

◆ 특집 ◆ 고령자 및 장애인을 위한 보조 기술

전동의수 사용자를 위한 감각 측정 및 전달 시스템 개발

Development of Sensory Feedback System for Myoelectric Prosthetic Hand

배주환¹, 정성윤¹, 김신기¹, 문무성¹, 고창용^{1,✉}
Ju-Hwan Bae¹, Sung Yoon Jung¹, Shinki Kim¹, Museong Mun¹, and Chang-Yong Ko^{1,✉}

¹ 근로복지공단 재활공학연구소 (Korea Orthopedics and Rehabilitation Engineering Center)
✉ Corresponding author: monamicyko@gmail.com, Tel: +82-32-509-5244

Manuscript received: 2015.7.29. / Revised: 2015.8.30. / Accepted: 2015.9.3.

This study aimed to develop a sensory feedback system which could measure force and temperature for the user of myoelectric prosthetic hands. The Sensory measurement module consisted of a force sensing resistor to measure forces and non-contact infrared temperature sensor. These sensors were attached on the fingertips of the myoelectric prosthetic hand. The module was validated by using standard weights corresponding to external force and a Peltier module. Sensory transmission module consisted of four vibration motors. Eight vibration patterns were generated by combining motion of each vibration motor and were dependent on kinds and/or magnitude. The module was verified by using standard weights and water at varying temperatures. There were correlations of force and temperature between the sensory measurement module and standard weight and water. Additionally, exact vibration patterns were generated, indicating the efficacy of the sensory feedback system for the myoelectric prosthetic hand.

KEYWORDS: Myoelectric prosthetic hand (근전전동의수), Sensory feedback system (감각 피드백 시스템), Sensory measurement module (감각 측정 모듈), Sensory transmission module (감각 전달 모듈)

1. 서론

전동의수는 손이 절단된 장애인의 잃어버린 기능을 대체하고, 사회복귀 및 삶의 질 향상을 돕는다.¹ 하지만 기존의 전동의수는 손의 감각까지는 전달 할 수는 없었다. 손의 감각은 섬세한 파지동작의 수행하는데 중요한 역할을 한다.²

전동의수를 위한 다양한 감각 측정 시스템 및 전달 시스템이 개발 및 제안되고 있다. Kim은 피

부형태의 온도와 압력을 측정할 수 있는 센서를 개발하였다.³ 의수로부터 측정되는 파지력 뿐 아니라 온도의 감각까지 전달 가능한 의수를 구현하였다. 일부 연구에서는 수술적인 방법을 통하여 감각을 전하려는 시도가 있었다. Kuiken은 끊어진 손의 신경을 가슴 피부에 이식하였고,⁴ Kim은 의수에서 측정된 감각을 신경이 연결된 피부에 자극을 전달하는 소형 햅틱 장치를 개발하였다.⁵ 이 장치는 신경에 직접적인 자극을 주어 의수의 파지력과

물건에 대한 감각을 전달할 수 있지만 신경을 피부로 이식하는 수술을 해야 하는 부담이 있다. 수술적인 방법 이외에 압력 및 진동과 같은 기구적 방법등을 통하여 감각을 전달하는 방법이 제안되고 있다. 이와 같은 방법은 수술적 방법의 문제점(가격, 수술 등)을 개선할 수 있으며, 수술적 방법에 비하여 적용이 간단하다. Meek등은 Extended Physiologic Taction(EPT) 시스템을 제안하였다.⁶ EPT 시스템은 의수에 파지력을 측정하는 힘 센서를 설치하고, 사용자의 전완(forearm)을 motor-driven pusher로 눌러 힘 센서로부터 측정되는 파지력을 사용자에게 전달한다. EPT시스템을 적용하게 되면, 적용하기 전보다 사용자의 의수 조작능력이 향상됨을 확인하였다. 본 연구팀에서는 진동방법을 제안하였다.^{7,9} 일반적으로 전동의수는 잔존 근육의 근전도를 사용하여 구동하는데 이와 같은 진동기반의 감각전달시스템으로 인하여 근전도가 왜곡된다면, 전동의수의 오작동을 유발 할 수 있다. 본 연구팀에서는 진동이 잔존 근육의 근전도에 영향을 미치는지에 대하여 평가하였고, 진동이 근전도에 거의 영향을 주지 않음을 확인하였다.⁷ 또한 진동은 불쾌감을 유발 시킬 수 있으며, 이로 인하여 전동의수를 사용하지 않을 가능성이 있다. 이에 따라 진동이 불쾌감을 유발하는지 평가하였다.⁸ 이와 같은 기존 연구 결과로부터 진동이 감각전달/대체 시스템으로 유용함을 확인하였다.

