

◆특집◆ 서비스로봇

복지용 서비스 로봇 시스템

이희영\*, 송원경\*\*, 변증남\*\*\*

Service Robot Systems for Human Welfare

Heyoung Lee\*, Won-kyung Song\*\* and Zeunanam Bien\*\*\*

Key Words : Rehabilitation Robot, Human-Robot Interaction, Visual Servoing, Whole-Arm-Manipulator

1. 서론

21 세기는 제조공정 무인화 등에 의한 인간소외에서 벗어나, 인간-로봇이 공존하면서 인간이 로봇으로부터 서비스를 받는 시대가 도래할 것으로 예측된다. 이런 서비스 로봇의 사용은 태동기를 지나 계속적으로 증가하는 추세이다<sup>1)</sup>. 서비스 로봇은 제조업에 사용되는 산업용 로봇을 제외한 복지로봇, 재활로봇, 수술로봇, 오락로봇 등을 말한다(그림 1). 장애인과 노약자의 독립적인 생활을 도와 정상인과 같은 일상적인 생활이 가능하게 하는 것을 목적으로 하는 서비스 로봇을 재활로봇이라고 한다.

재활(rehabilitation)이란 용어는 원래 장애를 가진 사람이 사회 속에서 살 수 있도록 도와주는 것의 의미를 의미하여, 갖고 있는 능력을 향상시키거나 다양한 기능을 수행할 수 있거나 특정한 감각을 대체할 수 있는 다른 수단을 제공함으로써 수행된다. 재활공학(rehabilitation engineering)은 장애를 가지고 있는 사람의 불완전한 운동기능을 향상시키기 위하여 과학기술을 적용하는 것으로 재활로봇도 이의 일부분이다<sup>2)</sup>.

우리 나라는 의료 수준 및 생활 수준의 향상으로 평균 수명이 1985년에 69.0 세에서 1990년에는 71.6 세로 늘어났으며 2000년에는 74.9 세로 늘어날 전망이다. 이에 따라서 노인인구도 점차 증가하여 65 세 이상 노인인구비율이 1997년 전체인구의 6.3%에서 2000년에는 7.1%, 2010년에는 10.0%로 크게 증가될 전망이다. 이러한 노인인구의 증가로 인하여 복지욕구 또한 양적 질적으로 더욱 증대될 것으로 예상된다<sup>3)</sup>. 현재 노약자 및 장애인에 대한 사회 보장비는 늘어나고 있으며 21 세기에는 노인을 대상으로 하는 실버산업 및 장애인을 대상으로 하는 복지산업이 확대될 것으로 예상된다.

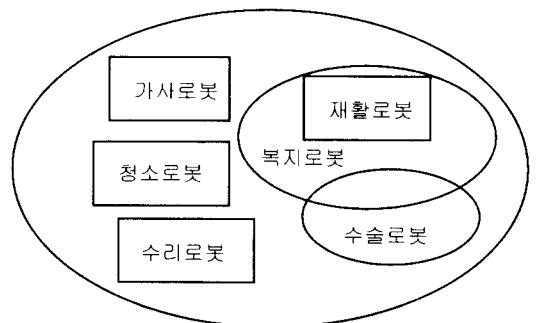


Fig. 1 Classification of service robots

<sup>1)</sup> 전남대학교 전자공학과  
<sup>2)</sup> 한국과학기술원 전자 및 컴퓨터 공학부  
<sup>3)</sup> 한국과학기술원 전자 및 컴퓨터 공학부  
 재활로봇, 인간-로봇 상호작용, 지능제어 및 자동화 분야에 관심을 두고 연구하고 있다.  
 Email leehy@chonnam.ac.kr

