

# 위치추적기를 내장한 산악용 신발 디자인 및 3D 다공성 폴리머 프린팅을 이용한 중창 제작에 관한 연구

표정희\*, 유찬주\*\*, 송영민\*\*\*, 이태구\*,#, 신보성\*\*\*\*,##

\*부산대학교 디자인학과, \*\*부산대학교 첨단정밀공학협동과정, \*\*\*광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부, \*\*\*\*부산대학교 광메카트로닉스공학과

## A Study on the Design of Hiking Boots Equipped with GPS and its Midsole Manufactured by 3D Porous Polymer Printing Method

Jeong-Hee Pyo\*, Chan-Ju Yoo\*\*, Jong-Kuk Shin\*\*\*, Tae-Gu Lee\*#, Bo-Sung Shin\*\*\*\*,##

\*Department of Design, Pusan National Univ.,

\*\*Engineering Research Center for Net Shape and Die Manufacturing, Pusan National Univ.,

\*\*\*School of Electrical Engineering and Computer Science, GIST,

\*\*\*\*Department of Optics & Mechatronics Engineering, Pusan National Univ.

(Received 26 October 2016; received in revised form 27 November 2016; accepted 30 November 2016)

### ABSTRACT

Over the last five years, 568 people have died while hiking according to 2015 statistics from the public safety ministry. Among those deaths, approximately 33% were due to loss of footing or falling. In this respect, the highly advanced functions of hiking boots should be considered to prevent these unfortunate accidents. For example, by utilizing the Internet of Things (IoT) and Information and Communications Technology (ICT), hiking boots equipped with a Global Positioning System (GPS) or vital signs monitoring systems should be considered. In addition, many challenges remain for the production of 3D printed hiking boots, because the functions of hiking boots are variable, which is important when handling changing terrains and situations. The design of customized hiking boots was introduced in this paper, and 3D printing applications for midsoles using a Porous Polymer Printing (PPP) method was also suggested to verify the possibility of manufacturing hiking boots.

**Key Words** : Hiking Boots(산악용 신발), Customized 3D Printed Shoes(개인맞춤용 3D 프린팅 신발), Foot Type(발모양), 3D PPP(3D 다공성 폴리머 프린팅), Midsole(중창)

### 1. 서 론

신발은 인체에 가장 밀접하게 착용하는 의류 중 하나이다. 용도에 따라 신발의 디자인과 기능 또한 다양하며 오늘날에는 기술 발전에 힘입어 전통적 신발의 개념에 IoT(Internet of Things),

# Corresponding Author : digiani@pusan.ac.kr  
Tel: +82-51-510-2902, Fax: +82-51-510-1727

## Corresponding Author : bosung@pusan.ac.kr  
Tel: +82-51-510-2787, Fax: +82-51-510-1722

ICT(Information and Communications Technologies), BT(Bio Technology) 기술 등과 융합하여 신 개념 풋웨어 제품이 출시되고 있다.

한국의 아웃도어 용품 중 특히 풋웨어의 수출규모는 꾸준히 증가세에 있으며 2013년 측정된 풋웨어 수출금액은 1억 3천 5백 달러(약1조4천억원)이다. 특히 한국의 등산인구는 매년 증가하여 2014년 기준 약 2000만명으로 추산된다.<sup>[1]</sup> 산악용 신발은 안전사고에 대비하여 특히 내마모성 및 마찰특성<sup>[2]</sup>등 기능적 측면을 고려해서 제작해야 한다.

산악용 신발의 구조는 Fig. 1과 같이 대략적으로 발목 깃(collar), 갑피(upper), 토캡(toe cap), 그리고 안창(insole), 중창(midsole), 밑창(outsole)으로 나눌 수 있다. 또한 산행의 목적에 따라 발목 깃의 높낮이가 달라지며 복사뼈 위치를 기준으로 로우컷, 미들컷, 하이컷으로 분류를 한다.

