

# 사용후핵연료봉 절단공정 Graphic On-line Simulation을 위한 제어 PC와 Graphic 시스템 동기화 구현

이종열\*(한국원자력연구소), 송태길( ), 김성현( ), 윤지섭( )

## Implementation of Control PC and Graphic System synchronization for the Graphic On-line Simulation of the Spent Fuel Rod Cutting Process

J. Y. Lee(KAERI), T. G. Song( ), S. H. Kim( ), J. S. Yoon( )

### ABSTRACT

To enhance the reliability of spent fuel handling machine by providing a close monitoring capability, a real time graphic simulation method by synchronization between client(machine control PC) and graphic server system is suggested in this paper. 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 Synchronization of the systems is realized by the socket module through the TCP/IP network and by dividing the 3D graphic simulation GSL(Graphic Simulation Language) program as a small sized sub routine. The result of implementation shows that the real time 3D graphic simulation is well synchronized with the event data from the client

**Key Words :** Spent Fuel Rod (사용후핵연료봉), Cutting Process (절단공정), Graphic Design (그래픽 설계), Virtual Prototyping(가상모형), On-line Simulation (전산모사), Synchronization (동기화)

### 1. 서론

컴퓨터 그래픽 기술은 최근 광고나 영화 등의 다양한 분야에서 수요가 증가함에 따라 그 중요성과 필요성이 대두되고 있으며, 장치의 설계, 검증 및 연구 결과의 가시화 등 과학기술분야에서도 그 활용성이 급속하게 증대되고 있다.

또한, 수년에 걸친 컴퓨터 통신기술의 발전과 더불어 통신 및 자동화 기술은 급속하게 변화하여 왔다. 네트워크는 자동화 요소들 간에 정보교환을 가능케 함으로써 첨단 자동화 시스템에서 중추 및 신경 기능을 담당하고 있다.

사용후핵연료는 고방사성 물질로서 인간이 작업대상물에 근접할 수 없으므로, 차폐실(핫셀) 내에 기계장치를 배치하고 원거리 통신기능을 추가시켜 이의 구동을 차폐실 외부의 제어실에서 수동 및 자동 방식으로 원격 제어하면서 사용후핵연료의 이송, 가공 및 관련시설의 유지, 보수 작업을 수행하여야 한다. 사용후핵연료의 취급과 같이 작업 안전성이 중요한 관건일 때에는 작업의 신뢰성 확보가 매우 중요하다. 이를 위해서는 작업현장의 3차원

그래픽 정보를 실시간으로 전시해줌으로써 원격조작자가 작업을 효과적으로 수행하도록 할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 가상 그래픽 시뮬레이션 기술과 네트워크 기술을 토대로 실제 장치를 제어하는 제어용 컴퓨터와 그래픽 시뮬레이션을 수행하는 워크스테이션을 연계시켜, 정보교환에 의해 실제 장치의 움직임을 장치의 이벤트 발생시점과 동기화 하도록 Protocol을 정의하고, 클라이언트-서버 시스템을 개발하였다. 실제 장치로는 사용후핵연료해체 공정장치의 일부인 사용후핵연료봉 절단장치를 대상으로 하였으며, 시스템 상에서 실제로 제어용 PC의 이벤트 발생에 따라 그래픽 서버에 구축된 3차원 그래픽 시뮬레이션의 동기화를 보여 준다.

### 2. 사용후핵연료봉 절단장치 3차원 그래픽 모델 및 Off-line Simulation

#### 2.1 사용후핵연료봉 절단장치

사용후핵연료는 우리나라 발전량의 약 40 %를 차지하는 원자력 발전에 의한 결과로 발생한다. 사

용후핵연료는 재활용의 가치가 있으므로, 이를 효율적으로 관리하기 위한 다각적인 연구를 수행하고 있다. 사용후핵연료봉 절단장치는 이러한 사용후핵연료 관리공정의 일환인 사용후핵연료 집합체 해체공정 중 사용후핵연료봉 절단 작업을 수행하는 장치이다. 이 장치는 연료봉 인출장치로부터 연료봉을 이송하는 Kicking system, 연료봉을 절단부로 이송시키는 Roller System, 절단날로 절단 작업을 수행하는 Driving System, 및 절단 연료봉을 다음공정으로 이송시키는 Chute System으로 구성되며, Fig. 1은 실제 연료봉 절단장치를 나타내고 있다.



