

KARES : 장애인과 노약자를 위한 지능형 재활 로봇 시스템* Intelligent Rehabilitation Robotic System for the Handicapped and the Elderly - KARES

송원경, 김종명*, 이희영*, 김종성***, 윤용산**, 변증남*

*한국과학기술원 전기 및 전자공학과(Tel:+82-42-869-5419; Fax:+82-869-8750; E-mail: zbien@ee.kaist.ac.kr)

**한국과학기술원 기계공학과(Tel:+82-42-869-3022; Fax: +82-42-869-3210; E-mail: ysyoon@sorak.kaist.ac.kr)

***한국전자통신연구원(Tel:+82-42-860-6750; Fax: +82-42-860-6645; E-mail: joskim@etri.re.kr)

Abstracts The rehabilitation robot, one of the service robot, is the important area in the service automation. In the paper, we describe the overall configuration of KARES(KAIST Rehabilitation Engineering System), which is an intelligent rehabilitation robotic system designed to assist the independent livelihood of the handicapped and the elderly. KARES consists of the 6 degree of freedom robot arm mounted on a wheelchair, the controller for the arm, sensors to perceive environment, and user interface. Basic desired jobs in KARES are gripping the target object and moving it to the user's face for eating, drinking, or cooperation work with the mouth. Currently, the manual operation of the arm is available for gripping to target objects. The autonomous functionality will be given for the facilities of the human operator.

Keywords Rehabilitation Robot, Service Robot

1. 서론

1961년 '제너럴 모터스'사에 공작물을 옮겨주는 작업을 위한 산업용 로봇이 처음 사용된 이후 30여년 간 용접, 조립 등 제조를 위한 산업용 로봇(industrial robot)에 대한 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 근래에 들어 로봇의 연구 방향은 산업 분야에서 서비스 분야로 변화되고 있다. 서비스 로봇은 주로 일상적인 인간의 활동과 관련이 있다. 서비스 로봇은 자유롭게 프로그래밍이 가능하고 센서 기반으로 되어 있으며, 수리, 이송, 청소 및 건강 간호등의 인간의 활동을 유용하게 도울 수 있는 메카트로닉스 장치이다[5]. 그림1과 같이 서비스 로봇은 재활 로봇, 수술 로봇, 집 지키는 로봇, 수리 로봇, 청소 로봇 등이 있다[3].

서비스 로봇의 일부인 재활 로봇은 수술 후의 환자의 회복을 돕거나 노년층 및 지체 장애인의 독립적인 생활을 돕는 것을 목적으로 한다. 우리나라의 경우 인구의 노령화(65세 이상 노령 인구: 전체 인구의 5.7%)로 인하여 독립 생활이 힘든 사람이 상당히 증가하여 사회적 문제가 되고 있다. 또한 선천적인 장애인 외에도 최근에는 '산업 재해' 및 '교통 사고' 등으로 인한 후천적 장애 인구(전체 장애인의 88%)가 증가하고 있다. 따라서 선천적으로 또는 자연스러운 노화 과정이나 갑작스러운 사고로 인하여 후천적으로 각종 장애를 가질 수 있으며, 많은 경우 오랜 기간 동안 이런 장애를 가지고 불편하게 살아 간다. 최근의 급격한 과학 기술의 발달에도 불구하고, 이와 같은 노약자와 장애인은 그 혜택을 누리기 힘든 실정이다. 그러므로, 과학 기술을 이용하여 장애인과 노약자 등의 상실된 감각을 보충해 주거나 불완전한 활동을 도와주는 시스템의 개발이 필요하다.

재활 로봇 시스템의 역사는 유럽의 경우 20여년 정도이며 북미나 일본의 경우 10여년 정도의 짧은 역사를 가지고 있으며 선진 각국에서는 여러 측면에서 매우 활발히 연구되고 있다[3]. 재활 로봇은 이동성에 따라 고정 워크스테이션 (fixed workstations), 자율 이동형 시스템 (autonomously mobile systems), 휠체어 부착형 시스템 (wheelchair-mounted systems)으로 나눌 수 있다[6].

