

상지부 착용 외골격시스템의 근력보상 정도에 따른 근피로도 변화에 대한 연구

강 현민[†], 박 수경^{**}

Changes of muscle fatigue by force compensation using upper limb wearing exoskeleton system

Hyunmin Kang[†] and Sukyung Park^{**}

Key Words : Muscle fatigue(근피로도), EMG(근전도), Exoskeleton(외골격 시스템)

Abstract

Various applications of exoskeleton system are reported in the area of military, healthcare, and industries. More the user gets help from exoskeleton system, more power is consumed. To resolve this design conflict, we suggest an energy efficient exoskeleton system which compensates muscle fatigue in isotonic and isometric contraction conditions. Fatigue compensated exoskeleton significantly reduced muscle fatigue while consumed less operation power. In addition, the level of fatigue compensation can be managed by motor control using various input profile. It can make user customized exoskeleton system.

1. 서 론

최근 인체의 하중지지 및 보행 등의 운동을 보조하는 외골격 시스템(exoskeleton)의 국방, 의료, 산업분야 등 다양한 분야로의 적용이 보고되고 있다. 일정 하중 지지시 외골격 시스템을 착용하는 경우, 사용자의 편의 및 대사에너지 감소를 위해 외골격 하중지지력이 증가할 수록 시스템의 소모파워가 증가하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 근피로도 보상을 통한 에너지 효율적인 외골격 시스템 연구를 수행하였다.

2. 근피로도 모델

일정 하중의 물건을 지속적으로 들고있는 경우 일정 시간 뒤에는 근육의 힘이 빠지는 것을 느끼는 것과 같이 근육이 더 이상 동일한 정도의 수축 신호에 반응하지 않는 것을 근피로도라 한다. 근 수축기전 인체 내에서 젖산의 축적 등으로 인한 근 피로는 지속적인 하중지지 수행을 돕는 외골격 시스템의 설계에 있어 해결해야 할 선결 요건이 된다.

근 피로도는 등장성 근 수축조건 하에서 근전도의 중간주파수(MPF: Mean power frequency)의 시간에 따른 감소경향으로부터 계산된다. 본 연구에서는 측정된 근전도 데이터를 1 초 단위로 나누고 그 구간에서의 MPF 를 구하여 시간에 따른 감소경향을 시정수(time constant)로 표현하여 피로도를 정량

[†] KAIST

E-mail : khmkhm@kaist.ac.kr

TEL : (042)869-3270 FAX : (042)869-5230

^{**} KAIST

화 하였다. 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$F = \sum \text{주파수} \times \text{신호}, A = \sum \text{신호}$$

$$\text{MPF} = F/A = Ae^{-t/\tau}$$

외골격시스템을 통하여 지지하중의 일부를 보상해 줄 경우 그림 1 과 같이 실선에서 점선으로 그래프가 변화하게 된다. 이는 근력을 보상해줄 경우 피로도가 감소하는 것을 시사하며, 이를 이용하여 외골격 시스템을 설계할 경우 사용자편의성 면에서 보다 뛰어난 설계를 할 수 있다.

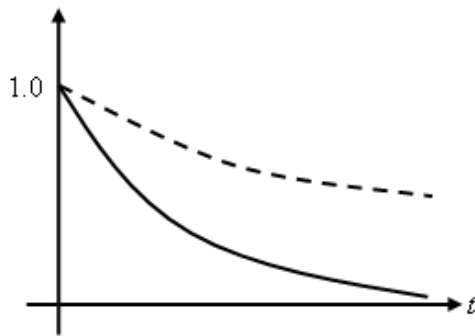


Fig 1 피로도 보상 경향

3. 실험

3.1 피험자

근육에 이상 병력이 없다고 설문에 응한 남성 2명(연령: 24.5±0.5)을 대상으로 실험을 수행하였다. 모든 피험자는 한국과학기술원 생명윤리심의위원회의 승인을 받은 실험 참가 동의서를 검토하고 이에 서명하였다. 이들은 실험 도중 발생할 수 있는 잠재적인 위험 요소들에 대한 정보를 충분히 제공 받았다.

3.2 실험 장비

근피로도 측정을 위해 그림 1 과 같은 등장성 근수축 측정 장치를 구성하였다. 알루미늄막대의 끝단에 무게추를 올려 원하는 무게를 설정하고 관절각 유지를 위한 시각 피드백이 피험자에게 주어

졌다. 일정 하중 지지를 위한 모터 제어는 LabVIEW (National instrument, Inc.) 기반의 DAQ board(NI USB-6211, National instrument, Inc.)를 사용하였다.

