

핵 연료 교체 프로그램 구축을 위한 데이터 관리 프로세스 Data management process for nuclear fuel replace program construction

김영진 · 신원식 · 정희철

Young-Jin Kim and Won-Sik Sin and Hee-chul Jung
경희대학교 테크노공학대학, 경희대학교 산업공학과 대학원
College of Advanced Technology, Kyunghee University.
Industrial Eng, Kyunghee University.

Abstract

Nuclear power plant have focused constituent that is always safety. However, period set to observe element that is economic performance keeping inner place now. Hereupon, in this study, chose fuel replace that is on one main activity doing at nuclear power plant for the target. And chose computerization and data management for fuel replace process to the direction.

1. 서론

시스템에서 고정된 계층이라는 것은 때로는 흐름을 느리게 하는 요소가 되기도 하지만 안전이 중요시 되는 경우라면 이것은 훌륭한 안전 강화 요소가 된다. 그러나 이런 안전에 치중한 계층시스템이 장기간 지속될 경우 결국 애초에 문제였던 전체 흐름에 대한 부정적 영향요소가 결국 드러나게 되고 나아가서 그 부정적 요소는 시스템 전체의 효율성에 영향을 미치게 된다. 민간 기업에서는 ERP라고 하는 전사적 관리 시스템을 만들어 계층을 약하게 낮추어 유지하면서도 그 정보와 작업이 느려지는 것을 막는 시스템을 만들어내 널리 사용하며 뛰어난 시스템으로 평가받고 있다. 그러나 민간 기업이 아닌 좀 더 안전이 중요시되고 그 안전이라는 요소가 경제성이나 효율성이라는 항목을 압도하고 있는 기관이나 조직에서는 아직도 이런 시스템의 도입을 꺼려하고 있는 것이 현실이다.

본 연구에서는 ERP 개념을 기반으로 새로운 안전관리 및 전산화 시스템을 제안한다. 여기서 개념이라는 것은 단지 ERP의 데이터관리 기술만을 응용한다는 것일 뿐 기존의 ERP와는 개념이 상당히 다르다. ERP에서의 데이터베이스 관리 기법과 그를 통한 일정관리와 작업관리 기법을 사용하고 이를 안전관리와 HMI 기법을 사용하여 가시화하여 안정성을 유지하면서도 효율성과 경제성을 일정수준 만족시키는

시스템을 추구한다. 데이터가 축적된 후 이를 이용하여 자체적으로 데이터관의 연관성이나 향상성을 측정하여 시스템에서 얻어진 데이터가 신뢰성이 보장되도록 한다.

적용 대상으로 원자력 발전소의 핵 연료봉 교체 작업을 택하였다.

원자력 발전소는 사고 발생 시 엄청난 피해를 내기 때문에 위에서 말한 대로 효율성과 경제성보다 안정성을 주요소로 여겨왔다. 하지만 근래에 이르러 시스템의 노후와 늦은 내부 커뮤니케이션으로 효율성 향상이 눈에 띄게 되자 원전 고도화 사업의 일부로 핵 연료봉 교체 전 산화를 추진해 왔고 본 연구에서 해당 프로젝트를 전담 진행하기로 결정되어 첫 번째 대상으로 선택되었다.

2. 연구 분야

2.1 DB

DataBase는 여러 사람에 의해 공유되어 사용될 목적으로 통합 관리되는 정보의 집합이라는 개념으로 작게는 정보의 저장부터 갱신, 재배포, 무결성 확보 등 다양한 목적을 갖고 사용된다.

DB를 사용할 경우 데이터의 안정성이 높아지고 이에 따라 시스템 전체의 안정성이 높아지게 되며 정보의 접근 대상에게 빠르고 간편하게 정보를 제공할 수 있다.

본 연구에서는 DB를 상위의 서버에 위치시켜

각 클라이언트가 서버에 접속하여 DB를 검색하고 작업에 적용시키는 방식을 사용하는 방식을 사용한다.

2.2 HMI

HMI는 Human Machine Interaction의 준말로 HCI(Human Computer Interface)라고도 한다. 보통 인간과 기계의 대화 또는 의사소통이라고 하며 대부분 디스플레이와 인터페이스의 형태로 구현된다. 즉 좀더 보기 편하고 조작하기 편하며 실수를 줄일 수 있는 방법에 대한 방법에 대한 연구이다. 모든 시스템에서 공통적으로 인적오류를 최소화하고 안정성과 신뢰도를 추구하는 만큼 HMI가 강조 될 수밖에 없다.

