

## 사용후핵연료봉 인출장치의 원격감시를 위한 실시간 3차원 그래픽 시뮬레이션

송태길\*, 이종열\*\*, 김성현\*\*, 윤지섭\*\*

### Real-time 3D Graphic Simulation of the Spent Fuel Rod Extracting Machine for Remote Monitoring

Song, T. G.\*, Lee, J. Y.\*\*, Kim, S. H.\*\* and Yoon, J. S.\*\*

#### ABSTRACT

The spent fuel rod extracting machine is automatically operated in high radioactive environment, so high reliability of operation is required. In this paper, to enhance the reliability of this machine by providing a close monitoring capability, a real time graphic simulation method is suggested. This method utilizes conventional IGRIP (Interactive Graphics Robot Instruction Program) 3D graphic simulation tool to visualize and simulate the 3D graphic model of this machine. Also, the dedicated protocol is defined for transmission of the operational data of the machine. The real time graphic simulation is realized by developing the socket module between a graphic workstation and a machine control computer through the TCP/IP network and by dividing the 3D graphic simulation GSL(Graphic Simulation Language) program as a small sized sub routine. The suggested method is implemented while automatically operating the rod extracting machine. The result of implementation shows that the real time 3D graphic simulation is well synchronized with the actual machine according to the operational data.

**Key words :** Graphic modeling, Graphic simulation, Remote monitoring, Real-time, Rod extraction machine

#### 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) 기술<sup>1,2)</sup>의 사용이 확대되고 있다. 이 기술은 실제장치의 제작 전에 기본설계를 바탕으로 진보된 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용하여 새로운 장치의 실제 타당성을 검증하는 공정을 말한다. 즉 제작하고자 하는 장치를 컴퓨터에서 3차원 그래픽으로 설계한 후, 모델에 운동 특성(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<sup>3,4)</sup>.

또한 컴퓨터 그래픽 기술은 장치의 설계, 검증 및 연구결과와 가시화 등 과학기술분야의 응용 외에, 최근 광고나 영화 등의 다양한 분야에서 수요가 증가함에 따라 그 중요성과 필요성이 대두되고 있다. 특히 인터넷을 이용한 네트워크로의 접근이 일반인에게도 가능하게 되면서 멀티미디어를 통한 보다 사실적이고 효율적인 영상정보의 처리에 대한 요구는 컴퓨터 그래픽 분야의 기술개발을 촉진하고 있다<sup>5,6)</sup>.

특히 폐쇄된 환경에서 장비를 운영해야 하는 사용후핵연료 관리공정에서는 안전성 측면에서 장치의 구동상태에 대한 정밀감시가 필요하다. 따라서, 그래픽 시뮬레이션 기술을 토대로 실제장치의 움직임을 그래픽 컴퓨터에 실시간으로 묘사함으로써 원격자의 작업자가 폐쇄회로 TV의 모니터가 아닌 그래픽 컴

\*정회원, 한국원자력연구소 사용후핵연료기술개발팀

\*\*한국원자력연구소 사용후핵연료기술개발팀

- 논문투고일: 2000. 4. 28

- 심사완료일: 2000. 8. 29

퓨터를 통하여 장치의 구동상태를 보다 더 정확하게 감시할 수 있다.

본 논문의 연구범위는 현재 원자력연구소에서 개발하고 있는 여러 사용후핵연료 해체공정 장치 중 사용후핵연료봉 인출장치만을 대상으로 하여 IGRIP을 이용한 3차원 그래픽 모델링 및 시뮬레이션에 대해 논의한다. 그리고 TCP/IP 네트워크 상에서 사용후핵연료봉 인출장치의 작동에 따라 실시간으로 운전정보가 전송되도록 구성한 클라이언트-서버 시스템과 장치의 동작에 따른 운전정보 전송 및 효율적인 실시간 그래픽 시뮬레이션을 위해 설정한 프로토콜을 기술한다. 그리고 이러한 시스템 상에서 전송된 운전정보에 따라 그래픽 시뮬레이션 서버가 실제 장치와 실시간으로 동기화하여 실시간 3차원 그래픽 시뮬레이션을 수행하는 것을 보여준다.

## 2. 시스템 환경 및 3차원 그래픽 소프트웨어

### 2.1 사용후핵연료 해체공정 시스템 구성 환경

실제 연구환경의 시스템은 Fig. 1과 같이 사용후핵연료 집합체를 기계적으로 해체하고 처리하기 위한 전체 해체공정을 대상으로 구축되고 있으며, 이러한 사용후핵연료의 해체공정을 수행하기 위해 여러 해체장치들이 고방사성 물질을 취급할 수 있는 폐쇄환경인 핫셀(hotcell) 내에 위치한다. 그리고 각 장치들을 제어하기 위한 제어용 PC가 핫셀 밖에 설치된다.

