

인간보조 및 재활 제어시스템 기술동향

근래에 들어서 노인인구와 장애인구의 지속적인 증가로 인해 재활용 로봇 산업이 지속적인 관심을 받고 있다. 특히 재활 로봇은 환자의 삶의 질 향상과 밀접한 관계가 있고, 인간의 기능을 보조하는 시스템기술로 로봇공학과 밀접한 관계가 있는 분야이므로 더욱 주목받고 있다. 본 논문에서는 현재 활발히 연구가 진행되고 있는 다양한 재활 로봇의 기술 분류와 공개된 시스템의 개발현황을 소개하며 시스템들의 특징을 간략하게 소개하였다. 재활 로봇은 치료 목적 운동에 따라 다양한 형태로 개발될 수 있으며, 실제 상용화된 제품들이 있지만 임상적 효능과 실제 사용성 평가와 관련한 연구가 부족한 실정이다. 실사용자 및 의료계와의 지속적인 협력으로 지속적인 기술 개발의 필요성이 요구될 것으로 전망된다.

■ 허근섭, 이춘영*
(경북대학교 기계공학부)

I. 서론

의료 기술의 발달과 생활환경의 변화로 인간의 수명은 연장되고, 생활방식의 변화에 따라 건강에 대한 사회적 관심이 더욱 증대되고 있다. 이에 따라 복지와 의료서비스에 대한 관심도가 증가하고 있다. 근래에 들어 노령인구와 장애인구의 증가로 의료용 로봇 산업이 많은 관심을 받고 있다. 의료분야에서 로봇은 환자 진단, 정밀 수술, 재활 등의 분야에 다양하게 이용되고 있다. 특히 재활 분야의 경우 야외활동, 사고 등의 이유로 후천적인 장애발생이 점점 늘고 있어 재활 치료가 필요한 환자도 늘어나고 있다. 재활 로봇은 노인과 장애인의 치료 및 생활을 보조하고, 재활치료가 필요한 환자들의 치료 강도의 정확도/치료기간/치료강도 유지 등의 문제를 해소해 주는데 그 목적을 두고 있다. 재활 치료 분야에서도 효과적인 재활 치료를 통해 치료의 효율을 높이고, 현재의 치료법을 극복하여 새로운 치료법을 개발하기 위해 재활 치료에 로봇을 도입하기 시작했다. 실제로 재활 로봇이 개발되기 시작한 것은 1960년대로 상당히 이르지만 연구 초기 단계로 인체와 동작 성능에 대한 연구들이 주를 이루었다. 1990년대에 들어와 주변 기술들의 발전과 더불어 재활로봇의 연구가 활성화되었다. 이미 유럽 등의 선진국을 중심으로 재활로봇이 선행연구되어 왔으며, 현재는 미국, 이스라엘, 호주, 일본 등 세계 각국에서 활발하게 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 환자의 재활 훈련을 지원하기 위한 재활 로봇의 종류와 그에 따른 장단점들을 알아보고, 분류에 따라 어떤 재활 로봇들이 어떠한 기술을 가지고 개발되고 있는지 살펴볼 예정이다.

II. 재활 로봇 시스템

재활 로봇이란 재활 활동을 주도적으로 수행하거나 보조하는 기능을 하는 로봇을 말한다. 재활 로봇은 그 장착 형태에 따라 엔드이펙터(End-Effector)형과 외골격(Exo-skeleton)형으로 구분할 수 있다.

1. 엔드이펙터형 재활 로봇 시스템

엔드이펙터형 재활 로봇 시스템은 재활 로봇 모듈이 사용자와 완전히 별개의 구동 시스템으로 구성되며 사용자는 일부의 환부만 로봇에 고정하여 사용하도록 되어 있다. 주된 조작은 손끝에 부착된 장치로 수행된다. 고정된 환부를 로봇의 외부 동력 모듈을 이용하여 재활에 필요한 움직임을 만들어 주는 방법으로 재활 훈련을 수행할 수 있게 되어있다. 엔드이펙터형은 재활 로봇은 로봇 자체 구조 설계 시 환자에 따른 제약이 적고, 환자의 신체 길이에 구애받지 않아 많은 환자들에게 쉽게 적용이 가능하며, 탈부착이 용이하다는 장점이 있다.

