

원전 가동전·중 점검관리시스템 설계 및 구현

신진호, 이봉재, 송재주

한전 전력연구원

e-mail:jinho@kepri.re.kr

Design and Implementation of Pre·In-Service Inspection Management System for Nuclear Power Plants

Jin-Ho Shin, Bong-Jae Yi, Jae-ju Song

Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

요약

장기간의 원자력발전소 운영과정에서 가동전·중검사는 설비의 건전성을 확인하는 매우 중요한 점검 과정이다. 가동전·중검사 결과 많은 양의 검사데이터가 생산되며 이러한 검사데이터는 과거 검사결과와 비교하여 결함지시의 성장여부 등이 검토될 수 있어야 하며 후속 검사를 위한 기초 데이터로 활용될 수 있어야 한다. 또한 검사에 사용되는 검사장비, 검사자, 검사절차서, 관련 도면, Codes & Standards 등 검사자원의 체계적인 관리가 필요하며 이를 위한 정보시스템의 지원이 필수적이다. 또한 수작업으로 작성되는 가동전·중검사계획(LTP 등) 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 응용 시스템을 설계 및 구현하고 그 개발 과정을 소개한다.

1. 서론

원자력발전소 운영과정에서 주기적으로 가동중검사(ISI : In-Service Inspection)를 실시하여 안전성 관련 설비의 건전성을 점검하고 있다. 가동중검사는 발전소 건설완료 단계에서 가동전검사(PSI : Pre-Service Inspection)를 실시하여 시공된 설비의 건전성을 점검하고 가동중검사를 위한 기초데이터를 확보하는 과정에서부터 시작된다. 이러한 가동전·중검사 업무는 적용 Code 요건에 따라 가동전 검사 계획(PSI Plan) 또는 가동중 장기검사계획(LTP : Long Term Plan)을 수립하여 운영하고 있다. 검사 계획에는 기기등급(Component Class)별 검사부위가 식별되어 반영되며 해당 검사부위에 대한 구체적인 검사요건이 수립된다. 실제 가동전·중검사는 승인된 검사계획에 따라 수행되며 검사결과는 검사보고서(Exam. Report)로 작성된다. 검사결과 발견된 결함지시(Indication)는 적용 Code 요건에 따라 합격여부가 판정되며 필요시 파괴역학 해석을 통해 수리여부가 결정된다. 가동전·중검사에 사용되는 검사장

비(UT 장비 등)는 주기적으로 교정(Calibration)되어야 하며 검사자는 해당 검사방법(UT, MT, PT, VT 등)에 자격을 보유하고 있어야 한다.

이와 같이 가동전·중검사 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, 검사절차서, 관련 도면, Codes & Standards 등 검사자원의 관리도 필요하며 이를 위한 전산 시스템의 지원이 필수적이다.

현재는 주 전산기(Main Frame) 환경에서 운용되는 'PRISIM'(Program for ISI Management)을 통해 검사부위별 결함유무 등 단순 정보만을 관리하고 있으나 시스템의 노후화 등으로 인해 데이터 관리에 많은 제약이 있는 실정이다. 가동전·중검사계획(LTP 등)은 외부용역에 의해 작성되고 있으며 수작업으로 관리됨에 따라 검사부위의 누락, 과거 검사 데이터를 검색·조회하는데 많은 노력이 수반되어야

하는 등 미비점이 지적되고 있다. 또한 1998년부터는 가동전·중검사 계약이 자유경쟁 체제로 전환됨에 따라 검사업체가 변경될 수 있으며 이러한 경우 과거 검사결과와의 연속성이 유지되지 않거나 검사 절차나 양식 등이 서로 상이하여 효율적인 검사관리에 어려움이 발생할 수 있다. 따라서 한전 및 검사업체가 공통으로 활용할 수 있는 데이터베이스 응용시스템의 개발이 필요하며 이를 통해 검사계획 수립에서부터 검사결과 데이터 관리 및 각종 검사 관련 자원의 관리기능을 강화할 수 있을 것이다.

2.2 시스템 개발내용 분석

원자력발전소의 가동전·중검사 업무를 대상으로 검사계획(PSI Plan & ISI LTP)의 수립에서부터 검사결과 결합지시사항에 대한 조치에 이르기까지의 검사과정(Inspection Process)을 지원하며 검사결과 발생되는 검사보고서 및 각종 참조자료를 종합 관리하기 위한 데이터베이스 응용시스템 개발을 연구목표로 하고 있다. 제1단계로서 울진원자력 제1발전소를 대상으로 다음 기능을 제공하는 데이터베이스 응용시스템을 개발한다.