첫째, 고정 워크스테이션은 사무 환경을 제공하며 테이블 부착형 태블릿, 서류용 보조 장치 등을 포함한다. 비교적 덜 복잡하고 저가적으로 구현할 수 있고 구조화된 환경에서 미리 프로그램이 되어 제어에 용이하고 실행 속도를 증가시킬 수 있다. 또한 정교한 표시 장치 및 보조 장치의 이용이 편리하며 속도가 중요하고 작업의 수가 제한된 전문 작업에 용이하다. 예로 HANDY1, DeVAR(Desktop Vocational Assistant Robot), RAID(Robot for Assisting the Integration of the Disabled) 등을 들 수 있다. 둘째, 자율 이동형 시스템은 상당히 자동화 된 시스템으로 사용자의 이동이 없고 조작이 없이 감지, 항해 등의 작업을 수행할 수 있어야 한다. 예로

WALKY가 있다. 셋째, 휠체어 부착형 시스템의 경우 베이스가 움직이므로 비교적 짧은 팔을 사용하고 휠체어 부착 및 분리가 쉬워야 하고 구조화된 공간과의 결합이 용이 하여야 한다. 휠체어의 좁은 공간적 제한에 의해 표시 장치의 사용이 제한되기도 한다. 예로 MANUS, INVENTAID가 있다.

본 논문에서는 1996년부터 한국과학기술원에서 연구되고 있는 전동 휠체어에 자체적으로 설계 및 제작된 로봇 팔을 장착하여 보조자 없이 장애인 및 노약자가 쉽게 일상 생활을 하는 것을 도울 수 있는 시스템인 KARES(Korea Advanced Institute of Science and Technology Rehabilitation Engineering System)에 대하여 다루고자 한다(그림2).

제2장에서는 현재 개발 중인 휠체어 장착형 재활 로봇 시스템인 KARES의 전체 구성에 대하여 논한다. 제3장에서는 휠체어 장착을 위해 설계 및 구현된 로봇 팔을 다룬다. 제4장에서는 비전을 포함한 로봇 팔의 제어 시스템에 대하여 다룬다. 마지막으로, 제5장에서는 결론 및 앞으로 계속 진행될 향후 연구 과제 및 전망에 대하여 기술한다.

2. KARES의 구성

재활 로봇은 인간과 함께 작업을 수행하게 된다. 재활 로봇을 산업용 로봇과 비교 하면 표1과 같다[4]. 따라서, 휠체어 부착형 재활 로봇은 아래와 같은 사항들이 필요하다. 첫째, 미리 프로그램 할 수 없는 작업에 대하여 로봇의 수동 제어가 가능해야 한다. 둘째, 다양한 센서를 사용함으로써 성능을 향상 시키는 것이 필요하다. 셋째, 로봇을 프로그램하고 제어할 수 있는 인터페이스 장치들이 필요하다.

표1 산업용 로봇과 재활 로봇의 비교

Table 1 The comparison between industrial robots and rehabilitation robots

	산업용 로봇	재활 로봇
작업 내용	미리 프로그램된 반복적 작업	재 프로그램이 가능한 작업
사용자	숙련된 기술자	평범한 사용자
작업 지역	대개 사람이 없는 지역	사람과 함께 상호 작용을 하며 동작

KARES의 사용자로 팔, 다리의 사용이 불편하여 독립 생활이 힘든 노약자 및 경추 손상자(C4, C5)등의 장애인이 선정되었다. 특히, 본 연구의 연구 대상을 선정하기 위하여 국립 재활원 재활 병원을 직접 방문하였으며 경추 손상 환자와의 직접 면담 및 치료 과정을 견학하였다. 특히 C4, C5 수준의 경추 손상자의 경우 독립 생활 곤란하며 공학적인 대책이 요구 된다[2].

KARES는 그림3과 같이 휠체어에 장착되는 로봇 팔, 로봇

* 보건복지부에서 시행한 보건의료기술연구개발사업의 연구결과임.