Fig. 1 Spent fuel rod cutting machine.

### 2.2 3차원 그래픽 모델 및 Off-line Simulation

Fig. 2는 미국 Deneb Robotics사가 개발한 3차원 그래픽 상용 소프트웨어인 IGRIP(Interactive Graphic Robot Instruction Program)을 사용하여 실제 사용후핵연료봉 절단장치를 3차원으로 그래픽 모델링하고, 이를 가상의 작업환경(Workcell)에 배치한 것을 나타내고 있다. IGRIP를 이용한 3차원 그래픽 모델링 작업 순서는 먼저 각 장치의 부품들을 그래픽 상에서 설계하여 모델화하고, 이 부품 모델들을 조합하여 디바이스(Device)를 구축한다. 그리고 각각의 디바이스에 운동특성을 부여하여 실제 장치의 구동 개념과 일치하여 동작하는지를 검증한다.

또한 디바이스들을 그래픽상의 작업공간에 조합하여 가상의 작업공간을 구축하고, 각 디바이스의 관계 등을 설정하는 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 해당 공정의 타당성 및 최적화를 위한 Off-line Simulation을 수행한다. Fig. 3은 사용후핵연료봉 절단을 위한 장치의 주요 세부공정을 그래픽시뮬레이션으로 묘사한 것이다.

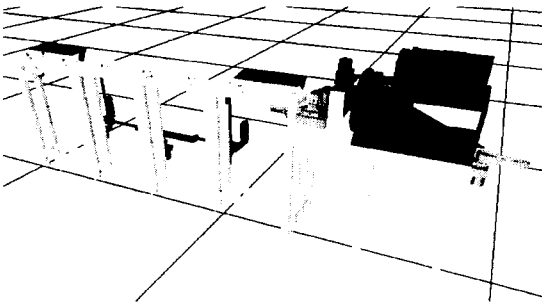


Fig. 2 Graphic model of the fuel rod cutting machine.

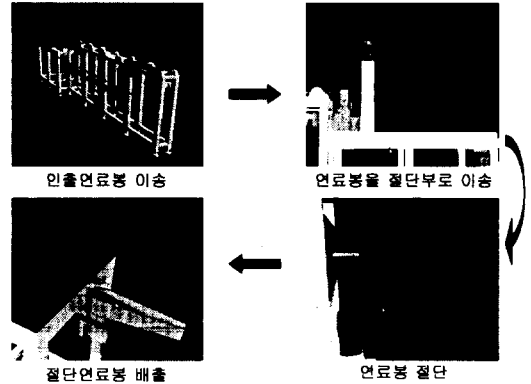


Fig. 3 Off-line Simulation of the cutting process.

## 3. 시스템 구성환경 및 TCP/IP 통신

### 3.1 시스템 구성 환경

실제 환경에서의 시스템 구축은 Fig. 4와 같이 사용후핵연료 집합체를 해체하고 처리하기 위한 전체 해체공정을 대상으로 하고 있다.

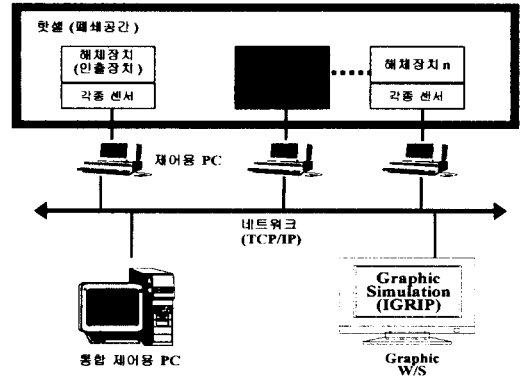


Fig. 4 Environment for a real time graphic simulation.

