

# 노령자의 생활지원을 위한 지능형 보행보조 로봇 기술

심현민(인하대학교 전자공학과), 정지연(고등기술연구원 로봇/생산기술센터), 이응혁(한국산업기술대학교 전자공학과)

## 1. 서론

일반적으로 고령화(高齡化) 사회란 총인구 중에 65세 이상의 인구의 비율이 증가하는 사회를 말하며, 현재 사회의 선진화 및 BT 산업의 발전으로 인해 인간의 수명이 연장되어 고령화 사회를 예고하고 있다. 현재 우리나라의 경우에는 표 1에 제시된 바와 같이 고령화 사회를 지나 2022년경에는 고령사회로 진입이 예상되고 있다<sup>1-2)</sup>.

고령화 사회가 도래하면서 세계적으로 실버산업이 폭발적으로 증가하고 있으며, 특히 우리나라는 세계에서 가장 빠른 고령인구의 증가율을 보여 실버산업 시장이 급속하게 증가할 가능성이 높으며 85세 이상 초고령 인구의 증가로 요양보호를 요하는 노인이 증가하여 의료서비스, 사회서비스 등의 실버산업 발전을 촉진하고 있다.

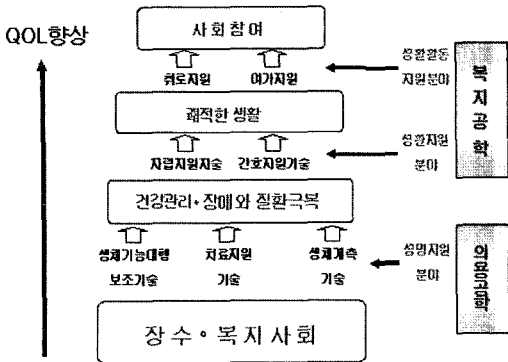
현재 세계적으로 노령화가 진행되고 있는 시점에서 가정 절실히 요구되고, 기술적으로 실용화되어야 하는 실버산업 분야로는 그림 1과 같이 노령자의 삶의 질(QOL) 향상을 위해 생명지원 분야, 생활지원 분야와 생활 활동지원 분야 등으로 구분될 수 있으며, 이에 필요한 기술로는 생체기능 대행 보조 기술, 치료지원 기술, 자립지원

〈표 1〉 노인인구수 및 예상증가율 (단위 : 천명)

연도	총인구	65세 이상 인구(비율%)	노령화 지수
1970	32,241	991(3.1)	7.2
1980	38,124	1,456(3.8)	11.2
1990	42,869	2,195(5.1)	20.0
2000	47,275	3,371(7.1)	32.9
2010	50,618	5,032(9.9)	49.9
2020	52,358	6,899(13.2)	76.5

기술, 이동형 헬스케어 시스템 및 재택진료 시스템과 생활지원용 로봇기술이라 할 수 있다<sup>3-8)</sup>.

노령자들의 생활지원을 위한 로봇 기술은 크게 육체적 지원, 정신적 지원, 정보적 지원 등으로 분류될 수 있다. 육체적 지원은 노인의 이동기능보조(보행보조, 부축, 심부름 등), 조작기능보조(식사, 세면, 용변 등), 기능증진(근력증진, 안마 등)이 필요하다. 정신적 지원으로는 노인학기반의 전문가 시스템, 감성인식 기능으로 구성된 심리치료(mental therapy) 콘텐츠, 대화상대 및 오락상대가 되는 감성적 기능 지원, 기억력을 증진시키고 새로운 지식을 교육시키는 지성적 지원이 요구된다. 또한, 정보적 지원으로는 노인들의 활동상황 또는 위급상황을 알려주는 신체



〈그림 1〉 삶의 질 향상을 위한 실버산업의 역할

정보제공, 일정 식사 투약 등의 기능을 지원하는 생활 스케줄 관리, 날씨 방문자 지역 방송 연락 처 정보 등을 제공하는 생활정보 제공 등의 기술이 요구되고 된다.

특히, 근력과 기억력이 저하된 재택 고령자의 삶의 질(Quality of Life)을 향상시키기 위해서는 재택생활 지원을 위한 재활보조 기능 및 경작업 지원기능을 겸비한 보행보조기기의 개발이 절실히 요구되고 있으며, 이러한 보행보조기기는 보행 재활 기능, 보행보조 기기의 자율 주행에 의한 유도 기능, 음성 및 영상에 의한 지능적 제어 기능, 실내 생활 작업 지원을 위한 고령자 중심의 지원 기능, 유비쿼터스 컴퓨팅 지원을 위한 원격제어 기능, 노령자의 생활 패턴을 고려한 사용자 인터페이스 기술, 주택내의 barrier free화 등 IT와 BT 기술을 접목한 RT 기술이 필요한 실정이다. 또한, 고령자를 위한 생활 지원 기능을 갖는 보행보조 로봇은 인간과 동일 공간에서 존재하면서 사용되어야 하므로, 인간과의 친화성과 사용의 편리성 등을 고려한 설계 기술이 요구되고 있다.

따라서, 하지 근력이 저하된 고령자의 생활지원을 위해 노령자의 실내외 보행을 보조하며 이

동 중 생체의 운동 정보를 계측, 저장, 전송이 가능한 지능형 보행보조기기 개발이 절실히 필요한 상황이고, 향후 이와 관련되어 선진국에 기술 중속화를 피하기 위해서는 선행 기술개발이 절실히 요구된다. 더욱이 이러한 노인의 지능형 보행 보조 기술 개발은 고령화 사회에 시급히 요구되는 과제라 할 수 있다.

본 논문에서는 노령자의 생활지원을 위한 보행보조 로봇의 현황 및 보행보조 로봇 구축 기술에 대해 기술하기로 한다.

## II. 생활지원을 위한 지능형 보행보조 로봇 현황

### 1. 국외기술 현황

지능형 보행보조 로봇은 운동능력과 기억력이 저하된 노약자가 실·내외 환경에서 타인의 도움을 받지 않고 스스로 기본적인 생활을 영위할 수 있도록 노약자의 보행을 보조하고, dependable하게 보행보조 기능을 지원하여 기본적인 일상생활을 지원할 수 있는 시스템으로 시스템의 특성상 안전성, 신뢰성, 재현성 및 오류 복구성이 보장되어야 한다.

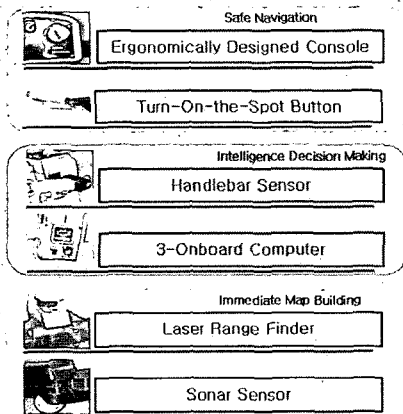
원래 보행보조 로봇 기술은 시각장애인의 보행 유도를 위한 이동 로봇(RTA : Robotic Travel Aids) 개발에 그 효시가 있고, 이러한 기술을 바탕으로 고령자의 실·내외 생활지원을 위한 지능형 보행보조 시스템으로의 활용 개발이 되어 왔다.

