

방사선 방호시뮬레이션을 위한 가상원전모델 시범개발

Development of Pilot Model of Virtual Nuclear Power Plant and its Application to Radiation Management

강기두, 신상운

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

가상현실기술(Virtual Reality, VR)을 이용한 원전의 관리구역에 대한 시범모델을 만들고 방사선량 예측 프로그램 개발 가능성을 연구하였다. 이를 위하여 기존의 정적이고 단방향의 3차원 형상모델에서 탈피하여 진일보된 동적모델, 즉 사용자가 실제 Navigation을 할 수 있는 양방향 커뮤니케이션이 가능한 수준의 모델을 시범 개발하였다. 발전소 출입자는 최초 발전소 출입시 일련의 인증절차를 거치게 되며 방사선관리구역에 들어가서 특정지역에 도달하면 자동으로 경보음과 함께 경고등이 켜지도록하여 방사선 방호 시뮬레이션이 가능하도록 구성되었다. 한국과 미국, 시간대별로 네트워크 접속실험을 한 결과 만족할 만한 성능을 보여주었으며 방호절차서, 사진자료, 온라인 피폭관리 프로그램등을 연계할 경우 그 활용성이 매우 크다고 보여진다.

Abstract

Using Virtual Reality(VR) technique, a real model for radiation controlled area in nuclear power plant was developed and a feasibility study to develop a computational program to estimate radiation dose was performed. For this purpose a pilot model with an dynamic function and bi-directional communication was developed. This model was enhanced from the existing 3-D single-directional communication. In this pilot model, a plant visitor needs a series of security checking process initially. If he/she enters the controlled area and approaches radiation hazard area, the alarms with warning lamp will be initiated automatically. Throughout the test to connect this model from both domestic and international sites in various time zones it has proven that it showed a sufficient performance. Therefore this model can be applied to broad

fields as radiation protection procedures photographic data, on-line dose program.

1. 서론

원자력발전소의 운전이력 증가와 함께 1차계통의 기기교체, 보수작업등에 따른 단위작업 당 방사선 피폭선량을 증가가 예상되고 있다. 또한 가동중인 국내의 원자력 발전소의 다양한 노형은 방사선 방호관리 측면에서 그만큼 어려움을 더해주는 요인이 된다고 볼 수 있다. 이러한 것은 특히 전문 보수인력이나 안전관리원, 운전요원등이 현장을 교차지원을 할 경우 특히 어려움이 예상되는데, 작업자 입장에서 가능한 한 빠른시간내에 현장상황의 숙지, 안전교육을 통해 불필요하고 예기치 않은 집적선량 증가 가능성을 차단해야만 할 것이다.

최근 눈부시게 발전한 국내의 정보처리기술(Information Technology, IT) 및 인터넷 기반의 가상현실 기술(Internet Virtual Reality, IVR)은 이러한 방호관리에 하나의 가능성을 제시해 주고 있다. 예컨대 3차원 가상 발전소 모델을 만들고 방사선 관리구역별 예상 방사선 준위를 mapping을 해주게 되면 방사선 안전관리에 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 본 연구논문에서는 소위 인터넷 가상현실기술(IVR)을 이용해서 관리구역에 대한 시범모델을 만들어 방사선 방호관리에 활용할 수 있음을 보여주고자 하였다. 2장에서는 원자력발전소의 설계를 위한 3차원 CAD모델 개발경험과 이에 따른 고려사항을 살펴보고 3장에서는 IVR을 이용한 원자력발전소의 시범모델 개발을, 4장에서는 개발된 모델을 통한 방사선관리구역에서의 자동방호시스템 구현을 통한 방사선량 예측프로그램 개발 가능성 및 기술기준등을 살펴보았다. 마지막으로 연구결과에 대한 종합 및 향후 전망등에 대한 결론을 5장에 수록하였다.

