

고하중용 원격작업 로봇시스템 개발

서용철, 김창희, 조재완, 최영수, 김승호
한국원자력연구소 원자력로봇팀

The Development of Tele-operated Heavy Duty Robot System

Seo Yong Chil, Kim Chang-Hoi, Cho Jai Wan, Young-Soo Choi, Seungho Kim

Abstract - 근래에 무인 자동화기술의 발달과 마이크로프로세서 기술의 혁신적인 성장에 힘입어 일반산업현장에서 사용되고 있는 로봇은 복잡하고 다양한 작업이 요구되는 비제조업분야로 그 적용분야가 확장되고 있다. 그 대표적인 분야를 들자면 방사능 지역과 같은 위험한 환경에서의 작업, 우주공간이나 심해에서의 작업, 활선 작업과 같이 사람이 접근하기 어려운 곳에서 인간을 대신하는 작업 등이 있다. 이와 같이 사람이 접근하기 어려운 지역에서 인간을 대신하여 작업을 수행할 수 있는 원격작업 로봇시스템을 개발하였다. 개발된 로봇은 6 자유도를 갖는 수평타관절 유압구동형 조작기로서 로봇의 운반 및 설치가 용이하도록 제 1 링크의 분리가 가능하도록 설계하였다. 로봇의 제어기는 전체 제어기를 통괄하는 1 개의 마스터 CPU 및 3 개의 제어보드로 구성되며 이들은 VME 버스를 이용하여 데이터를 전송한다. 로봇의 관리제어시스템은 그래픽위크스태이션을 이용하여 구성하였으며 로봇의 작업상황을 실시간으로 애니메이션하여 작업자에게 원격현장감을 제공하고 작업효율의 향상시켰다.

1. 서 론

인류의 문명 발달과 함께 우주공간, 심해저, 철강산업, 원자력시설, 국방분야의 고방사선, 고압, 고온, 생화학적 오염 같은 극한 환경내에서 주어진 임무를 완수해야 할 것이 요구되고 있다. 그러나 이러한 극한환경은 사람이 접근하기도 어렵고, 3-D 작업에 대한 심리적인 거부감이 심각하여 위험한 작업에 대한 안전성 보장육구가 매우 커질 전망이다.

최근 무인 자동화기술의 발달과 마이크로프로세서 기술의 혁신적인 성장에 힘입어 일반산업현장에서 사용되고 있는 로봇은 단순공정의 제조업분야에서 복잡하고 다양한 작업이 요구되는 무인지뢰 탐지, 화생방전 등과 같은 군사분야, 원자력발전소 감시 및 점검, 폐기물 처리, 핵연료 취급 등과 같은 원자력 분야, 우주개발, 해저탐사, 방재, 송배전 선로 활선작업 등의 비제조업 분야에서도 그 적용분야가 확장되고 있는 추세이다[1].

우리나라의 경우 송전선로는 대부분 2 회전 철탁으로 구성되어 있어 유지보수 회선은 정전을 해도 나머지만 회전으로 송전이 가능하였기 때문에 활선작업에 대한 필요성을 거의 느끼지 못하였으나 2002년까지 운전 중인 765 KV 송전선로의 총 선로경간은 662 km이고 765 KV 초고압 선로의 점진적인 증가가 계획되고 있으며 특히 일부 선로는 1회선 건설도 포함되어 선로유지를 위한 정전작업은 더욱 어려워질 전망이어서, 활선작업에 의한 유지보수의 필요성이 시간이 지남에 따라

커질 것으로 예상된다.

송전선로 활선작업과 관련한 일반적인 기술들이 이미 선진외국에 의해 많이 개발되어졌으나 선로 구성이 우리와 다르고 송전선로가 주로 산악지를 경과하는 지형적 특징으로 인하여 외국으로부터 기술도입을 통하여 그대로 활용하기는 어려운 실정이고 우리나라의 선로 및 선로환경에 적합한 활선공법 및 활선작업용 로봇이 개발되어야 한다[2].

