

상지의 작업공간을 고려한 착용형 로봇의 설계 - Part 1

Design of Wearable Robot for Motion Range of Upper-Limb - Part 1

*이영수¹, 장혜연¹, 홍성준¹, #한창수¹, 한정수¹
 *Y. S. Lee¹, H. Y. Jang, S.J. Hong, #C. S. Han, J. S. Han
¹ 한양대학교 기계공학과, ² 한성대학교 기계시스템공학과

Key words : Wearable Robot, Workspace, Optimization, Exoskeleton

1. 서론

최근 국내외에서 활발하게 연구가 진행되고 있는 착용형 로봇을 살펴보면 상지근력의 보조 및 대체, 하지근력의 보조 및 대체, 상하지 전체의 근력을 보조 및 대체해주는 형태로 나누어 볼 수 있다. 상지근력을 보조해 주는 로봇으로는 미국의 H. Kazerooni 가 1990 년도부터 지속적인 연구를 통하여 상지의 근력을 증폭해 주는 로봇을 연구하였으며, 스위스의 HOCOMA 사에서 연구한 ARME, SARCOS 사가 XOS 라는 외골격을 개발하였다. 하지근력을 보조해주는 로봇으로는 역시 미국의 H. Kazerooni 가 개발한 BLEEX(Berkeley Lower Extremity Exoskeleton)와 일본에서 개발되어 상용화 준비에 들어간 HAL, 이스라엘의 Rewalk 등 다양한 목적 및 형태로 개발되어 있는 실정이다. 국내의 대표적인 착용형 로봇으로는 한양대학교의 HEXAR 를 들 수 있으며, 상지와 하지의 통합시스템으로 이루어져 있으며, 시스템이 분리가 가능하여 상지와 하지를 독립적으로 구동할 수 있다. 본 연구에서는 HEXAR 시리즈의 일환으로 노약자를 위한 상지의 착용형 로봇인 HEXAR-Rehab 버전을 설계함에 있어서, 착용자의 상지 작업공간을 고려한 착용형 로봇의 설계를 목적으로 하여 연구를 진행하였다.

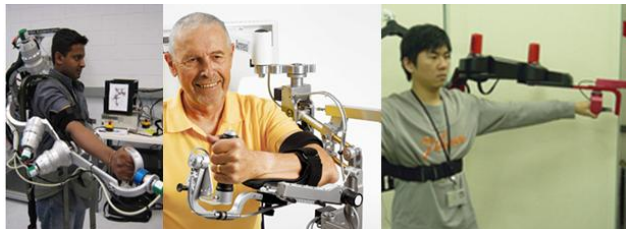


Fig. 1 Trend of Wearable Robot for Upper-arm

2. Human ROM(Range of Motion)

어깨관절을 보면 위팔뼈(Humerus)와 어깨뼈(Scapula)에 의해 연결되어 있으며 여러 근육들에 의해 어깨 관절의 신전/굴곡(extension/flexion), 외전/내전(abduction/adduction), 내회전/외회전(internal/external rotation)이 이루어진다. 또한 위팔뼈와 어깨뼈사이에는 볼-소켓 조인트(Ball-socket joint)의 형태로 구성되어 있으며, 일반적으로 착용형 로봇의 설계시 어깨 관절의 구조를 볼-소켓 조인트의 형태로 가정하여 연구를 진행하고 있다. 팔꿈치 관절을 살펴보면 요골(Radius)와 척골(Ulna), 위팔뼈(Humerus)로 이루어져 있으며 일반적으로 힌지 조인트(Hinge joint)의 형태로 가정하고 연구를 진행하고 있으며, 본 연구에서도 어깨관절과 팔꿈치 관절을 조인트의 형태로 가정하고 진행하였다.

Table 1 ROM(Range of motion) of Upper Extremity

Joint	Motion	Range of motion
Shoulder Joint	Flexion	0°~180°
	Extension	0°~50°
	Abduction	0°~180°
	Adduction	180°~0°(0°~75°)
	Internal Rotation	0°~90°
	External Rotation	0°~90°
Elbow Joint	Flexion	145°~0°
	Extension	0°~145°

이러한 사람의 어깨 및 팔꿈치 관절에 대하여 능동적 가동 범위(ROM : Range of Motion)을 살펴보면 Table 1 과 같으며, 이러한 범위를 고려하여 어깨관절 조인트를 중심으로 하는 회전반경을 구로 보았을때 아래쪽의 1/8 구면을 착용형 로봇의 작업공간으로 정의하여 연구를 진행하였다.