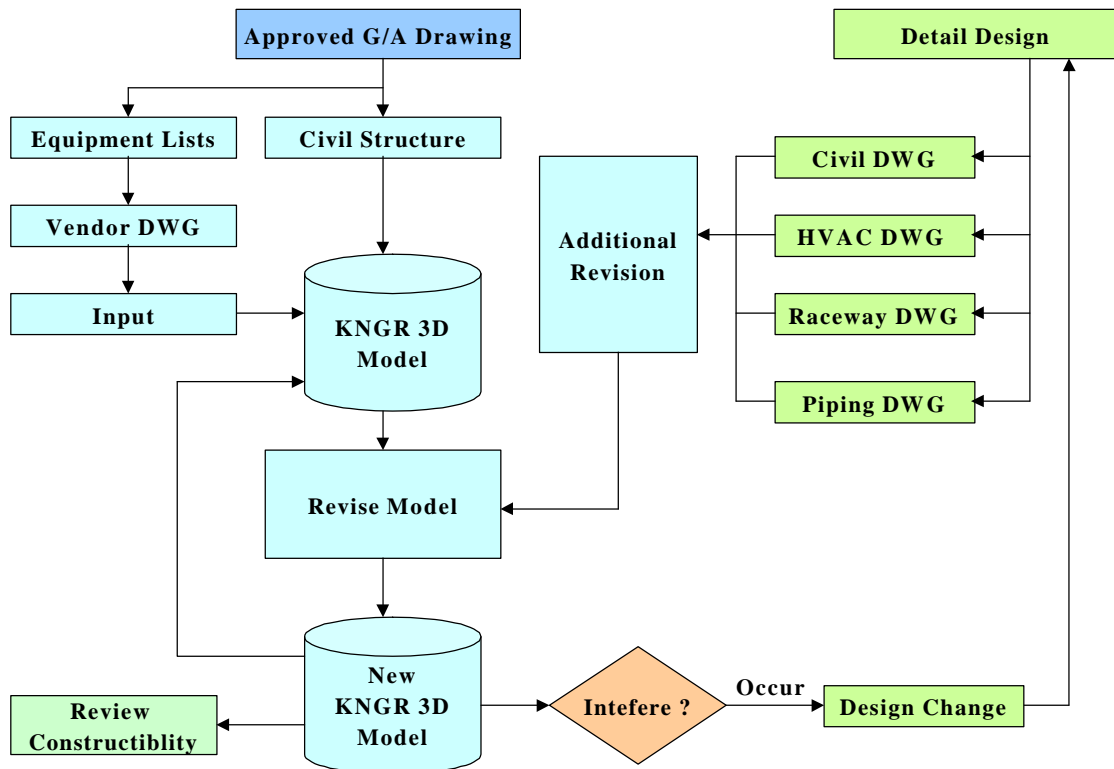
2. 원자력발전소 설계를 위한 3차원 CAD 개발경험 및 기술적 고려사항

G-7 프로젝트의 하나로 지난 '93-'02까지 10여년간 개발된 한국형 차세대원자로 APR-1400은 설계단계에서부터 3차원(3-D) CAD를 도입하여 왔다^[1]. 3-D CAD가 갖는 많은 장점과 편의성에도 불구하고 이를 실제 설계자들로 하여금 primary design practice로 적용하는 것은 아직은 시기상조인 듯 하다. 이는 실질적으로 설계도면이 종이형태에서 단말기로 옮겨가는 단순한 디지털변환만이 아닌, 업무프로세스, design practice, decision making등을 바꾸는, 설계회사에 있어 일련의 리모델링 수준이 되는 것이며 특히 업무에 의한 신뢰성, 책임감의 문제를 고려할 때 어려운 문제가 아닐 수 없다. 더욱이 CAD프로그램 개발자는 그들의 이익을 증진시키는 방향으로 프로그램 개발을 계속해 나갈 것임

로 사용자 입장에서 그때마다 새로운 업무 process를 적용해야 한다는 것은 여간 귀찮고 힘든일이 아닐 것이다. 그럼에도 불구하고 그것이 가져다주는 장점과 잠재되어 있는 무수한 가능성으로 인하여 고유의 CAD 모델을 지향해야함은 두말할 필요도 없을 것이다.