이러한 위험작업용 로봇은 주위 환경이나 작업상황의 변화를 인식하고 판단하여 적절하게 작업을 수행하기 위한 지능형 로봇이 요구된다. 그러나 인간과 같은 수준의 지능을 갖는 로봇을 개발하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에, 원격제어 로봇을 개발하여 위험한 환경에서 인간 대신 로봇을 투입하여 활용하고 있다. 위험작업 로봇은 기본적으로 원격로봇을 통하여 작업자가 컴퓨터, 센서 모니터를 통하여 원격지에 위치한 로봇의 상태와 작업활동을 감시하고 작업환경의 정보를 획득하여 작업계획을 수정, 작업지시를 내리는 등 계획된 임무를 달성할 때까지 로봇 제어계통에 관여하게 된다[3].

본 논문에서는 작업자의 접근이 제한되는 작업환경에서 사람을 대신하여 작업을 수행하기 위하여 개발된 원격로봇(ADAM)의 기구적 설계, 제어시스템 및 로봇시스템의 다기능에 대하여 기술한다.

2. 본 론

2.1 고하중 취급용 로봇 기구부

원자력발전소 내에서 고하중을 취급하기 위하여 개발된 ADAD은 조작기, 제어유닛, 제어반으로 구성된다. 조작기는 엔드이펙터가 0.3 mm 의 정밀도를 가지고 15 kg 이상의 물체를 취급할 수 있도록 6 자유도의 유압구동방식의 Schilling 사의 Titan 2를 설계변경하여 제작하였다. 유압구동 방식을 선택함으로써 최대 195 cm로 로봇을 뻗었을 때도 60 kg의 물체의 취급이 가능하다. 관절 위치값은 12 비트의 래졸버에 의하여 측정된다. 전체 기구부는 베이스-어깨-팔굽으로 구성되는 3 자유도의 위치결정부와 피치-요-롤의 3 자유도 자세결정부로 구성된다. 2 번째 관절인 어깨는 좁은 공간을 통과할 수 있도록 베이스 관절 액츄에이터에 수행 방향에 위치하도록 하였다. 3 번째 관절인 팔굽은 위쪽 링크가 아래 방향으로 완전히 접힐 수 있도록 하여 로봇의 작업 공간을 확대시켰다. 로봇의 어깨 링크는 간단한 체결 장치에 의하여 기계적으로 쉽게 분리 및 체결이 될 수 있도록 하여 전체 기구부가 자체 크기 및 무게로 인하여 운반에 문제가 있을 때 두 부분으로 분리 운반이 가능하도록 하였다. 그림 1은 ADAM의 외형을 보여주며 표

1에 ADAM의 기구학 제원을 나타내었다. 각 관절의 운동범위와 각 링크의 길이는 기존의 Titan 로봇의 기구학적 제원을 최대한 유지하는 범위에서 원자력발전소의 증기발생기 노출탑의 장탈착 작업을 수행할 수 있는 제원으로 3차원 그래픽 시뮬레이션을 통하여 획득한 값이다.

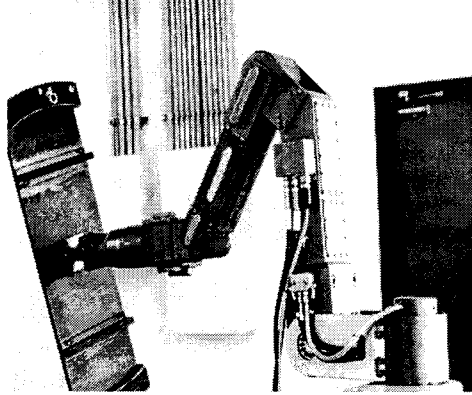


그림 1. ADAM의 외형

표 1. ADAM의 기구학 제원

i	θ_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	100 mm	θ_1
2	90.	280 mm	0	$\theta_2 - 9.5.$
3	0	690 mm	0	$\theta_3 + 9.5.$
4	0	480 mm	0	θ_4
5	-90.	135 mm	0	$\theta_5 - 90.$
6	-90.	0	0	θ_6

