

2002 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

그래픽 시뮬레이터 상에서 Master-Slave Manipulator와 외부 입력장치의 연계시스템 개발

Development the Interface System of Master-Slave Manipulator and External Input Device on the Graphic Simulator

송태길, 이종열, 김성현, 윤지섭
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

마스터-슬레이브 매니퓰레이터(Master-Slave Manipulator)는 사용후핵연료와 같은 고방사선 물질을 취급하는 시설에서 가장 일반적으로 사용되는 원격 취급장비이다. 본 연구에서는 핫셀 내에서 마스터-슬레이브 매니퓰레이터의 작업영역 및 동작을 분석하기 위해 3차원 그래픽 시뮬레이터를 구축하였다. 그리고 그래픽 시뮬레이터 상에서 양방향으로 고속의 통신 기능을 제공하는 Tele-operation 인터페이스를 이용하여 6축 외부 입력장치와의 연계시스템을 개발하였다.

Abstract

The Master-Slave manipulator is the generally used as remote handling device in the hot cell, in which the high level radioactive materials such as spent fuels are handled. To analyze the motion of remote handling device and to simulate the remote handling operation task in the hot cell, the 3D graphic simulator which has been installed the master-slave manipulator is established. Also the interface program of external input device with 6 DOF(Degree of Freedom) is developed and connected to graphic simulator with LLTI(Low Level Tele-operation Interface) which provides a uniquely optimized, high speed, bidirectional, communication interface to one or more of systems and processes.

1. 서론

사용후핵연료와 같은 고방사성물질의 취급은 그 특성상 핫셀(Hot cell)이라고 하는 폐쇄된 공간에서 작업을 수행한다. 이러한 핫셀에서 물질의 취급, 공정장치의 운전 및 유지보수 작업은 모두 원격으로 수행된다. 이러한 원격 작업은 크레인, Master-Slave(MS) 매니퓰레이터, 서보 매니퓰레이터 등과 같은 취급장치를 이용하여 수행한다. 이러한 고방사성물질 취급에 있어서의 원격조작은 안전성이 가장 중요한 요소로서, 매니퓰레이터 운전 시 타 장치와의 간섭 및 충돌로 인한 공정의 중단 또는 공정장치의 고장이 발생하지 않도록 하여야 한다. 이를 위하여 실제 운전 전에 실제환경과 동일한 조건에서 매니퓰레이터 작업영역에 대한 분석이 필요하다.

이러한 분석을 위해서는 실제의 작업환경과 동일하게 Mockup 시설을 설치하여 수행하거나, 그래픽 시뮬레이션 기술을 활용하여 가상공간에서 수행하게 된다. 그래픽 시뮬레이션 기술은 이의 기반인 컴퓨터기술의 비약적인 발전에 따라 모든 산업의 다양한 분야에 적용되고 있다. 또한 이러한 그래픽 시뮬레이터의 개발과 함께 작업자의 체감성을 향상시키기 위한 외부 입력장치와의 연계가 필요하며, 최근에는 Haptic Device의 개발 및 활용이 증가하고 있다.

본 연구에서는 고방사성물질을 취급하는 핫셀에서 원격취급장치로 주로 사용하고 있는 Master-Slave 매니퓰레이터의 구동 특성 및 작업공정을 분석하기 위한 그래픽 시뮬레이터를 개발하였다. 그리고 매니퓰레이터의 Master를 대신하여 움직임을 부여할 수 있는 6축 외부 입력장치와의 인터페이스 프로그램을 개발하여 그래픽 시뮬레이터와 실시간으로 인터페이스가 가능하도록 연계시스템을 개발하였다.

2. Master-Slave Manipulator

Master-Slave Manipulator(MSM)는 핫셀 내의 사용후핵연료 등과 같은 핵물질 취급 및 각종 시험장치를 차폐벽 외부에서 원격조작 함으로써 각종 시험을 원활히 함은 물론 작업자의 피폭을 최소화하기 위한 원격조작장치이다. Fig. 1은 원자력시설에서 많이 사용하고 있는 CRL사의 L-HD모델의 M-S Manipulator 모습이다. 그림의 오른쪽 부분이 차폐벽 안쪽에 설치되는 슬레이브 부분이고, 왼쪽이 차폐벽 바깥쪽에 설치되는 마스터 부분이다. 이 장치는 방사선영향으로 인한 고장을 줄이기 위해 기계식으로 철심와이어와 기어로 마스터와 슬레이드가 연결되어 구동되도록 되어있다.