이에 따라 본 연구에서는 전동의수로부터 온도와 압력을 측정하고 이를 4개의 진동모터를 사용하여 측정된 감각을 사용자에게 전달하는 전동의수 사용자를 위한 감각측정 및 전달 시스템을 개발하고자 한다.

2. 감각측정 및 전달시스템 개발 및 실험방법

Fig. 1은 감각측정 및 전달시스템의 블록도를 나타낸다. 감각측정 및 전달시스템은 파지력과 파지하는 물체의 온도를 측정하기 위한 감각측정모듈(sensory measurement module)과 힘의 레벨을 전달하고, 온도위험을 사용자에게 전달하는 감각전달모듈(sensory transmission module)로 구성된다.

2.1 감각측정 모듈 개발

감각측정 모듈은 손끝의 힘과 온도를 측정하기 위한 센서와 센서회로로 구성된다. 힘 측정 센서는 FSR 압력센서(FSR-400, Interlink Electronics Inc.)

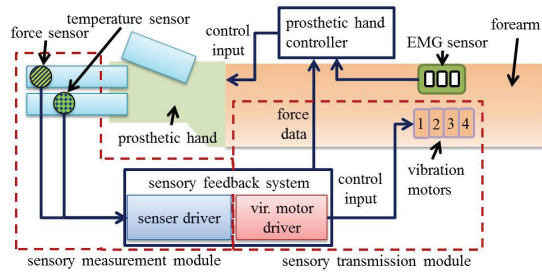


Fig. 1 Block diagram of the sensory feedback system

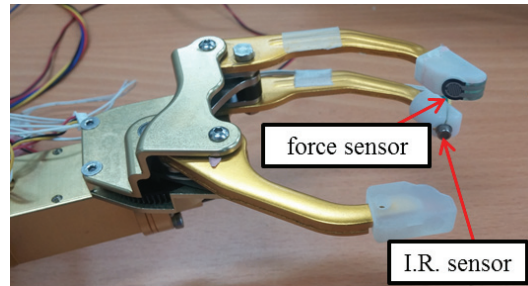


Fig. 2 Fingertips with force sensor and I.R. sensor

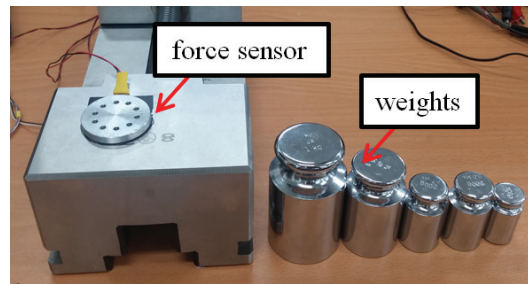


Fig. 3 Experimental setup of force sensor

를 사용하였다. 압력센서는 필름 형태의 압력센서로 100g부터 10kg까지 측정 가능하다. 본 연구에서 사용한 전동의수는 KOREC 전동의수(KOREC, Republic of Korea)이다.

압력센서는 손가락 끝에 설치하였고, 센서의 표면은 손끝 압력전달을 위해 외부를 실리콘을 감쌌다(Fig. 2). 그리고 온도감각 측정을 위해 온도센서는 비접촉식 적외선 온도센서(OTP-538U, Oriental System Technology Inc.)를 사용하였다.

