

표면근전도 신호의 정상성 검사를 위한 수정된 Run-검증과 RA-검증에 최적인 신호분할 길이

Optimal Signal Segment Length for Modified Run-test and RA(reverse arrangement)-test for Assessing Surface EMG Signal Stationarity

이 진*
(Jin Lee)

Abstract - Most of the statistical signal analysis processed in the time domain and the frequency domain are based on the assumption that the signal is weakly stationary(wide sense stationary). Therefore, it is necessary to know whether the surface EMG signals processed in the statistical basis satisfy the condition of the weak stationarity. The purpose of this study is to find optimal segment length of surface EMG signal for assessing stationarity with the modified Run-test and RA-test. Ten stationary surface EMG signals were simulated by AR(autoressive) modeling, and ten real surface EMG signals were recorded from biceps brachii muscle and then modified to have non-stationary structures. In condition of varying segment length from 20ms to 100ms, stationarity of the signals was tested by using six different methods of modified Run-test and RA-test. The results indicate that the optimal segment length for the surface EMG is 30ms~35ms, and the best way for assessing surface EMG signal stationarity is the modified Run-test (Run2) method using this optimal length.

Key Words : Surface EMG stationarity, Optimal signal segmentation

1. 서 론

피부에 부착한 표면전극(surface electrode)을 통하여 취득하는 표면근전도(SEMG:surface electromyogram) 신호는 비결정적(non-deterministic)인 임의신호(random signal)의 형태로 기록된다[1]. 그러므로 표면근전도 신호에 적용되는 많은 유용한 신호 분석기법들은 통계적 임의과정(stochastic random process)[2] 이론을 바탕으로 신호 정상성(stationarity)을 기본으로 하여 유도되었다. 특히 근전도 신호의 1,2차 모멘트(moment, 예를 들면 평균, 분산, 전력 spectrum 등)를 추정하는 신호처리 기법들은 다양한 연구들에서 실제로 근 신경계에 대한 유용한 생리학적 정보를 제시할 수 있는 방법으로 사용되어져 오고 있다[3,4].

유한개로 관찰된 표면근전도 신호를 대상으로 시 평면(time domain) 혹은 주파수평면(frequency domain)에서 이러한 통계적 신호처리 기법들을 이용하여 얻어지는 모멘트 추정 값들에 대하여 실제 참 값의 의미를 부여하기 위해서는 넓은 의미의 신호 정상성(WSS:wide sense stationarity) [2]의 성립이 최소한의 요건이며, 이러한 추정 값들의 신뢰성과 일관성을 위해서 신호 정상성의 보장은 중요한 요인이다.

지금까지 표면근전도 신호를 대상으로 이러한 통계적 신

호처리 기법을 적용한 대 다수의 연구들에서는 신호의 정상성을 검증하기보다는 단순한 WSS 가정을 바탕으로 수행되었으나, 최근 들어 몇몇 연구자들에 의해서 근전도 신호들을 대상으로 정상성 검증을 위한 연구들[5-9]이 시도되었다. 1997년 Bilodeau와 동료들[7]은 근전도 신호의 정상성 검사를 위해서는 통계적 비모수적(non-parametric) 검증방법의 적용이 효과적임을 보고하였다. 이 연구를 바탕으로 대표적 비모수적 검증법인 Run-검증(Run-test)과 RA-검증(Reverse Arrangement-test)[10,11]을 적용하여 표면근전도 신호의 정상성 검사를 위한 연구들이 시도되었다. Beck등은 [8] Run-검증과 RA-검증의 표면근전도 신호에 대한 정상성 검증의 정확도가 일관적이지 않음을 지적하였으며, Lee[9]는 이러한 비일관성의 원인이 Run-검증과 RA-검증을 대상 신호에 적용하는 절차적 방법이 다양하기 때문이라는 사실을 지적하고, 이 검증법들의 서로 다른 적용방법에 대한 정확도를 분석, 제시하였다.