본 연구에서는 HMI의 개념을 사용할 부분을 화면상 제어 인터페이스로 국한하고 있다. 이유는 실제 데이터를 갱신할 수 있는 권한을 가진 작업은 극히 일부이며 대부분 작업은 모니터링이나 데이터에 대한 열람 및 비교가 주 업무라고 판단했기 때문이다.

2.3 GUI

GUI, 즉 Graphic User Interface는 HMI 개념의 연장선상에서 나온 개념으로 그래픽을 통해 정보를 보여준다는 개념이다. 간략히 말해 DOS 환경에서 GUI를 접목시킨 OS가 Window 시스템이다.

본 연구에서는 GUI를 통해 쉽게 보고 실수를 제한시키는 형태의 시스템을 만들어 나갈 것이다. 처음 연구 분야에서도 설명했듯이 이 부분에 대한 연구는 지속적으로 진행될 것이다.

3. 연구 적용 대상

본 연구의 연구 적용 대상은 원자력 발전소의 연료봉 교체 작업이다.

원자로 내부에서 연료봉은 Fresh(신규 투입 연료봉), First Burn(1회 연소), Second Burn(2회 연소)의 3단계로 분류된다. 이중 Fresh와 First Burn은 추출, 점검 후 분포를 다시 설정하여 재장전하고 Second Burn은 추출 후 일괄 폐기한다.

실제 작업에서의 경우 연료봉의 점검 및 재분포를 위해 원자로에서 제거 후 크레인, 리프트와 이동로를 통해 별도의 저장 풀로 옮긴 후 미리 준비된 신규배치도에 따라 원자로에 다시

옮겨진다.

배치는 원자로 내의 에너지 레벨의 균일화를 구현하기 위해 진행된다.

원자로 정지	
RSC 1차 냉각	28H
원자로 주변 구조물 분해	68H
원자로 분해	50H
연료인출 및 검사	94H
CBS 인양/내부 육안 검사	24H
Rx Stud Hole 점검	40H
연료장전	96H
원자로 조립	42H
원자로 주변 구조물 조립	56H
ILRT	108H
RSC 배기	12H
가열	34H
원자로 시험	48H
TG 기동	20H
발전 개시	
총 작업 기간	718시간

Fig.1 울진 3호기 재장전 보수작업 업무 일정

Fig.1에서 보는 것처럼 총 재장전 보수작업 시간은 718시간이다. 이 중 연료봉의 인출 및 장전에 필요한 시간은 인출 시 94시간, 장전 시 96시간이다. 이는 총 점검 시간 중 약 26.5%를 차지하는 시간이다.

전체 재장전 보수작업 시간 중 구조물의 분해와 조립, 시험가동에 들어가는 시간을 제외할 경우 총 작업시간은 254시간이고 이를 기준으로 할 경우 연료봉 인출&장전에 들어가는 시간의 비중은 75%에 이를 정도로 큰 비중을 갖고 있다.

특히 시간적 낭비가 있다고 생각되는 부분이 연료봉 인출&장전에 있다고 보는 경향이 강하고 또 그 해결을 위해 본 연구가 이루어지게 됐다.

4. 데이터 베이스의 개발

4.1 데이터 베이스

데이터베이스는 시스템의 근원이 되는 분야로 전체 시스템의 개략도이자 설계도 역할을 하기도 한다.

목표는 안정성과 효율성을 동시에 추구할 수 있는 DB의 구축이다. 안정성이라는 중요 모토에 저하를 일으키지 않으면서도 효율성을 증대시킬 수 있는 데이터의 일괄 관리와 시스템 내

부에서 중요 프로세스를 처리하는 기능을 이용하여 좀 더 일원되면서도 전체를 일목요연하게 볼 수 있는 시스템의 구축이다.

데이터간의 연관성과 그 연관성에 대한 다양한 각도의 분석을 제공해 줌으로써 시스템의 편의성 증대와 숙련기간 단축, 오류 감소 등 내부 환경 개선과 함께 시스템 전체에 대한 신뢰성 증대에 기여하는 것이 연구의 궁극적 추구 방향이다.

4.2 데이터 베이스의 개발

사용할 데이터는 울진 3호기 작업 절차서와 한국형 표준 원전 계통 실무서를 기본으로 하여 작성되었으며 작업의 고유번호등은 2004년도 2분기 울진 연료봉 교체작업표를 기준으로 작성 하였다.