완만한 아스팔트길이나 흙길의 경우 로우컷에서 미들컷 정도의 트레킹화가 알맞으며 흙길의 근교 산행이나 짧은 등산에는 경등산화가 알맞다. 잔돌이 돌출된 등산로의 장시간 산행이나 겨울철 눈이 많은 곳을 산행할 때는 하이컷의 중등산화가 좋으며 바위지대의 산행은 접지력이 뛰어난 로우컷의 릿지화가 적합하다. 암벽등반을 위한 등산화는 밑창이 얇은 로우컷의 암벽화가 적합하다.

3D 프린팅 공정은 다품종 소량생산 등의 장점으로 인하여 다양한 분야에 적용되고 있다. 다양한 3D 프린팅 공정 방식 중 하나의 장비 안에서 하나의 공정으로 개인 맞춤형 제품을 적층 가능한 3D PPP(Porous Polymer Printing) 방식이 있다.<sup>[3]</sup> 3D PPP 공정은 공정이 비교적 단순하여 공정 시간 및 비용 등의 이점을 가지고 있다.<sup>[4]</sup>

국내에서 3D 프린팅으로 제작한 신발의 제품소식은 아직까지 전무하다. 하지만 미국의 나이키는 이미 2014년 3D 프린팅으로 제작한 축구화를 시판하였으며, 독일의 아디다스는 2017년부터 3D 프린팅을 이용한 스포츠 신발을 상용화할 예정이다. 이 밖에도 미국의 아웃도어 용품 제작 업체인 UnderAmour은 3D 프린팅으로 신발제작을 준비하고 있으며 스페인의 RECREUS 사는 FDM 3D 프린터의 필라멘트 소재에 한계가 있음을 알고

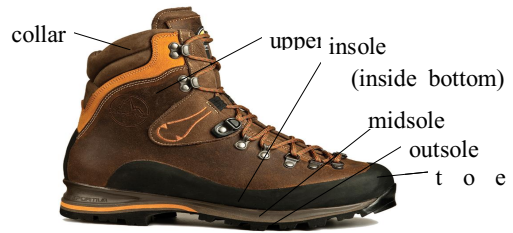


Fig. 1 Anatomy of a hiking boot<sup>[5]</sup>

FILAFLEX 필라멘트(폴리우레탄을 기본소재로 한 TPE)를 개발하였다. 이를 이용해 만든 신발은 탄성과 쿠션감이 뛰어나다.

따라서 본 논문에서는 개인맞춤형 산악용 신발의 완전품을 제작하기에 앞서 표준화된 발모양을 도출하여 발 모양에 따른 디자인을 제안한다. 신발 디자인의 고려뿐만 아니라 특별히 요구되는 안정성 제고를 위한 기능적 요소로 IoT를 접목한 위치추적 장치를 중창에 부착시키고자 한다. 또한 산악용 신발에서의 탄성과 쿠션감을 증대시키는 요소로 중창의 기능이 중요시됨에 따라 3D PPP 공정을 통한 중창을 개발하고자 한다.

## 2. 개인맞춤형 족형분석 및 IoT 기반 산악용 신발 디자인 개념설계

3D 프린팅을 이용한 산악용 신발을 제작하기 위해 먼저 개인 발 모양을 파악하는 단계가 필요하다. 아디다스는 고객이 매장을 직접 방문하여 발을 3차원으로 스캔을 하고, 트레이드 밀에서 걷기 및 달리기를 시행하여 경사도에 따른 지면반력과 족저 압력(plantar pressure)<sup>[6]</sup>을 분석한 값으로 3D 프린팅 신발을 제작한다고 밝혔다. 아디다스의 3D 프린팅을 이용한 스포츠 신발제작 과정은 물론 한 명의 고객을 위한 개인맞춤형 신발을 제작하는 가장 정확한 방법 중 하나이기는 하나 시간적 비용적 측면에서 보편화되기 까지 한계가 있다. 하지만 발모양의 타임을 표준화시켜서 3D 프린팅으로 제작한다면 고객이 직접 매장을 찾아와서 여러 가지 테스트를 해야 하는 부담을 줄일 수 있다.

