

원전 격납건물 열화 D/B 시스템 개발

Development of Degradation D/B System for the Containment Building of N.P.P.

조명석*, 송영철*, 임재호**, 김도겸***, 이종석***

* 한국전력공사 전력연구원, 대전광역시 유성구 문지동 103-16

** 한국전력공사 원자력발전처, 서울특별시 강남구 삼성동 167

*** 한국건설기술연구원, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311

요 약

격납건물의 각종 이력, 열화 및 보수자료를 전산화하기 위하여 일반사항, 구조도 및 설계도, 자재, 시공, ISI·SIT·ILRT, 열화 및 보수의 6개 D/B로 구성된 시스템을 구성하였다. 효율적인 시스템 운용을 위하여 각종 자료의 입력 및 저장 방식과 더불어 각종 운용프로그램을 개발하였다. 운용프로그램으로서는 콘크리트 및 철골구조물의 열화 및 보수자료 관리프로그램, 입력된 자료를 각종 옵션을 선택하여 원하는 자료를 빠르게 찾을 수 있는 검색 프로그램, 입력된 자료의 백업과 업데이트를 위한 자료교환프로그램 등이 있다.

Abstract

The Degradation D/B System is developed for digitalizing the history of the Containment building of nuclear power plant. It have 6 D/B which are consist of General, Design drawing, Material, Construction, ISI·SIT·ILRT D/B. For efficient operation of the system, utilities are also developed such as the aging & repair data management program for concrete and steel structures, the data search engine with various options helping users find what they want, and the data exchange program restoring & updating input data.

1. 서론

원전 구조물 건전성 평가시 직면하게 되는 가장 큰 문제점은 평가대상에 대한 발생시기, 진행 상황 및 기타 관련자료 등의 미비로 인하여 정확한 원인규명과 향후 재발 방지대책 수립이 곤란하다는 점이다. 즉, 구조물 수명관리의 기본은 설계·시공 단계에서 생산되는 중요 자료 및 사용 중 발생할 수 있는 각종 열화현상 등에 대한 이력(History)관리로서, 안전을 최우선으로 하는 원자력발전소의 경우는 그 중요성이 더욱 크다 할 수 있다. 특히, 국내 가동 중 원전 격납건물은 대부분이 콘크리트 구조물로서 재료의 특성상 발생하는 열화현상이 매우 복잡하고 여러 요인의 복합적인 작용에 의해 나타나므로 정확한 건전성 평가를 위하여는 체계적인 D/B 시스템의 개발/운용을 통한 신뢰성 있는 데이터의 제공이 필수적인 요소이다. 이러한 필요성에 따라 본 연구에서

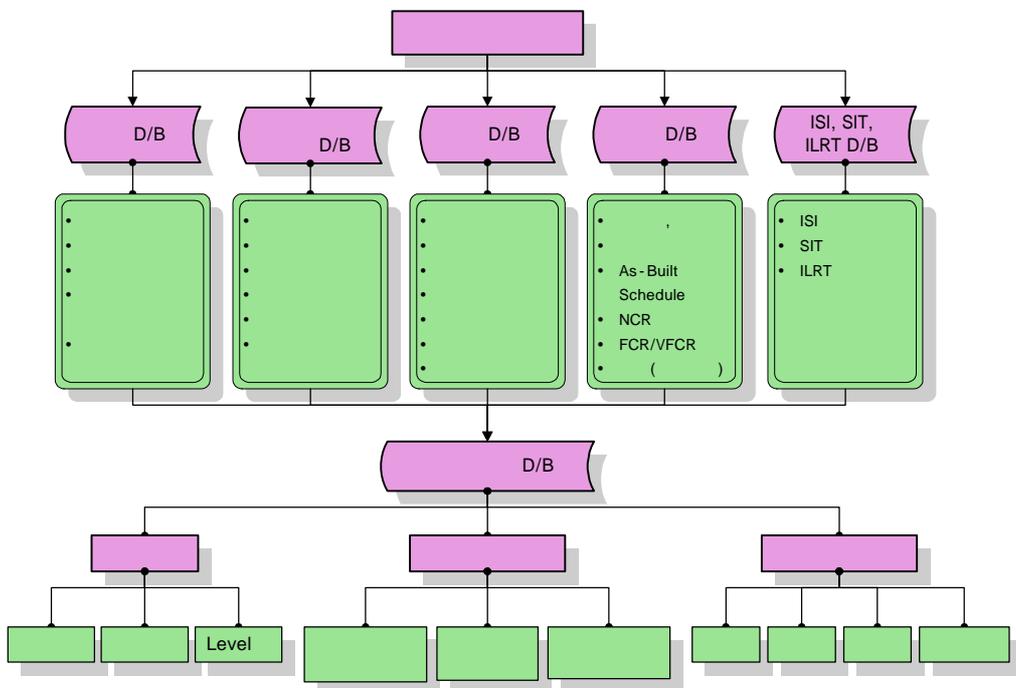
는 격납건물 건전성 평가시 기본 자료로 활용될 수 있는 설계·시공·유지관리분야를 포괄한 종합적 D/B 시스템을 개발하고자 한다.

2. 열화 D/B 시스템 개요

(1) 개발방향

1) D/B 시스템

격납건물의 설계·시공 및 점검·보수자료 등에 관련된 각종 정보가 화면을 통하여 일정형식의 데이터로 입력되면 컴퓨터 내부에서 데이터들이 체계적으로 정리·보관되며 사용자가 필요시 다양한 양식으로 단말기, 프린터 등을 통하여 조회 또는 출력할 수 있도록 구성하였다. 이때 운용프로그램은 6개의 D/B 시스템 즉, 일반사항 D/B, 구조도 및 설계 D/B, 자재 D/B, 시공 D/B, 열화 및 보수 D/B, ISI·SIT·ILRT D/B와 연결하여 다양한 검색 및 활용이 가능하도록 구성하였다. 본 프로그램의 플로우차트를 <그림 1>과 같이 나타내었다.



<그림 1> 격납건물 열화 D/B 시스템 플로우 차트

2) 화면 구성 프로그래밍

효율적인 자료의 입출력을 위하여 윈도우즈 환경하의 GUI (Graphic User Interface) 방식에 따라 시스템의 화면구성 프로그램을 작성한다. 화면구성을 위한 프로그래밍시에는 가능한 한 사용자의 편리를 위하여 시스템의 운용에 필요한 키(Key)를 최소화하고, 대부분의 기능을 화면에서 마우스 클릭을 통하여 실행시킬 수 있도록 하였다.

