

인체 수관절 근육의 진동응답 측정

Vibration Response Measurement of a Human Carpal Muscle

전한용* · 김진오† · 박광훈**

Han Yong Chun*, Jin Oh Kim†, and Kwang Hun Park**

1. 서 론

수관절(carpal)은 인체 상지 중 손목을 말한다. 수관절은 손을 움직이는 중요한 관절로, 이상이 생기면 일상생활에 큰 불편이 따른다. 최근 사회가 고령화 되고, 재해로 인한 장애인구가 증가하면서 재활 훈련에 대한 필요성이 늘어나고 있다. 일반적인 재활 훈련은 재활 훈련사에 의한 훈련이나, 비용 및 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 장치를 이용한 재활 훈련의 경우, 비용 및 시간은 단축되나 효과를 크게 하기 위해서는 인체의 움직임과 유사하게 작동하는 장치가 필요하다. 그러나 인체 중 하지의 보행에 대한 연구⁽¹⁾가 대부분이며, 특히 수관절에 대한 연구⁽²⁾는 별로 없는 실정이다.

수관절에 대한 이전 연구는 근전도를 이용하여 근력을 추정⁽³⁾하거나, 의수 개발을 위한 근전도 신호 분석⁽⁴⁾ 등이었다. 그러나 이러한 연구를 바탕으로 인체 움직임을 반영한 재활 훈련 장치를 개발하기는 어렵다. 인체의 움직임은 근육 활동에 의하여 발생되기 때문에 움직임을 자연스럽게 표현하고 예측할 수 있기 위해서는 근육의 역학적 특성을 알아야 하고, 근육의 역학적 응답에 대한 이해가 필요하다.

본 논문은 인체 수관절의 근육을 대상으로 진동응답을 다룬다. 근육을 스프링과 감쇠기로 구성된 진동 시스템으로 모델링한 사례⁽⁵⁾에 따라, 인체 수관절의 근육을 진동 시스템으로 모델링하고, 응답을 이론적으로 해석 한다. 실험을 통해 수관절 근육으로부터 근전도 신호를 측정하여 근육에 가해지는 가진력 함수를 추출하고, 기능적 전기 자극 장치를 사용하여 수관절 근육에 자극을 인가한다. 수관절 회전 운동의 각도 변위를 측정하고, 측정된 각도 변위와 이론으로 해석한 응답 결과를 비교한다.

2. 이론적 해석

인체 수관절 근육을 Fig. 1과 같이 스프링과 감쇠기가 병렬로 집중 질량에 연결된 진동 시스템으로 모델링하였다.

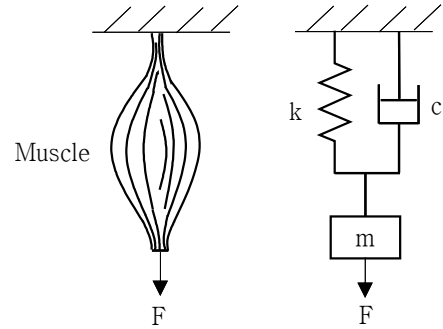


Fig. 1 Muscle modeling as a vibration system

이 시스템에 임의의 하중 $F(t)$ 가 가해진다고 하면, 운동방정식은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t) \quad (1)$$

여기서, m 은 근육의 분포 질량을 집중 질량으로 모델링했을 때의 등가 질량으로, 분포 질량의 1/3이다. c 는 근육의 감쇠 계수이고, k 는 강성이다. 본 논문에서는 근육을 부족감쇠 시스템으로 가정하고, 감쇠비 ζ 를 0.9로 하였다.

임의의 하중 $F(t)$ 에 대한 부족감쇠 시스템의 응답은 다음 식으로 된다⁽⁶⁾.

$$x(t) = \frac{1}{m\omega_d} \int_0^t F(\tau) e^{-\zeta\omega_n(t-\tau)} \sin\omega_d(t-\tau) d\tau \quad (2)$$

수관절 근육에 가해지는 하중을 계단함수 형태로 가정하면, 크기 F 에 대한 진동응답은 Fig. 2와 같다. 근육은 감쇠비 값이 1에 가까기 때문에 거의 진동하지 않는 특성을 보인다.