## 2.1 개인 맞춤형 족형분석

Fig. 2와 같이 3D 스캐닝으로 족형을 분석한다. 연동된 컴퓨터의 소프트웨어를 통해 지면 반력과 족저 압력, 발바닥의 형상 및 접촉면에 대한 데이터를 얻을 수 있다.

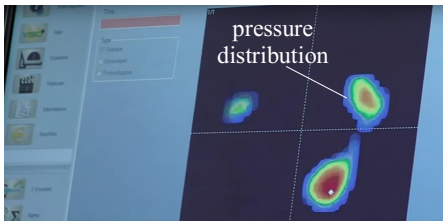
3D 풋 스캐닝을 통해 발바닥의 평면적인 형상<sup>[8]</sup> 뿐만 아니라 발의 높이 즉, 아치의 높이 또한 측정이 가능하다. 아치의 형태에 따라 신발의 롤바(roll bar)와 족지상자(toe box)의 모양 등도 고려<sup>[9-10]</sup>해야 하므로 이를 표준화한 데이터가 필요하다.



(a) Ready for scanning



(b) Scanning



(c) Foot screen by using scan s/w

Fig. 2 3D foot scanning for measurement and assessment of the foot<sup>[7]</sup>

Table 1 Footprint types of arch for the right shoe<sup>[11]</sup>




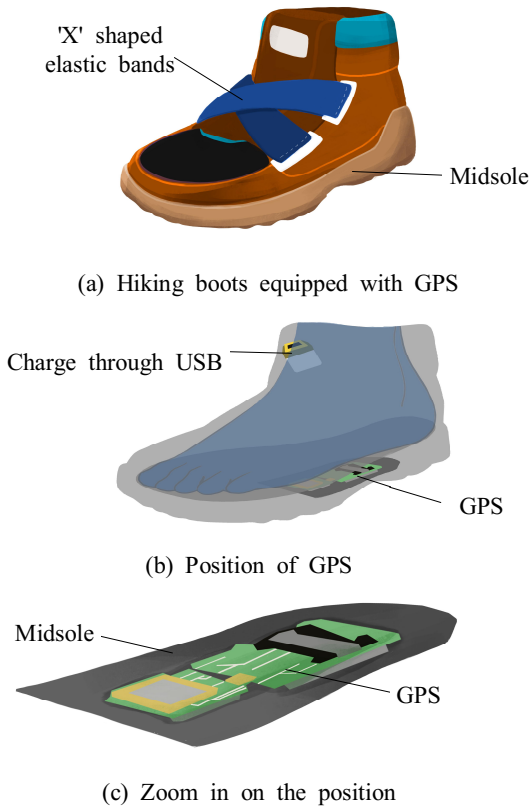
Footprints	Features
(a) Feet with low arches 	Choose a supportive shoe that is designed for stability and motion control to correct for over pronation.
(b) Feet with normal arches 	Choose a shoe with equal amounts of stability and cushioning to help absorb shock.
(c) Feet with high arches 	Choose a cushioned shoe with a softer midsole and more flexibility. This will compensate for the poor shock absorption of a high-arched foot.

Table 1은 3D 스캐닝을 통해 얻은 값으로 표준화시킨 3가지 형태의 발바닥 모양이다. 아치의 높낮이에 따라 선택하는 신발의 기능성 또한 달라진다.

도출된 표준형 발바닥 모양은 3D PPP 공정으로 중창을 제작할 시에 신발의 쿠셔닝 기능 또는 지지 기능을 강화하기 위한 지침으로 사용된다. 즉, 표준형 제시를 통해 3D 스캐닝으로 얻은 발의 전반적인 모형에 대한 정보로 신발을 제작함과 동시에 기능성을 고려한 신발 또한 제작이 가능해진다.