3) 운용프로그램

격납건물 열화 D/B 시스템을 지원하여 화면조회, 출력, 검색, 도형 및 그래픽 처리 등으로 사용

자의 의사결정에 도움을 주는 각종 운용프로그램을 작성한다. 운용프로그램으로는 자료검색 프로그램, 자료교환 프로그램, 열화 및 보수자료 관리프로그램 등이 있다.

프로그램의 운용은 각 하부 D/B에 대한 layer를 구성하여 정보를 얻고자 하는 부위에서 윈도우즈 방식에 따라 마우스로 더블클릭(Double Click)을 하면 원하는 layer에 정보를 제공하는 방식으로 한다.

(2) 자료의 전산화 방안

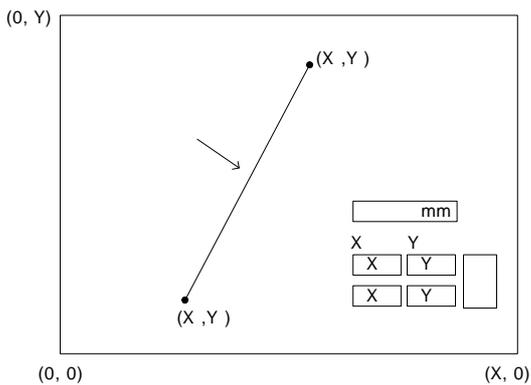
자료전산화를 위해 필요한 자료의 형태는 다양하게 나타난다. 일반문서, 도면, 절차서, 점검보고서 등 대부분의 자료가 서지형태로 되어 있으며, 이러한 형태의 자료를 전산화하는 가장 빠른 방법은 이들 자료를 화상 자료나 PDF(Portable Document Format)화 하여 입력하는 것이 될 것이다. 그러나, 본 열화 D/B 시스템에서 가장 주요한 역할을 하는 열화 및 보수 D/B는 이러한 화상 자료나 PDF 형식의 입력자료만으로는 운용하기가 어렵다. 따라서, 구조물의 열화상태나 보수상태를 디지털화, 그래픽화하여 사용자에게 보다 편리한 업무를 수행할 수 있도록 할 필요가 있다. 이를 위하여 본 프로그램에서는 PDF, 화상자료와 같은 일반 혹은 Sub D/B를 위한 입력방식 외에 직선형, 영역형, 각도형 입력 방식을 개발하였다.

1) 직선형 입력 자료

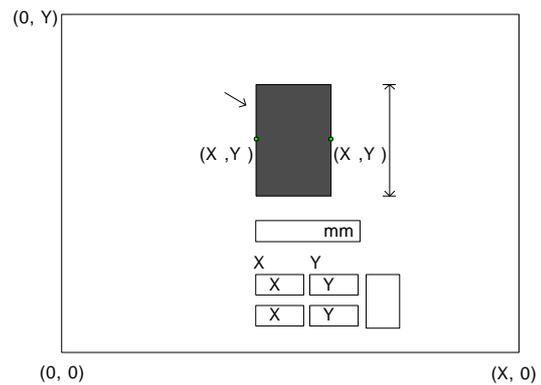
직선형 입력 자료로서는 주로 균열, 백태, 균열보수 부위, 철근노출 부위 등이 되며, 이들은 각각 열화의 시점과 종점을 (X,Y)좌표로서 입력하게 된다. 이때 좌표의 원점은 화면(대상 부재) 왼쪽 하단부가 된다. <그림 2>는 직선형 입력자료를 입력하는 예를 그림으로 나타낸 것이다.

2) 영역형 입력 자료

영역형 입력 자료는 망상균열과 같은 영역형의 열화현상이나, 덧씌우기, 패치 등과 같은 보수부위 등의 좌표를 입력할 때 사용되며, 열화폭과 시점, 종점을 아래의 그림과 같이 입력한다. 즉, 입력 형식은 직선형 자료와 동일하며, 다만 시점의 (X, Y)를 아래 그림의 시점의 좌표를, 종점의 (X, Y)를 아래 그림의 종점의 좌표를 입력하며, 열화폭 입력란에 영역형 열화의 세로폭을 입력하여야 한다.



<그림 2> 직선형 입력자료 입력 예

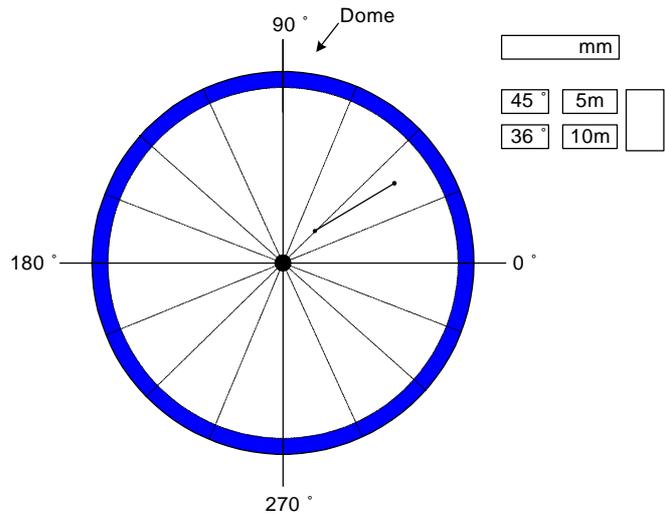


<그림 3> 영역형 자료 입력 예

3) 각도형 입력 자료

각도형 입력은 주로 격납건물의 돔(Dome)과 같은 구형 구조물에서 조사된 열화현상을 본 시스

템으로 입력하기 위하여 사용하는 것으로 직선형이나 영역형과 달리 열화 좌표에서 거리의 기준은 원의 원점으로 되며, 각도의 기준은 화면을 기준으로 우측이 0°가 된다. 즉, 열화의 시점과 중점을 입력하는 것은 앞서 언급한 방식과 동일하지만, 시점 및 중점의 입력 항목은 (X, Y)좌표가 아니라, 원점으로부터의 (각도, 거리)를 <그림 4>와 같이 입력하는 것이다.



<그림 4> 각도형 자료 입력 예

4) 화상자료

화상자료는 직선, 면적, 각도 등의 열화입력 방식으로 현장 상황을 나타내기 어렵거나, 추가로 상세한 열화상태를 얻기 위하여 입력되는 자료이다. 화상자료의 입력은 일반 카메라에 의해 촬영·인화된 천연사진을 스캐너에 의한 방법, 디지털카메라에 의해 촬영된 그림 파일을 이용하는 방법이 있다. 고해상도의 디지털카메라를 사용할 경우 후자의 경우가 열화현상을 더욱 세밀하게 나타낼 수 있다.

