

생체역학적 다관절 재활운동 시스템의 개발

장재호*, 안정석**, 한창수***, 한정수****, 안재용*****

A development for a multi-joint biomechanical Rehabilitation system

한양대학교 정밀기계공학과*, 한양대학교 메카트로닉스공학과**

한양대학교 기계정보경영학부***, 한성대학교 기계시스템공학부****, 성균관대학교 정형외과*****

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a Multi-joint rehabilitation system (CMRS : C&R Lab. Multi-joint Rehabilitation System). This study presents the mechanism of rehabilitation system that enables rehabilitation of multi-joint with kinematical analysis for joints of human body. Also, the relative positioning between human subjects and the head part to rehabilitate for the mechanism is based on robotics and anatomy. This study was verified with simulations. Finally, Automation of positioning was realized. Rehabilitation exercises in passive mode were enabled with the results.

Key Words : Robot(로봇), Rehabilitation(재활)

1. 서론

삶의 질이 향상되면서 여가선용을 위한 스포츠 활동이 증가하고 있으며, 스포츠 활동시 발생될 수 있는 갑작스러운 운동과잉에 의한 정형외과적 질환이 증가하고 있다. 이러한 뇌졸중이나 스포츠 활동으로 인해 발생하는 정형외과적 질환의 경우 재활 치료를 위한 방법이 매우 중요하며, 회복기간을 단축하기 위해서 지속적인 연속운동과 다양한 재활 훈련이 필요하다[1][2][3].

일반적으로 물리치료사가 환자를 직접 치료하는 방법이 대부분이었으나, 근래에는 산업용 로봇을 치료에 적용하는 방법[4]과 다양한 기구 및 로봇에 의한 치료가 적용되고 있다.

이전의 연구를 보면 두 개의 로봇 팔을 이용하여 무릎관절을 위한 CPM(Continuous Passive Motion) 기구장치를 개발하여 재활 및 스포츠 손상을 위한 치료에 적용하였으며[5], 2 자유도의 공압 고무 인공근육기구를 이용한 치료로봇을 개발하여 상지재활에 이용하는 방법이 개발되었으며[6], 또한 ARM(assisted rehabilitation and measurement) 가 이끄는 뇌 손상 후 상지의 관절의 움직임에 대한 운동범위의 회복을 위하여 재활 및 운동 평가를 실험을 통해 분석하는 장치로 개발 되었다[7].

위의 각 장치들은 상지 또는 하지의 특정한 관절에 대해서만 재활운동이 가능하게 개발되어 다른

관절에 적용은 어려운 형편이다. 본 논문의 목적은 이러한 단점을 보완하기 위하여 각 관절에서 이루어지는 다양한 재활운동을 하나의 시스템으로 통합하여 자동 위치 조정이 가능한 장치인 CMRS(C&R Lab. Multi - joint Rehabilitation System)을 개발함에 있다.

따라서 본 논문에서는 인체의 상지 및 하지에 대한 기구학적 특성을 조사하여 각 관절의 회전 특성 및 좌표관계를 연구하였으며, 이러한 기구학적 특성을 이용하여 재활운동에 알맞은 메커니즘을 제시하고 다양한 재활 부위와 이를 운동시키는 헤드부의 위치관계를 조사하였다. 또한 헤드부의 기구학 해석을 통하여 다관절 재활에 필요한 기구를 설계하였으며, 시뮬레이션을 통하여 안정되고 편리한 위치 조정을 위한 베이스프레임을 제시하였다. 또한 장치 및 프레임의 치수를 선정하고, 위치조정의 자동화를 구현하였다.

2. 기구학적 해석

2.1 Body Segment

인체의 관절에 대한 기구학적 특성을 조사하기 위해 치골(Pubis)을 중심으로 상지와 하지의 좌표 및 관절 사이의 길이를 나타내었다. 상지 관절의 어깨는 각각의 Z 축으로 회전하는 3 자유도로 구성되어 있으며, 팔꿈치는 Z 축 방향으로 1 자유도의

회전, 손목은 각 Z 축으로 회전하는 3 자유도로 구성된다. 또한 하지 관절 중 고관절은 3 자유도, 무릎은 1 자유도 발목은 3 자유도로 구성되어 있다. 모든 자유도는 회전운동에 관한 자유도이며, (Table 1 과 Table 2)에서 나타낸 D-H Table 을 이용하면 치끝을 기준으로 각 관절의 변환행렬을 구할 수 있으며, 각 관절이 운동시 기준위치(치끝)에 대한 관절의 상대 운동위치를 구할 수 있다.