작업자는 차폐벽 바깥에서 마스터를 가지고 차폐창이나 카메라 화상을 보면서 차폐벽 안쪽의 슬레이브를 작동시켜 작업을 하게된다. Fig. 2는 마스터와 슬레이브의 6개 축에 대한 구동특성을 보여주며, Table 1은 슬레이브 구동축에 대한 구동 값을 정리한 것이다. 본 연구에서는 6축 입력장치를 작업자가 조작하게되는 마스터로 생각하고 직접 슬레이브

에 연결하였다. 이에 따라 6축 입력장치의 구동범위를 슬레이브의 구동특성에 맞도록 구현하였다.

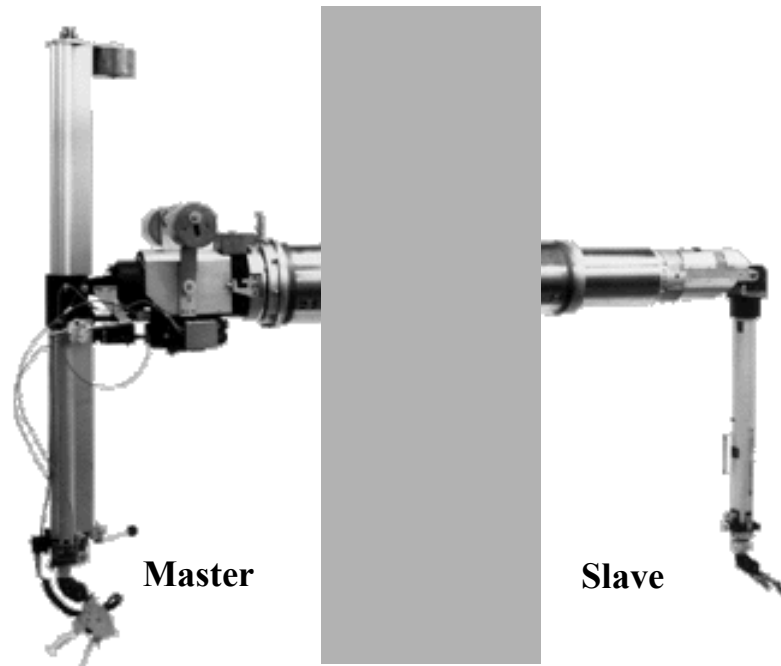


Fig. 1. Picture of M-S Manipulator.

Table 1. Motion Characteristics and Value of Slave

구동축	구동 특성	구동 값
1축 (Joint 1)	Rotate	$\pm 45^\circ$
2축 (Joint 2)	Rotate	$+90^\circ \sim -30^\circ$
3축 (Joint 3)	Translate	1122 mm
4축 (Joint 4)	Rotate	$\pm 164^\circ$
5축 (Joint 5)	Rotate	Up : 40° / Down : 116°
6축 (Joint 6)	Rotate	$\pm 180^\circ$

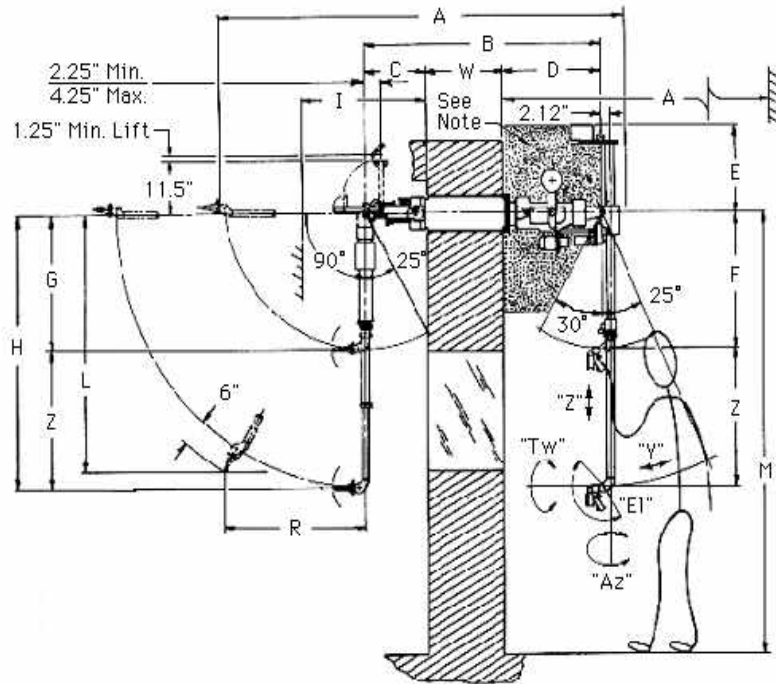


Fig. 2. Motion Characteristics of M-S Manipulator.

