

원전 가동전/중 검사정보관리 시스템 개발

Development of Pre-Service and In-Service Information Management System (iSIMS)

유현주*[†], 최성남*, 김형남*, 김영호*, 양승환*

H. J. Yoo*[†], S. N. Choi*, H. N. Kim*, Y. H. Kim* and S. H. Yang*

초 록 iSIMS는 한국 수력원자력 주식회사의 원자력발전소에서 수행하는 가동전/중 검사 절차를 지원하는 웹베이스의 통합 정보 시스템이다. 이 시스템은 가동전/중 검사에 적합한 적용규격(CODE, Standards) 및 규제기관에서 원하는 규제조건등과 부합하는 검사 계획단계에서 최종 보고서 단계까지의 전체 검사공정을 지원하는데 목적을 두고 있다. 이 시스템의 주요 기능은 검사계획, 검사 및 보고서출력, 검사과정 통제 및 해당 검사부위의 정보 찾기와 그 부위를 비주얼하게 찾아 갈 수 있는 자원관리 부분으로 구성된다. 본 시스템은 해당 용접부에 대해 2D로 된 위치정보와 3D로 제공되는 비주얼정보를 제공하고 이들은 데이터베이스 응용프로그램과 인터페이스하여 서로에 대한 정보를 공유하여 사용자에게 제공한다. iSIMS는 데이터베이스 관리 도구, 2D와 3D 비주얼 도구 등의 상용 소프트웨어 패키지를 사용하여 구현하였다. iSIMS에 대한 주요 기능과 기술은 본문에 기술하였다.

주요용어: 가동전/중 검사, 정보관리 시스템, 2D & 3D 비주얼 정보

Abstract The iSIMS is a web-based integrated information system supporting Pre-Service and In-Service Inspection(PSI/ISI) processes for the nuclear power plants of KHNP(Korea Hydro & Nuclear Power Co. Ltd.). The system provides a full spectrum coverage of the inspection processes from the planning stage to the final report of examination in accordance with applicable codes, standards, and regulatory requirements. The major functions of the system includes the inspection planning, examination, reporting, project control and status reporting, resource management as well as objects search and navigation. The system also provides two dimensional or three dimensional visualization interface to identify the location and geometry of components and weld areas subject to examination in collaboration with database applications. The iSIMS is implemented with commercial software packages such as database management system, 2-D and 3-D visualization tool, etc., which provide open, updated and verified foundations. This paper describes the key functions and the technologies for the implementation of the iSIMS.

Keywords: pre-service & in-service inspection, information management system, 2D & 3D visualization

1. 서 론

원자력발전소 운영과정에서 주기적으로 가동중검

사(ISI)를 실시하여 안전성 관련 설비의 건전성을 검사하고 있다. 가동중검사는 발전소 건설완료 단계에서 가동전검사(PSI)을 실시하여 시공된 설비의

건전성을 검사하고, 가동중검사를 위한 기초데이터를 확보하는 과정에서부터 시작된다. 이러한 가동전/중 검사업무는 적용 코드요건에 따라 가동전 검사계획(PSI Plan) 또는 장기 가동중 검사계획(Long Term Plan)을 수립하여 운영하고 있다.

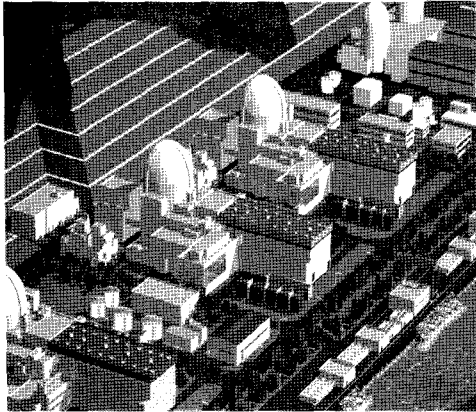


Fig. 1 Pilot system: Uljin nuclear power plant unit 1, 2

가동전/중 검사업무는 방대한 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, 적용 기술규격(Codes & Standards) 등 검사자원의 관리도 필요하며, 이를 위한 전산 시스템의 지원이 필수적이다. 또한 검사도면이나 3차원 모델과의 데이터베이스 연계를 통한 검사부위의 식별, 검색 등이 필요하며 결함지시의 해석을 위한 결함지시 계산 프로그램, 파괴역학 해석 프로그램과의 연계를 통한 통합적인 지원·관리체계가 요구된다.

