

노인의 온열치료를 위한 웨어러블 면상발열체의 개발 및 특성 파악

Development and Characterization of Wearable Film-heaters Used in Thermotherapy for Senior Citizens

양 경 환*, 조 경 아*, 최 준 식**, 임 기 주***, 김 상 식*

Kyungwhan Yang*, Kyoungah Cho*, June-Seek Choi**, Kiju Im***, Sangsig Kim*

Abstract

In this study, we fabricated the wearable film-heaters used in thermotherapy for senior citizens and investigated the heat generation characteristics. The wearable film-heaters embedded into eco-flex were constructed with indium tin oxide (ITO) nanoparticles coated on glass fibers. Under a stretching strain of 30%, the wearable film-heaters stably operated with temperature variation of 10%. In addition, the wearable film-heater worn on the wrist increased the temperature of the wrist from 35 °C to 43 °C within 2 min.

요 약

본 연구에서는 노인의 온열치료에 적용가능한 웨어러블 면상발열체를 제작하고, 그 발열특성을 조사하였다. 웨어러블 면상발열체는 인듐 주석 산화물 나노입자를 유리섬유위에 코팅하고, 에코플렉스 안에 삽입하여 제작하였다. 제작된 면상발열체는 30%의 신축 스트레인상태에서도 발열온도 변화가 10%이내로 안정적으로 동작하였다. 또한 웨어러블 면상발열체를 사람의 손목에 부착하여 동작시켰을 때, 2분 안에 손목의 온도가 35 °C에서 43 °C로 상승하였다.

Key words : Indium tin oxide, film heater, Eco-flex, wearable, thermotherapy

* Dept of Electrical Engineering, Korea University

** Dept of Psychology, Korea University

*** Research Institute of TNB Nanoelec Co., Ltd.

★ Corresponding author

sangsig@korea.ac.kr, TEL: +82-2-3290-3245

※ Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) Grant funded by the Korean Government(MSIP) (No. NRF-2015R1A5A7037674, No. 2016R1E1A1A02920171), the Technology Innovation Industrial Program (No. 10053388, Development of the energy-efficient and separable electric range) funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE, Korea), the Brain Korea 21 Plus Project in 2016, and a Korea University Grant.

Manuscript received. Dec 8, 2016; revised, Dec 23, 2016; accepted. Dec 27, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

현대 의학기술의 발달로 세계적으로 노인의 비율이 지속적으로 증가하고 있어, 2015년 세계 인구의 8.2%였던 고령인구가 2060년에는 17.6%까지 증가할 것으로 전망된다[1]. UN 보고서에 따르면, 우리나라는 2026년에 65세 이상 인구가 전체인구에서 차지하는 비율이 20% 이상인 초고령 사회로 진입할 것으로 예상된다.

초고령 사회에서는 노인들이 겪는 만성적 신체 질환에 대한 예방과 관리를 통해 활동성을 유지하는 것이 더욱 중요해질 것으로 예상된다. 고령자들에게서 많이 나타나는 각종 만성질환은 신체적인 불편과 고통은 물론 그로 인한 일상생활에서의 활동 저하 및 지속적인 스트레스로 인해 우울증과 같은 정신 질환으로 이어질 수 있다[2][3].

특히 퇴행성 관절염에 시달리고 있는 노인들에게서 우울증 발병이 높다는 사실은 이러한 만성질환의 관리가 노년기 삶의 질을 결정할 수 있음을 시사한다[4]. 퇴행성 관절염은 뚜렷한 치료법이 존재하지 않고 완치가 불가능하며 따라서 최종적으로 인공관절과 같은 수술요법에 이르기 전까지 가능한 한 증상의 경감 특히 심리적인 고통의 완화가 중요한 치료목표가 된다. 이를 위해 약이나 주사요법 외에도 실질적으로 많은 고령자들이 온열치료를 활용하고 있으며, 실제로 온열치료를 통해 노인의 주관적인 심리-신체적 건강이 증진되고 일상에서의 활동성이 향상되었다는 보고들이 존재한다[5][6][7]. 온열치료의 방법으로는 뜸요법이 많이 이용되고 있으나[8], 뜸요법은 적정 온도조절이 불가능하고, 뜸의 재료를 지속적으로 구매해야하는 재정적 부담이 있다. 따라서 본 연구에서는 소비전력이 낮은 ITO 나노입자와 노인 피부에 친화적인 eco-flex 소재를 이용하여 노인의 신체적, 심리적 건강을 증진시킬 수 있는 온열치료용 웨어러블 면상발열체를 제작하고, 웨어러블 면상발열체의 발열 특성 및 신축성, 인체 적용 가능성을 알아보고자 한다.