본 논문에서 기술하고자 하는 지능형 보행보조 로봇은 유럽의 경우에 1990년부터 10년간 고령자 장애인을 위한 종합 기술지원 프로그램인 TIDE(Technology for Inclusive Design and

Equality) 프로젝트를 기반으로 수행되어 왔으며, 일본의 경우에도 1990년부터 총예산 6조 엔의 고령자 복지 10개년 계획을 실시하여 왔으며, 현재 NEDO의 주관으로 확대 실시되고 있는 실정이다.

지능형 보행보조 로봇의 대표적인 개발 사례로는 Haptica사의 Guido, IPA 연구소의 Care-O-Bot, CMU 대학의 Nursebot과 Hitachi사의 고령자 생활작업지원 시스템을 들 수 있다. 이들 로봇의 기술개발 내용은 다음과 같이 정리할 수 있다.

### ① Haptica사의 Guido



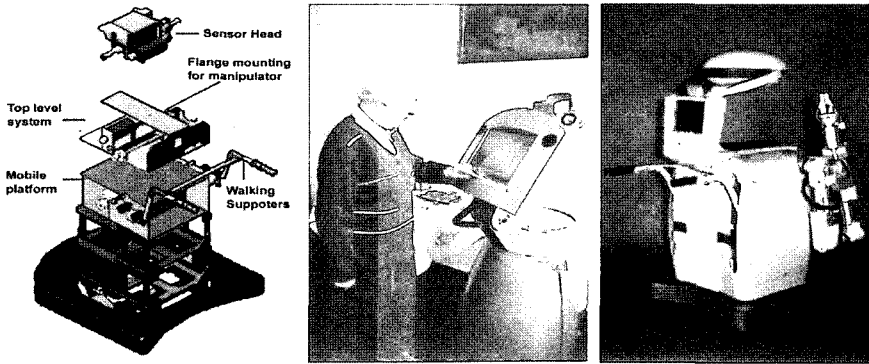
〈그림 2〉 Haptica사의 Guido

아일랜드의 Trinity 대학에서는 노령자의 보행을 보조하기 위한 수단으로 PAM-AID를 개발하였다<sup>3)</sup>. PAM-AID는 허약한 노령자의 생활지원을 위해 보행을 보조/안내하기 위한 목적으로 육체적인 보조와 함께 사용자의 자율성을 개선시키기 위한 시스템으로서, 움직임에 대한 많은 연구를 수행하였다. PAM-AID는 사용자의 수동 조작과 공유된 제어 방법의 두 가지로 사용자의 움직임을 보조하며, 이와 함께 장애물을 회피하거나, 로봇 주위의 장애물에 대한 정보를 알려주는 기능도 내장하고 있다. Haptica 사에서는 PAM-AID를 기반으로 한 실내의 노약자를 위한 보행보조기기인 Guido를 개발하였다<sup>4)</sup>. Guido는 인공지능을 이용한 보행보조 로봇으로서 레이저 거리 검출기(LRF: Laser Range Finder)와 초음파 센서 등을 이용한 장애물 감지 및 회피, 지도작성 및 주행 기능을 갖추고 있으며, 핸들바의 힘센서에 의해 사용자의 보행의지를 파악하여 보행의 안전성을 확보하고 있다.

### ② IPA 연구소의 Care-O-Bot

Care-O-Bot은 그림 3에 나타낸 바와 같이 모바일 플랫폼과 탐레벨 시스템의 두 가지 독립된 시스템으로 구성되어 있다. 모바일 플랫폼은 로봇이 자율적으로 이동하여 노인의 보행을 보조하는 기능을 한다<sup>5)</sup>. 전면부에는 터치스크린이 장착되어 있어 노인과 쉽게 인터페이스가 가능하도록 되어있다. 탐 레벨 시스템은 로봇 팔, 센서헤드와 그리퍼를 구동할 수 있도록 구성되어 있으며, 컵과 같은 물건을 잡는 동작을 통해 거동이 불편한 노인의 실내 생활지원을 할 수 있도록 되어있다.

또한, Care-O-Bot은 경로상의 장애물을 자동으로 회피하면서 목적지로의 안내를 하는 이동

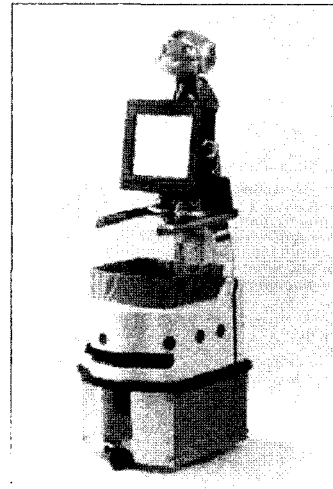


〈그림 3〉 IPA의 Care-O-Bot

기능과 환자 간호 및 가전 제품 제어 등의 가정 부 기능과 위급 상황시 의료진에게 연락하거나 스케줄 관리 등의 의사소통 기능을 갖추고 있다. 특히, 이동 기능의 경우는 “직접 조정 모드”와 “목표지점 모드”로 동작되는데, “직접 조정 모드”에서는 사용자가 진행 방향으로 보행 보조기 핸들에 힘을 가하면 핸들의 센서로 측정되고 필터로 보정된 값을 통해 로봇의 진행 속도를 변화시키며, 만약 로봇의 지정된 이동 방향에 장애물이 감지되면 속도백터를 수정하여 경로를 수정해 나가는 기능을 수행한다. 그리고 “목표지점 모드”에서는 사용자가 목표지점을 지정하면 Care-O-Bot은 그 지점에 이르는 가장 안전한 방법으로 최적의 경로를 찾아서 따라가는 기능을 수행한다.

### ③ CMU의 Nursebot (Pearl)

미국 Carnegie Mellon 대학에서는 Personal Robotic Assistants for the Elderly 프로젝트를 수행하여 Nursebot를 개발하였다<sup>4)</sup>. Nursebot은 노인들의 일상생활에 필요한 작업을 수행하는 개인용 이동로봇으로서 다음과 같은 기능을 갖고 있다.

