

# 생체공학적인 적용을 위한 광학 근육 활성화도 측정 센서를 이용한 손목 움직임 예측

## Estimation of wrist motion using optical muscle activation sensor for bionic application

\*한효녕<sup>1</sup>, #김정<sup>2</sup>

\*H.Han<sup>1</sup> (hhn98@kaist.ac.kr), #J. Kim<sup>2</sup> (jungkim@kaist.ac.kr)  
<sup>1,2</sup> 한국과학기술원 기계공학과

Key words : bionic application, muscle activation, motion estimation, muscle activation sensor

### 1. 서론

인체의 움직임과 힘을 활용하는 재활보철 장치 및 인간 기계 상호작용을 위한 인터페이스를 위해서는 빠르고 정밀한 움직임 및 힘 예측이 필요하다. 이러한 움직임과 힘 정보들을 동시에 예측하기 위해서는 이를 발생시키는 근육의 변화를 측정하는 것이 중요하며, 이러한 근육의 변화는 근육활성화도 센서(Muscle activation sensor)를 이용하여 측정할 수 있다. 대표적인 센서로는 근육의 활동 전위를 측정하는 근전도가 있으며, 이를 이용한 움직임 예측 관련 연구들도 많이 진행되고 있다[1~4]. 근전도가 근육에 가해지는 신경 신호를 바로 측정하여 빠르다는 장점을 가지고 있지만, 외부 전자기 노이즈에 약하고, 요구되는 측정 샘플링 주파수가 높으며, 필요한 정보를 획득하기에 복잡한 신호 처리 과정을 거쳐야 하며, 추가적인 레퍼런스 센서를 존재해야 하는 등의 문제점을 가지고 있어, 신호 측정함에 제약이 갖는다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 다른 방식의 근육활성화도 센서를 이용한 움직임 예측 방법들이 제안되어 왔다. 일본의 Nagasaki 대학 팀에서는 압력센서를 이용한 근육경도센서(muscle stiffness sensor)를 개발하여 보조 로봇을 제어했으며[5], 국내 서강대 팀에서는 근섬유팽창센서 (muscle fiber expansion sensor)를 이용하여 거동보조 로봇을 제어하였다[6], 하지만 이러한 센서들은 착용감이 좋지 않아 사용자들에게 불편하며, 한 횡에서 동시에 여러 근육 측정이 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 기존 근육활성화도 측정 센서의 문제점을 개선하고자 LED 및 광센서,를 이용한 새로운 광학 근육활성화도 센서 (oMAS)를 개발하고자 한다. 또한 이를 평가하기 위하여, 손목의 움직임을 개발된 센서를 이용하여 분류하였다.

### 2. 측정 원리

근육의 활성화 과정을 살펴보면, 움직임 관련 정보를 담은 신경신호가 뇌로부터 중추 신경계를 통하여 각 지역으로 뻗어있는 움직임 관련 근육으로 전달되어 자극하게 되고, 자극으로 활성화된 근육은 Fig.1(a)와 같이 근섬유 내부에 있는 I-band 를 구성하는 actin 과 A-band 를 구성하는 myosin 이 서로 잡아당겨서 근육이 수축하게 되어 전체 근섬유 다발은 짧아지며, 두꺼워지게 된다[7]. 이에 따라서 근섬유의 밀집도로 근육은 더 밀도 있게 되고, 경도가 강해진다. 이러한 형상은 광학적 특성 변화도 동시에 가져오게 되며, 근육의 밀도차이에 의하여, 빛의 반사 및 투과율이 변하게 된다.

비침습적으로 피부에서 빛을 발광하였을 때, Fig.1(b)와 같이 피부, 피하지방, 근육 등의 피부 조직에서 일부는 투과되고, 일부는 반사하게 된다. 근육을 제외한 피부조직들은 인체 움직임에 따라 광학적 특성이 변하지 않으나, 근육에서의 광학 특성은 위에서 나타낸 원리에 따라서 변하게 되므로, 그 반사된 빛의 양을 이용하여 근육의 활성화 정도를 측정할 수 있다. 근 섬유가 수축하여 밀도가

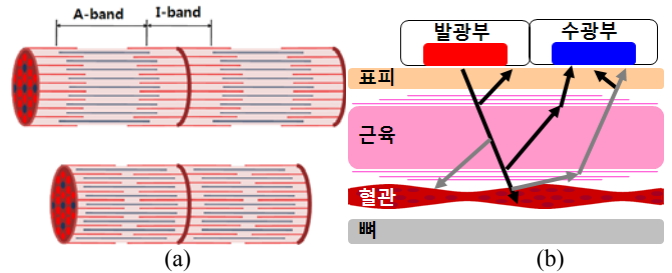


Fig.1 Principle of the optical muscle activation sensor. (a) myosin and actin filament in muscle fiber during relaxation and contraction conditions;(b) The photo sensor detect reflected light on the muscle.

