

Web 기반의 가상원전 PSI/ISI 정보관리 시스템 개발

신진호, 이봉재, 송재주, 장문종
한전 전력연구원

Development of Web based PSI/ISI Information Management System for Virtual Nuclear Power Plant

Jin Ho Shin, Bong Jae Yi, Jae Ju Song, Mun Jong Jang
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 원자력발전소에서는 건설완료 단계에서 기기, 배관 및 각종 지지구조물에 대하여 PSI(Pre-Service Inspection)를 실시하여 시공된 설비의 건전성을 점검하고, 운영중에는 주기적으로 시간의 경과에 따른 취약화 정도를 비파괴검사로 감시 및 평가하는 ISI(In-Service Inspection)를 실시하여 안전성 관련 설비의 건전성을 점검하고 있다. 이 과정에서 방대한 양의 검사데이터가 생산되며 원전 가동년수가 증가함에 따라 검사자원을 체계적으로 관리하고 자동화 할 수 있는 시스템 개발이 필요하게 되었다. 본 논문에서는 PSI/ISI 검사결과 정보관리를 비롯하여 감시 기초자료 관리 및 검사계획 수립, 파괴역학 분석 기능 등을 포함한 Web 기반의 Application 개발 사례를 소개한다. 또한 가상현실기법을 적용하여 기존의 2차원적 DB 운영용 3차원 가상공간에서 운영할 수 있는 'Touch & Tell' 기법을 개발하고 그 구현방법을 제시한다.

1. 서 론

원자력발전소와 같은 대규모의 플랜트 설비들은 그 규모가 방대하고 설비의 안전성에 중요한 영향을 미치는 기기, 배관 및 각종 지지구조물들로 구성되어있다. 이러한 원전 설비들은 운영과정에서 주기적으로 ISI(In-Service Inspection)를 실시하여 안전성 관련 설비의 건전성을 점검하고 있다. ISI는 발전소 건설완료 단계에서 PSI(Pre-Service Inspection)를 실시하여 시공된 설비의 건전성을 점검하고 ISI를 위한 기초데이터를 확보하는 과정에서부터 시작된다. 이러한 PSI/ISI 업무는 적용 Code 요건에 따라 PSI 검사계획과 ISI 장기검사계획(LTP : Long Term Plan)을 수립하여 운영하고 있다. 검사계획에는 기기등급(Component Class)별 검사부위가 식별되어 반영되며 해당 검사부위에 대한 구체적인 검사요건이 수립된다. 실제 PSI/ISI는 승인된 검사계획에 따라 수행되며 검사결과는 검사보고서(Exam. Report)로 작성된다. 검사결과 발견된 결함지시(Indication)는 적용 Code 요건에 따라 합격여부가 판정되며 필요시 파괴역학 분석을 통해 수리여부가 결정된다. PSI/ISI에 사용되는 검사장비(U.T 장비 등)는 주기적으로 교정(Calibration)되어야 하며 검사자는 해당 검사방법(U.T, MT, PT, VT 등)에 자격을 보유하고 있어야 한다.

이와 같이 PSI/ISI 과정에서는 많은 양의 검사 데이터가 생산되며 이의 체계적인 관리가 필요하다. 즉, 검사 데이터는 과거 검사 데이터와 비교하여 결함지시의 성장여부 등이 검토될 수 있어야 하며 후속 검사를 위한 기초 데이터로 활용될 수 있어야 한다. 또한 검사에 사용되는 검사장비, 검사자, 검사설차서, 관련 도면, Codes & Standards 등 검사자원의 관리도 필요하며 이를 위한 정보시스템의 지원이 필수적이다. 또한 수작업으로 작성되는 검사계획서 작성업무의 자동화가 필요하며, 검사계약이 경쟁체제로 전환됨에 따라 검사업체의 변경 여부에 관계없이 검사결과와 연속성이 유지되어야