5) PDF 방식의 자료

PDF(Portable Document Format) 윈도우나 맥킨토시, 유닉스, OS/2 등 어떤 타입의 컴퓨터 시스템 환경하에서도 전송과 읽기가 가능하도록 지원되는 포맷이다. 자체 압축기능을 포함하고 있어 작은 파일 사이즈의 문서로 만들어 저장할 수 있다. 또한 On-line 환경이나 Off-line 환경에서도 여러 전송 수단을 통하여 문서정보의 공유 및 전송할 수 있는 등의 여러 장점을 가지고 있는 파일 포맷이다. 따라서, 본 시스템에서는 각종 질차서 등 양적으로 큰 자료를 관리하는 방안으로 PDF 형식의 입력방식을 사용하게 하였다.

6) D/B 시스템의 멀티미디어화

초기의 컴퓨터에서는 문자만 처리할 수 있었으나 정보인식(입력) 및 표현(출력) 기술이 발전하므로써, 문자 이외에도 음성, 도형, 영상 등으로 이루어진 다양한 매체를 처리할 수 있게 되었는데 이를 멀티미디어라 한다. 본 프로그램에서는 이러한 멀티미디어의 장점을 살려 입력되는 열화 및 보수관련 자료를 D/B화 시킬 뿐만 아니라 그래픽화하여 화면에 출력시킴으로서 사용자의 편의를 도왔다. 따라서 프로그램 운영자는 관리 대상 구조물 및 부재 등을 화면의 그림으로부터 선택할 수 있으며, 직접 입력한 열화자료를 화면에서 정확한 좌표축을 가진 그림으로서 확인할 수 있다. 이로서 사용자는 균열 등 각종 열화의 원인이나 경향 등의 파악이 용이해지며, 멀티미디어 기능을 고도화 할 경우 마치 현장에서 열화를 관찰하는 듯한 현실감을 느끼게 할 수도 있을 것이다. 따라서 본 프로그램에서는 사용자들이 대상 구조물의 열화상태를 가장 편리하면서 정확하게 파악할 수 있도록 이러한 멀티미디어 기능을 적극적으로 이용하였다.

(3) D/B 결합체계

1) Database

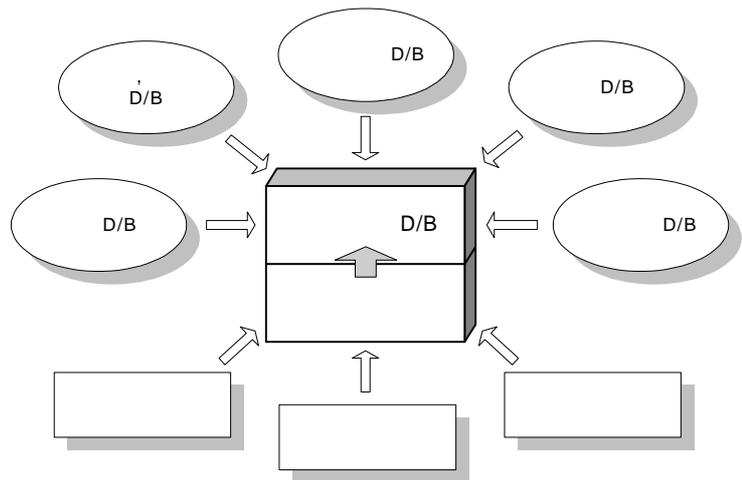
본 D/B 시스템은 격납건물의 현황, 제원 등의 일반사항으로 구성되는 일반 사항 D/B, 설계코드, 도면, 텐돈배치 등으로 구성되는 구조도 및 설계도 D/B, 시멘트, 골재, 철근 등 구조물에 사용된 재료에 대한 자료로 구성되는 자재 D/B, 각종 시방서, 절차서, 부적합사항 보고서 등으로 구성되는 시공 D/B, 구조물의 각종 특별점검 및 정기점검 등의 결과로 조사된 구조물의 열화 및 보수 자료 등으로 구성된 열화 및 보수 D/B, ISI(In-Service Inspection), SIT(Structural Integrity Test), ILRT(Integrated Leakage Rate Test)와 같은 자료로 구성되는 점검관련 D/B로서 모두 6개의 D/B로 구성되어 있다. 본 열화 D/B 시스템은 그 제목에서도 알 수 있듯이 격납건물의 열화에 관련된 모든 자료를 효율적으로 관리하여 격납건물의 유지관리에 도움을 주는 것을 목적으로 한다. 이들 D/B 중에서 열화 및 보수 D/B가 가장 주요한 D/B가 되며, 나머지 5개 D/B는 열화 및 보수 D/B를 지원하는 Sub D/B로서의 체계를 갖추고 있다.

프로그램이 구동되면 기본적으로 열화 및 보수 D/B를 관리할 수 있는 상태가 되며, 사용자의 필요에 따라 기타 Sub D/B로 접근할 수 있다.

2) 지원 시스템

본 열화 D/B 시스템은 효율적인 자료관리를 위하여 자료 검색 프로그램, 열화 및 보수자료 관리 프로그램, 자료 교환 프로그램을 각각 독립적인 모듈로서 개발하여 이용하는 지원시스템을 가지고 있다. 이러한 지원시스템은 궁극적으로 열화 및 보수 D/B만을 지원하는 시스템이다.

자료 검색 프로그램의 경우 본 시스템에서 독립된 모듈로서 설계되었지만 열화 및 보수자료 관리 모드에서도 직접 검색 모듈에 접근할 수 있도록 설정하였다.



