

핵 연료봉 교체 전산화 개발

Development of Automation Process for fuel Reload Operation

김영진 · 신원식 · 정희철

Young-Jin Kim and Won-Sik Sin and Hee-Chul Jung

경희대학교 테크노공학대학

경희대학교 산학기술협력연구원

College of Advanced Technology, Kyung Hee University.

Industrial Liaison Research Institute, Kyung Hee University

Abstract

In nuclear power plant, the source of the energy is generated from the nuclear fuel rod. Given a certain level of consumption, the burnt fuel rod should be removed and replaced by a new(fresh) one. The burnt fuel is approximately one third of the whole fuel rods. Currently, this operation is done manually using paper documents and verbal communication and consumes a lot of operation time. In this study, we develop an computerized operation process of nuclear fuel rod replacement procedure based on the ERP(Enterprise Resource planning) methodology.

1. 서론

원자력은 현재 한국 내의 전력 생산의 40%를 담당하는 주요 에너지원이다. 그렇지만 원자력에너지 자체의 청정성에도 불구하고 나오는 폐기물이나 사고시의 위험 때문에 안전이 중요시 되는 장소로 인식되어 있다. 또한 원자력 발전소의 현장에서도 안전에 대한 의식이 최우선으로 인식되어 있다.

하지만 이 때문인지 현재의 원전들은 대부분 십년 이상의 오래된 시스템을 고수하고 있다. 안전한 시스템을 계속 사용함으로써 안전관리를 극대화 한다고 하지만 이를 다르게 보면 오히려 안전관리에 역행하는 행동이 될 수도 있다. 안전에 대한 기술도 점차 발전하고 좀 더 나은 안전관리기법이 나오는 만큼 새로운 시스템으로 변경할 필요가 있다.

또한 원자력 발전소는 매 년 한 번씩은 정기적으로 검사를 받으며 사용한 핵 연료봉을 교체하도록 되어 있다. 이는 안전 점검의 기능 뿐 아니라 다 사용한 연료봉을 제거하고 새로운 연료봉을 장전하고 이것을 통해 원자로 내의 전체적인 에너지 균형을 이루

는 작업이다. 이를 통해 좀 더 안정적이고 지속적으로 효율적인 에너지 생산을 할 수 있다.

이 점검 작업은 필수적인 것이기는 하지만 점검기간동안 발전을 하지 못하는 것은 분명한 것이고 이는 전력 수급에 영향을 줄 수 있게 된다. 비록 점검이 일 년 중 한번이기에 4기의 원자로가 주기적으로 번갈아가며 점검에 들어가고는 있지만 그 공정기간 동안 전력 수요는 끝없이 발생하고 절기나 특별한 시류에 의해 부족 사태가 일어나거나 하면 손실이 생길 가능성이 있다. 이는 필연적으로 다른 가동 중인 원자로에 부담을 줄 수도 있다. 또한 공정 자체의 비용 및 시간 부담이 매우 크고 번거롭다.

이에 본 연구에서는 ERP 개념으로부터의 새로운 안전관리 및 전산화 시스템을 제안한다.

ERP에서의 데이터베이스 관리 기법과 그를 통한 일정관리와 작업관리 기법을 사용하고 이를 안전관리와 HMI 기법을 사용하여 가시화하여 안정성과 경제성을 모두 만족시키는 시스템을 추구한다.

2. 연구 분야

본 연구에서는 일차적으로 핵 연료봉 교체의 전산화. 이차적으로 전산화 시스템에 안전과 신뢰에 대한 요소를 삽입하는 두 단계에 걸쳐 이루어진다. 일차 단계에서는 시스템에 대한 프로그래밍과 DB구축을 중심으로 할 것이며 프로그래밍은 VB.NET를 기반으로 작성한 후 CS 형태를 갖도록 한다. 또한 데이터베이스를 작성하면서 과거의 기록을 수록하고 현재의 상황이 실시간으로 갱신될 수 있도록 한다. 이 부분에서는 정보의 효율적 활용과 사용에 대해 집중적으로 연구하여 경제성 향상을 이끌어 낼 수 있도록 한다.

이를 마친 후 이차 단계에서는 HMI와 GUI에 기반한 환경 제공에 주력할 것이다. HMI 관점 하에서 다양한 시도를 해 볼 것이며 주요 목표는 인적오류 감소와 숙련시간 감소에 주요 목적을 두어 안정성의 향상을 주목으로 한다.