2.2 로봇 제어기

고하중용 로봇 제어기는 관리제어시스템 및 로봇 제어기와 고속의 네트워크를 통한 데이터 전송을 담당하고, 전체 제어기를 통관하는 1 개의 마스터 CPU 보드와 3 개의 제어보드로 구성된다. 이들은 VME 버스를 이용하여 데이터를 상호 전송한다. 3 개의 제어보드 중 1 개는 고하중용 로봇 내부의 DSP 보드와의 인터페이스 및 마스터 CPU 보드와의 인터페이스를 담당하고 또 한 개의 제어보드는 8 개까지의 서보모터를 제어할 수 있는 보드로 주변 장치를 제어한다. 그림 2 는 제어기의 구성을 보여준다.

운영시스템은 관리제어시스템과의 인터페이스, 고하중용 로봇 제어기의 제어와 관련된 모든 사용자 어플리케이션 프로그램이 수행되는 소프트웨어 환경으로 제어기의 마스터 CPU 보드 상에 존재한다. 운영시스템은 CPU 보드의 하드웨어에 의존적인 시스템 라이브러리인 BSP(Board Support Package)와 실시간 운영체제로 구성된다. BSP는 CPU 보드 상의 타이머, 네트워크 콘트롤러, 시리얼 I/O를 위시한 모든 하드웨어 관련 작업을 담당한다. 실시간 운영 프로그램은 VxWorks 를 사용하였다. VxWorks 는 실시간 멀티태스킹 및 태스크간 통신 메카니즘 기능을 갖는 커널과 유닉스 시스템에 준하는 다양한 기능을 제공한다.

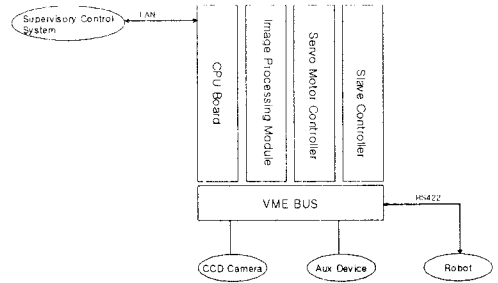


그림 2. 제어기 구성도

2.3 관리제어시스템

최근의 3차원 그래픽 기술과 이를 처리할 수 있는 프로세싱 기술의 발전으로 작업 현장에서 로봇 수행하는 작업을 시각적으로 시뮬레이션하는 것뿐 아니라 원격에서 작동하는 로봇의 자세 및 작업 상황을 실시간으로 시각화하고 나아가 실시간으로 로봇을 제어하기 위한 연구가 활발하기 추진되고 있다. 원거리에서 작업중인 로봇의 효율적인 제어를 위하여 3 차원 그래픽스 기술을 활용한 제어시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 가상의 로봇 작업환경 구축 및 시뮬레이션이 가능함으로써 실제 작업을 수행하기 전에 운영자의 훈련을 위하여 사용될 수 있다. 또한 실제 작업을 수행중에 임의의 관측점에서의 시각정보를 실시간으로 운영자에게 제공이 가능하다. 관리제어시스템의 주컴퓨터는 실리콘 그래픽스사의 워크스테이션을 사용하였다. 로봇 원격조작을 위한 입/출력 장치는 스페이스 볼과 다이얼 상자를 사용하였다. 그림 3은 시스템의 외관을 보여주며 그림 4는 기동별 구성도를 보여준다.