고방사성 물질을 취급하기 위한 폐쇄환경인 핫셀 내에 사용후핵연료봉 인출장치, 소결체 인출장치, 구

조폐기물 압축장치 등 여러 장치들이 위치하여 해당 공정을 수행하게 되며, 각 장치에는 엔코더(encoder), 로드셀(loadcell), 리미트 스위치(limit switch), 레이저 센서(laser sensor) 등이 부착되어 거리, 각도 등 각 장치의 공정특성에 따른 동작에 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. 이러한 시스템을 통합하기 위한 방법으로는 필드버스(field bus), 시리얼 통신, TCP/IP를 이용한 방법 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-line상의 그래픽 서버에서 시뮬레이션을 통해 사전에 검증한다. 또한 on-line 시뮬레이션을 통해 장치의 운전정보에 따라 원거리의 폐쇄된 환경에서 작동되는 장치의 상황을 3차원 그래픽으로 구현하는 시스템이다.

본 논문에서는 이러한 사용후핵연료 해체공정 전체 시스템 중 사용후핵연료봉 인출장치를 대상으로 실시간 3차원 그래픽 시뮬레이션을 구현한다.

### 2.2 3차원 그래픽 소프트웨어

각종 장치 및 공정의 제작 전 검증을 위해 3차원 그래픽으로 모델링을 수행하고, 이러한 모델링을 이용하여 시뮬레이션을 수행하기 위한 상용 소프트웨어로 IGRIP, CATIA, ROBCAD 등 여러 제품이 보급되고 있다.

본 연구에서 사용한 3차원 그래픽 소프트웨어는 미국 Deneb Robotics사의 IGRIP(Interactive Graphic Robot Instruction Program)으로 전체적인 인터페이스 구조<sup>17)</sup>는 Fig. 2와 같으며, 현재 실리콘그래픽스사의 그래픽 전용 워크스테이션인 Onyx RE2에서 운영되고 있다.

Fig. 2에 나타난 바와 같이 IGRIP 인터페이스 구조는 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, 외부 시스템과의 인터페이스는 이러한 언어와 공유 라이브러리, LLTI(Low Level Teleoperation Interface), socket interface, 및

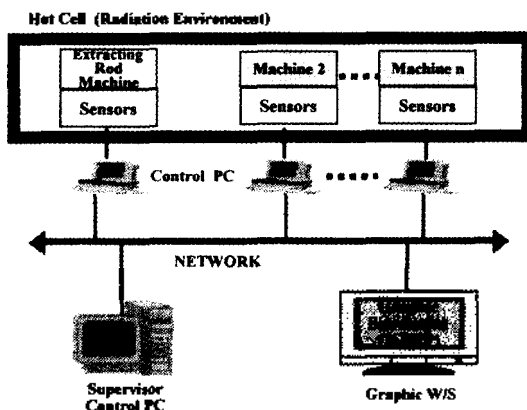


Fig. 1. Working environment for a mechanical disassembling process.

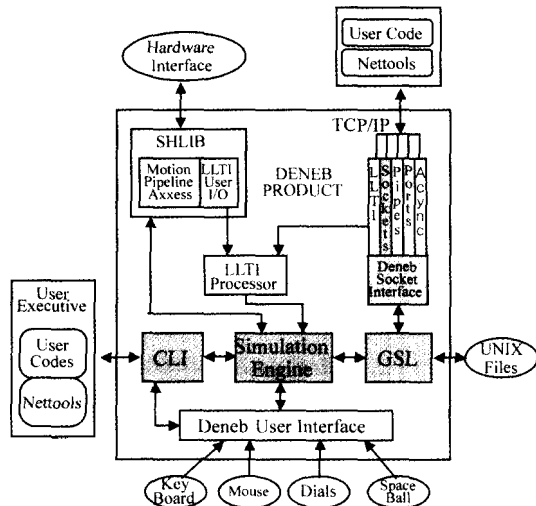


Fig. 2. Block diagram of the IGRIP interface.

user interface 등을 통하여 이루어진다.

2.2.1 IGRIP

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

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

• 그래픽 장치 구성 기능

각 부품의 그래픽 모델을 조합하여 그래픽 디바이스를 구성할 수 있으며, 관절부 등 이동부위의 운동 특성 및 기구학적인 상관관계를 정의하여 실제장치의 특성을 부여할 수 있다.

