

이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 대학부설 연구소 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

IMS를 위한 Human Interface 시스템 개발

- 원격제어 시스템의 활용 -

차인혁*, 한창수*, 이병주**

Development of a Human Interface System for the IMS

- Application of the Teleoperation System -

Inhyuk Cha*, Changsoo Han*, and Byungju Yi**

ABSTRACT

IMS is a more advanced manufacturing system than FMS. However, IMS do not have sufficient performance for the work in the various and uncertain environment, because of the difficulty of the work and occurrence of the unexpected condition. If IMS is hard to work properly, teleoperation system can support it by using the human's consideration and judgment. The master mechanism is a basic component of the teleoperation system and the development of the useful one is important for efficiency of the work.

A master mechanism of exoskeleton type can increase the work efficiency, mobility, and harmony between a working robot and an operator. This paper describes an arm-harness of exoskeleton type, which is able to drive a robot according to judgment. This device is applied to a robot system for evaluating the system performance through the experiment.

Key Words : IMS(지능생산시스템), teleoperation system(원격제어시스템), arm-harness(암하너스), master mechanism(마스터 메카니즘), harmony(조화성)

1. 서론

로봇이나 자동화 시스템이 작업환경과 작업상태를 인지하고 돌발적인 상황이나 변화하는 환경에 스스로 대응할 수 있는 인공지능 시스템의 개발은 매우 중요한 연구 과제이다. 그러나, 단순 반복적인 작업이나 환경의 변화가 적은 장소, 또는 작업환경이 예측 가능한 장소에서의 작

업 외에는 인공지능 시스템을 적용하기 위하여 해결해야 할 문제들이 많이 있다. 미래의 생산설비는 우주나 심해, 지하 등 지금까지 인간이 겪어보지 못한 장소에 구축될 것이며 미지의 환경에 생산설비를 구축하기 위한 기반설비 구축기술은 매우 중요하다 할 것이다.

인간이 직접 작업하기 어려운 환경에서의 작업에 인공지능을 적용한 로봇이나 자동화 시스템을 이용하지만, 인

* 한양대학교 정밀기계공학과
 ** 한양대학교 제어계측공학과

간의 판단이 필요한 작업이나 이 시스템만으로 해결할 수 없는 문제가 발생할 경우, 인공지능 시스템을 보완할 방법이 필요하게 된다. 인공지능 시스템만으로 해결할 수 없는 문제는 인간의 판단이나 명령을 이용할 수 밖에 없으며, 이러한 요소들을 로봇이나 자동화 시스템에 효과적으로 연결시키려는 것이 휴먼 인터페이스(human interface)의 기본 개념이다. 원격제어 시스템은 대량생산을 위한 시스템이라기보다는 대량 생산을 위한 기반 설비의 구축 작업이나 특수한 목적의 작업을 위한 시스템이라 할 수 있다. 본 연구에서는 인공지능을 이용한 시스템이 해결하기 어려운 작업을 보완하며 인간의 판단과 의지를 작업 시스템에 연결하여 문제가 되는 작업을 수행할 수 있도록 원격제어 시스템을 개발하였고 실험을 통하여 추종 성능을 검증하였다.

원격 제어 시스템은 일반적으로 작업을 수행하는 작업 로봇(slave robot)과 인간의 판단이나 명령을 효과적으로 주제어기로 전달하는 마스터 시스템(master system), 그리고 두 시스템을 연결하고 전체 시스템의 신호를 총괄하는 주 제어기(main controller)로 크게 나눌 수 있다. 특히 마스터 메커니즘의 가장 기본적인 형태인 교시거나 조이스틱, 작업 로봇과 기하학적 구조가 같은 원격제어 메커니즘 등 효과적인 원격 제어를 위한 다양한 형태의 마스터 메커니즘 개발에 많은 연구가 이루어지고 있다.

원격 제어 시스템을 구성하기 위해서는 많은 비용과 장비가 투입되므로 적용 범위를 확장하기 위하여 어떠한 형태의 작업 로봇에도 적용 가능한 원격 제어 메커니즘의 연구 개발이 필요하게 되었다. 1990대 초 Kawamura와 Ito⁽¹⁾는 와이어(wire)를 이용하여 3차원 좌표를 얻어낸 후, 로봇으로 하여금 그 좌표를 추종할 수 있도록 하는 원격제어 메커니즘을 구성하였다. 그러나 3차원 좌표를 만들기 위하여 많은 공간을 확보해야 하며 4자유도 이상은 표현이 어렵고, 와이어로 자유도를 표현하는 과정에서 와이어간의 간섭이 발생할 수 있으며, 조종자와 원격 제어 메커니즘의 일체감이 낮아 원격 제어시 중요한 요소인 현장감을 떨어뜨리는 단점이 있다⁽²⁾. 또한, 다자유도를 갖는 직렬형 로봇의 끝단에 핸들을 부착하여 조종하는 형태도 있으나 원격 제어 시스템의 규모가 커지고 이동성이 떨어진다 단점이 있다. 따라서 원격 제어 메커니즘과 인간의 일체감을 높이고 조종성과 원격 제어 시스템의 이동성을 높이는 방법으로 사람이 착용하여 로봇을 제어할 수 있는 exoskeleton 형태의 메커니즘⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾이 개발 되기

시작하였다.