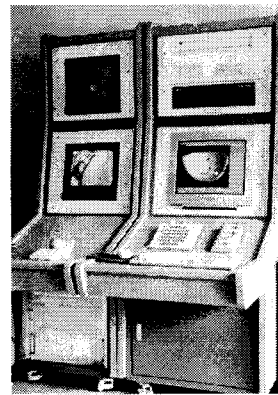


그림 3. 관리제어시스템

원격에서 작업중인 로봇의 작업내용을 시뮬레이션, 모니터링 및 제어하기 위한 관리제어 프로그램은 기본 대상을 이용하여 복잡한 형상의 로봇이나 작업환경을 모델링하는 모델링 모듈, 모델링 모듈에서 구축된 대상을 이용하여 가상의 작업환경을 구축하고 로봇의 동작을 시뮬레이션하는 월드모델러, 로봇 제어부와 연결하여 작업상황 모니터링, 온-라인 제어하기 위한 온-라인 제어 모듈로 구성된다. 개발된 시스템은 사용자가 시스템 운영체제에 깊은 지식이 없이도 쉽게 사용할 수 있으며 변경이 용이한 사용자 인터페이스의 제공이 가능하도록 X 윈도우 시스템의 Xlib 라이브러리를 사용하여 전체 프로그램의 메뉴를 구성하였으며 그래픽 기능은 3차원 그

래픽 라이브러리인 OpenGL을 사용하였다.

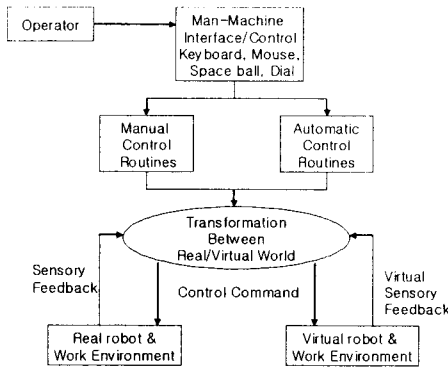


그림 4. 관리제어시스템의 기능별 구성도

원거리에 위치한 로봇의 효율적인 제어를 위한 통신 프로토콜을 선택함에 있어 가장 중요한 것은 신뢰성있는 데이터의 전송이다. 데이터 전송 시에 잘못된 데이터가 전송되어서는 안 되며 데이터 전송상의 문제가 발생하면 이를 확인하고 가능하다면 복구할 수 있어야 한다. 이와 같은 사항을 고려하여 ethernet을 이용한 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 로봇 시스템과의 데이터를 교환하도록 하였다. 원거리에서 작업을 수행중인 로봇의 센서 데이터는 가상작업환경으로 귀환되어 그래픽 모델을 갱신하게 된다.

원격에 위치한 로봇을 제어하기 위한 샘플링 시간은 수 백 Hz 이상이다. 관리제어 컴퓨터의 최대 화면 처리 속도는 72 Hz 이고 가상 작업환경의 데이터 량에 따라 처리 속도는 달라진다. 따라서 원격로봇 제어부의 각 샘플링마다 로봇의 관절값을 전송하고 이를 처리할 필요는 없다. 또한 귀환된 데이터를 모두 처리하고자 할 경우에는 가상작업환경에서의 데이터 처리 속도가 로봇 샘플링 시간을 따르지 못하므로 실제 작업상황과 가상작업환경과의 시간 지연이 발생하여 심각한 결과를 초래할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 별도의 프로세스가 로봇 시스템과의 통신만을 담당하도록 하였으며 로봇시스템으로부터 데이터가 전송될 경우 전송데이터를 공유메모리에 저장하도록 하였다. 따라서 가상작업환경의 로봇은 가장 늦게 전송되어 공유메모리에 저장된 데이터만을 처리하도록 하여 항상 실제 작업 상황에 대한 정보를 그래픽 화면을 통하여 사용자에게 제공할 수 있도록 하였다.