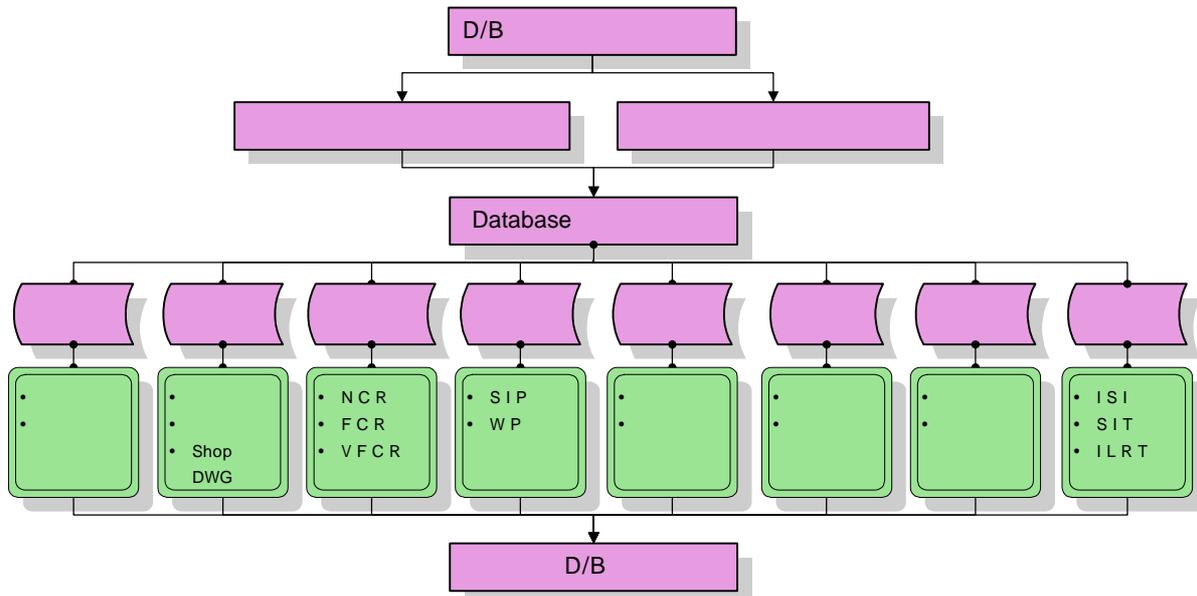
<그림 5> D/B 결합체계

(4) 자료 획득 절차

격납건물 열화 D/B 구축을 위해서는 적절한 자료의 수집이 필요하며 이를 위해 자료획득을 위한 절차를 수립해야 한다.

자료 획득을 위해 우선 D/B 입력자료 항목에 대한 검토를 실시한 후 자료종합목록 관리대장을 검색하여 요구되는 자료를 조사한다. 이와 함께 해당 자료를 쉽게 찾을 수 있도록 자료별 문서번호 체계를 파악하고, D/B 구축에 필요한 자료를 선정한 후 각 분야별로 수집된 자료의 검토를 통해 열화 D/B의 각 항목에 적합한 자료를 획득한다.

열화 D/B 자료 획득을 위한 플로우차트는 <그림 6>과 같다.



<그림 6> 열화 D/B 자료 획득 절차 플로우 차트

3. 열화 및 보수 D/B

열화 및 보수 D/B는 대상 구조물에 발생된 열화를 육안 및 정밀점검에 의해 조사하여 얻은 자료를 D/B화한 것으로 대상 구조물은 돔(dome), 외벽, 버트리스, 슬래브, 내벽, 텐돈갤러리이다. 본 D/B는 콘크리트 부재와 철골 부재를 동시에 관리할 수 있도록 설계되었으며, 자료검색 프로그램 등 각종 운용 프로그램의 지원을 받는다. 또한, 시간 경과에 따라 자료가 계속적으로 누적되어 향후의 수명 평가 및 수명 연장 등에 직접적으로 이용이 될 수 있다.

(1) 관리구역 분류

본 프로그램에서는 열화 및 보수 자료를 체계적으로 관리하기 위하여 대상 구조물을 각 부재그룹의 구조적인 역할을 기준으로 몇 개의 구역으로 세분하였다. 즉, 격납건물을 돔, 외벽, 버트리스, 내부구조물, 슬래브, 텐돈갤러리로 나누며, 다시 외벽 A면, B면, C면, 버트리스 A, B, C, 슬래브 100ft, 125ft... 등으로 세분하여 데이터를 저장하도록 하였다. 영광 3호기를 대상으로 관리구역을 분류하며 다음과 같다. 세부 관리구역 분류는 각종 점검에서 수행되는 검사구역을 근거로 분류하였다. 다만, 더욱 효율적인 D/B 시스템을 구축을 위해 기존의 점검에서 분리하지 않았던 외벽과 버트리스를 추가로 구분하였다.

(2) 자료 관리

1) 자료 관리창의 CAD화(Compute Aided Design)

본 시스템은 운용 프로그램인 열화 및 보수자료 관리 프로그램에 의해 각종 자료가 입력되면 실시간으로 화면에 열화도를 CAD화하여 출력한다. 이것은 입력되는 모든 열화 및 보수자료가 수치좌표를 가지도록 디지털화되어 있기 때문에 가능하다. 여기서, 좌표의 원점은 작업영역(대상 부재)의 왼쪽 하단부로 하며, 돔의 경우는 돔의 중심부와 우측 수평선을 기준선으로 한다.

각 열화자료가 수치좌표를 가지고 CAD화되어 화면에 출력됨으로 인해 사용자는 열화의 길이, 방향성, 발생위치 등을 정확하고 편리하게 확인할 수 있을 것이다. 이때 구조도를 같이 출력한 경

우 구조물의 형태와 열화상태를 동시에 확인할 수도 있다. <그림 8>에 열화도가 CAD화되어 출력된 화면을 나타내었다.

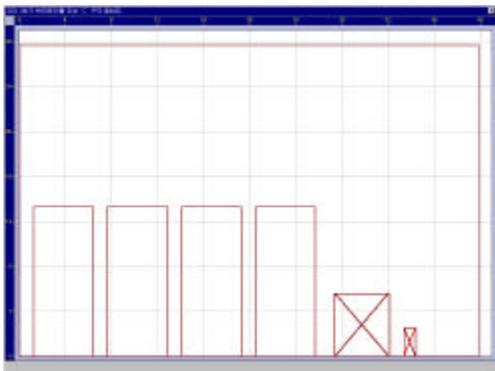
2) 자료 관리창의 Layer화

Layer는 도면의 특정 부분에 관계되는 도면요소를 가질 수 있어, 이들 모든 도면요소의 Visibility(가시성)를 총괄적으로 조절할 수 있게 한다. 즉, 화면에 원하는 내용만을 선별하여 출력할 수 있게 하는 것이다. 이러한 기능을 이용하여 본 프로그램에서는 기본 바탕화면에 구조물의 형태를 나타내는 구조도 레이어, 구조물의 배근형태를 나타낼 수 있는 배근 레이어, 열화 및 보수 상태를 보여주는 열화 레이어, 제어 옵션으로 선택하여 화면에 출력하는 제어 레이어 등을 설계하였다.