반면에 근위부 관절의 동작 범위에 한계가 있고, 단일 관절 동작 혹은 세부 각 관절별 제어가 불가능하기 때문에 특정 환부에 대한 집중치료가 어렵다는 단점이 있다.

2. 외골격형 재활 로봇 시스템

외골격형 재활 로봇 시스템은 기구부가 사람의 관절축과 유사한 형태를 가지고 있도록 하여, 팔, 손, 어깨, 다리 등의 환부에 직접 장착하여 사용하도록 개발된 재활 로봇이다. 신체를 직접적으로 감싸서 사용자와 함께 구동되는 것이 특징이다. 각 관절이 개별적으로 구동할 수 있기 때문에 재활 훈련 시 특정 손가락, 팔꿈치와 같이 훈련을 원하는 특정한 환부에 대해서 집중 훈련이 가능하다. 환자마다 신체의 차이가 있고 고정 부위가 엔드이펙터형보다 많기 때문에 설계 단계에서 장착부의 편안함과 길이 조절기능을 고려하여야 한다. 외골격형 재활 로봇은 구조가 복잡하고 비용이 비싸다는 단점이 있다.

재활 로봇은 재활 훈련이 수행되는 환부에 따라 크게 상지 재활 로봇과 하지 재활 로봇으로 분류할 수 있다. 허리를 기준으로 상반신에 대한 재활 훈련을 위한 로봇을 상지 재활 로봇이라 하며, 하반신에 대한 재활 훈련을 위한 로봇을 하지 재활 로봇이라고 한다. 상지/하지 재활 훈련 로봇 시스템 모두 엔드이펙터형과 외골격형의 두가지 형태로 개발된 제품들이 존재한다. 3장, 4장에서는 현재 사용/개발되고 있는 상지/하지 재활 로봇의 종류와 그 특징에 대해서 알아보도록 하겠다.

Ⅲ. 상지 재활 로봇 시스템

재활 로봇 시스템은 뇌질환 환자를 대상으로 하는 상지재활 훈련 분야에서 먼저 도입되어 이용되어 왔다. 운동신경 마비로 인해 스스로 손이나 팔을 사용할 수 없는 환자들의 운동능력 증가를 목표로 재활 훈련 분야에 도입되었다. 초기의 상지 재활 로봇은 일정한 동작을 반복적으로 수행하는 재활 치료의 효과를 높이기 위한 보조적인 성격이 강했다. 때문에 주로 엔드이펙터형 재활 로봇이 많이 개발되었으나, 2000년대 이후부터는 손목, 어깨, 팔꿈치, 손가락 등 상지의 다양한 부위에 대해 집중적으로 훈련할 수 있는 로봇이 개발되고 있다.

가장 먼저 상용으로 사용된 상지 재활 로봇은 MIT (Massachusetts Institute of Technology)에서 개발한 MIT-Manus 이다. 1989년부터 개발되어 1994년 Burke Rehabilitation Hospital에서 뇌졸중 환자를 대상으로 적용되었다. 현재 Interactive Motion Technologies사에서 MIT-Manus의 상용제품 버전인



그림 1. (a) INMOTIONARM과 (b) 재활 소프트웨어 화면. [23]

INMOTIONARMTM을 판매하고 있다.

환자 전방에 링크형태의 훈련장치와 스틱형 손잡이가 있는 구성을 가지고 있다. 개발 당시에는 팔과 손목에 대한 구조를 모두 가지고 있었으나 상용으로 넘어오면서 손목에 대한 제품과 팔에 대한 제품으로 분리되었다. 환자는 화면에 나타나는 경로를 따라 재활장치를 밀고 당기며 재활운동을 수행하게 된다. 환자 수준에 따라 프로그램의 선택이 가능하며 능동, 능동보조, 수동 훈련이 가능하다.

MIT-Manus는 임상 실험이 가장 많이 수행된 로봇으로 그 의미가 크다. 현재까지도 실제 재활 훈련뿐만 아니라 신경 재활의 학 분야에서 실험용으로도 많이 이용되고 있다. 최근에는 EEG(Electro-Encephalo-Graphy : 뇌전도)를 연계한 신경 재활 분야 임상 연구에 이용되고 있다[1].