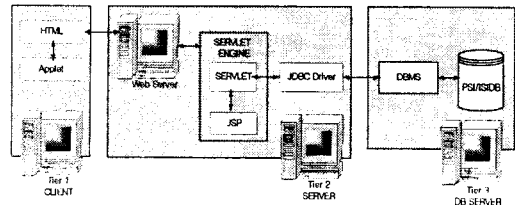
하며 검사절차나 양식 등의 표준화가 필요하다. 본 논문에서는 이러한 현안사항을 개선할 수 있는 데이터베이스 응용시스템을 설계 및 구현하고 그 개발 과정을 소개한다. 또한 2차원적 업무프로세스를 개선하기 위해 Web 기반 환경에서 가상현실 기법을 적용하여 단순히 보여주는 개념의 3D가 아닌 사용자와 PC간의 상호작용을 가능하게 하여 기존의 텍스트방식의 데이터베이스 체계를 시각적인 3차원 방식으로 제공할 수 있는 가상원전 PSI/ISI 정보관리 시스템 개발하고 그 구현방법을 제시한다.

2. 본 론

2.1 시스템 개발환경

시스템 성능과 확장성, 개발 효율성, 구현 용이성, 최근의 시스템 개발추세와 발전전망, 외부시스템과의 인터페이스 개발가능성 등을 종합적으로 검토하여 Web Java 기반의 3-계층구조(3-Tier Architecture)로 시스템 개발환경을 설정하였다. 3-계층구조는 서버와 클라이언트 기능이 분리되어 수행됨으로서 여러 발전소에서 동시에 검사가 수행되는 경우 많은 수의 사용자 요구에 신속하게 대응할 수 있는 장점이 있으며 보안기능이 강화될 수 있다. 개발언어로 Java(SWING)를 사용함으로써 전산설비(H/W Platform)에 독립적인 특성을 가지며 사용자 인터페이스 표현능력이 매우 우수하다. 설정된 시스템 개발환경과 개발도구는 아래와 같으며 시스템 개발구조는 [그림 1]과 같다.

- OS : Windows 2000 Server
- Web Server : Apache Web Server(1.3.12)
- 개발언어 : Java(JDK 1.2.2 또는 1.3)
- Servlet Container : Jrun 3.0
- JDBC Drive : Oracle Thin Drive
- DBMS : Oracle 8.1.7



[그림 1] 시스템 개발구조

2.2 시스템 개발내용 분석

원자력발전소의 PSI/ISI 업무를 대상으로 검사계획(PSI Plan & ISI LTP)의 수립에서부터 검사결과 결함지시사항에 대한 조치에 이르기까지의 검사과정(Inspection Process)을 지원하며 검사결과 발생하는 검사보고서 및 각종 참조자료를 종합 관리하기 위한 데이터베이스 응용시스템 개발을 연구목표로 하고 있다.

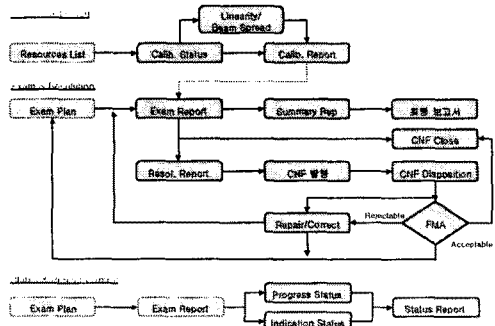
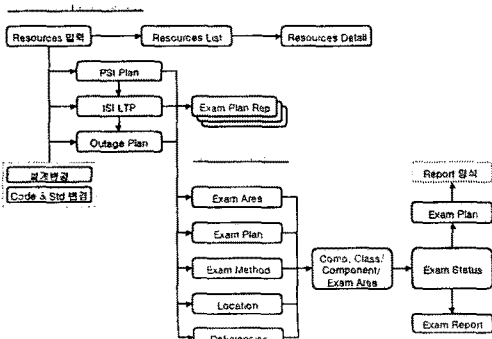
제1단계로서 운전원자력 제1발전소를 대상으로 다음 기능을 제공하는 데이터베이스 응용시스템을 개발한다.