Fig. 4와 같이 고방사성 물질을 취급하기 위한 폐쇄환경인 핫셀 내에 사용후핵연료 집합체 해체공정장치들이 위치하여 작업을 수행한다. 각 장치에는 엔코더(encoder), 로드셀(loadcell), 리미트 스위치(limit switch) 등이 부착되어 거리, 각도 등 각 장치의 움직임에 대한 정보를 핫셀 밖에 위치한 제어 PC에 제공하며, 제어 PC는 이러한 정보를 바탕으로 장치의 상황을 감시하고 제어하게 된다.

통합제어용 PC는 각각의 제어용 PC를 네트워크로 연결하여 해체공정의 작업을 통합적으로 관리하기 위한 시스템으로서, 각 장치의 제어시스템을 통합하기 위하여 연구소에 기 설치되어 있는 TCP/IP 방식의 네트워크를 이용하였다.

본 논문에서는 이러한 사용후핵연료 해체공정 전체 시스템 중 사용후핵연료봉 절단장치를 대상으로 하며, 실제 장치와의 연계를 위한 전 단계로서

제어 PC에 클라이언트 프로그램을 구현하여 TCP/IP 통신과 이벤트 발생시 그래픽 워크스테이션에 구현된 IGRIP의 시뮬레이션 서버와의 실시간 3차원 그래픽 시뮬레이션을 위한 동기화를 구현한다.

### 3.2 IGRIP Interface

모델링 및 실시간 그래픽 시뮬레이션을 수행하기 위한 그래픽 소프트웨어인 IGRIP은 실리콘 그래픽스사의 그래픽전용 워크스테이션인 ONYX 2에서 운영된다. IGRIP의 전체 인터페이스구조는 Fig. 5에서 보이는 바와 같이 그래픽 시뮬레이션 모듈과 외부와의 정보교환을 위한 모듈로 구성되어 있다. 그래픽 시뮬레이션용 언어로는 CLI(Command Line Interpreter)와 GSL(Graphic Simulation Language)이 제공되며, 이러한 언어와 공유 라이브러리 및 LLTI(Low Level Teleoperation Interface), socket interface, user interface 등을 통해 외부 시스템과의 인터페이스가 가능하다.

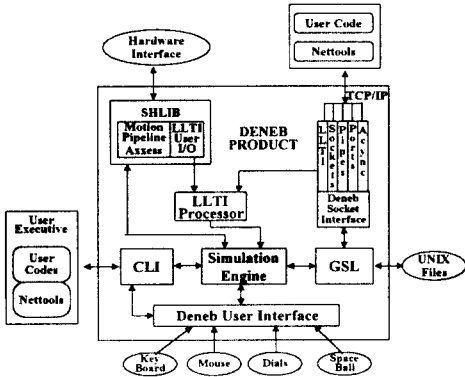


Fig. 5 Block diagram of the IGRIP Interface.

### 3.3 운전정보 전송을 위한 프로토콜 정의

사용후핵연료봉 절단장치의 실제공정을 IGRIP으로 구현한 3차원 그래픽 시뮬레이션과 연계한 실시간 그래픽 재현을 위하여 다음과 같이 프로토콜을 정의하여 사용한다.

이 프로토콜은 여러 해체장치들과의 통신 조건을 고려하였으며, Table 1에 나타난 바와 같이 IGRIP 모듈과의 네트워크 통신을 위하여, LLTI상의 네트워크 패킷 데이터 형식인 메시지의 길이정보를 나타내는 5 byte의 가변 길이 패킷 헤더를 포함하고 있다.