현재는 주 전산기에서 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. 또한 장기 가동중 검사계획(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. 1998년부터는 가동전/중 검사계약이 자유경쟁 체제로 전환됨에 따라 검사업체가 변경될 수 있으며 이러한 경우 과거

검사결과와의 연속성이 유지되지 않거나 검사절차나 양식 등이 서로 상이하여 효율적인 검사관리에 어려움이 발생할 수 있다. 따라서 한수원(주) 및 검사업체가 공동으로 활용할 수 있는 데이터베이스 응용시스템 개발의 필요성이 대두되었고, 이를 위하여 전력연구원은 울진 1, 2호기 및 영광 5, 6호기를 대상으로 원전 가동전/중 검사정보관리 시스템을 개발하여 2003년 3월 영광 5호기 및 6호기 가동중검사 시에 울진 1, 2호기를 대상으로 개발된 pilot system을 적용하였다. 이로써 많은 시행착오와 운영과정을 통하여 보다 안정적인 시스템 기반을 구축하였고 11월 영광 6호기 가동중검사 시부터 현장에 적용하여 사용하고 있다.

2. 원전 가동전/중검사 관리시스템 개발

2.1. 개요

원전 가동전/중 검사는 원자력발전소 건설과정에서 기기 및 배관 용접부의 건전성 확인 및 후속 ISI 기초 데이터 확보를 위한 Baseline 구축을 목적으로 건설 관련 Code & Standards 요건에 따라 선정된 모든 검사부위를 대상으로 핵연료를 장전하기 이전에 모든 용접부에 대하여 비파괴검사를 수행하는 PSI(Pre-service Inspection : PSI)와 원자력발전소 운영 중 장기 가동중 검사계획 (Long-Term Inspection Plan, LTP)에 따라 Outage별 비파괴검사를 실시하여 용접부의 건전성 유지여부, 결함지시의 성장여부 등을 확인하는 ISI(In-service Inspection : ISI)시에 발생하는 모든 환경 정보와 자원, 검사결과 등의 정보를 저장한다.