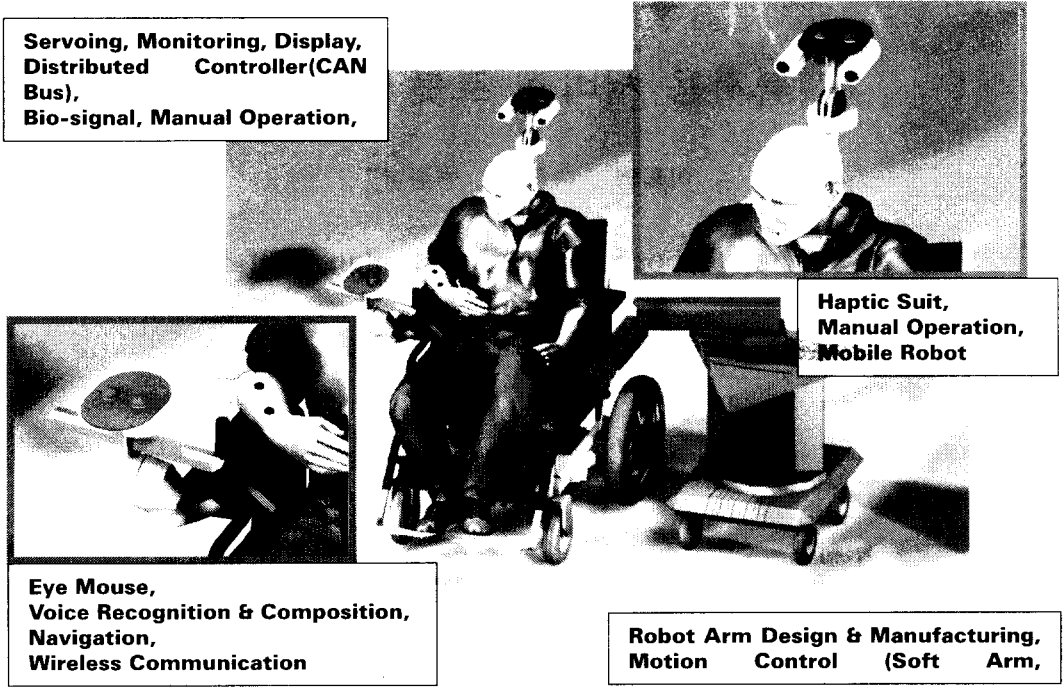


Fig. 2 The wheelchair-based robotic arm and its human-robot interaction technologies

Table 1 Increasing trends in old people in Korea<sup>[23]</sup>

	1997	2000	2005	2010
총비율	6.3	7.1	8.7	10.0
노인인구수	2,908	3,371	4,253	5,032
65~69세	2.5	2.9	3.4	3.5
70~79세	2.9	3.2	4.0	4.9
80세 이상	0.9	1.0	1.3	1.6

서비스 로봇은 산업용 로봇과는 다른 몇 가지 특성을 갖는다. 첫째로, 서비스 로봇은 구조화되지 않은 환경에서 작동한다. 반면에 산업용 로봇은 잘 정돈되고 조직화된 환경 하에서 정하여진 순서대로 작업을 수행한다. 서비스로봇은 인간과 함께 작업을 하거나 인간과 공동생활을 하므로 로봇의 주변 환경은 고정되어 있지 않고 수시로 변한다. 둘째로, 서비스로봇은 지능을 필요로 한다. 변하는 주위 환경에 능동적으로 대처하기 위해서는 주변환경에 대한 정보를 받아들이고 분석하며 판단하는 기능이 있어야 한다. 또한 사용자 또는 주변 사람과의 지능적 상호 작용 (intelligent man-machine interaction) 기

능은 사용의 편리성 측면에서 매우 중요하다. 또한 지능적 상호작용은 로봇의 안전성 측면에서 매우 중요하다. 사용자에게 고도의 편리성을 주는 지능적 상호 작용의 기능은 서비스로봇의 가장 큰 특징중의 하나이다. 셋째로, 인간과 공동생활을 하거나 공동작업을 하므로 무엇보다도 안전성(safety)이 보장되어야 한다. 안전성은 소프트 아암, 각종 센서, 제어 장치의 이중화 및 작업 범위를 기계적으로 미리 제한 시키는 것과 같은 H/W 적 방법과 지능적 고장 진단, 위험 인지 및 회피 기능과 같은 S/W 적 방법 등에 의하여 이중으로 구현되어야 한다. 안전성에 관한 규격을 제정하면 안전한 로봇을 구현하는데 많은 도움을 받을 수 있다.

본 논문에서는 제 2 장에서 재활로봇 개발을 위해 필요한 인간-기계 상호작용 기술 및 휠체어에 장착 가능한 로봇 팔의 설계/제작과정에 대하여 기술하고 제 3 장에서는 재활로봇에 자율 (autonomous)기능을 부여하기 위한 비주얼 서보잉 (visual servoing) 기술과 공간변화 비전(space variant vision) 시스템에 대하여 기술한다.