II. 본론

1. 실험방법

20 mm × 20 mm 사이즈의 glass fibers 위에 ITO 나노입자 용액을 코팅한 후, hot plate 위에서 150 °C로 10분 건조시켰다. ITO 나노입자가 코팅된 glass fiber (ITO/glass fibers)의 전도성 향상을 위하여, rapid thermal annealing 장비를 이용하여 400 °C에서 30분 열처리 공정을 진공상태에서 수행하였으며, 제작된 ITO/glass fibers의 양단에 Ag paste를 이용하여 전극을 형성하였다. 인체에 부착 시, ITO/glass fibers의 전기적 안전성 및 피부 친화성, 신축성을 위하여 그림 1과 같이 Young's modulus가 낮은 eco-flex 안에 ITO/glass fibers를 삽입하여 웨어러블 면상발열체를 제작하였다. Eco-flex는 주재와 경화제를 1:1 질량비로 혼합한 후, 상온에서 2시간 동안 탈포시켜 제작되었다. 웨어러블 면상발열체의 전압에 따른 발열 온도는 thermocouple로 측정되었

다. 신축상태에 따른 웨어러블 면상발열체의 온도 변화와 웨어러블 면상발열체의 부착 전, 후의 손목의 온도 변화는 적외선 카메라 (FLIR-A645SC)의 열영상 이미지로부터 측정되었다. Thermocouple은 면상발열체의 일정 spot에 대한 온도 측정만 가능하기 때문에, 신축 strain 변화에 따른 면상발열체의 평균온도 변화율은 적외선 카메라의 이미지를 통해 측정되었다. 본 연구의 모든 실험은 대기 중 상온에서 진행되었다.

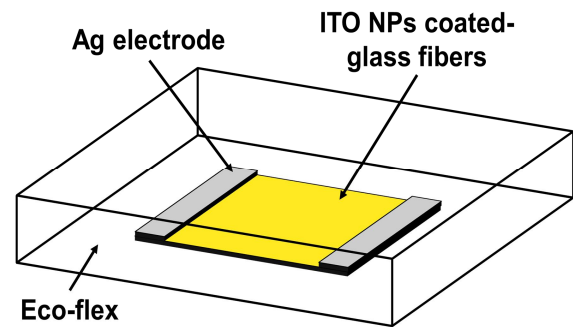


Fig. 1. Schematic of the wearable film-heater
그림 1. 웨어러블 면상발열체의 구조도

2. 결과 및 고찰

웨어러블 면상발열체의 발열특성을 분석하기 위해 전압에 따른 면상발열체의 발열온도를 thermocouple로 측정하여 그림 2(a)에 나타내었다. 전압이 증가함에 따라 면상발열체의 발열온도가 증가하는 것을 확인하였으며, 10 V를 인가하였을 때, 면상발열체의 발열온도는 43 °C이며, 이때 소비전력은 60 mW이었다. 그림 2(b)는 신축 strain 변화에 따른 웨어러블 면상발열체의 온도 변화율을 나타낸 것이다. 그림 2(b) 안에 사진에서 볼 수 있듯, 자체 제작한 장비를 이용하여 웨어러블 면상발열체에 신축 strain을 가했다. 웨어러블 면상발열체를 실제로 인체에 부착할 때의 늘어남을 고려하여 웨어러블 면상발열체의 길이를 10, 20, 30%로 늘린 상태에서 10 V의 전압을 2분 동안 인가했을 때 면상발열체의 온도 변화를 측정하였다. 신축 strain이 증가함에 따라 면상발열체의 발열온도는 다소 감소하였는데, 그 원인은 ITO/glass fibers에 가해지는 stress에 의해 glass fibers와 Ag 전극사이의 컨택 저항이 증가했기 때문으로 여겨진다. 비록 온도변화는 있었

으나, 그 온도변화는 10% 이내였으며 신축상태에서도 면상발열체는 안정적으로 동작한다는 것을 알 수 있다.

