

가상환경기반 원격작업자 시각지원시스템 개발 및 시험

송태길*, 박병석**, 최경현***, 이상호****

Development and Test of the Remote Operator Visual Support System Based on Virtual Environment

T. G. Song*, B. S. Park**, K. H. Choi*** and S. H. Lee****

ABSTRACT

With a remote operated manipulator system, the situation at a remote site can be rendered through remote visualized image to the operator. Then the operator can quickly realize situations and control the slave manipulator by operating a master input device based on the information of the virtual image. In this study, the remote operator visual support system (ROVSS) was developed for viewing support of a remote operator to perform the remote task effectively. A visual support model based on virtual environment was also inserted and used to fulfill the need of this study. The framework for the system was created by Windows API based on PC and the library of 3D graphic simulation tool such as ENVISION. To realize this system, an operation test environment for a limited operating site was constructed by using experimental robot operation. A 3D virtual environment was designed to provide accurate information about the rotation of robot manipulator, the location and distance of operation tool through the real time synchronization. In order to show the efficiency of the visual support, we conducted the experiments by four methods such as the direct view, the camera view, the virtual view and camera view plus virtual view. The experimental results show that the method of camera view plus virtual view has about 30% more efficiency than the method of camera view.

Key words : Virtual Environment, Visual Support, Teleoperation, Manipulator, Graphic Simulation

1. 서 론

원격조작 시스템에서는 조작자가 원거리 혹은 직접 시각적으로 확인할 수 없는 작업 상황을 원격 전사된 영상을 통해서 확인하면서 판단하고, 이에 따라 마스터 입력 장치를 조작하여 작업장의 슬레이브 매니퓰레이터를 구동하고 주어진 작업을 수행하게 된다.

특히 사용후핵연료를 취급하는 공정은 작업자에게 해로운 방사선의 차폐가 요구됨으로 핫셀(hot cell)이라는 폐쇄된 환경에서 작업이 수행된다. 이러한 환경

에서 원격작업자에게 주어지는 시각적인 정보는 핫셀 내부를 직접 들여다 볼 수 있는 조그만 차폐창과 핫셀 내에 설치된 카메라를 통한 2차원 시각정보가 전부이다. 핫셀이 큰 경우나 공정장치의 배치가 조밀한 경우에는 차폐창을 통한 작업자의 시각 확보는 제약적인 수밖에 없다.

인간이 오감을 통해 인지하는 정보 중에서 시각정보가 70%, 청각정보가 20%, 후각정보가 5%, 촉각정보가 4%, 그리고 미각정보가 1% 정도라고 한다^[1]. 또한 인간은 시각을 통해서 인간이 인지할 수 있는 정보의 90% 이상을 획득한다는 주장도 있다^[2]. 따라서 작업자가 인지할 수 있는 정보 중에서 시각정보가 가장 중요하다.

효율적인 원격작업을 위해서는 작업자가 현장에서 직접 작업을 수행하는 것과 같은 원격존재감(tele-presence)이 제공되어야 하며, 이를 위해 시각, 힘, 촉각, 소리 등 다양한 센서 정보의 반환(feedback)이 시

*정회원, 한국원자력연구원, 핵주기시스템공학기술개발부/정보통신팀

**한국원자력연구원 핵주기시스템공학기술개발부

***제주대학교, 기계에너지시스템공학부

****충북대학교, 전기전자컴퓨터공학부

- 논문투고일: 2006. 09. 28

- 논문수정일: 2008. 09. 17

- 심사완료일: 2008. 09. 22

Table 1. Comparison of the related works.

Developed System Name	Rastogi [7]	Roger [9]	Kim [10-12]	Ruffo [8]	This Paper
Hardware (Graphic Tool)	ARGOS SGI W/S (VideoLab of SGI Vrimson VGX)	Experimental Telebotonic System SGI W/S	Visual Display System I-SI-11/23 Computer (HP1345A Vector Display)	Not described Amiga 2500 computer (A2300 Genlock)	ROVSS Personal Computer (Envision)
Manipulator	CRS Plus MZA Robot	CRS Plus MZA Robot	Cylindrical Manipulator	CRS Plus M2A Robot	SCORBOT
Input Device	6 DOF Input Device(Spaceball)	6 DOF Input Device	Joystic (2ea)	Teach pendant	Teach pendant or Spaceball
Object	작업자의 제어를 위한 인터페이스 개발	작업자의 공간 인지도 향상	Visual Display 방법에 따른 작업성 평가	작업자에게 real tether와 virtual tether에 대한 인지도 비교	시각 제공방법에 따른 원격작업자의 작업성 평가
영상 제공 방법	Video 영상과 합성된 그래픽 커서표시, 거리 측정, 가상평면 제공 등 그래픽 tool을 제공	아래와 같이 4개의 그래픽 합성 영상 제공 - wire-frame - wire-frame without hidden line - Solid - Transparent	Stereocop Mono 영상에 아래와 같이 4가지의 그래픽을 제공 - grid and reference line - reference line only - grid only - neither	Stereovideo 영상에 Stereographic tether 이미지를 합성하여 작업자에게 제공	아래와 같이 4가지의 뷰를 제공 - 실체뷰 - 카메라뷰 - 가상환경기반의 시뮬레이션뷰 - 카메라+시뮬레이션뷰
실험방법 및 대상	Not described	Pick-and-Place 10명 참여	Pick-and-Place 2명 참여	Peg-in-Hole 24명이 참여	Pick-in-Hole 19명 참여
실험결과	Not described	작업시간이 많이 줄어들고 에러율도 43%에서 18%로 줄어듦	- Stereoscopic은 grid와 reference line에 관계 없이 작업 시간이 줄어듦 - Monoscopic은 vertical reference line을 제공하는게 효과가 있음	- 평간 에리움에서 virtual tether 제공에서 줄어듦 - 작업완료시간은 별다른 효과가 나타나지 않음	카메라뷰에 추가로 시뮬레이션뷰를 제공하는게 작업 시간에서나 작업 성공률에서 카메라 뷰만을 제공하는 것보다 효과가 있음

도되고 있다. 이중에서 시각 정보는 가장 필수적인 요소로써 원격작업의 효율성을 위해 보다 나은 실시간 전송이 요구되며, 원격 조작자에게 3차원 정보를 제공하는 등 보다 실제적인 느낌이 들도록 해야 한다. 그러나 대부분의 원격작업에 있어 카메라 영상정보만이 유일한 시각정보임으로 작업에 있어 깊이 정보(depth information)를 얻기가 힘들다¹²⁾.