비슷한 시기에 Rehabilitation Institute of Chicago에서 개발된 ARM-Guide는 평면 운동을 통한 재활 훈련에 집중한 MIT-Manus와는 다르게 3차원 작업공간 훈련에 초점을 맞추어 개발된 트럼본같은 외형을 가진 상지 재활 로봇이다. 와이어, 벨트, 모터를 복합적으로 사용하여 구동한다. 손목과 팔의 팔꿈치 아래 부분을 기구에 고정하는 방식의 엔드이펙터형 재활 로봇으로 팔, 어깨의 최대 운동 범위까지 동작 할 수 있게 하여 환자의 관절 스트레칭을 수행 할 수 있다. 마비 측 신체의 스트레칭과 반복훈련을 통한 신경 자극 치료가 주된 기능이다. ARM-Guide를 이용한 치료를 통해 마비 환자의 운동 능력이 향상되었다는 보고가 있다[3].

비슷한 시기에 개발된 또 다른 엔드이펙터형 상지 재활 로봇으로 MIME(Mirror Image Movement Enabler) 시스템이 있다. Peter

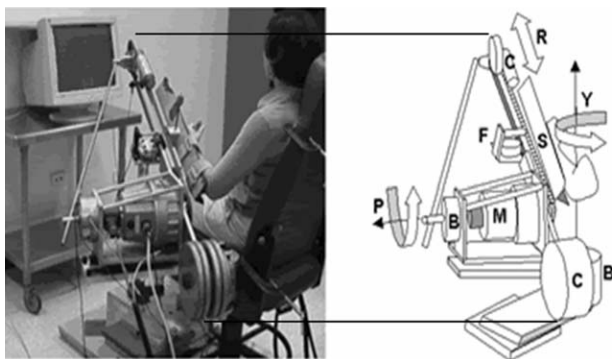


그림 2. ARM-Guide의 외형과 구성 (2).

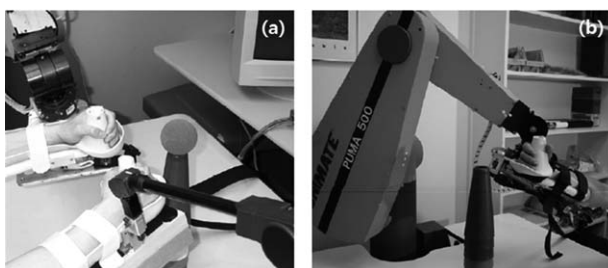


그림 3. MIME Robotic System (a) 작동 환경 (b) 환부 구성 (4).



그림 4. Bi-Manu-Track (6).

S. Lum 등에 의해서 개발된 시스템이다. 이 또한 상완부의 재활 치료를 목적으로 하고 있으며, 기존의 장치들과 같이 손목과 팔꿈치 아래의 팔부분을 고정하도록 되어있다. MIME는 산업용 로봇팔을 이용한 것이 구조적 특징으로 건축과 환측 기구로 구성되어 있다. 건축 기구는 물리치료사 대신 재활 동작을 만들어 주는 역할을 하며, 환측 기구는 힘/토크센서와 함께 로봇 팔이 재활 치료 동작을 만들어주는 개념을 가지고 있다[4]. 재활 치료를 위한 모션 개발에 대한 부담을 줄이고, 치료사의 노동을 줄이면서 자유로운 치료 동작이 가능한 시스템을 목표로 개발되었다[5].

덴마크의 Reha-stim사에서는 간소화된 손목 재활 장비인 Bi-Manu-Track을 선보였다. 손목의 2개의 회전 자유도와 팔의 1개의 회전자유도 운동에 대해 재활 훈련이 가능하다. Bi-Manu-Track은 큰 재활 훈련 동작이 적은 손목의 국부 재활 훈련에 대

해 환자가 치료사의 도움 없이도 쉽고 편안하게 재활 훈련을 할 수 있도록 하는데 초점이 맞추어져 있다.

