

상지 근력 증강을 위한 외골격 로봇의 동작기법 연구

최재흥*, 오성남*, 추경호*, 손영익*, 김갑일*
명지대*

A Study on the Exoskeleton Robot Operations to Assist the Upper Limbs Power

Jae-Heung Choi*, Seong-Nam Oh*, Kyong-Ho Chu*, Young-Ik Son*, Kab-Il Kim*
Myongji University*

Abstract - 상체 지원 외골격 로봇은 크게 인간의 근력을 보조하는 형태와 인간의 근력을 증강하는 형태가 있다. 여기서는 인간의 근력을 증강하는 외골격 로봇을 중심으로 기술하고자 한다. 이러한 외골격 로봇은 팔의 EMG (Electromyograph;근전도) 신호를 측정하는 방법보다는 손의 힘을 직접 감지하는 방법을 통한 팔꿈치와 어깨의 액추에이터를 구동하는 방식을 취하는 경향이 있다. 본 논문에서도 후자의 방식을 이용하여 손에 작용하는 힘을 분석하여 외골격 로봇을 움직이는 방식을 취하였다. 손의 힘 중에서도 인간을 중심으로 볼 때 위방향과 전진방향의 힘을 분석하기 위하여 2개의 F/T(Force/Torque) 센서를 사용하였으며 팔을 벌리는 동작은 액추에이터 없이 자유롭게 동작이 가능하도록 설계하였다. 이러한 위방향 및 전진방향 힘의 크기를 팔꿈치와 어깨의 액추에이터의 동작으로 바꾸어 인간의 동작을 도울 수 있고 힘을 증폭할 수 있는 외골격 로봇을 설계 제작하였다. F/T 센서는 손의 힘을 전기적 신호로 바꾸어주는 로드셀로 이루어지며 손의 힘을 최대한 잘 반영하기 위한 구조를 고안하였다. F/T 센서의 전기신호는 증폭기를 거쳐서 잡음을 제거한 후에 A/D 변환하여 processor에서 처리되어진다.

1. 서 론

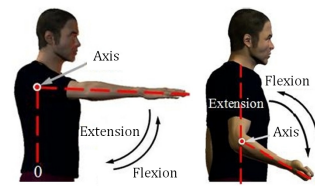
외골격 로봇은 인체 관절을 모방하여 인간과 로봇의 동기화를 이용한 착용형 로봇이다. 이러한 외골격 로봇은 상체 지원 외골격 로봇과 하체 지원 외골격 로봇이 있다. 본 논문에서는 상체 지원 외골격 로봇에 대해 다루고자 한다.[1] 상체 지원 외골격 로봇은 크게 두 가지의 형태로 나뉘어 연구가 진행되고 있다. 하나는 노약자의 근력을 보조하거나, 재활을 돕는 목적의 근력 보조 형태의 외골격 로봇이고, 다른 하나는 무거운 무기를 들거나, 군장을 메는 군인들의 힘을 증강시켜주는 목적의 근력 증폭 형태의 군사용 외골격 로봇이다.[4] 노약자를 위한 근력보조용 로봇은 대표적으로 일본 츠쿠바 대학의 HAL[Hybrid Assistive Leg] 등이 있으며, 근력증폭용 로봇은 대표적으로 록히드 마틴사의 HULC(Human Universal Load Carrier)등이 있다.

