맞춤형 인솔 개발을 위한 3D Foot Scan 방법과 3D Laser Scan 방법과의 비교 분석

Comparative Analysis of 3D Foot Scan Method and 3D Laser Scan Method for Development of Custom-made Insole

*#박자연[1], 김영구[2], 김명훈[1], 이상진[1], 김민우[1], 김영창[3]
*#J. Y. Park(jypark@kiflt.re.kr)[1], Y. K. Kim[2], M.H.Kim[1], S.J.Lee[1], M.W.Kim[1], Y.C.Kim[3]
[1] 한국신발피혁연구소, [2](주)에이엠티 코리아, [3](주)학산

Key words : Insole, 3D Foot Scanner, 3D Laser Scanner, Inspection

1. 서 론

사람의 발은 우리 몸 전체의 1/4에 해당하는 52개의 뼈와 60개의 관절, 214개의 인대, 38개의 근육 및 수많은 혈관으로 구성되어 있다. 발등부분의 골격(중족골 : Metatarsal)은 서로 견고하게 연결되어 체중을 골고루 받쳐주며 보행시 충격을 흡수해 주는 역할을 한다. 엄지발가락은 체중을 한쪽 발에서 다른 쪽 발로 옮겨주는 지렛대의 역할을 하며, 각각의 발가락들은 지면을 움켜쥐어 전진하는 동작을 도와준다. 또한 발의 뒤축은 최소의 에너지 소모로 신체를 균형있게 지탱해주는 역할을 한다. 따라서 우리가 자연 상태에서 맨발로 지면을 밟고 걷는다는 것은 매우 복합적인 운동이라 할 수 있다. 한편 발은 인체의 모든 중량을 받쳐주고, 소량의 충격을 흡수하여 분산시켜주는 완충기능을 담당하기도 한다. 그러나 불행히도 현대인들은 교통수단의 발달로 운동량이 줄어들고 있고, 모든 도로가 포장이 되어져 있어 지면의 쿠션(Cushion) 역할을 받지 못해 보행시 발생되는 충격이 발 질환의 원인이 되기도 하고, 신발의 설계과정에서 발의 모양이나 보행특성을 고려하지 않고 설계하므로 간혹 신발의 형상이 발에 부담을 주어 발 근육의 힘이 피로에 의해 약해져 발의 모양이 변형되기도 한다. 발의 구조 및 형태에 문제가 있으면 발 자체는 물론 우리 몸 전체에 불균형과 부조화가 발생해 신체 다른 부위에 다양한 통증 및 징후가 나타난다.

맞춤형 인솔은 외적인 요인에 의하여 질환이 있는 발을 보조적으로 치유해 주기 위하여 각자의 발에 맞는 이상적인 발의 아치(Foot Arch)를 제공한다. 맞춤형 인솔을 사용하여 신발을 제작하면 발뼈, 발인대, 발근육 등 발의 기형적인 구조가 정상적인 구조로 바뀌고, 서 있거나 걷고 달릴 때 몸의 자세를 바르게 유지하여 발에 가해지는 충격을 흡수함으로써 발, 다리는 물론 몸 전체의 피로감을 감소시켜 준다. 또한 편하중에 의한 충격으로 척추, 뼈, 관절, 골반 등이 손상되는 것을 방지한다.

본 연구에서는 맞춤형 인솔의 제작 과정 중에서 발의 형상을 3차원 스캐너를 사용해 발의 여러 부위 치수를 측정할 때 3D Foot Scanner와 3D Laser Scanner로 측정한 발 형상의 데이터를 비교분석해보고자 한다.

Fig. 1 Manufacturing process of custom-made insole

2. 3차원 발 형상 측정 방법

Fig. 1은 맞춤형 인솔 제작 과정을 나타내고 있다. 인솔 제작을 위하여 먼저 족형을 측정한다. 족형 측정 요소는 발의 크기와 아치(Arch) 모양, 발뒤꿈치의 폭과 평발, 요족 등 발의 변형과 상태를 점검한다. 두 번째 폼(Foam)에 발을 찍고 찍힌 족적에 석고를 부어 발 형상을 만든다. 이후 이 발 형상을 바탕으로 인솔의 본체를 만들고 발 모양을 고려하여 웨지(Wedge)와 패드(Pad)를 넣고 각종 재료를 결합시켜 열성형으로 맞춤형 인솔을 완성한다.

본 연구에서 사용하는 족형 측정 방식은 기존 방식인 발의 탁본을 사용해 2차원적으로 발의 여러 부위 치수를 측정하는 것이 아니라 석고로 만든 발의 형상을 3차원 스캐너를 사용해 발의 여러 부위 치수를 측정한다. 이때 사용되는 방법이 3D Foot Scanner와 3D Laser Scanner이다.