팔의 제어부 및 사용자와의 다양한 인터페이스부 등으로 이루어진다.

그림4와 같이 기본적으로 필요한 4가지 작업을 정하였다. 첫째, 탁자 위의 컵이나 손가락 등을 집는 작업으로 물을 마시거나 음식 물을 먹기 위한 작업이다. 둘째, 바닥에 떨어진 물건을 집는 작업으로 휠체어 사용자가 직접 바닥에 떨어진 물건을 집는 어려움을 덜어 줄 수 있다. 셋째, 로봇 팔을 이용하여 잡은 물체를 입 근처로 이동하는 작업으로 손과 팔의 사용이 힘든 사람이 음식을 먹거나 마시는 작업 또는 입으로 여러 가지 작업을 하는 경우를 위한 것이다. 넷째, 작업은 벽에 있는 스위치를 조작하는 작업이다.

3. 로봇 기구부의 설계 및 구현

3.1. 로봇 팔의 일반적 사양

로봇 팔을 설계할 때 시스템의 무게, 제작, 조립 분해의 용이성, 조인트 운동 범위, 속력, 정확도, 시스템의 차지 공간, 구조물 허용 처짐량, 에너지 효율, 사용자의 안전성, 총 제작비 등 많은 사항들이 고려된다. 휠체어에 장착되는 로봇 팔의 경우 일반 고정 로봇 팔과 비슷한 작업 반경을 갖는 반면에 이동 시스템이므로 상대적으로 가벼워야 할 필요가 있다. 따라서 로봇 팔의 무게에 주안점을 두어 부품 교체를 위한 조립 및 분해의 용이성, 시스템의 차지 공간, 구조물의 처짐량을 고려하면서 가벼운 구조가 되도록 설계하였다[1].

로봇 팔의 부착을 위한 휠체어로는 VORTEX(Everest & Jennings, USA)를 사용하였다. 그리퍼는 Mu gripper RH707(폭 60mm, 넓이 80mm, 높이 92 mm, 파지력 0.5~7kgf, DC 서보 구동, 무게 0.57kg)을 사용하였다.

구체적으로 휠체어에 장착될 로봇 팔을 설계할 때 그림4의 기본 작업을 쉽게 수행 할 수 있도록 고려하였다. 로봇 팔의 사양 선정을 위해서 인간의 특성값을 참고하였으며 로봇 팔의 설계 목표와 인간의 성능을 비교해 보면 표2와 같다.

표2 휠체어에 장착될 로봇 팔과 사람 팔의 사양 비교
Table 2 The specifications of robot arm mounted on the wheelchair and human arm

	휠체어에 장착될 로봇의 팔	인간의 팔
Payload (kg)	1	10
Accuracy (mm)	3	0.5
Velocity (m/s)	0.5	2
Reach (m)	0.82	0.5
Degree of Freedom	6	7

표2에서의 사양은 다음과 같이 정해졌다. 가반 하중은 물이 차 있는 컵의 무게와 로봇 팔의 말단부(end-effector)에 부착될 센서의 무게를 고려하여 1kg으로 산정하였다. 정밀도와 속력은 3mm 및 0.5m/s로 정하였다.

작업 반경은 1992년 한국 표준 과학 연구원에서 조사한 국민 표준 체위 조사 자료를 이용하였다[1]. 로봇 팔이 휠체어의 팔 받침대 근처에 장착될 때의 작업 반경을 살펴 보면 다음과 같다. 한국인의 남자의 평균 앉은 키는 91.4cm이고 머리 길이는 23.1cm임을 감안하여 의자 높이에서 턱까지의 높이는 68cm로 간주 하였다. 휠체어의 의자 높이가 21inch (54cm)임을 감안하면 작업 공간의 상하 길이는 122cm보다 커야 한다. 의자의 전후 길이가 18inch (46cm)이고 한국인의 표준적인 배 두께는 21.3cm임을 고려하면 작업 공간의 전후 길이는 25cm보다 커야 한다. 로봇 팔이 휠체어의 한쪽에 부착되게 되므로 의자의 폭 46cm를 고려하면 로봇 팔의 작업 반경은 좌우로 72cm 보다 커야 함을 알 수 있다.