- 가동전·중검사계획 수립 기능 전산화
- 검사보고서, 교정보고서 등 검사결과 데이터의 종합 관리
- 결함지시의 해석 및 후속 조치사항 관리
- Codes & Standards, 검사장비, 검사시편, 검사자, 검사절차서, 검사도면(ISI Iso. 도면), 참고자료 등 관리
- 파괴역학 평가시스템과의 인터페이스를 통한 결함평가 기능
- 3차원 모델(3D Model)과의 인터페이스를 통한 검사부위 조회 및 접근성 검토

2.3 업무 프로세스 설계

ISI 업무는 운전단계에서 주요설비(ASME Code 등급 설비 등)의 건전성을 입증하기 위하여 체계적이고도 계획적인 방법으로 수행되어야 한다. 즉, 가동중검사를 수행하기 위해서는 관련 Code & Standards 요건에 따라 장기검사계획(LTP : Long Term Inspection Plan)을 수립하고 각 검사부위에 대한 PSI를 통해 베이스라인(Baseline)을 구축하며 이를 토대로 가동중에 주기적인 검사를 실시하고 있다. 또한 검사결과 나타나는 결함지시 사항에 대해서는 재검사 등을 통해 합격여부가 판정되어야 하며 불합격 판정된 결함에 대해서는 파괴역학적 분석(FMA : Fracture Mechanics Analysis) 또는 수리(Repair)되어야 한다. 또한 결함발생 결과에 따라 동일범주(Exam. Category)에 속하는 검사부위를 대상으로 확대검사의 실시여부가 결정되어야 한다. PSI/ISI 검사과정에서는 많은 양의 데이터가 생성되며 이러한 데이터는 검사결과를 증명하는 기록으로서 체계적인 방법으로 유지, 관리되어 후속 검사과정에서 결함성장 추이 등을 비교 분석하는데 계속 활용될 수 있어야 한다. 이러한 업무 프로세스를 분석하여 아래와 같이 크게 8가지로 분류하였다.

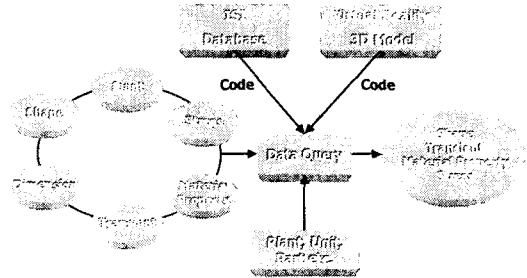
- Tree Navigation : 검사부위, 검사방법, 위치, 결함, Resource 등 Tree 생성
- 검사계획(Exam Plan) 수립 및 관리
- 검사보고서(Exam Report) 작성 및 관리
- 결함해석 및 조치(Resolution) : Resolution, Flaw Calculation, CNF 발행 및 조치, FMA
- 결함분석 및 통계(Flaw Status) : 결함 발생현황 분석 및 분석보고서 작성, 분석결과 Feed Back
- Resources 조회 및 등록 : Code & Standard, Exam Procedure, 3D Model 등 조회 및 등록
- 사업관리(Project Control) : Progress Status, Correspondence, Action Item 관리
- Administration : 사용자 관리, Import & Export, 코드 정의



[그림 2] 주요 업무 프로세스

2.4 데이터베이스 설계

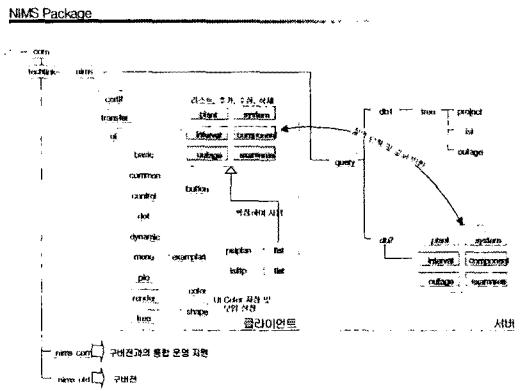
업무분석 결과를 토대로 데이터베이스 구조를 설계하였으며 설계결과 119개의 테이블(Look-up Table, Relation Table 포함)과 918개의 속성 데이터(Foreign Key 중복 포함)를 관리하는 것으로 설계되었다. 데이터베이스 설계절차에 따라 관리대상 데이터와 상호관계를 표현해주는 기본설계과정을 거쳐 상세설계가 진행되었으며, [그림 3]과 같이 각 프로세스별 데이터베이스 상세설계 모델을 설계하였다.