APR-1400에서 지향했던 3-D CAD 모델의 목적은 여러설계 구성요소들의 물리적인 모델의 재배치등을 통해서 설계 concept을 편리하게 가질 수 있도록 하는 것이다. 이는 설계의 품질과 경제성 제고등과 무관하지 않다. APR-1400 3-D CAD모델의 개발범위는 (1) 원자로건물, 보조건물, 터빈건물 및 발전소배치(GA)등을 포함한 건축구조물 (2) 원자로, 증기발생기, 가압기, 원자로냉각재 펌프, 천정크레인, 터빈발전기, 복수기등을 포함한 주요기기 (3) 4인치 이상의 대구경배관, HVAC 및 cable tray (4) 주 제어실(MCR) 등이다. 이러한 APR-1400 3-D CAD모델의 주요 기능들은 (1) 원전 건설공정에 따른 건설 sequence 시뮬레이션 (2) 특정 설비에 대한 추출/제거/이동 기능 구현 (3) 컴퓨터 애니메이션 (4) 컴포넌트간의 간섭체크 (5) 설계데이터베이스와의 연계등이다.

APR-1400 3-D CAD 모델 개발 결과 얻을 수 있는 교훈은 다음과 같이 요약될 수 있다. (1) 통합 3-D CAD 모델은 설계자에 의해 만들어진 CAD 파일을 그대로 활용하여 만들어 졌는데 이로 인해 그 파일 사이즈가 매우 커졌다. 그 이유는 이기종(異機種)의 시스템간, 데이터간 연계를 위한 인터페이스 모듈을 도입했기 때문이며 보다 근본적으로는 기계, 전기, 건축분야등 시스템 측면에서 각 엔지니어들의 관심분야가 상이하기 때문으로 판단된다. 이 문제를 해결하기 위해서는 설계 practice 표준화, 독자 3-D CAD 프로그램 개발등의 해결책이 제시될 수 있으나 그리 간단한 문제는 아니다. (2) 이러한 대형화된 파일사이즈로 인해 초기 loading time이 매우 길어졌다. 이를 보완하기 위해 시스템의 section화, caching 기술 적용, 하드웨어의 업그레이드등이 고려될 수 있다. (3) 이기종 시스템간의 통합을 위한 서로다른 파일시스템을 유지함에 따라 data표준화가 어렵고 neutral file 포맷을 별도 관리해야 하기 때문에 이로 인한 이중관리에 따른 부담이 있다. 이러한 불편함은 당분간 피할 수 없을 것으로 보여지며 web-based system으로 가는 것이 하나의 대안이 될 수 있을 듯 하다. (4) 3-D CAD 시스템을 전문가용, 일반사용자용으로 구분하여 개발하였으며 이로 인해 초기 loading time이나 다양한 subsystem에서 오는 문제점들을 어느정도 해소할 수 있었다. 그림1 은 APR-1400 CAD 모델개발을 위한 전형적인 설계프로세스를 보여주고 있다[1].



(그림1) APR-1400 설계 CAD 개발 업무 프로세스

3. 인터넷 가상현실기술(IVR)을 이용한 원자력발전소 3-D CAD 모델 구현

3-D CAD 모델에 대해 일반 사용자들이 보다 쉽게 사용하고 또 속도 및 성능, 확장성 등을 고려할 때 소위 인터넷 가상현실기술(IVR)이 하나의 대안을 제시해 준다. 얼마전 국내의 유수의 벤처기업이 3차원 쇼핑몰, 놀이공원, Cyber City등으로 각광을 받은 적이 있는데^[2] 이 기술을 이용하면 여러 가지 형태의 3차원 가상 발전소를 구현할 수 있다. 이를 입증하기 위하여 다음과 같은 시나리오를 구성하여 시범모델을 개발 하였다.

- 최초의 보안검색후 발전소 출입자가 출입구를 통과한다.
- 이중구조된 관리구역에 대해 별도의 보안검색을 하고 출입을 허가하게 되면 자동 이동장치를 통해 이동
- 방사선 관리구역을 설정하고 식별가능한 표지를 부착하고 접근을 통제
- 임의 통제구역에도 불구하고 접근시 경보등 및 사이렌 자동 작동
- 통제구역을 벗어나면 자동으로 복귀

여기서 개발된 모델에는 출입자의 이동속도, 이동거리 및 가시거리보정, 속도 및 도로의 질감들이 표현되었으며 속도향상을 위한 최신의 렌더링, 맵핑, 네트워킹기술이 적용되었다. 개발된 모델을 실행하기 위한 최소한의 컴퓨터 사양은 아래와 같다.