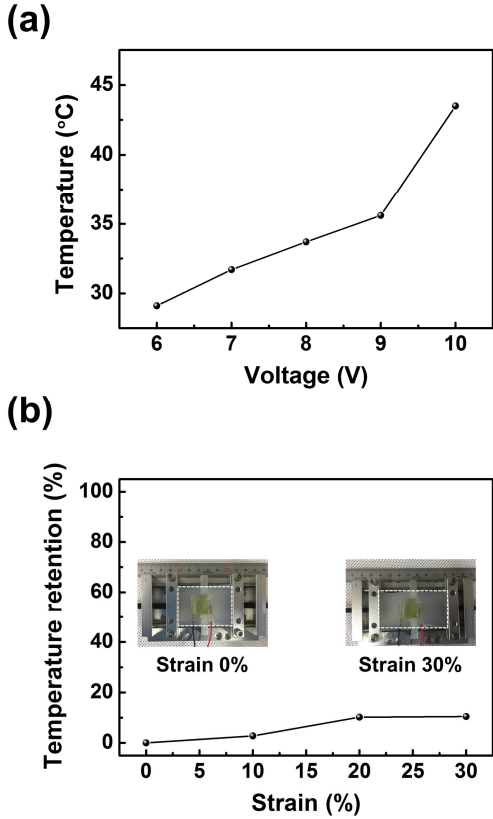


Fig. 2(a) Temperature of the wearable film-heater as a function of the bias voltage
 2(b) Temperature retention characteristic of the wearable film-heater under various stretching strain
 그림 2(a) 전압 인가에 웨어러블 면상발열체의 발열온도 그래프
 2(b) 신축 strain 변화에 따른 웨어러블 면상발열체의 온도 변화율 그래프

온열치료를 위해 널리 사용되는 뜸 요법의 국제표준은, 뜸 시술시 피부온도가 최대 51 °C를 넘어서는 안된다고 규정하고 있다[9]. 따라서 본 연구에서는 웨어러블 면상발열체의 인체 적용 가능성을 확인하기 위하여, 웨어러블 면상발열체를 손목에 부착하고 43 °C의 발열온도를 보인 조건에서 실험을 진행하였다. 그림 3은 웨어러블 면상발열체에 10 V의 전압을 인가하기 전과 후의 체온변화를 적외선 카메라로 관찰한 것이다. Heating 전 손목의 최고온도는 35 °C이며, 웨어러블 면상발열체를 손목에 부착하고 2분 동안 전

압을 인가한 후, heating 된 손목 부위의 최고온도를 측정하였다. 그 결과 heating 된 손목 부위의 최고온도가 43 °C로 상승함을 확인하였으며, heating 되지 않은 부위의 온도는 heating 전 손목과 비슷한 것으로 확인되었다. 이것은 eco-flex의 낮은 열전도도 (0.16 W/mK)로 인하여 웨어러블 면상발열체로부터 발열되는 열이 대기중으로 전달되지 않고, 원하는 부위에 국부적으로 전달된다는 것을 알 수 있다[10]. 신축상태에서도 안정적인 발열특성과 국부적인 온도상승의 특성을 나타낸 웨어러블 면상발열체는 웨어러블 온열치료 디바이스로서 활용이 가능하다고 사료된다.