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

2.3 업무 프로세스 설계

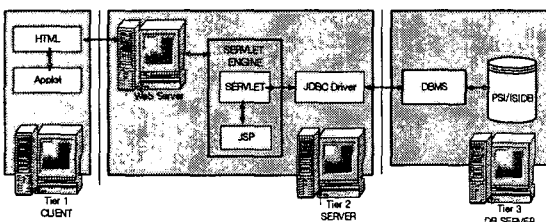
ISI 업무는 운전단계에서 주요설비(ASME Code 등급설비 등)의 건전성을 입증하기 위하여 체계적이고도 계획적인 방법으로 수행되어야 한다. 즉, 가동중검사를 수행하기 위해서는 관련 Code & Standards 요건에 따라 장기검사계획(LTP : Long Term Inspection Plan)을 수립하고 각 검사부위에 대한 가동전검사(PSI : Pre-Service Inspection)를 통해 베이스라인(Baseline)을 구축하며 이를 토대로 가동중에 주기적인 검사를 실시하고 있다. 또한 검사결과 나타나는 결합지시사항에 대해서는 재검사 등을 통해 합격여부가 판정되어야 하며 불합격 판정된 결합에 대해서는 파괴역학적 분석(FMA : Fracture Mechanics Analysis) 또는 수리(Repair)되어야 한다. 또한 결합발생 결과에 따라 동일범주(Exam. Category)에 속하는 검사부위를 대상으로 확대검사의 실시여부가 결정되어야 한다. 가동전/중검사과정에서는 많은 양의 데이터가 생성되며 이러한 데이터는 검사결과를 증빙하는 기록으로서 체계적인 방법으로 유지, 관리되어 후속 검사과정에서

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 구조(System Architecture)는 [그림 1]과 같다.

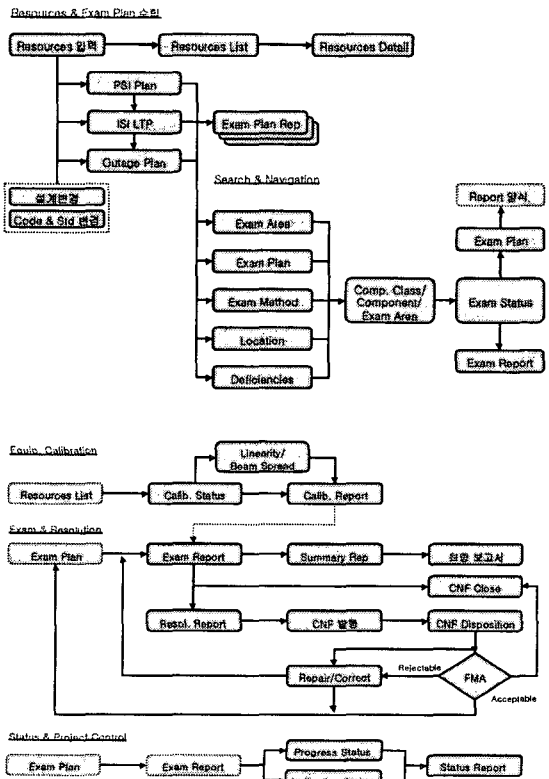
- OS : Windows 2000 Server
- Web Server : Apache Web Server(1.3.12)
- 개발언어 : Java(JDK 1.2.2 또는 1.3)
- Servlet Container : Jrun 3.0
- JDBC Drive : Oracle Thin Drive
- DBMS : Oracle 8.1.7



[그림 1] System Architecture

결합성장 추이 등을 비교 분석하는데 계속 활용될 수 있어야 한다. 이러한 업무 프로세스를 분석하여 아래와 같이 크게 8가지로 분류하였다.

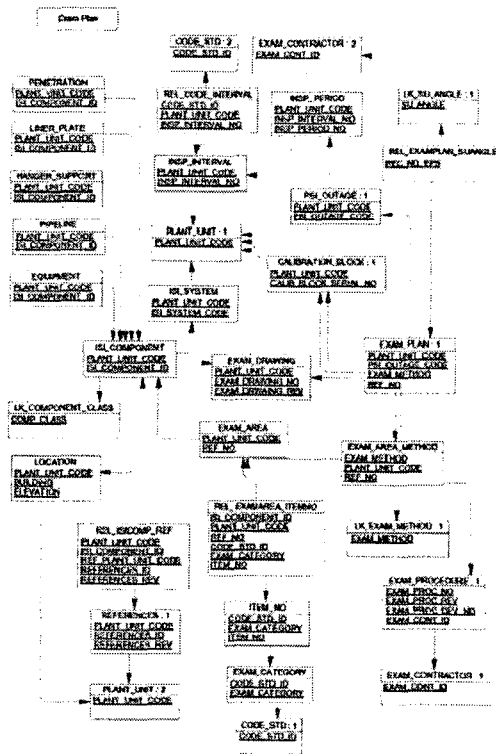
- Tree Navigation : 검사부위, 검사방법, 위치, 결합, Resource 등 Tree 생성
- 검사계획(Exam Plan) 수립 및 관리
- 검사보고서(Exam Report) 작성 및 관리
- 결함해석 및 조치(Resolution) : Resolution Report 작성 및 검토, Flaw Calculation, CNF 발행 및 조치, FMA I/F
- 결합분석 및 통계(Flaw Status) : 결합 발생현황 분석 및 분석보고서 작성, 분석결과 Feed Back
- Resources 조회 및 등록 : Code & Standard, Exam Procedure & Drawing, 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 프로세스별 데이터베이스 상세설계 모델(Physical Model) 중 Exam Plan 수립 및 관리 부분의 Key만을 명시한 Database 설계 모델은 [그림 3]과 같다.