2001년 개발이 시작된 이탈리아의 NeReBot은 와이어를 이용한 구조를 갖는 것이 특징인 엔드이펙터형 상지 재활 로봇으로, 팔을 장치에 고정하여 3차원 운동경로를 통한 재활 훈련이 가능하다[7]. 각각의 와이어를 통해 동작을 만들기 위해서 독특한 구조를 가지고 있다. NeReBot의 발전형으로 MariBot도 개발이 되었으며, 3자유도 로봇팔과 와이어 방식 구동기를 복합하여 더 간소화시켰다[8].

미국의 Motorika사에서 개발한 ReoGo는 팔과 손의 재활 훈련용 로봇으로 앞서 소개한 로봇들과 마찬가지로 End-Effector형 상지 재활 로봇이다. 주로 팔의 재활에 집중하여 3축 가동이 가능한 조이스틱 끝에 팔을 고정하여 재활 훈련을 수행할 수 있도록 개발되어 있다. 3차원 그래픽으로 제작된 게임형태의 훈련 소프트웨어를 제공하여 재활 훈련에 대한 환자의 동기부여를 하고 있다. 이동성을 고려하여 소형으로 개발되었으며, 훈련 결과의 데이터 축적/보고 기능이 있다. 팔 거치장치의 옵션 변경을 통해서 팔 재활 훈련과 손 재활 훈련을 실시 할 수 있다.

스위스의 Tyromotion사의 AMADEO는 손가락 재활에 특화된 엔드이펙터형 상지 재활 장치이다. 재활 장치에는 팔을 놓고 고정할 수 있는 팔걸이가 있고, 다섯 손가락 모두를 고정하도록 되어 있다. 훈련은 PC용 소프트웨어와 연계하여 미션을 수행하도록 구성되어 있으며, 환자의 재활 정도, 악력에 맞춰 기구의 조작 반력을 조절할 수 있다. 물건을 집거나 잡는 동작을 반복하여 손가락의 재활 훈련이 되도록 하고 있다. 가상 환경에서의 훈련 프로그램도 제공하고 있어 일상생활에 도움이 되는 훈련이 가능하고, 손가락별로 힘센서를 통한 훈련 데이터를 수집할 수 있다[11].

Arneo는 스위스 Hocoma사에서 서비스 중인 외골격형 상지 재활 로봇이다. 기존에 Sarah J. Housman 등에 의해서 T-Wrex(Therapy Wilmington Robotic Exoskeleton)라는 이름으로 개발되고 있던 상지 재활 로봇과 스위스 ETH(취히리 연방 공대)에서 개발되고 있던 Amin을 상품화한 로봇이다[12]. T-Wrex는 원래 운동 소프트웨어와 연계할 수 있도록 관절 부위에 엔코더를 장착하여 각도를 수집하고, 기구적으로 중력에 대한 보상력을 제공하여 팔 힘이 약한 환자가 사용할 수 있도록 하는 하나의 입력 장치의 개념으로 개발되었다. Hocoma사에서 이 개념을 발전시켜 지금의 Arneo로 제작하였다. 현재 재활 단계에 따라 Arneo Power, Arneo Spring, Arneo Boom으로 제품이 나누어져 있다. 재활 단계가 높아짐에 따라 환자의 상태가 더 양호하기

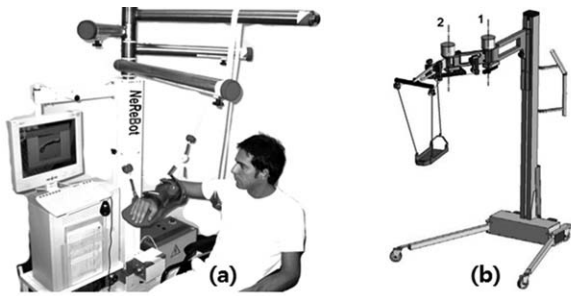


그림 5. (a) NeReBot (b) MariBot (7)(8).



그림 6. Motorika사의 ReoGo (9).

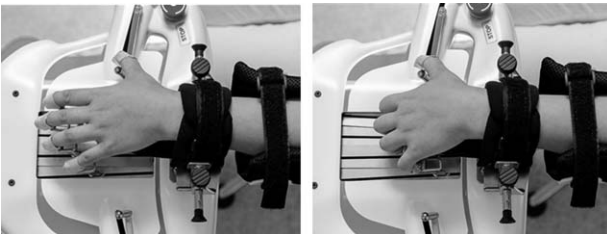


그림 7. Tyromotion사의 AMADEO (10).