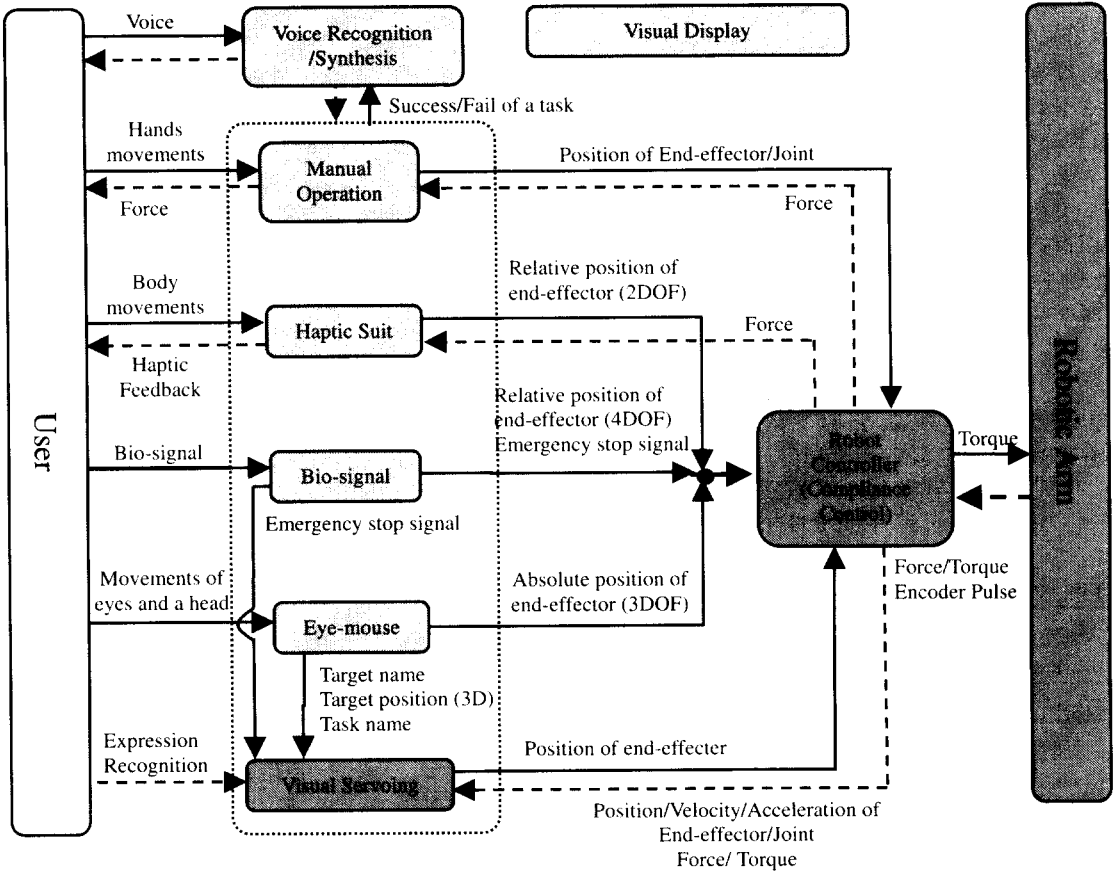


Fig. 3 The wheelchair-based robotic arm and its human-robot interaction technologies

## 2. 재활로봇 시스템

재활로봇은 이동성 측면에서 크게 고정형과 이동 가능형 두 가지로 분류할 수 있다. 이동형의 예는 네덜란드에서 1991년에 개발한 MANUS 로봇을 들 수 있는데 로봇 팔을 전동휠체어에 부착하여 근육병 환자와 척추손상 장애인의 재활 및 보조를 위해 개발되었다. MANUS는 키보드와 조이스틱을 사용하여 명령을 전달한다<sup>[5]</sup>. 고정형의 예로는 미국에서 1994년에 개발한 ISAC을 들 수 있으며 벽에 고정되어 있으며 스테레오 카메라를 이용한 사용자 얼굴 추적 및 탁자 위의 물체 인식 기능을 가지고 있으며 음성으로 명령전달이 가능하고 학습기능이 있다. 국내에서는 휠체어 부착형

로봇인 KARES<sup>[4,6]</sup>를 1998년에 한국과학기술원에서 개발하였으며 영상정보를 이용한 물체인식 및 비주얼 서보잉 기능 및 힘 순응제어 기능을 가지고 있다.

### 2.1 Wheelchair-based Robotic Arm (KARES II)

1998년에 개발한 KARES에 이어서 현재 개발 중인 휠체어 장착 가능 로봇 시스템(KARES II)은 팔다리의 지각기능과 운동기능이 상실된 장애인과 노약자를 위한 시스템이다(Fig. 1). 특히 척수(spinal cord) 손상 장애인에게 유용할 것으로 생각된다. 의학적 측면에서 척수의 손상은 완전손상과 불완전 손상으로 분류할 수 있는데 완전손상의 경우 뇌로부터 내려오는 신경신호가 운동부에 전혀 전달되지 않으며 불완전손상의 경우는 신경신호의 일부가 전달 된다. 완전손상이 발생한 장애인의

경우 척수 손상부위 아래에 해당되는 운동기능과 지각기능이 없다. 목 부위 척수(cervical or C)가 손상된 장애인의 경우 팔다리를 제어할 수 없다. C-5가 손상될 경우 머리 운동과 어깨운동 그리고 팔꿈치를 제어할 수 있다. C-2 ~ C-4 손상자는 단지 눈 운동, 얼굴 근육 머리운동을 제어할 수 있다. 이와 같은 장애인들은 일상생활을 영위하기가 매우 어려우며 독립적인 생활을 위해서는 재활로봇 시스템과 같은 특수 장치가 필요하다. 본 연구에서 개발된 재활 로봇은 척수 C-4와 C-5가 손상된 장애인의 일상 작업을 도와 주는 시스템이다.