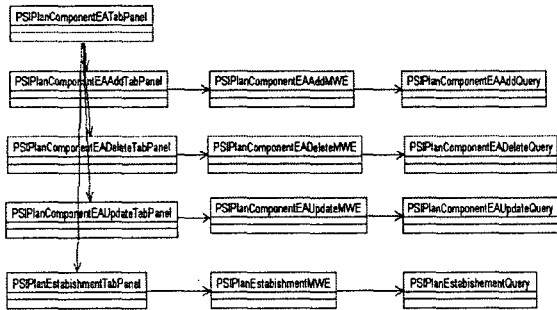


[그림 3] Exam Plan Database 설계

2.5 객체 설계

객체설계는 UML(Unified Modeling Language)을 이용하여 클래스 흐름을 설계할 목적으로 Class Diagram을 작성하였으며, [그림 4]는 Exam Plan 수립 및 관리 업무의 일부분인 Component를 등록 관리하는 Tab Control에 관련된 Class Diagram으로

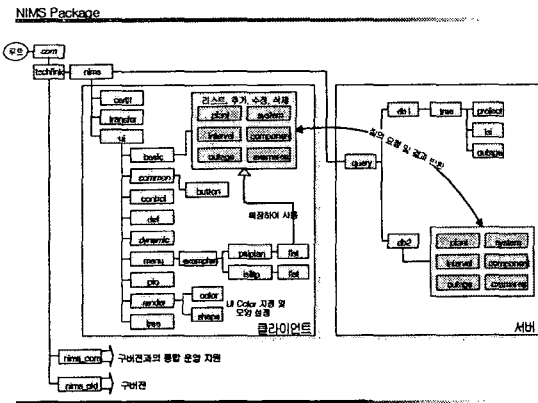
Attribute와 Method을 제외하고 Class명만을 도식화한 것이다.



[그림 4] Exam Plan Class Diagram

2.6 프로그램 개발 구조

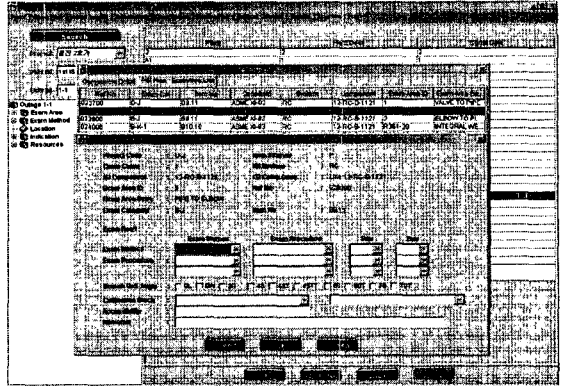
프로그램 개발을 위한 기본적인 구조를 [그림 5]와 같이 설정하였다. 이 구조는 프로그램 개발 뿐 아니라 시스템 운영과정에서의 유지보수 편의성 등을 고려하여 설계되었다. Java Package로 클라이언트측에서는 Tree, Menu, List View 등 UI를 담당하고, 서버측에서는 질의 요청 및 결과 반환을 담당한다.



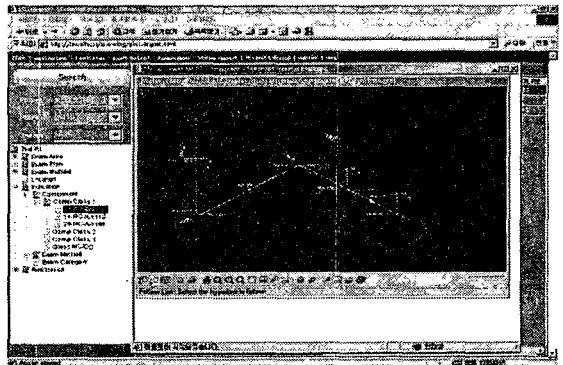
[그림 5] Programming Framework

2.7 사용자 인터페이스

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



[그림 6] Exam Plan 수립화면



[그림 7] 2D 도면 Interface

3. 결론

원전 가동전·중 점검 D/B 및 시스템 종합관리 프로그램은 8개의 단위 프로세스와 외부 시스템 인터페이스 모듈로 구성되어 있다. 사용자 요구분석 단계를 거쳐 시스템 설계를 완성하였으며 이를 토대로 단위 프로세스를 개발하고 있다. Web 기반으로 시스템이 개발됨에 따라 여러 장점을 가지고 있으며 특히 기존의 클라이언트-서버환경에 비해 유지보수성이 크게 향상될 것이다. 현재 올진 1발전소를 주 대상으로 하고 있으며 가동전·중점사 관리체계가 유사한 만큼 타 발전소에서도 검사도면과 기초자료 등을 입력하여 적용할 예정이다.

참고문헌

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