

스트레인센서를 이용한 걸음걸이 패턴 분석 신발제작

김응수*

Fabrication of shoes for analyzing human gait pattern using strain sensors

Eung-Soo Kim*

요 약

인간의 건강한 생활을 위해서는 자세 및 골격구조가 중요하며, 이것은 평소의 생활습관과 걸음걸이에 의해서 영향을 받아 변형될 수 있다. 인간의 걸음걸이형태로는 크게 바른걸음, 팔자걸음, 안짱걸음으로 구분할 수 있으며, 이러한 걸음걸이형태를 분석하여 바른자세를 유지하는데 도움이 될 수 있다. 본 논문에서는 스트레인센서를 이용하여 걸음걸이 패턴을 분석하는 신발을 개발하였으며, 제작된 신발로 걸음걸이 패턴을 구분하여 분석할 수 있었다.

ABSTRACT

The human gait pattern analysis shoes have been developed for our healthy life, which is largely dependent on a posture and a skeletal structure affected by daily lifestyle and gait pattern. There are generally 3 types of human gait, such as normal gait, intoeing gait, and outtoeing gait. We have analyzed one's gait pattern through walking put on the developed shoes.

키워드

Human Gait, Posture, Normal Gait, Intoeing Gait, Outtoeing Gait
걸음걸이, 자세, 바른걸음, 팔자걸음, 안짱걸음

1. 서 론

현대사회의 생활이 윤택해지면서 건강에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 전자, 정보기술이 발달하면서 자동차, 조선, 의료 등의 타산업과 결합하여 부가가치를 높일 수 있는 융합기술에 대한 관심이 증가하고 있다[1-5].

이 융합기술중에서도 IT와 의료기술간의 융합은 의료진단 및 분석, 마이크로와 나노기술을 이용한 치료기술, health monitoring을 위한 웨어러블컴퓨터 기술을 위해 중요하며, 이와 관련된 기술을 개발하기 위

해 세계유수의 연구기관에서 연구가 활발하게 이루어지고 있다.[5-9].

인간이 건강한 삶을 유지하기 위해서는 골격의 중심이 되는 척추가 바르게 되어야 하며, 인체 장기의 기능이 정상적으로 되어야 한다. 하지만 현대의 일상 생활에서는 컴퓨터를 많이 사용하고 있으며, 또 학생들의 경우 무거운 책가방을 한쪽어깨에 매거나, 여성들의 경우 핸드백을 쪽 어깨에 매는 경우가 많아 척추가 정상적인 구조에서 변형될 수 있는 가능성이 높다. 이렇게 평소 생활습관이나 자세가 인간의 골격구조에 미치는 영향이 매우 크므로 바른자세를 하는 생

* 교신저자(corresponding author) : 부산외국어대학교 디지털미디어학부(eskim@pufs.ac.kr)
접수일자 : 2013. 07. 08

심사(수정)일자 : 2013. 08. 23

게재확정일자 : 2013. 09. 23

활습관이 매우 중요하다[10]. 바른 자세를 유지하기 위해서는 앉은 자세를 바르게 하여야 하며, 걸을 때에도 척추를 바르게 하여 양발을 움직여야 한다. 뒷꿈치부터 땅에 닿고 발바닥, 엄지발가락 순으로 땅에 닿으면서 걸어야 하며, 발바닥전체에 골고루 힘이 미치도록 하여야 한다[11, 12].