### 2.1.1 로봇 팔의 작업 정의<sup>[20,21]</sup>

휠체어 장착형 로봇 시스템의 효율적인 개발을 위해 장애인과 면담을 통하여 로봇 팔이 수행하는 8가지 기본 작업을 정의 하였다(Table 2).

Table 2 Predefined 8 tasks of robotics arm

Task #	내용
Task #1	배 두드리기
Task #2	식사 보조
Task #3	물 마시기
Task #4	면도하기
Task #5	수건으로 얼굴 닦기
Task #6	물건 잡기
Task #7	벽에 부착된 스위치 조작
Task #8	문 여닫기

척수가 심하게 손상된 장애인의 경우 매일 같이 약 30분간 복부를 두드려 배뇨를 시켜야 한다. 작업 도구를 입에 물고 작업을 수행하는 도중에 작업도구를 떨어뜨릴 경우 로봇 팔은 바닥에 떨어진 도구를 집어서 입에 물려준다.

### 2.1.2 사용자-로봇 상호 작용

재활로봇시스템에서 인간-로봇 상호 작용 기술은 매우 중요하다. 재활로봇시스템은 사람이 없는 환경에서 작업을 하는 것이 아니라 사람과 상호작용을 하면서 장애인의 일상적인 일들은 도와주는 작업을 수행한다. 예를 들어, 장애인과 노약자를 위한 휠체어 장착형 로봇 팔 시스템인 KARES<sup>[6]</sup>는 사람이 로봇 팔이 부착된 휠체어를 타고 일상 생활하면서 사용하는 것을 목적으로 개발되었다. 따

라서 재활로봇에 있어서 가장 기본적이고 필수적인 기술은 인간-기계 상호작용 기술이며 앞으로도 많은 연구가 이 분야에서 진행될 것이다.

인간-기계 상호작용 기술은 사용자와 직접 관련된 사용자 의도파악(intention reading) 기술과 작업 지시 기술 그리고 파악된 의도에 따라 로봇 등을 동작하는 제어 기술로 분류할 수 있다. 사용자 의도파악 및 작업 지시를 위해서는 다음과 같은 기술이 필요하다.

근전도, 뇌파 등의 생체 신호 처리 기술,  
 눈동자 추적 기술,  
 얼굴 표정 인식기술,  
 몸의 움직임 파악기술,  
 손 동작 인지 기술,  
 음성/음향 인식/인지 기술,  
 사용자의 감정 상태 및 긴장도 파악 기술

등을 들 수 있다. 사용자의 의도는 생체신호, 얼굴 표정, 음성 등을 통하여 파악할 수 있다. 작업 지시는 상기 기술들을 복합적으로 사용하여 수행할 수 있다. 눈동자 추적 기술은 화면상에 있는 원도 버튼 작동, 3차원 공간상에 작업대상 물체 또는 영역 지정에 사용할 수 있다. 핵심 제어 기술로는 비주얼 서보잉 기술,  
 힘 제한 제어기술,  
 유연 로봇 팔 제어 기술,  
 여자자유도 로봇 팔 제어 기술,  
 이동 로봇 제어 기술

등을 들 수 있다. 비주얼 서보잉(visual servoing)은 로봇에 사람의 눈과 같은 기능을 부여하기 위한 것으로 로봇팔과 작업 대상 물체의 상호 작용을 위해 필요하다. 즉, 사용자가 수동으로 로봇을 조정하는 일을 줄일 수 있는 효과가 있다(Fig. 2)<sup>[4,16]</sup>.

Haptic Suit는 사용자의 움직임을 통하여 로봇을 제어하는 장치이다. C-5 척수 손상자의 경우 어깨를 움직일 수 있다. 로봇 팔에 부착되어 있는 힘/토크 센서를 통해 감지된 힘/토크 정보는 Haptic Suit에 부착된 진동자를 통해 장애인의 감각으로 되먹임된다<sup>[12]</sup>. 어깨의 다 자유도 운동을 감지하고 로봇을 제어하기 위하여 광섬유 센서를 채택하였다. 현재 4 자유도제어를 수행할 수 있도록 Haptic Suit를 개발하고 있다<sup>[12]</sup>.

Eye-mouse는 사용자의 눈동자 움직임을 감지

하여 컴퓨터 화면상의 메뉴버튼을 조작하거나 3차원 공간상에 있는 물체를 가리키기 위한 장치이다. 눈동자가 주시하고 있는 물체를 보다 정확하게 찾기 위하여 CCD 카메라와 자기센서를 통해 3차원 공간상에서의 머리의 자세 및 얼굴면에 대한 벡터정보를 추출하였다. Eye-mouse 를 통해 미리 정의된 수행하고자 하는 작업, 작업대상의 3차원 위치 및 자세등에 관련된 명령을 로봇에 지시한다<sup>11)</sup>. Haptic Suit 를 어깨 근육움직임 감지와 Eye-mouse 를 통한 눈동자 움직임 파악은 사용자의 의도를 읽기 위해서 사용된다<sup>12)13)</sup>.

