

인간행위 모방을 위한 상지 외골격 로봇의 메커니즘 설계

Design of Exoskeletal Robot Simulating Human Upper Limb Behavior

*김태식¹, 장혜연¹, 장재호¹, 한창수², 한정수³

*T.S. Kim¹, H.Y. Jang¹, J.H. Jang¹, C.S. Han(cshan@hanyang.ac.kr)², J.S. Han³

¹ 한양대학교 대학원 기계공학과, ² 한양대학교 기계정보경영학부, ³ 한성대학교 기계시스템공학부

Key words : Exoskeleton, Upper Extremity, Shoulder Joint

1. 서론

본 논문은 인간의 근력 보조 및 증폭이나 감각장치(haptic device)를 위한 착용형 외골격 로봇의 어깨 관절 3자유도 구현 메커니즘에 관한 것이다. 이를 이용하여 근골격계 환자나 특수 임무 수행을 위한 군인, 건설현장에서 큰 힘을 필요로 하는 작업자 외에 여러 분야에서 상지 근력의 증폭이나 보조를 위하여 쓰이게 된다. 또한 관절과 근육의 움직임을 감지하여 사용자의 움직임을 판단하고 분석하여 가상현실 분야나 재활을 목적으로 하는 의료분야 등에서 쓰이는 감각장치(Haptic device)로 쓰일 수도 있다.

종래의 상지 외골격들은 팔꿈치 관절의 신전/굴곡(Flexion/Extension)의 1 자유도 운동과 함께 어깨 관절의 전상방거상/후방거상(Flexion/Extension)의 1자유도나 측상방거상 및 내전(Abduction/Adduction)을 포함한 2자유도의 외골격들이 주로 개발되어왔다. 이는 어깨 외골격의 구동을 위하여 구동기(actuator)를 설치할 때 3개 이상의 구동기를 설치하기에 공간적으로 무리가 있고, 각각의 구동기와 간섭을 일으키기 때문이다. 이러한 단점을 극복하고 외골격 어깨 관절의 3자유도를 구현한 메커니즘이 개발된 사례가 해외에서는 있지만 국내에서는 전무하며 해외에서 개발된 메커니즘 또한 인체와의 간섭을 고려하여 로봇의 구동부를 인체와 거리를 두도록 설계하여 외골격의 크기가 너무 커서 착용형 외골격 로봇에는 적합하지가 않다.

따라서 본 논문은 인체와의 간섭을 최소화 하고 팔꿈치 관절 1 자유도와 어깨관절 3자유도를 구현할 수 있는 총 4 자유도의 착용형 외골격 로봇의 상지 메커니즘 설계에 관한 것이다.

2. 개념 설계

실제 상세 설계를 하기 전에 개념설계를 통하여 다음과 같이 design factor를 정의하였다.

- ① 팔꿈치 1 자유도 및 어깨 관절 3자유도 구현
- ② 회전축과 구동축이 일치가 되고 직접적인 동력 전달
- ③ 관절 간의 링크의 조절이 가능한 메커니즘
- ④ 사용목적에 맞는 구동기 선정과 경량화

본 논문에 대한 연구에 앞서 사전 연구를 통해 팔꿈치 1 자유도에 대한 메커니즘과 제어 기법을 정의 하였으므로 팔꿈치 관절의 설계는 사전 연구를 통해 얻은 결과를 적용하여 설계하였다. 또한, 어깨 관절 3 자유도 메커니즘과 두 번째 design factor를 적용하기 위하여 어깨 관절부에 전상방거상/후방거상(Flexion-Extension), 측상방거상/내전(Abduction/Adduction)을 구현하고 상박(upper arm) 링크의 중간 부분에 내외회전(Internal-External rotation)을 구현할 수 있는 메커니즘을 설계하였다.

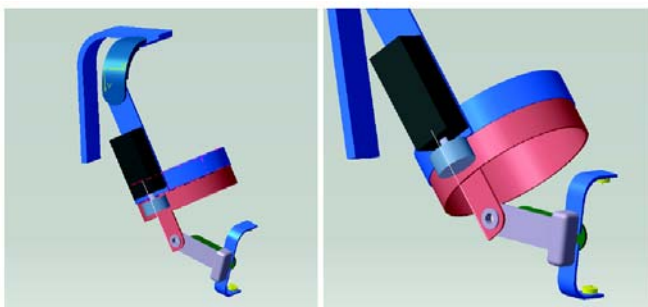


Fig. 1 Concept Design Ver. 1

Fig. 1과 같이 원형의 내외회전 구동 메커니즘을 두 번째 개념 설계에서는 인체와의 간섭을 고려하여 Fig. 2와 같이 실제 내외회전의 관절 운동 범위인 0° ~ 90°만 구현할 수 있도록 설계하였다. 또한 어깨 관절과 팔꿈치 관절간의 길이를 조절할 수 있도록 상박 링크를 두 개의 링크가 포개어지면서 길이를 변경시킬 수 있도록 설계하였다.