3. Design of Shoulder & Elbow Part

볼-소켓 조인트로 가정한 어깨관절에 대하여 로봇과 착용자의 인터페이스 부위를 작용점으로 하여 로봇의 기구학 해석을 실시하였다. 여기에서 어깨관절의 3 자유도에 대하여 다양한 방위와 원활한 동작수행을 위하여 여분의 매니플레이터를 추가고 로봇의 작용점과 인터페이스 부분의 위치와 방위의 오차가 최소화 되도록 최적화방법을 이용하여 각 회전축간의 각도를 설정하고, 각 각도에 맞추어 링크의 길이를 설정해 주었다. 여기에서 기본적으로 어깨관절의 모든 구동부의 회전 중심축은 볼-소켓 조인트의 중심을 지나며, 각 링크들의 회전시 구동부와 링크사이의 간섭이 발생하지 않도록 구동부를 배치하였다. 최적화방법을 이용할 때 각 구동부사이의 각을 α, β, γ 로 설정하고 목적함수와 구속조건들은 아래의 식과 같다.

Object function :

$$\begin{aligned} \beta(y\text{-axis rotation angle}) &= \text{Atan2}(-r_{31}, \sqrt{r_{11}^2 + r_{21}^2}) \\ \alpha(x\text{-axis rotation angle}) &= \text{Atan2}(r_{21} / \cos \beta, r_{11} / \cos \beta) \\ \gamma(z\text{-axis rotation angle}) &= \text{Atan2}(r_{32} / \cos \beta, r_{33} / \cos \beta) \end{aligned}$$

Subject to :

$$\begin{aligned} g_1 &: \sqrt{(Px_{robot} - Px_{human})^2 + (Py_{robot} - Py_{human})^2 + (Pz_{robot} - Pz_{human})^2} \leq 0 \\ g_2 &: \sqrt{((\text{Atan2}(r_{31,robot}, \sqrt{r_{11,robot}^2 + r_{21,robot}^2}) - (\text{Atan2}(r_{31,human}, \sqrt{r_{11,human}^2 + r_{21,human}^2})))^2} \leq 0 \\ g_3 &: \sqrt{((\text{Atan2}(r_{21,robot} / \cos \beta, r_{11,robot} / \cos \beta) - (\text{Atan2}(r_{21,human} / \cos \beta, r_{11,human} / \cos \beta)))^2} \leq 0 \\ g_4 &: \sqrt{((\text{Atan2}(r_{32,robot} / \cos \beta, r_{33,robot} / \cos \beta) - (\text{Atan2}(r_{32,human} / \cos \beta, r_{33,human} / \cos \beta)))^2} \leq 0 \end{aligned}$$

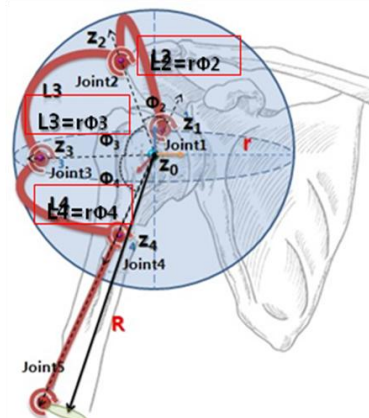


Fig. 2 Coordinate System for Optimization

팔꿈치 관절의 구동은 어깨관절과 달리 신전/굴곡(extension/flexion)의 1 자유도만을 고려하였으며, 처음의 가정과 같이 힌지조인트로 가정하였다. 원활한 움직임과 착용성의 향상을 위해 보조기를 부착하였으며, 팔꿈치의 내전/외전(pronation/supination)은 로봇의 움직임에 영향을 주지

않으므로 착용자와 로봇의 인터페이스 내에서 Passive 한 운동으로 정의하여 고려하지 않았다. 팔꿈치 관절은 움직일 수 있는 최대각도 145° 에서 보다 여유를 두어 120°의 관절각을 가질 수 있도록 디자인 하였다.

3. Kinematic Analysis

Table 3 D-H Table

	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	$\theta_1 + \theta_{B1}$
2	α_1	0	0	$\theta_2 + \theta_{B2}$
3	α_2	0	0	$\theta_3 + \theta_{B3}$
4	α_3	0	d_4	$\theta_4 + \theta_{B4}$

위의 요소들을 고려하여 설계한 외골격은 여자자유도 시스템으로 일반적인 역기구학(inverse kinematic)으로는 해결할 수 없다. 일반적으로 여자자유도 시스템을 해석할 때는 다양한 방법이 존재하지만 본 연구에서는 의사역행렬(Pseudo-Inverse Kinematics)을 사용하여 해석하였다.

