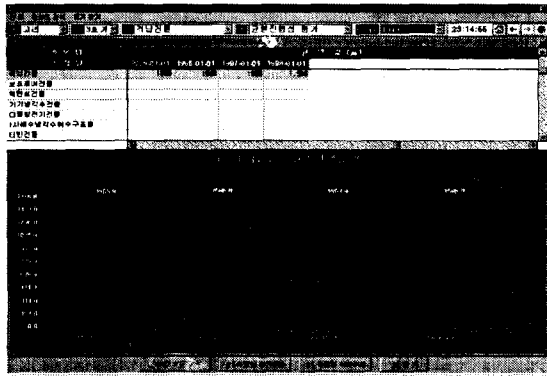


그림 9 균열폭 변동의 입·출력 화면

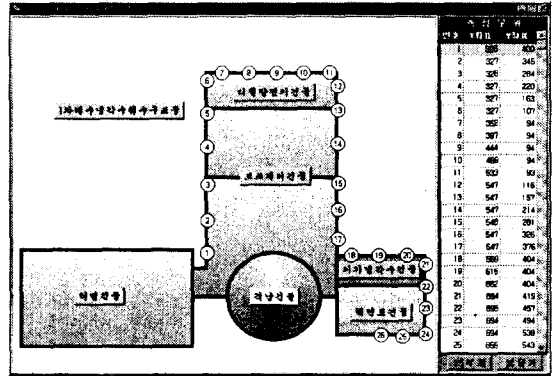


그림 10 부등침하 측정점 평면도

4. 결론

콘크리트 구조물의 효율적인 수명관리를 위해서는 대상 구조물에서 발생하는 각종 열화현상들에 대한 정확한 육안검사 및 중성화 등과 같은 내구성 관련 항목에 대한 조사와 보수 등의 과거 이력사항 들을 바탕으로 현 상태에 대한 신뢰성 있는 구조건전성 평가가 이루어져야 한다. 이와 같은 관점에서 체계적인 점검체계의 구축 및 획득된 각종 자료에 대한 효율적인 관리는 필수적인 사항이며, 이를 위해 개발된 본 시스템은 매우 중요한 의미가 있다. 본 시스템에서 원전 사용수명 기간 동안 지속적으로 측정, 관리될 각종 데이터들은 각 원전간의 연계 시스템 구축을 통하여 원전 콘크리트 구조물의 현 상태 평가 및 잔존수명 예측을 위한 기본 자료로 활용됨으로써, 원전의 안전성 확보에 크게 기여 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 전력연구원, "원전 안전성 관련 콘크리트 구조물의 열화에 관한 연구", 1996.
2. 조명석, 방기성, 송영철, "원전 콘크리트 구조물의 열화관리 시스템 개발", 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집 8 권 2호, 1996. 11. pp.546~550.