- 프로세서 : 펜티엄급(700Mhz이상 권장)
- 운영체제 : Windows 98/ 2000/ NT/ XP
- 주 메모리 : 64 Mega 이상
- 디스플레이 : 16 bit 이상의 칼라
- Network : 전용회선 권장

<표 1>은 3개의 시나리오로 된 모델 구성을, 그림 2는 모델 3의 초기화면을 보여주고 있다.

(표 1) 시범모델 모델 구성표

구분	명칭	규모	주요 특징
Model 1	발전소 정문 입구	200 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 login 필요 • 본부 및 사무실 건물 입구 묘사 • 내부로 걸어 들어가면 자동으로 model 2로 이동
Model 2	소내 관리구역 출입구	160 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • 2차 보안 검색 • 자동 출입상황을 기능적으로 구현 • 엘리베이터를 통해 원자로 건물입구로 이동
Model 3	원자로 건물입구	80 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • 2중 구조의 출입문 구현 • 방사선 구역을 표시 • 특정 이격거리 이내로 진입시 경보기능 구현



(그림 2) 가상원전 시범모델-Model 3 초기 화면(3인칭 시점)

4. 시범모델을 통한 방사선 관리구역에서의 자동 방호시스템 구현

가상현실기술을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 방사선 방호등에 활용하면 매우 유용하다. 가령 방사선 작업에 앞서 현장 작업구역에 대한 사전 답사를 통해 지형등을 숙지하고 특히 고방사선 구역에 대한 이동경로등을 추적할 수 있다면 작업시간 단축, 예기치 않은 피폭선량 방지등 효율적으로 활용할 수 있을 것이다. 본 시범모델에서는 다음과 같은 기능을 가정하여 시스템을 개발 하였다.

- 작업자가 특정방사선 구역 5m 이내로 접근하면 경보 사이렌과 함께 경고등 점등됨.
- 이때 작업자가 방사선 식별표지판에 손을 대면 공간선량율, 입자방사선량등 부가정보를 제공
- 특정구역을 벗어나면 경보사이렌 및 경고등 작동 중지
- 방사선 작업관련 부가정보는 벽면의 게시판을 참조함.

그림 3은 관리구역에서의 방사선 방호시스템이 작동하는 모습을 보여주고 있다. 이러한 기능은 단순히 3차원 형상모델을 보여주는 것 뿐만아니라 마치 자기 스스로 관리구역을



(그림 3) 가상공간에서의 방사선 방호시스템 작동 모습

<표2> 시간대별 네트워크 접속 실험 결과

(단위 : 초)

접속유형	모델구분	한국(대덕연구단지)		미국(콜럼버스,EST)	
		'02.6.4, 2pm	'02.6.4, 11pm	'02.6.7, 2pm	'02.6.7, 11pm
최초접속	Model 1	42	35	48	52
	Model 2	31	20	30	40
	Model 3	26	14	27	35
재접속	Model 1	2.0	2.0	2.5	2.5
	Model 2	2.0	1.5	2.0	2.0
	Model 3	2.0	1.5	2.0	1.5
비고		- P-III 800 Mhz - Memory : 128 - 운영체제 : Windows 98		- P-III 800 Mhz - Memory : 128 - 운영체제 : Windows 98	

사전 탐사함으로서 지형의 숙지, 작업시간의 스케줄링, 비상시 방호조치, 신입사원 교육등에 바로 활용될 수 있는 것들이다. 표 2는 개발된 가상모델에 대한 네트워크 상황별 테스트 결과를 보여준다. 테스트 지점은 한국과 미국 2개 지점을, 테스트 시간은 오후 2시와 저녁 11시로 선정하였다. 그리고 동일한 시험조건을 위해서 동일한 Lap-top Computer를 사용하였다. 최초 접속시간은 초기 그래픽모델을 client로 불러오는데 시간이 걸리기 때문에 시간이 길어졌으며 재접속시에는 그 속도가 획기적으로 개선되는 것을 볼 수 있었다. 또한 이 경우 네트워크 상황이나 시간, 컴퓨터 성능에는 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있었다. 미국에서 접속시간이 길어진 이유는 한국측 서버를 사용하기 때문인데 반면 재접속시에는 거의 차이가 나지 않는 점은 눈여겨 볼만한 대목이다.