3. 그래픽 시뮬레이터 구축

3.1 MSM 그래픽 모델링 및 Kinematics 구현

그래픽 시뮬레이터를 구축하기 위해서는 먼저 대상들에 대한 3차원 그래픽 모델링이 수행되어야 한다. 그리고 시뮬레이션의 대상이 되는 디바이스를 구축하여 구동특성에 맞게 기구학적 운동특성(kinematics)을 설정한 후 가상의 작업공간인 Workcell을 구축하게 된다. 이러한 Workcell이 구축되면 시뮬레이션을 위한 프로그램을 작성하거나 사용자 인터페이스를 구축하여 시뮬레이터를 구축하게 된다. 본 연구에서는 시뮬레이터 구축을 위한 툴(Tool)로 DELMIA사의 IGRIP(Interactive Graphic Robot Instruction Program)을 이용하였다.

Fig. 3은 그래픽 시뮬레이터 구축을 위해 3차원으로 모델링하여 디바이스로 구축한 Master-Slave Manipulator 그래픽 모델이다. 마스터와 슬레이브에 Table 1과 같은 구동특성에 따라 기구학적 운동특성을 설정한 상황을 보여준다.

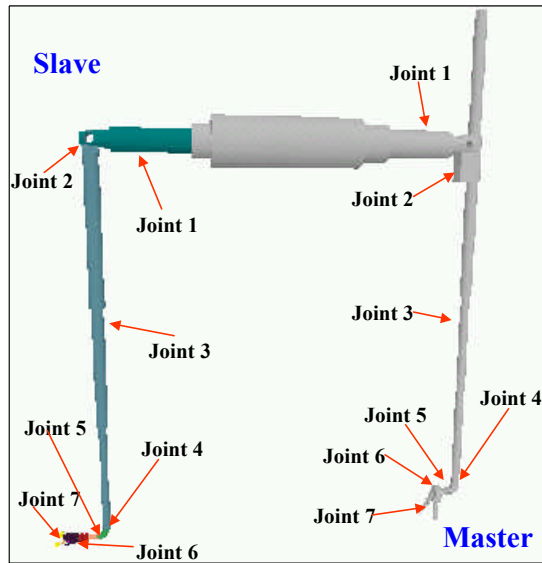
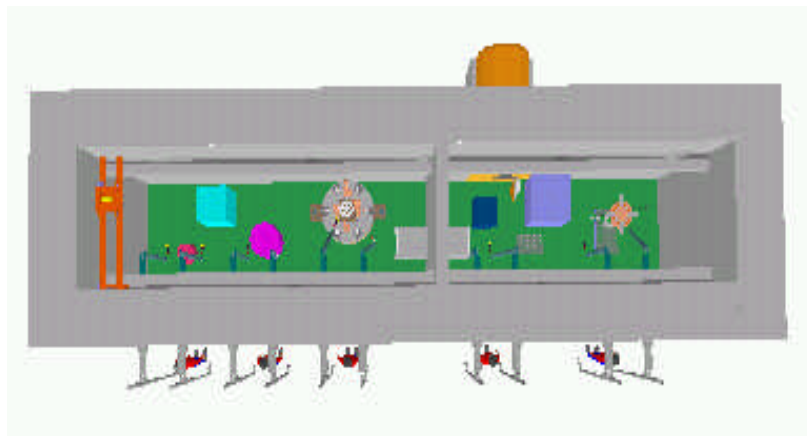


Fig. 3. Graphic Model and Kinematics of M-S Manipulator.