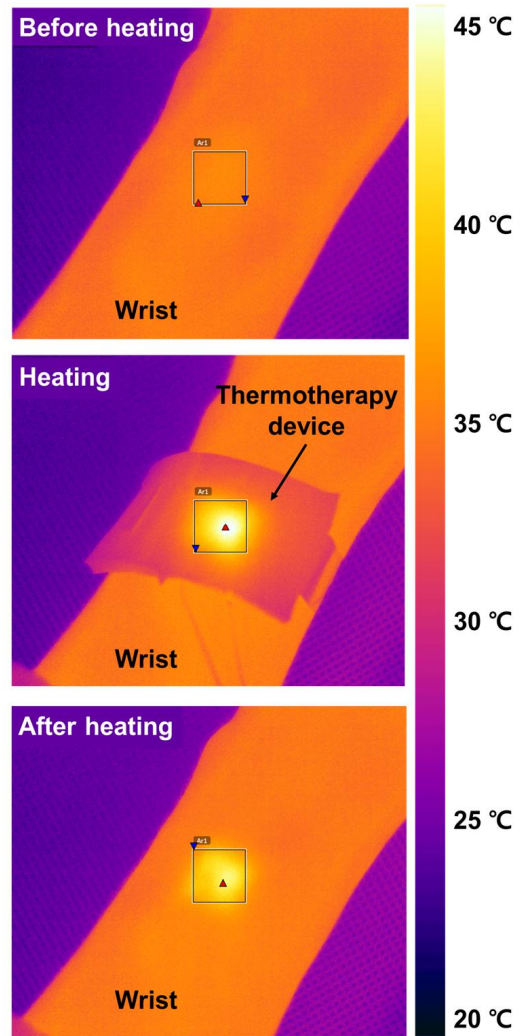


Fig. 3. IR images and temperature changes of a human wrist before and after being heated by a wearable film-heater
 그림 3. 웨어러블 면상발열체에 의한 heating 전과 후의 손목의 열영상 이미지 및 온도변화

III 결론

본 연구에서는 ITO 나노입자 용액과 glass fibers 그리고 노인 친화적인 eco-flex 소재를 이용하여 웨어러블 면상발열체를 제작하였다. 웨어러블 면상발열체는 30%의 신축상태에서 온도변화 10% 이내의 안정적인 동작특성을 보였다. 또한 웨어러블 면상발열체는 손목에 부착 시, 손목의 온도를 2분 안에 43 ℃까지 안정적으로 상승시켰다. 본 연구는 ITO 나노입자용액과 glass fiber 및 eco-flex를 이용하여 제작된 웨어러블 면상발열체가 노인의 심리-신체적 건강을 증진시킬 수 있는 웨어러블 온열치료 디바이스로 활용가능하다는 것을 보여주었다.

References

- [1] UN, "World Population Prospects: The 2012 Revision," 2013.
- [2] M. H. Kim, G. Y. Lee, S. Chung, "A path analysis on depression among the elderly," *Journal of the Korean Gerontological Society*, vol.20, no.3, pp. 211-226, 2000.
- [3] M. S. Lee, D. I. Kwak, I. Jung, "Impairment of self-maintenance skills and instrumental activities of daily life in geriatric depression," *Journal of Korean Geriatric Psychiatry*, vol.4, no.1, pp. 91-100, 2000.
- [4] J. H. Chun, H. J. Lee, M. H. Kim, J. S. Shin, "Predictors of depression and quality of life among older adults with osteoarthritis," *Journal of Korean Academy Adult Nursing*, vol.15, no.4, pp. 650-659, 2003.
- [5] S. K. Hong, H. Y. Kang, "The effect on the pain, discomfort in daily living and life satisfaction of flexibility exercise and local heat in rural elderly with osteoarthritis," *Journal of Muscle and Joint Health*, vol.6, no.2, pp. 197-210, 1999.
- [6] M. S. Shin, J. H. Park, "Effects of abdominal moxibustion on constipation, quality of sleep, and depression in elders," *Journal of*

Korean Gerontological Nursing, vol.18, no.2, pp. 62-71, 2016.

[7] S. Han, W. Kim, Y. Kim, Y. Back, M. Lee, "Effects of moxibustion and theraband exercise on physical and psychological variables of the aged with degenerative osteoarthritis," *Journal of East-West Nursing Research*, vol.14, no.2, pp. 16-23, 2008.

[8] K. I. Lee, S. I. Kim, "A study on the patterns of alternative therapy experience by the Aged," *Journal of Nursing Academy Society*, vol.29, no.2, pp. 336-345, 1999.

[9] ISO 18666, "Traditional Chinese medicine-General requirements of moxibustion devices," <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18666:ed-1:v1:en>

[10] S. Morin, R. Shepherd, S. Kwok, A. Stokes, A. Nemiroski, G. Whitesides, "Camouflage and Display for Soft Machines," *Science*, vol.337, no. 6096, pp. 828-832, 2012.