현재 만들어진 DB는 총 2개의 대분류로 나누어져 있으며 필요에 따라 확장해 나가는 방식을 사용한다.

최종적 목표는 7개의 DB를 연계해 총체적으로 이력과 결과값을 관리하는 시스템을 구축하는 것이다.

해당 데이터들은 각 데이터들의 관계와 내부 내용은 테이블 명세표와 E-R Diagram을 통해 볼 수 있다.

Fig.2 Table 명세표 1

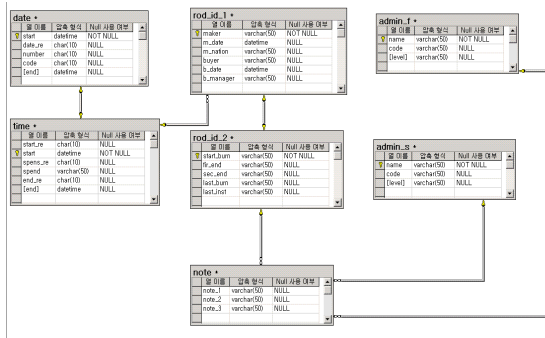
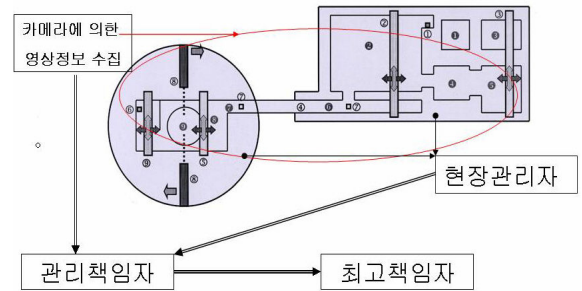


Fig.3 E-R Diagram

4.3 구성원간의 커뮤니케이션

프로세스에 접근하는 인원은 그 위치에 따라 크게 3단계로 나뉜다. 이는 현장관리자, 현장 책임자, 최종 책임자의 3단계이며 각각의 단계에 따라 접근 가능한 프로세스와 정보 열람 수준이 다르게 책정되며 각각 보고와 승인의 단계를 실시간으로 거쳐 작업을 진행한다. 그리고 각 프로세스가 종료 시 최상부의 승인을 거쳐 DB가 갱신된다.

이 전체 프로세스는 각자 접근에 관련된 페이지가 정해져 있으며 실제 DB수정 권한자와 그 수정에 대한 승인자를 분리시켜 각자의 고유 권한을 프로그램 내부에서 서로 연계하는 방식을 사용한다. 각 사용자의 권한과 프로세스의 흐름은 아래 그림에서처럼 이루어진다.



→ 데이터의 흐름

Fig.4 프로세스의 흐름

각 구성원간의 정보 교류는 실시간의 문자 전송 시스템으로 구현했으며 이후로도 다양한 방식으로 보조하는 것을 모색 중이다.

Fig.5 의사소통을 위한 메신저

4.4 데이터의 무결성

데이터의 무결성을 확보하는 것이 가장 중요한 부분 중 하나이며 이를 위해 데이터의 지속적인 축적을 통해 지금까지 쌓아둔 데이터와

현재 작업의 데이터의 연관성을 측정하는 방식을 도입하고자 한다. 이러한 방식을 사용할 때만 비로소 얻어진 데이터에 대해 신뢰가 생기기 때문이다.

이를 위해서는 모든 원전에서 동일하게 적용할 수 있는 플랫폼을 만드는 것이 필요하다. 이 부분에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

5. 시스템 개발

5.1 시스템의 설계

시스템의 구성은 GUI를 기반한 윈도우 프로그램으로 결정. 진행하였으며 HMI의 이론을 적용하고자 노력하였다.

윈도우 기반의 GUI계열 프로그램의 경우 대부분의 작업을 Click and Drag로 처리할 수 있어 숙련 기간이 짧고 실수가 적다는 장점이 있다. 단점은 순간의 실수로 예상치 못한 작은 실수가 나타날 수 있다는 점이다. 이 부분을 해결하기 위해 주요 작업의 길목에 재확인 기능을 삽입하여 혹시 발생할지 모를 미인지 실수를 방지하도록 프로그램 하였다.

또한 DB를 상위 서버에 올려놓은 후 모두 열람은 가능하나 그 수정은 정해진 사용자만이 가능하게 함으로써 임의로 데이터를 수정하거나 삭제할 수 없도록 하는 안전장치도 충분히 고려하였다.