로봇 팔은 동작 중에 사용자와 무리한 신체 접촉/충돌을 일으킬 수 있다. 부상을 방지하기 위하여 로봇 팔 끝에 부착된 힘/토크센서 정보를 이용하여 로봇 팔에 컴플라이언스(compliance) 제어 기능을 부여할 필요가 있다. 미리 정의된 8가지 작업을 수행할 수 있는 이동형 로봇 팔을 설계/제작하였다.

**2.1.3 로봇 팔 설계 및 기구학적 구조<sup>20,21)</sup>**

Table 2 의 8 가지 작업을 분석하여 로봇 End-effector 의 위치(position)와 회전(orientation)을 함께 고려하여 작업공간(Task Space)을 구하였다. Fig. 4 Fig. 5 에 Task #1,#2 의 작업 공간을 나타낸다.

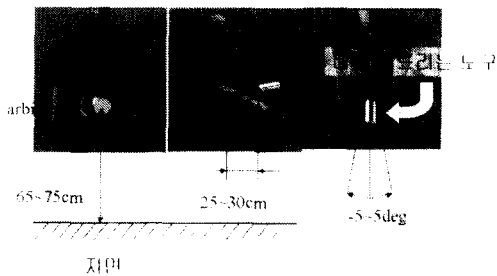


Fig. 4 Task space for task #1

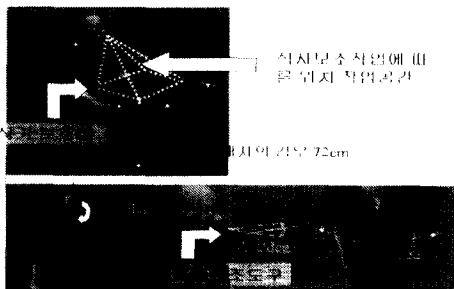


Fig. 5 Task space for task #2

Table2 에서 정의된 작업공간을 만족시키는 로봇의 기구학적 구조 및 해를 Fig. 6 에 나타내었다. 각축의 전기적/기계적 특성을 Table 3 에 나타내었다.

본 연구에서 설계하는 로봇은 장애인을 돕는데 그 사용 목적이 있으므로 사람과의 접촉 작업이 많을 수밖에 없다. 그러나 MANUS 나 MOVAID 와 같은 기존의 로봇 타입은 사람이 로봇 팔에 부딪혔을 때 이를 감지할 수 없을 뿐만 아니라 컴플라이언스 제어 기능을 구현하기가 매우 어렵다. 감속비가 큰 하모닉 드라이브나 기어헤드를 사용하면 감속기 내에 마찰이 존재하기 때문에, 별도의 토크센서를 부착하지 않는 이상 관절 토크를 감지하기 힘들기 때문이다. 따라서, 제작하고자 하는 로봇에 기존의 로봇의 관절형태를 그대로 도입한다면, 필요로 하는 접촉작업을 수행할 수 없을 것이라는 것을 예상할 수 있다.

현존하는 로봇 중에 WAM (whole-arm-manipulator)은 토크센서 없이도 관절토크를 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다<sup>20,22)</sup>. 이는 cable 을 이용한 감속을 함으로써, 마찰을 줄이고 Backdrivability 를 증가시켰기 때문이다. WAM 의 관절구조는 본 연구의 목표에 부합되므로 이 구조를 구현하기로 결정하였다. 이 구조는 모터 축과 출력축에 cable 을 감고 이 축들의 지름비를 이용하여 감속비를 얻는 방법이다. 이 경우 별도의 센서를 부착하지 않고도 cable 의 움직임으로 관절토크 값을 얻을 수 있으므로, 이를 이용하여 설계하였다.

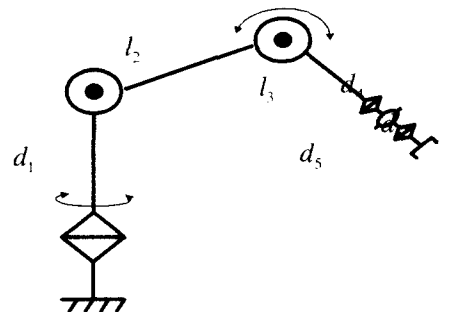


Fig. 6 Kinematic structure of the robot arm.  $(d_1, l_2, l_3, d_4, d_5, d_6) = (30\text{cm}, 43\text{cm}, 37\text{cm}, 0, 0, 10\text{cm})$