## 2.2 IoT 기반 신발 디자인 개념설계

인체의 기능과 기계와의 결합은 인체의 물리적 한계를 극복하고자 하는 인간의 욕구와 미래에 대한 긍정적 기대인 동시에 디자인의 확장을 의미한다. 본 연구에서는 IoT 와 결합해서 산악용 신발의



**Fig. 3 Hiking boots' concept design included GPS device considering urgent rescue**

기능적 효과를 증대하고자 한다. 산악은 환경과 산악인의 신체 컨디션에 따라 조난당할 위험이 큰 활동이다. 그러므로 산악용 신발의 중창에 위치추적 장치를 장착하여 조난사고를 예방하고자 한다.

디자인의 방향은 개인의 안전에 대한 제품의 관심이 높아짐에 따라, 개인 맞춤형 제작이 가능한 3D 프린팅을 활용할 수 있는 디자인에 중점을 두었다. Fig. 3 (a)는 위치추적기를 장착한 산악용 신발의 외관이다. 'X'자 형태의 밴드를 장착하여 신발의 착화와 탈화가 용이하게 디자인하였다.

신발의 중창은 충격을 흡수하는 기능으로 의료용 기능성 신발로 개발되고 있을 만큼 중요한 부분이다. Fig. 3 (b), (c)는 중창에 위치추적기를 장착한 도안으로 안전성, 편리성, 기능성에 중점을 두어 3D프린팅 제작이 용이한 디자인으로 설계하였다.

### 3. 3D다공성 폴리머 프린팅을 이용한 중창 제작

앞서 설명한 바와 같이 개인맞춤형 신발중창에 위치추적기를 부착하기 위해서는 위치추적기의 파손이 없도록 중창은 견고한 동시에 탄성이 있어야 한다. 하지만 현재의 3D 프린팅 기술로는 이러한 특성의 중창을 제작하기 위한 다공체의 소재에 한계가 있다. 폴리머의 탄성을 활용한 다공성 프린팅 기술에 대하여 국내외에서도 꾸준히 연구되고 있지만 아직 실효성 있는 결과물을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 3D 프린팅 공정 방식 중 FDM(Fused Deposition Modeling) 기반의 3D PPP 방식을 사용하여 개인 맞춤형 신발 중창의 다공체 구조를 3D 프린팅하여 시작품을 제작하였다.

먼저 2015년에 Shin, B. S. 등은 다공성 구조를 가지는 형상을 제작하기 위해 레이저 조사를 통한 화학발포제의 열분해반응을 이용하는 방법에 대한 연구 등을 진행해왔다.<sup>[12]</sup> 또한, 2016년에도 프린터 노즐의 온도에 의한 화학발포제의 열분해반응을 이용하여 내부에 다공성을 가지는 3차원 구조물을 제작하였다.<sup>[13]</sup> 실험결과로부터 다공성 구조는 우수한 기계적 특성을 가지고 있는 것을 확인하였다.<sup>[14-15]</sup>

이러한 선행연구 결과를 바탕으로 먼저, Fig. 4와 같이 신발 중창의 CATIA 프로그램으로 \*.stl 데이터 형식의 3D 모델링을 하여 적층하고자 하는 단면을 슬라이싱(Slicing)하였다. 또한 각 단면 마다의 적층 경로를 생성한 후에 3D PPP 공정을 통해 3차원 구조물 형태의 신발 중창을 적층 제작하여 Fig. 5 (a)의 결과를 얻었다. 최적의 발포 구조를 얻기 위하여 사용한 공정조건들은 각각 다음과 같았다. 화학발포제는 3 wt.%, 노즐의 온도는 220 °C, 프린팅 속도는 300 mm/s 이었다.<sup>[16]</sup> 다공체 폴리머 소재의 내부단면의 구조는 Fig. 5 (b)에서 보는 바와 같이 기공의 크기는 50~220 μm로 다양하게 존재한다. 기공은 평균적으로 약 110 μm의 크기를 가지며 SEM 단면 사진 결과를 바탕으로 기공의 밀도를 계산해보면 1.2×10<sup>5</sup> 개/cm<sup>3</sup> 다