본 연구에서는 감각측정모듈 개발을 위해 기초 실험을 수행하였다. Fig. 3은 압력센서의 기초실험 환경이다. 실험은 100g부터 1kg까지 100g 단위로 증가 시키면서 센서 위에 분동을 올려서 센서 출력 확인하였다. 이 과정을 총 5회에 걸쳐서 진행하였다.

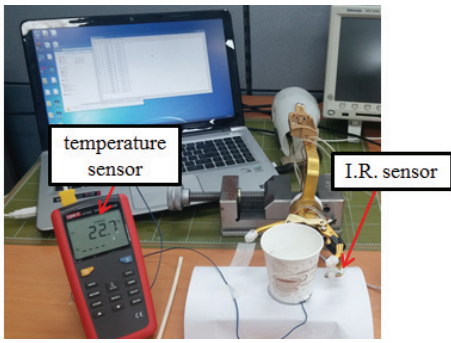


Fig. 4 Experimental setup of temperature sensor

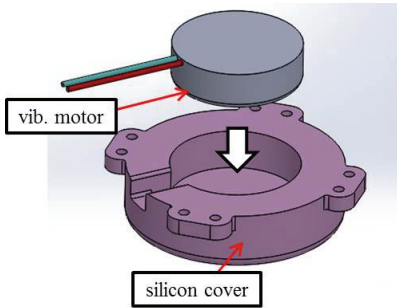


Fig. 5 Vibration motor and silicon cover

Fig. 4는 적외선 센서의 실험환경을 나타낸다. 피부는 표면온도가 43도가 되면 지속적으로 유지되게 되면 저온화상을 입게 되고, 63도 이상 될 경우 1도 화상을 입을 수 있다.^{10,11} 이와 같은 열로 인한 피부손상 온도를 기반으로 하여 사용자에게 온도에 대하여 전달하는 정보는 40도, 60도로 설정하였다. 실험은 25도부터 5도 단위로 60도까지 컵의 온도를 맞추어 센서의 출력값을 확인하였다. 컵은 온도센서와 컵의 표면이 1cm 거리에 위치하도록 설치하였다.

2.2 감각전달 모듈 개발

감각전달모듈은 4개의 진동모터(12 ϕ 3.3T, Young BagCM)를 사용하여 힘의 전달과 온도위험을 전달한다. 진동모터는 넓은 피부범위에 진동을 전달하기 위해 진동모터를 지름 20mm 실리콘 커버에 고정해서 피부에 닿을 수 있도록 설계하였다(Fig. 6). 그리고 실리콘 커버에 고정한 진동모터는 50mm 간격으로 벨크로에 고정하여 사용자의 팔에 고정할 수 있도록 제작하였다(Fig. 6). 진동모터의 커버간의 간격이 30mm 이상 떨어지도록 하였다.

2.3 감각측정 및 전달시스템 구동 알고리즘

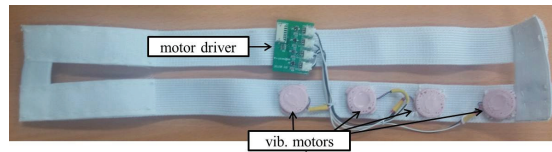


Fig. 6 Design of transmission module

Table 1 Vibration of motors according to force level

	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4
Level 0	no	no	no	no
Level 1	weak	no	no	no
Level 2	strong	no	no	no
Level 3	strong	weak	no	no
Level 4	strong	strong	no	no
Level 5	strong	strong	weak	no
Level 6	strong	strong	strong	no
Level 7	strong	strong	strong	weak
Level 8	strong	strong	strong	strong

감각측정 모듈에서 측정되는 감각 정보는 감각 전달 모듈의 진동을 통해 전달된다. 진동모터의 제어를 위한 입력은 8KHz PWM을 듀티비(duty rate)를 50%, 100%로 설정하였다. 그리고 듀티비 50%를 약(weak)으로 두고, 100%를 강(strong)으로 정의하였다. 힘의 단계는 8단계로 구분하여 힘이 커질수록 진동모터가 순차적으로 진동한다. Table 1은 힘의 단계에 따른 진동모터의 동작을 나타낸다.