구동 원리는 인간의 손이나 팔 관절의 움직임을 센서를 통하여 측정하고, 이 정보를 이용하여 작업로봇의 위치나 자세를 조종한다. 조종자가 시스템을 착용하여 자연스러운 움직임을 이용하므로 마스터 시스템과 조종자(operator)간의 일체감을 높일 수 있고, 마치 사람이 직접 작업하는 것과 같은 효과를 낼 수 있어서 난이도가 높은 작업도 가능하다는 장점을 갖고 있다. 또한 마스터 시스템의 기하학적 형태가 다른 작업 로봇에도 적용 가능하도록 구성함으로써 원격 제어 시스템의 활용범위를 확장할 수 있다. 본 논문에서 구성한 시스템은 exoskeleton형태의 arm-harness⁽⁷⁾로 조종자의 팔에 장착하여 관절의 움직임으로 로봇을 조종할 수 있도록 하였다. Arm-harness는 총 4자유도를 갖고 있으며 4자유도 이하의 로봇을 제어할 수 있도록 설계하였으며 원격 제어 시스템의 성능검증을 위하여 SCARA형 4자유도 로봇을 대상으로 시스템을 구성하여 실험하였다.

2. 시스템 구성

2.1 팔의 기하학적 구조와 마스터 메커니즘

인간의 팔은 다양한 기능을 수행할 수 있도록 어깨에서부터 손목까지 7자유도를 갖추고 있다. 각 관절은 다양한 움직임을 표현하기 위하여 각기 다른 형태의 운동을 한다. 이러한 팔의 움직임을 이용하여 로봇을 제어하기 위해서는 우선 각 자유도의 형태와 회전축의 위치를 알아야 하며 각 관절의 움직임을 측정하기 위한 센서의 부착 위치를 결정하여야 한다. 인간의 팔을 구성하고 자유도를 나타내는 관절에는 어깨, 팔꿈치, 손목 등이 있다. 어깨는 몸의 중심과 가장 가까운 볼과 소켓형 관절이며 쇄골(clavicle)과 어깨뼈(scapula) 그리고 상박골(humerus)

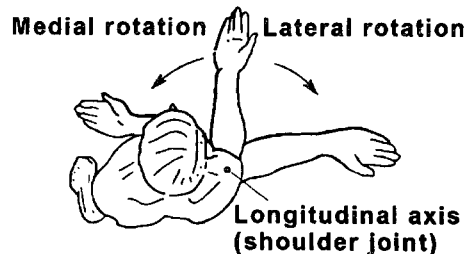


Fig. 1 Pictorial explanation of human arm movement (rotation)

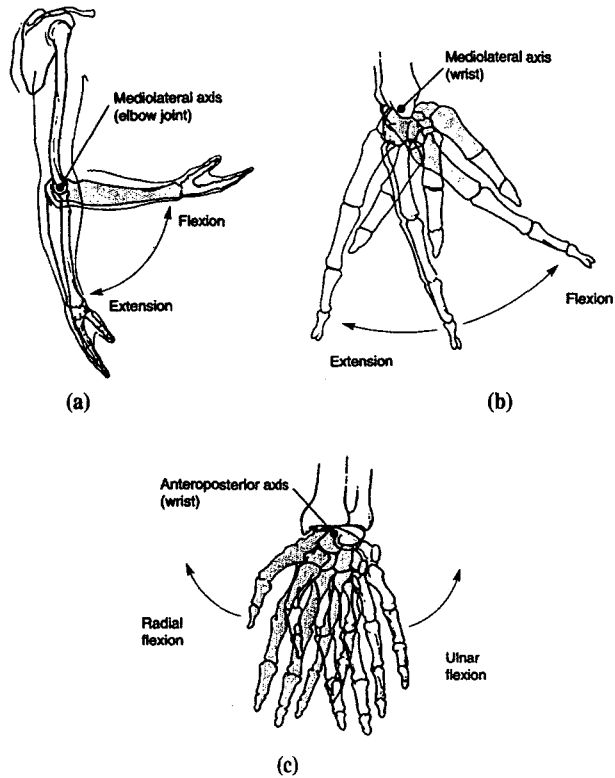


Fig. 2 Pictorial explanation of human arm movement(elbow/wrist)

로 이루어져 있다. 어깨와 직접 연결된 상박부는 3자유도를 나타낼 수 있으며 몸체와 평행한 방향의 abduction/adduction운동과 몸체와 수직인 방향의 abduction/adduction운동, 그리고 Fig. 1과 같이 Medial/Lateral 회전운동을 할 수 있다.