이와 같은 최근까지의 연구들을 통하여 표면근전도 신호의 정상성 검사를 위해서는 수정된 Run-검증과 RA-검증법이 비교적 높은 정확도를 나타냄이 밝혀졌으나, 이들의 연구들은 모두 대상 신호를 고정된 시간간격으로 분할한 소구간(segment)을 적용하여 정상성을 검사하였기 때문에 정상, 비정상의 판정 결과가 서로 상이하게 보고되었었다. 본 연구팀은 이두가지 수정된 검증법들의 정확도가 검증을 위해서 표면근전도 신호를 분할한 소구간의 길이에 크게 좌우될 수 있음을 발견하였다.

본 연구는 표면근전도 신호의 정상성 검사를 위해 적용되고 있는 수정된 Run-검증과 RA-검증법을 위해 필요한 최

* Corresponding Author : Dept. of Control & Instrumentation Engineering, Kangwon National Univ., Samcheok, Korea.

E-mail : jlee@kangwon.ac.kr

Received : May 22, 2014; Accepted : July 24, 2014

적의 신호 분할 구간을 알아내기 위하여 시도하였으며, 본 연구를 통하여 표면근전도 신호의 정상성 검사에 가장 높은 정확도를 갖는 일관된 검증 방법을 제시하고자 한다. 이를 위하여 정상, 비정상성을 만족시키는 모의 표면근전도 신호를 실제 이두박근(biceps brachii muscle)에서 취득한 표면근전도 신호들을 포함하여 발생시키고, 이 신호들을 대상으로 여섯 가지 다른 적용방법의 수정된 Run-검증과 RA-검증들을 신호 분할 구간의 길이를 달리하며 실시하여 검증결과를 분석, 제시하였다.

2. 정상성 검증

Run-검증과 RA-검증법은 신호의 비정상에 기인하여 발생하는, 정규분포에서 벗어나는 평균, 분산 등의 변화 추세를 비모수적 방법으로 검사하여 임의신호의 정상성을 검증하기 위하여 고안된 방법이다. 그러나 이 검증법들의 정확도는 대상 신호의 통계적 진폭변화 특성에 민감하게 반응하기 때문에 측정신호에 적절한 절차로 검증방법을 적용하는 것이 필요하다[10,11].

2.1 Run-검증

N 개의 관측 확률변수(측정신호), $x_i (i=1,2,3,\dots,N)$,를 확률적으로 상호 배타적인(mutually exclusive) 2개의 그룹으로 분류(주로 +/- 부호로 표시)하여 같은 부호가 연속되는 경우를 Run으로 정의하면, Run의 총수(r), +/-로 분류된 측정값의 총수(각각 N_1/N_2)를 이용하여 다음 식(1)로 정의되는 검증확률을 이용하여 대상 신호의 정상성(WSS)을 검사할 수 있다[10,11].

$$Z_r = \frac{r+h-(2N_1N_2/N)-1}{\sqrt{2N_1N_2(2N_1N_2-N)/[N^2(N-1)]}}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} h=0.5, & \text{if } [(2N_1N_2/N)+1] > r \\ h=-0.5, & \text{그외} \end{cases}$$

위식의 검증확률이, $|Z_r| < Z_{1-\alpha/2}$ (유의수준 $\alpha=0.05$ 일 때, $Z_{1-\alpha/2}=1.96$) 범위로 나타나면, x_i 는 정상성을 만족한다.

이와 같은 Run-검증법은 측정신호 샘플(sample) 값을 자체를 +/- 그룹으로 분류하여 검사하는 Run-검증법과, 측정신호 샘플 값을 자체를 확률적 상호 배타적인 그룹으로 분류하지 않고 측정신호를 일정한 시간간격으로 분할한 임의의 소구간(segment)에서 구한 통계적 대푯값을 이용하여 정상성을 검증하는 수정된 Run-검증법으로 구분할 수 있다.

즉 수정된 Run-검증법은 전체 대상 신호를 임의의 소구간으로 분할한 다음, 각 구간마다 평균, 제곱평균, 분산과 같은 통계 값을 구한 후, 이 값들을 새로운 확률변수로 취급하여 +/- 그룹으로 분류한 다음, 식(1)의 검증확률을 이용하여 검사하는 방법이다(여기서 전체 관측변수의 수, N 의 값은 계산한 통계 값의 총 수)[5,6].