• 해석 기능

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

• 장치배치 기능

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

• 전산모사 기능

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

• 프로그램 기능

자체 내에서 제공하는 GSL 및 CLI 명령을 이용하여 순차적 동작을 지정함으로써 그래픽 작업장내에 배치된 기계장치들에 대한 시뮬레이션이 가능하고, 보다 실제적인 동적 시뮬레이션을 위해서 C와 같은 고급언어와의 호환을 지원한다. 또한 각종 외장장치와의 통신을 지원한다.

• 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.

2.2.2 LLTI

LLTI는 IGRIP 환경에서 다른 외부 인터페이스와 결합해서 원거리 원격조정과 양방향 통신으로 실시간 시뮬레이션을 가능하게 하는 모듈로 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 통신으로 인간의 접근이 적합치 않은 유해환경 등에서 원거리 작업환경의 변화를 반영할 수 있는 실시간 시뮬레이션에서 사용된다.

Fig. 2에서 보이는 바와 같이 LLTI 외부 인터페이스에는 크게 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 소켓 인터페이스를 이용하여 GSL 그래픽 시뮬레이션 프로그램 상에서 TCP/IP 서버 프로그램을 개발하여 통신을 수행한다.

3. 사용후핵연료봉 인출장치의 3차원 그래픽 모델링 및 Off-line 시뮬레이션

3.1 사용후핵연료봉 인출장치

사용후핵연료를 재활용하거나 또는 밀집저장하기 위해서는 사용후핵연료를 해체하는 기술이 필요하게 되며 여기에는 연료봉을 인출하는 기술이 필수적이다. 사용후핵연료봉 인출장치는 해체공정의 첫 단계

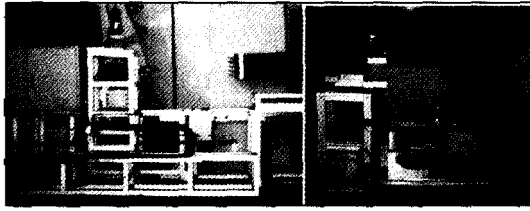


Fig. 3. The photo of fuel rod extraction machine.

인 핵연료집합체에서 연료봉을 인출하는 공정을 수행하는 장치로서 실제 장치의 모습은 Fig. 3과 같다.

사용후핵연료봉 인출장치는 크게 핵연료집합체(Fuel Assembly), 핵연료집합체 고정장치(clamping table), 인출 테이블(extraction table), 로터리 헤드(rotary head), 충격 흡수장치(cradle), 측면 이송장치(pusher) 등으로 구성되어 있다<sup>[8]</sup>.

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

또한 연료봉 인출 로터리 헤드는 17×17 경수로형 핵연료집합체의 하단 고정판(bottom plate)의 체결너트를 풀기 위한 충격 렌치(wrench) 모듈과 연료봉을 파지하기 위한 콜릿(collet) 모듈로 구성되어 있고, 이 두 모듈이 서로 반대방향에 위치하고 있어 필요시 회전하면서 사용하도록 되어있다.

충격흡수장치는 인출테이블 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.

3.2 장치의 3차원 그래픽 모델링 및 시뮬레이션

Fig. 4는 실제 연료봉 인출장치를 IGRIP상에서 3차원 그래픽으로 모델링하여 시뮬레이션을 위해 컴퓨터상의 가상 작업환경(workcell) 내에 배치한 것이다. 주요 구동부는 핵연료봉 인출을 위한 렌치와 그

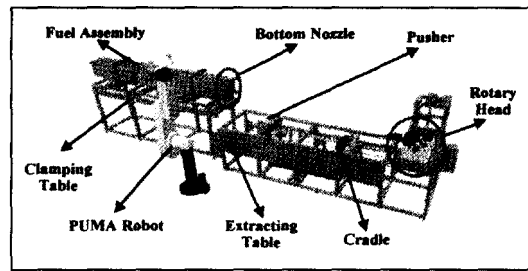


Fig. 4. Graphic workcell of rod extraction system.

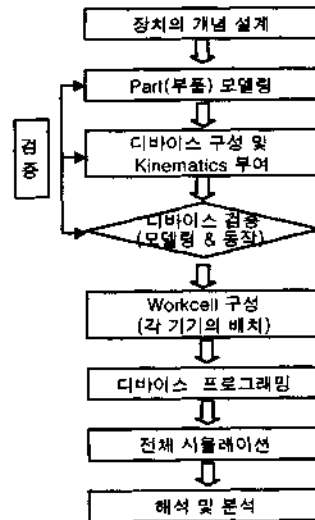


Fig. 5. Flow chart of the graphic modeling and simulation.

리퍼 모드 등으로 구성되어 회전 및 X, Y, Z축으로 이동하는 로터리 헤드 부분, 인출되는 연료봉을 안전하게 받쳐주는 충격흡수장치, 그리고 안착된 연료봉을 측면으로 이송시켜주는 측면이송장치 등이다.