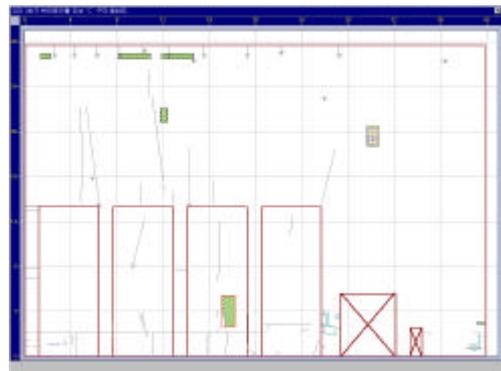
3) 열화자료

현장에서 조사되는 열화자료는 “원전 구조물 점검 절차서”에 의해서 실시되며, 본 시스템에서는 절차서에 의해 수행된 점검결과를 “열화 및 보수자료 관리창”에서 D/B화 할 수 있도록 설계되었다. 육안점검에 의해서 조사된 자료는 일반균열, 망상균열, Honey Comb, 모르타보수, 보수, 백태, 철근노출, 박리, 기타현상의 9개 항목으로 선택하여 입력할 수 있으며, 입력된 자료는 각기 다른 형상으로 화면에 출력된다. 입력된 자료는 관리번호를 가지게 되며 관리번호는 영문자와 숫자의 조합(A1, A2, A14 등)으로 이루어져 있다. 즉, 하나의 열화 현상은 “영광 3호기-격납건물-돔-A면-A2” 혹은 “영광 3호기-격납건물-내벽-100ft-①번 부재-A1”과 같은 고유의 관리번호를 가지는 것이다.

열화자료 관리창에는 기본적으로 폭과 높이를 나타내는 눈금자가 있어, 부재나 열화의 좌표를 확인할 수 있게 하였다. 이 관리창에서는 먼저 필요한 구조물의 치수를 <그림 7>과 같이 입력하여 관리벽체의 크기 및 관측불가 지역을 구조도로서 표시한다. 여기서 구조도는 열화현상과는 무관하며 구조물 형태, 출입문, 환기창 등과 같은 자료를 입력하여 화면에 나타낸 것이다. 구조도가 입력된 후 조사된 열화현상을 주어진 형식에 맞게 입력하여 열화도를 완성한다. 또한, 열화자료 관리창에는 열화자료 관리보조창을 통해 조사된 열화의 입력·수정을 하며, 관리의 편의를 위해 기타 특수기능들을 설치하였다.



<그림 7> 구조도만 표시된 화면



<그림 8> 구조도 및 열화도 화면

4) 철근배근도

본 시스템에서는 각 부재별로 철근배근을 입력하는 창을 만들고 이를 layer화하여 열화자료와

동시에 화면에 나타낼 수 있게 하였다. 이로써 사용자는 열화와 배근상태를 동시에 확인할 수 있으며, 열화 원인 추정 등의 업무 효율을 높일 수 있을 것이다. 대상 철근은 중철근과 횡철근으로서 콘크리트 표면에서 가장 가까운 곳에 위치한 주철근이며, 각각 첫 번째 철근이 부재 왼쪽 외곽이나, 지표면에서 어느정도의 위치에 배근되어 있는지와 이후의 평균간격을 입력하여야 한다. 이는 설계값을 기준으로 작성할 수 있으며, 실측값으로도 입력할 수 있다. 또한, 철근탐지기 등을 이용하여 실측을 할 경우는 배근간격이 일정하지 않은 경우를 탐지할 수 있으므로 이 경우 기본 입력된 값을 수정할 수 있게 하였다.

5) 보수자료

보수자료 관리는 구조물에 발생된 열화가 보수된 경우 이에 대한 세부정보를 시스템에 관리하고자 하는 것으로, 보수정보 기본창과 보수정보 세부사항창으로 나뉜다.

보수정보 기본창은 보수작업의 시공사, 시공방법, 보수재료, 보수일자, 보수전 현황 등을 간단히 작성하는 것으로 반드시 입력되어야 하는 항목이다. 여기서 시공방법과 보수재료에 관한 상세 항목을 일반적으로 시행되는 방법과 재료를 기본 옵션으로 만들어 설치하였으며, 옵션외의 항목일 경우 직접 입력하여 관리하도록 하였다.

보수정보 세부사항창은 보수재료에 관한 세부항목을 입력할 수 있는 창으로서 주입형 보수재료, 충전재 및 단면회복재, 피복재로 구분하여 각 재료의 일반적 특성, 물리·화학적 특성, 내구특성 등을 기록할 수 있도록 하였다.

(3) 열화 D/B 운용 프로그램

1) 콘크리트 열화 및 보수자료 관리 프로그램

열화 및 보수자료 관리 프로그램은 열화자료 관리화면으로 이동하였을 경우 자동으로 실행되며, “열화 및 보수자료 관리 보조창”으로 새로운 윈도우를 화면에 출력시키며, 기본정보, 자료 입력창, 자료 수정창, 제어창이 있으며, <그림 9>와 같이 나타난다.

① 기본 정보창

기본정보창은 현재 사용중인 열화도 그리기 창의 크기를 지정하는 폭과 높이의 향이 있으며, 화면에 출력되는 그림유형 중, 구조도만 화면에 보여주는 “구조도”, 구조도와 열화도를 동시에 화면에 보여주는 “열화도”를 선택할 수 있게 하였다.

관측방향의 경우는 외벽과 같이 부재의 앞·뒤를 동시에 관찰하지 않는 경우는 해당사항이 없으며, 내부벽체와 같이 양쪽면을 동시에 조사하는 경우는 각 벽체에 대해서 관측방향별로 (좌→우) (우→좌) (상→하) (하→상)으로 구분하는 항을 추가하게 된다.

② 자료 입력창

자료 입력창은 콘크리트의 열화 및 보수자료를 입력하는 창으로서 열화자료를 관리하는 고유번호로서 각 열화현상마다 하나의 관리번호를 부여하며, 동일한 원인에 의해 발생하여 인접해 있는 열화현상에도 동일한 관리번호를 부여할 수 있다. 관리번호는 A1~Z999까지의 문자 25,974개를 사용할 수 있으며, 하나의 관리구역은 최대 2000개의 열화 및 보수 자료를 입력받을 수 있다. 여기서 영문알파벳은 점검의 순서를 나타낼 수 있는 문자이다. 즉, 초기점검에서 얻어진 모든 데이터는 A로 시작되고 이후 정기적으로 계속되는 점검의 결과 등으로 새로이 추가되는 열화현상은 B, C, ...로 표기하여 나타낸다. 알파벳 뒤의 숫자로 표기되는 부분은 각 점검 단계에서 입력되는 열화 및 보수자료의 순차를 나타내는 것이다.

