'2000 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

장치 운전정보를 이용한 On-line 3차원 그래픽 시뮬레이션

On-line 3D Graphic Simulation Using Operation Data of the Equipment

송태길, 이종렬, 김성현, 홍순혁*, 윤지섭

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

원거리 또는 폐쇄된 환경에서 운영되는 장비의 원격운전 감시를 위해 사용후핵연료 연료봉 인출장치를 대상으로 장치의 운전정보를 이용한 On-line 3차원 그래픽 시뮬레이션 시스템을 구축하고, 실제 장치와 연결하여 실시간 그래픽 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위하여 연료봉 인출장치의 제어 PC와 그래픽 서버에 TCP/IP 통신 모듈을 구성하고, 제어 PC로부터 전송된 운전정보에 따라 실시간으로 3차원 그래픽 시뮬레이션을 수행하는 전산모사 프로그램을 개발하였다.

Abstract

For the remote monitoring of the equipment which is operated in far apart and closure environment, the on-line 3D graphic simulation system is established using operation data of the spent fuel rod extraction equipment and is tested with the connection of the actual machine. In order to establish this system, the TCP/IP communication module is constructed on the control PC and the graphic server and the 3D graphic simulation program which simulates the operation of the equipment in real-time is developed.

* 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학부 박사과정

1. 서 론

현재 산업계에서는 각종 장치들의 설계 및 검증을 3차원 그래픽 모델링으로 수행하고, 장치들의 동작을 컴퓨터상의 그래픽 시뮬레이션을 통해 검증해 볼 수 있는 가상모형(virtual prototyping) 기술의 사용이 확대되고 있다. 이 기술은 실제장치의 제작 전에 기본설계를 바탕으로 진보된 컴퓨터 시뮬레이션기법을 활용하여 새로운 기계의 설계 타당성을 검증하는 공정을 말한다. 즉 제작하고자 하는 장치를 컴퓨터에서 3차원 그래픽으로 설계한 후, 모델에 운동특성(kinematics)을 부여하여 장치들의 움직임을 정의함으로써 현실감 있는 그래픽 시뮬레이션을 구현 할 수 있다. 이 과정에서 장치의 동작경로와 구성장치간의 간섭현상을 분석함으로써 장치의 설계를 검증할 수 있다.[1][2][3]

또한 컴퓨터 그래픽 기술은 CAD(Computer Aided Design) 및 연구결과의 가시화 등 과학기술분야의 응용 외에, 최근 광고나 영화 등의 다양한 분야에서 수요가 증가함에 따라 그 중요성과 필요성이 대두되고 있다.[5] 특히 인터넷을 이용한 네트워크로의 접근이 일반인에게도 가능하게 되면서 멀티미디어를 통한 보다 사실적이고 효율적인 영상정보의 처리에 대한 요구는 컴퓨터 그래픽 분야의 기술개발을 촉진하고 있다.

특히 폐쇄된 환경에서 장비를 운영해야 하는 사용후핵연료 관리공정에서는 그래픽 시뮬레이션 기술을 토대로 실제장치의 움직임을 그래픽 컴퓨터에 실시간으로 묘사함으로써 원격지의 작업자가 폐쇄회로 TV의 모니터가 아닌 그래픽 컴퓨터를 통하여 장치의 구동상태를 보다 더 정확하게 감시할 수 있다.[4]

본 논문에서는 현재 원자력연구소에서 개발하고 있는 사용후핵연료 해체공정 중 사용후핵연료 연료봉 인출장치를 대상으로 TCP/IP 네트워크 상에서 연료봉 인출장치의 작동에 따라 실시간으로 운전정보가 전송되도록 클라이언트-서버 시스템을 구성하고, 장치의 동작에 따라 운전정보 전송을 위한 메시지를 정의한다. 그리고 이러한 시스템 상에서 전송된 운전정보에 따라 그래픽 시뮬레이션 서버가 장치의 동작과 실시간으로 동기화하여 On-line 그래픽 시뮬레이션을 수행하는 것을 보여준다.

2. 시스템 환경 및 3차원 그래픽 S/W

2.1 시스템 구성 환경

실제 환경에서의 시스템은 그림 1과 같이 사용후핵연료를 해체하고 처리하기 위한 전체 해체공정을 대상으로 구축되고 있으며, 이러한 해체공정을 위해 여러 해체장치들이 고방사성 물질을 취급할 수 있는 폐쇄환경인 핫셀 내에 위치한다. 그리고 각 장치들을 제어

하기 위한 제어용 PC가 핫셀 밖에 설치된다.