지금까지의 시범모델 개발을 바탕으로 가상현실기술을 이용하여 방사전 방호 시스템을 구현하는 경우 감안해야할 기술기준은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 특정 CAD 시스템에 종속되지 않도록 가능한 독자 그래픽 모델링(포맷)을 지향
- 현장의 방사전 방호지도를 참조하여 최대한 근사치를 mapping 하도록 함
- 시스템 확장성을 지향
- 관리구역의 section화, 최신의 caching 기술을 통한 접속 시간 단축을 도모
- 시스템 구현의 경우 가능한 in-sourcing을 지향
- 암호화 기술을 통한 정보누출, 해킹가능성 사전에 차단

보안성 강화를 위해서는 소위 다중구조의 CAPI 모듈설계를 고려해 볼 만 하다^[3]. 이 기술은 인터넷 환경하에서 신분위장, 통신내용의 도청 및 변조, 의도적인 업무방해등 잠재적 위협요소들로부터 사용자 인증, 데이터 기밀성 및 무결성 서비스를 가능케하는 최신 네트워크 보안 기술이다.

시스템 개발 못지 않게 중요한 것은 신속하고 주기적인 선량정보 업데이트를 통해서 항상 최상의 시스템을 유지해 나가는 것이라고 할 수 있으며 최상의 시스템은 최고의 user 와 user requirement에 있음을 또한 잊지 말아야 할 것이다.

5. 결 론

최근 눈부시게 발달하고 있는 국내의 컴퓨팅기술과 3차원 가상현실기술을 활용하여 방사전 방호시스템을 개발하면 작업선량예측 등 다양한 활용을 할 수 있다. 국내의 인터넷 가상기술(IVR) 기술을 이용하여 개발한 원전의 시범모델은 그 가능성을 충분히 입증하여 주고 있다. 사용자(작업자)는 마치 현장을 탐사하듯이 가상공간을 마음대로 이동할 수 있으며 임의로 방사전 관리구역에 접근하게 되면 경보 사이렌과 경보장치가 작동됨을 확인하였다.

국내와 미국에서 테스트한 결과, 모델 loading time은 평균 2.0초 정도였으며 사용자 편의성, 성능 및 확장성 등에서 매우 만족할 만한 결과를 보여주었다. 인터넷 사용자들에게는 '5초 룰' '3초 룰'과 같은 것이 있는데 이는 초기 web-page가 5초, 혹은 3초가 경과하면 기다리지 않고 다른 사이트로 이동하는 경향을 일컫는 말로써 이러한 측면에서 보더라도 본 모델은 사용자(작업자)의 관심을 끌기에 충분한 모델이 될 수 있을 것이다.

본 시스템을 이용하게 되면 현장에서 방사선 작업 종사자가 작업구역에 출입전에 충분한 시뮬레이션을 통해 체류시간을 최소화하고 비상시 대응능력을 배양할 수 있게 함으로써 방사선 작업선량에 관한 합리적 최저 수준(ARALA)에 보다 효율적으로 대처할 수 있을 것으로 전망된다.

[참고문헌]

1. 한수원(주), 차세대원자로 기술개발 보고서 (Ⅱ), (Ⅲ), 2002. 5
2. 신유진, "Active Worlds를 이용한 가상현실 건축의 가능성에 대한 연구", 한국 실내디자인 학회, 19호 p. 20, 1999.6
3. 조상규, 이연식, "보안 서비스 강화를 위한 다중구조 CAPI 모듈 설계", 한국정보과학회, Vol.3, No.1, 2001