감각전달 모듈의 온도위험 전달은 피부손상 온도를 기준으로 40도 이상이 될 때, 네 번째 진동모터가 약으로 진동하도록 설정하였고, 60도 이상이 될 때 60도 이상이면 진동모터가 강으로 진동하도록 설정하였다. 이때 네 번째 진동모터는 파지력과 온도위험을 동시에 전달하여야 한다. 이때 네번째 진동모터는 힘의 레벨이 7, 8일 때 약, 강으로 진동하게 되는데, 온도위험 발생 시 힘에 의한 진동정보와 온도위험에 대한 진동정보를 동시에 전달하여야 한다. 본 연구에서는 온도위험 정보 발생 시 진동조건을 정의하였다. Fig. 7은 온도위험 발생시 진동조건을 나타낸다. Fig. 7(a)는 물체의 온도가 40도 일 때 진동모터가 동작하는 타이밍을 보여준다. 주기는 1초로 정의하였고, 진동모터는 온도위험 발생 시 1초 주기 중 200ms 동안 약으로 진동한다. 800ms 동안은 7, 8레벨의 힘이 발생했을 때는 약 또는 강으로 진동하고 그 외의 경우 진동모터가 정지한다. 그리고 Fig. 7(b)는 물체의 온도가 60도 일 때 진동모터의 동작을 나타낸

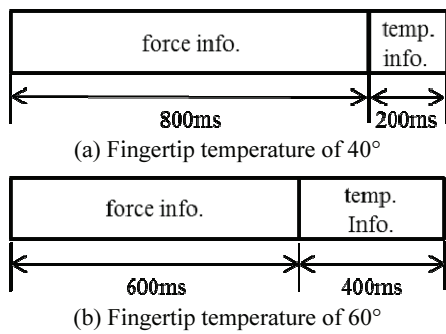


Fig. 7 Interval of changing information according to fingertip temperature

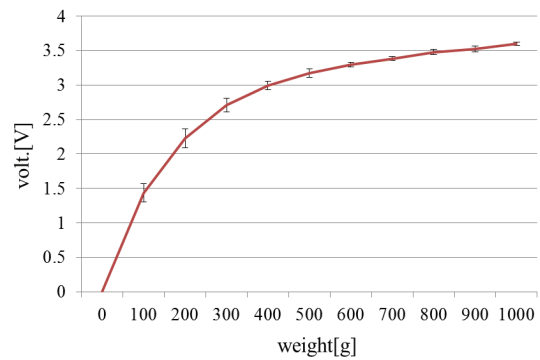


Fig. 9 Experimental results of force sensor



Fig. 8 Experimental setup of sensory feedback system

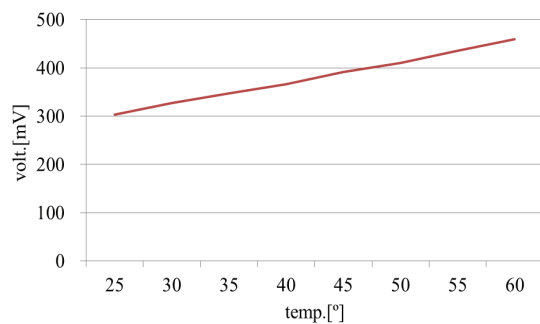


Fig. 10 Experimental results of temperature sensor

다. 40도일 때와 동일하게 1초 주기이고, 온도위험 정보를 알리는 진동은 강으로 400ms 동안 진동한다. 그리고 600ms 동안은 힘의 레벨 정보를 전달하도록 진동한다.

본 연구에서는 개발한 감각전달 시스템의 동작을 검증하기 위해 실험을 진행하였다. Fig. 8는 감각전달 시스템의 실험환경을 나타낸다. 실험에서는 압력센서를 눌러 0g부터 1kg까지 증가시키면서 측정결과를 확인하였다.