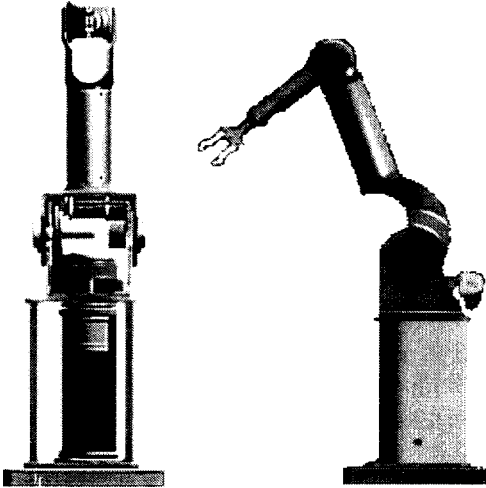


Fig. 7 Overall structure of the designed robot<sup>[20]</sup>

Table 3 Mechanical/electrical characteristics<sup>[20]</sup>

	파워 (Watt)	정격토크 (mNm)	감속비	회전범위 (degree)
1축	150	201	-	-100 ~ 100
2축	250	933	-	-100 ~ 50
3축	150	201	-	-100 ~ 100
4축	4.5	5.44	370:1	0 ~ 360
5축	4.5	5.44	157:1	0 ~ 150
6축	4.5	5.44	157:1	0 ~ 360

### 3. 공간 변화 영상을 이용한 비주얼 서보잉

비전센서는 직접 접촉하지 않고 물체에 대한 정보를 추출하기 위해서 사용된다. 물체를 잡거나 대상으로 접근하기 위해서는 물체에 대한 자세정보(3 차원 위치와 3 차원 방향정보)가 필요하다<sup>[16]</sup>. 스테레오 비전 시스템을 사용하여 추출한 물체나 대상에 대한 거리정보는 카메라와 물체까지의 거리가 멀수록 그 정확도가 떨어진다. 기준 좌표계에 대하여 움직이는 물체를 잡기 위해서는 영상정보를 이용해 물체를 추적해야 한다. 고무 바퀴를 가지고 있는 전동휠체어의 경우 사용자의 작은 움직임에도 불구하고 로봇 팔의 끝 부분은 매우 큰 진동을 일으킬 수 있다. 또한 컵을 잡아서 입으로 가져오는 경우 사용자가 움직이면 작업을 완수하기

가 어렵다. 그러므로 영상정보에 기초한 로봇 팔 제어는 반드시 필요하다<sup>[16,14,15,18]</sup>.

#### 3.1 비주얼 서보잉에서의 과제 나누기<sup>[17]</sup>

Table 1 에 정의된 Task 들 중 일부는 몇 개의 공통 Subtask 로 나눌 수 있다. 예를 들어 물체 움켜쥐기 기능은 Task #2, 3, 4, 5 에서 공통으로 필요하다. 또한 입으로 물체 가져가기 기능은 Task #2, 3 에서 공통으로 필요하다. 8 개의 Task 에서 공통으로 필요로 하는 14 개의 Subtask 를 정의하여 각각을 비주얼 서보잉을 통하여 로봇 팔을 제어하고 이들의 조합으로 각 Task 를 수행하도록 하였다.

#### 3.2 공간 변화 영상 비전 시스템

비주얼 서보잉에 있어서 핵심적인 기능은 비접촉 상태에서 외부환경으로부터 대상물체의 위치 및 자세정보를 얻는 기능이다. 시각센서는 로봇의 팔 끝에 부착하여 로봇이 움직일 때 카메라도 동시에 움직이는 경우와 작업 공간에 고정 시켜 놓는 경우로 나눌 수 있다. 여기서 고려하는 경우는 전자로 아이-인-핸드 구성(eye-in-hand configuration)이라 부르며 다음과 같은 장점을 가진다<sup>[17]</sup>. 로봇과 시각센서 사이의 보정이 편리하다. 시각센서를 부착할 수 있는 공간을 줄일 수 있다. 로봇의 움직임에 따라 카메라가 움직이므로 원하는 방향에서 다양한 해상도의 영상을 얻을 수 있다.

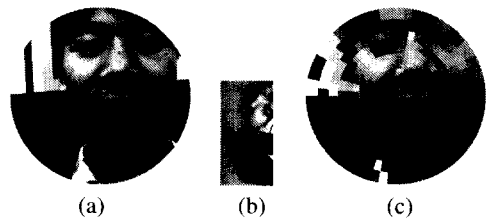


Fig. 8 Image Conversion using Log-Polar Model (a) Input Image (Retinal Plane, 180,916 pixel) (b) Log-Polar Image (Cortical Plane, 2,048 pixel) (c) Remapped Image (Retinal Plane)

비전 시스템은 특정한 영역의 고해상도 영상, 넓은 시야(field-of-view), 고속영상처리의 세 가지 요소가 필요하다. 최근, 이러한 요구 사항을 충족시키기 위하여 사람의 눈의 시각 정보 처리과정을 모델링<sup>[19]</sup>하고 이를 모방하는 연구가 진행되어져 왔다<sup>[17,11]</sup>. 공간상의 샘플링이 일정하지 않는 공간

변화(space variant)하는 특성을 가진 사람 눈을 모방하는 여러 모델이 있다<sup>11)</sup>. 이러한 모델들은 로그-폴라 매핑(log-polar mapping)을 기반으로 하고 있으며, 크게 등각사상 모델(conformal mapping models)과 원형 수용장 중첩 모델(overlapping circular receptive field models)로 나누어진다<sup>17)</sup>. Fig. 8에 로그-폴라 영상의 한 예를 나타내었다.