[그림 3] 데이터베이스 시스템 구성도

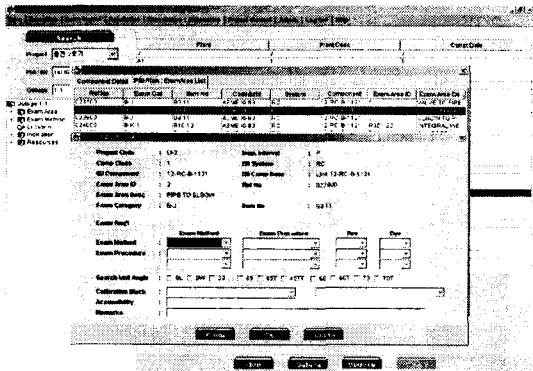
2.5 PSI/ISI 정보관리 시스템 개발

프로그램 개발을 위한 기본적인 구조를 [그림 4]와 같이 설정하였다. 이 구조는 프로그램 개발 뿐 아니라 시스템 운영과정에서의 유지보수 편의성 등을 고려하여 설계되었다. Java Package로 클라이언트측에서는 Tree, Menu, List View 등 UI를 담당하고, 서버측에서는 질의 요청 및 결과 반환을 담당한다.



[그림 4] Programming Framework

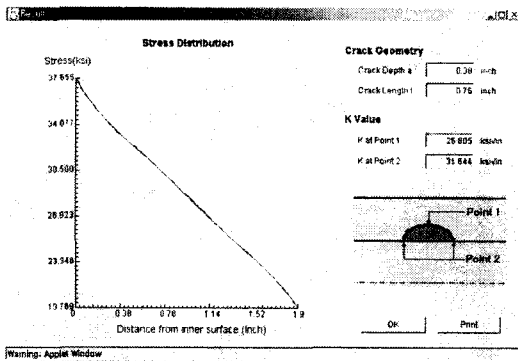
사용자 인터페이스는 메뉴정보창과 대상 발전소 및 검사주기와 검사차수를 선정하는 기본정보창(Project 선택창), 검사계획이나 검사보고서 등에 대한 트리 조회기능을 제공하는 트리정보창 및 점검결과와 데이터 입력기능을 제공하는 리스트정보창으로 구성되어 있다. 아래 그림은 메뉴와 트리에서 진행한 화면의 예시를 보여준다.



[그림 5] Exam Plan 수립 화면

2.6 파괴역학분석 시스템 개발

원전 주요기기에 대한 각 부위별 형상 및 치수, 형상, 재료물성치, 운전조건, 응력 데이터베이스를 구축하고, 그 데이터베이스를 관리하는 프로그램과 결함 형상(표면결함, 내부결함, 연속결함, 불트결함, 홀결함)에 대해 응력확대계수(Stress Intensity Factor: K_I) 및 수압 시험온도를 계산하는 프로그램, 발견된 결함에 대하여 ASME Sec. XI의 파괴역학분석 절차에 기초하여 결함 성장량 계산 및 안전성 평가를 수행하는 FLEVA (Fatigue Life EVAluation) 프로그램, 발견된 결함에 대하여 허용치를 계산하여 합격과 불합격 판정을 하는 Acceptance 프로그램을 개발하였다. [그림 6]은 Surface Crack에 대한 형상과 재료를 입력받아 응력확대계수를 이용하여 계산한 결과를 표시한 화면이다.