PUMA Robot은 사용후핵연료봉 인출장치와는 별개로 사용후핵연료봉 인출공정의 개념을 off-line상에서 시뮬레이션을 통해 보여주기 위한 것이다. 이 Robot은 인출공정시 집합체 하단고정판을 제거하기 위해 사용된다.

IGRIP을 이용한 3차원 그래픽 모델링 작업순서는 Fig. 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 장치의 구동 개념과 맞게 동작하는지를 검사한다.

그리고 이 디바이스들을 한 작업공간 내에 조합하여 가상의 작업환경을 만든다. 이러한 가상작업 환

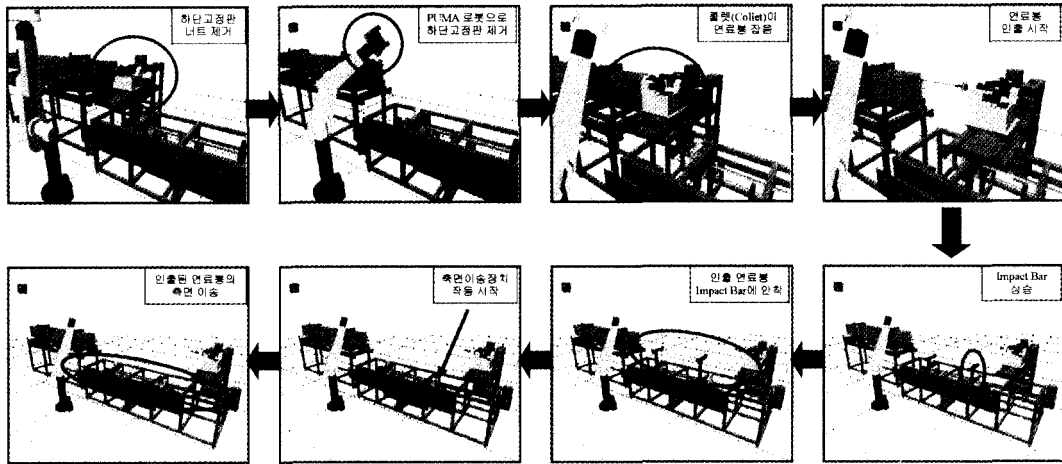


Fig. 6. Off-line graphic simulation on IGRIP.

경이 구성되면 디바이스와의 관계 등을 설정하고, 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 해당 공정에 대한 off-line 그래픽 시뮬레이션을 수행하게 된다.

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

#### 4. 실시간 3차원 그래픽 시뮬레이션

##### 4.1 운전정보 전송을 위한 프로토콜 정의

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

이 프로토콜은 여러 해체장치들과의 통신 상황을 고려하였으며, Deneb IGRIP 모듈인 LLTI상의 네트워크 패킷 데이터 형식과의 호환을 고려하여 메시지의 길이를 나타내는 5 byte의 가변 길이 패킷 헤더를 포함하고 있다. IGRIP 모듈과의 네트워크 통신을 위해서는 반드시 뒤에 오는 메시지의 길이를 나타내는 5 bytes의 헤더를 포함해야 하며, 뒤에 오는 메시지 영역은 별도로 정의하여 사용할 수 있다. 따라서 메

시지 부분은 여러 장치와 IGRIP과의 그래픽 재현을 위한 목적으로 각 장치 및 디바이스별 동작을 고려하여 별도로 정의하였다.

사용후핵연료봉 인출장치의 제어 PC는 이러한 프로토콜에 따라 센서로부터 정보획득에 의한 장치의 상태 및장치의 구동 시 실시간 그래픽 시뮬레이션을 위해 그래픽 시뮬레이션 서버에 정보를 전송한다.

##### IGRIP의 메시지 형식

Byte	Contents
5	Length of following message (ASCII Text)
6~N	Actual Message

##### 메시지 프로토콜 형식

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

- 헤더(메시지 길이)

IGRIP과의 네트워크 패킷 데이터 전송 시 가변 패킷의 길이를 표시한다.

- 장치명: 해체장치의 각 장치를 구분한다.

—사용후핵연료봉 인출장치의 경우 “1”을 할당함.