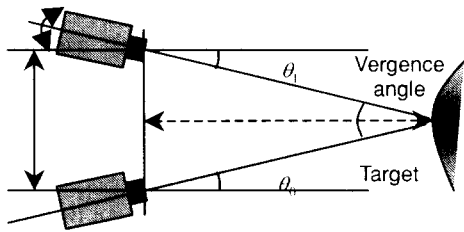


Fig. 9 Vergence angle.

아이-인-핸드 형태의 비주얼 서보잉에서는 스테레오 형태의 공간 변화 비전 시스템이 적합하다. 이 접운동이 가능한 스테레오 형태의 공간 변화 비전 시스템은 첫째, 영상의 중심부에 있고 가까운 거리에 있는 목표물의 정보를 정확히 알 수 있으며, 둘째, 넓은 범위의 정보를 획득함으로 충돌을 회피하고 추적 성능을 향상시킬 수 있으며, 셋째, 빠른 시간에 영상을 처리할 수 있다. 시각센서는 로봇 팔과 함께 움직이므로 다양한 방향에서 목표물과 쉽게 상호 작용할 수 있다. 따라서, 센서의 움직임을 이용하여 원하는 목표물과 주위 정보를 각각 정확하고 넓은 범위에 걸쳐 얻을 수 있으며 이를 빠르게 처리할 수 있다.

심도(depth, 카메라와 목표물 사이의 거리)는 로봇 제어를 위한 중요한 시각 정보이다. 심도를 측정하는 방법은 다양하게 연구되고 있다<sup>11)</sup>. 두 개의 카메라가 목표물의 동일한 점을 응시하는 운동을 이접운동(vergence)라 한다. Fig. 10와 같이 이접운동 제어가 가능한 스테레오 비전은, 먼 곳에서부터 가까운 곳까지 응시점(fixation point)을 조절하는 운동 또는 그 반대 운동을 하면서, 두 카메라가 동시에 한 곳을 응시하면 심도 정보를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 이접운동 기능을 갖는 비전시스템을 제작하고 영상 처리 시간을 줄이기 위하여 공간변화 영상처리 기법을 사용하여 심도를 추출하였다.

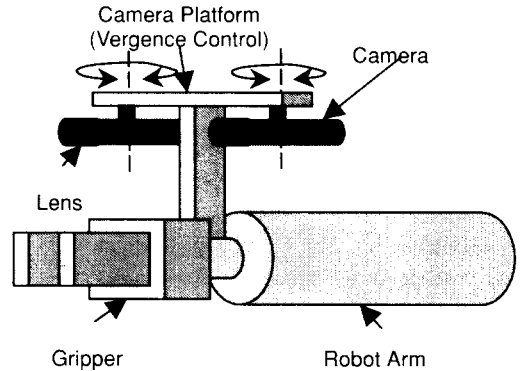


Fig. 10 Vergence Control

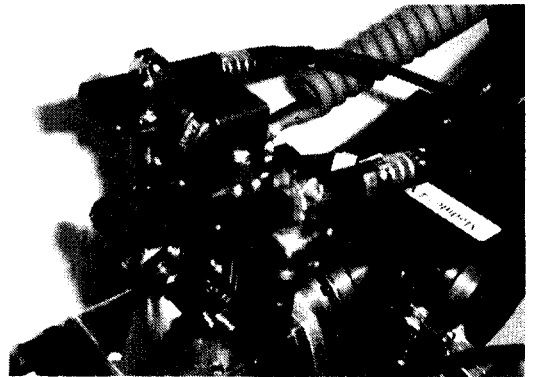


Fig. 11 Stereo camera with vergence control

#### 4. 결론

재활로봇이 가져야 할 기능을 장애인과 직접 대화를 통해 조사한 후 재활 로봇을 설계/제작하였다. 로봇-사용자 상호작용을 위한 여러 가지 기술을 조사하였고 Haptic suit, 로봇 팔에 장착 가능한 이접운동을 갖는 스테레오 비전 시스템을 설계/제작하였다. 또한 Eye-mouse 시스템을 사용한 작업 지시와 인간의 시각기능을 모사한 공간변화 영상처리 기법을 사용한 심도 추출에 대하여 연구하였으며 사용자 안전성을 고려한 비주얼 서보잉에 대하여 연구하였다. 앞으로 사용자 안전성 및 유연한 로봇제어를 위해 힘/토크 피드백을 통한 제어 기법 및 구현에 대하여 연구할 계획이다.