본 연구에서는 이러한 수정된 Run-검증법을 대상 신호의 소구간에서 구한 통계 값과, 이 값들을 +/- 그룹으로 분류하는 방법에 따라 다음과 같이 검증명을 설정하였다.

- ① Run1: 평균값을 구한 후, 이 값들의 중간값(median)을 기준으로 크다(+)/작다(-).
- ② Run2: 제곱평균값을 구한 후, 이 값들의 중간값을 기준으로 크다(+)/작다(-).
- ③ Run3: 분산값을 구한 후, 이 값들의 중간값을 기준으로 크다(+)/작다(-).

2.2 RA(reverse arrangement)-검증

N 개의 관측 확률변수, $x_i (i=1,2,3,\dots,N)$ 로부터, $x_i > x_j, (i < j)$ 를 만족시키는 수를 RA값으로 정의한 후, 모든 관측 변수에 대해 차례로 계산한 RA값들을 모두 더한 전체 RA값, A 의 확률분포를 식(2)로 정의되는 검증확률을 이용하여 검사하는 방법이다[10].

$$Z_A = \frac{A - [N(N-1)/4]}{\sqrt{(2N^3 + 3N^2 - 5N)/72}} \quad (2)$$

Run-검증과 마찬가지로 위식의 검증확률이, $|Z_A| < Z_{1-\alpha/2}$ (유의 수준 $\alpha=0.05$ 일 때, $Z_{1-\alpha/2}=1.96$) 범위로 나타나면, x_i 는 정상성을 만족한다.

이와 같은 RA-검증법도 측정신호 샘플(sample) 값을 자체를 대상으로 RA 값을 계산하여 검사하는 RA-검증법과, 측정신호 샘플 값을 사용하지 않고 측정신호의 임의의 소구간에서 구한 통계적 대푯값을 이용하여 RA 값을 검증하는 수정된 RA-검증법으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 수정된 RA-검증법도 이용하는 통계 값에 따라 다음과 같이 검증명을 설정하였다.

- ① RA1: 평균값을 구한 후, 이 값들로 A 값 계산.
- ② RA2: 제곱평균값을 구한 후, 이 값들로 A 값 계산.
- ③ RA3: 분산값을 구한 후, 이 값들로 A 값 계산.

3. 실험 방법

본 연구에서는 제시한 6가지의 수정된 Run-검증과 RA-검증법을 적용하여 표면근전도 신호에 최적인 검증 소구간 길이를 밝혀내고, 이를 바탕으로 실제 표면근전도 신호의 정상성 만족 특성을 분석하기 위하여 다음과 같은 방법으로 두 가지 실험을 각각 실시하였다. 신호 생성 및 검증을 위한 모든 알고리즘(algorithm)은 Matlab 소프트웨어(software) [13]를 이용하여 프로그래밍(programming) 하였다.

3.1 최적 소구간 길이 분석

표면근전도 신호의 정상성 검사에 최적인 검증 소구간 길이를 알아내기 위해서는 정상, 비정상성을 만족하는 모의 표면근전도 신호들이 필요하다. 그러므로 이를 위하여 요구되는 정상, 비정상성을 만족하는 표면근전도 신호들을 다음과 같은 조건으로 발생시켰다.

먼저 정상신호는 정상 자기회귀모델(AR:autoregressive model)로 이두박근의 표면근전도 신호를 근사화한 기존 연구들[9,12]을 참조하여 10개의 모의 정상 표면근전도 신호를 정상 자기회귀 방정식과 백색잡음(white noise)을 이용하여

각각 발생시켰다. 이때 표면근전도 신호의 정상성이 만족될 수 있는 최대 기록시간을 1~2초로 지정한 기존연구들[3,6,12]을 바탕으로, 표본화 주파수 2[kHz]로 1초 동안의 모의 정상 표면근전도 신호들을 본연구의 정상성 검사에 사용하였다.