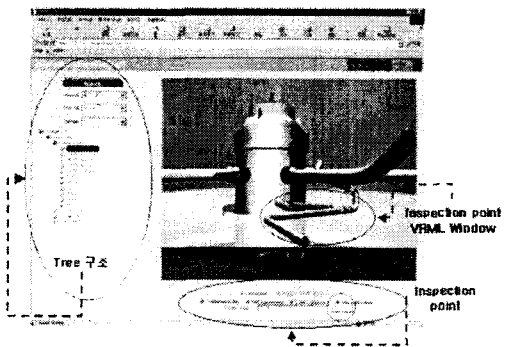
[그림 6] Surface Crack 모듈의 K_I 계산

2.7 PSI/ISI DB 연계 가상원전 개발

PSI/ISI DB는 원전 가동중점검의 점검결과에 대한 데이터베이스를 말한다. 기존의 가동중점검 결과는 각 검사업체에서 검사 후 작성한 문서로 보관되어 있다. 따라서, 개발한 가상원전 PSI/ISI DB 운영시스템에 점검결과에 대한 온라인 정보를 제공하기 위해, 점검결과의 디지털자료화 작업을 수행하였다. 우선 해당검사부위에

대한 고유 ID를 부여하고, 각 검사부위를 주기별로 구별할 수 있도록 색상을 달리하여 모델링하였다. 또한, 가동중점검계획서를 참조하여 각 검사부위에 대한 기록을 DB로 구축하였다. 이와 같이 PSI/ISI DB 구축을 통해, 검사자가 해당검사부위에 대한 결과를 신속히 조회하고, 점검결과에 대한 기록 및 점검업무에 대한 종합적인 진행상황을 정확히 파악할 수 있도록 PSI/ISI DB 연계 시스템을 개발하였다. 본 시스템을 사용하여 검사자는 해당 검사부위를 시각적으로 확인할 수 있고, 해당 검사부위에 대한 ISI DB를 'Touch & Tell' 기법을 개발하여 마우스 클릭만으로 확인할 수 있다.

[그림 7]에는 가상원전 3D 화면에서 PSI/ISI DB를 연계하기 위한 화면으로 검사부위를 클릭하게 되면 해당 검사부위에 대한 검사부위 ID가 출력되고 고유한 검사부위 ID에 의해 검사자는 해당검사부위에 대한 DB를 검색할 수 있다.



[그림 7] 가상원전 3D View

3. 결 론

원전 PSI/ISI DB 및 시스템 종합관리프로그램은 8개의 단위 프로세스와 외부 시스템 인터페이스 모듈로 구성되어 있다. 사용자 요구분석 단계를 거쳐 시스템 설계를 완성하였으며 이를 토대로 단위 프로세스를 개발하였다. Web 기반으로 시스템이 개발됨에 따라 여러 장점을 가지고 있으며 특히 기존의 클라이언트-서버환경에 비해 유지보수성이 크게 향상될 것이다. 또한 PSI/ISI 업무의 효율을 높이고, 원전 안전성 확보 및 유지 기술의 개발을 위해 가상현실기법을 이용하여 가상원전 PSI/ISI DB 연계시스템을 개발하였다. 본 연구를 통하여 기존의 가동중점검 업무에서 야기될 수 있는 검사결과와 누락 및 손실 등과 같은 2차원적 업무 프로세스에 의한 문제점을 개선하고, 검사자의 검사 루트(route) 표준화, 검사업무의 체계화를 유도하였다. 현재 울진 제1발전소를 대상으로 시범운영중에 있으며, PSI/ISI 관리체계가 유사한 만큼 타 발전소에서도 검사도면과 기초자료 등을 입력하여 적용할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "울진 원자력발전소 1호기 제2주기 장기가동중점검계획서", 2001.11
- [2] 한국전력공사, "울진 원자력발전소 2호기 제2주기 장기가동중점검계획서", 1999.7
- [3] Matthew Robinson, "Swing", 인포북, 2001.3
- [4] 지영수, "객체지향 Rational Rose 2000", 홍릉과학출판사, 2001. 3
- [5] 이화식, "대용량 데이터베이스 솔루션 I, II", 대청미디어, 1998. 5