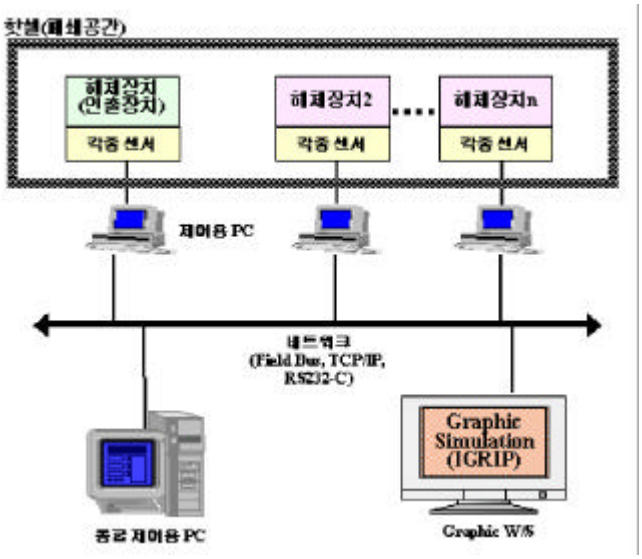


그림 1 그래픽 시뮬레이션 동기화를 위한 구축 환경

고방사성 물질을 취급하기 위한 폐쇄환경인 핫셀 내에 사용후핵연료 연료봉 인출장치, 소결체 인출장치, 구조폐기물 압축장치 등 여러 장치들이 위치하여 작업을 수행하게 되며, 각 장치에는 엔코더(encoder), 로드셀(loadcell), 리미트 스위치(limit switch), 레이저 센서(laser sensor) 등이 부착되어 거리, 각도 등 각 장치의 움직임에 대한 운전정보가 제어 PC에 제공된다. 장치 제어 PC는 이러한 정보를 바탕으로 장치를 제어하고 운전정보를 그래픽 시뮬레이션 서버에 제공하게 된다.

통합제어용 PC는 각각의 제어용 PC를 네트워크로 연결하여 해체공정의 작업을 통합적으로 관리하기 위한 시스템이다. 현재 이러한 시스템을 통합하기 위한 방법으로 필드버스(field bus), 시리얼 통신(RS232-C, RS485), TCP/IP를 이용한 LAN 등이 있으나, 본 연구에서는 현재 범용으로 널리 사용되고 있으며 연구소에 기 설치되어 있는 TCP/IP 방식의 네트워크를 이용하였다. 그리고 그래픽 워크스테이션은 각 장치들을 3차원 그래픽으로 설계하고 각 장치의 움직임을 Off-line 그래픽 시뮬레이션을 통해 사전에 검증하기 위한 것이다. 또한 장치의 운전정보에 따라 On-line 시뮬레이션을 통해 폐쇄된 환경내에서 작동되는 장치의 상황을 3차원 그래픽으로 제공하는 시스템이다.

2.2 3차원 그래픽 소프트웨어[7]

각종 장치 및 공정을 3차원 그래픽으로 디지털 설계를 수행하고 검증하며, 시뮬레이션을 수행하기 위한 소프트웨어로 IGRIP, CATIA, ROBCAD 등 여러 제품이 보급되고 있다.

본 연구에서 사용한 3차원 그래픽 소프트웨어는 미국 Deneb Robotics사의 IGRIP으로 전체적인 인터페이스 구조는 그림 2와 같으며, 현재 실리콘그래픽스사의 그래픽 전용 워크스테이션인 Onyx RE2에서 운영되고 있다.