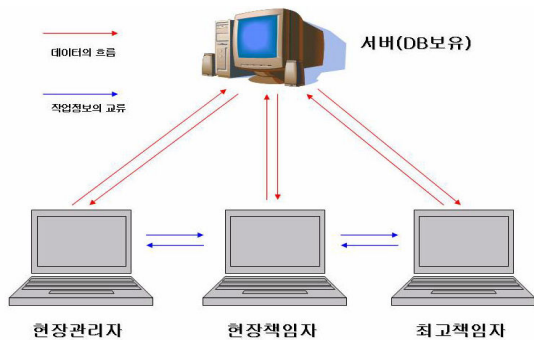


Fig.6 시스템 구성

5.2 시스템의 개발목표

시스템 전체는 작업이 진행을 따라 적절한 정보제공과 편의성 제공, 실수가 잦은 부분에 대한 경고 제공을 주 기능으로 하고 있다.

주 작업 순서는 로그인-조회-작업 선택-진행-완료의 순서로 진행되며 완료 후에는 다시 작업 선택으로 돌아가 작업을 진행한다.

연료봉 교체작업이 24시간 지속되며 중간에

인원이 자주 교체되는 작업이기 때문에 작업 인원 교대간의 인수인계의 용이성 증대와 장기간 작업에 의한 집중력 저하에서 일어날 수 있는 실수를 방지할 수 있도록 간략하면서도 보기 쉽게 하는데 주력하였다.

5.3 시스템의 구성



Fig.7 로그인 화면

로그인의 경우는 서버에 있는 사용자 정보에 의해 아이디와 패스워드가 생성되고 해당 아이디마다 할 수 있는 일의 범위가 달라진다.

로그인에 관련된 데이터는 일반적으로는 수정이 불가능 하도록 서버 안에서도 격리시켜 놓을 것이고 그 수정 및 추가는 최고 책임자만의 권한으로 해 둘 것이다.

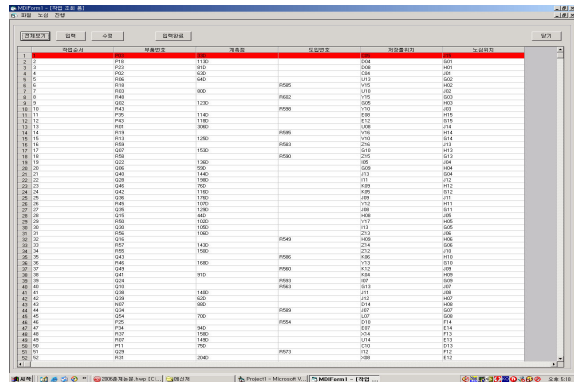


Fig.8 데이터 조회 화면

데이터의 조회는 이미 작성된 데이터를 불러오는 기능과 새로 데이터를 작성하는 기능, 데이터를 삭제하거나 수정하는 기능을 모두 포함한다. 데이터의 조회는 제한이 4000으로 되어 있어 넉넉하지만 데이터의 보존을 위해 수정, 삭제는 1행씩만으로 제한하고 있다.

수정 혹은 삭제된 데이터의 기록은 현재는 아무 기능 없이 삭제나 수정이 되지만 차후에는 다른 DB에 해당 작업 기록이 남도록 할 예정

이다.

현재 데이터 조회는 스프레드 방식을 사용하고 있으며 Spread 6.0을 이용하여 컨트롤 하고 있다. 이는 대부분의 데이터가 엑셀로 이루어져 있어 그 적용을 쉽게 하기 위해서다.