그림 8. Hocoma사의 Armeo (Picture: Hocoma, Switzerland)

때문에 재활 로봇에 필요한 구동 성능이 줄어들기 때문에 필요한 성능에 맞추어 제품군을 분할하고 있다.

mPower 1000은 MyoMotion사에서 상용화 판매중인 제품으로 근전도 신호를 이용한 외골격형 재활 로봇이다. 이 로봇은 재활 훈련 장치라기보다는 생활 재활 로봇에 가깝다. 사용자의 근전



그림 9. MyoMotion사의 mPower 1000.



그림 10. 4세대 RUPERT의 외형(13).



그림 11. MGA-Exoskeleton (14).

도 신호를 입력받아 원하는 방향으로 팔을 움직여 주는 역할을 한다. 팔의 근력이 약하거나 치료가 필요한 사람을 대상으로 한다. 약 850g의 가벼운 무게를 가지고 있어 일상생활에 사용가능하다.

RUPERT(robotic assisted upper extremity repetitive therapy)는 사

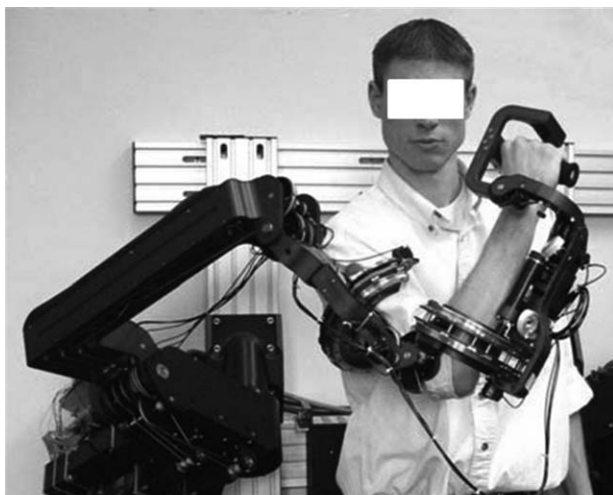


그림 12. CADEN 7 (15).

용하기 편리하고, 저비용이며 환자나 치료사가 사용하기 편리 하면서 집과 병원 어느 곳에서든 사용이 가능한 재활 로봇을 목표로 개발되었다. 구동을 위해서 공압 인공근육을 사용하는 것이 특징이다. 가동 가능 범위가 어깨 50도, 팔꿈치 90도 등 사람의 가동성에는 못 미치지만 일반적인 재활운동을 수행하는데는 무리가 없을 것으로 보인다.

미국육군 원격 진료 및 고급 기술 연구 센터 지원으로 개발 중인 MGA (The Maryland - Georgetown - Army) Exo-skeleton은 어깨 재활을 주목적으로 하는 외골격형 재활 로봇이다. 어깨와 등에서 필요한 자유도를 구현하기 위해 팔의 2자유도를 포함해 총 6 자유도를 가지고 있다. 또한 가상현실 소프트웨어를 통한 재활 훈련을 목표로 하여 햅틱 인터페이스를 적용하고 있다는 점이 특징이다. 때문에 각 관절에 힘 센서가 장착되어 있다.

CADEN-7(Cable-Actuated Dextrous Exoskeleton for Neuro-rehabilitation)은 인간의 팔에 존재하는 7자유도를 모두 구현하고, 인체 내부에서 뼈의 맞물림을 적용하여 편안하고 효과적인 관절가동이 가능하도록 설계된 외골격형 로봇이다. 가동성능에 향상에 초점을 두어 각 회전 조인트에서 프레임간의 간섭에 의해 가동 범위의 제한이 받지 않도록 설계되었다. 관절의 구동은 프레임 외부에서 와이어를 이용하여 구동하고 있다. 와이어 구동방식을 이용해 관절부의 크기를 줄여 가볍고, 백래쉬가 없는 시스템으로 설계하는데 집중했다.