다음으로 비정상신호는 실제로 측정되는 비정상 신호의 대부분은 진폭변화의 경향(trend)이 시간에 따라 달라지는 원인에 기인함을 제시한 Bendat등[10]의 결과를 바탕으로, 시변평균 비정상신호와 시변제곱평균 비정상신호들을 실제 이두박근(biceps brachii muscle)에서 10명의 피검자를 대상으로 취득한 표면근전도 신호(% 최대자위수축[MVC:maximum voluntary contraction], 표본화 2048[Hz])를 변형하여 생성하였다. 즉 실제 이두박근에서 측정된 표면근전도 신호에 시변평균을 더하여 5개의 시변평균 비정상신호를, 시변평균을 곱한 5개의 시변제곱평균 비정상신호를 각각 구성하였다. 그림 1에 이와 같이 발생시킨 1초 동안의 정상, 비정상 표면근전도신호의 예를 각각 나타내었다.

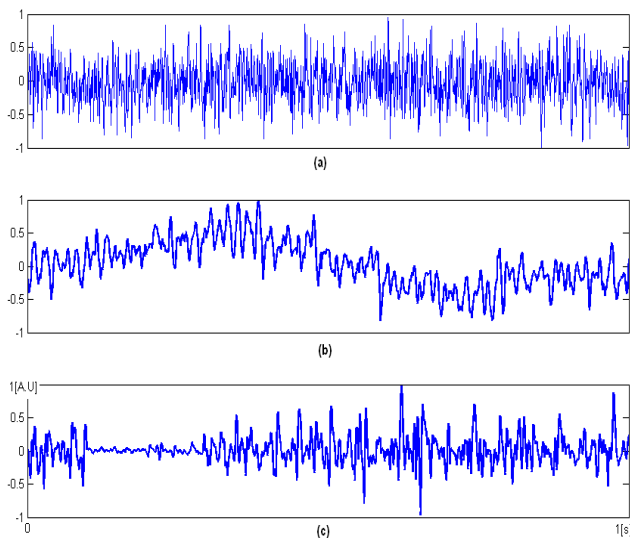


그림 1 표면근전도 신호의 예 (a) 자귀회귀 모델링 정상 표면근전도 (b) 시변 평균 비정상 표면근전도 (c) 시변 제곱평균 비정상 표면근전도

Fig. 1 Examples of SEMG signal (a) AR modelling stationary SEMG (b) real SEMG with non-stationary structure of time varying mean (c) real SEMG with non-stationary structure of time varying mean square

그림 1에 나타낸바와 같이 본연구의 실험을 위해 구성된 총 20개의 표면근전도 신호를 대상으로 20ms~100ms의 구간에서 5ms 단계로 신호를 분할한 소구간의 길이를 변화시키며 정상성 검증을 실시하였다. 이와 같은 실험 설정은 침전극(needle electrode)으로 기록되는 운동단위 활동전위(MUAP :motor unit action potential)의 지속시간은 보통 1ms~13ms의 범위, 표면전극의 경우는 복합, 중첩된 다상(polyphasic) MUAP을 포함하여 3ms~20ms 범위[1] 임을 고려하여 선정하였다.

3.2 정상 표면근전도 신호 길이 분석

위 분석을 통하여 알아낸 검증법과 소구간 길이를 적용하여 실제 표면근전도 신호를 대상으로 정상성을 만족하는 표면근전도 신호의 기록시간 범위를 알아보기 위하여 20명의 피검자(22~26세의 건강한 성인 남자)를 대상으로 표면근전도 신호 수집 실험을 실시하였다. 표면근전도 신호는 이두박근(biceps brachii muscle)에서 시각적 케환(visual feedback)을 통하여 20%MVC를 10초 동안 유지시키며 2048[Hz]의 표본화로 각각 기록하였다. 그림 2에 이와 같은 실험 조건으로 수집한 표면근전도 신호의 예를 나타내었다.

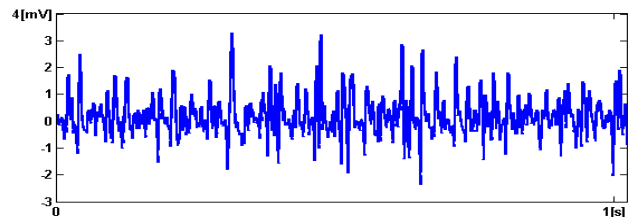


그림 2 실제 표면근전도 신호(이두박근에서 20%MVC 기록)
Fig. 2 Real SEMG signal(recorded from biceps brachii muscle with 20%MVC)

그림 2에 나타낸바와 같이 기록한 총 20개의 표면근전도 신호를 대상으로 정상성을 만족하는 표면근전도 신호의 기록시간을 분석하기위하여 실험 1을 통하여 밝혀진 방법을 적용하여 정상성 검증을 시도하였다.