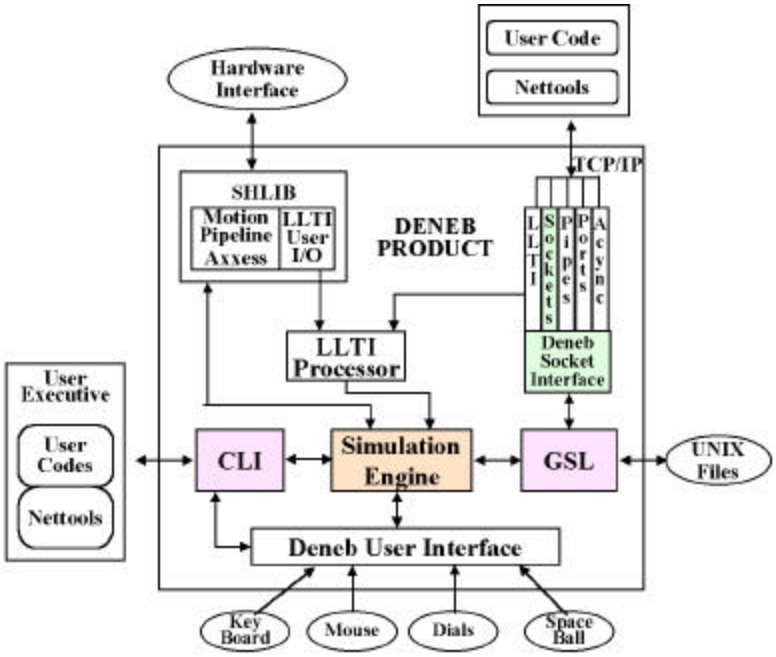


그림 2 IGRIP의 전체 인터페이스 구조

그림 2에서 보듯이 모델링 및 시뮬레이션을 수행하기 위한 그래픽 시뮬레이션 모듈과 외부와의 인터페이스를 위한 모듈로 구성되어 있다. 시뮬레이션을 위한 언어로 CLI(Command Line Interpreter)와 GSL(Graphic Simulation Language)이 제공되며, 이러한 언어와 공유 라이브러리 및 LLTI(Loe Level Teleoperation Interface), socket interface, user interface 등을 통해 외부 시스템과의 인터페이스가 가능하다.

가. IGRIP(Interactive Graphic Robot Instruction Program)

IGRIP은 미국 Deneb Robotics사가 개발한 그래픽 전산모사 프로그램으로써 로봇 및 기계장치의 그래픽 모델 제작 및 오프라인 프로그래밍으로부터 대규모 원자력시설의 공정 전산모사까지 광범위한 적용범위를 갖으며 주요기능은 아래와 같다.

o 그래픽 모델링 기능

각종 부품 형상의 그래픽 모델을 작성할 수 있고, 여러 상용 CAD 시스템의 설계 데이터(IGES, VDA, DXF, WFT, CATIA 등)를 그래픽 데이터로 받아들일 수 있다. 또

한 세계적인 로봇 제조회사에서 개발한 100기종 이상의 산업용 로봇의 모델을 데이터베이스 형태로 지원한다.

o 그래픽 장치 구성 기능

각 부품의 그래픽 모델을 조합하여 그래픽 장치(device)를 구성할 수 있으며, 관절부 등 이동부위의 운동특성 및 기구학적인 상관관계를 정의하여 실제장치의 특성을 부여할 수 있다.

o 해석 기능

기구학 및 동력학적인 해석이 가능하고, 기타 간섭감지(collision detection), 거리, 중심체적의 해석이 가능하다.

o 장치배치(workcell) 기능

수동 및 자동 방식으로 각종 그래픽 장치들을 작업장 내에 배치하고, 시점(view point)을 임으로 지정할 수 있다.

o 전산모사 기능

작업장내의 여러 가지 장치들을 동시에 시뮬레이션 할 수 있으며, 각종 데이터를 도시화 할 수 있다.

o 프로그램 기능

자체 내에서 제공하는 GSL 및 CLI 명령을 이용하여 순차적 동작을 지정하여 그래픽 작업장(workcell)내 기계장치들의 움직임을 시뮬레이션 가능하고, 보다 실제적인 동적 전산모사를 위해서 C와 같은 고급언어와의 호환을 지원한다. 또한 각종 외부장치와의 통신을 지원한다.

o 오프라인 프로그래밍

IGRIP에서 지정된 로봇의 동작을 로봇 자체의 언어로 변환하여 다운로드할 수 있다. 또한 보정기능으로 시뮬레이션 결과와 실제 장치구동 결과와 다른 점을 보완할 수 있다.

나. LLTI(Low-Level Teleoperation Interface)

LLTI는 IGRIP 환경에서 다른 외부 인터페이스와 결합해서 원거리 원격조정과 양방향 통신으로 실시간 시뮬레이션을 가능하게 하는 모듈로 인터페이스 상에서 높은 스피드와 높은 유연성을 제공한다.

LLTI의 특징은 높은 활용성과 높은 스피드, 양방향 통신 그리고 실시간 통신을 제공하는 것이다. 사용자는 실시간으로 그래픽 모델의 상태를 직접적으로 바꿀 수 있는 외부정보를 만들 수 있다. 또한 내부 모델에 대한 정보를 제공할 수 있다. 따라서 양방향 통신

으로 인간의 접근이 적합치 않은 유해환경 등에서 원거리 작업환경의 변화를 반영할 수 있는 실시간 시뮬레이션에서 사용된다.

그림 2에서 보이는 바와 같이 LLTI 외부 인터페이스에는 두 가지 형태가 있다. 하나는 TCP/IP를 이용한 방식으로 소켓을 생성하여 연결하는 방식이고, 다른 하나는 공유 라이브러리에서 사용자 I/O방식의 유틸리티 세트를 사용하는 방식이다.