IV. 하지 재활 로봇 시스템

하지 재활 훈련은 무릎, 고관절, 발목 등 국소 부위의 재활 훈련과 보행 재활 훈련 모듈을 포함한다. 그 중 국소 부위 재활 훈

련은 최종적으로 보행 재활 훈련으로 귀결된다. 선천적 장애이든지 병이나 사고로 인한 후천적 장애이든지 하지에 대한 장애는 결국 보행에 대한 문제가 된다. 보행은 인간의 활동 혹은 생활에 매우 중요한 요소로, 환자의 가정/사회복귀에 대해 주요한 영향을 미친다. 때문에 하지 재활 훈련을 위한 로봇 시스템은 보행 재활을 위한 시스템이 주로 개발되고 있다. 보행 재활 로봇 시스템은 상지와 마찬가지로 엔드이펙터형과 외골격형으로 나눌수 있는데, 재활 훈련 방법에 따라 또 다른 분류로 고정 보행 재활 훈련형과 지상보행 재활 훈련형으로 구분도 가능하다.

고정 보행 재활 훈련형 로봇으로 가장 대표적인 것은 스위스 Hocoma사의 Lokomat이다. Lokomat은 최초로 개발된 보행 재활 보조 로봇이다. 임상적인 효과도 이미 보고되어 있어, 많은 현재 사용/개발되고 있는 타 시스템들과 자주 비교된다. 환자는 상부에 안전용 벨트로 신체를 거치하고 하지를 외골격에 고정하여 훈련을 수행할 수 있다. 이때 후방에 무게추를 이용하여 재활 기구의 무게가 환자에게 전달되지 않도록 설계되었다. 최근 제품은 모터와 스프링을 조합한 구조로 변경되었다.

ReoAmbulator는 Motorika사에서 개발한 보행 재활 로봇으로 Lokomat과 유사한 형태를 가지고 있다. Lokomat에 비하여 정돈된 기구부를 가지고 있으며, 하중보상을 보행 모듈 연결부에서 수행을 하는 구조로 되어있다.

국내에서는 피엔에스미캐닉스사가 Walkbot을 개발하여 시판하고 있다. ReoAmbulator와 마찬가지로 Lokomat과 유사한 시스템으로 구성되어 있으며 트레드밀 보행 재활 로봇의 국산화, 저가격화, 즉관절 개선에 의미가 있다. 관절간 거리를 자동으로 조정할 수 있는 기능이 더 뛰어나다.

스위스의 Reha Technologies에서 개발한 G-EO System은 보행 재활 로봇 시스템에서는 보기 드물게 엔드이펙터형으로 개발된 로봇이다. 외골격형 트레드밀 재활 로봇이 하지 전체를 로봇에 장착하는 구조인 반면에 G-EO System은 안전을 위해 상지 상부 하네스에 걸치고, 하지는 발만 고정을 하도록 되어 있다. 기능상의 장점으로는 계단오르기, 언덕등반과 같은 훈련 환경을 재현할 수 있다는 점과 장착이 매우 편리하다는 점이다. 하지만 하지 재활 훈련의 특성상 정확한 보행패턴을 재현해주어야 하는 부분에서는 불리하게 작용할 수 있으며, 중증 마비환자는 훈련이 힘들다는 단점이 있다.

자유 보행 외골격형 재활 로봇인 REX는 뉴질랜드의 Rex Bionics에서 개발한 로봇으로 조이스틱으로 작동을 조작할 수 있다. 이러한 점 때문에 보행 재활 로봇을 장착한다는 것보다 타고 있다고 표현할 수도 있을 것이다. 실제로 조이스틱을 조



그림 13. Hocoma사의 LoKomat (Picture: Hocoma, Switzerland) [16].

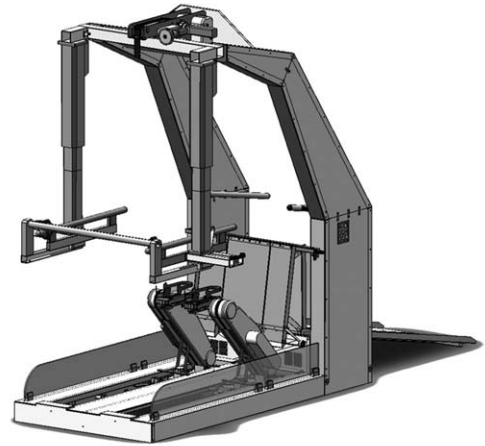


그림 16. G-EO System [19].