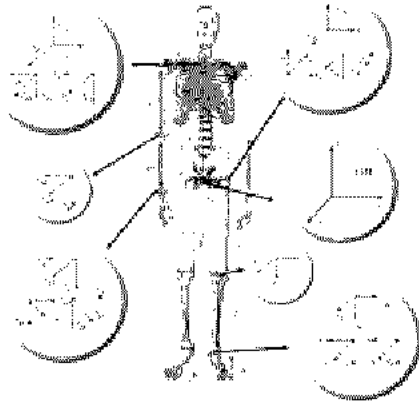


Fig. 1 Modeling of human body

Table 1 D-H Table for Upper limb

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	0	0	l_{u1}	θ_2
3	0	l_{u2}	0	θ_3
4	-90°	0	0	θ_4
5	90°	0	0	θ_5
6	0	l_{u3}	0	θ_6
7	0	l_{u4}	0	θ_7
8	-90°	0	0	θ_8
9	90°	0	0	θ_9

Table 2 D-H Table for Lower limb

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	90°	0	0	θ_1
2	0	l_{l1}	0	θ_2
3	-90°	0	0	θ_3
4	-90°	0	0	θ_4
5	0	l_{l2}	0	θ_5
6	0	l_{l3}	0	θ_6
7	-90°	0	0	θ_7
8	90°	0	0	θ_8

2.2 재활기구

2.2.1 헤드부

재활운동장치는 재활 운동을 구현하는 헤드부와 환자의 위치를 조정하는 의자부로 구분할 수 있다. 각 장치들은 운동에 따라 알맞은 위치로 조정되어 지고, 각 장치들의 구동 시 환자나 치료사의 편리함을 고려하여야 하며, 또한 본 논문에서 제시한 하나의 재활 장치를 이용하여 다 관절을 재활할 수 있도록 고안되어야 한다.

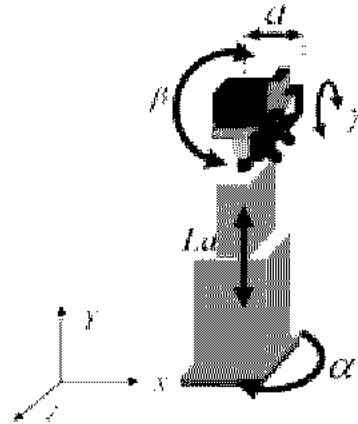


Fig. 2 Head part

(Fig. 2)는 재활 운동을 위한 자유도를 포함하는 전체 4 자유도 시스템이다. 하단 첫 번째 링크는 α 와 같이 헤드부의 기준 프레임에서 Y 축에 관한 회전을 갖고, 두 번째 링크는 Y 축에 관한 La 만큼의 길이 조정이 가능하며, 링크 말단 부분은 재활 운동에 따라 회전 중심의 각을 조절 할 수 있는 β 의 회전이 Z 축을 중심으로 이루어 진다. γ 는 신체 구속 장치를 헤드부에 장치하여 관절 재활 운동을 시키는 X 축 방향의 회전이다. 다음과 같이 설계한 헤드부의 기구학적 해석을 통하여 D-H Table(Denavit - Hartenberg Parameter)을 구하였으며(Table 3), 각 프레임에 대한 Transformation matrix 를 구하면 다음과 같다[8].

Table 3 D-H Table for Actuator part

	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	-90°	0	0	θ_1
2	0	0	l_a	θ_2
3	90°	0	0	θ_3
4	90°	0	0	θ_4
5	0	0	a	0

여기서 $L_a = l_{a1} + l_{a2}$, $\theta_2 = 0$

고정된 속도의 움직임, 기구의 위치에 따라 다양한 설치 및 부품 교체 용의성이 우수한 교류전동기 (AC Motor)를 사용하였다.

