

인체 수관절 근육의 진동 응답

Vibration Response of Human Carpal Muscles

전한용* · 김진오† · 박광훈**

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

1. 서 론

로봇 연구와 개발이 국내외에서 활발히 진행 중이다. 특히 의료 서비스 로봇의 수요가 급증하고 있으며, 노인을 위한 인체 보조 로봇과 부상자를 위한 재활 훈련 로봇이 연구되고 있다. 이러한 로봇은 인체의 근육이 마비되거나 구축(contracture)되는 것을 방지한다.

재활 훈련 로봇은 일반적으로 근전도(electromyogram) 신호를 측정하여 운동을 수행시키거나, 인체의 운동 패턴을 분석하여 운동시킨다. 인체의 움직임은 자연스럽게 표현하고 예측할 수 있기 위해서는 근육의 역학적 특성을 알아야 하고, 근육의 역학적 응답에 대한 이해가 필요하다.

본 논문은 인체 수관절의 근육을 대상으로 진동 응답을 다룬다. 근육은 이전의 연구에서 스프링과 감쇠기로 구성된 진동 시스템으로 모델링된 바 있다⁽¹⁾. 인체 수관절의 근육을 동적 시스템으로 모델링하고, 응답을 이론적으로 해석한다. 실험을 통해 근전도 신호를 측정하여 근육에 가해지는 가진력 함수를 추출한다. 실제 근육의 물성치를 대입하여 응답 해석 결과를 얻는다.

2. 근육 모델

2.1 근육 모델링

인체 수관절 근육을 Fig. 1과 같이 스프링과 감쇠기가 병렬로 집중 질량에 연결된 동적 시스템으로 모델링하였다. 이 시스템에 임의의 하중 $F(t)$ 가 가해진다고 하면, 운동방정식은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

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

여기서, m 은 근육의 분포 질량에 대한 등가 질량이다. 근육의 감쇠 값은 정확히 알려져 있지 않으나, 일반적으로 임계 감쇠에 가까운 값을 갖는다고 한다. 본 논문에서는 근육

을 부족감쇠 시스템으로 가정하고 해석한다.

2.2 근육 가진력 측정

근육 가진력 함수를 얻기 위하여 근전도 신호 측정 실험을 하였다. 수관절의 굴곡운동을 발생시키는 요측수근굴근에 대하여 실험을 실시하였으며, 실험에 사용된 근전도 센서는 Biometrics사의 표면 전극(SX230)과 기준 전극(R206)이다. 또한 각속도 및 각가속도를 계산하기 위하여 각도 변화를 측정하는 Goniometer(SG1106)를 사용하였다.

수관절의 굴곡운동을 여러 가지 속도로 반복 실시하여 근전도 신호를 측정하였다. 측정된 근전도 신호의 한 예를 Fig. 2에 나타내었다. 측정된 근전도 신호를 정규화하여 구한 포락선(envelope)을 Fig. 2에 점선으로 나타내었다. 1/2 주기의 sine 함수 형태와 유사하다.

3. 진동 응답 해석

임의의 하중 $F(t)$ 에 대한 부족감쇠 시스템의 응답은 다음 식으로 된다⁽²⁾.

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

여기서, $\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$ 이다. 수관절이 운동할 때 근육에 가해지는 하중은 1/2주기의 sine 함수 형태로 가정될 수 있고, 식 (3)과 같이 표현된다⁽³⁾.

$$F(t) = F_0 \left[\sin \frac{\pi t}{t_1} u(t) + \sin \frac{\pi(t-t_1)}{t_1} u(t-t_1) \right] \quad (3)$$

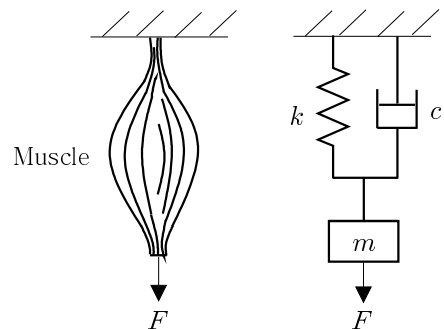


Fig. 1 Muscle modeling by dynamic system

* 숭실대학교 대학원 기계공학과
 † 교신저자 : 숭실대학교 공과대학 기계공학과
 E-mail : jokim@ssu.ac.kr
 Tel : (02) 820-0662, Fax : (02) 820-0668
 ** (주)피앤에스미캐닉스

Table 1 Muscle properties

	Mass ⁽⁴⁾ , m (g)	Natural frequency ⁽⁵⁾ , ω_n (rad/s)	Damping ratio, ζ
Values	20	30π	0.9

여기서, $u(t)$ 는 단위 계단 함수이다. 식 (3)을 식 (2)에 대입하여 계산하면, 근육의 역학적 응답을 구할 수 있다.