그림 14. Motorika사의 ReoAmbulator[17].



그림 17. REX Bionics사의 REX [20].



그림 15. (주)피앤에스미캐닉스사의 Walkbot [18].

작하는 방향으로 보행 동작을 하도록 만들어져 있으며, 안정적인 직립 자세가 유지되기 때문에 보조 안전용 스틱이 필요하지 않아 조이스틱 조작을 하지 않을 시 양팔이 자유롭다.

Argo Medical Technology사의 ReWalk, Ekso Bionics사의 Ekso는 외골격형 보행 보조 로봇으로, 팔에 지지봉이 필요한 구조이다. 이 지지봉을 이용하여 마비환자의 보행 중 균형의 무너짐을 방



그림 18. (a) ReWalk[21]

(b) Ekso[22]

지해 보행에 안전성을 부여하고 있다. 차이점은 Ekso의 경우 지지봉 말단에 센서를 부착하여 무게 정보를 입력 받아 로봇 구동에 이용하고 있다. ReWalk의 경우 전기 소모가 적어 구동시간

이 걸며, 앉기, 일어나기, 걷기, 계단오르기 등 생활에 필요한 기능을 독립적으로 수행할 수 있다. 상지에 부착되어 있는 센서시스템이 상지의 움직임을 감지하여 동작한다. Ekso 또한 상지에 센서시스템을 부착하고 보조 지지봉의 입력신호와 함께 작동 신호를 인식한다. 최근에는 환자의 선보행 동작에 맞춰 구동하는 기능도 추가되었다.

V. 결론

본 논문에서는 재활 로봇의 분류를 통해 현재 개발되고 있는 재활 로봇들의 분류적 특성과 분류별 특징 및 개발 현황을 알아보았다. 상지 재활 로봇 경우 주로 엔드이펙터형으로 특정 부위에 대한 재활 치료를 목적으로 개발된 로봇이 많았으며, 2000년대 후반부터 근래까지 외골격형 재활로봇의 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 하지 재활 로봇의 경우 하지 재활 운동이 대부분 보행 재활로 이어지기 때문에 환자의 지탱부터 재활 운동의 형태까지 고려하여 외골격형 재활 로봇이 주를 이루고 있다.

현재까지 재활 로봇은 고가의 장비이며, 여러 재활 동작이 가능하도록 설계 할수록 구조가 복잡해지고 단가가 상승하게 되므로 적절한 수준에서 타협할 수 있는 기능을 가지는 로봇의 개발을 위하여 의료계와 공학계의 많은 협력이 지속적으로 필요 하겠다. 고가의 재활로봇이 실제로 활용되기 위해서는 저렴한 형태의 시스템 개발과 판매가 이루어져야 하며, 단계적인 재활 프로토콜에 따른 최적화된 시스템으로 특화되어야 할 것으로 사료된다.

또한, 실사용자의 시스템 사용시 안전과 신뢰성이 있으면서, 착용감이 우수한 재활로봇이 웰빙을 위한 치료와 재활에 앞장 설 수 있도록 재활로봇의 개발과정에서부터 판매 및 보급까지 정책적인 지원도 필요할 것이다.

참고문헌

[1] K. K. Ang, C. Guan, K. S. G. Chua, B. T. Ang, C. Kuah, C. Wang, K. S. Phua, Z. Y. Chin and H. Zhang, "Clinical study of neurorehabilitation in stroke using EEG-based motor imagery brain-computer interface with robotic feedback," *32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS*, pp. 5549-5552, 2010.

[2] D. J. Reinkensmeyer, L. E. Kahn, M. Averbuch, A. McKenna-Cole, B. D. Schmit and W. Zev Rymer, "Understanding and

treating arm movement impairment after chronic brain injury: Progress with the ARM Guide," *Journal of Rehabilitation Research & Development*, vol. 37, No. 6, Article 653, 2000.