사람의 걸음걸이는 크게 3 종류의 걸음걸이로 나눌 수 있다. 발가락이 있는 발 앞부분이 밖으로 향하는 팔자걸음 (out toeing gait)과 걸을 때 마다 발 앞부분이 안쪽으로 교차하면서 걷는 안짱걸음 (in toeing gait), 그리고 가장 이상적인 걸음으로 발 앞부분이 걸어나는 방향으로 향하는 이상적인 바른걸음(normal gait)이다. 걸음걸이 형태에 따라 관절운동패턴, 힘, 한 사이클 동안의 운동에너지와 위치에너지, 지면에 닿는 면이 다르게 된다[12]. 자신의 걸음걸이를 확인하기 위해서는 육안으로 확인할 수 있지만, 부정확하게 판단할 수 있다. 또 측정 장비를 이용하여 걸음걸이를 확인하기 위해서는 고가의 장비가 필요하며 시간과 경비가 많이 들게 되는 단점이 있다. 또 다른 방법으로는 신발 깔창의 형태로 나와 있어서 휴대가 가능하고 시간적 공간적 제한이 없다는 장점이 있지만, 신발 깔창 하나에는 90개 이상의 센서가 설치되어 있어 비용부담에 대한 단점이 있다[13-15]. 그래서 본 논문에서는 바른 자세를 유지하여 건강하게 생활 할 수 있도록 걸음걸이를 판단하는 소형의 시스템을 제작 하였으며, 본 시스템에 의해 쉽고 간단하게 걸음걸이를 측정할 수 있음을 확인하였다.

II. 걸음걸이분석 시스템 제작

안짱걸음은 발이 안쪽으로 들어가면서 걸으므로 대퇴골이 안쪽으로 뒤틀리게 되어 미관상 보기 흉한 걸음걸이이고, 팔자걸음은 양발이 밖을 향하여 걷는 보행으로 다리뼈가 바깥쪽으로 비틀리고, 척추관절에 좋지 않은 영향을 끼쳐 허리의 통증이 생길 가능성이 높아진다. 바른걸음은 건강에 가장 좋은 걸음으로 몸을 똑바로 세워 발뒤꿈치부터 땅에 닿아 발 중앙, 발가락쪽으로 가게 되는 걸음으로 오래 걸어도 발의 통증이 심하지 않고 몸을 끈게 펴서 걷기 때문에 땀런 스도 맞게 된다. 현재 대부분의 사람들은 팔자걸음을

걷고 있으며, 일부의 사람들이 안짱걸음이나 바른걸음으로 걷고 있습니다. 팔자걸음이나 안짱걸음으로 걷는 사람들은 어렸을 때부터 습관이 되어 잘못된 걸음걸이라는 의식을 하지 않는 경우가 많다. 이런 사소한 걸음걸이가 습관이 되어 오랜 시간 같은 형태로 걷게 된다면 신체의 골격구조가 영향을 받아 척추가 휘 수도 있으며, 이로 인해 자세가 바르게 되지 않거나 척추관련 질병을 앓을 수도 있다.

사람의 걸음걸이를 측정할 수 있는 방법으로는 걸음을 걸을 때 발이 지면에 닿는 무게 중심의 이동을 측정하는 방법과, 복사뼈의 이동 등 운동역학에 의한 걸음걸이의 주기를 측정하는 방법, 발을 떼기 시작하는 점을 기준으로 하여 발이 이동할 때의 각도를 측정하는 방법이 있다.