다음으로 온도 위험전달 기능을 검증하기 위해 실험을 진행하였다. 실험을 위해 감각측정모듈에 펠티어 소자(15mm x 15mm x 3.8mm[L x W x H], 전압 3.8V, 전류 3A, 작동온도 8도)를 이용하여 열을 가하였다.

3. 실험결과

3.1 감각측정 모듈 평가

Fig. 9은 압력센서의 기초실험결과이다. 실험결과 100g-200g의 가벼운 무게일 때 표준편차가 ±0.13V로 크게 나타났고, 무게가 600g 이상으로 무거울수록 표준편차가 0.04 이내로 줄어드는 것으로 나타났다. 사용한 압력센서는 100g단위로 힘의 강도를 구분하

는 데는 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

Fig. 10은 실험결과를 나타낸다. 실험결과 온도에 따라 센서의 출력은 선형적으로 나타남을 확인하였다.

3.2 감각전달 시스템 평가

Fig. 11의 그래프는 측정 힘에 따른 진동모터 1-4의 진동변화를 나타낸다. 그래프에서 1은 약이고, 2는 강을 나타낸다. 그래프에 따르면 20초부터 순차적으로 힘이 증가하였고, 힘이 증가함에 따라 진동모터 1부터 순차적으로 진동하기 시작했다. 그리고 145초 후가 되었을 때 힘이 1kg 이상이 되어 모든 진동모터가 강으로 진동하였다.

Fig. 12은 감각측정모듈의 온도 실험결과이다. 첫 번째 그래프는 온도계의 온도이고, 두 번째는 온도센서의 온도이다. 그리고 세 번째 그래프는 진동모터 4번의 동작을 나타낸다. 실험결과, 24초에 온도가 40도가 되어 진동모터 4번이 1초 주기 200ms 간격으로 진동(약)하고, 80초 후 60도 이상이 되어 1초 주기 400ms 간격으로 진동(강)을 한다.

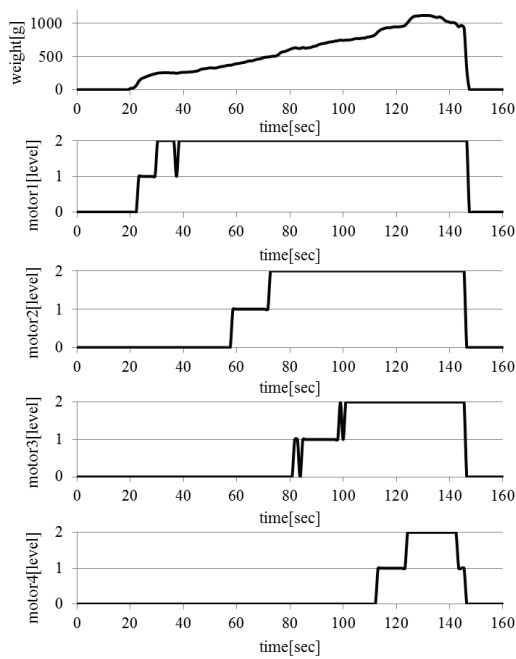


Fig. 11 Result of vibration motors movement according to force

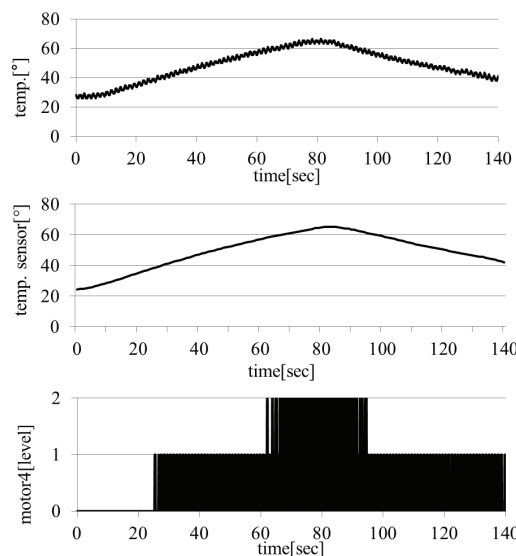


Fig. 12 Result of vibration motor movement according to temperature

그리고 온도계의 측정결과와 온도센서 측정결과가 2도 이내의 오차를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 4개의 진동모터에 의한 진동 자극을 이용해 진동의수 사용자에게 힘과 온도정보를 전달하는 감각전달 시스템을 개발하였다. 감각전달시스템 동작실험결과 측정된 힘에 대해서 진동자극이 발생함을 확인하였고, 위험 온도에 대해 사용자에게 위험을 알릴 수 있음을 확인하였다.