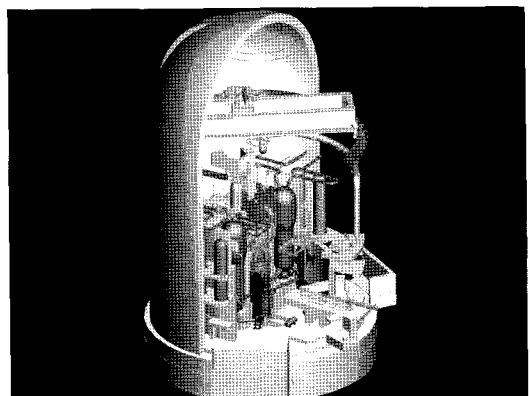


Fig. 2 Equipments for inside of containment building

본 시스템은 PSI/ISI에서 나오는 방대한 양의 정보와 복잡한 업무를 구축하는 시스템이기에 사용자 수, 개발 완료 후 유지보수 업무, 확대 적용에 따르는 확장성 문제, 구현의 용이함, 기술적 여건 등을 충분히 고려하였다. 따라서 이러한 문제점들을 해결할 수 있고, 현재 정보시스템 구축의 주류를 이루고 있는 웹을 기본 개발환경으로 설정하게 되었다. 웹 환경은 많은 장점 외에도 속도 및 트랜잭션 처리 등과 같은 문제점도 가지고 있다. 그러나 이러한 문제점들은 지속적으로 보완되고 발전추세에 있어서 기술적인 어려움은 없을 것으로 판단되었다. PSI/ISI 검사정보 데이터베이스 서버, 웹 서버, 클라이언트 모듈관리를 수행하는 메인서버를 구축하고, 현장에는 웹을 통해 메인서버에 접속시켜 클라이언트 구동모듈, 데이터베이스 등을 다운받아 운영할 수 있도록 시스템 운영 환경을 설정하였다. 시스템 사용자는 운영중인 PSI/ISI 웹 정보제공시스템에 접근하여 인증을 획득한 후 시스템을 사용할 수 있도록 하였다. 원전 가동전/중 검사관리 시스템은 발전소 호기별로 데이터베이스를 구축하고 담당자에 따라 해당 DB를 Access하도록 설계하여 일관된 데이터베이스를 구축하였고, 3D Model의 전체 Navigation 파일은 현장 서버에 위치시켜 네트워크 부하에 따른 문제를 해결하고자 하였다. 이러한 개발환경을 충족시키는 충분한 사양의 전산설비를 선정하여 도입하였고, 또한 개발된 모든 전산 S/W를 패키지화 하여 향후 타 원전 확대적용을 용이하게 하고, 추가비용을 최소화할 수 있도록 최적의 시스템 개발 계획을 수립하였다.

2.2. 시스템 구성

원전 가동전/중 검사정보관리 시스템은 단위 모듈을 개발하여 전체 시스템을 완성하는 형태로 추진되었다. 주요 개발모듈은 아래 Fig. 3과 같이 iSIMS(in-Service Inspection Management System), 원전설비 3D 위치정보인식 시스템 및 파괴역학분석(FMA:Fracture Mechanics Analysis) 시스템, PSI/ISI 웹 정보 제공시스템으로 구성되어 있고, 각 모듈별 인터페이스를 통해 연계되었다. iSIMS는 검사업무 전체 프로세스를 전산화하고, 데이터베이스를 구축하여 검사계획수립 및 검사결과 분석업무 등의 활용을 목표로 개발하였고, 원전설비 3D 위치정보인식 시스템은 담당자들에게 보다 효율적이고

시각적으로 검사부위 접근이 가능한 시스템으로 3D Navigation과 Floor별 조회 기능이 포함되도록 개발되었다.

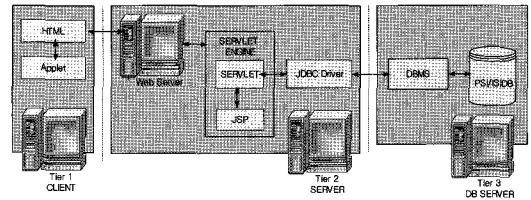


Fig. 3 Structure of system hardware

FMA 시스템은 기존에 클라이언트/서버 환경으로 구축된 파괴역학분석 프로그램을 Web 버전으로 Conversion하고 역시 DB 응용시스템과 연계하여 개발하였다. 또한 PSI/ISI 웹 정보제공 시스템은 발전소별 iSIMS 시스템 연계, 3D Navigation, 시스템 관리 등과 같은 PSI/ISI에 관련된 포털개념의 Web 사이트 구축을 목적으로 추진하였다.

원전 P/ISI 관리 시스템 개발

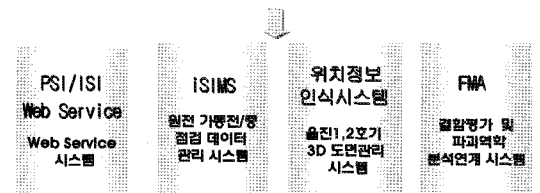


Fig. 4 Conceptual diagram of iSIMS

2.3. 시스템 개발

○ PSI/ISI

메인 페이지는 PSI/ISI 웹 정보제공시스템의 시작 페이지로 Fig. 5와 같이 시스템 Logo 및 메뉴, 메인 이미지, 사용자 인증 및 서브 메뉴, 시스템 연계 등으로 구성된다.

시스템 인증은 레벨별로 6가지로 분리되며, 시스템 관리자에게 사용권한을 요청해야 시스템을 접근할 수 있고, 관리자가 허용한 레벨에 따라서 해당 메뉴의 읽기 및 쓰기 권한이 제한된다.