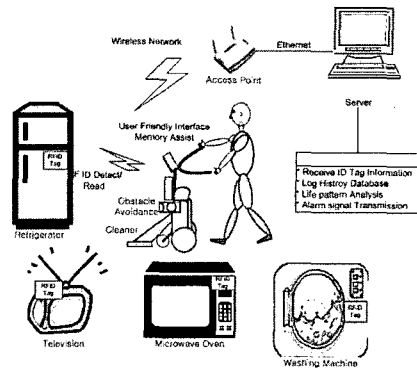


<b>Head</b>	
2D pan/tilt unit face	
2 White balanced color CCD camera	
Speaker system and a microphone	
<b>Body</b>	
Two onboard PC's	
2Mbits/sec wireless Ethernet	
Touch-sensitive color display	
<b>Drive system</b>	
Nomad Scout differential drive mobile base	
16 Ultrasonic range finders	
SICK PLS laser range finder	

〈그림 4〉 CMU의 Nursebot

〈표 2〉 Nursebot의 기능

<b>Mobile Manipulation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Semi-Intelligence Mobile Manipulation</li> <li>- 경작업에 대한 파워 어시스트</li> </ul>
<b>Intelligence Reminding</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 스케줄 관리</li> <li>- 건강증 보조</li> <li>- 주변 인물 기억</li> </ul>
<b>Tele-Presence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NGI(Next Generation Internet)를 통한 재택 의료 검진 지원</li> </ul>
<b>Data Collection</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정기적인 데이터 수집으로 비상사태 예방</li> <li>- 원격 진료 지원을 위한 생체신호 검출</li> </ul>
<b>Social Interaction</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용자와의 상호 작용</li> <li>- 독거 노인에게 심리적 안정 제공</li> </ul>



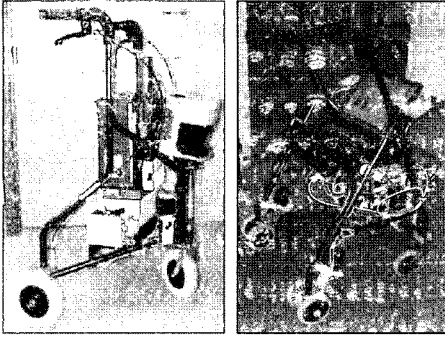
〈그림 5〉 Hitachi사의 고령자 생활작업지원 시스템 및 메모리 보조 기능

④ Hitachi사의 고령자 생활작업지원 시스템 일본의 Hitachi사에서 개발한 Power Assisted Walking Support System은 노령자의 앉기/서기 동작과 보행 동작에 대한 보조 시스템으로 2개의 전방 캐스터와 후륜구동의 2개의 모터가 장착되어 있으며, 힘센서에 의한 추진력 검출, 적외선 센서에 의한 장애물 검출, 기울기 센서를 사용한 경사면 주행 제어 등의 기능을 갖고 있다<sup>9)</sup>. 또한, 본 시스템에는 노령자의 근력을 보조하기 위한 Power 보조 기능, 생활기록과 관리를 위한 메모리 보조 기능과 고령자에게 친숙하고 사용하기 편리한 인터페이스 기능 등이 내장되어 있다.

#### ⑤ 기타 보행 보조 시스템

이상의 시스템 외에 현재 실외의 환경에서 노령자의 보행보조를 위해 간단하게 사용할 수 있는 시스템으로는 Virginia 대학 MARC 센터에서 개발 중인 Adaptive Walker와 CMU 대학에서 개발 중인 Robotic Walker가 있다. Adaptive

Walker는 각종 센서(Laser, IR, emcoder)에 의한 장애물 감지, 지도 작성 등의 기능외에 안전을 위한 하강계단 감지, 전기식 브레이크 시스템의 기능이 있으며, 사용자의 보행의지는 핸들부에 부착된 힘 센서로부터 힘을 감지하여 판단한다. Robotic Walker는 상용의 4륜형 walker에 편리 기능을 전자적으로 구현한 시스템으로 walker를 사용한 후에 자동으로 주차할 수 있는 Self-parking & retrieval 기능과 노령자의 낙상방지를 위한 편의 기능이 구현되어 있으며, 실내 환경에서 목표지점까지 안내를 하며 보행을 유도하여 주는 Navigation assistance 기능이 구현되어 있다.

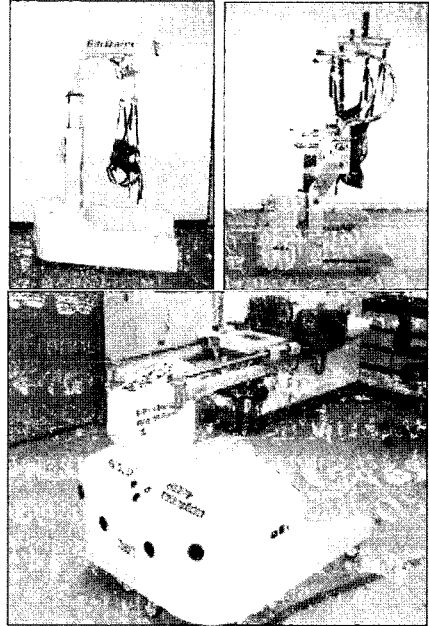


〈그림 6〉 개발중인 Adaptive Walker와 Robotic Walker

## 2. 국내기술 현황

국내의 경우에는 보장구 및 장애인 복지관련 연구 개발이 1993년까지는 구체적인 결실이 미미한 상태였으며 1994년 이후 우리나라에 보장구 및 장애인 재활관련 연구의 중요성이 인식되어 많은 변화가 일어나고 있다. 현재 여러 연구기관 및 산업체에서 이에 대한 연구개발 활동을 수행 중이며 정부의 연구개발에 대한 지원 및 투자도 증가되고 있다. 그러나 국내의 연구는 외국에 비해 이제 시작단계이며 기존에 연구되었거나 진행 중인 것은 전동휠체어나 이와 관련된 연구가 진행되어 왔으며 최근 다양한 분야로의 시도가 이루어지고 있다.

국내의 연구사례를 살펴보면 노령자를 위한 시스템보다는 장애인을 위한 시스템 개발이 주로 진행되어 왔으며, 병원내의 자동화를 위한 서비스 로봇의 개발사례도 보고되고 있다. 그러나, 이러한 시스템들은 상용화를 위한 것보다는 학문적인 관점에서 접근하고 있으며 보행 보조기의 경우 아직 실용 가능한 결과를 내지 못하고 있는 실정이다. 현재까지 대학에서 개발되어온 시스템을 소개하면 다음과 같다.



〈그림 7〉 KAIST에서 개발중인 보행 도우미 로봇

### ① KAIST의 보행 도우미 로봇

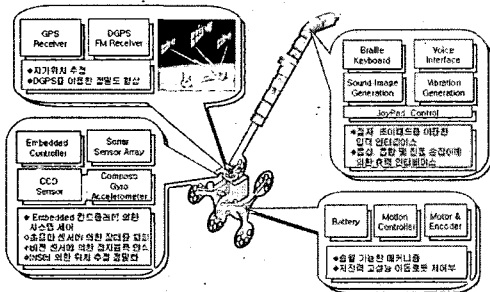
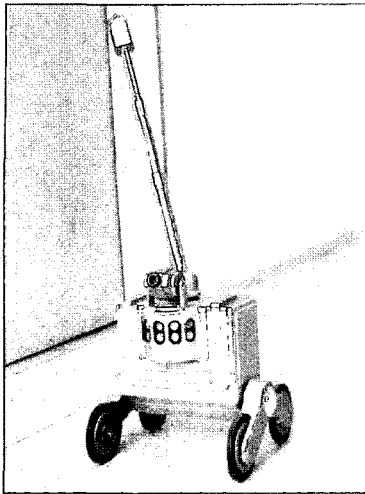
그림 7에는 KAIST에서 개발중인 재활용 보조로봇을 나타내었다. 이 로봇은 병원에서 환자의 재활지원 프로그램을 지원하기 위해 개발 중인 로봇으로 로드셀에 의한 환자의 체중감지 및 보행시 하중조절 기능과 초음파센서에 의한 환자과 로봇과의 거리감지에 의한 보행속도 감지 및 제어 기능을 갖추고 있다.