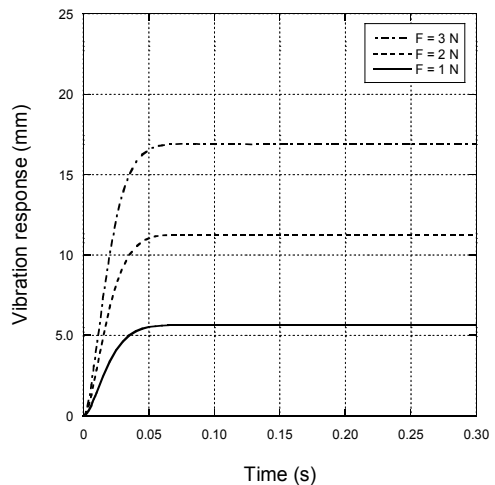


Fig. 2 Vibration response of a 1-DOF vibration system

* 숭실대학교 대학원 기계공학과

† 교신저자 : 숭실대학교 공과대학 기계공학과

E-mail : jokim@ssu.ac.kr

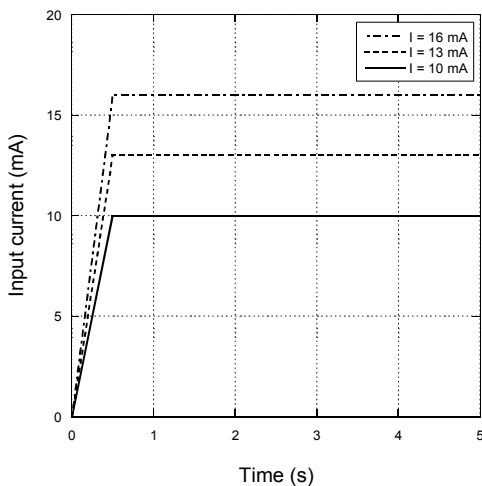
Tel: (02) 820-0662, Fax: (02) 820-0668

** (주)피엔에스미캐닉스

3. 실험

3.1 실험 방법

제2절에서 보인 바와 같이 근육은 거의 진동하지 않기 때문에 정상상태 응답인 수관절의 각도 변위를 측정하였다. 기능적 전기 자극(functional electrical stimulation) 장치를 사용하여 Fig. 3(a)에 보인 바와 같은 계단함수 형태의 전기 자극을 수관절 근육 중 요측수근굴근(flexor carpi radialis)에 인가하였다. 입력 전류의 크기를 점차 증가시키면서 전기 자극을 인가하고, Fig. 3(b)에 보인 바와 같이 관절각도계(goniometer)로 각도 변위를 측정하였다.



(a) Input current



(b) Photograph

Fig. 3 Vibration response measurement

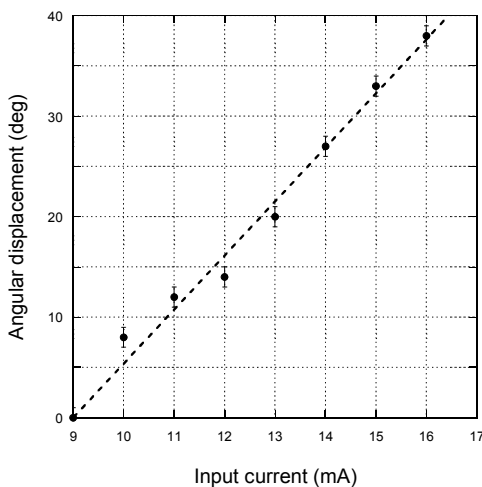


Fig. 4 Angular displacement

3.2 실험 결과

입력 전류에 따라 측정된 수관절 각도 변위를 Fig. 4에 나타내었다. 측정 결과 수관절 각도 변위는 9 mA부터 발생하였으며, 입력 전류 변화에 선형 비례하는 각도 변위 변화가 나타났다. 이론적으로 구한 진동응답 변위도 가진력에 따라 선형 비례하여 측정 결과와 유사한 경향을 보인다.

4. 결론

인체 수관절 근육의 진동응답을 이론적으로 해석하고 실험으로 측정하였다. 근육을 진동 시스템으로 모델링 하고, 계단함수 입력에 대한 응답을 계산하였다. 수관절 근육에 전기 자극을 인가하여 정상상태의 진동응답인 각도 변위를 측정하였다. 이 결과로 근육의 역학적 특성을 확인 할 수 있었고, 전기 자극의 세기에 따라 수관절의 각도 변위가 선형적으로 증가하여 이론 결과와 잘 일치함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) J. H. Jung, N. G. Lee, J. H. You, D. C. Lee, 2009, "Validity and Feasibility of Intelligent Walkbot System," *Electronics Letters*, Vol. 45, No. 20, pp. 1016~1017.
- (2) H. Y. Chun, J. O. Kim, K. H. Park, 2010, "Correlation of a Human Carpal Motion and an Electromyogram," *Journal of KSME(A)*, Vol. 34, No. 10, to be published.
- (3) K. N. An, B. M. Kwak, E. Y. Chao, B. F. Morrey, 1984, "Determination of Muscle and Joint Forces: A New Technique to Solve the Indeterminate Problem," *Journal of Biomechanical Engineering*, ASME, Vol. 106, pp. 364~367.
- (4) C. S. Lee, R. V. Gonzalez, 2008, "Fuzzy Logic versus a PID Controller for Position Control of a Muscle-like Actuated Arm," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 22, No. 8, pp. 1475~1482.
- (5) Y. C. Fung, 1971, "Comparison of Different Models of the Heart Muscle," *Journal of Biomechanics*, Vol. 4, pp. 289~295.
- (6) D. J. Inman, 2008, *Engineering Vibration*, 3rd ed., Pearson Education Inc., Chapter 3.