이러한 상체 지원 외골격 로봇의 구동방법은 팔의 EMG 신호를 측정하는 방법과 손의 힘을 직접 감지하여 제어하는 방법이 있다. EMG 신호를 측정하는 방법은 사람의 근육에 부착된 EMG 센서를 통해 근전도 값을 측정하여 외골격 로봇을 제어한다. EMG 센서는 비교적 가격이 비싸고, 측정하는 사람마다 근전도 값이 달라지는 단점으로 인해서 사용하기 어려움이 있다. 이에 반해 손의 힘을 직접 감지하는 방법은 로드셀을 이용한 F/T 센서를 로봇에 부착하여 가해지는 힘을 측정하기 때문에, EMG 센서보다 높은 신뢰성을 가지며 가격도 저렴한 장점이 있어 더 많이 사용되어지고 있다. 본 논문에서는 이러한 F/T 센서를 이용한 근력 증폭용 상체지원 외골격 로봇을 설계 및 제작하였다. 외골격 로봇은 손의 힘만을 이용하여 팔꿈치와 어깨의 동작이 이루어진다. 따라서 착용자에 의한 힘을 측정하기 위해, 외골격 로봇의 손 끝부분에 F/T 센서를 장착했다. 가해지는 방향과 힘을 측정하기 위해서는 구조설계가 중요하다. 이러한 F/T 센서는 손의 힘을 분석하여 최대한 힘을 잘 반영하도록 고안하였으며, 이를 바탕으로 F/T 센서를 2축으로 구성하였다.[3] 이 F/T 센서는 앞, 뒤 방향과 위, 아래 방향의 힘을 측정이 가능하다. 외골격 로봇의 동작을 결정하기 위해서, 인간의 상지 동작을 분석하였으며, 각 액추에이터에 장착된 포텐시옴터(Potentiometer)를 통해 얻어진 각 관절의 각도 값과 F/T 센서로 측정된 힘과 방향을 통해 움직임을 결정한다. 이러한 외골격 로봇은 센서를 팔에 부착한 외골격 로봇에 비해 착용이 용이하고, 동작이 쉬우며, 적은 힘으로도 물건을 쉽게 들 수 있다. 본 연구에서는 외골격 로봇 착용 실험을 통해 우수한 성능을 확인하고자 한다.

2. 본 론

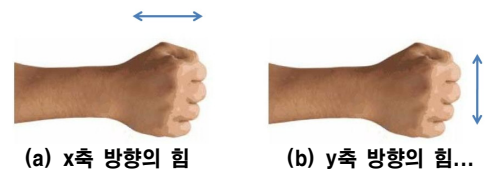
2.1 손의 힘과 팔의 동작 분석

상지 근력 증강을 위한 외골격 로봇 설계를 위해서 인간의 동작을 <그림 1>로 정의한다. <그림 1>은 인간의 어깨관절과 팔꿈치 관절의 굽히고 펴는 동작을 나타낸 그림으로, 사람이 물건을 들 때 주로 사용되는 동작이다. 어깨 관절과 팔꿈치 관절의 움직임 조합을 통해 물건을 드는 동작을 구현할 수 있다.



<그림 1> 본 연구에서 사용한 동작

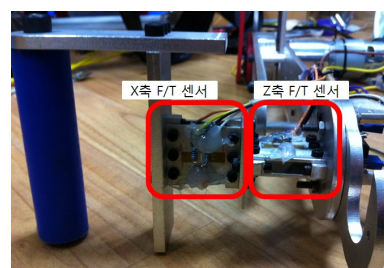
외골격 로봇의 손끝에 부착하기 위한 F/T 센서는 손의 힘을 반영하기 때문에 구조결정이 중요하다. 이러한 구조를 결정하기 위해서 손에 의해 작용하는 힘 분석이 필요하다. 외골격 로봇의 움직임을 구현하기 위해 필요한 손의 동작은 <그림 2>와 같다. (a)는 손을 기준으로 전진 방향 및 후진방향으로 가해지는 힘을 나타낸 것이고, (b)는 손을 기준으로 위 방향 및 아래 방향으로 가해지는 힘을 나타낸 그림이다. 손의 힘과 방향을 측정할 수 있도록 설계된 F/T 센서를 이용하여 <그림 2>의 손의 동작으로 <그림 1>의 동작을 구현할 수 있다.



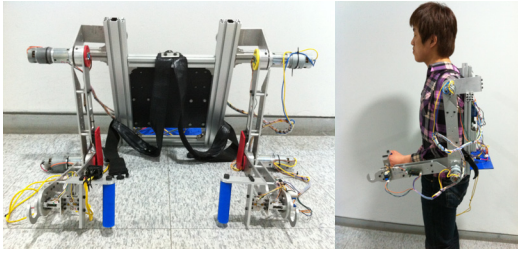
<그림 2> 손의 힘 분석

2.2 F/T 센서의 설계 및 제작

앞서 분석한 손에 의해 작용하는 <그림 2>와 같은 힘을 측정할 수 있도록 F/T 센서를 설계했다. 서로 다른 축의 힘을 측정하기 위해서 2축의 구조로 설계 하였으며, 스트레인 게이지(Strain gage)를 사용했다. 스트레인 게이지는 2개가 1Set으로 구성이 되며, 1축에 2Set가 사용되었다. <그림 3>은 외골격 로봇에 장착된 F/T 센서를 나타낸 것이다. x방향과 z방향의 두 방향을 측정하도록 서로 엇갈리게 부착했으며, F/T 센서는 외골격 로봇과 손잡이 사이에 장착 되어진다. 이러한 구조는 부하의 변동에도 F/T 센서 값은 변하지 않으며, 착용자가 외골격 로봇을 착용하여 손잡이를 잡고 힘을 가했을 때만 변형이 측정된다. 따라서 부하에 독립적인 구조라 할 수 있다.