### ② 한국산업기술대의 계단승월이 가능한 시각장애인 보행유도 로봇

그림 8에는 한국산업기술대학교에서 개발한 계단승월이 가능한 시각장애인 보행유도 로봇을 나타내고 있다<sup>89)</sup>. 개발된 내용은 다음과 같이 요약할 수 있다.

▷ 계단 승월형 이동 로봇 메카니즘

▷ Odometer 및 자이로스코프 등에 의한 주



〈그림 8〉 계단 승월이 가능한 시각장애인 보행유도 로봇

행 경로 보정 알고리즘

- ▷ GPS에 의한 Global navigation 기능 구현
- ▷ 점자 또는 음성에 의한 전역적 항법 계획 기법
- ▷ 영상 및 초음파 센서를 이용한 주행 정보 획득 및 회피 알고리즘 개발
- ▷ 청각 또는 음성을 사용한 시각 장애인 유도 알고리즘 개발
- ▷ 시각 장애인 유도를 위한 점자 보도 블록 인식 기법 개발

### III. 지능형 보행보조로봇의 개발 사례 분석

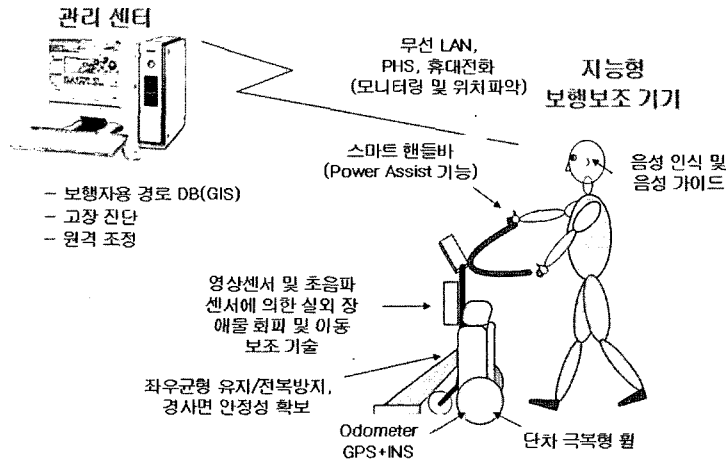
2003년부터 산업자원부의 21세기 프론티어 기술개발사업으로 인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발 사업이 진행중에 있다. 이 사업 가운데 노령자의 보행특성에 적합한 실외용 지능형 보행보조 기기 개발 사업이 수행되었으며, 본 논문에서는 이 시스템의 개발 내용에 대해 기술한다<sup>10)</sup>.

본 시스템은 실외에서 하지 근력이 약화된 노령자의 보행 및 앉기/서기 보조 기능과 경로 안내 기능을 갖는 지능형 보행보조 로봇으로서, 주요 연구내용으로는 4륜 구동형의 이동 메카니즘 및 앉기/서기 메카니즘 개발, 스마트 핸들바를 통한 사용자의 보행 의지의 파악, 센서융합에 의한 장애물 검출 및 장애물 검출에 따른 분할제어 전략(Shared control strategy)과 주행 안내 기능이 있다. 본 시스템의 구성은 그림 9와 같다.

#### 1. 보행보조 로봇의 기구부 설계

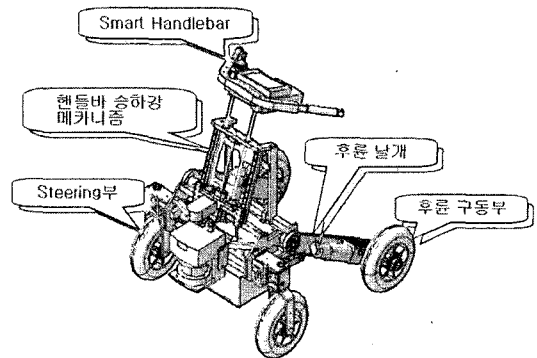
보행보조 로봇은 사용자의 안전성과 이동성을 고려하여 설계하였으며, 노령자의 보행속도를 고려하여 최고 이동 속도는 시속 3.0km로 일반인의 보행속도를 만족하도록 설계하였다.

구동 방식은 기구부의 안정성을 고려하여 4륜 구동형으로 설계하였으며 전륜은 조향을, 후륜은 구동을 담당하도록 설계하였다. 후륜의 동력 전달 방식은 체인과 스프로킷을 이용하였다. 후륜에는 구동을 하지 않고 수동 조작을 할 경우를 대비하여 잠금장치를 장착하였으므로 잠금장치를 해제하면 모터의 토크가 전달되지 않아 수동 조작이 가능하도록 설계하였다. 전륜의 조향부는 좌우륜을 독립 조향하도록 설계하여 기구부를 단순화시켰으며 조향속도 및 조향각은 제어



〈그림 9〉 지능형 보행보조 로봇의 구성도

부 연산을 통해 수행하도록 하였다. 조향 동력은 모터에서 웬기어를 이용하여 힘을 전달함으로써 구조가 간단하고 강도 증대의 효과를 갖는다. 또한 불규칙한 지면에서의 자연스러운 주행과 경사면 등판에서의 안정성을 고려하여 후륜 날개를 회전하도록 설계하였는데 후륜 날개는  $\pm 10^\circ$  회전각을 갖고 있으며 모터에서 웬기어를 이용하여 스크류에 힘을 전달하여 밀고 당김으로써 날개를 회전하도록 하였다. 후륜날개를  $20^\circ$  회전하기 위한 스크류 너트의 총 스트로크는 33.5mm이며 후륜날개를  $20^\circ$  회전하는데 소요되는 총시간은 5.6초가 걸린다. 후륜 날개의 회전에 따른 높낮이에 대한 능동적 높이제어 및 안기/서기 보조, 사용자의 신장에 맞는 높이 조절을 위해서 핸들바가 승하강이 가능하도록 설계하였다. 핸들바의 총 스트로크는 212mm이며 수직방향에 대해 200mm의 높낮이 조절이 가능하다. 구동 방식은 모터에서 스퍼기어를 이용하여 스크류를 회전시키며 LM 시스템에 의해 직선운동을 하는 방식이다. 핸들바의 이동 속도는 시속 0.17km이며 핸들바의 행정거리 212mm를 이동하는데 4.5

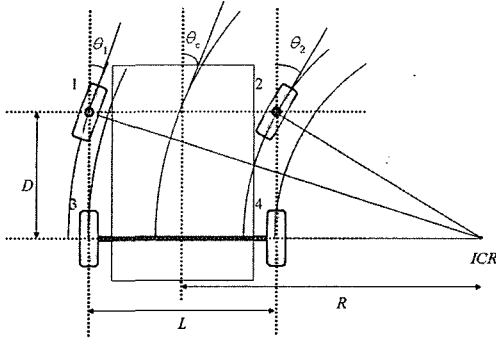


〈그림 10〉 설계된 기구부

초가 소요된다. 설계된 구동부는 그림 10에 나타내었다.