팔꿈치는 상박부(upper arm)와 하박부(forearm)를 회전형 조인트로 연결하고 Fig. 2(a)와 같이 flexion/extension 운동이 가능하며 1자유도를 갖는다. 손목부는 Fig. 2 (b),(c)와 같이 Mediolateral축과 Anteroposterior축을 중심으로 Extension/Flexion운동과 Radial flexion/Ulnar flexion운동이 가능하다. 또한 하박부는 두개의 뼈로 구성되어 있으므로 손목부와 더불어 Supination/Pronation운동이 가능하다. 각 관절의 자유도와 나타낼 수 있는 관절의 형태와 움직임을 정리하면 Table 1과 같다. 각 관절은 Mediolateral축, Anteroposterior축 등 관절 축을 중심으로 회전운동을 하고 있으며 관절의 회전 각도를 측정하기 위해서는 이 축들 위에 센서를 설치하여야 한다. 그러나 정확한 축의 위치를

파악하고 이 위치에 센서를 고정시키는 것은 어려우므로 프레임을 제작하여 프레임의 축 위에 센서를 고정시킬 수 있는 arm-harness를 설계하였다.

본 연구에서는 Table 1의 7자유도 중에서 팔꿈치(elbow)와 손목(wrist) 그리고 상박(upper arm)의 운동 등 4자유도만을 고려하여 각 관절의 움직임을 측정하도록 마스터 메커니즘을 설계하였다. 설계시 고려할 점으로 정확한 작업공간 사상을 위하여 허용된 자유도 이외에는 움직임이 일어나지 않도록 구속시킬 수 있는 arm-

Table 1 Summary of D.O.F designation in the human arm

Joint	D.O.F	Movement
Shoulder	2	Abduction/adduction
Elbow	1	Flexion/extension
Wrist	2	Flexion/extension, radial/ulnar flexion
Upper arm	1	Medial/lateral rotation
Forearm	1	Supination/pronation rotation

harness를 설계하여야 한다. Fig.3은 arm-harness를 조종자의 팔에 착용한 모습이다. 착용한 후 조정(calibration)을 거치면 조종자가 팔을 움직이는 대로 작업공간 사상을 통하여 작업로봇이 움직이게 된다. 이때 로봇과 조종자가 원활한 작업을 위한 일체감을 갖도록 하기 위해서는 작업공간 사상이나 작업공간 설정을 조종자가 친숙하게 느끼도록 하여야 한다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되는 3차원 직교 좌표계를 사용하여 작업공간을 구성하였고 arm-harness의 각 관절을 여기에 대응시켰다.

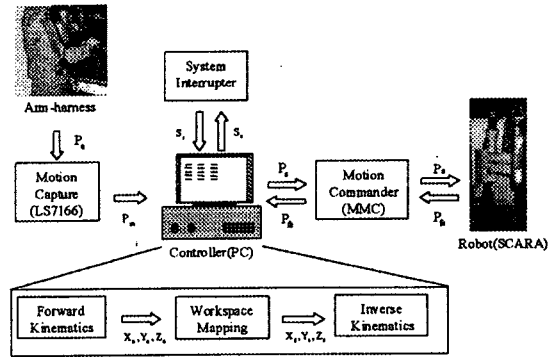


Fig. 3 Arm-harness

2.2 제어기

원격 제어 시스템을 기능별로 구분하여 표시하면 Fig.4와 같으며 P는 위치 정보를, \dot{p} 는 속도정보를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 arm-harness와 주제어기를 모션 캡처(motion capture)가 연결하고 있다. 모션 캡처는 주 제어기인 PC와 독립적으로 운영되며 arm-harness의 엔코더에서 발생하는 펄스를 모니터하여 일정한 샘플링 시간마다 주제어기로 전송한다.

주제어기는 캡처로부터 전송 받은 펄스량으로 arm-harness가 샘플링 시간동안 움직인 관절각도를 계산한다. Arm-harness의 각 관절은 조종자의 움직임에 따라 연속적으로 변화하지만 제어기는 주기적으로 그 변화량을 측정하므로 정확한 값을 얻기 위해서는 관절의 변화상태를 감시하고 변화량을 기억하여 주제어기에 주기적으로 전송해야 한다. 본 연구에서 구성한 실험장치에 사용한 엔코더 전용 카운터인 LS7166은 이러한 역할을 충분히 수행할 수 있다.