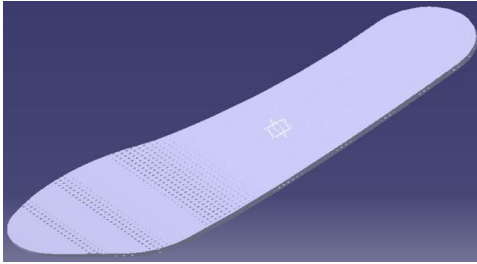
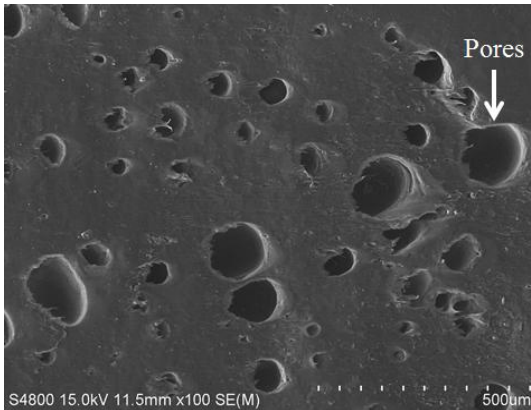


Fig. 4 3D model of shoe's midsole shape



(a) Shoe's midsole by using 3D printing



(b) SEM of cross-sections at shoe's midsole

Fig. 5 Photo and cross-sections of shoe's midsole manufactured by 3D PPP method

공체 폴리머 구조체인 것을 확인하였다.

3D PPP공정을 통해 가공된 다공체 폴리머 소재의 중창은 탄성력을 지니기 때문에 중창의 전체 형태는 보존한 채 위치추적기 탑재를 위한 공간을 2차 가공 작업으로 쉽게 확보할 수 있는 장점이 있다. 하지만 위치추적기의 안정적인 탑재를 위해서는 중창의 지지력을 제고시킬 필요가 있다.

다공체 소재의 필라멘트 합성을 통해 견고성과

탄성력을 동시에 획득하는 연구는 신발의 기능성과 편리성을 증대시켜 개인의 건강과 안전을 담당하게 될 것이다<sup>[17]</sup>.

#### 4. 결론 및 향후연구

2015년 국민안전처 통계에 따르면 2010년부터 2014년까지 사망한 등산객은 568명으로 이중 실족 및 추락에 의한 사망사고는 약 33%였다. 이는 산악용 신발을 디자인 할 때 최악의 사고를 대비할 수 있는 기능적 요소가 필요함을 의미한다. IoT 기반의 위치추적 장치를 탑재한 산악용 신발의 디자인을 개발함으로써 실족 및 추락으로 발생하는 실종 사고를 예방할 수 있다.

본 연구에서는 개인맞춤형 산악용 신발에 대한 안전을 고려한 새로운 IoT 탑재형 신발 디자인을 제안하고 또한 3D PPP 공정을 통해 내부에 다공성 구조를 가지는 신발 중창을 제작할 수 있음을 보였다. 제작된 신발 중창은 내부에 다공성 구조를 가지기 때문에 기계적 충격완화 등의 우수한 기계적 특성을 가지게 될 뿐만 아니라, 3D 프린팅 공정을 이용하기 때문에 개개인의 취향에 맞으며, 인체 맞춤형 제작이 용이한 장점을 가진다. 이 같은 장점을 지닌 3D PPP 공정으로 제작된 중창의 내부에 위치추적 장치를 삽입하는 디자인을 고안함으로써 3D 프린팅을 활용하여 IoT 기반의 산악용 신발 제작에 대한 가능성을 보였다.

향후에는 IoT 나 ICT 등 첨단 기술이 발전됨에 따라 산악용 신발에 GPS 기능이나 신체 바이탈 사인 데이터를 측정하는 기능을 탑재할 수 있는 융·복합형 산악용 개인맞춤 신발을 생산하기 위한 저가형, 고속 생산화가 가능한 3D 프린팅 연구를 추가하고자 한다.