본 논문에서는 무게 중심의 이동을 조사함으로써 걸음걸이 패턴을 측정하였다. 안짱걸음은 발이 안쪽으로 들어가면서 걸으므로 대퇴골이 안쪽으로 뒤틀리게 되어 발의 안쪽으로 무게중심이 많이 가게 되며, 팔자걸음은 양발이 밖을 향하여 걷는 보행으로 다리뼈가 바깥쪽으로 비틀리게 되어 발의 바깥쪽으로 무게중심이 많이 가게 된다. 바른 걸음은 건강에 가장 좋은 걸음으로 몸을 똑바로 세워 발뒤꿈치부터 땅에 닿아 발 중앙, 발가락순으로 지면에 닿게되므로 무게중심이 중앙에 있게 된다. 따라서 발의 무게중심의 이동을 조사하기 위해 발이 지면에 닿는 힘의 위치를 측정해야 한다. 힘을 측정하기 위해서는 압력센서와 스트레인센서가 많이 사용되고 있다. 압력센서에는 압전소자가 사용되고 있는데, 압전소자는 무게를 받으면 전기를 생성하게 되는데, 그 전기의 생성량으로 무게나 힘을 측정할 수 있다. 스트레인 센서는 건물, 교량, 선박 등의 구조물의 변형 정도를 측정할 때 쓰이는 센서로 광을 이용하는 방법과 전기를 이용하는 방법이 있다 [16-18]. 전기 스트레인 센서는 외력이 가해지게 되면 재료에 변형이 발생하게 되고, 이 변형에 의해 재료의 저항 값이 달라지는 원리를 이용한 것이다. 이 원리를 이용하면 측정하고자하는 물체에 센서를 부착하여 물체의 변형 정도를 측정할 수 있다. 스트레인 센서의 변형률은 식 (1)과 같이 표현되어진다[19].

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

여기서 L 은 외력이 없을 때의 길이이고, ΔL 은 외력에 의해 변형된 길이를 의미한다. 또 스트레인 센서는 온도에 의한 영향이 적고 압전소자와는 다르게 정압과 동압에서도 측정이 가능하며, 압전소자보다 진동 및 외부 충격에 강한 장점이 있으므로, 본 연구에서는 그림 1에서 보여주는 스트레인 센서를 이용하여 소형의 걸음걸이 측정 시스템을 제작하였다. 이때 걸을 때 스트레인 센서에 힘이 제대로 가해지도록 하기 위해 지지대를 이용하여 측정이 잘 되도록 하였다. 지지대를 장착한 두께가 1cm 정도이기에 신발에 충분히 장착할 수 있는 크기이다. 스트레인 센서에서 압력을 측정하는 센서 신호 값은 신호전송 보드로 전송되어져 Wheatstone bridge 회로와 센서 신호가 미약하므로 증폭회로를 이용하여 신호를 증폭하고, 그 신호를 AD 변환회로를 거쳐서 걸음걸이 패턴을 확인할 수 있게 된다.

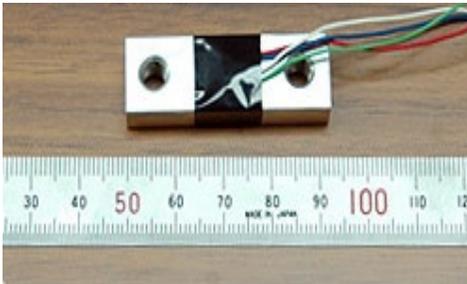


그림 1. 실험에 사용한 스트레인센서
Fig. 1 Strain sensor which is used in experiment

그림 2는 신발에 스트레인 센서를 장착한 위치를 표시하였으며, 스트레인 센서는 2개, 3개, 4개를 사용하였다. 스트레인 센서 2개는 발볼 부위에 설치하였다. 스트레인 센서 3개를 설치하는 경우는 엄지발가락 부위에 1개, 발볼 부위에 2개를 설치하였으며, 스트레인 센서 4개를 설치하는 경우는 발볼부위에 2개,

발 중앙에 1개, 발 뒷꿈치 부위에 1개를 설치하여 제작하였다. 신발은 out-sole, in-sole, cushioning-sole의 3부분이 신발바닥을 구성하고, 그 위에 갑피로 이루어져 있다. 본 논문에서는 걸음걸이 패턴을 측정하는 것이기 때문에 사람이 걸을 때마다 신호가 제대로 나오도록 하기 위해 신발 밑 바닥에 센서를 설치하였다. 또한 센서가 장착된 신발을 신었을 때 사람에

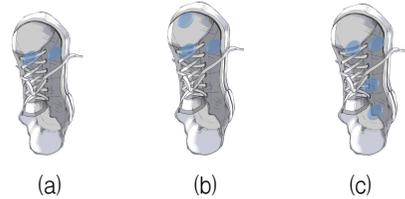


그림 2. 스트레인센서 (a) 2개, (b) 3개, (c) 4개의 설치위치

Fig. 2 Position of the installed (a) 2 strain sensors, (b) 3 strain sensors, and (c) 4 strain sensors

게 불편함을 주지 않도록 제작하기 위해 신발의 in-sole부분에 설치하였다. 그림 3은 신발의 in-sole부에 스트레인 센서를 설치하는 개략도이며, 그림 4는 실제 in-sole 부분에 설치한 사진을 보여주고 있다.