일반적인 표면근전도 신호의 통계적 특성은 비정상 확률과정 신호로 나타나나, 비교적 짧은 시간동안(2s 이내) 일정한 자위수축으로 기록한 표면근전도 신호는 약정상성을 만족하는 것으로 여러 연구자들[3-7,12]에 의해 보고된바 있다. 이를 바탕으로 본 연구의 정상성 검증은 3초간의 표면근전도 신호구간에서 250ms 단계로 기록신호의 길이를 변화시키며 실시하였다.

4. 결과 및 검토

4.1 최적 소구간 길이 분석 결과

표 1에 총 20개의 표면근전도 신호를 대상으로 본 연구에서 제시한 각 검증방법으로 검사를 위한 소구간 길이를 20ms~100ms로 변화시키며 정상성을 검사한 결과를 정상신호와 비정상신호를 구별하여 나타내었다. 표 1에서 각 검증법은 본문에서 명명한 수정된 Run-검증과 RA-검증을 사용하였으며, 정확도=(바르게 검증된 신호의 총 수/대상 신호의 총 수)×100으로 계산한 백분율로 각각 나타낸 것이다.

표 1에서 첫 번째로 나타난 결과는 1s 동안 기록한 정상 표면근전도 신호 10개를 대상으로 신호 분할 소구간을 20ms로 하여 수정된 Run-검증법(Run1)을 적용하여 정상성을 검사한 결과, 총 10개 신호 중에서 1개의 신호만이 비정상 신호로 검증되어, 전체 정상 표면근전도 신호에 대한 정확도가 90%임을 나타낸다.

정상 표면근전도 신호와 비정상 표면근전도 신호에 대한 각 검증법들의 정확도를 비교해 볼 수 있는 표 1의 결과들을 분석해 보면, 제시한 방법들 모두 정상 표면근전도 신호

표 1 표면근전도 신호들에 대한 정상성 검증 결과
Table 1 Results of the stationarity tests for the SEMG signals

소구간 (ms)	정확도(%) (정상신호)						정확도(%) (비정상신호)					
	Run1	Run2	Run3	RA1	RA2	RA3	Run1	Run2	Run3	RA1	RA2	RA3
20	90	70	100	100	100	90	70	100	40	50	30	30
25	100	80	90	100	100	100	60	100	30	50	20	50
30	100	100	90	100	80	100	60	100	20	50	30	30
35	100	100	100	100	100	100	60	100	30	50	50	30
40	100	100	100	100	90	90	60	90	20	50	70	30
45	100	100	100	100	90	90	60	90	40	50	60	20
50	100	90	80	100	90	100	50	90	30	50	50	30
55	100	90	90	100	90	80	50	70	30	50	50	20
60	100	90	100	100	80	100	70	90	10	50	60	20
65	100	100	100	100	100	80	60	90	20	40	60	0
70	100	100	100	100	90	90	10	60	30	50	50	10
75	100	100	100	100	80	80	10	70	20	40	60	0
80	100	90	100	100	100	80	10	70	20	50	50	10
85	100	90	100	100	100	100	10	70	10	40	50	0
90	100	100	100	100	90	80	20	20	10	40	50	0
95	100	100	90	100	90	80	0	30	10	40	50	0
100	100	100	100	100	90	100	0	30	0	40	40	0

에 대해서는 소구간의 길이 변화에 영향을 적게 받으며 비교적 높은 정확도를 보이나, 비정상 신호들에 대해서는 소구간 길이 변화의 영향도 크며 낮은 정확도를 나타냄을 알 수 있다. 이러한 결과는 비정상 표면근전도 신호의 경우, 신호 진폭변화의 경향이 분할하는 소구간 길이의 설정에 따라서 달라질 수 있기 때문에 정확도가 보다 민감하게 반응한 것으로 생각된다.