원격작업자에게 인지정보의 효율성을 높이기 위한 다양한 연구가 수행되었다. Anu Rastogi¹⁷⁾는 원격작업자의 작업 효율성 향상을 위해 스테레오 영상에 그래픽을 합성한 ARGOS(Augmented Reality through Graphic overlays on Stereovideo) 인터페이스 시스템을 개발하였다. Ruffo K.¹⁸⁾는 작업자에게 공간정보의 인지성 향상을 위해 스테레오 비디오 영상에 그래픽을 합성하여 진지할 수 있는 시스템을 개발하여 다양한 전시방법별로 Peg-In-Hole 작업을 대상으로 실험을 수행하였다. Roger A. Brown¹⁹⁾는 그래픽 시뮬레이션이 제공되는 Telerobotic 시스템을 개발하여 서로 다른 전시방법간의 효율성을 비교하기 위한 실험을 수행하였다. Kim W.S.^{11,12)}은 가상환경 기반의 원격작업 시뮬레이터를 개발하여 원격작업의 효율성을 평가하기 위해 Pick-and-Place 작업과 Peg-In-Hole 작업을 대상으로 다양한 실험을 수행하였다. 그러나 아래의 요약에서 보듯이 목적과 실험방법이 상이하여 서로 간의 명확한 비교는 어렵다.

최근 다양한 분야에서 VR(Virtual Reality) 및 AR(Augmented Reality)과 관련한 연구도 많이 수행되고 있다. Lee¹³⁾는 ARtoolKit을 이용하여 시각 기반 증강현실 프로토타입을 개발하고 프로젝트의 랩프로체를 대상으로 실험한 결과 시각적인 측면에서 이실감을 많이 느끼는 등의 문제점이 발생하였다. Kim¹⁴⁾는 master PC와 여러개의 slave PC로 구성되는 다채널 시각화 시스템을 개발하였고, landing gear module의 시뮬레이션과 자동차의 spot-welding 로봇의 시뮬레이션을 대상으로 실험하였다. 실험결과 Delmia와 같은 상업용 VMS(Virtual Manufacturing System)와 비교하여 대등한 뷰가 제공되고 스크린의 수에 따라 더 많은 정보를 제공할 수 있었다. Lee¹⁸⁾은 자전거 시뮬레이터를 위한 분산환경의 시각화 시스템을 개발하여 증강된 현실감을 제공하였다.

원격분야에서의 가상현실 사례를 살펴보면 Kim¹⁴⁾은 TRIGA 연구로 원자로의 digital mock-up 시스템을 구축하고 원자로 해체에 대한 시뮬레이션을 통해 최적의 시나리오를 도출하는데 활용하였다. Lee¹⁶⁾는 PEACER라는 원자로 개발을 위해 CATIA를 이용하

여 각 모듈을 3차원으로 모델링하고, CFX 등 다양한 해석들을 이용하여 모델링한 결과를 해석하고 그 결과를 VRML Viewer로 보여주는 시스템을 구축하여 활용하였다. Mizuguchi¹¹⁾는 기존의 CAVE 시스템을 기반으로 원자로설계에 활용하고자 CompleteXcopc라는 시스템을 개발하였다. 이 시스템의 주요기능으로는 뷰의 변경, 오브젝트의 조작, 가상포인터를 이용한 거리측정, 그리고 각 오브젝트 간의 간섭체크 등이 있다. 그러나 아쉽게도 실제 적용결과는 기술되어 있지 않다.

원격작업에서는 작업자가 실제 환경을 보기가 어렵기 때문에 작업자의 인지성 향상을 위한 힘만영 세이 등 여러 가지의 연구 분야가 있다. 그러나 본 연구에서는 시각적인 측면만을 고려하였다. 즉, 원격작업자에게 좀 더 효과적인 시각정보를 지원하기 위해 가상환경기반의 원격작업자 시각지원 시스템(ROVSS : Remote Operator Visual Support System)을 구축하였다. 그리고 이 시스템을 이용하여 4가지 영상제공 방법 각각에 대해 Pick-in-Hole 작업을 대상으로 실험을 수행하였다.

2. 실제 원자력환경에서의 원격작업 및 시각제어반

한국원자력연구원에서는 사용후핵연료 차세대관리 공정(Advanced Spent Fuel Conditioning Process, ACP) 장치의 유지보수를 위해 천정이동 서보 매니퓰레이터(Bridge Transported Servo Manipulator, BTSM) 시스템을 개발하여 실제 핫셀에서 운영중에 있다. 이 시스템에는 그림 1과 같이 4대의 카메라가 설치되어 있으며, 그림 2와 같이 핫셀 외부 운영구역에 BTSM의 제어반이 구축되어 있다.

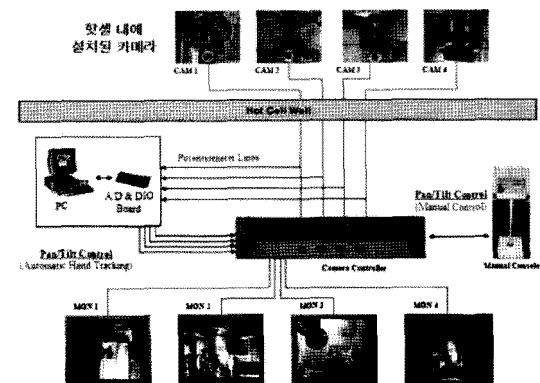


Fig. 1. Camera control system for BTSM in ACP.