- P_a : Pulse from the encoder of Arm - harness
- P_m : Digital value from the counter
- X_a, Y_a, Z_a : Position in the workspace of the Arm - harness
- X_r, Y_r, Z_r : Position in the workspace of the slave robot
- P_d : Driving data for the each axes of the robot(θ)
- P_b : Driving signal for the robot axes(θ)
- P_{fb} : Measured θ from the robot axes
- S_o : Setting value for the interrupt time
- S_i : Interrupt signal

Fig. 4 System schematic diagram

조종자의 움직임이 arm-harness와 모션 캡처를 통하여 제어기에 전달되면 제어기는 arm-harness의 기구학과 작업 공간 사상을 통하여 작업 로봇이 움직여야 할 관절 각도로 계산된다. 계산된 각도는 로봇을 움직이기 위한 신호로 변환되어 로봇 구동 장치인 구동 명령장치(Motion commander)로 전송된다. 이때 구동 신호는 샘플링 시간동안 로봇 구동을 원활하고 손쉽게 하기 위하여 MMC(Multi Motion Controller)를 PC와 병행하여 사용하며 계산된 값을 아날로그 신호로 바꾸어 로봇으로 전송한다. 로봇을 움직이기 위한 신호는 속도의 형태를 하고 있으며 비율 제어(rate control)⁽⁶⁾를 이용하여 샘플링 시간 안에 계산된 속도까지 가속하거나 감속하는 형태로 구성된다. 따라서 일정한 샘플링 주기의 확보는 로봇의 정밀한 구동을 위해서 필수적인 요소라 하겠다. 본 시스템에서는 외부 인터럽트를 이용하여 제어기의 진행 상황과는 별도로 일정한 주기마다 정해진 루틴을 수행하도록 하여 주기성을 확보하였다.

제어기는 586PC를 사용하여 필요한 기구학 계산을 수행하고 로봇 구동 명령을 발생시킨다. 샘플링 주기는 15msec로 설정하였는데, arm-harness의 관절 신호를 측정하고 기구학을 계산하여 작업공간으로 사상하는 과정과 작업로봇의 역기구학을 수행하여 로봇의 이동 명령

을 로봇 구동 장치에 전송하기까지 필요한 시간이다. 샘플링을 위한 인터럽트는 8253 chip을 사용하여 시스템 버스의 인터럽트 단자인 IRQ에 주기적으로 신호를 주고 PC시스템 내에서 제공하는 벡터 테이블을 사용하여 인터럽트 요청 시 수행되도록 제작하였다. 샘플링 주기는 프로그램으로 조절 가능하도록 설계되었으며 전체 프로그램 수행시간과 로봇의 구동조건을 고려하여 선정된다.

3. 작업영역 사상(workspace mapping)

작업 영역 사상은 서로 다른 기하학적 구조를 갖고 있는 arm-harness와 작업로봇이 하나의 시스템으로 연결되어 조종자가 작업로봇과 일체감을 느끼며 로봇을 조종하기 위하여 필수적으로 수행되어야 하는 과정(process)이다. 원격 제어의 목적은 인간이 직접 작업하기 어려운 환경에서의 작업에 투입된 지능화된 로봇이 스스로 해결할 수 없는 작업을 사람이 직접 로봇을 조종하여 수행할 수 있도록 하는데 있으므로 로봇을 조종하는 조종자는 마치 자신이 직접 작업하는 것과 같은 느낌이 들도록 로봇과 일체감을 가질 수 있어야 한다. 특히, 작업 로봇의 작업범위가 제한되어 있는 경우 원격 제어 메커니즘의 작업범위와 로봇의 작업범위간에 작업영역 사상은 필수적이다. 본 연구에서는 기하학적 형태가 서로 다른 작업로봇과 마스터 시스템을 조종자에게 친숙하게 느껴지는 직교좌표계를 사용하여 작업공간을 사상함으로써 원활하게 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 즉, 작업 로봇의 전체 작업공간을 Fig. 6에서와 같이 여러 개의 직육면체 공간으로 재설정하고 arm-harness를 부착한 사람의 관절 운동 범위와 작업로봇 끝 단의 움직임이 이 공간 안으로 사

상하여 마치 조종자가 작업로봇의 작업공간에서 직접 작업하는 것처럼 느끼도록 하였다. Arm-harness 관절의 움직임은 엔코더를 이용하여 0.25도의 정밀도를 갖도록 측정하였고 로봇을 구동하기 위하여 비율 제어(rate control)⁽⁶⁾를 사용하였다.

Fig.5는 로봇의 작업 공간과 arm-harness의 운동 범위를 직육면체의 작업 공간으로 사상한 것을 도식화한 것이다. 공간의 크기는 300x200x150mm의 직육면체로 Table. 2와 같이 사상하여 작업로봇을 arm-harness의 각 축의 움직임을 이용하여 조종할 수 있도록 하였다.

Arm-harness의 θ_1 을 움직일 경우 로봇은 대응되는 X축 방향으로 움직이게 되며 θ_2 는 Z축 방향으로 동작하게 할 수 있다. θ_4 는 로봇을 Y축을 따라 움직이게 할 수 있다. 또한 Arm-harness의 제3 관절의 움직임(Medial/lateral rotation)으로 작업 로봇의 작업공간을 W만큼 이동시킬 수 있도록 함으로써 작업로봇의 전체 작업공간을 가능한 최대한 활용할 수 있도록 하였다.