본 연구에서는 이러한 인터페이스 구조 중 nettool과 소켓 인터페이스를 이용하여 GSL 그래픽 시뮬레이션 프로그램 상에서 TCP/IP 서버 프로그램을 개발하여 통신을 수행한다.

3. 사용후핵연료 연료봉 인출장치 3차원 그래픽 모델링 및 Off-line 시뮬레이션

3.1 사용후핵연료 연료봉 인출장치의 구성[4]

사용후핵연료를 재활용하거나 또는 밀집저장하기 위해서는 사용후핵연료를 해체하는 기술이 필요하게 되며 여기에는 연료봉을 인출하는 기술이 필수적이다. 사용후핵연료 연료봉 인출장치는 해체공정의 첫 단계인 핵연료집합체에서 연료봉을 인출하는 장치로서 실제 장치의 모습은 그림 3과 같다.

사용후핵연료 연료봉 인출장치의 구성은 크게 핵연료집합체 고정장치(clamping table), 핵연료집합체(Fuel Assembly), 주 테이블(main table), 연료봉 인출 헤드(rotary head), 충격 흡수장치(impact bar), 측면 이송장치(pusher) 등으로 구성되어 있다.

주 테이블(main table) 위에는 연료봉을 인출하기 위한 연료봉 인출 로터리 헤드가 위치해 있는데, 이 헤드는 주 테이블에 부착된 축을 따라 헤드 이송장치에 의하여 X(집합체 가로), Y(집합체 길이), Z(집합체 세로) 방향으로 움직이도록 구성되어 있다.

또한 연료봉 인출 로터리 헤드는 17x17 경수로형 핵연료집합체의 하단 고정판(bottom plate)을 체결한 너트를 풀기 위한 충격 렌치 모듈과 연료봉을 파지하기 위한 콜렛 모듈로 구성되어 있고, 이 두 모듈이 서로 반대방향에 위치하고 있어 필요시 회전하면서 사용하도록 되어있다.

충격흡수장치는 인출장치 테이블 하단부에 위치하며 연료봉이 인출되는 동안에는 원래의 위치에 대기하고 있다가 연료봉이 인출되면 연료봉의 10cm 정도 하단 위치까지 이동하여 연료봉을 받아줌으로써 연료봉이 떨어질 때의 충격을 완화시키는 기능을 갖는다.

측면이송장치는 인출된 연료봉을 한곳으로 모으기 위해 사용된다. 하나의 연료봉이 사용후핵연료 집합체로부터 완전히 인출되어 충격흡수장치에 놓인 후 충격흡수장치가 인출테이블 아래 방향으로 내려가면 연료봉은 인출테이블 위에 남아있게 된다. 이 때 측면이송장치가 인출된 연료봉을 옆으로 밀어서 인출테이블에 부착된 보조선반 속으로 떨어뜨린다.

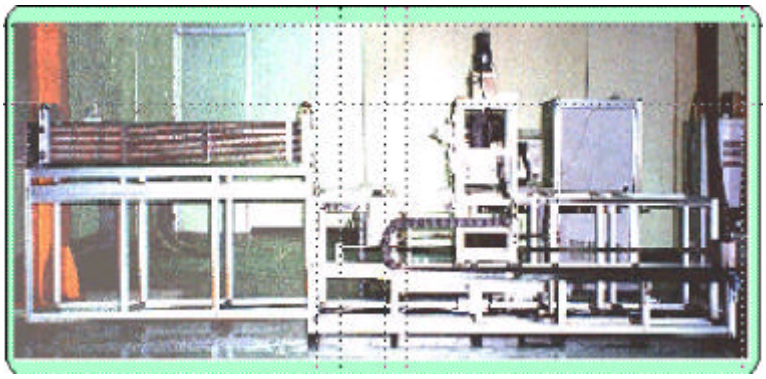


그림 3 사용후핵연료 연료봉 인출장치의 실제 모습

3.2 연료봉 인출장치의 3차원 그래픽 모델링 및 Off-line 시뮬레이션

그림 4는 실제 연료봉 인출장치를 IGRIP상에서 3차원 그래픽으로 모델링하여 컴퓨터상의 가상 작업환경(workcell) 내에 배치한 것이다. 주요 구동부는 핵연료봉 인출을 위해 렌치와 그리퍼 모드 등으로 회전하고 X, Y, Z축으로 이동하는 로터리 헤드 부분, 인출되는 연료봉을 안전하게 받혀주는 충격흡수장치, 그리고 안착된 연료봉을 측면으로 이송시켜주는 측면이송장치 등이다.