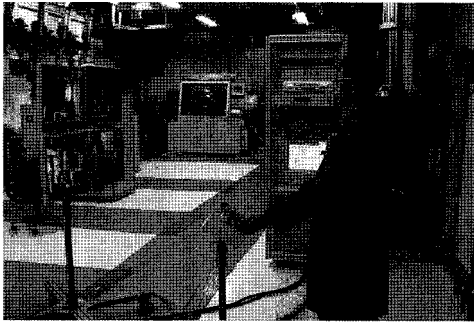


Fig. 2. Manipulator operation by seeing the camera control system in ACP Hot Cell.

4대의 카메라 중 1대는 국내에서 개발된 상업용 3D 렌즈가 장착된 카메라이다. 1대의 카메라만으로도 핫셀내 상황을 입체영상으로 제공함으로써 기존 방식의 단점(복잡성, 비동기성, 고비용 및 작업자 눈의 피로 등)을 획기적으로 해결해 줄 것으로 기대를 하였다. 그러나 실제 작업결과 원하는 결과를 얻지 못하였다.

일반적으로 스테레오 비전 방식은 두 영상이 동시에 맺히는 물체의 3차원 위치와 함께 카메라의 위치 변화 및 물체의 회전 또는 이동 변환정보를 추정할 수 있는 장점이 있지만, 대응점 일치 문제(correspondence problem)를 위한 과도한 영상처리나 조명 효과 등 극복해야 할 문제로 인해 실제 로봇 응용에 있어 상당히 많은 제약을 받고 있다. 특히 핫셀과 같은 작업환경에서는 조명이 밝지 못하고, 유지보수 측면에서의 어려움 등으로 사용에 제약이 많다. 따라서 본 연구에서는 스테레오 영상의 제공은 제외하였다.

3. 가상환경기반의 원격작업자 시각지원시스템 구축

3.1 원격작업자 시각지원시스템(ROVSS) 개요

원격작업자 시각지원 시스템은 3차원 가상환경을 실제 작업환경과 일치되도록 서로 동기화시켜 주어야 한다. 그리고 로봇과 조작 인터페이스 등을 하나의 시스템으로 연결시켜, 로봇의 조작에 따라 획득된 정보가 폐쇄된 작업환경 하에 있는 작업자에게 전달되어야 한다. 이를 통해 원격작업자가 효율적인 작업수행이 가능하도록 인지 정보가 제공되어야 한다.

ROVSS는 Visual C++를 이용하여 Windows 기반에서 개발되었다. WinAPI 함수를 이용하여 프레임을 구성하고 그래픽 틀과 DLL(Dynamic Link Library) 형태로 연결시키는 방법으로 제작되었으며, 내부 기능함수는 그래픽 틀과 연계되는 Axxess Library^[19]를

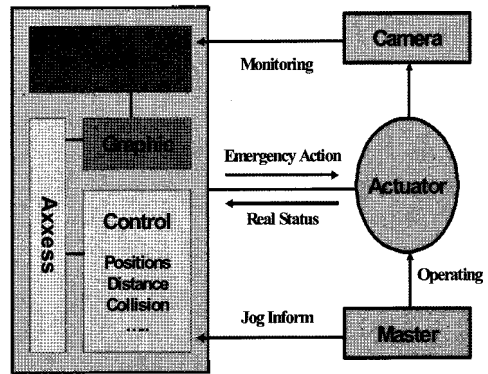


Fig. 3. Schematic diagram of ROVSS based on virtual environment.

이용하여 개발되었다. 그림 3은 ROVSS의 기본 개념도이다. 조작할 로봇과 구축된 3차원 그래픽 환경 그리고 실제 작업환경의 영상을 보내오는 카메라와 로봇을 조작하는 마스터 인터페이스 등을 개별적으로 개발하여 서로 통합하였다. 각 개별 모듈은 기능별로 모듈화시켜 DLL 형태로 제작되어 다른 프로젝트에서도 새로 개발할 필요 없이 필요한 기능들의 조합으로 바로 적용할 수 있도록 제작되었다.

지원모듈은 실제 작업 로봇에 대한 제어나 정보를 알고 있어야 그래픽 틀과 현재 작업 상황을 공유할 수 있기 때문에 본 연구에서는 그래픽 틀과 실제 로봇의 제어부분을 통합된 프로그램으로 개발하였다. 그리고 이들을 동기화시킴으로써 직접 볼 수 없는 작업 상태를 가상환경 내에서 확인할 수 있도록 하였다.

또한 로봇 조작기를 쉽게 제어할 수 있는 마스터/슬레이브 인터페이스를 개발하여 실제 로봇 조작기에 연결하여 사용하였으며, 이는 그래픽 틀과도 연결되어 통합적인 인터페이스를 제공한다.

3.2 원격작업 실험환경 구축

원격작업을 위한 환경을 구축하기 위해 SCORBOT을 이용하여 그림 4와 같이 작업환경을 구성하였다. 로봇 조작기의 최대 반경을 고려하여 작업 범위를 설정하고 SCORBOT 좌표와 같은 좌표계를 따라 전면과 후면을 구분하였다. 로봇의 움직인 위치에 대한 실제 거리정보를 얻고 3D 가상환경과의 오차를 분석하기 위해 로봇을 중심으로 베이스면 바닥에 50 cm 간격으로 원형테두리를 그려 넣었다.

그림 4에서 보이는 흰색 라인은 X, Y축을 표시한다. 조작 실험을 위해 그림에 보이는 것과 같이 4개의 얇은 원통형 물체를 전면 30도 각도에 검정색 2개와

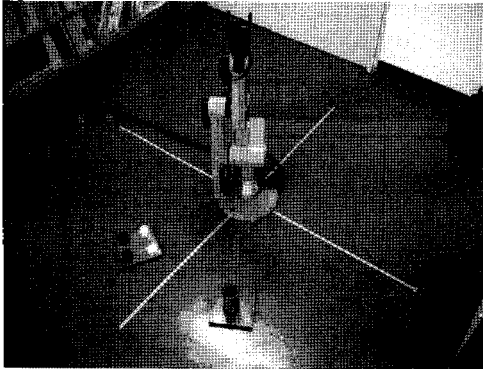


Fig. 4. Real test environment using SCORBOT.