KARES의 로봇 팔은 제1링크의 길이를 33cm로 정하고 제2링크의 길이를 35cm로 정하여 그리퍼를 포함한 로봇 팔의 총길이가 82cm가 되도록 하였다. 로봇 팔의 조인트 유형은 회전형과 평행 이동형으로 나눌 수 있는데 후자는 구동 측면에서 복잡하고 구조물의 굽힘 강성이 상대적으로 약하며 제한된 도달 거리를 갖게 되기 때문에 회전형만 고려하였다.

3.2. 로봇 팔의 축 배치

공간상에서 이루어지는 운동은 일반적으로 6자유도를 가진다. 인간의 팔은 어깨에서 수직, 수평, 종 방향의 3자유도가 존재하며 팔꿈치에서 1자유도, 팔뚝에서 1자유도, 손목에서 2자유도를 가져 총 7자유도로 1자유도의 여유 자유도를 갖는 시스템이다. 이 사실을 고려하여 어깨에서 가장 작은 운동 범위를 갖는 종 방향을 제외한 6자유도를 갖는 시스템을 회전 조인트만으로 구현하는 것을 목표로 하였다. 이미 이런 유형의 로봇은 류마형 로봇이라는 형태로 산업 현장에서 널리 쓰이고 있으며 제1축이 상하로 향한 형태이다. 그러나 KARES에서는 산업 현장과 달리 휠체어에 장착되는 로봇 팔이라는 특수한 상황이므로 다양한 형태의 축 배치를 검토하였다.

제1축에 대하여 전후 축 배치, 상하 축 배치, 좌우 축 배치를 검토한 결과는 다음과 같다. 우선 사용하지 않을 때 전후 축 배치와 상하 축 배치의 경우 자연스럽게 휠체어 옆으로 접을 수 있는 자세가 가능하였으나 좌우 축 배치는 힘들었다(그림5). 좁은 출입구를 통과할 경우 로봇 팔을 포함한 휠체어의 폭이 중요한 요소가 되는데 전후 및 상하 축 배치가 크게 다르지 않았다. 그러나 상하 축 배치는 로봇 팔이 휠체어의 팔 받침대 근처에서 돌출 되어 있어 사용자에게 위압감을 줄 수 있다. 따라서 전후 축 배치가 가장 바람직하였다.

또한 소모 토크 측면에서도 상하 축 배치의 경우 항상 중력의 영향을 받는 반면 전후 축 배치의 경우 탁자에 대한 작업을 수행할 때는 스카라(SCARA)형태를 가지게 되어 중력의 영향을 덜 받게 되는 장점이 있다.

3.3. 로봇 팔의 조인트

현재까지 로봇은 단순 회전 조인트(revolute joint)가 사용되었으나 KARES의 로봇 팔은 차동 기어(differential gear) 조인트를 사용하였다. 차동 기어에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

그림6은 모든 기어의 반지름이 같을 때 차동 기어를 나타낸 것이다. 단순 회전 조인트의 토크를 T 이라 하고 차동 기어를 사용하였을 때의 토크를 T' 라 하면 식(1),(2)가 성립한다.

$$T_1 = T'_1 + T'_2 \quad (1)$$

$$T_2 = -T'_1 + T'_2 \quad (2)$$

따라서, 차동 기어를 사용하지 않을 때에 비하여 최대 2배의 효율을 가지는 것을 알 수 있다.

3.4. 구동

감속 장치로 워엄 기어와 차동 기어를 사용하였다. 타이밍 벨트를 이용하여 모터의 위치를 링크의 아래쪽으로 배치하여 모터 중량의 영향을 줄일 수 있도록 하였다. 가장 아래쪽의 제1,2조인트는 2개의 모터를 나란히 배치하여 작은 공간을 차지하도록 하였다. 액츄에이터는 경제성과 제어의 용이성을 위하여 스테핑 모터를 사용하였다. 로봇 팔의 구조 재료로는 알루미늄(AI6061)이 사용되었다.