본 논문에서 설계된 보행보조 로봇의 기구부는 주행의 안전성을 고려하여 4륜 형태의 애커만(Ackerman) 구동을 채택하였다. 애커만 구동은 1쌍의 후륜이 주행을 담당하고 1쌍의 전륜이 조향을 담당한다. 애커만 구동의 기본적인 주행은 순간회전중심(Instantaneous Center of Rotation : ICR)를 중심으로 하는 회전운동이며 4개의 바퀴가 ICC를 기준으로 동심원에 접하고





(그림 11) 애커만 구동의 모델

동일한 각속도를 가져야 한다<sup>[11]</sup>. ICR은 후륜 축의 동일 선상에 위치하게 되며 3개의 특이점을 갖는다.

### ① ICR이 무한히 멀리 있는 경우

ICR이 무한히 멀리 있는 경우 로봇은 직진한다. 이 경우 로봇의 운동을 위한 파라미터는 다음과 같다.

$$\theta_c = \theta_1 = \theta_2 = 0^\circ \quad (1)$$

$$\omega_3 = \omega_4 = \frac{v}{2\pi r} \quad (2)$$

여기서  $\theta_c$ 는 로봇의 헤딩각을 의미하며  $\theta_1$ 은 좌측 전륜의 조향각을,  $\theta_2$ 는 우측 전륜의 조향각을 의미한다.  $\omega_3$ 는 좌측 후륜의 각속도를,  $\omega_4$ 는 우측 후륜의 각속도를 의미하며  $v$ 는 로봇의 속력을 의미한다.

### ② ICR이 한 후륜의 접촉점에 있는 경우

ICR이 한 후륜의 접촉점에 있을 경우 로봇은 후륜의 접촉점을 중심으로 회전하며 이때 해당 바퀴의 회전 속력은 0이 된다. ICR이 우측 후륜에 위치할 때 로봇의 운동을 위한 파라미터는 다음과 같다.

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{L}{D}\right) - \pi/2, \quad \theta_2 = -\frac{\pi}{2} \quad (3)$$

$$\omega_3 = \frac{v}{\pi L}, \quad \omega_4 = 0 \quad (4)$$

### ③ ICR이 로봇의 운동 중심에 있는 경우

ICR이 로봇의 운동 중심에 있을 경우 양쪽 후륜의 속력은 같고 방향은 반대가 된다. 따라서 로봇은 운동 중심을 기준으로 회전하게 된다. 이 경우 로봇의 운동 중심의 속도는 0이 된다. ICR이 로봇의 운동 중심에 위치할 때의 로봇의 운동을 위한 파라미터는 다음과 같다.

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{L}{2D}\right) - \pi/2 \quad (5)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(-\frac{L}{2D}\right) - \pi/2$$

$$\omega_3 = -\omega_4 = \frac{\Omega}{2\pi(L/2)} \quad (6)$$

여기서 각 후륜의 각속도는 로봇의 회전 속도  $\Omega$ 에 의해 결정된다.

그 밖의 운동을 위한 파라미터는 다음과 같이 결정된다.

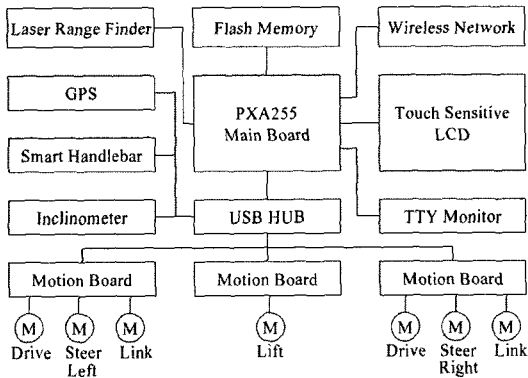
$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{R+L/2}{D}\right) - \pi/2 \quad (7)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{R-L/2}{D}\right) - \pi/2$$

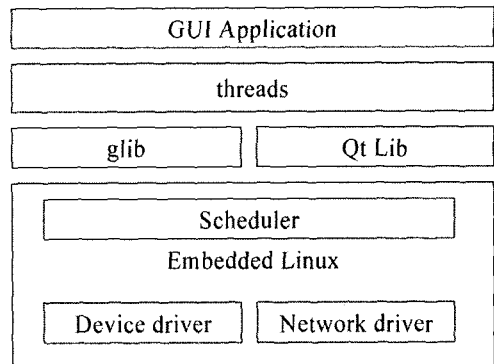
$$\omega_3 = \frac{\Omega}{2\pi(R+L/2)}, \quad \omega_4 = \frac{\Omega}{2\pi(R-L/2)} \quad (8)$$

## 2. 제어 시스템 구조

그림 12에 지능형 보행보조 로봇의 제어를 위한 시스템의 전체 구조를 나타내었다. 메인 시스템으로는 저전력, 소형 구조가 가능한 임베디드



〈그림 12〉 보행보조 로봇의 제어부 구성도



〈그림 13〉 보행보조 로봇의 소프트웨어 계층도

시스템인 Intel의 Xscale 기반 프로세서인 PXA255를 사용한 시스템을 사용하였으며 자료 저장을 위해 Flash Memory를 사용하였다. 센서 입력으로는 장애물 검출을 위해 레이저 거리 검출기를 사용하였으며 실외 위치 추정을 위해 GPS를 사용하였다. 사용자의 보행의지를 파악하기 위해서 힘센서를 이용한 스마트 핸들바를 사용하여 밀고 당기는 사용자의 힘을 검출하여 보행보조기기의 조향과 구동을 결정하도록 하였다.

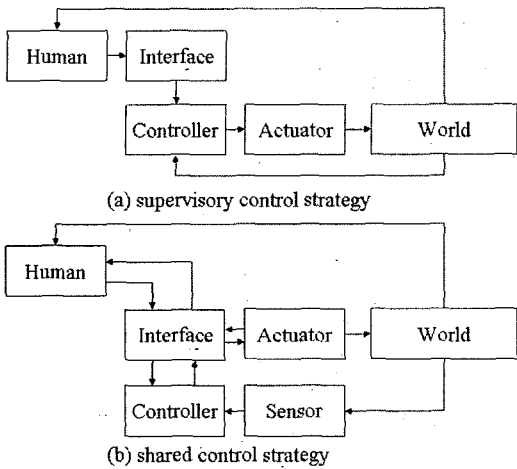
보행보조 로봇의 구동부는 주행을 위해 2개, 조향을 위해 2개, 후륜 링크를 위해서 2개, 앞기/서기 보조 및 높이 조절을 위한 1개로 총 7개의 모터를 사용하였다. 하나의 모션 제어 보드는 3축을 담당하여 총 3개의 모션 보드를 사용하였고 메인 시스템과의 인터페이스는 USB를 사용하였다. 외부 기기와의 통신을 위해서는 802.11b 기반의 무선 통신 네트워크를 사용하였고 사용자 인터페이스로 터치스크린을 장착한 6.4인치 TFT LCD를 사용하였다. 시스템의 상태 모니터 및 유지보수를 위해서는 UART를 이용한 모니터링을 사용하였다.