<그림 3> F/T 센서의 구조

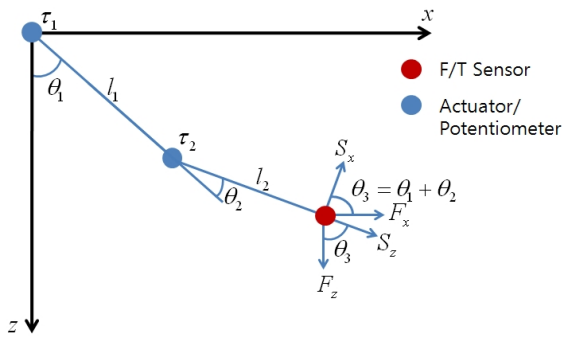


〈그림 4〉 제작된 외골격 로봇

〈그림 4〉는 제작된 외골격 로봇의 모습과 사람이 외골격 로봇을 착용한 모습이다.

2.3 동작기법

〈그림 5〉는 외골격 로봇에 가해진 사람의 힘을 나타낸 것이다. S_z 와 S_x 는 F/T센서에 의해 측정된 힘을 나타내며, F_z 와 F_x 는 좌표변환을 통한 z 축 및 x 축 방향의 힘을 나타낸다. l_1 과 l_2 는 링크의 길이, τ_1 과 τ_2 는 각 액추에이터에 가해지는 토크를 나타낸 것이다. θ_1 과 θ_2 는 어깨와 팔꿈치의 각도를 나타낸다.



〈그림 5〉 외골격 로봇에 가해진 힘

$$z = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_3 \quad (1)$$

$$x = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_3 \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)는 외골격 로봇 끝 부분의 z , x 의 좌표를 나타내며, 이 식을 이용해서 자코비안을 구할 수 있다.[2]

$$dz = \frac{\partial z}{\partial \theta_1} d\theta_1 + \frac{\partial z}{\partial \theta_2} d\theta_2 \quad (3)$$

$$dx = \frac{\partial x}{\partial \theta_1} d\theta_1 + \frac{\partial x}{\partial \theta_2} d\theta_2 \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)는 위에서 구한 식 (1)과 식 (2)를 θ_1 과 θ_2 에 대하여 편미분하여 식 (5)와 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} dz \\ dx \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_1 \sin \theta_1 - l_2 \sin \theta_3 & -l_2 \sin \theta_3 \\ l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_3 & l_2 \cos \theta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\theta_1 \\ d\theta_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)를 통해서 구한 자코비안은 식 (6)이며, 식 (7)은 자코비안의 전치행렬을 나타낸 것이다.

$$J = \begin{bmatrix} -l_1 \sin \theta_1 - l_2 \sin \theta_3 & -l_2 \sin \theta_3 \\ l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_3 & l_2 \cos \theta_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$J^T = \begin{bmatrix} -l_1 \sin \theta_1 - l_2 \sin \theta_3 & l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_3 \\ -l_2 \sin \theta_3 & l_2 \cos \theta_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

센서에 가해진 z 방향과 x 방향의 힘 F_z 와 F_x 는 다음 식 (8)과 식 (9)로부터 구해진다.

$$F_z = S_z \cos \theta_3 - S_x \sin \theta_3 \quad (8)$$

$$F_x = S_z \sin \theta_3 + S_x \cos \theta_3 \quad (9)$$

각 액추에이터에 가해지는 토크는 자코비안(Jacobian)과 힘을 이용하여 구할 수 있다. $\tau = J^T F$ 이므로 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\tau_1 = (-l_1 \sin \theta_1 - l_2 \sin \theta_3) F_z + (l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_3) F_x \quad (10)$$