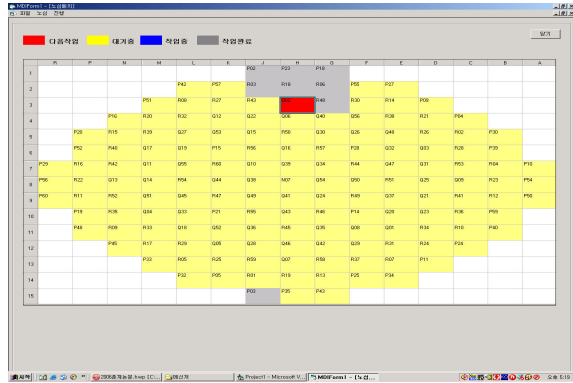


Fig.9 작업 선택 화면

작업의 선택은 원자로 내부의 모습을 본뜬 필드에서 원하는 작업을 선택하여 클릭함으로써 프로세스가 진행되도록 하였다. 이는 현장에 있는 작업자가 좀 더 친숙하게 다가설 수 있고 실수를 줄일 수 있다는데 착안하여 이러한 형태로 만들었다. 실제로 이러한 방식을 도입한 후 원자력에 대한 지식만 있고 해당 프로그램에 대한 지식이 없는 사람도 쉽게 접근할 수 있는 경우를 볼 수 있었다. 아래는 실제로 원자력 발전소에서 작업자들이 사용하는 연료봉 배치표다.

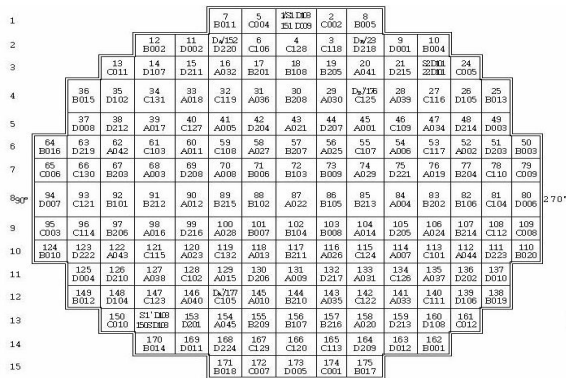


Fig.10 실제 연료봉 배치표

이렇게 접근이 용이하도록 함과 동시에 이미 진행된 작업과 진행될 작업, 진행 중인 작업, 대기 중인 작업을 각각 다른 색으로 표시하여 작업 전체의 진행 상태 및 예정사항에 대해 한 눈에 들어오도록 했다.

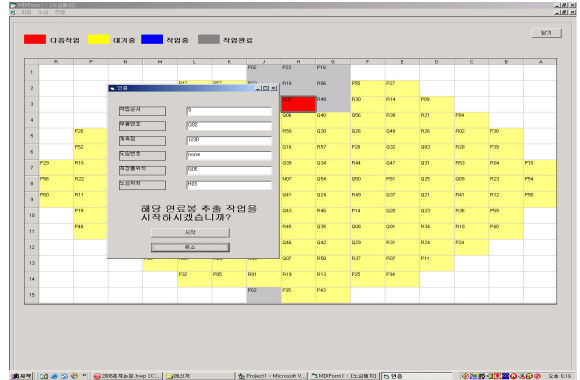


Fig.11 작업 시작 확인 화면(승인 요청 전)

작업을 시작하기 위해 해당 연료봉의 위치를 클릭하면 위와 같은 확인창이 나온다. 확인 창에는 다시 해당 연료봉에 대한 정보를 열람해 줌으로써 작업에 대한 재확인을 통해 실수를 막을 수 있다.

이 화면에서 작업 개시 화면으로 진행할 수는 있지만 상위 책임자의 승인이 있어야만 다음 작업을 진행시킬 수 있다. 임의로 작업이 개시 되면 중단 시키는 것이 힘들기 때문이다.

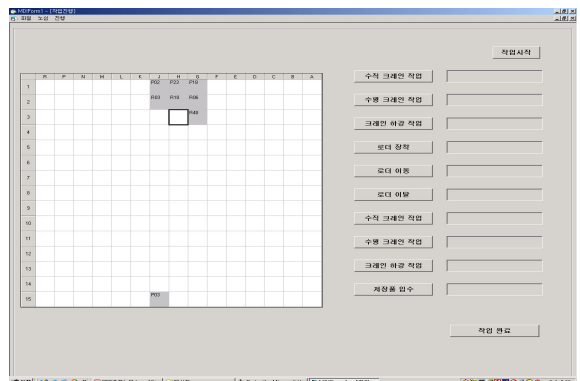


Fig.12 작업 시작 화면(승인 후)

승인이 난 후에는 작업을 개시하게 되며 각 세부 작업의 진행도는 작업별로 옆에 표시된 프로그래스 바를 통해 쉽게 볼 수 있다.

이 작업의 진행은 현장의 작업자 뿐 아니라 모니터 중인 상위 책임자도 같이 볼 수 있으며 실시간 영상을 확보할 수 있는 시스템이 있을 경우 그 내용도 함께 보여주는 것도 고려하고 있다.

10개의 세부작업이 모두 끝나면 완료 확인 화면으로 진행된다.

