

## 지속적인 근 수축과정에서 발생하는 상태변화 계측방법

천 우 영 · 박 형 준 · 윤 양 웅  
원광대학교 전기·전자 공학부

### Measurement Method for Changing State Which is Generated from the Course of Continuous Muscle Contraction

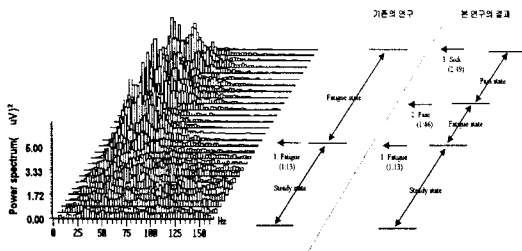
Woo-Young Cheon · Hyung-Jun Park · Yang-ung Yoon  
Dept. of Electrical Engineering, Wonkwang University

**Abstract** - 본 논문에서는 골격근의 지속적인 수의 수축시에 발생하는 근육의 수축상태변화를 규명하기 위하여 심리 변화와 생리변화를 계측하여 이들의 해석방법을 제안하였다.

지금까지는 근육의 수축상태를 근전도의 변화로부터 정상상태와 피곤상태로 구분하고 있다. 그러나 본 연구에서 제안한 심리적 변화를 기초로한 생리 신호 해석 방법에서는 근육수축 상태가 정상상태, 피곤상태, 아픈상태의 3단계 변화를 한다는 사실을 얻었다.

## 1. 서 론

근육을 지속적으로 수의 수축시키면 근육과 관련되는 생리적 변화가 일어나는 것은 물론이지만, 이로 인한 심리적 변화(느낌)도 동시에 발생한다. 인체에서 발생하는 전기신호인 근전도 (Electromyogram : EMG)는 근육이 수축할 때 발생하는 전기적 변동으로서 근육의 수축특성 및 수축시의 상태변화를 해석하기 위한 유용한 도구로 이용되어져 왔다. 현재까지 대부분의 연구는 근수축시의 상태변화를 해석하기 위하여 근전도와 같은 생리적인 변화에만 중점을 두어 해석하였다. 이 결과의 일반적인 예로 근전도를 주파수 분석한 것을 그림1에 나타내었다.

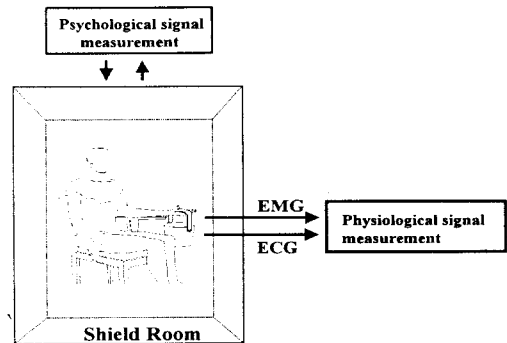


[그림 1] 주파수로 변화한 근전도와 상태변화

즉, 기준에는 그림1에와 같이 근전도의 주파수가 저주파수 대역으로 이동하는 시점을 기준으로 하여 정상상태와 피곤상태로 구분하고 있다.[1] 그러나 근의 수축과정 해석에서 심리적인 변화를 동시에 계측한 결과, 피험자들이 표현한 공통적인 변화는 "피곤하다", "아프다", "아주 아프다" 라고 하는 3단계 변화가 있었다. 본 연구에서는 이러한 근 수축과정에서 발생하는 심리적 변화를 바탕으로 근육의 생리적 상태변화를 규명하기 위한 해석방법을 고안하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 실험 방법

근육의 수축과정에서 발생하는 심리적인 변화와 생리적인 변화(심전도, 근전도)를 계측하기 위해서 그림2와 같은 시스템을 구축하였다.



[그림 2] 실험 시스템

실험은 23-28세의 건강한 남성 10명을 대상으로 하였다. 피험자를 shield room속의 의자에 앉히고 왼팔을 원전한 상태로 하여 손목관절을 고정하고 손바닥에 부하(일정한 질량)를 인가할 수 있도록 하였다. 이때 부하에 대한 주요 활동근육은 요측수근굴근(Flexor Carpi Radialis Muscle)이 된다. 요측수근굴근의 피부표면에 Ag-AgCl의 표면전극을 이용하여 근전도를 계측하였다. 심전도는 가슴유도 방법[2]으로 V3와 V4에 전극을 부착하여 증폭과 필터링 한 후 A/D 변환(샘플링 주기 : 1ms)하여 PC(IBM, 486)에 저장하였다. 이와 동시에 피험자가 구두로 표현한 심리적 변화시점을 기록하였다.

그리고 각 피험자마다 실험에 앞서 최대수의 수축력(MVC)을 계측하였다.

## 3. 해석 방법

### 3.1 근전도의 진폭 해석방법

본 연구에서는 근전도의 진폭변화를 해석하기 위하여 계측한 근전도 신호를 전파 정류한 후에 전파정류 된 신호를 5초간의 평균을 구하는 방법을 사용하였다.