2. 재장전 업무 진행 과정

2.1 국내 원자로의 현황

국내에는 1969년부터 정부가 원전 건설을 추진하기로 방침을 결정한 이후 1996년 1월 현재 600MWe급 가압경수형 원자로(Pressurized Water Reactor : PWR)인 고리 1-2호기, 900MWe급 PWR인 고리 3-4호기, 영광 1-2호기, 울진 1-2호기 1000MWe급 PWR인 영광 3-4호기, 그리고 600MWe급 가압중수형 원자로(Pressurized Heavy Water Reactor : PHWR) 월성 1호기 등 11기가 가동 중에 있으며, 700MWe급 PHWR 월성 2~4호기, 1000MWe급 PWR인 울진 3-4호기 및 영광 5-6호기 등 7기가 건설 중에 있다. 또한 2010년까지 1000MWe급 PWR은 울진 5-6호기를 포함하여 6기, 1300MWe급 PWR인 차세대 원자로 4기의 건설을 계획하고 있다.

이중 울진 3,4호기는 참조 발전소를 우리나라 기술 자립 노형인 영광 3,4호기를 기본모델로 하고, 표준화 제 1단계에서 제 3단계 사업을 통하여, 경수로 개량 사업에서 도출된 설계 개선 사항 중 현실성이 있는 것을 채택하여 우리 고유의 모델화한 원자로이므로 “한국형 표준 원전 (Korea Dstandard Nuclear Power Plant : KSNP)” 이라고 한다. 다시 말하면 울진 3,4호기가 한국형 표준원전 1,2호기 (KSNP Unit 1 and Unit 2)가 된다.

이 중 현재 개선 연구에 필요한 데이터의 수집 장소 및 개선 방안의 대상은 KSNP Unit 1인 울진 3호

기를 중심으로 하고 있다. (1)

2.2 가압경수로 울진 3호기의 재장전 보수작업

현재 주력원자로인 1000Kw급 가압경수형 원자로이자 한국형 표준 원전 1호기인 울진 3호기를 기준으로 볼 때 재장전 보수작업과 그 핵심작업인 연료봉 재장전 업무는 1년에 한 번씩 실행된다.

즉 현재는 1~4호기까지의 원자로들이 각 분기마다 재장전 보수작업에 들어가고 있으며 차후 5-6호기가 완성될 때를 대비하기 위하여 6분기에 대응하도록 작업시간의 단축을 시도하고 있다. 1-2호기와 3-4호기는 제작년도나 방법, 출력량이 달라 규모 상에 차이 때문에 작업시간에는 차이가 있으나 차후 원자로 설계에 KSNP가 기준이 될 것이기 때문에 3-4호기만을 기준으로 하겠다.

2.3 연료봉의 분류

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 폴로 옮긴 후 미리 준비된 신규 배치도에 따라 원자로에 다시 옮겨진다.

배치도는 원자로 내의 에너지 레벨의 균일화를 구현하기 위해 작성된다.

2.4 재장전 업무의 비중

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 여러 방법이 모색되고 있다.

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 Operation procedure fuel rod replacement for Uljin #3

2.5 재장전 업무 중 개선대상

아날로그 방식의 장비를 디지털화 할 필요가 있다. 그리고 여기에 최적화된 시스템을 통해서 불필요한 시간을 줄이고 업무의 딜레이를 최소화 한다. 또 작업 루틴상의 시간적 낭비나 작업 순서에 대한 개선 방안을 강구하며 해결에 대한 자동적 시스템을 구축한다. 그 방법으로는 ERP 개념의 통합관리시스템과 GUI를 이용한 Human Machine Interface 구현, DB의 연동을 통한 정보의 관리와 축적을 생각해 볼 수 있다.

3. 기술적 배경

3.1 ERP System & SHRP System

ERP 시스템은 Enterprise Resource Planning의 준말로 전사적 자원관리라고도 하는 종합 관리 시스템이다. 근대화가 이루어진 후 꾸준히 발전해 온 관리 기법 중 최신의 기술로 기업의 이익을 위해 사내의 모든 정보와 자원을 한곳으로 모으는 기능을 갖는다. 하지만 본 연구에서 주제로 삼고 있는 원전 핵 연료봉 교체 전산화는 경제적 개념 이외에 안전과 절대적 정확이라는 두 요구사항을 갖고 있다. 따라서 ERP의 개념 하에 안전을 보장해주는 SHRP를 제안하고자 한다.

