

고부하작업 동작 특성 해석을 통한 인체-로봇 결합 모델링 연구

Human-Robot Integrated Model Study for Heavy Weights Handling Motion

*#이지석¹, 김대제¹, 하태준¹, 류환택²

*#Jiseok Lee(Mr.LEE@hyundai-rotam.co.kr)¹, Dae Je Kim¹, Tae Jun Ha¹, Hwan Taek Rye²

¹현대로템(주) 기술연구소, ²한양대학교 전자전기제어계측공학부

Key words : Exoskeleton Robot Human-Robot Interaction Model Heavy-weight Motion

1. 서론

인체는 외부 하중에 의한 반복적인 작용력의 크기와 방향에 따라 근육의 변화량과 골격의 움직임으로 운동력을 발생한다. 큰 부하에 대한 노동의 질적 향상은 큰 힘을 내거나 오랫동안 지탱해 주는 것이다. 인체의 노동력의 한계와 노동에 따른 근골격계 질환을 극복하기 위해서 최근에 인체에 착용하여 근력을 증강하거나 노동을 지원하는 외골격 로봇의 연구개발이 활성화되고 있다.

인체는 구조적으로 작업공간에서 필요한 자유도보다 더 많은 관절들을 사용하여 최소의 에너지를 갖는 자세로 작업을 수행하게 된다. 착용식 외골격로봇은 인체와 유사한 관절구조를 갖지만, 인체가 갖는 여유자유도를 모두 구현하기 위한 구동기 배치는 기술적으로 불가하다. 따라서 인체와 로봇의 자유도를 분석하여 착용자와 외골격의 상호 결합 모델링에서 착용자가 불편함 없이 작업에 필요한 조작을 자연스럽게 수행하도록 설계하여야 한다.

본 논문에서는 인체와 외골격 로봇간의 결합을 이루는 병렬형 메커니즘에 대한 자유도를 분석하고, 인체와 외골격 로봇의 결합된 동역학 기반의 모델링을 이용하여 요구되는 고부하 작업의 외골격 로봇과 인체간의 힘분배 특성을 해석하고자 한다.

2. 인체-로봇 결합 모델

인체의 한 팔의 자유도는 어깨 3, 팔꿈치 1, 손목 2자유도, 한 다리의 자유도는 골반 3, 무릎 1, 발목 2 자유도로 간주하였다.

로봇의 팔의 자유도는 7자유도, 다리의 자유도는 6자유도로 간주하였다. (Fig.1)

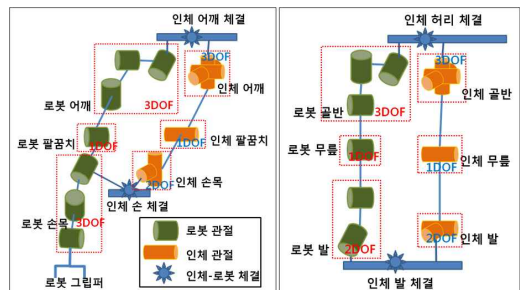


Fig. 1 인체-로봇 체결 개념 (팔, 다리)

인체의 팔과 외골격 로봇의 팔이 체결되면 병렬형 메커니즘에 직렬형 메커니즘이 결합된 형태를 이루게 되어 Grubler공식에 따라 병렬형 메커니즘 5자유도와 직렬형 2자유도가 결합하여 한 쪽 팔의 결합된 자유도는 총 7자유도가 된다. 인체의 다리와 외골격 로봇의 다리가 체결되면 하나의 병렬형 메커니즘을 이루게 되어 한 다리의 결합된 자유도는 6자유도가 된다. 따라서 인체와 외골격 로봇의 총 자유도는 26자유도이다.

3. 모델링

로봇과 서로 체결된 상태에서 인체가 움직일 때 생기는 경로에 대한 로봇과 인체의 각 관절에 걸리는 각속도를 이용하여 작업영역에서의 로봇 말단에 대한 속도정보를 얻어내고, 이를 적분하여 원하는 작업을 하는데 필요한 경로를 따라 움직이도록 G-H 기반 동역학 모델링은 아래와 같다.

Fig 1에서 두 개의 직렬 체인의 속도벡터는 로봇의 관절은 독립변수로(a), 인체의 관절은 종속변수로(p) 간주하면 식 (1)과 같다.

$$\dot{u} = [{}^a G_\phi^u] \dot{\phi}_a = [{}^p G_\phi^u] \dot{\phi}_p \quad (1)$$

Fig 1에서 인체와 로봇의 결합을 분리하면 두 개의 개방형 트리구조가 되고, 각각의 역동력학식은 아래의 식(2)와 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} \underline{\tau}_a^* &= [I_{\phi\phi,a}^*] \ddot{\phi}_a + \underline{\phi}_a^T [P_{\phi\phi\phi,a}^*] \dot{\phi}_a \quad (2) \\ &+ G_a(\phi) + [{}^a G_\phi^u]^T \underline{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{\tau}_p^* &= [I_{\phi\phi,p}^*] \ddot{\phi}_p + \underline{\phi}_p^T [P_{\phi\phi\phi,p}^*] \dot{\phi}_p \quad (3) \\ &+ G_p(\phi) \end{aligned}$$

$G(\phi)$ 는 관절 속도벡터에 연결된 링크의 무게 중심의 자코비안이고, \underline{F} 은 로봇 말단에 작용하는 외력이다.