Table 1 Message Format of IGRIP

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

헤더 다음에 오는 메시지 영역은 별도의 정의가 가능하므로, 여러 장치와 IGRIP과의 그래픽 재현을 위하여 Table 2의 형식에 의하여 장치 및 디바이스별

동작을 고려하여 별도로 정의하였으며, Table 3은 연료봉 절단장치에 대한 상세 프로토콜이다.

사용후핵연료봉 절단장치의 제어 PC는 센서로부터 획득한 정보에 따른 장치 구동과 동시에, 실시간 그래픽 시뮬레이션을 위하여 정의한 프로토콜에 따라 그래픽 시뮬레이션 서버에 정보를 전송한다.

Table 2 Format of message protocol

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

Table 3 Detailed messages by protocol format

장치 Code	Device	기능 및 동작	Code	Message
사용후 핵연료봉 절단장치 (2)	Kick (1)	Home	0	2100
		상승(연료봉 Grab)	1	2110
		회전(연료봉 Release)	2	2120
	Roller (2)	역회전	3	2130
		Home	0	2200
	Magnetic (3)	Home(단침)	0	2300
		Magnetic 열림	1	2310
	T-Clamp (4)	Home	0	2400
		단침(연료봉 Grab)	1	2410
		이송	2	2420
	F-Clamp (5)	열림(연료봉 Release)	3	2430
		Home	0	2500
	Cutter (6)	단침(연료봉 Grab)	1	2510
		Home	0	2600
	Driving (7)	하강	1	2610
		Home	0	2700
Distributor (8)	회전	1	2710	
	Home	0	2800	
	좌회전(수집통)	1	2810	
	우회전(chute)	2	2820	

## 4. 시뮬레이션 동기화 실험

제어 PC의 클라이언트 프로그램과 그래픽 서버간의 실시간 시뮬레이션을 위한 동기화 수행 흐름도는 Fig. 6과 같다. 그래픽 서버로의 연결은 서버에서 소켓을 열고 대기하는 동안 클라이언트에서 해당 IP와 Port 번호로 접속을 요청함으로써 설정된다.

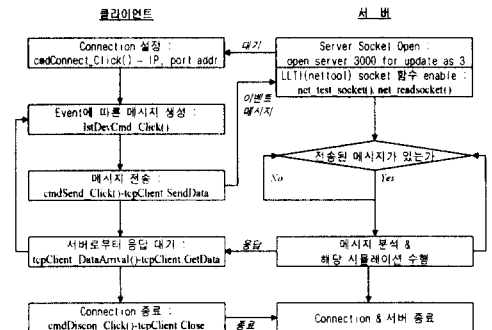


Fig. 6 Flow diagram for the simulation synchronization.

연결이 확인되면 클라이언트에서는 이벤트에 따른 메시지를 생성하여 서버로 전송하며, 서버에서는 전송받은 메시지와 연계된 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 클라이언트에 전송한다.

Fig. 7은 제어용 PC의 각 디바이스별 동작에 따른 이벤트 발생상황과 이에 해당하는 메시지의 전송 및 시뮬레이션 완료 후 그래픽 서버로부터 전송되어오는 시뮬레이션 수행결과를 보여주는 클라이언트 프로그램이다.

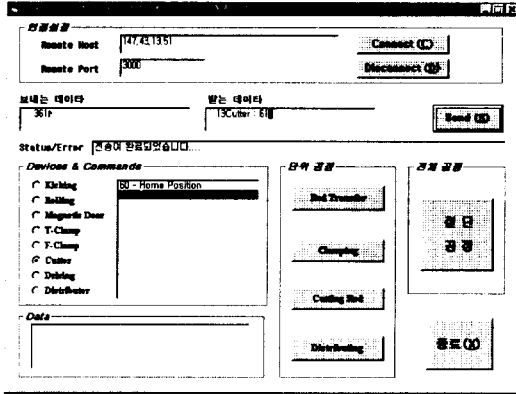


Fig. 7 Client Program of the machine control PC.