- 작업(공정) 구분

세부공정은 Table 1과 같이 그래픽 서버와의 실시

Table 1. Detailed operation message by protocol format

Device	Operation	Code	Message
Main Frame (1)	X,Y,Z	0	1100
	Go to Nut	1	1110
	Go to Rod	2	1120
	Extract Rod	3	1130
	Move Joint 1 by Data	4	114x D
	Move Joint 2 by Data	5	115x D
	Move Joint 3 by Data	6	116x D
Rotary Headbo x (2)	Head Box Up	0	1200
	Head Box Down	1	1210
	Move Joint 1 by Data	2	1220
	Rotate to Home(Camera)	3	1230
	Rotate to Wrench	4	1240
	Rotate to Gripper	5	1250
	Rotate Joint 2 by Data	6	126x D
Wrench (3)	Unbolting	0	1300
	Push	1	1310
Gripper (4)	Home (Close)	0	1400
	Open with Release Rod	1	1410
	Close with Grab Rod	2	1420
Impact Bar (5)	Open without Release	3	1430
	Up	0	1500
	Down with Grab Rod	1	1510
Pusher (6)	Move Joint 1 by Data(+)	2	152x D
	Move Joint 1 by Data(-)	3	153x D
	Go to Home	0	1600
	Push Rod	1	1610
	Push Rod with Grab Rod	2	1620

간 시뮬레이션 동기화를 위해 각 디바이스별로 동작에 따라 분류한다.

- 데이터 갯수: 뒤에 포함되어 오는 데이터의 수  
-이 필드값이 "0"일 경우에는 데이터가 없고, 이벤트에 따른 동작을 의미.

- 데이터 필드  
실제 장치의 센서로부터 획득되어 전송되어 오는 실제 데이터 값(이동거리, 회전각 등)으로 각 데이터는 구분자(Delimiter)에 의해 구분된다.

- 프로토콜 메시지 예: "121142 100-50"  
-메시지길이("12"): 12 bytes의 메시지가 뒤에 있음  
-장치명("1"): 사용후핵연료봉 인출장치  
-Device("1"): main frame device  
-Operation("4"): move joint 1 by Data  
-데이터 갯수("2"): 뒤에 2개의 데이터가 있음  
-구분자(" "): space를 첫 번째 데이터 앞에 삽입  
-Data 값("100"): 첫 번째 데이터(100 mm)

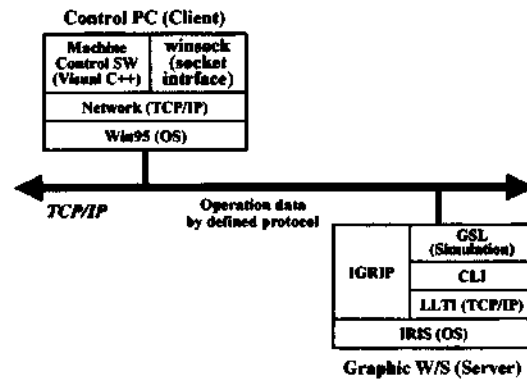


Fig. 7. TCP/IP client-server paradigm for real-time graphic simulation.

- 구분자(" "): space를 두 번째 데이터 앞에 삽입
- Data 값("-50"): 두 번째 데이터(-50 mm)

4.2 실시간 3차원 그래픽 시뮬레이션 구현

폐쇄된 환경에서 운영되는 사용후핵연료봉 인출장치 제어 PC와 원거리에서 위치한 그래픽 서버는 TCP/IP 통신을 이용하여 장치로부터 운전정보를 전송 받는다. 그리고 그래픽 시뮬레이션 서버는 전송된 운전정보에 따라 실시간 그래픽 시뮬레이션을 수행한다. 이러한 수행을 위해 구축된 TCP/IP 클라이언트-서버<sup>[9]</sup> 시스템은 Fig. 7과 같다.

사용후핵연료봉 인출장치의 제어프로그램은 Visual C++을 이용하여 개발하였으며, MEI(Motion Engineering Inc.)사의 다축 제어보드를 이용하여 장치의 각 축을 제어한다. 이러한 제어프로그램에 TCP/IP 통신을 위한 winsock 모듈을 추가하여 장치의 제어 명령이나 이벤트 발생시 정의된 프로토콜에 따라 운전정보가 자동으로 전송될 수 있도록 하였다. 그래픽 시뮬레이션 서버에서는 전송된 운전정보에 따른 그래픽 시뮬레이션을 위해 기존의 off-line 시뮬레이션 프로그램을 모듈화하고, IGRIP에서 제공하는 GSL을 이용하여 TCP/IP 통신을 위한 socket 모듈을 추가하였다.