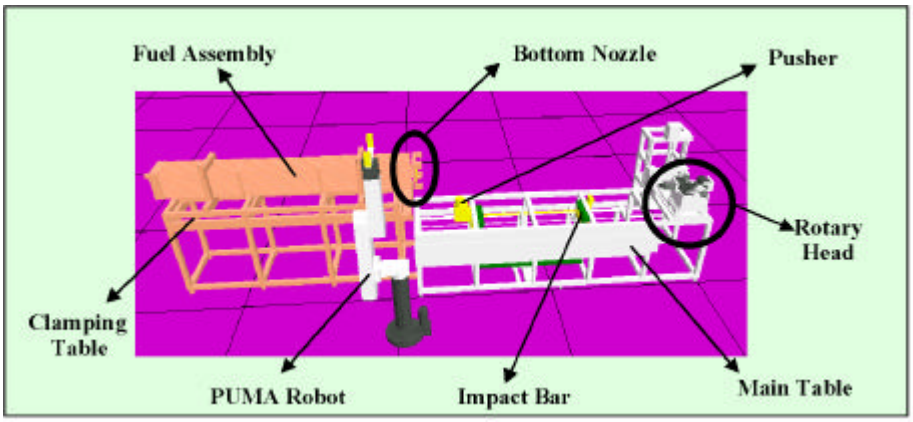


그림 4 사용후핵연료 인출장치 3차원 그래픽 모델

IGRIP을 이용한 3차원 그래픽 모델링 작업순서는 그림 5와 같이 먼저 각 장치의 부품들을 그래픽 상에서 설계하여 모델화하고 이러한 부품 모델들을 조합하여 디바이스(device)를 구축한다. 그리고 각각의 디바이스에 운동특성(kinematics)을 부여하여 실제 장치 개념과 맞게 동작하는지를 검사한다.

그리고 이 디바이스들을 한 작업공간 내에 배치하여 가상의 작업환경을 만든다. 이러한 가상작업 환경이 구성되면 디바이스와의 관계 등을 설정하고 시뮬레이션 프로그램을 작

성하여 해당 공정에 대한 off-line 그래픽 시뮬레이션을 수행하게 된다.

그림 6은 IGRIP을 이용하여 구현한 사용후핵연료 연료봉 인출장치의 3차원 off-line 그래픽 시뮬레이션 모습이다. 인출공정의 단계별로 그래픽 시뮬레이션을 수행한 것으로 로터리헤드의 렌치가 핵연료집합체의 하단고정판 너트를 제거하고 너트제거 후 로봇이 하단고정판을 제거하는 모습, 로타리 헤드의 콜렛이 연료봉을 잡아 인출하는 모습, 인출 중에 연료봉의 충격을 흡수하기 위해 충격흡수장치가 상승하여 연료봉을 안착시키는 모습, 그리고 안착된 연료봉을 측면이송장치가 측면 홈통으로 이송하는 모습이다.