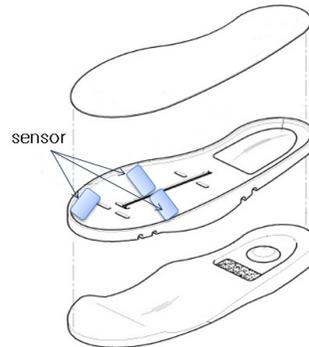


그림 3. 센서설치 위치 모식도
Fig. 3 Diagram for installing strain sensors



그림 4. 스트레인센서가 설치된 신발
Fig. 4 Shoes installed strain sensors

그림 4와 같이 신발에 스트레인 센서를 설치하고 이 위에 cushioning-sole을 본드로 붙이고, 마지막으로 갑피를 본드로 붙였다. 이렇게 제작한 신발의 무게는 스트레인을 장착하기 전과 비교하여 무게차는 거의 나지 않아 신고 건더라도 무겁거나 발바닥이 불편하지 않아 걸음걸이 패턴을 분석하는데 적절함을 알 수 있었다. 그림 5는 제작한 신발을 보여주고 있다.



그림 5. 스트레인 센서가 포함되어 제작된 신발
Fig. 5 Photograph of the fabricated shoes installing strain sensor

III. 실험결과

스트레인 센서를 장착하여 제작한 걸음걸이 패턴 분석용 신발을 신고 일정거리를 왕복하면서 각 센서 신호를 측정하였다. 센서에서 나오는 신호는 미약하여 신호처리 보드에서 증폭되어지고, 증폭된 신호는 ADC변환을 거쳐서 블루투스 통신으로 신호를 컴퓨터에 전송하게 됩니다. 우선 그림 2 (c)에서 나타난 것과 같이 스트레인 센서를 발볼 부분에 2개를 설치하고 뒤꿈치에 1개 그리고 발 중앙의 지면에 닿는 곳에 한 개를 설치한 신발을 신고 걸음을 걸으면서 스트레인 센서 신호를 측정하였다. 발 뒤꿈치의 센서신호가 제일 먼저 나오고, 그 다음으로 중앙에 있는 센서신호, 발볼에 있는 센서의 신호 순으로 측정되었다. 발 뒷꿈치에 있는 센서의 신호가 중앙에 있는 센서 신호보다 크게 나왔으며, 발볼 부근에 있는 센서 2개의 신호는 차이가 있었지만, 불규칙하게 되어 정확하게 걸음걸이 패턴을 확인하기 어려웠다. 그림 2 (a)와 같이

스트레인 센서 2개를 사용하여 제작한 신발을 신고 각 걸음패턴에 대한 데이터는 규칙적으로 안정적이었으나 팔자걸음 신호와 바른걸음걸이의 신호가 동일하게 나와서 패턴분석이 어려웠다. 마지막으로 그림 2 (b)와 같이 스트레인 센서 3개를 사용하여 실험한 결과, 3가지 걸음걸이 패턴에 따라 데이터가 구분되어 걸음걸이 패턴을 정확하게 분석 할 수 있었다.