Table 2에서 X,Y,Z는 작업로봇의 전체 작업공간에 설정된 가상 작업공간의 3차원 위치를 나타내며 W는 전체 작업공간에서 가상 작업공간의 위치를 나타낸다. Arm-

Table 2 The summary of the motion type Joint Human Motion (arm-harness) Working robot Motion

Joint	Human Motion (arm-harness)	Working robot Motion
1	Wrist(Radial/Ulnar flexion)	Z
2	Wrist(Flexion/Extension)	X
3	Elbow(Flexion/Extension)	Y
4	Upper arm	Work cell movement

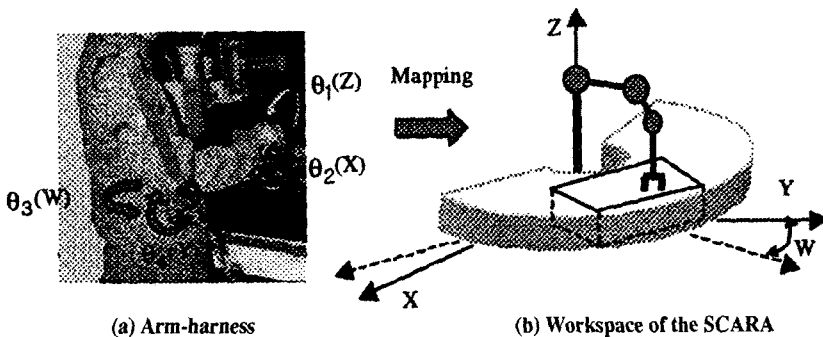


Fig. 5 Workspace mapping

harness의 각도로부터 가상공간의 좌표를 계산하기 위한 식은

$$X = \alpha_1 \theta_2$$

$$Y = \alpha_2 \theta_4$$

$$Z = \alpha_3 \theta_1$$

$$X = \alpha_4 \theta_3 \quad (\text{단: } \alpha_i \text{ 는 사상계수, } i=1,2,3,4)$$

여기서

$$\alpha_1 = \frac{300}{\Delta\theta_2}, \alpha_2 = \frac{200}{\Delta\theta_4}, \alpha_3 = \frac{150}{\Delta\theta_1}, \alpha_4 = \frac{100}{\Delta\theta_3}$$

이며, 계산된 좌표로부터 작업로봇의 역기구학을 수행하여 작업로봇 각 축의 각도를 계산하여 주어진 위치로 이동할 수 있도록 구동 명령을 만든다. 이때 $\theta_i (i=1,2,3,4)$ 는 arm-harness의 관절 각을 의미하며 $\Delta\theta_i (i=1,2,3,4)$ 는 arm-harness를 착용한 조종자의 각 관절의 운동 범위이다. 운동범위는 arm-harness를 착용한 후 조정작업(calibration)을 통하여 계산해 낼 수 있다. 분자에 해당하는 각 상수들은 설정한 가상 작업공간의 크기이며 사상계수를 통하여 arm-harness의 변위각을 직육면체의 작업공간으로 사상할 수 있다.

본 연구에서 제작한 시스템의 작업 로봇은 기본적으로 직육면체의 작업 공간을 갖고 있는 것으로 설정하였으며 작업 로봇인 SCARA의 작업영역을 가능하면 모두 활용하기 위하여 전체 작업영역을 몇 개의 작업 공간(work cell)로 나누고 작업 공간 사이의 이동은 arm-harness의 제3관절의 움직임으로 명령할 수 있도록 설계하였다. Fig.6은 작업로봇의 전체 작업영역을 몇 개의 기본 작업공간으로 설정한 예를 보여주고 있으나 제3관절의 분해능에 따라 이동 각도를 설정할 수 있기 때문에 실제로는 무수히 많은 작업 공간을 설정할 수 있으며 작업 공간을 이동할 때 진동이나 충격이 없다. 또한 작업 공간의 이동은 작업 공간 내에서의 작업과 동시에 이루어질 수 있다. 작업 공간을 사각형으로 재설정함에 따른 작업 영역의 손실은 작업 공간을 작게 설정함으로써 어느 정도 감소시킬 수 있지만 작업공간이 작아지는 경우 실제작업 시 잦은 작업공간이동이 이루어져야 하므로 작업효율이 떨어지는 단점이 있다. 그러나 로봇 구동시 작업로봇의 특이점 부근으로 로봇이 움직이지 않도록 프로그램하는 것이 일반적이므로 작업의 성격에 따라 적당한 작업공간의 크기를 설정해야 한다.