제작된 로봇 팔의 총 중량은 22.9kg으로 측정되었으며 6개의 스테핑 모터가 12.6kg으로 전체의 55%를 차지하였다. 조인트 별로 중량 비율은 제1,2조인트가 64.0%, 제3,4조인트가 22.9%, 제5,6조인트가 10.6%, 그리퍼가 2.5%를 차지하였다. 따라서 로봇 시스템의 운동부의 무게가 전체의 무게에 비하여 적게 나타났다. 그러나, 전체 무게가 무거워서 휠체어의 조향 성능에 영향을 미치는 문제가 발생하였다. 따라서 추후에 로봇의 전체 중량을 줄이는 방향으로 연구가 필요하다.

4. 제어 시스템의 구성

설계 및 구현된 로봇 팔은 PC를 장착되는 MMC(Multi Motion Controller)를 이용하여 기본적으로 오픈 루프로 제어된다. 로봇 팔의 6축이 동시에 위치 제어가 가능하다.

4.1. 로봇 팔의 순응 제어 (compliance control)

KARES의 로봇 팔은 인간과 함께 일상 생활에 사용되므로 주위와 접촉 등에 의하여 힘이 발생할 경우 움직임이 변화하거나 힘을 이용한 작업이 필요하게 된다. 순응 제어는 매니플레이터의 환경에 대한 접촉에 의해서 발생된 외부의

힘에 대하여 말단부의 기계적인 임피던스(impedance)를 조정함으로써 위치와 힘을 제어하는 것을 목적으로 한다. 따라서 주위 환경과 접촉할 때 로봇 팔 위치의 변화를 통하여 그 접촉력을 줄여 안전성을 높일 수 있다. 또한, 로봇 팔은 사용자와 힘의 상호 작용을 통하여 복잡한 작업을 함께 수행할 수 있다. 그림7은 구현된 순응 제어의 블럭도이다[7]. 먼저, 외부와의 접촉력(F)이 말단부의 힘 센서에 의하여 측정된다. 이 힘은 순응 제어기의 입력으로 사용되어 변형되어야 할 거리(X₀)가 발생되고 기준 입력(X)과 합하여져서 위치 제어기의 새로운 입력이 된다.

사용된 힘 센서(JR3사, 50M31, 무게=140g, 직경=50mm, 두께=31mm, 6자유도)는 약 0.04N의 분해능과 100N의 최대 용량을 가진다. 이 센서를 로봇 팔의 말단부에 장착하여 순응 제어를 수행하게 된다.

그림8과 그림9은 로봇 팔이 움직이지 않을 때 힘을 가하면서 실험한 결과이다. 순응 제어를 위한 상수는 $M_d=diag(0.016, 0.016, 0.0160)$, $B_d=diag(0.08, 0.08, 0.08)$, $K_d=diag(0.1, 0.1, 0.1)$ 로 하였다. 로봇의 초기 위치(t=0)는 $X=(0.2, -0.105, 0.5)(m)$ 로 주어 졌다. 먼저 t=5(s)에서 z축 방향의 힘(F_z)이 주어 졌다. 이 힘은 힘 센서에 의하여 측정되어 순응 제어기의 입력으로 주어지고 변형되어야 할 이동 거리가 계산된다. 이 거리는 X₀과 더하여져서 위치 제어기의 입력으로 들어 간다. 따라서 이 힘에 의해 초기 위치에서 변형된 위치로 로봇 팔은 이동하게 된다. 다시 t=10(s)에서 가한 힘을 없앤 경우 위와 같이 다시 초기 위치로 돌아 감을 보인다. 같은 방법으로 t=15, 25에서 y방향과 z방향의 힘을 주었고 t=20, 30에서 힘을 제거 하여 같은 결과를 보임을 알 수 있다.