- [3] L. E. Kahn, M. L. Zygmant, W. Z. Rymer and D. J. Reinkensmeyer, "Robot-assisted reaching exercise promotes arm movement recovery in chronic hemiparetic stroke: a randomized controlled pilot study," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 3, No. 12, 2006.
- [4] P. S. Lum, C. G. Burgar, M. V. Loos, P. C. Shor, M. Majmundar and R. Yap, "The MIME robotic system for upper-limb neuro-rehabilitation: results from a clinical trial in subacute stroke," *Proc. of the 9th International Conf. Rehabilitation Robotics 2005*, pp. 511-514, 2005.
- [5] P. S. Lum, C. G. Burgar, D. E. Kenney and H. F. M. V. Loos, "Quantification of force abnormalities during passive and active-assisted upper-limb reaching movements in post-stroke hemiparesis," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 46, No. 6, pp. 652-662, 1999.
- [6] <http://www.reha-stim.de/>
- [7] G. Rosati, P. Gallina, S. Masiero, "Design, implementation and clinical tests of a wire-based robot for neurorehabilitation," *IEEE Trans. Neural System Rehabilitation*, vol. 15, No. 4 pp. 560-569, 2007.
- [8] G. Rosati, P. Gallina, S. Masiero, and A. Rossi, "Design of a new 5 d.o.f. wire-based robot for rehabilitation," *Proc. of the IEEE 9th International Conf. on Rehabilitation Robotics 2005*, Chicago, IL, USA., pp. 430-433, 2005
- [9] ReoGo Brochure
- [10] <http://tyromotion.com/en/products/amadeo/overview>
- [11] J. Stein, L. Bishop and G. Gillen, "A pilot study of robotic-assisted exercise for hand weakness after stroke," *2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, Zurich, Switzerland, 2011.
- [12] S. J. Housman, V. Le, T. Rahman, R. J. Sanchez and D. J. Reinkensmeyer, "Arm-Training with T-WREX After Chronic Stroke: Preliminary Results of a Randomized Controlled Trial," *IEEE 10th International Conf. on Rehabilitation Robotics*, Noordwijk, pp. 562-568, 2007.
- [13] S. Balasubramanian, R. Wei, M. Perez, B. Shepard, E. Koeneman, J. Koeneman and J. He, "RUPERT: An exoskeleton robot for assisting rehabilitation of arm functions," *Proc. of Virtual*

Rehabilitation 2008, pp. 163-167, 2008.

- [14] C. Carignan, J. Tang and S. Roderick, "Development of an Exoskeleton Haptic Interface for Virtual Task Training," *The 2009 IEEE/RSJ International Conf. on Intelligent Robots and Systems*. St. Louis, USA, pp. 3697-3702, 2009.
- [15] J. C. Perry and J. Rosen, "Design of a 7 Degree-of-Freedom Upper-Limb Powered Exoskeleton," *The First IEEE/RAS-EMBS International Conf. on Biomedical Robotics and Biomechanics*, pp. 805-810, 2006.
- [16] <http://www.hocoma.com/>
- [17] Brochure of ReoAmbulator <http://www.motorika.com/>
- [18] http://www.walkbot.co.kr/xe/gallery_kor_1/644
- [19] S. Hesse, A. Waldne and C. Tomelleri, "Innovative gait robot for the repetitive practice of floor walking and stair climbing up and down in stroke patients," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 7, no.30, 2010.
- [20] <http://www.rexbionics.com/>

[21] <http://www.rewalk.com/>

[22] <http://intl.eksobionics.com/>

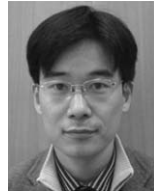
[23] <http://interactive-motion.com/>

저 자 약 력



허근섭

- 2009년 경북대기계공학과 졸업.
- 2011년 경북대기계공학과 대학원 석사.
- 2011~현재 경북대학교 기계공학과 박사과정.
- 관심분야 : 로봇시스템 및 지능제어.



이춘영

- 1996년 한양대전자공학과 졸업.
- 1998년 한국과학기술원 대학원석사.
- 2003년 한국과학기술원박사.
- 2005년~현재 경북대학교 기계공학부 교수.
- 관심분야 : 지능제어 및 메카트로닉스.