본 연구에서 구현한 동기화 방법은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 제어프로그램에 각 축을 제어하는 클래스가 정의되어 있는데, 여기에 그래픽 시뮬레이션 서버로 데이터가 전송되도록 TCP/IP 전송부분을 추가하여 프로토콜에 따른 메시지가 자동으로 생성되도록 하였다. 따라서 제어프로그램에서 동작을 지시할 때 메시지가 자동 생성되어 그래픽 시뮬레이션 서버에 전송되고, 이에 해당되는 그래픽 시뮬레이션

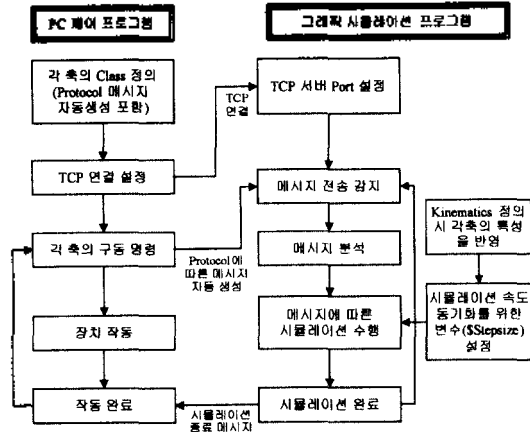


Fig. 8. Diagram for the synchronization of graphic simulation.

이 수행된다. 실제 장치의 동작과 시뮬레이션 종료의 동기화는 시뮬레이션 프로그램에서 시뮬레이션 속도를 조정하는 변수(\$STEPsize) 값을 가지고 실제 장치의 속도와 일치시켰다. 그리고 시뮬레이션 프로그램에서 전송된 메시지에 대한 시뮬레이션 종료 시 이를 제어프로그램에 알려주도록 구현되어 있다.

IGRIP상에서 그래픽 시뮬레이션의 속도는 상대적인 값으로 주어지므로 그래픽 시뮬레이션 서버의 성능에 따라서 달라진다. 또한 시뮬레이션 중간에 시뮬레이션 속도를 변경하거나 시뮬레이션을 종료시킬 방법이 없으며, 또한 시뮬레이션을 종료 할 경우 전체 프로세스가 중단되어 제어 PC와의 네트워크 연결이 해제된다. 그리고 장치의 구동속도를 맞추기 위해 중간에 그래픽 시뮬레이션이 건너뛰게 된다면 원격감시 측면에서 문제가 많게 된다. 따라서 본 연구에서는 사전에 시뮬레이션의 속도를 장치의 속도와 일치시키는 방법으로 구현하였으나, 추가적인 연구를 통하여 좀 더 세밀한 동기화 메커니즘의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

Fig. 9는 Visual C++로 작성한 사용후핵연료봉 인출장치 제어 PC의 제어화면이다. 메인 화면은 주요축의 움직임을 보여주며, 메인 메뉴에서 실시간 시뮬레이션을 위한 TCP/IP 연결설정 선택시 TCP/IP 연결창이 뜨고 그래픽 서버와 연결이 설정된다. 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 기록해주는 화면으로 구성되어 있다.

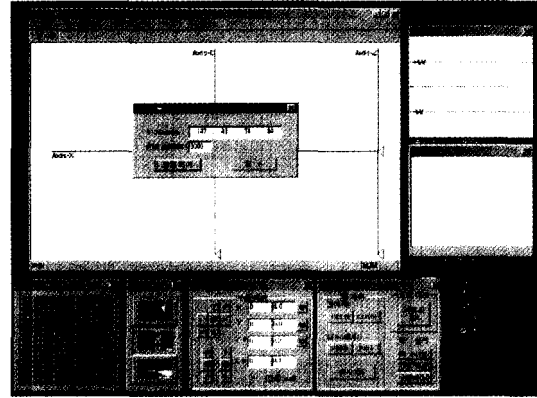


Fig. 9. Screen of the control PC.

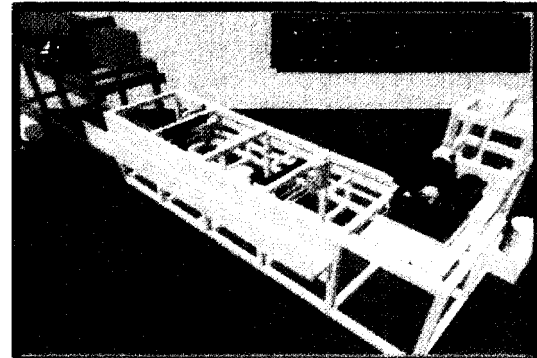


Fig. 10. On-line connection of the graphic simulation server.

Fig. 10은 그래픽 시뮬레이션 서버가 TCP/IP 네트워크 환경 하에서 on-line으로 연결되어 실시간 시뮬레이션 모드로 실행되는 화면으로, 원거리에 위치한 사용후핵연료봉 인출장치 제어PC로부터 그래픽 서버와의 연결요청에 따라 연결이 설정되고 운전정보를 전송 받은 상황을 보여준다.