4.2. 칼라 비전 시스템

사용자가 로봇 팔을 직접 제어하는 경우, 사용자의 인지력의 부담이 심하고 계속적인 조이스틱이나 버튼의 사용에 어려움이 있다. 그러므로 사소한 로봇의 움직임에 대하여 로봇이 자율적으로 수행할 수 있는 지능적인 측면이 절대적으로 필요하다. 따라서 휠체어 부착형 재활 로봇의 경우 특정 물체를 인식하는 것과 자동적으로 물건을 집는 능력이 필요하다. 이러한 지능 시스템을 위해서 칼라 비전 시스템을 사용하고자 한다.

KARES에 사용될 프레임 그래버는 Matrox사의 Genesis이다. 그림10과 같이 간단한 2차원 공간의 물체의 경우 템플릿 매칭(template matching)을 이용하여 1초에 30프레임씩 실시간으로 처리가 가능하다.

실제 KARES의 비전 시스템은 3차원의 칼라 영상에 대하여 실시간으로 처리하여 로봇 팔을 제어하기 위한 되먹임으로 사용하는 visual servoing을 이용할 예정이다. 구체적으로, 로봇 팔이 사람의 얼굴쪽으로 향할 때 사람의 얼굴이 움직이는 경우에 로봇 팔의 말단부에 장착된 카메라를 이용하여 얼굴의 위치 정보를 실시간으로 얻어 로봇 팔을 적절하게 제어 할 수 있다. 또한, 탁자 위에 놓여 진 물체에 대하여 적절한 칼라 표식을 부착하여 인식을 쉽게 할 수 있도록 하여 자동적으로 물건을 집는 작업을 수행하고자 한다.

비전 센서와 힘 센서를 함께 이용하여 이를 지능적 기법으로 처리하여 간단한 작업의 경우 로봇 팔이 자율적으로 수행 할 수 있는 지능형 재활 로봇이 되도록 할 예정이다. 예를 들어, 탁자 위에 있는 컵을 집는 작업의 경우 비전 센서를 이용하여 컵에 접근한 후 실제 컵을 잡는 단계에서는 힘 센서로 로봇 말단부와 컵 사이의 힘을 측정하여 이용할 경우 성공률이 훨씬 높을 것으로 기대된다.

5. 결론 및 추후 과제

본 논문에서는 로봇 시스템의 새로운 분야인 재활 로봇의 필요성에 대하여 알아 보고 현재 개발 중에 있는 장애인과 노약자를 위한 KARES에 대하여 살펴 보았다. 휠체어에 장착을 위한 6자유도의 로봇 팔을 설계 및 구현하였다. 현재 PC를 통하여 수동 조종이 가능하다. 로봇 팔에 힘 센서 및 비전 센서를 장착하여 사용자가 안전하고 편리하게 사용할 수 있는 지능형 재활 로봇에 대하여 연구가 진행되고 있다.

추후 과제로는 힘 센서 및 비전 센서 등 여러 센서를 동시에 이용함으로써 다양한 정보의 획득 및 처리를 하여 기본적인 작업에 대하여 자율적으로 수행할 수 있도록 할 예정이다. 또한, 휠체어에 앉아 있는 사용자가 로봇 팔을 쉽고 편리하게 사용할 수 있도록 장애 정도에 따른 사용자 인터페이스 기능을 추가할 예정이다. 특히, 6자유도의 로봇 팔을 정밀 수동 조종이 가능한 장치도 개발 할 예정이다. 그 외에도 복잡한 작업을 사람과 기계가 함께 효율적으로 수행하는 방식에 대하여 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 강신길, 김중성, 윤용산, 변준남, "장애자를 위한 재활 공학 시스템(KARES)의 설계 및 구현에 관한 연구", *기계공학회지* (심사중)
- [2] "장애자를 위한 재활 공학 시스템의 개발", *한국과학기술원 보고서*, 1997
- [3] Z. Bien, W. Zhu, "Service Robotics with Special Attention to Surgical Robots and Rehabilitation Robotics", *KITE Journal of Electronics Engineering*, V.7, N.1, pp. 13~24, 1996
- [4] G. Bolmsjo, H. Neveryd, and H. Efring, "Robotics in Rehabilitation", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, V.3, N.1, pp. 77~83, 1995
- [5] K. Kawamura, R. Pack, M. Bishay, M. Iskarous, "Design Philosophy for Service Robots", *Robotics and Autonomous Systems*, V. 18, pp 109~116, 1996
- [6] H. Kwee, "Rehabilitation Robotics-Softening the Hardware", *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, V.14, N.3, pp. 330~335, 1995
- [7] S. Yokota, K. Ahn, T. Ozeki, Y. Tamura, and T. Yamamoto, "Compliance Control of a 6-link Electro-Hydraulic Manipulator", *Asian Control Conference*, pp. II-703~706, 1997