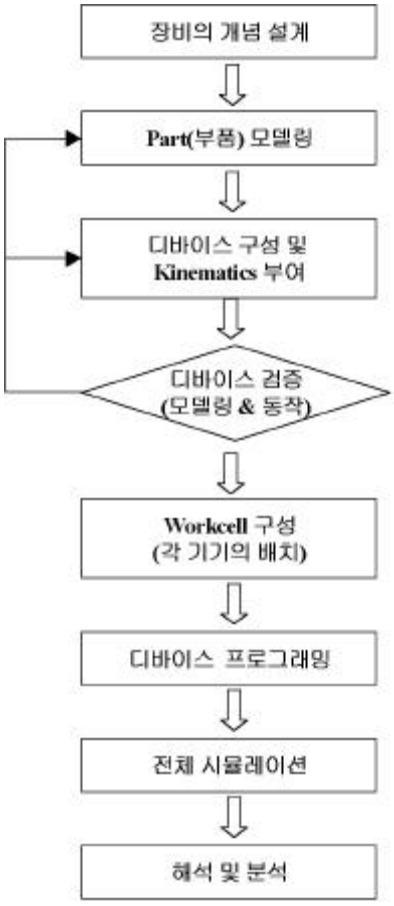


그림 5 그래픽 모델링 및 시뮬레이션 흐름도

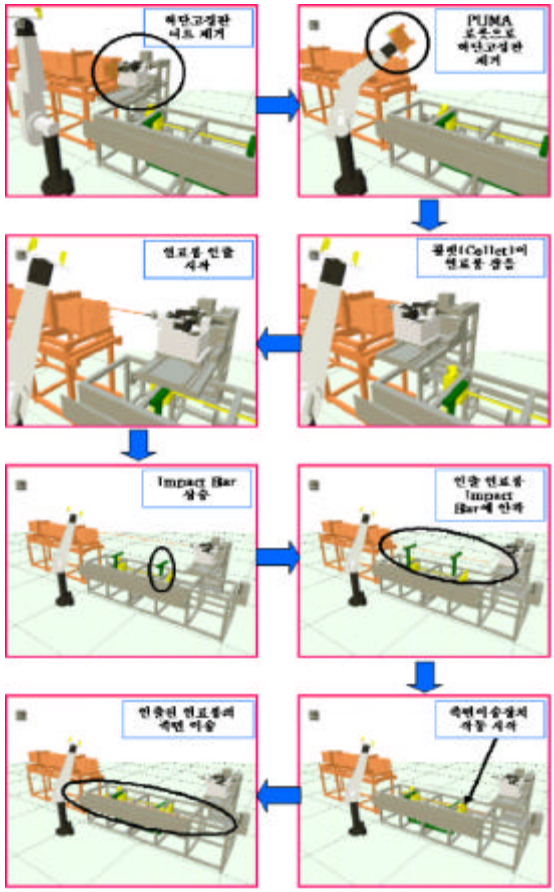


그림 6 인출장치 3차원 off-line 시뮬레이션

4. 운전정보 전송을 위한 메시지의 정의

IGRIP을 이용하여 구현한 3차원 그래픽 시뮬레이션과의 데이터 전송과 적절한 시점(이벤트 또는 동작 명령 시점)에서의 그래픽 재현을 위해서 아래와 같이 메시지를 정의하여 사용한다.

이 메시지 형식은 여러 장치들과의 통신 상황을 고려하였으며 Deneb IGRIP 모듈인 LLTI(Low Level Telerobotic Interface)상의 네트워크 패킷 데이터 형식과의 호환을 고려하여 Deneb 가변 길이 패킷 헤더를 포함하고 있다. 뒤의 메시지는 여러 장치와 IGRIP과의 그래픽 재현을 위한 목적으로 각 장치 및 디바이스별 동작을 고려하여 별도로 정의하였다.

메시지 형식

Deneb (LLTI) 헤더	메시지					
메시지 길이	장치명	작업(공정) 구분		데이터 갯수	데이터 (1~n)	
		디바이스	동 작		구분자 (Space)	데이터 값
5 (bytes)	1	1	1	1	1	variable

o 헤더(메시지 길이)

: Deneb 네트워크 패킷 데이터 전송 시 가변 패킷의 길이를 표시한다.

o 장치명 : 해체장치의 각 장치를 구분한다.

1 - 사용후핵연료봉 인출장치

2 - 사용후핵연료 구조폐기물(NFBC) 압축장치

3 - 소결체 인출장치

o 작업(공정) 구분

: 각 장치의 공정을 구분하기 위한 필드로 크게 아래와 같이 3개의 공정으로 구분하고 세부공정은 각 디바이스별로 동작에 따라 분류한다.

00 : 전체공정

0x : 단위공정 - 연료봉 인출장치의 경우 아래와 같다

- 01 : 하단고정판 너트제거(Unbolting Nuts)
- 02 : 하단고정판 제거(Remove Bottom Plate)
- 03 : 연료봉 인출(Extraction Rods)

o 세부공정 : xx

- 연료봉 인출장치의 경우 아래와 같이 각 디바이스별 동작을 구분하여 그래픽 워크스테이션상의 시뮬레이션을 세부공정별로 분류하고 필요시 추가한다.

디바이스	동 작	코드	디바이스	동 작	코드
Main Frame (1)	X,Y,Z축 초기화	0	Rotary Headbox (2)	Head Box Up	0
	Go to Nut	1		Head Box Down	1
	Go to Rod	2		Move Joint 1 by Data	2
	Extract Rod	3		Rotate to Home(Camera)	3
	Move Joint 1 by Data	4		Rotate to Wrench	4
	Move Joint 2 by Data	5		Rotate to Gripper	5
	Move Joint 3 by Data	6		Rotate Joint 2 by Data	6
Wrench (3)	Unbolting	0	Pusher (6)	Push Rod	1
	Push	1		Go to Home	2
Impact Bar (5)	Up	0	Gripper (4)	Home (Close)	0
	Down with Grab Rod	1		Open with Release Rod	1
	Move Joint 1 by Data(+)	2		Close with Grab Rod	2
	Move Joint 1 by Data(-)	3		Open without Release	3
Puma 560 (7)	Move to Bottom Nozzle	1	Puma Hand (8)	Bottom Nozzle Grab	1
	Home	0		Bottom Nozzle Release	0