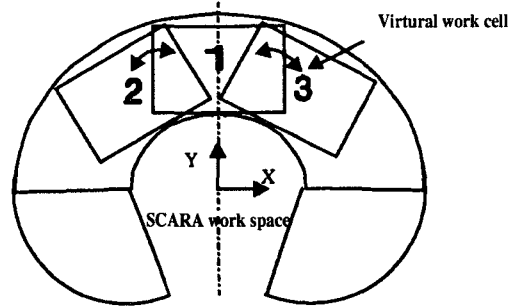


Fig. 6 Workspace movement

4. 실험 및 고찰

로봇과 arm-harness의 작업 공간을 사상하기 위해서는 로봇의 작업 공간과 arm-harness의 운동 범위가 정의되어야 한다. Arm-harness의 운동 범위는 그것을 착용한 조종자에 따라 다소 달라질 수 있으므로 착용 후 조정(calibration)과정을 통하여 운동 범위가 결정된다. 제어 프로그램에 조정 모듈을 첨가하여 작업 시작에 앞서 arm-harness의 운동 범위를 설정하고 작업로봇을 원점 복귀시킨 후 Fig. 6에서와 같이 일정 크기의 작업공간을 재설정하고 두 시스템의 작업범위를 재설정된 작업 공간으로 사상한다. SCARA로봇의 시작위치 확인과 Arm-harness의 조정이 끝나면 주기적으로 arm-harness를 통하여 출력되는 신호를 이용하여 작업공간에서의 위치를 계산하고 계산된 위치로 작업 로봇을 이동시킨다. Fig.7-Fig.10은 작업 공간상에서 X, Y, Z축과 작업공간 이동 동작을 제어하는 arm-harness의 제2관절과 제4관절, 제1관절 그리고 제3관절(Table2 참조)을 움직였을 때 작업공간의 각 방향으로 사상 되는 위치를 작업로봇이 정확히 추종하는지를 실험한 결과이다.

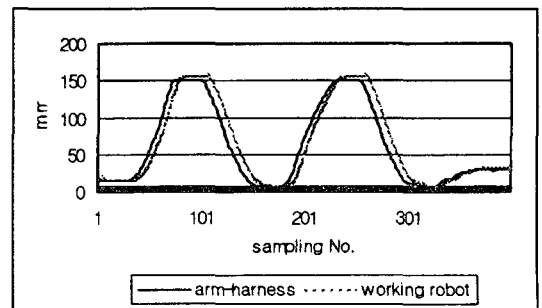


Fig. 7 The tracking experiment of the teleoperation system (Z axis)

실험방법은 arm-harness를 착용한 후 조정작업(calibration)을 하였다. 이때 각 축의 조정을 통하여 얻은 $\Delta\theta_i (i=1,2,3,4)$ 는 차례로 $35^\circ, 80^\circ, 100^\circ, 100^\circ$ 이며 각 관절을 0° 에서 운동범위 경계까지 각각 두 번씩 왕복하였다. 그래프의 X축은 샘플링 개수를 나타내며 샘플링 시간은 15msec이다. 그래프는 샘플링 초기에 arm-harness를 통하여 전달된 값과 다음 샘플링이 일어나기 바로 전에 샘플링 주기 동안 로봇이 움직인 결과를 로봇에 부착된 엔코더를 통하여 읽어 들여 두 값을 비교한 것이다. 우선 arm-harness의 첫 번째 관절을 움직여 로봇의 Z축을 움직인 경우, Fig.7에서 보는 바와 같이 두 값을 비교하면 arm-harness를 통하여 발생 시킨 값과 로봇에 부착된 엔코더를 통하여 로봇이 실제 움직인 값이 되먹임(feedback)받은 값이 서로 근사함을 알 수 있다. 이때, 두 값의 시간 지연은 약45msec이내이므로 조종자는 구동 명령에서부터 로봇이 실제로 구동을 완료하기까지 시간지연을 거의 느끼지 못한다.

Fig. 8은 arm-harness의 제2관절인 θ_2 를 움직여 로봇을 작업공간상의 X축 방향으로 구동시켜 추종성능을 실험한 결과이다. Z축 방향의 추종성능 결과와 마찬가지로 arm-harness에서 발생한 값과 로봇에서 되먹임(feedback)된 값이 근사하게 추종함을 알 수 있었다. Fig. 7에서와 같이 45msec이내의 시간지연이 발생되고 있다.