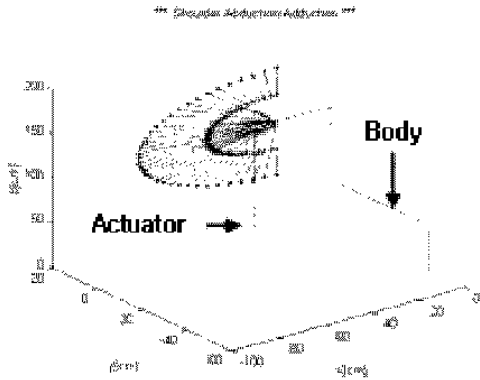


Fig. 4 Shoulder Abduction/Adduction

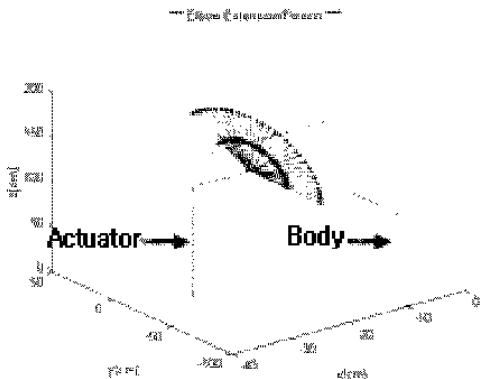


Fig. 5 Elbow Extension/Flexion

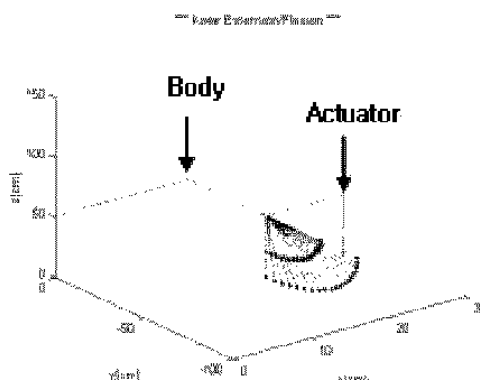


Fig. 6 Knee Extension/Flexion

그리고 모터 드라이버를 제어하기 위한 기본적인 신호와 모터의 구동에 관련된 위치, 속도, 토크 명령을 전달하는 인터페이스가 필요한데 본 연구에서는 기본적인 제어기의 역할을 수행 할 수 있으며 다축 구동을 PC 로 제어할 수 있도록 지원하는

MMC(Multi - Motion Controller) Board 를 사용하였다.

앞에서 언급한 기구부는 다음 그림과 같다



Fig. 7 CMRS (C&R Lab. Multi-joint Rehabilitation System)

4.2 신호 흐름도

일정한 속도에서의 운동(Passive Motion Excise) 은 각 재활운동에 정의된 각도범위를 일정한 속도로 운동함으로써 뇌 손상 환자 등 신체에 대한 통제능력이 없는 사람들에게 지속적인 운동을 시켜줌으로써 회복 시간을 단축 할 수 있다.

프로그램의 흐름은 다음과 같다. 일정한 속도의 운동을 선택하여 프로그램이 가동되면 PWM 을 이용하여 속도 및 위치를 프로그램 상에서 지정하게 되고, Motor Driver 를 Step Mode 로 설정하고, PID Controller 에 의해 실시간으로 Tuning 을 하게 된다. 이때 Pulse 를 계산하여 Motor 의 Position 을 측정(①)하고, 움직임에 대한 정상 및 비정상임을 확인하여, 비정상일 경우 허용 범위 안에서 정상 움직임으로 수렴하기 위해 Tuning 을 하게 되며 허용 범위를 벗어 날 경우 프로그램이 강제 종료된다. 그리고, Motor 의 방향을 제시(②)하고, 목표지점에 도달하게 되면 방향을 반대로 바꾸어 처음 위치로 도달하는 움직임을 반복하게 된다.

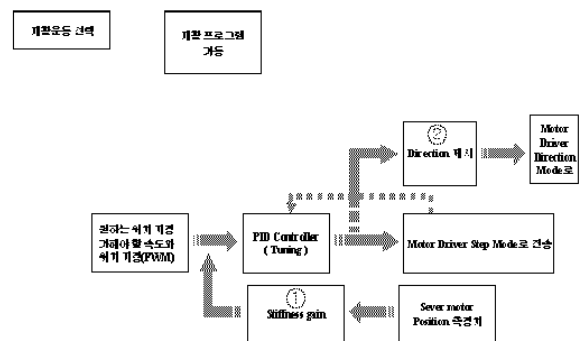


Fig. 8 passive mode

4.3 운동구현

제작된 운동 장치를 평가하기 위하여 다음과 같은 운동을 구현하였다.

Shoulder Extension / Flexion은 Actuator 의 구동 장치 회전 부분과 인체의 상지(팔)의 어깨 회전 부위가 일치하게 설정하고, 주어진 운동범위 (Shoulder Extension : $180^{\circ} \sim 0^{\circ}$, Shoulder Flexion : $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$)에서 운동을 구현하였다.