Fig. 8은 그래픽 시뮬레이션 서버의 초기화면으로서, 소켓을 연 후 클라이언트로부터의 접속요청에 따라 TCP 연결이 잘 설정되었음을 보여준다. Fig. 9는 T-clamp와 Driving 디바이스의 이벤트 42인 연료봉이송과 이벤트 61인 연료봉 절단 동작정보를 전송받아 그래픽 시뮬레이션을 수행하고 있는 모습으로서, 정의한 이벤트에 따라 시뮬레이션 동기화가 잘 수행됨을 보여 주고 있다.

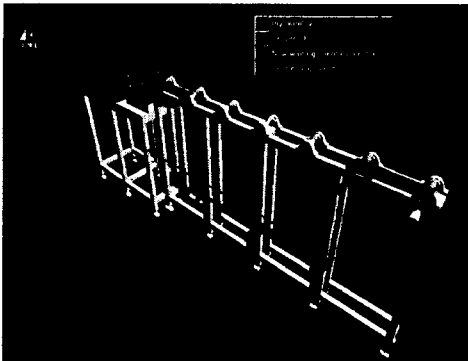


Fig. 8 On-line connection of the graphic server.

## 5. 결 론

본 연구에서는 가상모형 기술과 네트워크 기술을 접목하여, 장치를 제어하는 원격지의 제어용 PC

와 3차원 그래픽 모델링을 통해 구현한 시뮬레이션 서버간에 이벤트 전달 방식으로 실시간 동기화 시스템을 구현하였다.

이를 위하여 TCP/IP상에서 제어용 PC를 클라이언트로 설정하고, 컴퓨터상의 가상환경에서 3차원 그래픽 모델을 통하여 장치에 대한 시뮬레이션을 수행하는 워크스테이션을 서버로 설정하였다. 그리고 클라이언트와 서버간의 통신을 위해 TCP/IP 트랜스포트 계층의 인터페이스를 이용하는 소켓 프로그램을 작성하고, 실제 장치에서 발생하는 이벤트와 이 이벤트에 따른 메시지를 정의하여 시뮬레이션 동기화실행을 수행하였다.

이 연구의 결과 제어용 PC와 IGRIP에서 GSL로 구현한 그래픽 서버간에 TCP/IP 통신 및 전송 이벤트에 따른 시뮬레이션 동기화가 잘 수행되었다.

이러한 그래픽 시뮬레이션 동기화 기술은 원격 장치의 상세한 작업 상황정보를 장치의 움직임을 보기 힘든 작업운전자에게 제공함으로써, 방사선 환경이나 극한환경과 같이 격리된 환경에서 사용되는 장치들의 원격 운전상황의 점검 및 감시에 유용하게 활용할 수 있을 것이다.



Fig. 9 Synchronized simulation by event 42 & 61.

## 후기

본 연구는 과학기술부의 원자력 증장기 연구개발 사업의 일환으로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Omura, "Virtual prototyping for canister receiving devices of high level waste storage facility," Proc. of DENE User Meeting for Korean Users, 1999.
2. Douglas E. Comer, "Internetworking with TCP/IP - Volume I", Prentice Hall, pp. 171-344, 1991
3. Deneb, "IGRIP User Manual and Tutorials", 1995.
4. M. Salminen, R. Tuokko, J Sulkanen, "Development, Experiments and Experience in Telerobotics and VR Using the TELEGRIP Software", Proceeding of the DENE User Group Conference, pp. 55-64, 1995.
5. 윤지섭 외, "사용후핵연료 수직/수평 회전기구 및 연료봉 절단장치 개발", 한국원자력연구소(KAERI/TR-1604/00) pp. 59-73, 2000.
6. 이철기, "실시간 모의제어 시스템(Simulator) 국산화 개발", 정보과학회지 Vol. 13 pp. 76-80, 1995.