3차원의 공간에 위치한 구조물을 취급하기 위해서는 각 구조물에 대하여 위치 및 방위 성분을 기술할 수 있어야 한다. 마우스의 경우는 2 차원의 좌표값만을 명시할 수 있어 마우스 만을 이용하여 3차원 구조물을 취급하기는 매우 불편하다. 스페이스 볼은 6 자유도의 힙/토오크 값을 감지하여 출력시킴으로서 3 차원 공간상에서 사람이 물건을 손에 주고 움직이는 것처럼 조작자가 쉽게 구조물을 움직일 수 있다. X 윈도 시스템에서 스페이스 볼 및 다이얼 상자의 출력값을 감지하기 위하여 표준 X 윈도 시스템에서 제공하는 이벤트(event)가 아닌 확장 이벤트를 사용하였다. 그림 5는 증기발생기 수실내에 노즐뎀을 장/탈착 작업을 위하여 구축한 가상작업환경을 보여준다.

스페이스 볼을 이용하여 로봇을 구동시키기 위해서는 스페이스 볼의 출력값을 작업공간상의 어디를 기준으로 하여 할 탈할 것인가를 결정하여야 한다. 즉 사용자가

스페이스 볼 좌표계에서 x 축 방향으로 로봇 손을 이동시키고자 할 때 베이스 좌표계를 기준좌표계로 하였을 때와 손 좌표계를 기준좌표계로 하였을 경우와는 원하는 로봇의 자세가 달라지게 된다. 본 연구에서는 로봇의 자세가 바뀌더라도 스페이스 볼의 입력이 항상 사용자 측면에서는 동일한 좌표계에서 해석될 수 있도록 관측자 좌표계를 기준좌표계로 간주하여 스페이스 볼의 입력을 해석하였다. 관측자 좌표계에서의 입력값을 로봇 손 좌표계에서의 값으로 변환하기 위한 변환식은 $\vec{R} = {}^T_6 \cdot {}^6T_e \cdot \vec{r}$ 으로 표현되며, 여기에서 T_6 는 관측자 위치변환 행렬, T_6 은 로봇손 변환행렬, \vec{r} 은 스페이스 볼 입력 벡터를 나타낸다.

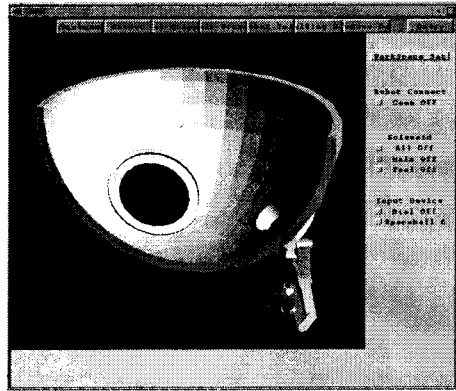


그림 5. 가상작업환경의 구축

3. 결 론

본 논문에서는 사람이 접근하기 어려운 위험한 환경에서 사람을 대신하여 원격에서 작업을 수행하기 위하여 개발된 로봇시스템에 대하여 기술하였다. 로봇의 관리제어 시스템은 그래픽 워크스테이션에서 구현된 실제의 작업환경과 동일한 가상 작업환경과 원거리에서 작업중인 로봇 시스템과 정보통신망을 통하여 연결함으로써 원격로봇의 작업상황을 실시간으로 시각화하여 원격조작자 작업자에게 다양한 정보를 제공할 수 있다. 이러한 로봇의 원자력분야, 우주개발, 해저탐사, 방재, 송배전 선로 확산작업 등의 다양한 분야에서의 응용은 작업자의 안전성을 향상시키면서 위험한 환경에서의 작업효율을 높일 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구 개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김승호, "Robot of Hostile Environmental Tasks," 기계저널, 42권 3호, 2002
- [2] 한국전기공사협회 연구보고서, 초고압 송전선로 활성공법 및 관련장치 개발, 2003
- [3] Thomas B. Sheridan, Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control, 1992, MIT Press
- [4] 한국원자력연구소 연구보고서, 원전용 로봇 시스템 개발, KAERI/RR-1508/94, 1995