SHRP는 Safety & Hold Resource Planning의 준말로 안전&제어 자원관리라고 한다. 이는 본래 존재하는 개념은 아니고 본 연구를 하는 과정에서 나온 개념을 표현하기 위해 만들어진 용어이다.

ERP는 대량의 정보를 빠르게 제공하고 그 교류를 활발하게 함으로써 기업 이익에 극대화를 노린다. 또한 그 정보의 저장과 추출을 통해 새로운 정보를 만들어 낸다. 즉 정보를 통한 전체의 제어를 우도한다.

SHRP는 이와는 약간 다르게 정보의 개념을 새로운 정보의 창출과 이용보다는 현재의 시스템의 안정과 시스템 신뢰도 향상에 목적을 둔다. ERP와 SHRP의 차이점은 표1) 에서 보여준다.

ERP	SHRP
대량의 정보	소량이나 한눈에 명확히 볼수 있는 정보
텍스트 형식 or 그래프 형식	이미지 형식 or 시간개념의 형식
데이터 피드백을 통해 새로운 정보 창출	데이터 피드백을 통해 현 시스템의 신뢰도 확인
정보에 의한 제어 (선 정보 후 제어)	제어를 통한 정보 (선 제어 후 정보)
다수의 사용자	소수의 사용자
현재까지의 결과	현재의 상황

Fig.2 ERP와 SHRP의 차이점

3.2 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 연구이다. 본 연구에서 추구하는 SHRP는 인적오류를 최소화하고 안정성과 신뢰도를 중시하는 만큼 HMI가 강조 될 수밖에 없다.

본 연구에서는 HMI의 개념을 사용할 부분을 화면상 제어 인터페이스로 국한하고 있다. 그 외에 구체적인 제어장치의 배열이나 조작 설비의 환경은 경희대학교 인간공학연구실에서 제안한 방식의 환경을 기준으로 연구를 실행하고 있다.

3.3 GUI

GUI는 graphical user interface의 약자로 사용자가 그래픽을 통해 컴퓨터와 정보를 교환하는 작업 환경을 말한다. 이제까지의 사용자 인터페이스는 레버와 버튼을 통한 명령으로 작업을 수행시켰고, 화면에 램프로 표시하였다. 그래픽 유저 인터페이스에서는 마

우스 등을 이용하여 화면의 메뉴 중에서 하나를 선택하여 작업을 지시한다.

GUI의 요소를 살펴보면 윈도우(Windows), 스크롤바, 아이콘 이미지, 단추들을 포함한다. 1980년대 후반부터 IBM PC 및 워크스테이션에서도 GUI가 보급되어 현재의 컴퓨터는 GUI를 사용하고 있다. 마이크로소프트사의 윈도우, 애플 매킨토시의 GUI가 그 예이다.

GUI는 HMI(Human Machine Interface)의 관점에서 볼 때도 매우 우수한 면을 갖고 있다. GUI는 보기 쉽고 조작이 간편하며 기술습득기간을 줄이고 인적 오류를 최소화 시켜준다.

GUI를 사용할 경우 그 조작방법의 숙련이 쉽고 사용 시에도 편리하다. 간단하다는 것은 그만큼 실수도 적다는 뜻이다. 또한 조작에 단계를 둬으로써 순간의 실수로 인해 업무 전체에 지장을 주는 것을 막을 수 있으며 자신의 업무처리에 확신을 갖도록 할 수 있다.

GUI의 또 다른 장점은 각종 데이터에 대한 조회가 일목요연하게 보인다는 것과 한 번에 많은 데이터를 보여줄 수 있다는 점이다.

3.4 DB

DataBase는 여러 사람에 의해 공유되어 사용될 목적으로 통합 관리되는 정보의 집합이라는 개념으로 작게는 정보의 저장부터 갱신, 재배열, 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.

특징은 다음과 같다.

DB의 특징은 첫째 똑같은 자료를 중복하여 저장하지 않는 통합된 자료이며, 둘째 컴퓨터가 액세스하여 처리할 수 있는 저장장치에 수록된 자료이며, 셋째 어떤 조직의 기능을 수행하는 데 없어서는 안 되며 존재 목적이 뚜렷하고 유용성 있는 운영 자료이기 때문에 임시로 필요해서 모아 놓은 데이터나 단순한 입출력 자료가 아니라는 점이며, 넷째 한 조직에서 가지는 데이터베이스는 그 조직 내의 모든 사람들이 소유하고 유지하며 이용하는 공동 자료로서 각 사용자는 같은 데이터라 할지라도 각자의 응용 목적에 따라 다르게 사용할 수 있다는 점이다.