흰색 2개를 배치하였으며, 물체를 집어넣을 원뿔을 그 반대방향 30도 위치에 배치시켰다. 물체의 배치 거리는 그리퍼를 조작하여 물체를 집을 수 있는 영역 범위 내에서 최대값과 최소값을 고려하였다. 작업자가 SCORBOT을 조작하여 무난하게 작업할 수 있는 위치로 선정하였다.

3.3 SCORBOT 조작기

본 연구에 사용된 로봇 매니플레이터는 그림 5에 나타난 것과 같이 베이스(base)와 메인 바디(body), upper arm, fore arm 그리고 플랜지(flange)로 구성된 5축 SCORBOT-ER이다.

SCORBOT 각 축의 움직임 범위는 그림 5에서 보는 바와 같이 베이스 최대 회전 반경이 851 mm이며 상하움직임에 대한 범위는 그림 5의 우측과 같이 위아래로 1570 mm범위에서 동작할 수 있다. 각축의 각도 범위는 베이스축은 표준 250도범위에서 동작하며 프로그램을 수정하여 310도범위까지 가능하다. 2축(shoulder)은 170도 범위로 동작하고, 3축(elbow)은 225도 범위이다. 플랜지의 4축과 5축은 각각 180도와 360도 범위에서 작업을 수행한다. 초기 위치는 내부

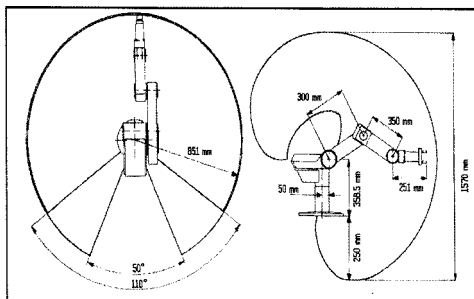


Fig. 5. The operation range for SCORBOT.

HOME 포지션으로 설정되어 있으며 모든 팔이 상부를 향하여 수직으로 서있는 자세이다.

SCORBOT의 좌표는 그림 6과 같이 전면이 +X방향이며 상부가 -Z방향을 가리키고 있다. 이 좌표계는 작업시 움직임 방향을 설정할 때 매우 중요하며 본 연구에서 개발한 그래픽 툴과 원격지원모듈의 동기화를 할 때에도 동일한 좌표계에서 움직임에 대한 정보를 일치시켜야 함으로 매우 중요한 사항이다. 3차원 가상환경 구축시에도 아래와 같은 좌표계를 따라서 바닥면을 XY축으로 놓고 상부를 Z축으로 하여 각 축과 전체 로봇 구성에 대한 모델링 작업을 수행하였으며 마스터/슬레이브 인터페이스 제작에서도 SCORBOT 실 좌표와 같은 좌표계에 따라 동작하도록 설계, 제작되었다.

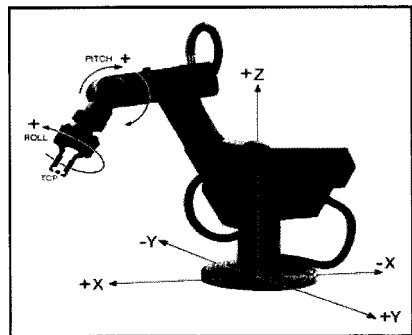


Fig. 6. The coordinate for SCORBOT.

3.4 3차원 가상환경 구축

카메라 영상을 통한 원격작업은 거리나 위치를 선정하는데 어려움이 있다. 따라서 이를 보완할 3차원 영상을 제공하기 위해 3차원 가상 환경을 구축하였다. 3차원 가상환경의 구축은 3D MAX 프로그램을 이용하여 실현에 사용된 SCORBOT를 3D로 모델링하였고, 모델링된 각 Part를 Envision으로 불러들여 가상의 디바이스와 작업환경을 구축하였다. 모델링 수치는 실제 사양에 맞춰 각 축의 기준을 실제 SCORBOT의 HOME 포지션을 대상으로 선정하였다.

가상환경의 구축에서 중요한 사항은 실제 모델과 동일한 사이즈와 모양, 조작 시 각 축의 움직임이 동일 시 되어야 한다는 것이다. 3D MAX 프로그램에서 완성된 SCORBOT 모델은 각 축에 대한 개별 링크정의 및 조인트 설정 등 동적인 기능을 부여해야 실제 SCORBOT과 같은 동작을 구현할 수 있다. 이러한 기능 및 동작 구현 시뮬레이션은 본 연구에서 사용하고자 하는 그래픽 툴인 Envision에서 수행하였다.

Envision에서는 SCORBOT의 전체 모델을 한번에 로딩하여 가상환경을 설정하지 않는다. 움직이는 장치별로 하나의 디바이스(Device)를 구성한후 각 축에 대한 조인트 설정 및 TCP(Tool Center Point) 설정을 한 후 모션설정을 완료해야 실제 시뮬레이션이 가능하다. 디바이스 설정이 완료되면 그림 7 및 그림 8과 같이 각 링크에 대한 조인트설정을 한다. 조인트 설정은 각 링크에 대해 이동링크인지 회전링크인지를 설정하고 동작범위 한계를 결정한다. 동작범위 한계는 실제 조작기의 동작 범위와 동일하게 설정해야 한다.

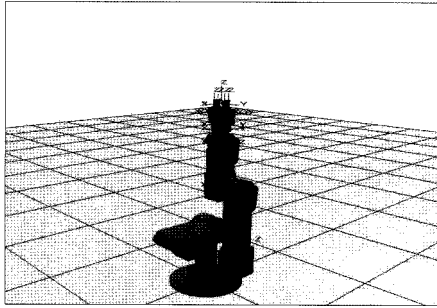


Fig. 7. The coordinate and joint of SCORBOT in virtual environment.