정상 표면근전도 신호에 대한 검증 정확도는 RA2 검증법의 경우가 20ms~100ms 모든 소구간에 대하여 100%로 나타나 다른 5개의 검증법들 보다 우수한 성능을 보이며, 비정상 표면근전도 신호에 대해서는 Run2 검증법이 모든 소구간에 대하여 기타 검증법들 보다 높은 정확도를 나타냄을 표 1의 결과를 통해 볼 수 있다. 이는 표면근전도 신호 소구간의 통계적 대푯값으로는 제곱평균을 사용하여 수정된 Run-검증 및 RA-검증을 실시하는 것이 바람직하며, 정상 표면근전도 신호를 대상으로는 수정된 RA-검증법(RA2)을, 비정상 표면근전도 신호의 경우에는 수정된 Run-검증법(Run2)을 적용하는 것이 효과적인 정상성 검사 방법임을 증명하는 결과라 할 수 있다.

다음으로 전체 20개의 정상, 비정상 표면근전도 신호를 대상으로 실시한 정상성 검증의 결과를 종합하여 분할 소구간의 길이에 따른 정확도 변화의 그래프로 그림 3에 나타내었다. 각 그림은 X축을 소구간 길이, Y축을 %정확도로 하고 본 연구에서 제시한 검증법을 포함하여 구성하였다.

그림 3에 나타난 정상, 비정상 표면근전도 신호 전체를 대상으로 한 검증결과는 6가지 다른 적용법들의 수정된 Run-검증과 RA-검증 결과 모두가 신호분할 소구간의 길이에 따라 정확도가 달라짐을 보여주고 있다. 이는 서로 다른 고정된 신호분할 소구간에서 계산한 통계적 대푯값을 이용

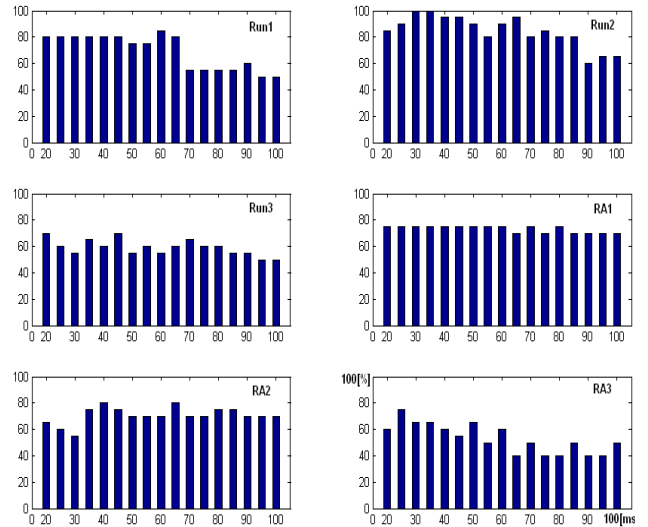


그림 3 신호분할 소구간 길이에 대한 각 검증법들의 검증 정확도 비교

Fig. 3 Accuracy comparison of each stationary test for varying segment length

하여 수정된 Run-검증법과 RA-검증법을 표면근전도 신호의 정상성 검사에 적용한 기존 연구들[5-9]의 결과가 서로 상이하게 나타난 이유를 밝혀주는 결과라 할 수 있다.

또한 RA1 검증법의 경우가 소구간 길이의 변화에 가장 강건한 정확도를 보이는 반면에, 소구간에서 구한 대푯값으로 분산을 사용하여 검증하는 Run3와 RA3 검증법들이 공히 표면근전도 신호 소구간 길이의 변화에 가장 민감하게 반응하는 정상성 검증법임을 알 수 있다.

그림 3의 결과를 종합해보면 Run2 검증법의 정확도가 기타 5가지의 검증법들 보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있으며, 특히 30ms~35ms의 소구간에 대하여는 100% 정확도를 나타냄을 알 수 있다. 이는 표면근전도 신호의 정상성 검사를 위해서는, 대상 표면근전도 신호를 30ms~35ms의 소구간으로 분할한 다음, 이 소구간에서 대푯값으로 제곱평균을 구하여 수정된 Run-검증법을 적용하는 것이 최적의 방법임을 제시하는 새로운 결과이다.