o **데이터 필드**

: **실제 장치의 센서로부터 획득되어 전송되어 오는 실제 데이터 값(이동거리, 회전각 등) 으로 각 데이터는 구분자에 의해 구분되어 진다.**

5. 장치의 운전정보에 따른 On-line 그래픽 시뮬레이션

사용후핵연료 연료봉 인출장치의 제어 PC**와 그래픽 서버간의** TCP/IP **통신을 이용한 운전정보의 전송과 이에 따른** On-line **그래픽 시뮬레이션을 위한 클라이언트-서버 시스템**[6] **은 그림** 7**과 같이 구성되어 있다.**

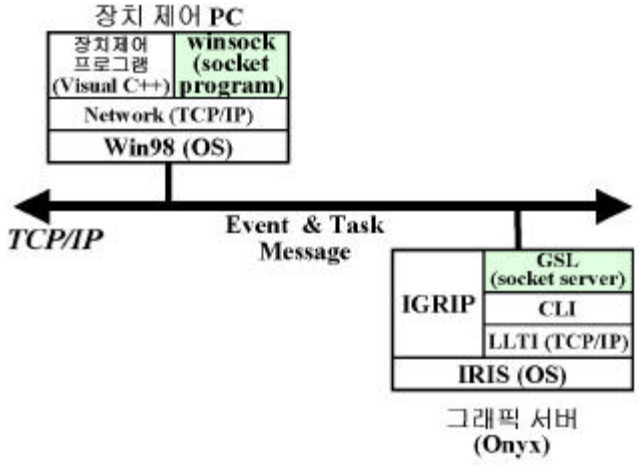


그림 7 On-line **시뮬레이션을 위한 시스템 구성**

장치제어 PC의 Visual C++ 제어 프로그램에 TCP/IP 통신을 위한 winsock 모듈을 추가하여 장치의 제어 명령이나 이벤트 발생 시 정보를 전송하게 된다. 그래픽 서버에서는 IGRIP에서 제공하는 GSL을 이용하여 통신을 위한 socket 모듈을 추가하였고, 전송된 운전정보에 따른 그래픽 시뮬레이션을 위해 기존의 off-line 시뮬레이션 프로그램을 모듈화 하였다.

그림 8은 Visual C++로 작성한 사용후핵연료 연료봉 인출장치 제어용 PC의 제어화면이다. 메인 화면은 주요축의 움직임을 보여주며, 메인 메뉴에서 On-line 시뮬레이션을 위한 TCP/IP 연결설정을 선택 시, 화면에서 보이는 바와 같이 TCP/IP 연결창이 나타나게 된다. 또한 기타 창들은 각 축을 제어하기 위한 화면, 로드셀로부터 값을 읽어들이는 화면, 로터리 헤드의 위치를 표시해 주는 화면, 현재 인출하는 연료봉의 위치를 알려주기 위한 화면, 그리고 제어명령이나 데이터 전송 시 해당 로그를 보여주는 화면으로 구성되어 있다.

그림 9는 그래픽 서버가 On-line 시뮬레이션 모드에서 실행되는 화면으로, 장치의 제어 PC로부터 그래픽 서버와의 연결요청에 따라 연결을 설정하고 한 개의 운전정보를 전송 받은 상황을 보여주는 화면이다.