따라서 모델링 단계에서부터 모델 수치의 정확성과 모델링된 각 축의 회전과 이동에 따른 오차를 분석하며 구축하였다. 각 축의 회전 이동에 따른 오차의 분석은 실제 로봇의 회전/이동과 가상환경 기반의 시뮬레이션(Envision) 상에서 가상 로봇의 회전/이동을 비교하였다.

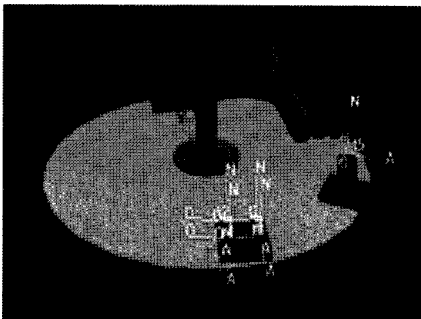


Fig. 8. Virtual Environment for ROVSS.

3.5 카메라 영상처리 모듈

원격작업에 있어 시각적으로 실제 작업 상황을 확인할 수 있는 카메라의 영상정보는 작업자에게 현재

작업 상태를 가장 확실하게 보여주는 부분이다. 원격 작업에 있어 깊이(depth)정보를 위해서는 여러 대의 카메라로 다양한 각도에서 작업 상황을 파악하는 것이 좋다. 그러나 너무 많은 카메라는 설치 상에도 문제가 있으며, 많은 영상을 보면서 작업하는 것은 오히려 작업자에게 혼돈을 줄 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 3대의 카메라를 설치하고 각각의 영상을 서로 다른 모니터에서 확인하는 방식이 아닌 하나의 모니터에서 처리하도록 구성하였고 그래픽 가상환경과 연동하여 비교할 수 있는 모듈로 제작되었다.

그림 9는 ROVSS 상의 카메라 영상처리 모듈의 구성도이다. 일반 PC용 웹(web)카메라를 이용하여 USB 방식으로 영상을 PC로 받아오고, 받아들인 영상은 DirectX API를 이용하여 화면에 보여 지도록 되어 있다. 3개의 영상은 모두 한 번에 확인이 가능하며 지정된 화면 영상을 확대하여 확인할 수도 있다. 영상 모듈 내에는 그래픽환경 설정부분이 연결되어 있어 그래픽 화면을 영상 View와 일치시키도록 하는 기능이 있다. 이 기능을 이용하여 두개의 화면을 동시에 보면서 영상화면에서 감지할 수 없는 거리감을 보강해 줄 수 있다.

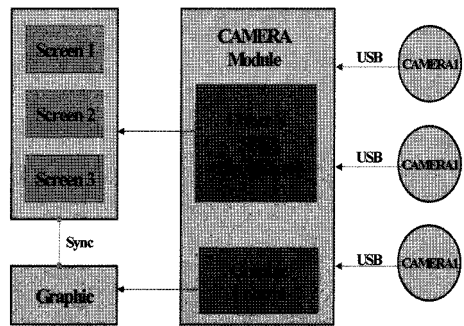


Fig. 9. Architecture of camera module

그림 10은 개발된 ROVSS의 카메라 모듈에서 3대의 웹 카메라로부터 들어오는 영상신호를 받아 한 화면에 보여주고 있는 모습이다. 각각의 영상은 선택이 가능하도록 되어 있어 선택된 화면은 메인 화면에 크게 보여줌으로써 보고자 하는 영상을 좀 더 확대하여 작업을 수행할 수 있다. Viewing Control 기능은 그래픽 화면을 조절하는 부분으로 영상화면과 그래픽 화면의 카메라 방향을 같은 방향으로 미리 설정해 놓고 필요한 화면을 선택 시 같은 모습을 확인할 수 있도록 제작되었다.

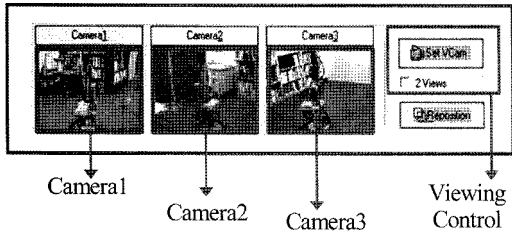


Fig. 10. Implemented camera processing module embedded ROVSS.

3.6 ROVSS 통합 구현

원격작업자 지원을 위해 개발된 시스템은 실제 작업환경과 3차원 가상환경을 서로 연결해 주고 보듯이 조작 인터페이스 모듈 등을 하나의 시스템으로 통합하였다. 그림 11은 각 개별 모듈의 통합 관계도이다. 그림에서 보는 바와 같이 가상환경(Graphic), 로봇제어(SCORBOT), Camera, Monitor, 인터페이스(Spaceball) 등 각 개별 기능별 모듈화 시켜 DLL 형태로 개발되었다.

시스템 통합에서 가장 중요한 것은 실제 환경의 로봇 움직임과 3D 가상환경의 동기화이다. 원격작업에서 3D 가상환경의 동기화가 실시간으로 일치하지 않으면 타당성과 신뢰성의 확보가 어렵다. 동기화 과정은 그림 12와 같이 SCORBOT에서 보내온 인코더 정보를 분석하여 그래픽 환경에 구축된 가상 모델의 각 축의 조인트 정보로 변환 후 조인트 모듈을 통해 그래픽 화면을 갱신하게 된다.