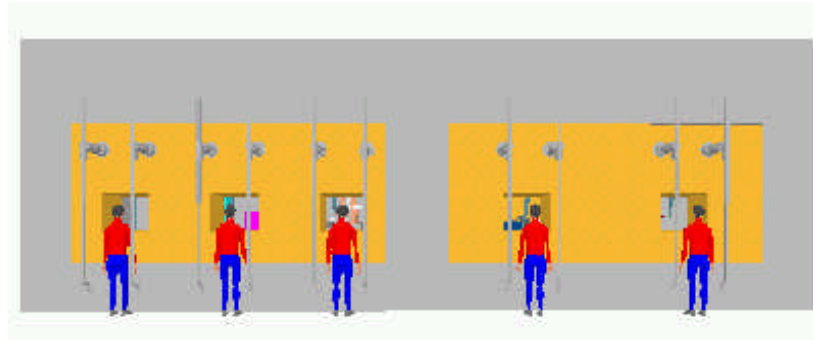
3.2 그래픽 시뮬레이터 구축

Fig. 4는 IGRIP을 이용하여 컴퓨터 상에 구축한 그래픽 시뮬레이터의 Workcell 모습이 다. 핫셀 내에 Master-Slave Manipulator 뿐만 아니라 실제 작업에 필요한 장비들을 모두 배치하였다.

그림에서 보는 바와 같이 핫셀 바깥쪽에 마스터가 설치되어 있고, 핫셀 벽을 관통하여 안쪽에 슬레이브가 설치되어 있다. 작업자는 Fig. 4의 (b)에서와 같이 핫셀 바깥쪽에서 차폐창을 통해 핫셀 내부를 보면서 마스터의 조작에 의한 원격작업을 수행하게 된다.



(a) Over View



(a) Front View

Fig. 4. Workcell of Graphic Simulator.

4. Graphic Simulator와 외부 입력장치 연결 구현

4.1 LLTI(Low Level Tele-operation Interface)

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

LLTI의 특징은 높은 활용성과 높은 스피드를 제공한다는 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 유해 환경 등에서 원거리 작업환경의 변화를 반영할 수 있는 실시간 시뮬레이션에서 사용된다.

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 TCP/IP를 이용한 소켓 연결방식을 이용하여 6축 입력장치(Spaceball) 인터페이스 프로그램과 연결하였으며, Table 2와 같은 데이터 구조(data structure)에 따라 인터페이스 프로그램에서 데이터 값이 자동으로 전송되도록 LLTI 전송모듈을 개발하였다.

Table 2. LLTI Data Structure

OPCODE		DATA Parts	
Code	Contents	Word	Data
10.0	Joint Value Info. (All)	1 2 3 4	# of joints to be updated Joint 1 data Joint 2 data Joint 3 data
20.0	Joint Value Info. (Single)	1 2	Joint # to update(1 dof) Joint Data
30.0	T6 Information	1 2-17	Configuration 4x4(row x column) data
40.0	Part transform Info. (All)	1 2-17 18-33 ...	# of parts to be updated First 4x4 data Second 4x4 data
70.0	Device Display Mode Info.	1	Display Mode Index - Invisible : 0.0 - Wireframe : 1.0 - Hidden Line : 2.0 - Flat Shading : 3.0
131.0	Multiple CLI command	1 2-n	Length of CLI command set including tildes(~) CLI commands seperated by tildes(~)

4.2 외부 입력장치

그래픽 시뮬레이터와의 연계를 위한 외부 입력장치로 Spacetec IMC사의 Spaceball 2003 모델을 이용하였다. 이 장치는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 손으로 PowerSensor ball 을 밀고, 당기고, 비틀음에 따라 Tx, Ty, Tz, Rx, Ry, Rz 등 6개축에 대한 값을 획득할 수 있으며, 주요 사양은 아래와 같다.