### 3.2 근전도의 주파수 해석방법

심리적 변화를 기준으로 하여 근전도의 주파수 해석을 하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 그 해석방법을 고안하였다.

1단계 : 실험 시작에서 “매우 아프다” 라고 표현한 시점까지의 시간을 식(1)과 같이 18등분 한다.

$$f(t) : f_1(t), f_2(t), \dots, f_{18}(t) \quad (1)$$

여기서  $f(t)$ 는 시계열의 근전도를 의미한다. 그리고 등분수는 시행착오로 결정하였다.

2단계 : 각각 등분된 근전도  $f_n(t)$  를 식(2)와 같이 FFT한다.

$$F_n(w) = \int_{t_{n-1}}^{t_n} f_n(t) e^{-j\omega t} dt \quad (n = 1, 2, \dots, 18) \quad (2)$$

3단계 : 각 FFT된 신호  $F_n(w)$  의 면적을 식(3)과 같이 계산한다.

$$S_n = \sum_{\text{Sample No.}} F_n(w) \quad (3)$$

4단계 :  $F_n(w)$  를 5Hz씩 면적을 구하고 면적  $S_n$  에 대한 백분율로 식(4)와 같이 나타내어 모니터링 한다.

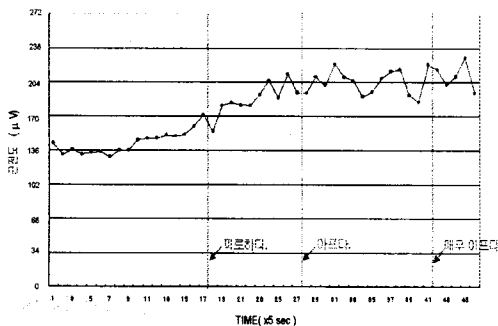
$$I_a = \frac{\sum_{5 \times 5 \text{ Hz}} F_n(w)}{S_n} \times 100 \quad (\alpha = 1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

이상과 같은 방법은 특정시간대에 있어서 근전도의 주요 활동 주파수 대역을 알 수 있는 방법으로 근 수축시에 동원되는 운동단위의 크기를 설명하는 사이즈 이론에 바탕을 두고 있다.

#### 4. 심리적 변화와 근전도 변화 비교

##### 4.1 심리적 변화의 판단시점과 근전도 비교

근전도 진폭해석 결과와 심리적 변화를 비교한 결과의 한 예(25%MVC)를 그림3에 나타내었다.

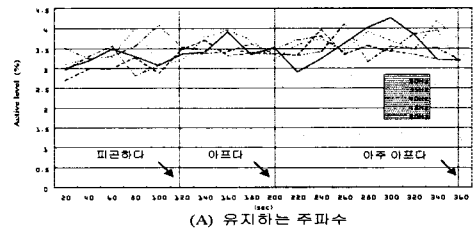


[그림 3] 5초 간격으로 평균한 근전도의 진폭

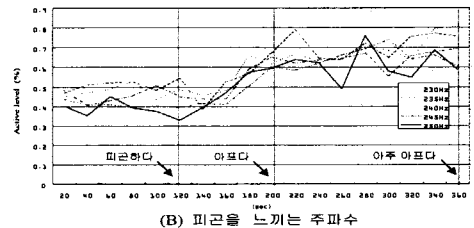
그림에서 나타내는 것처럼 “피곤하다”고 판단 될 때까지는 근전도 진폭이 일정하게 유지하다가, “아프다”고 느끼는 시작까지는 진폭의 변화가 상승하고, 그리고 “매우 아프다”고 느끼는 시작까지는 근전도가 진동하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 다른 질량의 부하와 다른 피험자에서도 유사하게 나타났다.

그림4에는 근전도의 주파수 해석결과와 심리적 변화

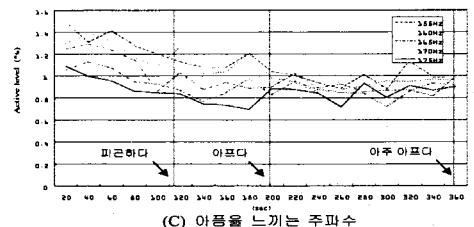
를 비교한 한 예를 나타내었다. 그림4는 전체 주파수 대역 중에서 그 변화의 특성이 가장 잘 나타나는 주파수 대역을 추출하여 나타낸 것이다. 그림4의 (A)와 같이 근 수축이 진행되는 동안 일정하게 활동레벨을 유지하는 주파수 대역이 있었다. 그리고 (B)와 같이 그 활동레벨이 피험자가 피곤을 느낀 부분에서 변화하는 주파수 대역이 있었다. 그리고 (C)와 같이 피험자가 아픔을 판단한 부분에서 활동레벨의 경향이 변화하는 주파수 대역도 존재하였다. 본 연구에서는 그림4와 같은 특징적인 주파수 대역을 유지하는 주파수 대역(그림4의 A), 피곤을 느끼는 주파수(그림4의 B), 아픔을 느끼는 주파수 대역으로 명명하였다. 이러한 결과들은 근 수축과정에서 발생하는 생리적 변화는 심리적 변화와 같이 3단계의 상태변화가 발생하는 것을 의미한다.