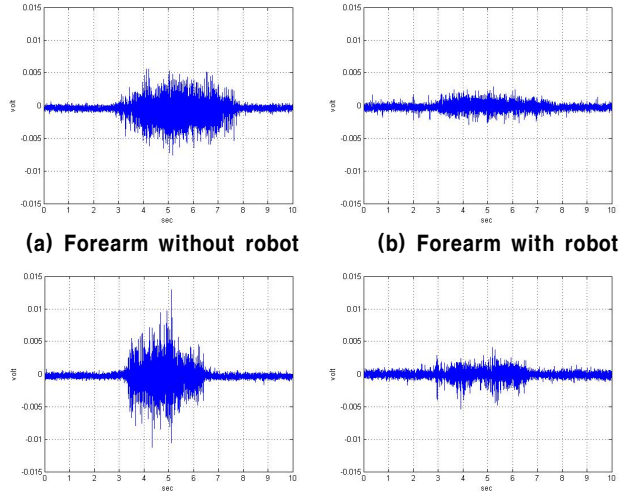
$$\tau_2 = (-l_2 \sin \theta_3) F_z + (l_2 \cos \theta_3) F_x \quad (11)$$

식 (10)과 식 (11)는 가해진 z , x 방향의 힘에 대해 어깨와 팔꿈치에 가해지는 토크를 나타낸 것이다. τ_1 은 어깨에 가해진 토크, τ_2 는 팔꿈치

에 가해진 토크이다. 이렇게 구해진 τ_1 , τ_2 를 이용하여 각 모터의 제어량을 조절하여 외골격 로봇의 움직임을 제어할 수 있다.

2.4 실험

본 연구에서 설계 및 제작한 외골격 로봇을 착용하여 실험을 진행했다. 실험은 외골격 로봇을 착용하지 않고 3Kg의 추를 들었을 때와 외골격 로봇을 착용한 후 추를 들었을 때 EMG신호를 비교했다.



(a) Forearm without robot (b) Forearm with robot
(c) Upper arm without robot (d) Upper arm with robot

〈그림 6〉 EMG Signal

〈그림 6〉는 EMG Signal을 나타낸다. (a)는 외골격 로봇을 착용하지 않고 추를 들었을 때, 팔의 하박에서 측정된 신호이고, (b)는 착용 후에 팔의 하박에서 측정된 신호이다. (c)는 로봇을 착용하지 않고 추를 들었을 때, 팔의 상박에서 측정된 신호이고, (d)는 로봇을 착용하지 않고 추를 들었을 때, 팔의 상박에서 측정된 신호이다. 실험결과 외골격 로봇을 착용 했을 때가 착용하지 않았을 때 보다 더 적은 힘으로 물건을 들 수 있는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구는 근력증강을 위한 상체 지원 외골격 로봇의 동작기법을 제안하였다. 외골격 로봇은 2축의 F/T 센서를 이용하여 손의 힘을 직접 감지하는 방식을 사용하였으며, 이를 통해 각 모터에 가해지는 토크를 계산하여 움직임을 제어하도록 했다. F/T 센서는 손의 힘을 최대한 잘 반영하기 위한 구조로 설계하였고, 실험을 통해서 무부하 일 때와 부하가 존재할 때의 성능을 확인하였다. 본 연구에서 사용된 F/T센서는 일체형이 아닌 조립형 구조로 되어있어, 센서 값 측정의 오차가 발생하는 현상을 발견 할 수 있었다. 향후에는 본 연구를 토대로, F/T 센서의 오차를 줄이기 위해서, 개선된 구조의 F/T 센서를 적용한 외골격 로봇을 구현할 계획이다.

감 사 의 글

본 연구는 한국과학기술원 국방무인화기기술 특화센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] R. A. R. C. Gopura and K. Kiguchi, "Mechanical Design of Active Upper-Limb Exoskeleton Robots", Proceeding of IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, pp. 178-187, 2006.
 [2] H. Asada and J. -J. E.Slotine "Robot Analysis and Control", Wiley-Interscience, 1986.
 [3] 오성남, 이겸수, 손영익, 김갑일, "이족 보행 로봇용 ZMP 센서 시스템 설계", CICS'09 논문집, pp.170-171, 2009.
 [4] 이희돈, 김환수, 유승남, 이병규, 한정수, 한창수, "인간-로봇 상호작용을 이용한 상지 외골격의 착용자 동작도 획득기법", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp.959-960, 2010.