- Max/Min Detectable Force : ~2.04/0.045 Kg
- Spatial Resolution : 10 bits
- Max/Min Detectable Torque : ~2.4/0.045 Kg/in
- Interface : RS-232, 9 pin

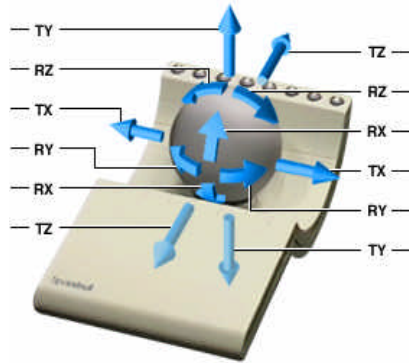


Fig. 5. Spaceball 2003 Model

4.3 그래픽 시뮬레이터와의 연결 구현

외부 입력장치인 Spaceball을 그래픽 시뮬레이터 상에서 입력장치로 활용하기 위해서 Fig. 6과 같이 시스템을 구축하였다. 그리고 외부입력장치와 그래픽 시뮬레이터와의 연계를 위해 Fig. 7과 같은 인터페이스 프로그램을 개발하였다. 이 인터페이스 프로그램은 Visual C++을 이용하여 개발하였으며, Spaceball에 대한 정보 및 6축에 대한 값 획득 및 TCP/IP를 이용한 LLTI 연결 등이 구현되어 있다.

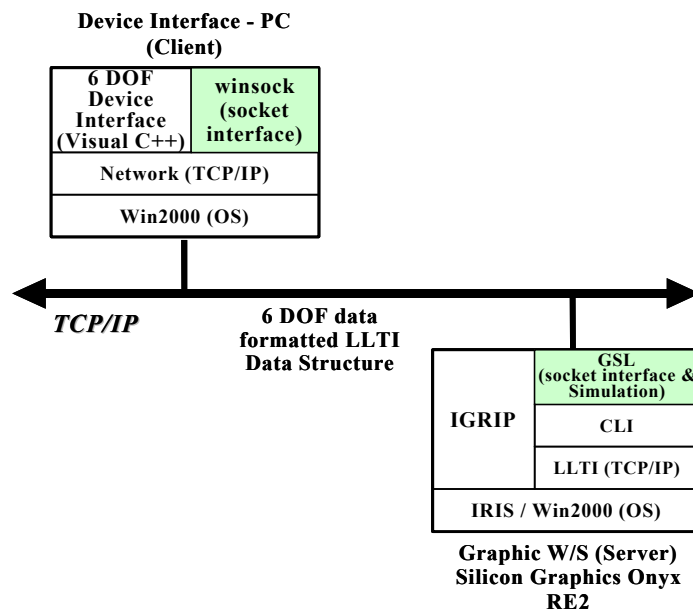


Fig. 6. Interface System Between Graphic Simulator and External Input Device.

Fig. 7에서와 같이 Spaceball의 드라이버를 Open하면 드라이버 정보가 띄고, 이후 볼의 움직임에 따라 6축에 대한 값이 획득되어진다. 또한 LLTI 연결을 설정하면 6축에 대한 값이 자동으로 LLTI data structure에 따른 정보로 변환되어 TCP/IP 네트워크를 통해 그래픽 시뮬레이터로 전송되며 Manipulator의 슬레이브가 움직이게 된다

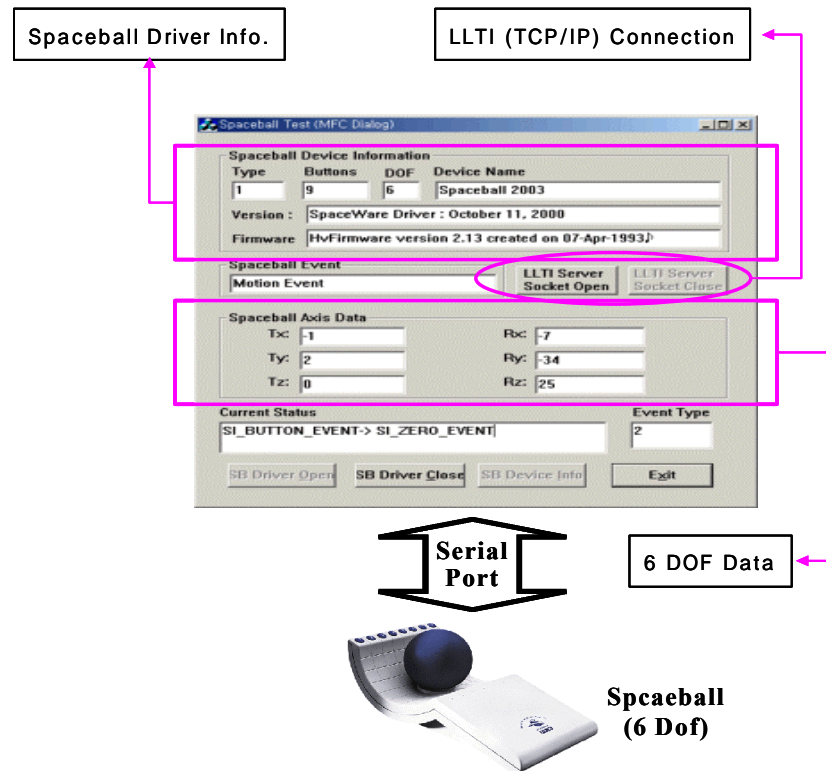


Fig. 7. Spaceball & LLTI Interface Screen.