4.2 정상 표면근전도 신호 길이 분석 결과

그림 4에 이두박근에서 수집한 표면근전도 신호를 대상으로 실시한 정상성 검증의 결과를 나타내었다. 즉 전체 20개의 표면근전도 신호를 대상으로 본 연구를 통하여 밝혀진 최적 정상성 검증법인 Run2(32ms 소구간) 방법을 적용하여 표면근전도 신호 길이를 0.25s~3s에서 0.25s 간격으로 변화시키며 정상성을 검사한 결과를 종합하여 나타낸 것이다. 그림은 X축을 신호 길이, Y축을 전체 신호 중 정상성을 만족하는 표면근전도 신호의 백분율(정상 SEMG 신호의 총 수/대상 신호의 총 수×100[%])로 구성하였다.

앞의 서론에서도 언급하였듯이 신호 정상성 가정을 바탕으로 하는 통계적 추정기법을 사용하여 근전도 신호로부터 얻어지는 정보의 정확성은 대상 신호의 정상성 만족 여부에 따라 달라질 수 있다. 예를 들면 근피로도(muscle

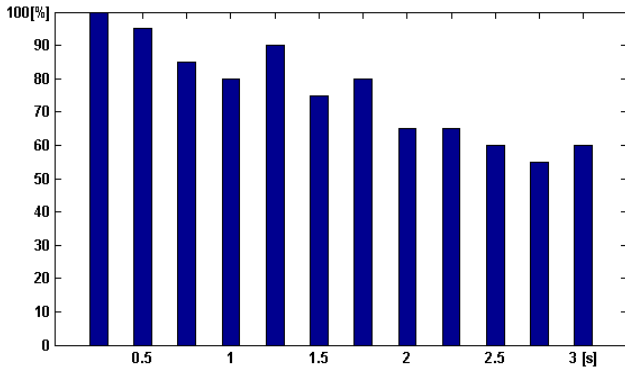


그림 4 신호 길이에 따른 표면근전도 신호의 정상성 비교
 Fig. 4 A comparison of the SEMG stationarity for varying signal length

fatigue)[1] 추정 의 경우 정상성을 만족하는 근전도 신호 길이를 적절하게 선정하면 정확성을 높일 수 있음이 보고된바 [4] 있다. 이러한 이유를 바탕으로, 지금 까지 여러 연구자들이[3-7,12] 비교적 짧은 시간동안(대부분 1s 이내) 일정한 자의수축으로 기록한 표면근전도 신호는 약정상성을 만족하는 것으로 보고한바 있었으나, 정확한 구간은 여전히 불분명한 상태이다. Merletti와 그의 동료들은[3,4] 표면근전도 신호 길이를 달리하며 근전도 추정값들을 비교, 분석하여 0.5s~2s 길이의 표면근전도 신호가 정상성을 만족하는 신호 길이 임을 제시하였고, Lee[5]와 기타 연구자들[6,7,12]의 연구에서는 1s 이내의 일정자의수축 시에 기록된 표면근전도 신호만이 정상성 만족이 보장될 수 있음을 지적하였다.

그림 4의 본 연구 결과는 위에서 언급한 지금까지의 연구와 맥락을 같이하며, 보다 정확하게 정상성을 만족하는 표면근전도 신호 길이 구간을 나타내고 있다. 즉 표면근전도 신호의 기록시간이 길어질수록 정상성 만족의 비율이 떨어지며(2s 이상 길이의 경우 65% 이하) 0.5s 이내의 짧은 시간에 일정자의수축으로 기록된 표면근전도 신호만이 95% 이상으로 정상성이 만족될 수 있음을 나타내는 결과이다.