Fig. 9는 arm-harness의 제4관절인 θ_4 를 움직여 로봇을 Y축 방향으로 동작시킨 결과이다. Y축은 로봇의 첫 번째 관절의 중심에 원점이 있으므로 Fig. 5를 통하여 추정할 수 있듯이 작업 공간이 390mm-590mm까지 200mm가 설정되어 있으므로 Y축에 대한 궤적 그래프는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 390-590mm의 범위를 갖고

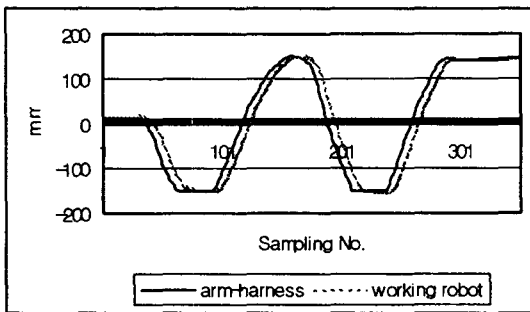


Fig. 8 The tracking experiment of the teleoperation system (X axis)

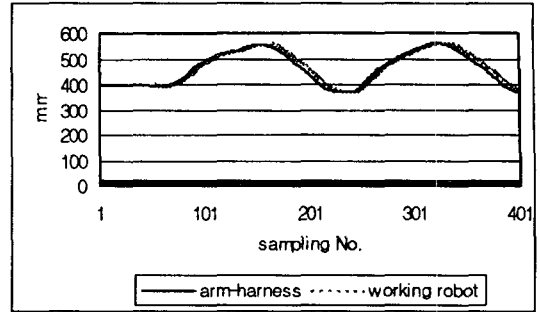


Fig. 9 The tracking experiment of the teleoperation system (Y axis)

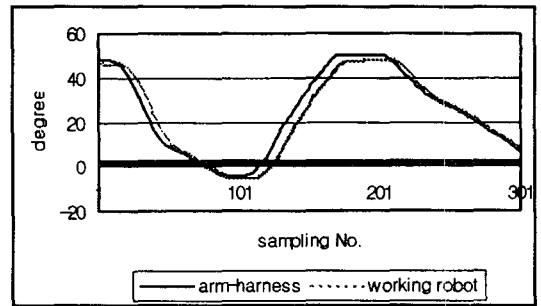


Fig. 10 The tracking experiment of the teleoperation system (work cell movement)

있다. Fig. 7, Fig. 8과 비교하여 두 궤적의 차이가 적게 보이는 것은 이동속도가 작고 부드러운 그래프의 기울기가 완만하여 그래프상에 시간 지연에 의한 현상이 정확히 표현되지 않기 때문이다. Fig. 10에서도 이동속도가 느린 부분에서 시간 지연이 적게 나타나는 현상을 볼 수 있다. Fig. 10은 arm-harness의 제3 관절인 을 움직여 작업공간을 이동시킨 결과 그래프이다. 다소 시간지연을 동반하지만 역시 입력값을 잘 추종하고 있음을 확인할 수 있다. 작업공간의 이동 범위는 Fig.6의 1작업공간이 Y축을 중심으로 $\pm 50^\circ$ 까지 이동이 가능하도록 설정하였다. 이때 arm-harness에 의한 궤적과 작업로봇에 의한 궤적의 이동량에 차이가 보이는 것은 arm-harness를 조정(calibration)하는 단계에서 정해진 운동범위 밖으로는 로봇을 움직이지 못하도록 프로그램으로 제한하기 때문이다. 일단 조정단계가 끝나고 arm-harness의 운동범위가 정해지면 그 후 조종자가 arm-harness를 운동범위 밖으로 움직여도 작업로봇은 항상 정해진 운동범위 내에서 작업하게 된다.

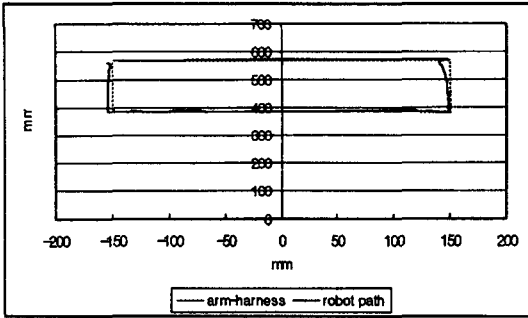


Fig. 11 The tracking of a Rectangle path

Fig. 11은 arm-harness로 사각 궤적을 만들고 이때 발생한 값과 로봇이 실제 구동한 값을 되먹임(feedback)한 값을 비교한 것이다. 로봇의 궤적을 살펴보면 arm-harness를 통하여 발생된 궤적을 잘 추종함을 알 수 있다. Arm-harness를 착용한 조종자가 정확한 사각 궤적을 그리는 것은 다소 어려움이 따르는 작업이므로 arm-harness의 제2관절과 제4관절을 차례로 작업공간의 경계까지 움직임으로써 사각궤적을 구현하였다.