Fig. 8은 그래픽 시뮬레이터 상에서의 LLTI 연결 설정과 연결 설정 후 입력장치의 값에 따른 슬레이브의 움직임을 보여준다. LLTI가 그래픽 시뮬레이터의 엔진과 하위 레벨의 고속 인터페이스를 제공하므로 실제 연결 결과 아주 빠른 반응을 보였다.

그러나 6축 외부 입력장치인 Spaceball의 작동 구조가 매니퓰레이터와 상이하어, 실제 작업자의 입장에서 외부입력장치를 가지고 마스터처럼 활용하기에는 약간 혼란스러웠다. 즉 Spaceball은 3개의 회전축(Rx, Ry, Rz)과 3개의 이동축(Tx, Ty, Tz)으로 구성되지만 매니퓰레이터는 5개의 회전축과 1개의 이동축으로 구성되어 있어 2개의 축에서는 움직임이 서로 맞질 않는다. 이는 차후 외부입력장치의 선택 및 제작 시에 각 축의 작동방식이 일치하도록 구성하면 작업자의 혼란을 방지할 것으로 생각된다.

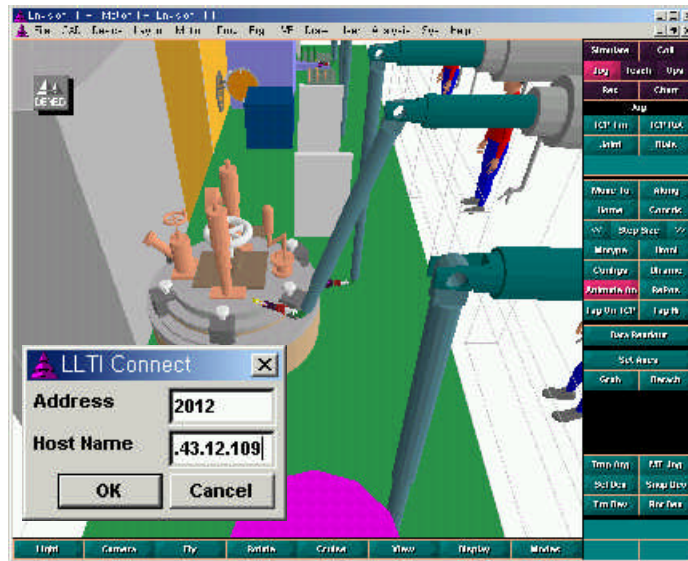


Fig. 8. Graphic Simulator Connected to External Input Device with LLTI.

5 결론

본 연구에서는 원자력 시설에서 원격조작장치로 사용하고 있는 Master-Slave Manipulator의 구동을 분석하기 위해 그래픽 시뮬레이터를 구축하였으며, 외부 6축 입력 장치와의 인터페이스를 개발하였다. 이를 통해 작업자가 실제 조작과 같이 외부입력장치를 직접 움직이면서 시뮬레이터 상의 움직임을 분석할 수 있도록 시스템을 구축하였다.

차후 입력장치가 실제 장치의 움직임과 똑같은 구조를 갖는다면 작업자의 체감성이 훨씬 향상될 수 있을 것이며, 훈련용으로도 사용 가능할 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기연구개발사업의 일환으로 수행되었음

참고문헌

1. 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.
2. Song, T. G. etc., "Real-Time Graphic Simulation of the Spent Fuel Rod Extracting

Machine for Remote Monitoring", CAD/CAM, Vol. 5, No. 4, pp. 327-335, 2000.

3. 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.
4. Central Research Laboratories. Inc., "Master-Slave Manipulator - General and Installed Ass'y", 1993.
5. Deneb, "IGRIP & LLTI User Manual and Tutorials", 1995