③ 자료 수정창

자료 수정창은 기존에 입력된 자료를 수정할 수 있는 창으로 수정가능 항목은 관리번호, 열화유형, 열화폭, 열화좌표, 점검일자, 관리대상 여부, 진행성평가 여부이며, 열화의 길이는 시스템에서 시점과 종점으로 자동적으로 계산되므로 수정할 필요가 없다. 여기서 관리대상이란 일차적인 점검이 끝난 후에도 일상점검 등에서 지속적으로 관찰이 필요한 열화현상을 표시하는 것이며, 진행성 평가란 균열의 진행성 평가를 위해서 대상 균열에 스티드를 설치하여 정기적인 변화를 기록하도록 설정된 열화현상을 표기하는 것이다. 또한 관리대상과 진행성평가는 지속적인 관리가 필요한지의 여부, 균열의 진행성 평가를 위한 추적점검을 하고 있는지의 여부를 각 열화상태별로 기록한다.

④ 제어창

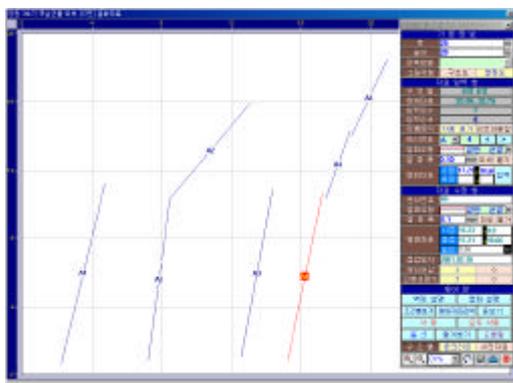
입력된 열화자료를 더욱 효율적으로 관리하기 위하여 입력자료의 삭제, 대상 부재 세부 이력창, 개별 열화 설명창, 조건별보기, 돋보기 기능 및 기타 여러 가지 특수기능을 설치하였다.

조건별 보기는 입력일을 년도 기준으로 혹은 관리유무, 추적점검유무, 균열의 길이, 폭, 시점의 높이, 종점의 높이로서 현재 화면에 나타나고 있는 열화를 선택적으로 볼 수 있다. 예를 들면, 균열길이가 2m 이상이면서 균열폭이 0.25mm 이상인 열화만을 혹은 현재 관리대상 균열로 선정된 균열만을 화면에서 출력해서 관리를 할 수 있도록 조건별 보기를 실행할 수 있는 것이다.

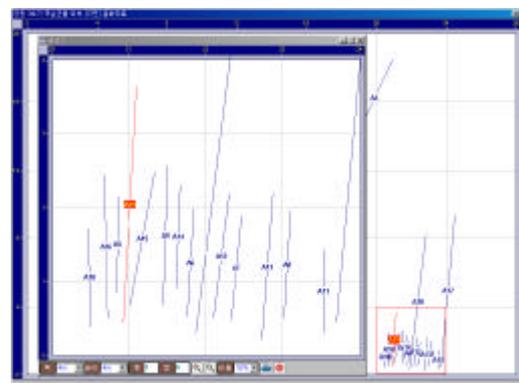
돋보기의 경우는 열화자료 관리창에서는 발생된 열화위에 해당 관리번호를 화면상에 출력시킬 수 있도록 하였다. 그러나, 하단부와 같이 중점점검구역으로서 열화가 수적으로 많은 경우 관리번호를 식별하기 어려우며, 또한 열화상태 자체만으로도 부분적으로 확대를 필요로 할 수 있다. 이를 위해서 돋보기 기능을 설계하였다. 돋보기 기능은 (4m×4m)로 구획된 돋보기 창이 화면에 나타나며 원하는 지점을 마우스로 클릭하면 그 지점이 돋보기 창에 확대되어 나타난다. 또한 이 돋보기 창의 폭과 높이를 1m~8m까지 1m 간격으로 확대할 영역을 설정할 수 있으며, 이 때 설정된 간격을 자동으로 계산하여 현재 확대되고 있는 부분이 이 벽체에서 속하는 행과 열을 나타내어 준다. 돋보기창의 크기는 필요에 의해 확대, 축소할 수 있으며, 확대된 내용을 프린터로 출력할 수 있다.



<그림 9> 콘크리트 열화자료 관리보조창



<그림 10> 관리번호가 부여된 열화현상



<그림 11> 부분 확대된 돋보기 화면

2) 철골구조물 열화자료 관리 프로그램

철골구조물 열화자료 관리 항목은 육안조사에 의한 부재의 열화 상태와 정밀점검에 의한 부재의 건전도로 나눌 수 있다. 철골구조물 열화자료 관리와 콘크리트 구조물 열화자료 관리의 가장 큰 차이점은 열화를 좌표로서 나타내기 어렵다는 것이다. 따라서 철골의 열화자료는 <그림 12>와 같이 기본적으로 화상자료로서 나타내어지게 된다. 그러나, 화상자료 자체만으로는 본 D/B 시스템 자료로서 활용되기에는 충분하지 못하므로 각 열화자료별로 열화유형, 점검일자, 열화등급, 부재종류, 보수여부, 정밀점검 등의 내용을 옵션선택 및 직접 입력 등을 통하여 D/B를 구축하게 된다. 철골구조물 열화자료 관리창은 좌측상단에 현재 화면에 출력되는 열화자료가 조사된 부재의 명칭이 나타나 있으며, 화면좌측에 열화사진, 우측에 열화자료 관리보조창이 있다. 열화자료 관리보조창에는 사진자료창, 정밀점검창, 제어창이 있으며 각각 다음과 같은 역할을 수행한다.



<그림 13> 철골구조물 열화자료 관리창

① 사진자료창

사진자료창에는 사진번호, 열화유형, 점검일자, 열화등급, 보수여부, 관리대상, 부재종류를 선택할 수 있는 항목들이 있으며, 열화자료 관리창의 기본창이 된다.

사진번호는 하나의 대상 부재당 최대 100장까지 번호를 부여하여 저장할 수 있으며, 열화유형은 도막박리·박락, 도막균열, 부식, 백아화, 들뜸, 기타의 6개의 선택옵션을 가지고 있어 이 중 해당 열화를 선택할 수 있으며, 2개 이상의 열화가 동시에 발생할 경우 다중선택을 할 수 있다.

열화등급은 점검결과에 따라 I II III의 3단계로 구분하여 입력한다.

② 정밀점검창

정밀점검창은 점검여부, 도막두께, 볼트축력, 자분탐상, 침투탐상의 항목으로 구성되어 있다.

도막두께 항목에서는 측정일을 년 월 일의 순으로 직접 입력하여야 하며, 입력은 각각 바닥면에서 20cm, 150cm 높이에서 측정한 값의 평균값을 입력하게 되어 있다.

