

하중물 이송을 위한 착용형 로봇의 제어 알고리즘 Control Method of Lower Extremity Exoskeleton for Load Carriage

*#이종원¹, 김효곤², 이석우¹, 박상신², 손현목², 추정훈³, 장재호², 박상덕²
*#J. Lee(jongwon@ust.ac.kr)¹, H. Kim², S. Lee¹, S. Park², H. Son², J. Choo³, J. Jang², S. Park²
¹과학기술연합대학원대학교, ²한국생산기술연구원, ³대우조선해양㈜

Key words : Exoskeleton, Wearable, Robot, Load Carriage

1. 서론

인간이 운동을 하는 동안 근육에서는 에너지를 생성하거나 소산하는 과정이 복합적으로 일어난다[1]. 에너지를 생성하는 구간에서 인간의 근육은 가속자의 역할을 수행하며, 에너지를 소산하는 구간에서 인간의 근육은 감속자로 작용을 한다. 특히 보행이나 앉고 일어서기와 같은 동작에서는 이러한 과정이 주기적으로 발생한다. 최근 개발되는 정상인의 하중물 이송이나, 노약자들의 보행 보조를 위한 착용형 로봇들은 보행 분석을 통해 가속자(accelerator)로 작용하는 관절에는 액추에이터를, 감속자(decelerator)로 작용하는 관절에 스프링이나 댐퍼를 이용하여 에너지 효율을 높이려고 하고 있다[2-4]. 하지만 이러한 로봇들은 구조가 복잡하고 부피가 커 실제 로봇을 착용하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 가상의 스프링을 이용한 제어알고리즘을 제안하였으며, 시뮬레이션을 통하여 적용가능성을 검토하였다.

2. 생체역학적 분석

인간의 동작 중 에너지 생성과 소산의 과정이 가장 잘 나타나는 동작은 앉고 일어서기이다. Fig. 1은 인간이 앉고 일어서기 동작을 할 때의 무릎 관절의 각도, 토크 그리고 일률을 나타낸다. 앉는 동작에서(0-30%) 무릎 관절의 근육은 부하(즉, 체중)를 감속시키기 위하여 에너지를 소산시킨다. 반면에 일어서는 동작에서(60-100%) 무릎 근육은 부하를 들어올리기 위하여 에너지를

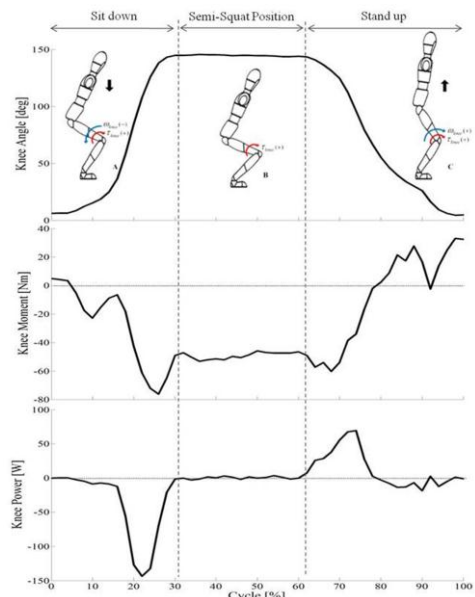


Fig. 1 Knee joint angle, moment, and power during sit-to-stand motion.

발생시킨다. 웅크린 자세에서의 무릎 근육은 자세를 유지하기 위한 관절에 모멘트를 발생시키는 것을 알 수 있다.

3. 제어알고리즘

제어 개념도를 Fig. 2(A)에 나타내었다. 만약 인장스프링이 착용형 로봇의 고관절과 수직방향 임의의 점 사이에 장착되어 있다고 가정한다면, 착용자의 앉는 동작에서 스프링은 에너지를 저장함과 동시에 착용자의 체중을 보상해주는 효과를 얻게 된다. 착용자가

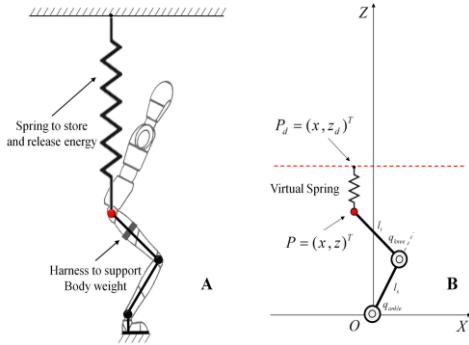


Fig. 2 The concept of the control method (A) and kinematic model of the lower extremity exoskeleton (B).

일어서는 동작에서는 스프링에 저장된 에너지는 방출되어 착용자의 체중을 들어올리는데 사용되게 된다. 이를 구현하기 위한 제어 입력은 식(1) 과 같다.

$$\mathbf{u} = \mathbf{g}(\mathbf{q}) + \mathbf{J}^T \mathbf{F}_{vs} \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{g}(\mathbf{q})$ 는 중력보상을 위한 항이며 \mathbf{F}_{vs} 는 가상 스프링에 의해 발생하는 힘이며 식(2)와 같다.

$$\mathbf{F}_{vs} = \mathbf{k}(\mathbf{P}_d - \mathbf{P}) \quad (2)$$

여기서 \mathbf{k} 는 가상스프링의 강성도(stiffness)이다.

4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서는 인간 모델이 앉고 일어서기 동작을 수행하는 동안 착용형 로봇에 알고리즘을 적용했을 때 무릎 관절에 걸리는 토크를 측정하였다. 스프링의 강성도가 증가함에 따라 무릎 관절에 걸리는 토크는 감소함을 보였다 (Fig. 3). 하지만, 강성도가 임계값 이상의 값을 가지게 되면 오히려 앉기 위한 토크가 필요함을 알 수 있다. 또한 착용형 로봇이 특이점(singular point)에 가까운 구간에서는 (0-5% 와 95-100%) 관절 토크에 큰 변화가 없음을 보였다.

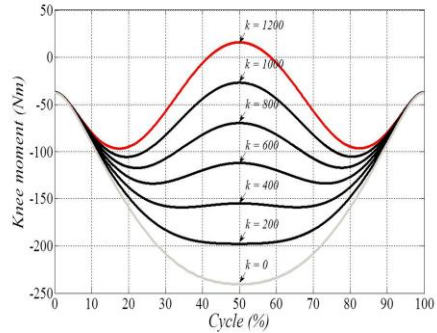


Fig. 3 The knee moment variation according to spring stiffness.

5. 결론

본 연구에서는 가상스프링을 이용한 착용형 로봇의 제어 알고리즘을 개발하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘을 적용하였을 경우 인간의 관절에 걸리는 토크가 감소함을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 제안된 알고리즘을 착용형 로봇에 적용하면 하중뿐만 아니라 착용자의 체중도 보상해줄 것으로 기대된다.

참고문헌

1. P. DeVita, J. Helseth, and T. Hortobagyi, "Muscle do more positive than negative work in human locomotion," in *Journal of Experimental Biology*, vol. 210, pp. 3361-3373, 2007.
2. Collins SH and Kuo AD, "Recycling energy to restore impaired ankle function during human walking," in *PLoS ONE*, vol. 5, 2010.
3. Y. Hirata, T. Isoda and K. Kosuge, "Development of passive wearable walking support system based on brake control," in *proceeding of the IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, Kagawa, Japan, pp. 363-368, 2007.
4. C. J. Walsh, K. Pasch, and H. Herr, "An autonomous, underactuated exoskeleton for load-carrying augmentation," in *proceeding of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Beijing, China, pp. 1410-1415, 2006.