#### 후 기

“이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 지원으로 한국연구재단-선도연구센터사업 3차원 혁신제조 연구센터의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2015R1A5A7036513).”

그리고 본 논문은 개인안전용 융합제품 개발을 위한 이공계와 비이공계(경영·디자인·심리학)간의 초학제간 융합연구 결과이며, 그에 따른 공동교신저자의 기여도는 각자 50%로 균등하므로 공동명기 한다.

## REFERENCES

- Kim, H. H.(2014), "In a time of having Mountaineers, twenty billion people, how to deal with their safety," Retrieved 05, Oct., 2016, from <http://www.mediajeju.com>.
- Pyo, K. D., Choi, J. S., Lee, J. Y., Park, C. C., "Improvement of Frictional Property of BR/CIIR Composite Rubber for Shoes Outsole," *Polymer(Korea)*, Vol.37, No.3, pp. 63-68, 2013
- Shin, B. S., Yoo, C. J., Park, C., Hong, S. M., KR Patent No.10-2016-0064765, 2016.
- Choi, J. W., Kim, H. C., "3D Printing Technologies - A Review," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol.14 No.3, pp.1~8, 2015.
- "Best Hiking Boots For Women,"(2016) <http://www.hiking-for-her.com>(accessed 18, Nov., 2016).
- Jeong, H. J., Jee, M. H., Kim, H. Y., Lee, S. J., "Measurement of the compressive force on the knee joint model fabricated by 3D printing," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 13, No. 2, pp. 1-7, 2014.
- Capron Podologie(2012), "VISIO, le scanner," Retrieved 19, Nov., 2016, from <https://www.youtube.com>
- Jeong, H. J., Lee, S. J., "Fabrication of Custom-made shoes using 3D-Printer," *Jornal of the KSMPE Autumn Conference*, p. 182, 2014.
- Lee, J. S., "Analyses of GRF & Insole Foot-Pressure Distribution: Gait Patterns and Types of Trekking Boots," *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 17, No. 4, pp. 191-200, 2007.
- Lee, G. G., "Effect of independent suspension function of hiking boots on the stability of foot," *Eromonics Society of Korea*, Vol. 25, No. 4, pp. 68-71, 2006.
- Alec(2015), "Rethinking shoes: Two students develop 'FOOTPRINT' 3D printed custom algorithmic footwear," Retrieved 25, Sep., 2016, from <http://www.3ders.org>.
- Park, C., Shin, B. S., Kang, M. S., Ma, Y. W., Oh, J. Y., Hong, S. M., "Experimental study on Micro-porous Patterning using UV pulse laser hybrid process with chemical foaming agent," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 16, No. 7, pp. 1385-1390, 2015.
- Reyes-Labarta, J. A., Marcilla, A., "Kinetic Study of the Decompositions Involved in the Thermal Degradation of Commercial Azodicarbonamide," *International Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 107, No. 1, pp. 339-346, 2008.
- Lu, G., LU, G. Q., Xiao, Z. M., "Mechanical Properties of Porous Materials," *Journal of Porous Materials*, Vol. 6, No. 4, pp. 359-368, 1999.
- Xu, A., Zhang, G., Pan, X. F., Zhang, P., Zhu, J., "Morphological characterization of shocked porous material," *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 42, No. 7, pp. 1-10, 2009.
- Yoo, C. J., Kim, H. S., Park, J. H., Yun, D. H., Shin, J. K., Shin, B. S., "Study of Optimal Process Conditions of 3D Porous Polymer Printing for Personal Safety Products," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 33, No. 5, pp. 333-339, 2016.
- Cho, D. W. and Jang, J. A., "A Review of the Fabrication of Soft Structures with Three-dimensional Printing Technology," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 6, pp. 142-148, 2015.