그림 6은 각 걸음걸이에 따른 측정된 데이터이다. 그림 6에서 밖, 앞, 안은 신발에 설치된 센서의 위치를 나타낸 것으로, 앞의 신호는 엄지발가락부위에 설치한 스트레인 센서로부터 측정된 데이터이고, 안과 밖의 신호는 발볼 부위에 설치한 스트레인 센서 2개의 신호를 의미한다. 측정된 그림 6(a)는 안짱걸음으로 걸었을 때 의 측정 데이터로 발가락이 있는 발 앞부

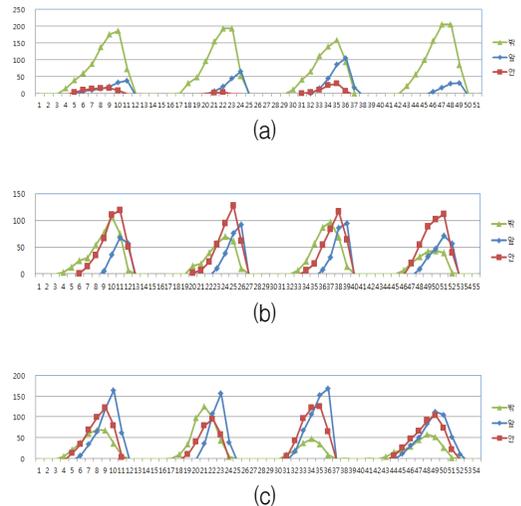


그림 6. 실험결과 (a) 안짱걸음, (b) 팔자걸음, (c) 바른걸음

Fig. 6 The measured data of (a) in toeing gait walking, (b) out toeing gait walking, and (c) normal gait walking

분이 안쪽으로 가기 때문에 발볼 안쪽에 있는 스트레인 센서 신호보다 진행방향인 발볼의 바깥부분에 있는 센서의 신호가 높게 나오는 것으로 생각된다. 그림 6 (b)는 제작된 신발을 신고 팔자걸음으로 걸었을 경우의 측정 데이터를 보여주고 있다. 팔자걸음의 경우에는 발의 안쪽부분이 진행방향으로 향하게 되고 지면에 닿는 힘도 발 안쪽이 강하므로 발볼 안쪽에

설치되어 있는 스트레인센서의 신호가 높게 나오게 되는 것으로 생각된다. 그림 6 (c)는 바른걸음으로 걸었을 때 신발에 장착된 스트레인센서에 의해 측정된 데이터를 보여주고 있다. 바른걸음으로 걸을 때 지면에 닿는 발의 순서는 발 뒷꿈치, 발볼, 엄지발가락 순으로 된다. 그래서 발 앞부분이 걸어가는 방향으로 향하고 있기 때문에 그림 6 (c)에서 보여 주듯이 엄지발가락 부위에 설치된 스트레인센서의 신호가 가장 크게 나오는 것으로 생각된다. 그림 6과 같은 측정결과로부터 본 연구에서 제작한 신발을 신고 걷는다면 각 걸음걸이 패턴을 분석할 수 있음을 확인하였다.

IV. 결 론

건강하게 바른 자세를 유지하기 위해서는 평소의 걸음걸이가 중요하다. 인간의 걸음걸이에는 크게 안짱걸음, 팔자걸음, 바른걸음으로 구분할 수 있으며, 안짱걸음이나 팔자걸음은 골격구조에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다. 따라서 스트레인센서를 이용하여 걸음걸이 형태를 분석할 수 있는 신발을 제작하였다. 제작된 신발을 착용하여 걷게되면 신발에 장착된 스트레인센서 3개의 신호크기가 서로 다르게 나타나므로, 이 센서신호를 분석해보면 사람이 걷는 걸음걸이 패턴을 분석할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 개발한 신발에 운동량 측정과 통신기능 등 다른 부가기능을 추가하면 웨어러블 컴퓨터에도 적용 가능할 것으로 생각된다.

감사의 글

This work was supported by the research grant of the Busan University of Foreign Studies in 2013.