볼트축력 항목에서도 측정일을 년 월 일의 순으로 입력하며, 측정장비에 의해 측정된 토크값을 kgf·m의 단위로 입력한다. 또한, 그 아래에 측정 대상 볼트셋트의 규격을 등급, 나사지름, 적용토크계수의 순으로 입력하면 추정축력이 자동적으로 계산되게 하였으며, KS에 규정된 등급별 허용축력을 나타내어 허용치에 있는지 확인할 수 있게 하였다.

기타 자분탐상 및 침투탐상시험은 결과를 O.K. None O.K.로 분류하여 입력하고, 관련 사진 및 세부사항을 입력한다.



<그림12> 철골구조물 열화자료 관리보조창

③ 제어창

제어창은 화상자료 입력을 위한 스캔시작, 자료의 삭제, 세부사항, 즐겨찾기, 도움말, 열화자료 검색, 대상 부재가 철근임을 설정하는 구조물의 항목이 있다.

3) 열화자료 검색 프로그램

본 시스템은 콘크리트와 철골구조물에 대한 모든 열화자료를 수치 및 문자 데이터로 기록·관리하므로 각종 항목에 대해서 열화자료를 검색할 수 있다. 검색할 수 있는 항목은 하나의 데이터가 가지고 있는 모든 정보로서 검색된 자료는 삭제, 출력 등의 기능에 의해 관리할 수 있다.

① 콘크리트 구조물 검색항목

콘크리트 구조물의 검색은 총 11개 항목이며, 항목별 선택사항은 2개 이상으로 검색항목과 선택사항의 조합에 의해 광범위한 검색을 실시할 수 있다. 세부 검색항목과 선택사항은 <표 1>과 같다.

② 철골 구조물 검색항목

열화자료 검색화면 검색구분에서 철골구조물을 선택하여 기본 검색창으로 설정된 콘크리트 구조물 검색창을 철골구조물 검색창으로 전환한다.

철골 구조물의 검색 항목은 총 10개이며, 항목별 선택사항은 2개 이상으로 검색항목과 선택사항의 조합에 의해 광범위한 검색을 실시할 수 있다. 또한, 콘크리트 구조물과 달리 외부에 해당하는 관리항목이 없으므로 구조물 외부를 선택할 수 없다. 세부 검색항목과 선택사항은 <표 1>과 같다.

<표 1> 자료검색 항목 및 검색옵션

검색항목	검색 옵션	
	콘크리트 구조물	철골구조물
발전소	울진, 월성, 영광, 고리	좌동
호기	1, 2, 3, 4호기	좌동
구조물 및 부재	외벽, 버트리스, 내벽, 슬래브, 돔, 텐돈갤러리	기둥, 브레이싱, 보 (다중선택 가능)
열화유형	일반균열, 망상균열, 보수, 백태, honeycomb, 모르타르보수, 철근노출, 박리, 기타현상	도막박리·박락, 도막균열, 부식, 백아화, 들뜸, 기타현상
관리대상	유, 무	좌동
균열 진행성평가	유, 무	-
보수여부	열화유형 항목에서 검색	유, 무
열화 길이	제한없음	-
열화등급	-	I, II, III 등급
열화 폭	미세균열=0, 일반균열 0.05~9.00mm	-
열화의 시점 및 중점의 위치	제한없음	-
열화 각도	0~360°	-
세부사항	-	유, 무
정밀점검여부	-	유, 무
점검일자	○년 ○월○일~○년○월○일	좌동



<그림 14> 콘크리트 열화자료 검색화면



<그림 15> 철골 열화자료 검색화면

4) 자료교환

본 시스템은 각 원전별 혹은 4개 원전을 통합하여 관리를 할 수 있도록 자료교환 시스템을 가지고 있다. 세부항목으로 백업, 복구, 자료분리, 자료병합이 있다. 백업과 복구는 시스템이 가지고 있는 모든 자료를 백업하거나 복구할 때 사용할 수 있으며, 자료분리와 병합은 일부 자료를 대상으로 업데이트나 복구를 할 때 사용할 수 있다.

4. Sub-D/B 프로그램

Sub-D/B는 격납건물에 대한 전반적인 정보를 제공하고 발전소 건설을 위한 착수시점에서부터 설계, 시공, 준공 및 상업운전 단계까지의 기록들과 각종 시험 및 검사 등의 자료를 확보하여 D/B화 함으로써 관련자료의 체계적이고 효율적인 관리를 도모하며, 이들 자료를 바탕으로 열화 및 보수 D/B를 지원한다.

본 Sub-D/B 프로그램은 일반사항, 구조도·설계도, 자재, 시공 및 ISI·SIT·ILRT D/B의 5개 분야로 구성되며 격납건물에 대한 기본적인 정보를 제공하고 구조물의 설계, 시공과 관련한 기준, 도면, 부적합사항, 문제점 및 개선사항 등과 준공후 일정주기마다 시행하는 시험 및 검사 자료를 입력 관리한다.

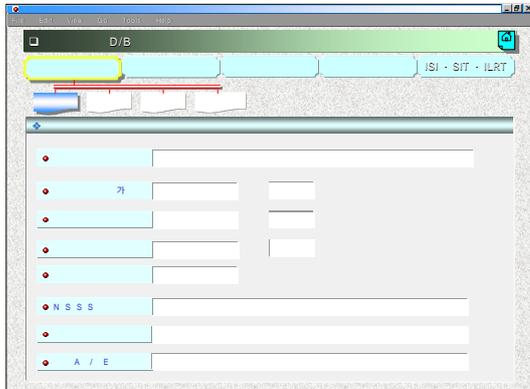
(1) 일반사항 D/B

일반사항 D/B는 격납건물이 속해있는 해당 발전소의 일반적인 내용에 관한 정보를 제공하며 제원, 구조형식 등의 기본적인 사항을 입력하여 관리한다. D/B는 현황, 제원, 구조형식 및 포스트 텐서닝 시스템의 4개 부분으로 구성되며 자료는 항목별로 해당 내용을 입력하는 방식으로 관리한다.

(2) 구조도 및 설계도 D/B

구조도 및 설계도 D/B는 격납건물에 적용된 설계기준과 특성, 주요 설계도면 등을 입력하고 사용자가 간단한 검색 기능을 이용하여 원하는 자료를 쉽게 검색하여 찾아볼 수 있도록 하며 철근, 텐돈, 라이너플레이트 등의 정보를 입력하여 관리함으로써 격납건물의 설계 제특성 파악이 용이하도록 하였다. 또한, 본 D/B에서 관리되는 설계도면 등의 설계자료는 열화 및 보수 D/B에서 구역도 작성시 활용되며 필요시 시공자료 및 현장검사자료와 비교 검토할 수 있다. D/B의 구성은 설계기준, 설계특성, 설계도면, 철근배치, 텐돈배치 및 라이너플레이트의 6개 항목으로 구분되며

자료는 항목별로 해당 내용을 입력하는 방식, PDF 파일형식으로 입력하는 방식 및 문자로 입력하는 방식으로 관리한다.