(A) 유지하는 주파수



(B) 피곤을 느끼는 주파수

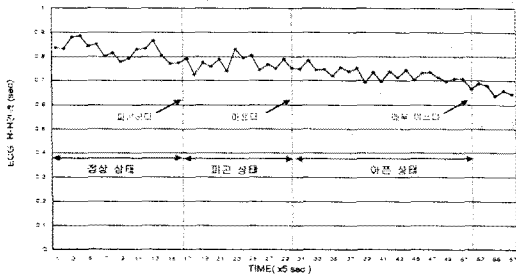


(C) 아픔을 느끼는 주파수

[그림 4] 심리적 변화 시점과 근전도 주파수 대역

##### 4.2 심리적 변화와 심전도 비교

외부 자극에 의해 발생하는 심리적 변화는 중추신경계와 자율신경계의 통합적인 조절에 의해 나타나는 현상이라 생각된다. 특히 심전도의 변화는 자율신경계의 활동정도를 반영하고 있기 때문에 외부 자극에 대한 인체의 대응 정도를 판단할 수 있는 정보원으로 많이 활용되어 왔다[3]. 그림5는 근 수축과정에서 발생하는 심전도의 R-R간격을 5초간 평균하여 이를 심리적 변화의 판단시점과 비교하여 나타낸 것이다.



[그림 5] 심전도 R-R 간격의 5초간 평균

근 수축이 진행됨에 따라 R-R간격은 전체적으로 감소하고 있다. 그러나 각 수축상태별로 관찰해보면, 피곤하다고 느낄 때까지는 감소하는 경향을 보이다가 피곤하다고 느낀 부분부터 아프다고 느낀 부분사이에서는 일정하게 유지하고 아프다고 느낀 부분부터 매우 아프다고 느낀 부분사이에서는 다시 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이처럼 근의 수축과정에 있어서 심전도의 변화는 심리적 변화를 기준으로 3단계의 상태변화가 존재하는 것으로 여겨진다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 근 수축과정에서 발생하는 상태변화를 해석하기 위해서 생리적인 변화와 심리적인 변화를 동시에 계속하였다. 심리적인 변화는 피험자들이 공통적으로 3상태의 변화를 표현하였다. 근전도 변화에서도 이와 같은 3상태의 변화를 찾기 위해서 진폭해석방법과 사이즈 이론에 바탕을 둔 주파수 해석방법을 고안하였고, 그 해석한 결과 근전도에서도 심리적인 변화와 같은 3상태의 변화가 있었다. 이와 같은 결과로 해석해 볼 때 근육 수축과정에서 발생하는 상태변화는 정상상태와 피곤상태뿐만이 아니라 아픈상태가 존재하는 3가지 상태가 있다는 것을 규명하였다. 그리고 이러한 상태의 변화는 연속적으로 일어나는 것이 아니라 어느 시점을 기준으로 변화하여 그 경향이 지속되다가 다시 어느 시점에서 다른 상태로 바뀐다는 사실도 알 수 있었다. 이러한 사실은 생체역학이나 근육생리학 등 여러 관련분야에 있어서 시사하는 바가 큰 것을 사료된다.

## (참 고 문 헌)

- [1] Yuri Koryak, "Electromyographic study of the contractile and electrical properties of the human triceps surae muscle in a simulated microgravity environment", J. Physiol, 510, 287-295, 1998
- [2] 최 명애 외 4인 공저 "생 리 학", 현문사, 1995
- [3] Federico Lombardi; Alberto Malliani; Massimo Pagani; Sergio Cerutti, "Heart rate variability and its sympatho-vagal modulation", Cardiovascular Research, 32, 208-216, 1996
- [4] Potvin, J. R, "Effects of muscle kinematics on surface EMG amplitude and frequency during fatiguing dynamic contractions", J. Appl. Physiol, 82(1), 144-151, 1997
- [5] Hashimoto, I; Miyamura, M; Saito, M, "Initiation of increase in muscle sympathetic nerve activity delay during maximal voluntary contraction", Acta Physiol Scand, 164(3), 293-297, 1998

[6] 천 우영, 박 종환, 박 형준, 박 병림 "근육의 등척성 수축에 있어서 심리적 변화와 근전도 변화의 관계", 한국 감성과학회, 춘계학술발표 논문집, 249-253, 1999

[7] Seals, D. R; Enoka, R. M, "Sympathetic activation is associated with increase in EMG during fatiguing exercise", J Appl Physiol, 66, 88-95, 1989

[8] Stefan Korneckl; Volker Zschorlich, "The Nature of The Stabilizing Functions of Skeletal Muscles", J.Biomechanics, 27, 215-225, 1994

[8] G. J. C .Ettema; P. A. Huijing, "Skeletal Muscle Stiffness in Static and Dynamic Contractions", J. Biomechanics, 27, 1361-1368, 1994