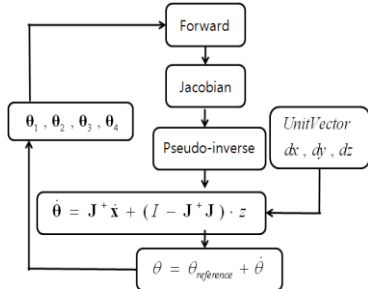


Fig. 3 Flow Chart of Kinematic Algorithm

여기서 위치의 변화량은 미소변위로 가정하고 0.001 이하로 설정하여 오차값을 최소화 하였으며, 시뮬레이션을 통해 임의경로를 생성하고 시뮬레이션의 결과와 위의 설계를 적용한 로봇을 실제 제작하여 비교하였다.

Table 2 The electronic specifications of the robot

Motor(DC)	90W, 4670mNm(stall torque), 0.697 (speed/torque gradient)
	50W, 822mNm(stall torque) 8.8(speed/torque gradient)
Harmonic Drive	CSD20-160 (160:1)
	CSD25-100 (100:1)
Encoder	HEDL 550
Motor Driver	4-Q-EC Amplifier(maxon)
Motion Controller	PCI-6722, PCI-6602, PCI-6281(NI)

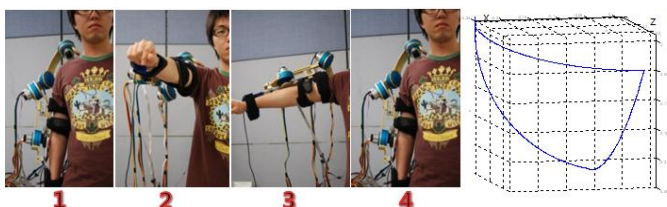


Fig. 4 Experiment of Trajectory

4. 결론

본 연구는 인간의 관절 작업공간을 고려하여 각 구동부 사이의 각도를 최적화 하고 상지 관절의 메커니즘을 모방하여, 어깨와 팔꿈치 관절의 거동을 보조할 수 있도록 설계하였다. 또한 링크 및 구동부의 간섭을 방지할 수 있도록 설계하였으며, 일반적인 어깨관절 3 자유도인 착용형로봇의 연구와 달리 여자자유도를 추가하여 4 자유도로 구성되어 착용자의 동작을 보다 부드럽고 원활하게 수행할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 진행한 HEXAR-Rehab 의 경우 노약자의 근력지원뿐 아니라 부상이나 수술로 인한 운동이 필요한 경우 CPM(Continuous Passive Motion)으로 활용할 수 있을 것이다. 제작된 하드웨어에 프로그램 제어를 통해 어깨 관절 구동부의 각도를 제한하고 인체 상지의 동작 의도 신호(intent signal)를 생성하여, 인간의 행위를 모방하며 노약자의 근력을 보조해 줄 수 있는 로봇의 알고리즘을 개발할 것이다.

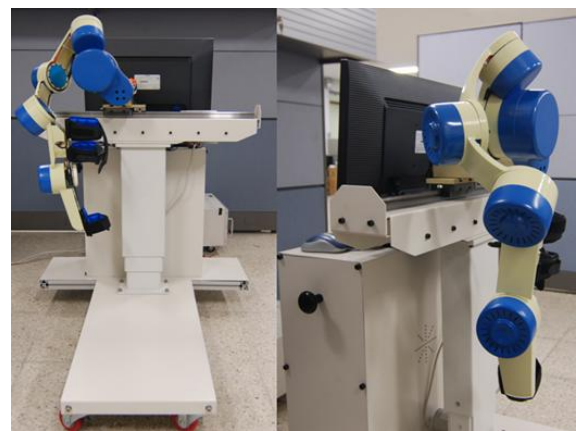


Fig. 4 HEXAR-Rehab

후기

위 사업은 2009 년 HYU 연구특성화사업으로부터 지원받아 연구되었음(HYU-2009-T).

참고문헌

- Jang, H. Y., Han, C. S., Kim, T. S., Jang, J. H. and Han, J. S., "Development of Wearable Robot for Elbow Motion Assistance of Elderly," Journal of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 141-146, 2008.
- Lee, Y. S., Jang, H. Y., Hong, S. J., Jang, J. H., Han, C. S. and Han, J. S., "Design of Wearable Robot Mechanism Simulating Shoulder Joint," Domestic Conference on KSME, pp. 293-294, 2008.
- HeeDon Lee, SeungNam Yu, SeungHoon Lee, JaeHo Jang, SungSoo Han, and ChangSoo Han, "Development of Command Signal Generating Method for Assistive Wearable Robot of the Human Upper Extremity," J. of Institute of Control, Robotics and Systems Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 176-183, 2009.
- Kazerooni, H. and Mahoney, S. L., "Dynamics and Control of Robotic System Worn by Humans," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2399-2405, 1991.
- Kawamoto, H. and Sankai, Y., "Comfortable Power Assist Control Method for Walking Aid by HAL-3," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 4, pp. 6-11, 2002.