이와 결과로부터 본 연구에서 제안한 감각전달시스템이 절단장애인이 사용하는 진동의수에 대한 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 향후에는 사용자가 전달된 감각을 제대로 구분할 수 있는지에 대한 평가가 필요하다. 또한 의수의 정밀한 제어가 어려워 감각전달 시스템을 적용하기 위해서는 별도의 제어알고리즘이 필요함을 확인하였다. 향후에는 의수의 힘 제어 기능을 개발해야 한다. 최종적으로 진동의수 사용자가 사용가능한지에 대하여 평가를 하고자 한다.

후 기

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-공공복지안전사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0020457).

REFERENCES

1. Pons, J. L., "Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons," John Wiley & Sons, 2008.
2. Li, Y., Randerath, J., Bauer, H., Marquardt, C., Goldenberg, G., et al., "Object Properties and Cognitive Load in the Formation of Associative Memory during Precision Lifting," Behavioural Brain Research, Vol. 196, No. 1, pp. 123-130, 2009.
3. Kim, J., Lee, M., Shim, H. J., Ghaffari, R., Cho, H. R., et al., "Stretchable Silicon Nanoribbon Electronics for Skin Prosthesis," Nature Communications, Vol. 5, 2014.
4. Kuiken, T. A., Marasco, P. D., Lock, B. A., Harden, R. N., and Dewald, J. P., "Redirection of Cutaneous Sensation from the Hand to the Chest Skin of Human Amputees with Targeted Reinnervation," Proc. of the National Academy of Sciences, Vol. 104, No. 50, pp. 20061-20066, 2007.
5. Kim, K., Colgate, J. E., Santos-Munné, J. J., Makhlin, A., and Peshkin, M., "On the Design of Miniature

- Haptic Devices for Upper Extremity Prosthetics,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 15, No. 1, pp. 27-39, 2010.
6. Meek, S. G., Jacobsen, S. C., and Goulding, P. P., “Extended Physiologic Taction: Design and Evaluation of a Proportional Force Feedback System,” Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol. 26, No. 3, pp. 53-62, 1989.
 7. Ko, C.-Y., Chang, Y., Kim, S.-B., Kim, S., Kim, G., et al., “Linear-and Nonlinear-Electromyographic Analysis of Supracutaneous Vibration Stimuli of the Forearm Using Diverse Frequencies and Considering Skin Physiological Properties,” Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 136, No. 1, Paper No. 011008, 2014.
 8. Ko, C.-Y., Chang, Y., Kim, S.-B., Kim, S., Kim, G., et al., “Evaluation of Physical and Emotional Responses to Vibrotactile Stimulation of the Forearm in Young Adults, the Elderly, and Transradial Amputees,” Physiology and Behavior, Vol. 138, pp. 87-93, 2015.
 9. Bae, T. S., Kim, H. J., Kim, S. B., Chang, Y. H., Kim, S. K., et al., “Effect of Multi-Channel Vibration Stimulation on Somatosensory Sensibility,” J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 28, No. 6, pp. 651-656, 2011.
 10. Abraham, J. P., Plourde, B., Vallez, L., Stark, J., and Diller, K. R., “Estimating the Time and Temperature Relationship for Causation of Deep-Partial Thickness Skin Burns,” Burns, 2015.
 11. Greenhalgh, D. G., Lawless, M. B., Chew, B. B., Crone, W. A., Fein, M. E., et al., “Temperature Threshold for Burn Injury: An Oximeter Safety Study,” Journal of Burn Care and Research, Vol. 25, No. 5, pp. 411-415, 2004.