수관절은 굴곡, 신전, 요측 편위, 척측 편위의 운동을 하며, 4개의 주요 근육이 운동을 발생시킨다⁽⁶⁾. 그 중 굴곡과 요측 편위 운동을 발생시키는 요측수근굴근(Flexor Carpi Radialis)을 대상으로 하였다. 해석에 사용한 실제 근육의 물성치를 Table 1에 나타내었다. 해석 결과 진동 응답을 Fig. 3에 나타내었다. 이론적 해석 결과는 sine 함수 형태로, 감쇠비가 임계값에 가깝기 때문에 진동을 거의 하지 않고 수렴하는 경향을 보인다.

4. 결 론

인체 수관절 근육의 진동 응답을 해석하였다. 근육을 진동 시스템으로 모델링 하고, 수관절 근육 중 하나인 요측수근굴근의 근전도 신호를 측정하여 가진력 함수를 구하였다. 또한 충격 입력에 대한 응답을 계산하였다.

그 결과로 근육의 역학적 특성을 확인 할 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 인체 상지의 재활 훈련 로봇 개발에 적용할 수 있는 가능성을 제시하였다.

후 기

본 논문은 (주)피앤에스미캐닉스가 주관한 중소기업청 기술혁신개발사업을 수행하며 얻은 연구결과임.

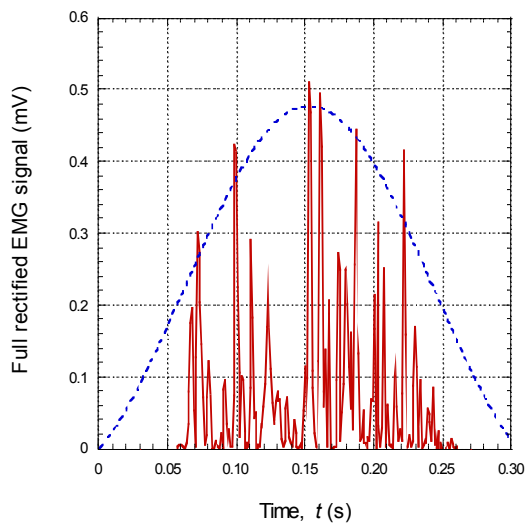


Fig. 2 Full rectified EMG signal

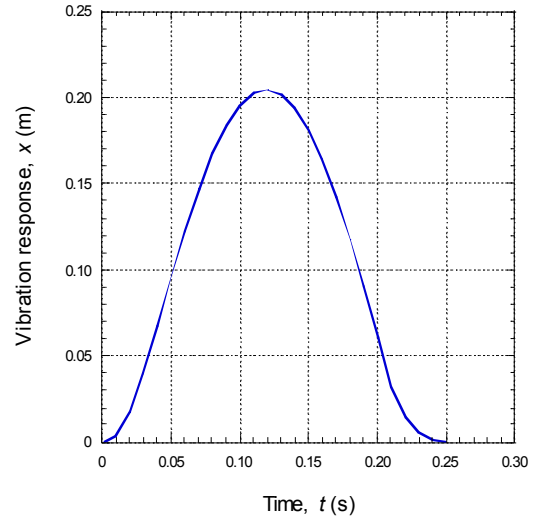


Fig. 3 Vibration response

참고 문헌

- (1) D. A. Winter, 2005, Biomechanics, 3rd ed., John Wiley & Sons, Chapter 8.
- (2) D. J. Inman, 2008, Engineering Vibration, 3rd ed., Pearson Education Inc., Chapter 3.
- (3) L. Meirovitch, 2001, Fundamentals of Vibrations, McGraw-Hill, Chapter 4.
- (4) J. Friden, R. M. Lovering, R. L. Lieber, 2004, "Fiber length variability within the Flexor Carpi Ulnaris and Flexor Carpi Radialis muscles", The Journal of Hand Surgery, Vol. 29A, No. 5, pp. 909-914.
- (5) J. M. Wakeling, B. M. Nigg, A. I. Rozitisy, 2002, "Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibrations", Journal of Applied Physiology, Vol. 93, pp. 1093-1103.
- (6) D. A. Neumann, 2002, Kinesiology of the Musculoskeletal System, Mosby, Chapter 7.