4. 연구 분야

4.1 데이터 베이스의 개발

데이터베이스는 시스템의 근원이 되는 분야로 전체 시스템의 개략도이자 설계도 역할을 하기도 한다. 현재 만들어진 DB는 총 7개의 대분류로 나누어져 있으며 필요에 따라 확장해 나가는 방식을 사용한다.

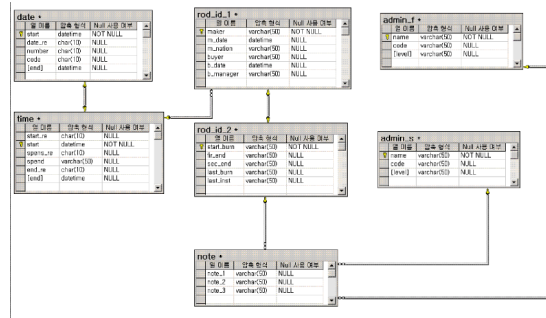


Fig.3 E-R Diagram

위 E-R Diagram에서 보듯이 각 영역은 서로 연관된 영역과 실시간으로 교류를 가지며 필요에 따라 서로 겹쳐지는 데이터를 자동적으로 수정한다. 현재 드러나 있는 E-R Diagram은 데이터 영역의 확장을 고려하여 최대한 피드백을 제한한 형태이며 완전한 데이터가 확보되는 대로 실제 사용할 수 있는 E-R Diagram이 나올 것으로 보고 있다.

위에서 보이는 영역들은 다시 세부적인 데이터의 필드들로 이루어지며 각 필드마다 그곳에 적합한 데이터 형식과 간략한 설명, 고유번호 등이 붙게 되며 이를 통해 데이터의 신뢰도를 높이고 사용을 쉽게 한다.

기타 상세한 내역은 Table 명세표를 통해 보여진다.

The screenshot shows a table specification window with the following data:

필드 이름	데이터 형식	Nullable	기본값	설명	비고
rod_id	varchar(50)	NOT NULL		로ッドID	
rod_name	varchar(50)	NOT NULL		로ッド명	
rod_type	varchar(50)	NOT NULL		로ッド종류	
rod_status	varchar(50)	NOT NULL		로ッド상태	
rod_location	varchar(50)	NOT NULL		로ッド위치	
rod_date	datetime	NOT NULL		로ッド일시	
rod_time	datetime	NOT NULL		로ッド시간	
rod_admin	varchar(50)	NOT NULL		로ッド관리자	

Fig.4 Table 명세표

4.2 프로그램 개발

상기 데이터베이스를 기반으로 실질적 움직임을 담당할 프로그램은 VB.NET을 기반으로 작성된다. 현재 개발된 화면은 1화면으로 작성되고 있으나 차후 안전공학 개념에 의해 형태가 바뀔 것이다.

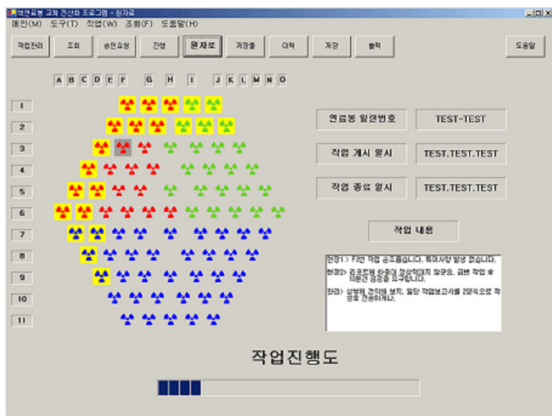


Fig.5 작동화면 1

위에서 설명한대로 3가지 연료봉 상태인 Fresh(, First Burn, Second Burn)를 색으로 표시하고 작업 전중후의 상태도 알아 볼 수 있도록 표시한다. 또한 실시간 자료나 작업자간의 커뮤니케이션 기능도 부여할 것이다.