<그림 16> 일반사항 D/B 화면출력 예



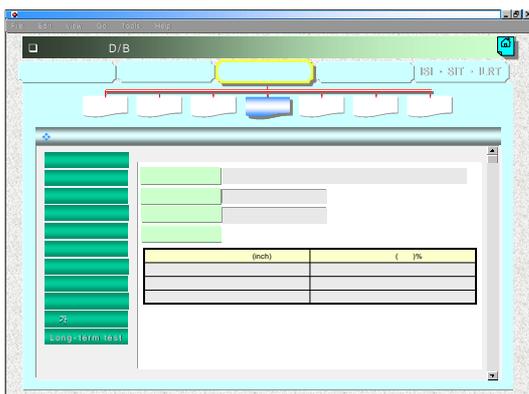
<그림 17> 구조도 및 설계도 D/B 화면출력 예

(3) 자재 D/B

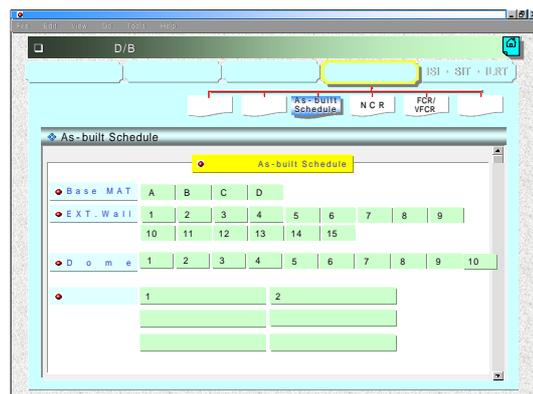
자재 D/B는 격납건물에 사용된 건설자재에 대한 내용을 수록하여 자재의 사용현황을 파악하고 격납건물 건설재료인 콘크리트의 구성자재에 대한 자료를 확보하여 사용재료의 기초적인 정보를 제공할 수 있도록 하였다.

각 재료에 대해 제시된 관련기준을 파악하고 이에 따른 시험방법 및 시험결과 자료를 입력하며 격납건물에 적용된 배합설계와 관련된 자료를 관리한다. 또한, 철근 및 텐돈의 종류별 사용현황을 파악할 수 있도록 한다.

자재 D/B의 구성은 시멘트, 골재, 혼화재료, 배합설계, 철근, 텐돈 및 기타의 7개 항목으로 되며 자료는 항목별로 해당 내용을 입력하는 방식 및 문자로 입력하는 방식으로 관리한다.



<그림 18> 자재 D/B 화면출력 예



<그림 19> 시공 D/B 화면출력 예

(4) 시공 D/B

시공 D/B는 격납건물 시공에 대한 일반적인 내용을 수록하여 시공 당시의 환경조건 및 콘크리트 타설 등의 시공현황을 파악하고 시공시에 발생된 문제점 및 조치사항 등의 자료를 관리하여

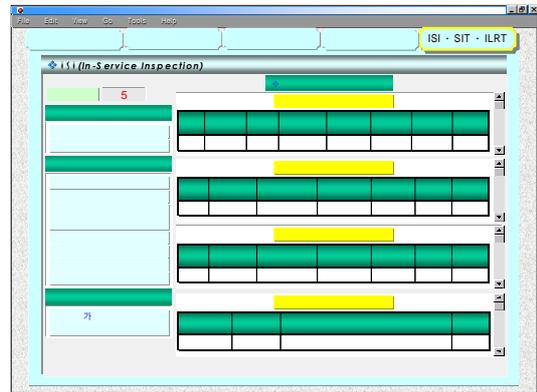
열화자료 분석시 적절한 정보를 제공할 수 있도록 하였다.

시공 D/B의 구성은 시방서/절차서, 현황, As-built Schedule, NCR, FCR/VFCR 및 기타의 6개 항목으로 되며 자료는 항목별로 해당 내용을 입력하는 방식, PDF 파일형식으로 입력하는 방식 및 문자로 입력하는 방식으로 관리한다.

(5) ISI · SIT · ILRT D/B

ISI, SIT 및 ILRT는 격납건물에 대해 일정주기마다 실시하는 점검 및 시험으로써 격납건물의 안전성 확보를 위해 정해진 기준에 따라 시행되고 있다. 따라서 이들 자료를 관리함으로써 연도별 자료의 확보와 비교 검토가 가능하다.

ISI · SIT · ILRT D/B는 ISI, SIT, ILRT로 나누어 관리하며 자료는 항목별로 해당 내용을 입력하는 방식 및 PDF 파일형식으로 입력하는 방식으로 관리한다.



<그림 20> ISI·SIT·ILRT D/B 화면출력 예

5. 결론

설계·시공 단계에서부터 사용 중 발생하는 각종 열화현상 등에 대한 이력(History)관리하기 위하여 일반 D/B, 구조도·설계도 D/B, 자재 D/B, 시공 D/B, ISI·SIT·ILRT D/B 및 열화 및 보수 D/B의 6개 D/B를 가진 격납건물 열화 D/B 시스템을 개발하였다. 이러한 D/B들을 운용하기 위하여 자료검색 프로그램, 콘크리트 및 철골 열화자료 관리 프로그램 등의 운용프로그램들을 설치하였다. 또한, 자료의 전산화 방법으로 직선형, 영역형, 각도형 및 화상자료, PDF 형식과 같은 다양한 방식을 채택하여 자료 입력 및 저장, 관리에 도움이 되도록 하였다.

본 시스템의 개발로 원전 격납건물의 수명관리에 큰 도움이 될 것으로 판단되며, 향후 각 호기별 격납건물을 대상으로 D/B를 구축하여 실용화 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력중장기 연구개발사업의 지원 하에 이루어진 것으로, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 전력연구원, “원전 안전성 관련 콘크리트 구조물의 열화에 관한 연구”, 1996
2. 영광원자력본부, “영광원자력 5,6호기 건설기록지”, 1998
3. EPRI, “Concrete Structures Aging Reference Manual for Nuclear Power Plants”, 1998
4. ORNL, “Structural Aging(SAG) Program Five-Year Plan”, 1989
5. ORNL, “Structural Materials Information Center for Presentation of the Time Variation of Material Properties”, 1990
6. NRC, “Nuclear Plant Aging Research(NPAR) Program Plan”, 1991