Fig. 12는 arm-harness를 이용하여 xyz축상에서 여러 궤적으로 이동하는 실험을 수행한 결과이다. 그래프를 통하여 알 수 있듯이 이동 궤적의 중간에 다소의 궤적이탈 현상은 시간지연에 의한 영향으로 생각되며 arm-harness의 동작속도가 빠르면 궤적이탈이 크게 나타나며 느리면 궤적이탈이 작아진다. 지금까지의 실험 결과를 고찰하면 arm-harness를 이용하여 작업을 수행하는 경우 다소의 시간지연을 동반하지만 원하는 곡선궤적이거나 직선궤적을 실시간으로 3차원 공간의 움직임으로 표현하게 할 수 있었다. 따라서 시간 지연에 의한 영향을 줄여 추종성을 향상시킨다면 4자유도의 작업로봇을 이용한 다양한 종류의 원격제어 작업이 가능할 것이며, arm-harness의 자유도를 증가 시키는 경우 다 자유도 로봇을 이용한 작업을 좀 더 원활하게 수행할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 exoskeleton형의 arm-harness를 개발하여 원격 제어 시스템을 구성하였고 실험을 통하여 성능을 평가하였다. Arm-harness에 대한 기존 연구^{(5),(7)}도 있었으나 기존 연구에서 다루지 않았던 손목부에 대한 자유도를 추가하여 제작 실험하여 그 성능을 검증하였다.

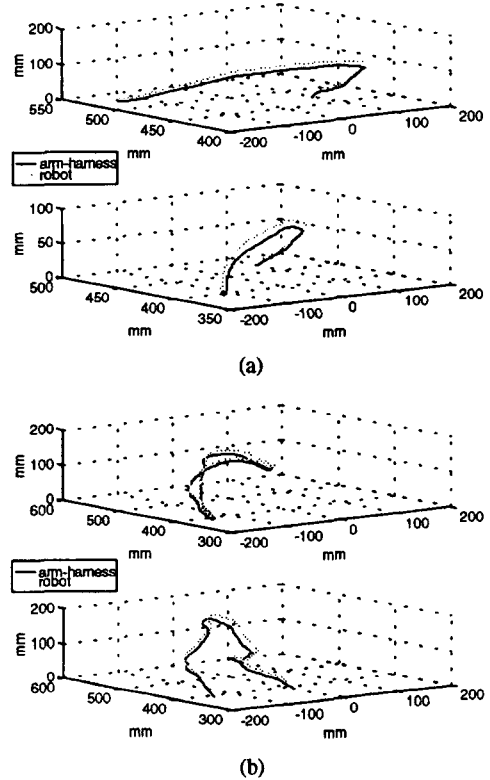


Fig. 12 The moving paths of an arm-harness and a working robot

실험 결과에서 알 수 있는 바와 같이 복잡한 제어 이론보다는 단순한 제어이론을 선택하여 시스템의 처리시간을 단축시킬 실시간 제어를 가능하게 하였고, 처리시간 단축과 보다 원활한 시스템 운영을 위하여 모션 캡처와 MMC 등을 사용하여 주 제어기인 PC와 병렬 처리하도록 하였다. 실험 결과 다소의 시간지연을 동반하지만 추종성에서도 만족할 만한 성능을 보여 주었다. 시간지연은 최대 45msec이내로 줄임으로써 실제조종 시 시간지연 현상을 거의 느끼지 못하였다. 향후 계획으로는 시간지연 요소를 제거하여 시간지연에 의한 영향을 줄이고, 원활한 작업을 위하여 arm-harness의 자유도를 추가하며, 힘 반향제어를 위한 메커니즘을 연구 개발하려 한다.

참 고 문 헌

1. Sadao Kawamura and Ken Ito, "A New Type of Master Robot for Teleoperation Using A

- Radial Wire Drive System," Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE, pp. 55-60, 1993.
2. H. Kazerooni, "Human Robot Interaction via the Transfer of Power and Information Signals," IEEE, Transactions on sys., man., and cyber. Vol. 20, No. 2 , pp. 450-463, 1990.
 3. Patricia Brown and Diana Jones, "The Exoskeleton Glove for Control of Paralyzed hands," Proc. IEEE, Robotics and Automation, pp. 642-647, 1993.
 4. Kristin A. Farry and Ian D. Walker, "Myoelectric Teleoperation of a Complex Robotic Hand," Proc. IEEE, Robotics and Automation, pp. 502-509, 1993.
 5. M. Bergamasco and B. Allotta, "An Arm Exoskeleton System for Teleoperation and Virtual Environments Applications," Proc. IEEE, Robotics and Automation, pp. 1449-1454, 1994.
 6. M. Zhu and S. E. Salcudean, "Achieving Transparency for Teleoperator Systems under Position and Rate Control," Proc. IEEE, Robotics and Automation, pp. 7-12, 1995.
 7. Inhyuk Cha and Changsoo Han, "Man-Machine Interface 구현을 위한 arm-harness 설계 및 제작," Proc. 춘계기계학회, pp. 705-708, 1994.
 8. Hyunseok Choi and Changsoo Han, "String 형 Master로봇을 이용한 원격조정 시스템 개발," Proc. 춘계기계학회, pp. 713-716, 1994.