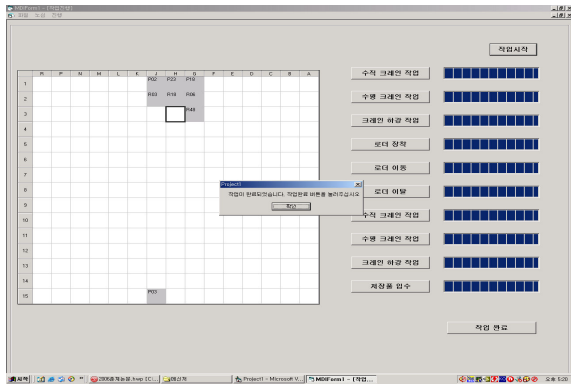


Fig.13 작업 종료 화면

작업이 모두 종료된 후에는 확인을 한 후 작업 종료를 하면 다시 작업 선택 화면으로 돌아가 다음의 작업을 진행할 수 있게 된다.

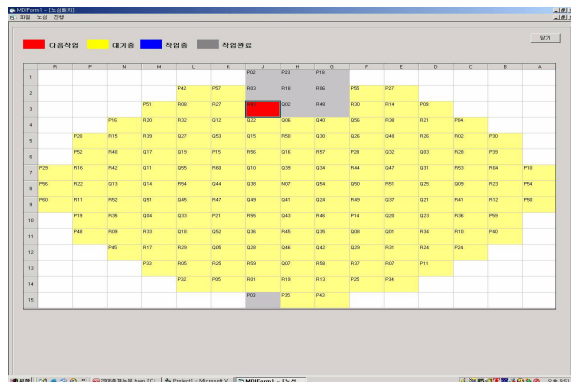


Fig.14 작업 선택 화면으로 복귀

전 작업이 작업 완료인 회색으로 변해 있고 다음 작업이 붉은색으로 표시되어 준비가 되었음을 보여준다. 이러한 방식으로 작업 전체에 대한 가이드를 제공한다.

5.4 시스템의 적용

2004년과 2005년에 있었던 원자력 발전소 실무인원들과의 워크샵을 통해 시연을 한 결과 좋은 반응을 얻었다.

현재의 시스템으로 실제 현장 적용을 추진하는 것은 당장은 힘든 부분이 있지만 시스템 전체에 대한 지속적 보수와 추가적 연구를 통해 실제 현장에서 사용이 가능하도록 하여 대상으로 삼고 있는 울진 3호기에 대해 실무 적용을 하는 것을 목표로 하고 있다.

6. 연구결과

프로그램 작성, DB작성, 그래픽 구현의 3가지가 요소 모두 1차 작업이 완료된 상태이다.

하지만 프로그램의 세부적 표현이나 DB의 최신화등 아직 진행해야 할 부분이 남아있다. 세 번째 요소인 그래픽 구현 부분은 좀 더 유저 친화적인 환경을 만들어야 한다.

현재의 결과로 미루어 볼 때와 사용처인 원자력 발전소의 폐쇄성과 안전 제일주의를 고려해 볼 때 시스템의 신뢰성과 실현성을 모두 이루기 위해서는 좀 더 고도의 기술이 요구될 것으로 보인다.

이를 위해서 연구를 추진하고 있는 분야가 ActiveX 기반의 웹 컨트롤과 Data Mining을 이용한 데이터의 체계화와 검증이다.

이 두 가지 부분에 대한 추가적인 연구와 적용을 통해 다중 디스플레이를 통한 데이터의 분할과 모바일 통신기기(PDA)를 통한 실시간 관리가 가능해지고 작업을 통해 얻어진 데이터가 어떤 의미를 가지고 있는지, 어떤 문제점이 있는지에 대해 일목요연하게 알 수 있는 시스템이 만들어질 것이라 예상된다.

7. 참고문헌

- (1)“국내 원전 현황”, 한국 수력원자력 공사, 2003
- (2)“원전운영절차서”, 한국 수력원자력 공사, 2003
- (3)“울진 3호기 작업 절차서(사본)”, 울진 원자력 발전소, 2004
- (4)“SMERP”, 대한 상공 회의소, 2003
- (5)“Data Base”, MS-SQL 가이드 북, 1999
- (6)“Designing the User Interface”, Ben Shneiderman, 1998
- (7)“한국형 표준 원전 계통 실무”, 한국 수력원자력 연구원, 2000