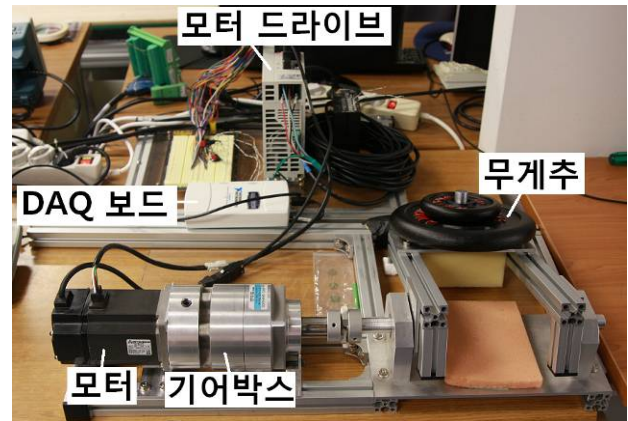


Fig 2 근 피로도 측정장비

3.3 실험 절차

3.3.1 피로도 실험

이두근의 근전도 신호 측정을 위한 표면근전도 센서를 붙이고 피험자의 최대 수의적 수축강도 (MVC: Maximum voluntary contraction) 를 측정하여 이의 50% 수준으로 등장수축의 하중을 결정하였다. 그 후 무게추를 들고 일정한 관절각을 유지하면서 90 초 동안의 근전도를 측정하여 중간주파수 시정수 값을 계산하였다. 한 회의 실험을 장시간 시행할 경우 피험자의 fatigue 회복이 하루 이상 소요될 수 있으므로 fatigue 를 확인할 수 있는 범위 내에서 실험 시간을 정하였다.

3.3.2 보정 실험

지지하중의 일부를 대신 지지하는 외골격 시스템을 구동하되 피험자의 근 피로도를 보상할 수 있도록 제어하였다. 첫째로, MVC 의 25% 수준으로 시간에 따라 동일하게 근력을 보상하여주었다. (Constant input) 둘째로, MVC 의 0~50% 수준으로 시간에 따라 일정기울기로 근력 보상을 증가시켰

다. (Ramp input) 동일 피험자를 대상으로 근피로도 보상 외골격 시스템을 착용한 상태에서의 근 피로도 실험을 이전 실험과 같은 방법으로 수행하였다.

4. 결과

4.1 피로도 측정 결과

근전도 신호로부터의 MPF 감소경향은 아래와 같다 (그림 2 실선). 기존 문헌에서와 같이 MPF는 시간에 따른 지수함수 감소경향을 보이며 피험자에 따른 시정수 값을 구할 수 있다.

4.2 보정실험 결과

외골격 시스템의 지지하중 제어를 통해 근피로도를 보상한 경우 그림 2의 점선과 같이 근피로도가 감소하였다. 또한 근피로도를 보상하는 지지하중 제어를 통해 진하중 제어의 경우보다 외골격 시스템의 소모파워가 감소한 것을 알 수 있다.

Ramp input(그림 2 일점쇄선)을 주었을 때, constant input(그림 2 점선)을 주었을 경우보다 피로도가 적게 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. (그림 4)

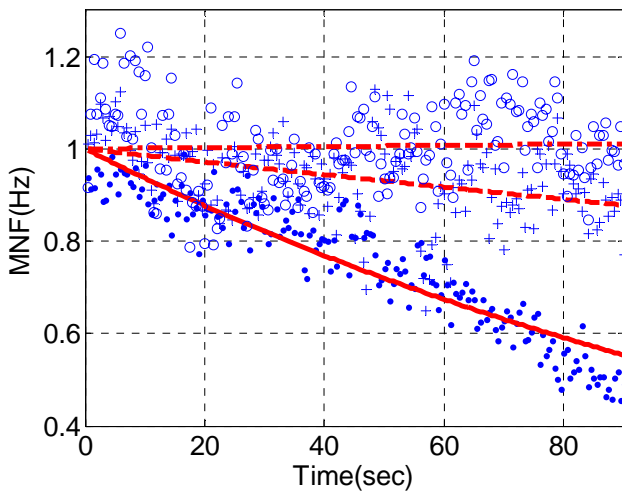


Fig 3 Exponential fitting graph
(실선: without control, 점선: constant input,
일점쇄선: ramp input)

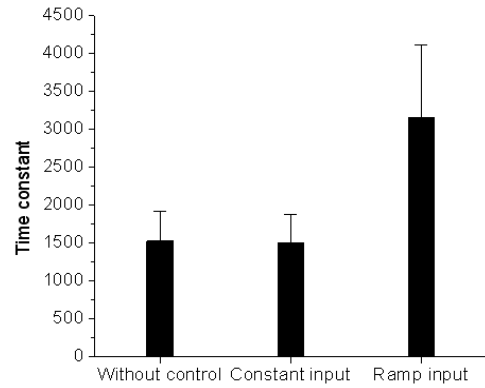


Fig 4 Variation of time constants
(지지하중에 대한 보상을 ramp input 으로 주었을 때, 보다 좋은 피로도 보상결과를 얻을 수 있다.)

5. 결론

일정 하중의 지지시 발생할 수 있는 근피로도를 보상하는 외골격 시스템을 개발하였다. 외골격 시스템의 지지하중 제어전략에 따라 근피로도와 에너지 효율간의 최적화된 설계가 가능할 것이다. 물체를 들고 있을 때 근전도 신호를 이용하여 근육의 피로도가 발생함을 알 수 있었다. 그리고 τ 을 토대로 모터에서 선형적으로 힘을 가해줌으로써 피로도를 보다 효과적으로 줄일 수 있었다.

6. 후기

본 연구는 한국과학기술원 국방무인화기술 특화연구센터를 통한 국방과학연구소 연구비 지원과 두뇌한국(BK)21 사업의 협력으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) A. A. Leis and V. C. Trapani, 2000, "Atlas of Electromyography. New York," NY: Oxford University Press, Inc.
- (2) R. Merletti and P. Parker, 2004, "Electromyography: physiology, engineering, and noninvasive applications," [Hoboken, NJ]: IEEE/John Wiley & Sons
- (3) Jukka H. T. Viitasalo and Paavo V. Komi, 1977, "Signal Characteristics of EMG during Fatigue,"