참고 문헌

- [1] N. H. Yoo "Development of Smart Pedestal System using IT Convergence Technology", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 5, pp. 1-7, 2012.
- [2] H. Lee, D. Kim, and S. Yi, "Horizontally progressive mirror for blind spot detection in automobiles", Optics Letters, Vol. 38, No. 3, pp. 317-319, 2013.
- [3] K. I. Lee and J. H. Park, "Standardization Activities for Ship-IT Convergence Technology", Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 28, No. 4, pp. 10-22, 2013.
- [4] S. S. Lim and D. W. Park, "A Study on Grafted IT Convergence Technology of Food Court Meal System", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 5, pp. 689-696, 2011.
- [5] A. Densmore, M. Vachon, D.-X. Xu, S. Janz, R. Ma, Y.-H. Li, G. Lopinski, A. Del age, J. Lapointe, C. C. Luebbert, Q. Y. Liu, P. Cheben, and J. H. Schmid, "Silicon photonic wire biosensor array for multiplexed real-time and label-free molecular detection", Optics Letters, Vol. 34, No. 23, pp. 3598-3600, 2009.
- [6] S. H. Bae and I. H. Lim, "A Study on 3G Networked Pulse Measurement System Using Optical Sensor", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 6, pp. 1555-1560, 2012.
- [7] R. Bonner and R. Nossal, "Model for laser doppler measurements of blood flow in tissue", Applied Optics, Vol. 20, No. 12, pp. 2097-2017, 1981.
- [8] E. Higurashi, R. Sawada, and T. Ito, "An integrated laser blood flowmeter", J. of Lightwave Tech, Vol. 21, No. 3, pp. 591-595, 2003.
- [9] R. Shahriyar, Md. F. Bari, G. Kundu, S. I. Ahamed, and Md. M. Akbar, "Intelligent Mobile Health Monitoring System (IMHMS)", International Journal of Control and Automation Vol. 2, No. 3, pp. 13-28, 2009.
- [10] B. J. Shim and H. Yoo, "A study on the fitness of children's shoes-centered on the correlation of shoes size and walking-", J. of Korean Home Economics Association, Vol. 29, No. 3, pp. 23-34, 1991.
- [11] R. Begg and M. Palaniswami, "Computational intelligence for movements science", Idea Group Publishing, pp. 1-10, 2006.
- [12] C. L. Vaughan, B. L. Davis, J. C. O'Connor, "Dynamics of human gait" Kiboho Publishers

Cape Town, South Africa, 1999.

- [13] <http://www.novel.de>
- [14] <http://www.contemplas.com>
- [15] <http://www.schein.de>
- [16] J. K. Yoon, W. G. Jung, S. W. Kim, E. S. Kim, S. H. Lee, and S. W. Kang, "Pressure sensor using the side polished single mode fiber and polymer planar waveguide coupler", J. of Sensor Science and Technology, Vol. 10, No. 3, pp. 156-162, 2001.
- [17] S. Kiesel, K. Peters, T. Hassan and M. Kowalsky, "Behaviour of intrinsic polymer optical fibre sensor for large-strain applications", Meas. Sci. Technol., Vol. 18, pp. 3144 - 3154, 2007.
- [18] H. J. Bae, S. H. Son, and S. Y. Choi, "Fabrication of silicon piezoresistive pressure sensor for a biomedical in-vivo measurements", J. of Sensor Science and Technology, Vol. 10, No. 3, pp. 148-155, 2001.
- [19] T. H. Baek and B. H. Lee, "Design of load and strain measuring equipment using strain gage, instrumental differential amplifier and A/D converter in a truss system", J. of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 28, No. 2, pp. 217-224, 2008.

저자 소개



김응수(Eung-Soo Kim)

1990년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1996년 게이오대학교 대학원 물질과학과 졸업(공학박사)

2013년 부산외국어대학교 디지털미디어학부 교수

1996년~1997 LG반도체 선임연구원

※ 관심분야 : 센서, 광소자, USN