높아지게 되면 빛의 투과율이 낮아지므로 센서 값이 감소하게 될 것이다.

### 3. 광학 근육활성화도 측정 센서

광학 소자를 이용한 근육 활성화도를 측정함에 있어서 보다 높은 감도의 측정을 위하여, 광특성에 따른 빛의 투과율을 결정하는 광원의 파장과, 근육 변화시 나타나는 반사각 변화를 위하여 광원과 센서간의 거리 변화 실험을 하였다. 오른 손목의 굽힘(flexion) 을 측정하기 위하여 움직임을 주관하는 척측수근굴근 (flexor carpi ulnaris, FCU) 근육에 부착하여 실험하였다. 실험을 위하여 근적외선 파장(940 nm), 빨강(640 nm), 초록(520 nm)의 광원을 사용하였으며, 2.5mm, 5mm, 10mm, 15mm 의 광원-센서 거리에서 측정하였다.

Table 1 Intensity and variation during relax and flexion

Distance (mm)	Infrared		Red		Green	
	V (mV)	ΔV (mV)	V (mV)	ΔV (mV)	V (mV)	ΔV (mV)
2.5	290.0	1.0	278.0	0.0	245.0	0.0
5.0	197.0	4.0	221.0	1.0	152.0	1.0
10.0	67.9	7.4	63.9	3.0	18.7	2.0
15.0	0.0	0	0.1	0.1	0.2	0.1

Table 1 은 각 광원 파장과 광원-센서 거리에 따른 측정 신호 크기와 근육 변화시의 변화량을 나타내었다. 먼저 파장에 따른 신호 크기를 살펴보면, 가장 장파장인 근적외선에서 신호가 가장 크게 나오고 파장이 짧아짐에 따라 점점 축소됨을 볼 수 있다. 이는 장파장인 근적외선의 투과율이 다른 광원보다 높아 보다 큰 수치를 나타내고 있다. 측정 거리에 따른 실험에서는 모든 파장에서 비슷한 추세를 보이며 10.0mm 까지는 그 변화량이 점차 증가하다가 그 이상 되는 곳에서는 다시 급격히 감소하는 것으로 나타난다. 이는 광원의 굴절 반사각에 따른 이동거리로, 근육 변화를 측정함에 있어서 거리가 멀어질수록 큰 변화량 측정이 가능하지만, 어느 한계 이상에서는 광원이 도달하지 않음을

볼 수 있다.

#### 4. 움직임 측정 실험

개발된 광학 센서의 성능을 평가하고자 손목 움직임에 의한 근육활성화도 측정을 실험하였다. 오른쪽 손목의 굽힘(flexion)과 펴기(extension) 동작을 구별하기 위하여, 이 두 동작을 주로 주관하는 척측수근굴근 와 척측수근신근(extensor carpi ulnaris, ECU) 두 근육에서의 근육 활성화도를 살펴보았다. 실험은 30 초 동안 진행되었다. 처음 10 초 동안은 초기 정상적인 자세를 유지하며, 다음 5 초 동안은 굽힘 동작을, 다시 5 초 동안은 정상적인 자세를 유지하며, 다음 5 초 (20~25 초) 동안은 펴기 동작을 하고, 마지막 5 초 동안은 다시 정상적인 자세를 취하였다. 센서 신호는 DAQ 보드(MP35, Biopac, USA)를 통하여 200 Hz 속도로 샘플링 하였다. 측정된 신호는 이동평균필터 (이동구간 : 100 ms)를 이용하여 신호처리하였다.