이러한 작업창에 의해 만들어진 데이터는 자료 관리 파트에서 모아지고 이것이 데이터베이스에 바로 쌓이게 된다. 데이터는 기본적으로 시간을 기준으로 분류하는 것으로 하고 다른 분류 방법에 대해서는 부분적으로만 지원할 예정이다.

이 모든 것은 데이터베이스를 실시간으로 관리할 수 있도록 하는 것이 주요 관건이며 이를 원활히 하기 위해 다양한 방법으로 방법을 모색 중이다.

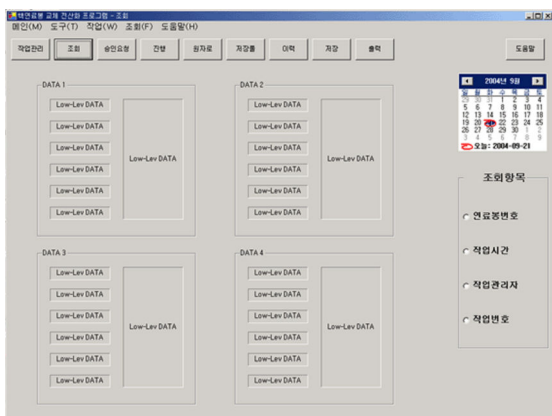


Fig.6 작동화면 2

4.3 HMI 관점에서의 안전도 향상

기존의 데이터베이스 기반 시스템이 한 화면에서 많은 정보를 주는 것에 주안점을 두었지만 본 연구

에서는 그 반대의 개념을 주고자 한다. 즉 한 화면에는 하나의 정보만을 표시하고 이를 여러 개의 디스플레이 도구를 통해 제공하는 방식을 추구한다.



조작 화면

Fig.7 디스플레이 개념도

물론 조작화면에는 하나의 화면에 여러 정보가 나타난다. 상기 분할된 여러 디스플레이에 나타난 정보의 확인 후 조작 화면에서의 재점검을 거쳐 최종 조작을 함으로써 실수를 최소화 하고 미숙련자의 접근을 용이하게 한다.

현재 추구하는 방향 외에도 다양한 개선방법이 있으며 더 나은 방법의 연구도 하고 있다.

4.4 모바일 통신기기(PDA)를 통한 관리

이제껏 원전 검사원들은 각 원전마다 일일이 전화를 해 안전상태를 확인해 왔다. 하지만 본 연구가 적용될 경우 전산망을 통해 빠르게 처리를 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 시스템 설치 지역의 제한과 협소지역에서의 점검은 문제가 될 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 궁극적으로 PDA를 이용한 모바일 관리 시스템을 추구한다. 이로서 원자로 출력, 온도, 운전상태 등 전반적인 원전 안전상태를 PDA 하나로 원격 감시할 수 있게 됐다.

현재 2005년 4월 4일자로 국내 원전에 시범적인 유비쿼터스 체계가 도입되었다. 하지만 이 시스템이 유비쿼터스 만을 위한 시스템인 반면 본 연구의 시스템은 종합적인 관리에 연동하여 만들어지는 시스템으로 획일화된 데이터의 관리와 다양한 확장을 갖을 것으로 기대된다.

5. 연구결과

GUI에 의한 제어방식은 이제 시스템의 기본이라고 볼 정도로 기초적인 것이 되었다. 본 연구에 의해 UI를 구축한다 해도 아직 부족한 부분이 있을수도 있다. 이에 현재 IUI(individual User Interface)에 대한 연구를 진행하고 있다.

여기에 필요한 프로그램 작성, DB작성, 그래픽 구현의 3가지가 모두 필요한 시점이다. 현재의 결과로 보아 시스템 구축이나 그래픽 구현의 문제는 그다지 크지 않으나 DB의 구축 및 그 연동에 좌우된다는 것을 알게 되었다. DB가 시스템의 운용에 대한 신뢰성의 배경이자 연구 목표에 실질적으로 관계되기 때문에 현재 DB의 구축 및 그 연동을 추구하고 있으며 앞으로도 그에 관련된 연구가 지속되어야 할 것

으로 보인다.

6. 참고문헌

- (1)“국내 원전 현황”, 한국 수력원자력 공사, 2003
- (2)“SMERP”, 대한 상공 회의소, 2003
- (3)“GUI와 윈도우”, www.microsoft.com/~kor, 2002
- (4)“Data Base”, MS-SQL 가이드 북, 1999
- (5)“Designing the User Interface”, Ben Shneiderman, 1998