인체의 다이내믹스를 로봇좌표계로 변환하여 닫힌 구조의 다이내믹스를 아래 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} {}^E \underline{\tau}_a^* &= [I_{aa}^*] \ddot{\phi}_a + \underline{\phi}_a^T [P_{aaa}^*] \dot{\phi}_a \quad (4) \\ &+ G'_a(\phi) + [G_a^u]^T \underline{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [I_{aa}^*] &= [I_{\phi\phi,a}^*] + [G_a^u]^T [I_{\phi\phi,p}^*] [G_a^u] \\ [P_{aaa}^*] &= [P_{\phi\phi,a}^*] + [G_a^u]^T ([G_a^u]^T \circ [P_{\phi\phi,p}^*]) [G_a^u] \\ &\quad + [I_{\phi\phi,p}^*] \circ [H_{aa}^p] \\ G'_a(\phi) &= G_a(\phi) + [G_a^u]^T G_p(\phi) \end{aligned}$$

$[G_p^u], [G_a^u]$ 는 부하 양중시의 인체와 로봇의 말단에 대한 자코비안을 나타낸다.

로봇과 인체가 결합되어 로봇의 조인트에 걸리는 토크는 로봇에 작용하는 토크와 인체가 로봇에 미치는 토크의 합으로 표현하고, 인체와 로봇의 부하를 분배하는 알고리즘을 적용할 수 있다.

4. 시뮬레이션

인체와 외골격로봇이 체결된 병렬형 메커니즘 모델을 기반으로 40kg의 폭 12m 높이 2m의 부하를 들고 COM(Center Of Mass) 자세제어 알고리즘으로 안정한 이동을 하는 시뮬레이션을 통하여 부하물의 이동과 회전에 대한 다양한 자세에 대한 인체와 로봇의 작업영역을 분석할 수 있다. (Fig.2)

또한, 인체와 로봇간의 힘 분배 가중치를 적용하여 부하분담 비율 증가에 따라 인체에 걸리는 토크 RMS값은 줄어들고, 로봇의 토크 RMS 값은 증가하는 것을 확인하였고, 상체에 작용하는 부하, 로봇의 중량, 인체의 중량 등으로 인해 골반부터 받는 조인트의 하중은 상체 조인트가 받는 하중보다 10배이상 늘어나는 것을 확인하였다. (Fig.3)

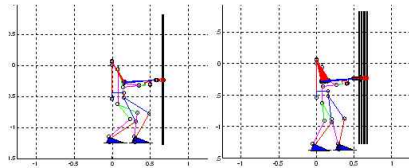


Fig. 2 +z 15cm -y 10cm 이동

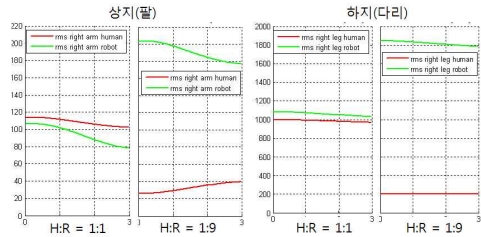


Fig. 3 인체-로봇 부하분담비에 대한 토크

5. 결론

인체가 로봇을 착용하는 결합을 병렬형 메커니즘으로 상호간 맵핑관계 해석과 모델링하여 작업 동작 시뮬레이션으로 인체와 로봇간의 동작특성과 부하분담비에 따라 작용하는 토크의 양상을 분석하였다. 본 연구를 통하여 착용식 근력증강로봇을 이용한 양중작업에서 인체의 동작에 따라 로봇의 원활한 동작과 이질감 해소를 위한 제어가 가능할 것으로 판단되었지만, 로봇과 인체에 대한 신뢰성 있는 모델연구가 지속적으로 필요하다.

후기

본 연구는 지식경제부 로봇산업원천기술개발 사업 [No. 10035461, 산업노동지원을 위한 착용식 근력증강로봇 기술 개발]의 지원으로 수행되었음

참고문헌

1. B. R. So, J. Y. Choi, and B.-J. Yi, "A new ZMP constraint equation with application to motion planning of humanoid using kinematic redundancy," IEEE/RSJ IROS, pp. 1794-1800, 2005.
2. R. Zheng and J. Li "Kinematics and workspace analysis of an exoskeleton for thumb and index finger rehabilitation," IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics, pp. 80-84, 2010.
3. D. Ragonesi, S. K. Agrawal, W. Sample, and T. Rahman, "Quantifying anti-gravity torques in the design of a powered exoskeleton," IEEE Int. Conf. on EMBS, pp. 7458-7461, 2011.