그림 13에는 보행보조 로봇의 소프트웨어 계층을 나타내었다. 운영체제는 Embedded Linux

를 사용하였다. Embedded Linux는 다양한 플랫폼에 적용 가능한 공개형 운영체제로 임베디드 시스템에 쉽게 적용 가능하다는 장점이 있다. 리눅스의 디바이스 드라이버는 커널 내부에 포함되거나 모듈로 적재 가능하다. 사용자 프로그램을 위한 함수 라이브러리는 GNU에서 개발한 라이브러리인 glib과 Trolltech에서 개발한 GUI 라이브러리인 Qt Library를 사용하였다. 각종 센서 입력 및 연산, 구동 출력을 위해서 다중 쓰레딩 기법을 이용하였으며 쓰레드의 관리는 운영체제의 스케줄러를 통해 이루어진다. 최상위 프로그램은 사용자 인터페이스 및 쓰레드의 생성, 해제등을 담당한다.

### 3. 공유제어전략

보행보조 로봇은 기본적으로 전동 휠체어와 같이 조작기를 이용한 사용자의 조작에 의해 동작하나 안정성을 고려하여 공유제어 전략(shared control strategy)을 사용한다. 공유 제어 전략은 사용자의 환경 인식에 의한 기기의 일방적인 제어 방식인 관리자 제어 전략(supervisory control strategy)과 달리 센서 정보에 의해 장애



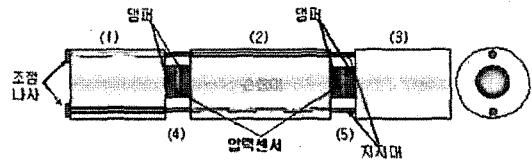
〈그림 14〉 관리자 제어 전략과 공유제어 전략의 구조

물 회피와 같은 로봇의 자율-제어가 포함되는 형태이다. 그림 14는 관리자 제어 전략과 공유제어 전략의 구조를 보여준다.

관리자 제어 전략을 채택하는 시스템은 제어를 절차화 시키기 용이한 반면 공유제어 전략을 채택할 경우에는 사용자의 입력 정보, 센서간의 구동 주기 및 정보량이 각각 달라 절차적인 제어 구조로 설계하기가 어렵다. 다중 센서와 다중 액추에이터로 구성된 로봇의 제어를 위해서는 다중 프로세서 기법을 사용하게 되며 본 논문에서는 센서와 액추에이터의 프로세서를 객체화 시켜 구현하였다. 객체 지향 제어기법의 장점은 객체의 재사용성이 높고 객체의 입력 및 출력만 고려할 수 있어 대형 시스템에 적용이 용이하며 모듈 단위 프로그램으로 추가 및 수정이 용이하다는 것이다.

#### 4. 보행의지 파악 시스템

본 시스템에서는 고령자의 힘 변화를 측정하는 방법으로 힘의 변위에 따라 저항률이 변화는



〈그림 15〉 스마트 핸들바의 구조

FSR(Force-Sensitive Resistor)을 사용하며, 그림 15에는 FSR을 내장한 스마트 핸들바의 구조를 나타내었다.

제작된 스마트 핸들바를 이용하여 고령자의 보행의지를 효과적으로 검출하기 위해서 첫 번째로 고령자의 힘 변화를 측정하여, 이 값을 컴퓨터가 처리할 수 있는 신호로 변환하며, 두 번째로 변환된 데이터들의 패턴 분류를 위해 각 방향 보행의지에 대한 데이터의 분포도를 분석하며, 세 번째로 각 패턴 분류의 구간별 수렴 범위를 확률의 분산을 통해 정의하고, 네 번째로 유클리드 거리를 이용한 유사성 검토를 수행한다. 이를 통해 패턴 분류된 값을 실제 구동부의 전달인자로 사용하기 위하여 삼각좌표 변환을 통해 모션 보드 제어 함수의 전달인자로 사용하여 속도 변환을 실시한다. 또한, 힘의 세기에 따른 속도 크기는 최소, 최대 속도 사이에서 보간법(interpolation)을 이용하여 선형변환 하였다. 그 결과 보행보조 로봇의 주행 명령을 전진, 후진, 좌회전, 우회전, 정지 등으로 구분할 수 있었다.

#### 5. 장애물 검출 알고리즘

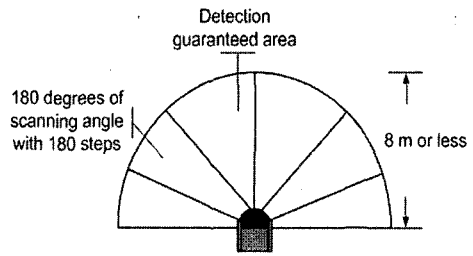
고령자를 위한 보행보조로봇이 실내·외 환경에서 안전하게 고령자를 보조하기 위해선 로봇의 지능적인 기술요소 구현은 필수적이다. 특히, 주행 중에 만나는 장애물들을 효과적으로 검출하여 심신이 쇠약해진 고령자들을 안전한 경로

로 유도하기 위한 기술은 이동로봇과 같은 보행 보조로봇의 핵심 기반기술이 된다. 현재 보행 보조로봇의 장애물 검출에 많이 사용되는 센서로는 초음파 센서와 CCD 카메라가 대표적이다. 또한, 이 두 가지의 센서를 융합하는 방법도 많이 응용되고 있다.

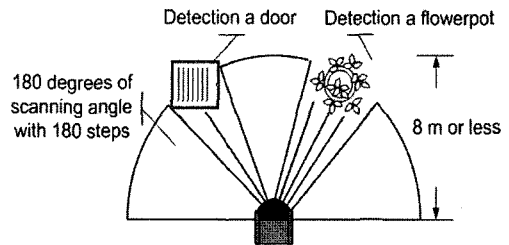
이에 본 논문에서는 물체의 표면 및 컬러 등에 전혀 영향을 받지 않고, 180° 범위의 물체 인식에 13msec의 빠른 응답 속도로 장애물을 검출할 수 있으며, 획득된 데이터를 이용하여 장애물과의 거리 및 장애물 쪽의 정보를 획득할 수 있는 2D 레이저 레인지 파인더를 이용한 장애물 인식 및 회피 각 계산 방법을 제시하였다.

① 2D 레이저 레인지 파인더를 이용한 거리 측정

레이저 레인지 파인더는 거리 측정을 위해 TOF(Time of Flight) 원리를 이용한다. 이것은 레이저 송신기에서 나오는 레이저 빔을 거울을 이용하여, 반사체에 반사시켜 발산한다. 그리고 이 거울과 반사체를 모터와 엔코더를 이용하여 1°씩 회전하여 180°의 각도에 대해 8m(본 연구에서 사용된 최대 측정 거리)안의 장애물의 존재 유무를 검출할 수 있다. 만약 구간 안에 장애물이 존재하면 레이저 빔은 발산된 반사체 지점으로 돌아와 수신부에서 인식하게 된다. 이때의 송신 시간과 수신 시간의 차를 이용하여 거리를 계산한다. 레이저 빔은 잡음의 영향이 적고, 직진성이 높기 때문에 초음파 센서가 가진 잡음에 대한 영향을 받지 않는다. 그림 16의 (a)는 레이저 레인지 파인더의 방사 패턴이며, (b)는 장애물이 구간 안에 검출 되었을 경우의 방사 패턴을 나타낸다.