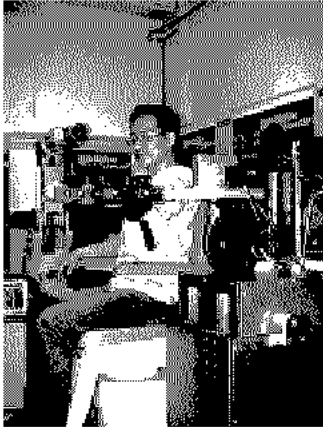


Fig.9 Shoulder Extension / Flexion

위와 같은 방법으로 대표적인 몇가지의 재활운동에 관하여 구현하였다.

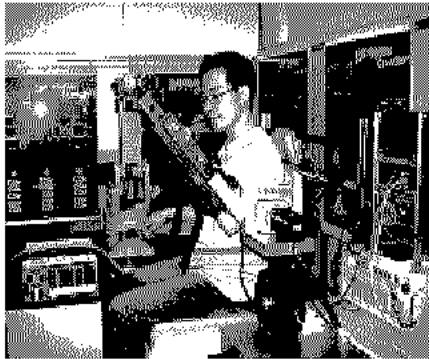


Fig.10 Elbow Extension/Flexion

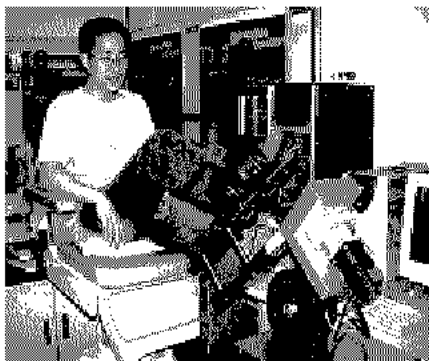


Fig. 11 Ankle Inversion/Eversion

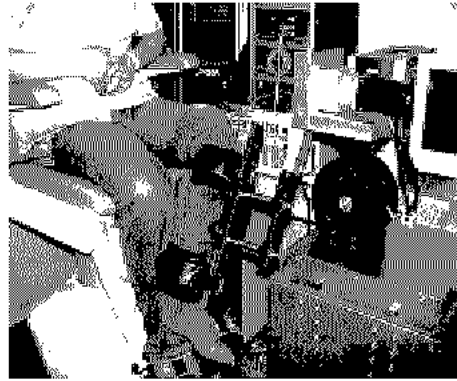


Fig.12 Hip Internal / External Rotation

Fig.9 부터 Fig.12 까지의 재활운동에서 보이는 것처럼 제작된 운동장치가 상지(팔) 및 하지(다리) 모두에 재활운동이 가능함을 알 수 있다.

5. 결론

기존의 특정한 관절을 위한 장치들의 단점을 보완하고 다양한 관절 운동을 구현하는 시스템인 CMRS(C&R Lab. Multi - joint Rehabilitation System)를 개발하였다. 인체 모델링 및 기구학적 해석을 통하여 하나의 시스템 안에서 다양한 관절 재활운동이 가능한 기구가 개발 되었다. 개발된 CMRS 의 관절 및 운동의 종류와 형태에 따른 구현을 위한 연구가 진행 중이며, 임상적 운동 평가가 진행 될 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 :R01-2003-000-11635-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 정현채, " 운동제어의 재활치료의 적용", 한국 특수체육학회지, 8 권, 2호, pp. 35-43, 2000.
2. 배성수, 김상수, 최재원, " 등속성 운동에 관한 고찰", 대한물리치료학회지, 11 권, 2 호, pp. 103-209, 1999.
3. 안종국, 김병성, " 뇌졸중 환자의 기능평가에 대한 연구", 인체의학, 13 권, 1호, pp. 83-96, 1992.
4. 원주연, 심형준, 한창수, " 로봇을 이용한 상지 재활 시스템에 관한 연구", 의공학회지, Vol.

- 24, No.4, 309-318, 2003.
5. Davood Khalili, Michael Zomlefer, "An Intelligent Robotic System For Rehabilitation of Joints and Estimation of Body Segment Parameters" IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.35, No. 2, 1988.
 6. Toshiro Noritsugu, Toshihiro Tanaka, "Application of Rubber Artificial Muscle Manipulator as a Rehabilitation Robot", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol.2, N0.4, 1997.
 7. David J. Reinkensmeyer, Julius P. A. Dewald, William Zev Rymer, "Guidance-Based Quantification of Arm Impairment Following Brain Injury: A Pilot Study", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.7, No.1, 1999.
 8. John J. Craig, "Introduction to robotics mechanics and control", Second edition, pp.40-82, Addison Wesley, 1989.
 9. William E. Prentice, "Rehabilitation Techniques in Sports Medicine", second Edition, Mosby.