Fig. 11은 실제로 원거리에 위치한 실제 장치와 연결하여 사용후핵연료봉 인출장치 제어 PC로부터 운전정보 전송에 따라 실시간으로 그래픽 서버가 시뮬레이션을 수행하는 모습을 보여주는 화면이다. 사용후핵연료봉 인출장치 제어 PC에서 장치의 제어명령 또는 이벤트 발생 시 정의된 프로토콜에 따라 TCP/IP 네트워크를 통해 장치의 운전정보가 그래픽 시뮬레이션 서버로 전송된다. 그리고 전송된 운전정보에 따라 그래픽 시뮬레이션 서버에서 모뎀화된 시뮬레이션 프로그램에 의해 실시간으로 장치의 해당 동작과 일치한 그래픽 시뮬레이션을 수행하는 것으로, 장치의 시작 및 종료시점과 일치하여 그래픽 시뮬레이

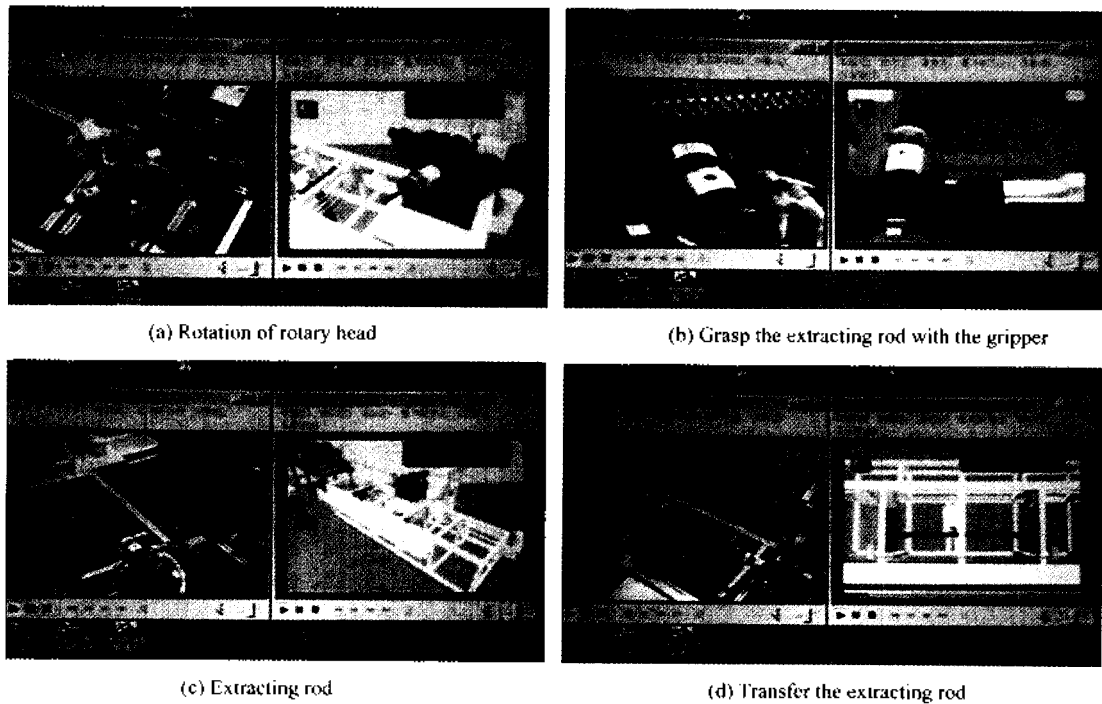


Fig. 11. Real-time graphic simulation with the actual machine.

선이 수행되었다.

### 5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 3차원 컴퓨터 그래픽을 이용한 가상모형 기술과 네트워크 기술을 접목하여, 폐쇄환경에 위치한 장치의 운전상황을 원격감시하기 위한 시스템을 개발하였다. 원거리에 위치한 사용후핵연료봉 인출장치 제어 PC와 3차원 그래픽 시뮬레이션 서버간의 통신을 위한 TCP/IP 클라이언트-서버 시스템을 개발하고, 운전정보 전송을 위한 프로토콜을 설정하였다. 그리고 이러한 시스템을 적용하여 실제장치와 실시간 3차원 그래픽 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구의 결과 사용후핵연료봉 인출장치 제어 PC와 IGRIP에서 GSL로 구현한 그래픽 시뮬레이션 서버간에 TCP/IP 통신에 의해 실시간으로 운전정보 전송이 가능하였으며, 이 운전정보에 따라 3차원 그래픽 시뮬레이션도 잘 수행되었다. 그러나 여러 축의 동시 구동에 따른 실시간 동기화를 위해서는 무엇보다도 여러 축에 대한 운전정보의 동시 전송을 위한 메시지 정의와 연계시점의 설정이 매우 중요하다. 그리고 방대한 양의 데이터를 처리해야 하는 그래픽

시뮬레이션의 부하를 낮출 수 있도록 모델링 시 높은 수준이 요구되는 그래픽 모델은 정교하게 구성하고 그렇지 않은 부분은 수준을 낮추는 방법 등으로 그래픽 데이터를 최소화할 필요가 있다.