## 참고문헌

1. M. Hillman, "Introduction to the special issue on rehabilitation robotics," *Robotica*, Vol. 16, p. 485, 1998.
2. C.J. Robinson, "What is "Rehabilitation Engineering," *IEEE Trans. Rehabilitation Engineering*, Vol. 1, No. 1, p. 1, March 1993.
3. Richard K. Miller & Associates, "The Service Robot Market, An In-Depth Study from the International Service Robot Association,," ISRA, USA, 1996.
4. W.-K. Song, H. Lee, and Z. Bien, "KARES: Intelligent wheelchair-mounted robotic arm system using vision and force sensor," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 28, No. 1, pp. 83-94, 1999.
5. J.L. Dallaway, R.D. Jackson, and P.H.A. Timmers, "Rehabilitation robotics in Europe," *IEEE Trans. Rehabilitation Engineering*, Vol. 3, pp. 35-45, 1995.
6. S. Hutchinson, et. Al, "A Tutorial on Visual Servo Control," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol. 12, No. 5, pp. 651-670, October, 1996.
7. E.L. Schwartz, D.N. Greve, and G. Bonmassar, "Space-variant Active Vision: Definition, Overview, and Examples," *Neural Networks*, Vol. 8, No. 7/8, pp. 1297-1308, 1995.
8. F. Ferrari, et. Al, "Space Variant Imaging," *Sensor Review*, Vol. 15, No. 2, 1995, pp. 18-20, 1995.
9. M. Bolduc and M.D. Levine, "A Real-time Foveated Sensor with Overlapping Receptive Field," *Real-Time Imaging*, Vol. 3, pp. 195-212, 1997.
10. Y. Suematsu and T. Hayase, "An Advanced Vision Sensor with Fovea", *IEEE Proc. IECON 1990*.
11. G. Bonmassar and E.L. Schwartz, "Space- Variant Fourier Analysis: The Exponential Chirp Transform," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 10, October, 1997.
12. K. Lee, D.-S. Kwon, "Application of optical fiber sensors for the wearable master device used by the disabled," In Proc. 1<sup>st</sup> International Workshop on Human-friendly Welfare Robotic Systems (HWRSS2000), pp. 65-68, Jan. 2000.
13. D.H. Yoo, Y.J. Lee, G.W. Chu, J.H. Kim, D.H. Kim, and M.J. Chung, "Assistive Robot Control by an Eye-mouse System for the Disabled," In Proc. Fourth Biannual World Automation Congress, (WAC'2000), 2000.
14. R.A. Peters II, M. Bishay, M.E. Cambron, and K. Negishi, "Visual serving for service robot," *Robotics and Autonomous Systems*, pp. 213-224, Vol. 18, 1996.
15. J.K. Tsotsos et. Al, "A visually-guided robot for physically disabled children," *Image and Vision Computing*, Vol. 16, pp. 275-292, 1998.
16. W.-K. Song, J.-S. Kim, and Z. Bien, "Visual Servoing based on Space Variant Vision for Human-Robot Interaction in Rehabilitation Robots," In Proc. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Navy Pier Convention Center, Chicago, USA, July 2000.
17. Z. Bien, W-K Song, "Novel Wheelchair-based Robotic Arm with Visual Servoing Capability for Human-Robot Interaction," Proc. Of the Workshop on Service Automation and Robotics, pp. 5-17, 19-20 June 2000.
18. H. Sitanto, and R. Sharma, "Global performance evaluation of image features for visual servoing control," *Journal of Robotic Systems*, Vol. 13, No. 4, pp. 243-258, 1996.
19. A. Bernardino, and J. Santos-Victor, "Vergence control for robotic heads using log-polar images," In Proc. IROS'96, Vol. 3, pp. 1264-1271, 1996.
20. 장평훈, 박주이, 박형순, 정제형, 전보경, "Design/Manufacturing a Soft Robotic Arm for the Disabled Based On Predefined Tasks," Proceedings of The 2000 Service Robot Workshop, Kyunggido, Korea July 20-21, 2000.
21. 장평훈, 박주이, 박형순, 정제형, 양정연, "Design Strategy for Service Robot and Workspace Identification," Proceedings of The 1999 Service Robot Workshop, pp. 145~151, 1999.
22. 양정연, "로봇의 기구적 설계를 위한 격자방법에 대한 연구와 전산 설계 환경," MS. Thesis, Mechanical Engineering Department, KAIST, February 2000.
23. "보건 복지 백서," 대한민국 보건복지부, 1997.