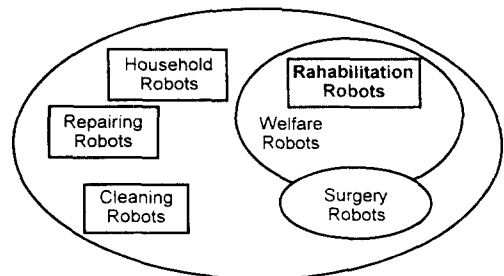


그림1 서비스 로봇의 구성
Fig.1 The family of service robots



그림2 KARES
Fig. 2 KARES

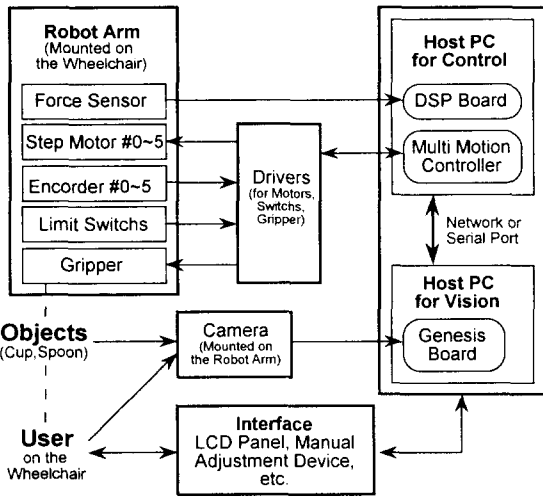


그림3 시스템의 전체 블럭도
Fig.3 The overall block diagram of the system

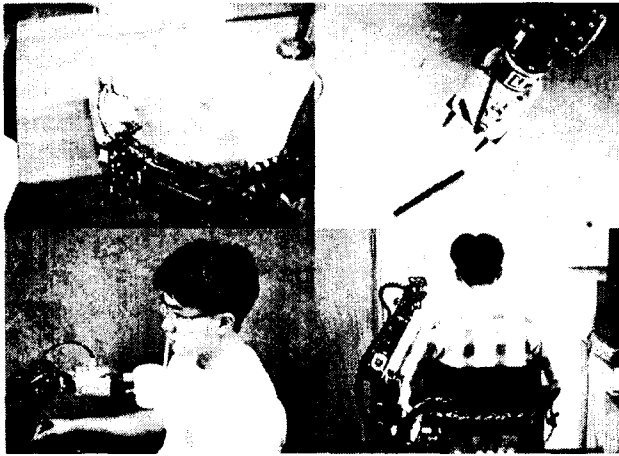


그림4 KARES의 네 가지 기본 작업. ① 탁자 위에 있는 물체 집기. ② 바닥에 있는 물건을 집기 ③ 집은 물건을 입 근처로 이동시키기. ④ 벽에 있는 스위치를 작동시키기.
Fig.4 Four fundamental jobs for KARES. ① Picking small objects on the table. ② Picking small objects on the floor. ③ Moving objects to the mouth. ④ Operating wall switches.