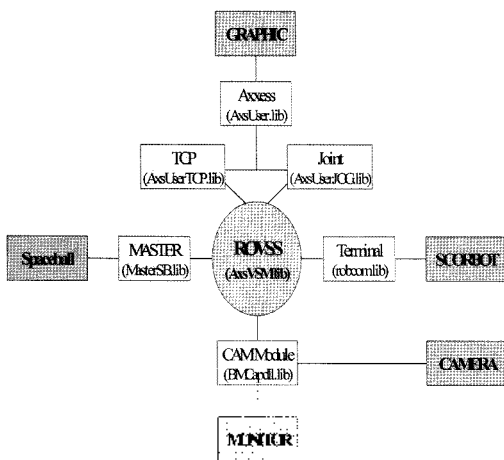


Fig. 11. Integration diagram of each module of ROVSS.

동기화의 초기 설정으로 그래픽 화면과 실제 조작 로봇은 작업시작부에서 터미널 모듈의 HOME 포지

션으로 초기 위치를 잡고 시작하게 된다. 특히 가상환경 처리 모듈은 그래픽 툴(ENVISION)에서 제공하는 라이브러리 함수(Axxcss)를 이용하여 실시간으로 동기화될 수 있도록 하였다. 그림 13은 개발된 ROVSS와 실제 작업환경과의 관계를 보여준다.

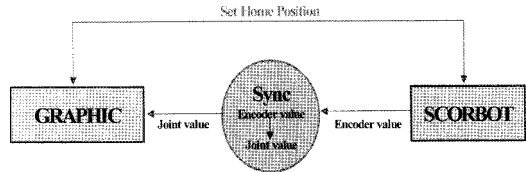


Fig. 12. Synchronization between SCORBOT and 3D virtual environment.

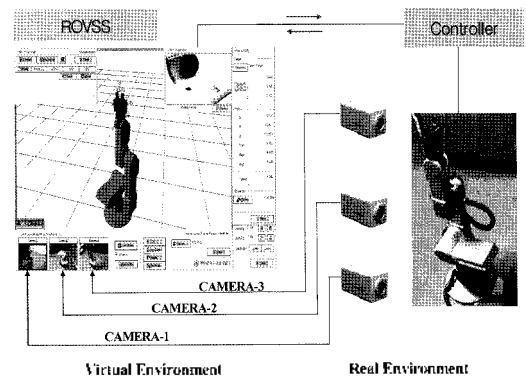


Fig. 13. Entire system with external device.

4. ROVSS의 원격작업자 시각지원 효율성 시험

4.1 실험방법

본 연구의 목적은 실제 작업환경과 연계하여 가상환경에서 생성되는 가상 이미지(virtual image)가 원격작업자에게 얼마나 효율성이 있는지를 알아보기 위한 것이다. 따라서 그래픽 가상환경과 연계하여 구축된 작업자 지원모듈의 효율성 검증에 위해 개발된 ROVSS를 적용하여 실험을 수행하였다.

작업 환경은 그림 14에서 보는 바와 같이 작업로봇 전면과 옆면 그리고 상부에 3대의 카메라를 설치하여 작업 로봇의 영상정보를 받도록 하였고, 작업 대상 물체는 4개의 원형체와 1개의 원통을 준비하여 그리퍼를 이용하여 물체를 집어 원통에 넣는 Pick-In-Hole 작업방법을 사용하였다. 실험은 시각지원방법에 따라 각각의 실험자에 대해 아래와 같이 4가지 방법으로 수행되었다.

- 방법1(M1) - Real View : 실제환경을 보면서 작업

- 방법2(M2) - Camera View : 카메라만을 보면서 작업
- 방법3(M3) - Virtual View : 가상환경에서 제공 하는 화면만을 보면서 작업
- 방법4(M4) - Camera View+ Virtual View : M2 와 M3을 동시에 지원

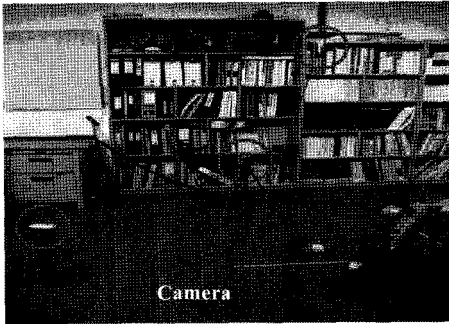


Fig. 14. Real test environment for experiments.

1차 실험방법(M1)은 작업로봇을 직접 보면서 로봇을 조작하는 것이다. 이 단계에서는 로봇의 조작방법을 익히고 작업방식을 이해하기 위한 준비실험 단계도 포함된다. 2차 실험방법인 M2는 M1을 수행한 후 실제 작업환경이 보이지 않는 곳에서 카메라 영상정보만을 보면서 1차 실험과 같은 작업을 수행하게 하였다. 3차 실험방법인 M3는 그래픽 환경의 시뮬레이션에 의해 생성된 가상이미지 만을 보면서 동일한 실험을 수행하며, 4차 방법인 M4는 M2와 M3 방법을 혼합한 것으로 카메라 영상과 그래픽 환경에서 제공하는 화면을 동시에 보면서 작업을 수행한다.

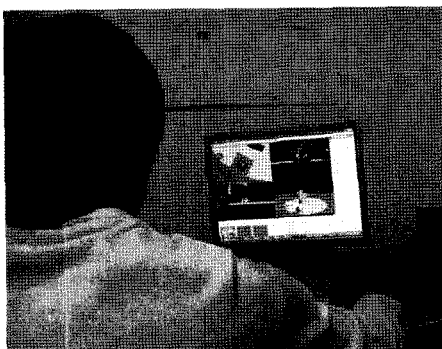


Fig. 15. Experimental scene by M3 method (Virtual View).

그림 15는 M3 방법에 의한 실험장면이고, 그림 16은 M4에 의한 실험 장면이다. 이러한 4가지 방법에 대해 19명을 대상으로 실험을 실시하였다.



Fig. 16. Experimental scene by M4 method (Camera and Virtual View).