○ iSIMS

원전 가동전/중검사 관리시스템은 시스템 성능

및 확장성, 개발 효율성, 구현 용이성, 최근의 시스템 개발주세와 발전전망, 외부시스템과의 인터페이스 개발 가능성 등과 같은 모든 환경을 검토하여 Web/Java 기반의 3-계층구조(3-Tier Architecture)로 시스템 개발환경을 설정하였다. 3-계층구조는 서버와 클라이언트 기능이 분리되어 수행됨으로써 여러 발전소에서 동시에 검사가 수행되는 경우 많은 수의 사용자 요구에 신속하게 대응할 수 있는 장점이 있으며 보안기능을 강화할 수 있다. 개발언어로 Java (SWING)를 사용함으로써 전산설비(H/W Platform)에 독립적인 특성을 가지며 사용자 인터페이스 표현능력이 우수한 장점이 있다. 주요 기능으로는 트리조회(Tree Navigation), 검사자원(Resource) 관리, 검사계획(Exam. Plan) 수립, 검사보고서(Exam. Report) 작성, 결함지시 해석 및 조치(Resolution), 통계산출 및 사업관리(Project Control), 참고자료(Reference) 관리 등이 있다.

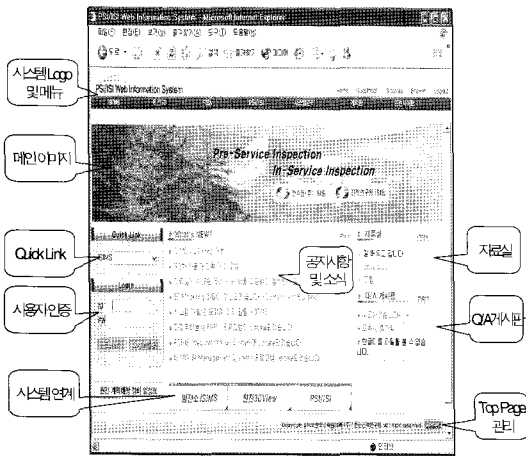


Fig. 5 Web environment of iSIMS

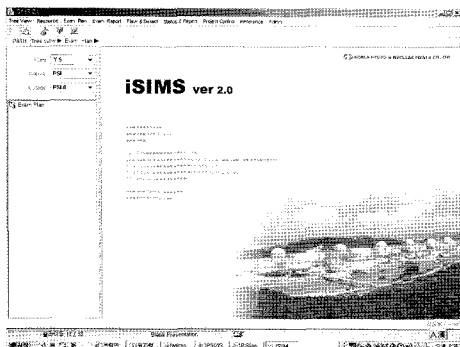


Fig. 6 ISIMS ver 2.0

○ 3D 위치정보 인식시스템

3D 위치정보인식 시스템은 가상현실기법을 도입하여 기존의 2차원적 DB 운영을 3차원 가상공간에서 운영함으로써 보다 효과적이고, 효율적인 DB 운용과 원전 가동중검사 검사자들이 실제 원전 내부를 들어가지 않고, 원전 내부 기기 및 배관 용접부 위치를 직접 확인이 가능하도록 구성하였다.

또한, 3D상의 검사부위를 iSIMS DB와 연결하여 검사부위를 3차원상에서 입체적으로 보면서 2차원 DB정보를 검색 할 수 있으므로 더욱 현실감있는 시스템 운영이 이루어진다. 또한 신규 검사자는 발전소 내부를 알 수 없으므로 Navigation의 기능을 이용하여 발전소 내부구조에 관한 교육 및 훈련의 효과를 얻을 수 있다.