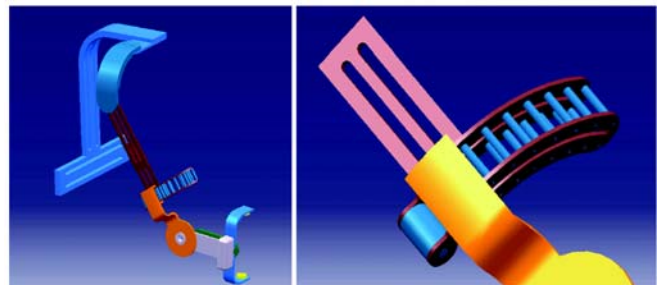


Fig. 2 Concept Design Ver 2.

3. 상세 설계

개념 설계를 통하여 얻은 design factor들을 만족하는 메커니즘을 구체화하여 상세설계를 진행하였다. 상세설계에서는 어깨 관절부에 하나의 자유도를 더 추가하여 총 4 자유도의 메커니즘으로 구성하였다. 이는 餘자유도를 두어 개념 설계에서의 구조가 갖는 singular point 발생 문제를 해결하고 제어를 수월히 진행하기 위해서이다. 이러한 어깨 관절의 메커니즘은 Fig. 3과 같이 3개로 구성된 ‘ㄱ’자의 링크를 연결하고 링크 관절의 회전축이 한 점에서 만나도록하여 이 점이 인체의 어깨 관절과 일치하도록 하였다. 또한 내외회전 구동 메커니즘도 Fig. 4와 같이 90°의 내외회전을 구현할 수 있도록 설계하였다.

또한 개념설계에서와 같이 상박 링크에 어깨관절과 팔꿈치 관절간의 길이를 조절할 수 있는 메커니즘을 적용하였으며 이러한 길이 조절의 범위는 노인의 신체 치수에 대한 통계적 자료를 바탕으로 하였다. 그 외 다른 부분의 설계에서도 신체치수에 대한 통계적 자료를 바탕으로 설계하였다.

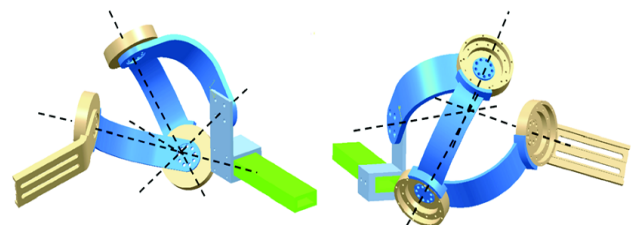


Fig. 3 Link Mechanism of the shoulder Joint



Fig. 4 Internal/External rotation mechanism

4. 강성설계를 위한 기구 구조 해석

상세설계를 이용하여 실제 시작품을 제작하기에 앞서 강성 설계를 위한 FEM(Finite Element Method) 해석을 수행하였다. 이 과정을 통하여 상세 설계에서 하중에 대하여 구조적으로 취약한 부분이 없는 지 최종 검증은 거친 후에 시작품 제작에 들어가게 된다. 해석을 수행함에 있어 기본 전제로 이용된 물성치들은 Table 1 과 같다.

Table 1 Material property for FEM Analysis

Material		Aluminum
Material Property	Young's Modulus	$7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
	Poisson Ratio	0.346
	Density	2710 kg/m^3
	Yield Strength	$9.5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Load		200 N

FEM 해석은 상세 설계의 모든 링크와 부품에 적용하여 수행하였다. 또한 가반 하중 10 kgf를 기준으로 안전성을 고려하여 두 배의 하중이 링크에 가해진다고 가정 한 후, 각 링크별 하중에 취약한 부분만을 선택하여 FEM 해석을 수행하였다. 상세 설계의 각 파트에 대하여 해석을 수행하였으며, 그 중 상박 링크(upper arm link) 부분을 해석한 결과 Fig. 5와 같이 Z 축 방향으로의 하중에 대하여 항복강도(Yield Strength)가 기준 항복강도를 초과하므로 소성변형을 일으킨다고 할 수 있다. 따라서 설계 변경을 통하여 기준 하중에 대하여 소성변형이 없도록 하였다.