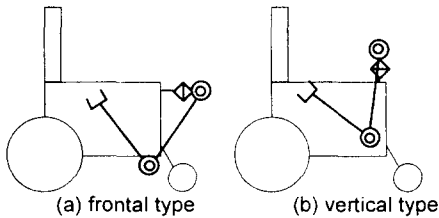


그림5 로봇 팔의 파킹 자세
Fig.5 Desired parking posture of robot arm

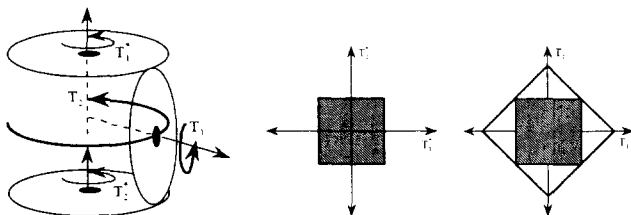


그림6 차동 기어의 토크의 분포
Fig.6 The torque distribution of the differential gear

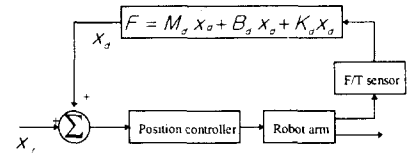


그림7 순응 제어를 위한 블럭도
Fig.7 The block diagram for compliance control

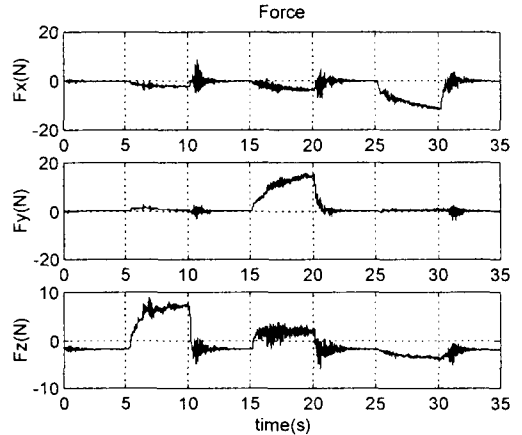


그림8 말단부에 가해진 힘
Fig.8 The force on the end-effector

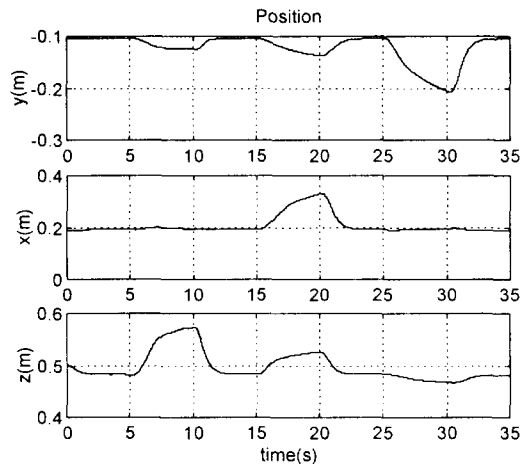


그림9 순응 제어에 의한 로봇 팔의 이동 경로
Fig.9 The path of end-effector by compliance control

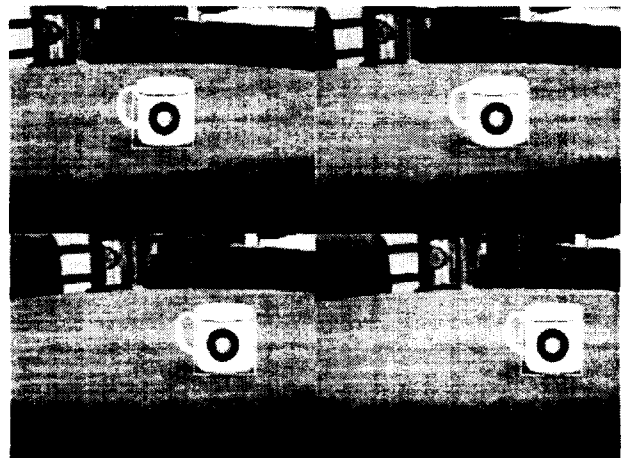


그림10 템플릿 매칭에 의한 물체의 추적
Fig.10 Object tracking with Template Matching