4.2 실험 결과 및 고찰

상기 4가지 시각제공방법별로 19명을 대상으로 실험한 결과는 표 2와 같다. 실제 환경을 보면서 작업을 수행할 경우에는 평균수행시간이 4분 45초이며, 평균 성공률은 96.1%로 나타났다. 그리고 카메라 영상과 가상화면을 동시에 보면서 작업을 수행할 경우에는 평균수행시간이 6분 48초이며, 평균 성공률은 88.2%로 나타났다. 시각지원방법별 작업수행 평균시간 및 각 방법별 작업성공률은 그림 17과 같다.

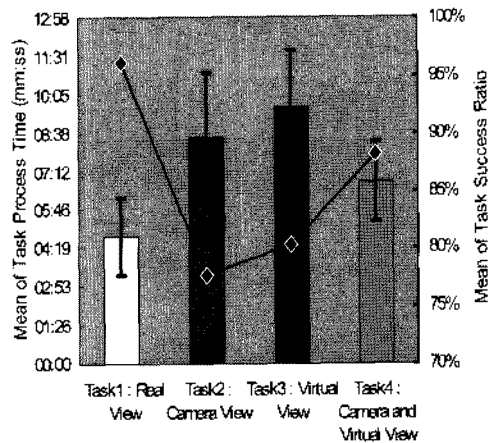


Fig. 17. Graph of the task process time and task success ratio according to visual support method.

특히 가상환경만이 제공된 실험은 실제 로봇의 움직임 상황과 그래픽 화면이 일치 하지 않으면 작업이 불가능한 조건이다. 이 방법에 의한 실험결과가 카메라 영상만을 이용한 작업보다 시간이 더 소요되었으나, 작업에 대한 성공률은 조금 높게 나타났다.

표 2에서 보듯이 작업시간에 대한 실험결과와 표준

Table 2. Summary of the experimental result

참여자	성별	Task Process Time (min:ss)				Task Success Ratio			
		Real View (M1)	Camera View (M2)	Virtual View (M3)	Camera & Virtual View (M4)	M1	M2	M3	M4
P1	남	06:44	12:46	14:17	11:18	3/4	4/4	4/4	3/4
P2	남	04:30	10:02	12:08	06:46	4/4	1/4	4/4	3/4
P3	남	06:44	12:43	10:20	07:36	3/4	2/4	3/4	3/4
P4	남	05:01	07:15	10:21	08:39	4/4	3/4	3/4	4/4
P5	여	03:41	06:17	06:11	06:10	4/4	4/4	2/4	2/4
P6	여	06:05	12:22	10:23	06:54	4/4	3/4	2/4	3/4
P7	남	03:25	06:27	07:45	05:16	4/4	4/4	3/4	4/4
P8	남	06:34	10:09	11:37	07:12	4/4	4/4	4/4	4/4
P9	남	06:13	08:54	09:07	06:57	4/4	3/4	4/4	4/4
P10	남	03:31	06:00	06:56	08:01	4/4	1/4	2/4	3/4
P11	남	02:51	06:29	09:10	05:10	4/4	4/4	4/4	4/4
P12	남	03:44	07:35	12:05	06:59	3/4	3/4	4/4	4/4
P13	남	03:07	06:03	06:45	04:28	4/4	4/4	2/4	4/4
P14	남	02:33	04:56	08:36	06:01	4/4	2/4	3/4	4/4
P15	남	03:50	07:27	10:28	05:47	4/4	3/4	4/4	4/4
P16	남	04:17	08:51	09:53	07:27	4/4	4/4	4/4	4/4
P17	남	06:40	10:38	10:50	06:14	4/4	3/4	3/4	3/4
P18	남	05:41	06:49	07:14	05:33	4/4	4/4	4/4	4/4
P19	남	04:54	09:19	08:17	06:47	4/4	3/4	2/4	3/4
Average		04:45	08:29	09:36	06:48	96.1%	77.6%	80.3%	88.2%
표준편차		01:27	02:26	02:08	01:30	9.4%	24.9%	21.4%	15.3%

편차는 M1이 01:27, M2가 02:26, M3가 02:08, M4가 01:30으로 예상외로 M2가 가장 컸으며, M4는 실제 환경인 M1과 거의 동등하게 나타났다. 또한 작업 성공률에 대한 표준편차는 M1이 9.37%, M2가 24.85%, M3가 21.37%, M4가 15.29%로 실제 환경에서의 작업이 가장 편차가 적었으며 M4의 경우가 M2나 M3의 방법보다 편차가 적은 것으로 나타났다.

이것은 3D 그래픽 가상환경 상에서 거리측정이 가능하고 대상물체간의 위치를 좀 더 정확히 파악할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다. 소요시간이 더 필요했던 것은 가상환경의 정보를 좀 더 세밀히 확인하기 위해 마우스를 이용하여 그래픽 화면을 조작하는 시간이 추가로 필요했기 때문인 것으로 보인다.

본 연구에서 주된 대상으로 삼았던 카메라 영상과 가상화면을 동시에 제공하는 방법의 실험에서는 평균 작업수행 시간이 감소하였으며, 작업 성공률도 M2 및 M3 방법보다 좋은 결과를 얻었다. 3차원 그래픽 가상 환경이 좀 더 자세한 정보를 제공함으로써 원격작업자에게 정확한 작업을 수행할 수 있도록 도움을 주고 있는 것으로 판단된다.

실험결과 3D 가상 환경의 정보 제공은 영상정보와 함께 보이지 않는 작업 상태를 파악하는데 많은 도움을 주었으며 본 실험을 통해 원격작업을 위한 그래픽 지원 모듈이 효과적으로 적용 될 수 있음을 보였다.

그러나 가상환경을 실제에 적용하기 위해서는 실제 세계와 같은 world modeling이 선행되어야 하는데 워자르 및 헤펌로 시현 등과 같은 환경은 매우 복잡하여 적용하는데 한계점이 있을 수도 있다. 따라서 실제 작업에서는 카메라가 우선 적용되며, 본 연구에서 제시한 방법은 카메라와 병행하여 보조수단으로 사용되는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 폐쇄된 환경에서 작업을 수행하는 원격작업자의 시각정보 향상을 위한 방안으로 가상환경을 기반으로 하는 시각지원시스템을 개발하여 실험을 수행하였다.