(a) 레이저 레인지 파인더의 방사 패턴



(b) 두 개의 장애물이 검출될 때의 레이저 레인지 파인더

〈그림 16〉 2D 레이저 레인지 파인더의 방사 특성

(식 9)와 (식 10)은 그림 16의 (b)에서 각각의 검출된 물체의 좌표를 계산한다.

$$x = r \cos(\theta) \quad (9)$$

$$y = r \sin(\theta) \quad (10)$$

여기서 r은 수신된 데이터 값이며,  $\theta$ 는 반사된 위치에서의 각도이다. 이 벡터 값을 이용하여, 벡터 격자를 형성할 수 있다.

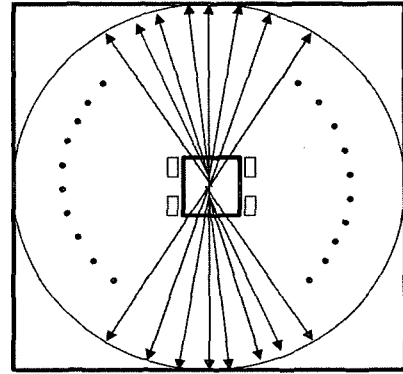
② 장애물 회피를 위한 방향 검출

현재 초음파, IR 센서 및 레이저 센서를 이용한 응용분야에서 많이 사용하는 장애물 검출 및 회피 알고리즘으로는 Borenstein이 제안한 VFH(Vector Field Histogram)가 있다<sup>[12]</sup>. 이것은 실시간으로 Polar Histogram을 통한 Active

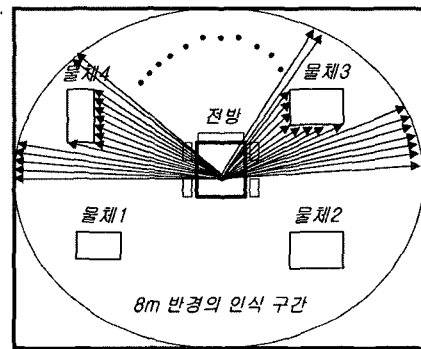
Window를 구성하여 국부적인 장애물 검출 및 경로계획을 세우는데 그 기반을 두고 있다. 그러나 이 알고리즘은 실시간으로 입력된 초음파 어레이 정보에 대해  $33 \times 33$ 개의 grid cell(로봇의 크기에 따라 결정 됨)을 구성하여 장애물의 유무에 따른 각 Cell에 확률적인 점유율을 정하여 실시간으로 map을 갱신하게 되므로, 계산량이 많게 된다.

이에 본 연구에서는 로봇의 주위로  $10 \times 10$ m 범위에서 로봇이 진행해 나갈 수 있는 벡터의 크기로 구성된 Active Vector maps를 이용한 방법을 제안하였다. 기존의 VFH 알고리즘에서 Active maps는  $33 \times 33$ 개의 cell로 구성된 정사각형의 그리드 맵으로 구성되어 있으나, 제안된 Active Vector maps는 레이저 스캐너의 데이터를 이용하여  $10 \times 10$ m 크기 안에서 로봇을 중심으로 주위 8m 크기의 원으로 구성된 360개의 Vector Line으로 구성한다. 이 Active Vector maps는 로봇이 움직일 때마다 갱신되며, 각각의 벡터의 스칼라 값은  $D(x)$ 라는 값으로 로봇과 장애물과의 거리를 의미한다. 이 값은  $0 \leq x \leq 8000$  값의 범위로 로봇 중심에서 주위 0에서 8m 사이에 발견된 물체와의 거리를 뜻한다. 이 값에 의하여 Polar Histogram을 구성하여 그린다. 그림 17은 레이저 스캐너에 의해 생성된 Active vector window를 나타낸다. 본 연구에서는 하나의 레이저 스캐너를 사용하므로  $360^\circ$ 의 Active vector window 중에서 전방의  $180^\circ$ 만 재구성하여 작성하며, 전방으로 진행시 장애물 검출 및 회피에 사용된다.

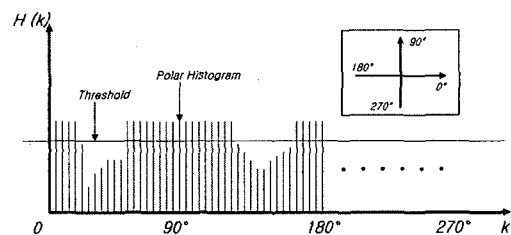
그림 18과 같은 환경에서 레이저 스캐너에 의하여 전방  $180^\circ$ 의 장애물 데이터를 획득하면 이에 대한 Polar Histogram을 그림 19와 같이 나타낼 수 있다.



〈그림 17〉 Active Vector maps



〈그림 18〉 레이저 레인지 파인더에 의한 Active Vector maps



〈그림 19〉 Polar Histogram graph

생성한 Polar Histogram에 의하여 로봇이 장애물을 검출하고 회피하는 공간 결정 및 ICR 생성을 통한 조향각 계산을 수행한다. 이것은 그림 19 처럼 Threshold 값에 의하여 장애물의 유무를 판단하고, 각각의 Polar Histogram의 factor인  $k$ 값

과  $H(k)$ 에 의하여 회피하는 방향을 결정짓는다.

장애물 검출 및 회피를 위한 알고리즘 순서를 정리하면 아래와 같다.

- (1) 2D 레이저 레인지 파인더를  $180^\circ$ 에 대해 스캐닝 함,
- (2) 만약 장애물이 검출 되면, ICR의 위치를 Polar Histogram을 이용하여 결정하고,
- (3) R를 계산 한 후
- (4) 새로운 조향각을 산출 하며,
- (5) 로봇의 주행 속도를 고려한 후륜의 구동 휠에 대한 속도를 결정,
- (6) 안전한 경로로 사용자를 유도



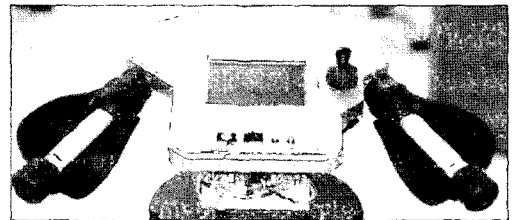
〈그림 20〉 개발된 지능형 보행보조 로봇

#### IV. 시스템 구현

본 시스템을 구현하기 위해서 기구부는 직접 제작하였으며 모터는 구동부를 위해 100W, 조향부를 위해 20W, 리프트를 위해 40W의 출력을 갖는 DC 서보 모터를 사용하였다. 모션 제어 보드로는 한울로보틱스의 2축/3축 모션 제어 보드인 DMC-2와 DMC-3를 사용하였으며 메인 보드와는 USB 인터페이스를 이용하여 통신한다.