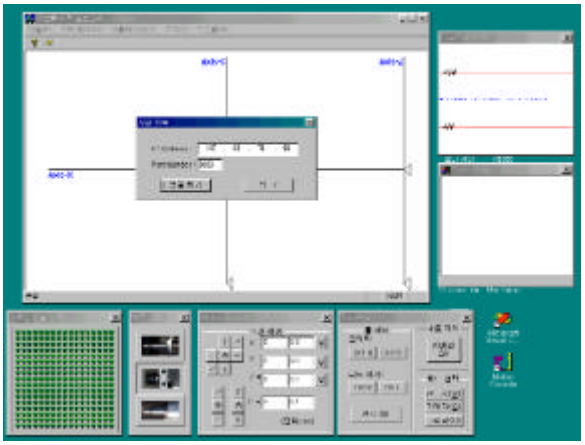


그림 8 연료봉 인출장치 제어PC의 제어 및 네트워크 설정 화면

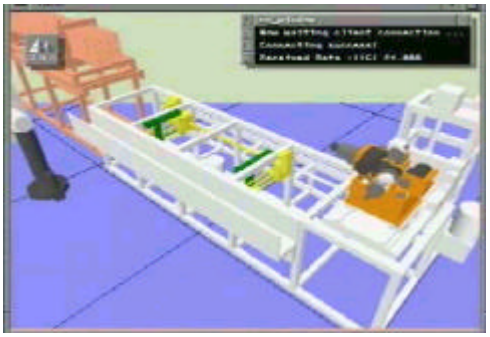


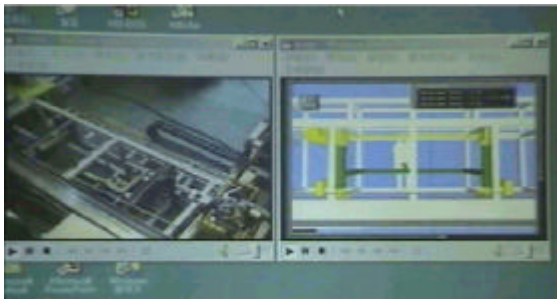
그림 9 On-line 시뮬레이션을 위한 그래픽 서버의 연결 화면

그림 10은 실제로 사용후핵연료 연료봉 인출장치와 연결하여 장치의 운전정보 전송에 따라 실시간으로 그래픽 서버가 On-line 시뮬레이션을 수행하는 모습을 보여주는 화면이다. 이 화면에서 보이는 바와 같이 제어 PC에서 제어명령 또는 이벤트 발생 시, 제어 PC와 그래픽 서버간의 TCP/IP 네트워크 연결에 의해 운전정보 전송이 잘 이루어졌다. 그리고 전송된 운전정보에 따라 그래픽 서버에서 실시간 On-line 시뮬레이션도 잘 수행되었다.

(a) 로터리 헤드 회전

(b) 연료봉 인출을 위한 그립

(c) 연료봉 인출



(d) 인출된 연료봉의 측면 이송

그림 10 실제장치와의 On-line 시뮬레이션 모습

6. 결 론

본 연구에서는 3차원 컴퓨터 그래픽을 이용한 가상모형 기술과 네트워크 기술을 접목하여, 원거리에 위치한 사용후핵연료 연료봉 인출장치의 제어용 PC와 3차원 그래픽 시뮬레이션 서버간의 통신을 위한 TCP/IP 클라이언트-서버 시스템 구축과 운전정보 전송을 위한 메시지를 설정하였다. 그리고 이러한 시스템을 적용하여 실제장치와 On-line 그래픽 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구의 결과 제어용 PC와 IGRIP에서 GSL로 구현한 그래픽 시뮬레이션 서버간에 TCP/IP 통신상의 문제는 없었으며 운전정보에 의한 On-line 그래픽 시뮬레이션도 잘 수행되었다. 그러나 여러 축의 동시 구동에 따른 동기화를 위해서는 무엇보다도 여러 축에 대한 운전정보의 동시 전송을 위한 메시지 형식과 연계시점의 정의가 매우 중요하며, 방대한 양의 데이터를 처리해야 하는 그래픽 시뮬레이션의 부하를 낮출 수 있도록 모델링 시 그래픽 데이터를 최대한 줄이는 방안이 고려되어야 한다.

이러한 On-line 그래픽 시뮬레이션 동기화 기술은 원격장치의 상세한 작업 상황정보를 장치의 움직임을 보기 힘든 작업운전자에게 제공시켜 줌으로써 방사선 환경과 같이 격리된 환경에서 사용되는 장치들의 원격운전 감시 및 상황점검에 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음

참고문헌

[1] Carl P. Baker, "Parametric Design Using IGRIP", Proceeding of the DENEB User Group Conference, pp. 7-10, 1994.

[2] A. Ferwon, K. Plataniotis, "Effective Teleoperation Over the World Wide Web", Proceeding of the IASTED International Conference on Robotics and Application, pp. 158-162, 1999.

[3] M. Salminen, R. Tuokko, J Sulkanen, "Development, Experiments and Experience in Telerobotics and VR Using the TELEGRIP Software", Proceeding of the DENEB User Group Conference, pp. 55-64, 1995.

[4] **윤지섭 외**, "**사용후핵연료 원격취급장치 개발**", **한국원자력연구소 보고서**(KAERI/RR-1801/97), 1997

[5] **정병하**, "**실증시설 가상현실 시뮬레이터 개발**", **한국원자력연구소 보고서**(KAERI/CM-176/97), 1997.

[6] Pete Losbin, "TCP/IP - Clerly Explained", Academic Press, 1997

[7] Deneb, "IGRIP & LLTI User Manual and Tutorials", 1995