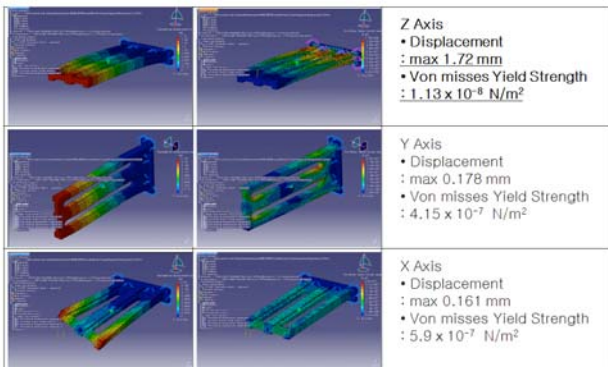


Fig. 5 Result of upper arm FEM Analysis

. imulation

상세 설계에 대하여 최종적인 설계 검증을 위하여 동작 범위에 대한 simulation을 진행하였다. Simulation은 kinematics 해석을 통하여 진행되었으며 Fig. 6과 같이 정의된 동작 범위를 설계된 로봇의 관절이 적절한 동작범위 내에서 동작하는지를 확인하였다. Inverse kinematics를 통하여 정의된 동작 범위에 따른 말단 효과장치(End-effector)의 좌표에 대한 각 관절의 각도를 산출하였다. Fig. 7과 같이 시뮬레이션 결과를 통하여 특정 동작 범위에 대하여 singular point가 발생하는 것을 확인하였다. 그러나 이러한 로봇의 singular point는 제어를 통하여 충분히 제거될 수 있으므로 최종 설계된 로봇이 정의된 작업범위를 충분히

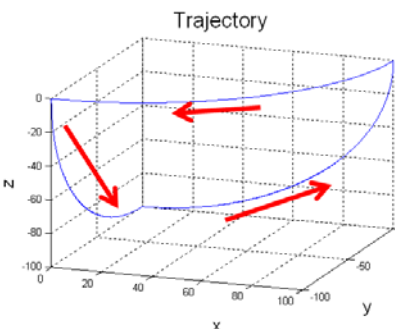


Fig. 6 Trajectory of robot workspace

동작할 수 있다고 할 수 있다. 이러한 검증 과정을 통하여 얻어진 최종 설계에 대하여 Fig. 8과 같이 시작품을 제작을 하였다.

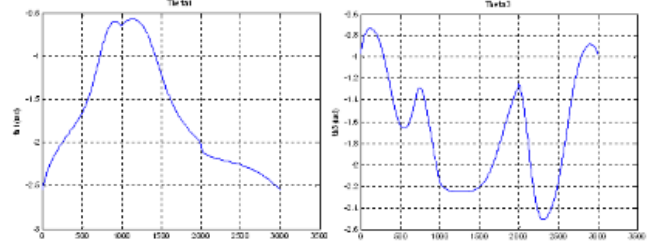


Fig. 7 Results of simulation



Fig. 8 The Manufactured Trial Product

. 결론

기존의 착용형 로봇은 어깨 구동부의 설계나 인체와 로봇 간의 간섭 등이 문제가 되어 설계가 3 자유도의 어깨관절 메커니즘을 구현하기가 힘들었다. 또한 어깨 관절 3 자유도가 구현되는 메커니즘이라고 하더라도 서론에서 언급한 구동부 설계 등의 문제로 인하여 크기가 큰 로봇을 설계하는 것이 불가피하였다. 본 논문을 통하여 어깨 3자유도 구현이 가능하고 경량화된 메커니즘을 제안하였으며 어깨 관절의 동작 범위를 로봇이 충분히 구현할 수 있다는 것을 검증하였다. 그러나 인체 어깨 관절의 해부학적인 구조를 바탕으로 로봇을 설계하였으므로 인체와 같이 어깨 관절만으로는 팔을 어깨 높이 이상으로 올릴 수가 없다는 단점이 있다. 이러한 동작을 구현하기 위해서는 견갑골 관절(Scapula joint)이 필요하다. 따라서 추후에 견갑골 관절에 대한 해부학적 모델링과 이러한 관절 구동을 모방할 수 있는 로봇 관절에 대한 설계가 진행될 것이다.

후기

본 연구는 'SEOUL R&B Program'의 지원을 받아 수행하였음.

참고문헌

1. Gary A. Thibodeau, Kevin T. Patton, "Anatomy & Physiology", Mosby, 211-272 2003.
2. Margareta Nordin, Victor H. Frankel, "Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System", Lippincott Williams & Wilkins, 318-355,2001.
3. A. Frisoli, F. Rocchi, S. Marcheschi, A. Dettori, F. Salsedo, "A new force-feedback arm exoskeleton for haptic interaction in Virtual Environments", Proceedings of the first joint eurohaptics conference and Symposium,2005.
4. N.G Tsagarakis, Darwin G. Caldwell, "Development and Control of a 'Soft-Actuated' Exoskeleton for use in Physiotherapy and Training", Kluwer Academic Publishers, Autonomous robot 15, 21-33,2003
5. Tetsuya Morizono, Naoyuki Mimatsu and Masatake Higashi, "Downsizing of Wearable HEXA for a Shoulder Joint of Wearable Robots", International Workshop on Robots and Human Interactive Communication, 259-266, 2005.
5. 장혜연, 김태식, 장재호, 한창수, 한정수, 안재용, "sEMG신호를 이용한 착용형 로봇 제어기법개발", 한국정밀공학회 생체공학부문 학술대회, vol 1, 1-6, 2007