실험결과 일부 실험자들에게서는 개별적으로 실험 방식에 따라 작업시간이 서로 다르게 보여지고 있다.

이는 실험자의 개인적인 인지능력, 조작능력에 따라 작업 시간 면에서 선호하는 작업방식이 있음을 알 수 있다. 그러나 물체삽입에 대한 작업 성공률에서는 그래픽 원격 지원도구를 적용한 방식에서 대부분의 실험자들이 많은 수의 물체를 원통에 정확하게 삽입하는 것을 보여주었다.

물론 원격작업의 특성에 따라 시간에 좌우되는 작업이 있을 수 있고, 또는 시간 보다는 작업의 성공률에 좌우되는 작업이 있을 수 있다. 원자력분야의 작업은 후자에 해당된다고 할 수 있다.

본 연구에서 개발한 원격작업자를 위한 가상환경기반 시각지원 시스템이 실무에서도 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 앞으로 추가적인 실험을 통해 개선하고, 실제 핫셀 작업을 대상으로 이 시스템을 적용할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력중장기연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Tomasz Mazuryk and Michael Gervautz, "Virtual Reality : History, Applications, Technology and Future," Technical Report(TR-186-2-96-02), Vienna University of Technology, Austria, 1996
2. Jussi Suomela, Tele-presence aided teleoperation of semi-autonomous work vehicles, Licentiate Thesis, Helsinki University of Technology, Finland, 2001.
3. Brian DeJong, "Improving Teleoperation Interface", Mster Thesis, Northwestern University, USA, 2003.
4. A. K. Gejczy, W. S. Kim and S. C. Venema, "The phantom robot : predictive displays for teleoperation with time delay," *Proc. of ICRA*, pp.546-551, 1990
5. Y. Tsumaki and M. Uchiyama, "Predictive display of virtual for space teleoperation," *Proc. of IROS 96*, pp.1544-1549, 1996
6. Maxfield, J. Fernando, T. Dew, P. "A distributed virtual environment for concurrent engineering," *Porc. of Virtual Reality Annual International Symposium*. pp. 162-170, 1995
7. Anu Rastogi, Paul Milgram, David Deascic and Julius Grodski, "Virtual Telerbotic Control," *DND*

workshop Advanced Technologies in knowledge Based systems and Robotics, Ottawa Nov. 1994.

8. Ruffo, K. and Milgram, P., "Effect of stereographic + stereovideo "tether" enhancement for a peg-in-hole task," *Proc. IEEE Annual Conf. on Systems, Man & Cybernetics*, 1992.
9. Roger A. Browse and Scott A. Little, "The effectiveness of real time graphic simulation in telerobotics," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp.895-897, 1991.
10. Kim, W.S., Tendick, F. and Stark, L.W., "Visual enhancements in pick and place tasks: Human operators controlling a simulated cylindrical manipulator," *IEEE J. Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No. 5, pp.418-425, Oct. 1987.
11. Kim, W.S. and Bejczy, A.K., "Graphics displays for operator aiding in telemanipulation," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp.1059-1068. 1991.
12. Kim, W.S., Schenker, P.S., Bejczy, A.K. and Hayati, S., "Advanced graphics interfaces for telerobotic servicing and inspection," *Proc. IEEE/RSJ Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Yokohama, pp. 303-309, 1993.
13. Kyung-Ho Lee 외 4인, "제품의 유지보수를 위한 시각 기반 증강현실 기술 개발," *한국 CAD/CAM학회 논문집*, 제13권 제4호, pp.265-272, 2008.
14. Yong-Sik Kim, Jeongsam Yang and Soonhung Han, "A Multichannel visualization module for virtual manufacturing," *Computers in Industry*, Vol. 57, pp. 653-662, 2006.
15. Sung-Kyun Kim *et al.*, "Development of a digital mock-up system for selecting a decommissioning scenario," *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 33, pp. 1227-1235, 2006.
16. Hyong Won Lee *et al.*, "Solver-Interfaced Virtual Reality Approach for Life-cycle Management of Nuclear Energy Systems," *Proced. of ICAPP*, Korea, 2005.
17. N. Mizuguchi *et al.*, "Development of reactor design aid tool using virtual reality technology," *Fusion Engineering and Design*, Vol. 81, pp.2755-2759, 2006.
18. Lee, J.H. and Han, S.H., "가상현실 자전거 시뮬레이션에서 시각화 네트워크," *한국 CAD/CAM학회 논문집*, 제9권 제3호, pp.212-219, 2004.
19. Dassault, DELMIA ENVISION, IGRIP (Interactive Graphical Robot Instruction Program), Shared Library and AXCESS Manual. 2003.



송 태 길

1987년 전남대학교 전자제산학과 학사
 2000년 충북대학교 전자제산학과 석사
 1987-현재 한국원자력연구원 책임연구원
 관심분야: Computer Graphics, Digital
 Manufacturing, PLM, System
 Management



박 병 석

1986년 조선대학교 기계공학과 학사
 1990년 전남대학교 기계공학과 석사
 2002년 충남대학교 기계설계공학과 박사
 1987-현재 한국원자력연구원 책임연구원
 관심분야: 마스터-슬레이브 매니플레이
 터 설계, 힘반영 제어, 강인제어



최 경 현

1986년 부산대학교 생산기계공학과 학사
 1990년 부산대학교 기계공학과 석사
 1995년 University of Ottawa 기계공학
 과 박사
 1999-현재 제주대학교 부교수
 관심분야: Digital Manufacturing, Virtual
 Manufacturing



이 상 호

1976년 숭실대학교 전자계산학과 학사
 1981년 숭실대학교 전자계산학과 석사
 1990년 숭실대학교 전자계산학과 박사
 1981-현재 충북대학교 전기전자컴퓨터
 공학부 교수
 관심분야: 컴퓨터 네트워크, 네트워크
 보안, 성능 분석