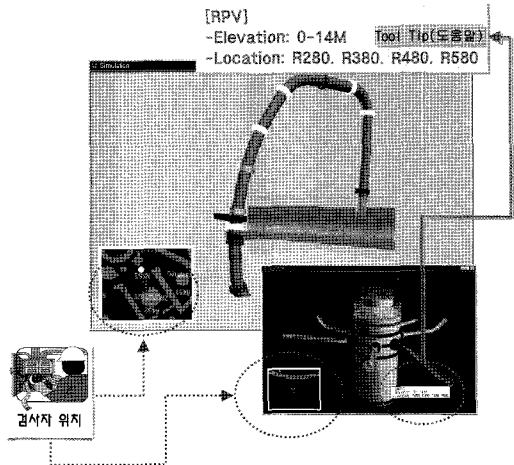


Fig. 7 3-D visualization system

○ 파괴역학분석(FMA) 시스템

파괴역학분석 시스템은 원자력발전소 가동중검사이 발견된 결함에 대한 안전성 평가를 수행하는 시스템으로 본 프로그램은 독립적인 평가뿐만 아니라, iSIMS와 연계되어 원자력발전소 가동중검사이 발견된 결함에 대하여 안전성 평가 수행이 가능하다. 원전 가동중검사이 비파괴 검사자가 보고서를 입력하게 되면 평가자가 Acceptance Standard를 이용하여 결함의 허용여부를 평가하게 된다. 이 기준은 ASME Sec. XI 결함 허용기준에 따라 개발되었으며, 이 허용기준을 만족할 경우 결함을 갖는 기기나 배관은 추가적인 조치없이 계속 사용이 가능하다. 만약, 이 기준을 초과하게 되면 기기의 안

전성 확보를 위해 파괴역학분석을 수행해야 한다. 이 때, 파괴역학분석에 필요한 응력, 하중이력, 구조물의 형상정보 등의 데이터들은 FMA DB에서 호출하여 평가를 수행하게 되며, 최종적으로 계산된 결과에 의해 유지, 보수 및 교체를 결정하게 된다.

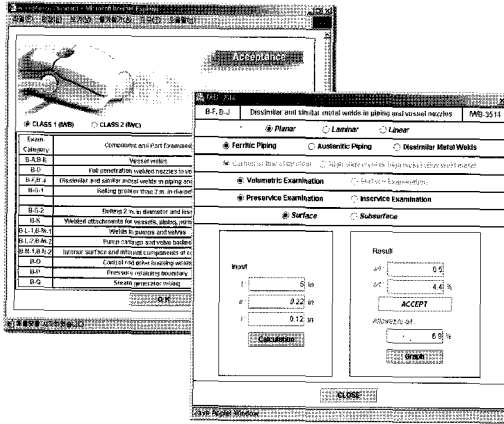


Fig. 8 FMA(fracture mechanics analysis)

2.4. 시스템 적용

Pilot 시스템으로 개발된 원전 가동전/중 검사정보관리 시스템 ver1.0은 울진 1발전소 기계부에 모든 연구 성과물을 인수인계하였고, 시스템의 원활한 운영을 위하여 본 시스템을 탑재한 서버급 워크스테이션을 울진 1 발전소에 설치하였다. 운영중인 모든 원자력발전소에 대한 가동중검사 관리 프로그램의 운영을 위해서는 한수원(주) 메인 서버 운영이 필요하다. 본 시스템은 웹 환경으로 구축되어 있어, LAN이 연결된 사용자는 누구나 접속하여 사용이 가능하며, 다른 목적으로 개발된 웹 환경 시스템과 연계가 가능하므로 통합적인 시스템 구축이 용이하다.

시스템 기능의 검증률 위해 울진 1호기 증기발생계통의 가동중검사 데이터 및 울진 1 발전소 'PRISM'(Program for ISI Management) 데이터 일부를 변환하고 이를 데이터베이스에 입력하여 테스트 완료하였다.

원전 가동전/중 검사정보관리 시스템 ver 1.0 시스템을 완성하기 전 사용자교육을 2차례에 걸쳐 시행하여 도출된 많은 요구사항을 수렴하였다. 이 시스템을 바탕으로 영광 5호기와 6호기를 대상으로 ver 2.0 시스템 작업을 수행하였다. 한수원(주) 자체

적으로 수행하는 영광 5호기 가동중검사 시 본 시스템에 시범 적용하고 모든 검사결과를 입력하여 예상되는 문제점을 해결하였다. 또한 여기서 도출된 많은 문제점과 운영 개선사항을 수렴하여 ver 2.1 시스템을 완성하였다. 향후 가동전/중 검사 수행자가 직접 검사를 수행한 후 본 시스템에 접근하여 모든 검사결과를 입력하여야 하므로 더욱 높은 사용자편의성에 중점을 두고 Upgrade를 시행할 예정이다. 또한, 영광 5호기 운영을 통하여 완성된 ver 2.1 시스템은 울진 1발전소에서도 직접 적용되므로 기존의 ver 1.0 시스템에서 관리하고 있던 자료들은 migration하여 신규 버전으로 설치할 예정이다.