본 연구에서는 3차원 그래픽 시뮬레이션 툴인 IGRIP의 한계점 때문에 그래픽 상에서 운동특성(kinematics) 정의시 각 구동축의 모터 특성에 따라 속도를 정의하여 시뮬레이션을 동기화 하였으나, 차후 이러한 문제점을 해결하여 일정한 간격으로 정보를 받아 시뮬레이션 동기화를 구현할 예정이다. 또한 실제 장치에서 예외 발생 시 그래픽 시뮬레이션 상에서 이러한 상황을 정확하게 알려줄 수 있는 방안에 대한 연구가 추가되어야 할 것으로 생각된다.

격리된 환경에서 운영되는 장비의 운전자는 폐쇄회로 TV에 의한 감시의 한계로 인하여 장치의 정밀한 움직임을 보기 어렵다. 그러나 이러한 실시간 3차원 그래픽 시뮬레이션 동기화 기술은 작업운전자에게 원거리에 위치한 장치의 상세한 작업상황을 3차원 그래픽 화면으로 제공해 줄 수 있다. 따라서 이러한 기술은 방사선 환경과 같이 격리된 환경에서 사용되는 장치들의 원격운전 감시 및 상황점검에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

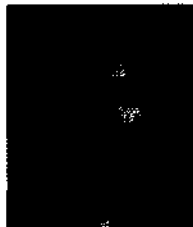


### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

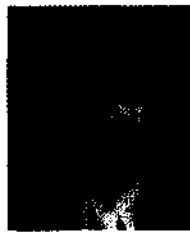
### 참고문헌

1. Baker, C. P., "Parametric Design Using IGRIP". *Proceeding of the DENEb User Group Conference*, pp. 7-10, 1994.
2. Haddox, D., Clifford, S., Ekdahl, D. and Tulenko, J. S., "Virtual Reality for Mobile Robot Control", *Proceeding of the DENEb User Group Conference*, pp. 91-98, 1994.
3. Salminen, M., Tuokko, R., Sulkanen, J., "Development, Experiments and Experience in Telerobotics and VR Using the TELEGRIP Software", *Proceeding of the DENEb User Group Conference*, pp. 55-64, 1995.
4. Bamaby, J. B., "The Use of Real-Time Computer Graphics to Assist Remote Reactor Inspection", *Proceeding of the DENEb User Group Conference*, pp. 27-31, 1995.
5. Ferwon, A. and Plataniotis, K., "Effective Teleoperation Over the World Wide Web", *Proceeding of the IASTED International Conference on Robotics and Application*, pp. 158-162, 1999.
6. 정병하 외, "실중시설 가상현실 시뮬레이터 개발", 연구보고서, 한국원자력연구소, pp. 6-8, 1997.
7. Deneb, *IGRIP & LLTI User Manual and Tutorials*, Deneb, Michigan, USA, 1995.
8. 윤지섭 외, "사용후핵연료 원격장치취급개발", 연구보고서, 한국원자력연구소, pp. 113-128, 1997.
9. Losbin, P., *TCP/IP-Clerly Explained*, Academic Press, pp. 301-316, 1997.



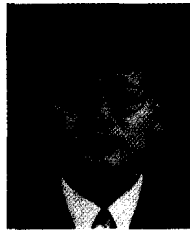
### 송 태 길

1987년 전남대학교 전자계산학과 학사  
2000년 충북대학교 전자계산학과 석사  
1987년~현재 한국원자력연구소 선임연구원  
관심분야: Computer Graphics, CALS/EC, Network Management



### 이 종 열

1986년 서울시립대학교 건축공학과 학사  
1996년 충남대학교 건축공학과 석사  
1987년~현재 한국원자력연구소 선임연구원  
관심분야: On-line Graphic Simulation, 영상처리



### 김 성 현

1983년 중앙대학교 전자공학과 학사  
1985년 중앙대학교 전자공학과 석사  
1985년~현재 한국원자력연구소 선임연구원  
관심분야: Computer Graphics, 분산제어



### 윤 지 섭

1980년 서울대학교 기계공학과 학사  
1987년 한국과학기술원 기계공학과 석·박사  
1987년~현재 한국원자력연구소 핵연료주기 단 원격취급장치개발실 실장책임연구원  
관심분야: 수중로봇기술, 생산자동화 및 제측제어, 극한환경 원격취급기술