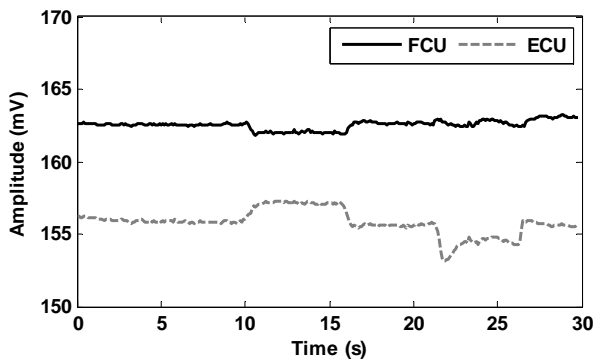


Fig. 2 Result of wrist motion

근육이 수축하는 곳에서는 피부조직 밀도가 높아져서 측정 값이 감소하게 되며 이 감소 비율을 통하여 근육의 활성화 도를 측정할 수 있다. Fig.2 는 손목의 굽힘과 펴기 실험시에 광학 근육활성화 센서가 부착된 두 근육에서 얻은 결과를 보여주고 있다. 상위 검은 실선은 척측수근굴근에서의 결과를 나타내며, 아래 회색 점선은 척측수근신근의 결과를 보여주고 있다. 정상적인 상태 (0~10, 15~20, 25~30 sec) 에서는 척측수근굴근, 척측수근신근이 자연상태로 유지된다. 오른 손목의 굽힘이 발생될 때(10~15 sec)는 척측수근굴근이 수축함을 통해 근육 활성화가 일어나고, 측정 값이 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 척측수근신근은 인장하며 따라서 수치가 증가되는 것을 볼 수 있다. 다음으로 펴기 동작 (20~25 sec)에서의 결과를 살펴보면, 수축하게 되는 척측수근신근에서는 측정 값이 감소하는 것을 통하여 근육이 활성화 됨을 예측할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 광학적 소자를 이용하여 근육의 활성화도를 측정하는 센서를 제안하고, 손목의 움직임 관련 근육의 활성화도를 측정하여 손목의 움직임을 측정하였다. 센서를 개발함에 있어서 중요한 요소인 광원의 파장과 광원-센서 거리를 실험을 통하여 최적화 하였으며, 그 결과 투과율이 높은 적외선 파장에서 일정거리를 유지한 상태에서 큰 변화 값을 얻을 수 있었다. 측정 데이터는 신호처리 과정을 통하여 필요한 정보를 얻었으며, 이렇게 개발된 센서를 이용하여 손목의 움직임을 측정할 결과 손목의 굽힘과 펴기 동작을 분별할 수 있었다. 이러한 개발된 광학 근육 활성화 센서는 다른 센서들에 비하여 낮은 샘플링 주파수로 측정 가능하였으며, 별도의 레퍼런스 센서 없이 각 근육의 개별적인 측정이 가능한 장점이 있다.

더 나아가 정밀한 인체 움직임 모사 및 제어를 위해서는 움직임뿐 아니라 근육을 통한 힘 정보도 중요하다. 이를 알아보기 위해서는 근육의 활성화도에 따른 힘에 관한 모델링이 필요하며, 근육의 힘과 움직임 복합 요소의 해석이 필요하다.

#### 후기

이 연구는 한국과학기술연구원(KIST)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

#### 참고문헌

1. Graupe, D.; Magnussen, J.; Beex, A., "A microprocessor system for multifunctional control of upper-limb prostheses via myoelectric signal identification," Automatic Control, IEEE Transactions on , vol.23, no.4, pp. 538-544, Aug 1978
2. 최창목, 한효녕, 하성도, 김정, "지체장애인을 위한 근전도기반의 컴퓨터 인터페이스 개발", HCI2007, 2007
3. Wheeler, K.R.; Jorgensen, C.C., "Gestures as input: neuroelectric joysticks and keyboards," Pervasive Computing, IEEE , vol.2, no.2, pp. 56-61, April-June 2003
4. Changmok Choi; Micera, S.; Carpaneto, J.; Jung Kim, "Development and Quantitative Performance Evaluation of a Noninvasive EMG Computer Interface," Biomedical Engineering, IEEE Transactions on , vol.56, no.1, pp.188-191, Jan. 2009
5. Moromugi, S.; Kumano, S.; Ueda, M.; Ishimatsu, T.; Feng, M.Q.; Tanaka, T., "A sensor to measure hardness of human tissue," Sensors, 2006. 5th IEEE Conference on , vol., no., pp.388-391, 22-25 Oct. 2006
6. 공경철, 전도영, "새로운 와이어 구동방식 외골격 보조기의 설계 및 제어", 제어자동화시스템공학 논문지, 제 11 권, 제 11 호, 2005
7. Lieber RL. Baltimore, Skeletal Muscle Structure, Function, and Plasticity: the Physiological Basis of Rehabilitation, ed 2., Lippincott Williams & Wilkins, 2002