5. 결 론

본 연구는 비모수적으로 신호의 정상성을 검증하는데 효과적인 수정된 Run-검증법과 RA-검증법들을 표면근전도 신호에 적용하기 위하여 필요한 최적의 신호분할 소구간 길이를 밝혀내고, 이 방법을 적용하여 정상성을 만족하는 실제 표면근전도 신호의 길이에 대한 분석 결과를 제시하고자 시도하였다. 이를 위하여 실제 표면근전도 신호를 대상으로 신호분할 소구간의 길이를 20ms~100ms로 변화시키며 6가지의 수정된 Run-검증법과 RA-검증법들을 적용하여 정상성을 검증하고, 분석한 결과를 제시하였다.

본 연구를 통하여 표면근전도 신호를 30ms~35ms의 소구간으로 분할한 다음, 이 소구간에서 제곱평균을 구하여 수정된 Run-검증법을 적용하는 것이 표면근전도 신호의 정상성 검증을 위하여 최적의 방법이라는 새로운 결과를 제시하였다. 또한 새롭게 밝혀진 정상성 검증법을 적용하여, 일정자의수축 시에 기록한 표면근전도 신호의 정상성이 만족되는

기록시간은 0.5s 이내임을 제시하였다.

본 연구에서 제시한 결과는 지금까지 표면근전도 신호의 정상성 검증을 위하여 일관적이지 않은 검증법들을 적용한 기존 연구들의 단점을 보완해주는 유용한 기준으로 사용될 수 있을 것이며, 향후 근피로 분석등과 같은 표면근전도 신호를 대상으로 하는 통계적 신호처리 결과의 정밀도를 향상 시키는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-220140058).

References

- [1] J.V. Basmajian and C.J. De Luca, *Muscles alive : Their functions revealed by electromyography.*, Baltimore, MD, Williams & Wilkins, 1985.
- [2] A. Papoulis, *Probability, random variables and stochastic processes*, McGraw-Hill, NY, 1965.
- [3] R. Merletti and L.R. Lo Conte, "Surface EMG signal processing during isometric contraction," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 7, No. 4, pp. 241-250, 1997.
- [4] D. Farina and R. Merletti, "Comparison of algorithms for estimation of EMG variables during voluntary isometric contraction," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 10, pp. 337-349, 2000.
- [5] J. Lee, Y.S. Lee, S.H. Kim, "Real time implementation of time varying nonstationary signal identifier and its application to muscle fatigue monitoring", *J. of KOSOMBE*, vol. 16, no. 3, pp. 317-324, 1995.
- [6] G.F. Inbar and A.E. Noujaim, "On surface EMG spectral characterization and its application to diagnostic classification", *IEEE Trans. BME*, vol. 31, pp. 597-604, 1984.
- [7] M. Bilodeau, M. Cincera, A.B. Arsenault, D. Gravel, "Normality and stationarity of EMG signals of elbow flexor muscles during ramp and step isometric contractions," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 7, No. 2, pp. 87-96, 1997.
- [8] T.W. Beck, T.J. Housh, J.P. Weir, J.T. Cramer, V. Vardaxis, G.O. Johnson, J.W. Coburn, M.H. Malek, M. Mielke, "An examination of the Runs test, reverse arrangement test for assessing surface EMG signal stationarity," *J. of Neuroscience methods*, vol. 156, pp. 242-248, 2006.
- [9] J. Lee, "An accuracy analysis of Run-test and RA-test for assessing surface EMG signal stationarity", *J.of KIEE*, vol.63, no.2, pp. 291-296, 2014.

- [10] J.S. Bendat and A.G. Piersol, Random data: analysis and measurement procedures, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1986.
- [11] J. Banks and J.S. Carson, Discrete-event system simulation, Prentice hall, Englewood cliffs, New Jersey, 1984.
- [12] O. Paiss and G.F. Inbar, "Autoregressive modeling of surface EMG and its spectrum with application to fatigue", IEEE Trans. BME, vol. 34, No. 10, pp. 761-770, 1987.
- [13] C. M. Thompson and L. Shure, Matlab and Simulink User's Guide, Mathworks Inc., 2002.

저 소 개



이 진 (李 眞)

1987년 연세대학교 의용공학과 학사.
1990년, 1999년 서울시립대학교 전자공학과 석사, 박사.

1999년-현재 강원대학교 삼척캠퍼스 제어계측공학과 교수.

주관심분야 : 의용전자, 신호처리