

MR 감쇠기를 이용한 무릎 관절 의족의 제어

Control of an above-knee prosthesis using MR damper

. 김 정 훈*, 오 준 호**

*KAIST 기계공학과 (Tel:82-42-869-3263; Fax:82-42-869-3095; E-mail:maysmile@ohzlab.kaist.ac.kr)

** KAIST 기계공학과 (Tel : 82-42-869-3263; Fax :82-42-869-3095; E-mail:jhoh@ohzlab.kaist.ac.kr)

Abstract : We proposed the above-knee prosthesis using rotary MR damper in which knee joint is semi-actively controlled by microprocessor. Dissipation torque in the knee joint can be controlled by the magnetic field which is induced by applying current to a solenoid. Tracking control of knee joint angle was tested by 3-DOF leg simulator. The experimental results show that the proposed above-knee prosthesis system had good performance in swing phase tracking and repetitive controller in conjunction with a computed control law and PD control law, reduced RMS tracking error as the repetitions of tracking. Moreover, desired knee angle trajectory was generated based on the estimation of gait period with the gyro signal and the tracking control was performed.

Keywords : above-knee prosthesis, MR fluid, damper, semi-active control, repetitive control

1. 서론

인간의 보행은 발이 지면에 닿아있는 지지구간(stance phase)과 발을 지면에서 들어올려 하지를 이동하는 이동구간(swing phase)의 주기적 반복으로 이루어져 있는데, 의족은 지지구간에서 안정성과 이동구간에서 감쇠력이 필요하다. 기존의 무릎 위 절단자들을 위한 의족(above-knee prosthesis)은 걸음새 주기 동안에 마찰계수, 스프링 상수, 감쇠계수 등이 변하지 않는 메커니즘이 대부분인데, 이러한 수동형(Passive type) 디자인은 능동적인 무릎관절 제어를 할 수 없기 때문에 자연스러운 걸음새를 구현할 수 없다. 유압 액츄에이터와 같은 자체동력장치를 갖춘 능동형(Active type) 의족의 경우는 무릎각의 제어를 쉽게 하여, 정상보행과 유사하게 만들 수 있지만 높은 가격, 무거운 중량, 고 에너지 소모 등의 단점을 갖고 있어서 실제 의족으로 이용하기에는 적합하지 않다[1]. 따라서, 이보다 가볍고 저 에너지 소모의 반능동형(Semi-Active type) 의족이 현재 개발되고 있다. 이것은 무릎관절 모멘트를 반능동 제어함으로써 고 관절 각도와 무릎관절 각도를 정상보행자와 유사하도록 하는 방법이다. A. Bar, G. Ishai 와 P. Meretsky 와 Y. Koren 등은 크기가 다른 네 가지 유로를 솔레노이드 밸브(solenoid valve)를 이용하여 on-off 제어하여 16가지 감쇠수준을 만들어서 구현하였는데, 이는 감쇠수준이 바뀔 때 부드럽지 못한 단점을 갖고 있다[2].

자기장에 반응하여 항복응력이 변하는 자기 가변 유체(Magneto-Rheological Fluid 또는 MR 유체)를 내부 유체로 사용한 회전형 MR 감쇠기는 자기장으로 소산(消散,dissipation) 토크를 제어 할 수 있으므로 이를 의족 시스템의 무릎 관절에 응용하여 무릎 관절 모멘트를 반 능동 제어함으로써 수동형보다 자연스러운 걸음새를 구현할 수 있다.[3,4,5]

본 연구에서는 의족의 동작범위에 알맞은 MR 감쇠기와 마이크로프로세서를 장착한 제어기를 설계하고, 대퇴부의 반복 운동을 대신할 수 있는 3자유도 시뮬레이터에 의족 시스템을 장착하여 정상인의 무릎관절 운동 궤적을 추종하는 실험을 해보았다. 또한 자이로를 대퇴부에 장착하여 걸음새 주기를 추정하고, 추정된 주기를 바탕으로 무릎 관절의 trajectory를 생성하고 이를 추종해보았다.

2. 감쇠기로 이루어진 무릎 관절 의족 시스템

2.1 무릎 관절 의족 시스템 모델링

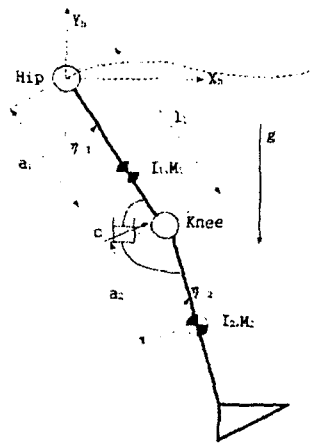


Fig.1 The amputee swing leg model [6]

이동구간에서 의족은 소켓과 환부가 일체이고, 관절 장치가 감쇠기이며, 질량중심과 발목각은 변화하지 않는 Fig.1 과 같이 모델링 할 수 있다. 첨자 1,2는 각각 대퇴부(thigh)와 하퇴부(shank)를 나타내며, $m_i, I_i, a_i, I_i, x_h, y_h$ 는 각각 질량, 다리의 길이, 질량 중심까지의 거리, 질량중심에서의 관성모멘트, 수평, 수직방향의 둔부(hip)의 움직임을 나타낸다. 운동방정식은 다음과 같은 두 개의 비선형 운동 방정식으로 표현된다.[6]

$$M(\eta)\ddot{\eta} + C(\eta, \dot{\eta}) + K(\eta) = Bu$$

$$\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\eta}_1 \\ \ddot{\eta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_h \\ u_k \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, M, C, K 는 각각 관성 행렬, 원심력과 Coriolis 항, 중력항과 둔부(hip)의 가속도항이다. 무릎 위 절단자의 둔부에서 주어지는