메인 프로세서 보드로는 인텔 XScale 기반의 PXA255 칩을 이용한 임베디드 보드를 사용하였으며 linux-2.4.19-rmk7을 OS로 사용하였다. 애플리케이션 프로그래밍을 위한 컴파일러는 GNU의 gcc 2.95.3을 사용하였으며 GUI 및 thread 프로그램을 위한 라이브러리 모음인 Qt 3.3.4를 사용하여 애플리케이션 프로그램을 작성하였다.

장애물 검출을 위한 센서로 SICK의 레이저 레인지 파인더인 LMS200 및 USB 웹캠을 사용하였으며 기울기 검출을 위해 2개의 기울기 센서를 X축과 Y축으로 장착하였다.



〈그림 21〉 지능형 보행보조 로봇의 사용자 인터페이스부

사용자와의 인터페이스로는 2쌍의 SFR 센서를 기구부의 손잡이에 장착하였으며 조이스틱을 보조로 장착하였다. SFR 센서 인터페이스 및 조이스틱은 USB 인터페이스 중 입력장치 인터페이스인 HID를 이용하여 메인 프로세스와 연결하였다. 그림 20에는 개발된 지능형 보행보조 로봇의 사진을 나타내었으며, 그림 21에는 사용자 인터페이스 부분을 자세히 나타내었다.

#### V. 결론

노령자를 위한 지능형 보행보조 기기는 시각 장애인의 재활을 위한 이동 로봇(RTA) 개발을 바탕으로 하여 1980년대부터 개발이 진행되어

왔으나, 표준화를 위한 노력이 미흡한 실정이다. 현재 각 연구소 별로 독자적으로 BT, IT 기술을 접목하여 노령자의 생활지원 및 편리성 증진을 위해 제품을 연구하고 있는 단계이고, 상품화하여 실용화한 연구단체 및 기업은 사실상 부재한 실정이다.

또한, 노령자를 위한 재활보조 시스템의 경우에는 시스템 설계시에 노령자를 위한 fool proof, fail safe, long life 등의 원칙이 고려되어야 하며, 노령자를 위한 사용의 편리성 및 안전성이 고려되어야 한다. 그러나 현재 개발되고 있는 보행보조 시스템의 경우에는 이러한 평범한 사항도 고려되지 않고 있는 것이 현재의 실정이다.

따라서, 노령자를 위한 재활보조 시스템으로 개발하고자 하는 시스템은 노령자의 생활방식과 사용의 편리성을 고려한 사용자 인터페이스 방식이 개발되어야 하고, 또한 피로도 경감과 사용자의 안전성을 고려한 시스템의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

본 논문에서 소개한 지능형 보행보조 로봇 시스템의 적극적인 활용을 위해서는 노령자의 보행환경 분석 및 보행동작 특성 분석을 통한 메카니즘의 보완이 필요하다고 사료되고, 노령자의 실내외 생활패턴을 고려한 메모리 제어 기능과 사용자의 근력을 보조하여 줄 수 있는 power 보조 기능, 오류 발생시 시스템의 자기 복구 기능, 재활 과정에서의 사용자 평가 기술 등이 추가적으로 개발되어야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 통계청, “2005 인구주택총조사 전수집계결과 (인구부문),” 2006. pp. 19-24.
- [2] <http://kosis.nso.go.kr>
- [3] Shane MacNamara and Gerard Lacey, “A Smart Walker for the Frail Visually Impaired,” Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation San Francisco, CA, April 2000. pp.1354-1359.
- [4] Diego Rodriguez-Losada, et. al., “Implementing Map Based Navigation in Guido, the Robotic SmartWalker,” Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation Barcelona, Spain, April 2005, pp. 3390-3395.
- [5] B. Graf, M. Hans, J. Kubacki, R.D. Schraft, “Robotic Home Assistant Care-O-bot II,” Proceedings of the Second Joint EMBS/BMES Conference, Houston, TX, USA, October 23-26, 2002, pp.2343-2344.
- [6] M. Montemerlo, J. Pineau, N. Roy, S. Thrun, and V. Verma, “Experiences with a Mobile Robotic Guide for the Elderly,” Proceedings of the AAAI National Conference on Artificial Intelligence 2002.
- [7] Yasuhiro Nemoto, Saku Egawa, Atsushi Koseki, Shizuko Hattori, Takeshi Eshii, and Mesakatsu Fujie, “Power-Assisted Walking Support System for Elderly,” Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Machine and Biology Society, Volume 5, 1998, pp. 2693-2695.
- [8] 이종실, 이응혁, 민흥기, 홍승홍 “계단승월이 가능한 시각장애인 유도 로봇 개발,” 재활복지 제7권 1호, pp.126-157, 2003. 6.
- [9] 심현민, 홍승홍, 이응혁, 민흥기 “시각장애인을 위한 장애물 경보기의 개발,” 2002년 대한 전자공학회 하계종합학술대회 논문집 V, 25 권 1호, 2002.6, pp.113-116.
- [10] Hyeon-Min Shim; Eung-Hyuk Lee Jae-Hong Shim, Sang-Moo Lee, Seung-Hong Hong, “Implementation of an intelligent walking assistant robot for the elderly in outdoor environment,” 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 28 June-1 July 2005, pp.452-455.

- [11] G. Dudek and M. Jenkin, Computational Principles of Mobile Robotics, Cambridge university press, pp.26-27, 2000.
- [12] J. Borenstein and Y. Koren, "The Vector Field Histogram - Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots," IEEE Journal of Robotics and Automation Vo. 7, No. 3, pp. 278-288. June 1991.

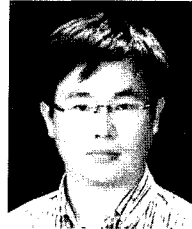
저자소개



심 현 민

2001년 인하대학교 전자공학과(BS)  
 2003년 인하대학교 전자공학과(MS)  
 2006년-현 재 인하대학교 전자공학과 박사과정 수료  
 주관심분야 지능형서비스로봇제어, 임베디드 시스템 응용, 제어 시스템

저자소개



정 치 연

1993년 서울대학교 제어계측공학과(BS)  
 1995년 서울대학교 전기및전자공학과(MS)  
 2000년 서울대학교 전기및전자공학과(Ph.D)  
 1995년-1998년 자동화연구소(ERC 센터) 연구원  
 1999년-2000년 전기및전자공학과 조교  
 2000년-2001년 Cybocom 부사장  
 2002년-2004년 Cybocom 대표이사  
 2004년-현 재 고등기술연구원 로봇/생산기술센터 수석연구원  
 주관심분야 로보틱스, 인공지능, 지능형서비스로봇제어



이 응 혁

1985년 인하대학교 전자공학과(BS)  
 1987년 인하대학교 전자공학과(MS)  
 1997년 인하대학교 전자공학과(Ph.D)  
 1987년-1992년 (주)대우중공업 중앙연구소 주임연구원  
 1992년-1993년 생산기술연구원 HDTV개발실 연구원  
 1995년-2000년 건양대학교 컴퓨터공학과 조교수  
 2000년-현 재 한국산업기술대학교 전자공학과 교수  
 주관심분야 지능형서비스로봇제어, 재활보조시스템, 의용전자 기기 및 신호처리, 임베디드 시스템