3. 결론 및 향후 계획

본 시스템을 개발하기 전 조사한 바에 의하면 미국 SSI사가 유사한 데이터 관리시스템을 개발한 실적이 있으나 단순한 검사데이터의 관리, 검사자 관리기능을 제공하는 수준이었다. 기술수준은 미국 등 선진 원전 개발국의 경우 시장환경의 특성(많은 업체가 소수의 원전 운영 등)으로 인해 이 분야에 대한 집중적인 기술개발은 활발하지 않은 실정이었다. 그러므로, 개발된 원전 가동전/중 검사 정보관리 시스템은 가상현실, 웹 등의 최신의 기술을 적용하고, PSI/ISI 시 수행되는 복잡한 업무 절차를 시스템화 및 표준화하였다. 또한, 원전 3D 위치정보 인식 시스템으로 가상현실과 접목시켜 사용자가 발전소에 있지 않더라도 검사 전에 미리 자신이 검사할 부위를 위치정보 인식 시스템을 통하여 눈으로 확인할 수 있고 2차원 ISO도면 및 각종 정보를 링크하여 불러볼 수 있다. 본 시스템은 검사 시 발견된 결함에 대한 안전성 평가를 즉시 수행 가능하도록 하는 파괴역학분석 시스템 등으로 PSI/ISI와 관련된 모든 업무와 정보의 TOTAL Solution을 제공하는 세계 최초로 개발된 3D PSI/ISI 업무 지원 시스템이다. 이로써 검사계획, 과정 및 결과 운영과정의 자동화로 PSI/ISI 효율적 관리에 의한 검사기간 단축으로 원자력발전소 이용률 향상 및 원자력발전소 안정성에 크게 기여할 것으로 기대된다.

추후, 본 시스템의 모듈을 각 발전소에 맞도록 확대개발을 추진할 예정이며, 가동중검사 수행 시 본 시스템의 적용으로 검사 수행업체, 한수원(주), 전력연구원, ANI 등 여러 기관에서 검사결과와 신

속한 현황 파악 및 효율적인 검사 데이터 관리가 가능토록 할 예정이다.

참고문헌

- [1] ASME B&PV Code Sec. XI: Rules of Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, Division 1 (in English), (1995)
- [2] ASME B&PV Code Sec. V : Non-Destructive Examination (in English), (1995)
- [3] 울진원자력 1호기 제2주기 3차 가동중점검 최종 보고서, 한국전력공사(주), (2000)
- [4] 영광원자력 5호기 제 1주기 1차 가동중점검 최종보고서, 한국수력원자력(주), (2003)
- [5] Carmine Stragapede, "Design review of Complex mechanical systems using advanced Virtual Reality tools," IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol. 1, (1997)
- [6] Martin Schalz, "From High-End VR to PC-based VRML Viewing Supporting the Car Body Development Process by Adapted Virtual Environments," Proceedings of IASTED International Conference Computer Graphics and Imaging, (1998)
- [7] <http://www.webcomp.com/virtuale>
- [8] O. Hagsaud, "Interactive Multiuser VEs in the DIVE System," IEEE Multimedia, Vol. 3, No. 1, pp. 30-39, (1996)
- [9] R. B. loftin and P. J. keuney, "Training the Hubble Space Telescope Flight Team," IEEE COmputer Graphics and Applications, Vol. 15, No. 5, pp. 31-37, (1995)
- [10] Steven Feiner and Daniel Thaiman, "Virtual Reality," IEEE Computer Graphic and Applications, Vol. 5, pp. 24-25, (2000)