3D Foot Scanner는 사람의 발을 직접 측정하는 장비로 본 연구에 사용된 Foot Scanner는 일본 i-ware사의 INFOOT 제품으로 4개의 레이저와 8개의 카메라로 구성되어 있다. Table 1은 3D Foot Scanner의 사양을 나타내고 있다. 또한 본 장비에서는 Dot Point, Polygin Mesh, Surface Model로 총 4가지의 형상 데이터를 제공한다. 측정 방법은 측정 대상의 발의 주요 부위에 Land-Maker를 부착한 후 측정을 하면 발의 주요 부위의 치수가 자동으로 측정되어져 나온다. 그러나 본 연구에서는 사람의 발이 아닌 석고로 본을 뜬 발 형상을 사용해 Land-Maker를 부착하지 않고 석고 발 형상만을 스캔받아 CSV(Dot Point) Data를 받아 Genmagic-Qualify 소프트웨어를 사용하여 데이터를 처리한다. Fig. 2는 3D Foot Scanner의 과정을 간략히 나타내고 있다.

본 연구에 사용된 3D Laser Scanner는 미국 LDI 사의 Surveyor DS-3060을 사용하였다. Surveyor DS-3060 Scanner는 비접촉식 고정식 시스템으로 정밀한 측정을 가능하게 한다. 장비에 장착된 Laser probe는 스캐닝 물체의 크기 및 정밀도 등을 고려해 결정되어져야 하는데 본 연구에서는 RPS-150 Laser Probe를 부착하여 Scanning 하였다. Fig. 3은 3D Laser Scanner의 과정을 간략히

Table 1 Spec. of 3D Foot Scanner

Scanning time	15 Secinds/Foot
Data processing	10 Seconds
Accuracy	Y-Z 1㎜ × 2㎜
Data format	DXF, CSV, 3Dbinary, MOVIE>BYU
Scanning Space	200(W) × 150(H) × 450(L)

Fig. 2 Scanning of 3D Foot Scanner

나타내고 있다. PRS-150은 40㎜의 측정 범위(Depth of Field)를 가지며 계측 point 간의 정밀도는 0.0089㎜이다. Scanning의 원리는 Diode Laser generator에서 만들어진 Laser beam이 Passive Beam spreader를 통해 Scan 대상물에 분사시켜 반사되는 빛은 비디오 카메라(CMOS Array)에 수집되고 3각 측량법을 사용해서 스캔 물체 표면의 한 점에 대해 3차원 좌표(XYZ)축에서의 좌표값을 계산한다. CMOS Array는 표면 형상 이미지를 수집하고 Laser가 통과한 모든 data point를 digital화 한다. 측정된 3D Point Data는 CAD/CAM 시스템에 호환될 수 있도록 IGES 및 ASCII 등으로 저장 관리된다. 본 장비는 Scan 후 Data 처리 작업을 Geomagic-Qualify 소프트웨어에서 쉽게 처리할 수 있는 호환성을 가지고 있다.

Fig. 3 Scanning of 3D Laser Scanner

3. 3D Foot Scan Data와 3D Laser Scan Data의 비교분석

3D Foot Scanner와 3D Laser Scanner에서 찍은 석고 발 형상 데이터는 Geomagic-Qualify software를 이용하여 비교한다. 연구 대상 석고 발 형상은 4개로 하였으며 정밀도가 높은 3D Laser Scanner의 데이터를 기준데이터로 가정하고, 3D Foot Scanner의 데이터를 실험데이터로 설정하여 두 데이터의 정량적 차이를 분석하고자 한다.

Fig. 4는 발바닥의 3D Laser Scan 데이터를 기준데이터로 가정하고 3D Foot Scan 데이터를 실험데이터로 설정하여 두 데이터의 차이를 Color Bar를 이용해 나타내고 있으며, 각 모델의 아치부분에 대한 단면도를 Color Bar를 이용해 차이를 나타내고 있다.

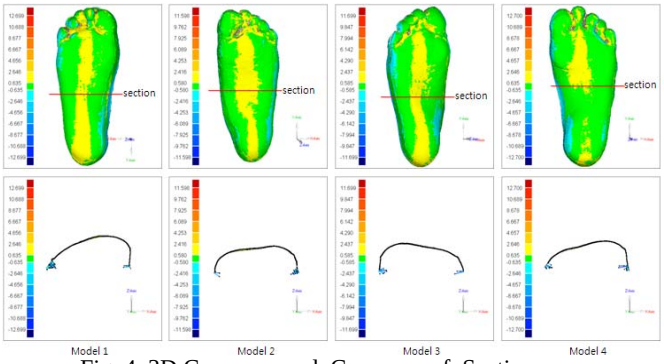

Fig. 4 3D Compare and Compare of Section

Table 2 Comparison between 3D Foot Scan Data and 3D Laser Scan Data

	Deviation Average +	Deviation Average -	Standard Deviation	Unit (㎜)
model 1	0.680	-2.657	3.133	
model 2	0.579	-2.308	2.796	
model 3	0.659	-2.271	2.887	
model 4	0.562	-2.617	3.088	
Average	0.620	-2.463	2.976	

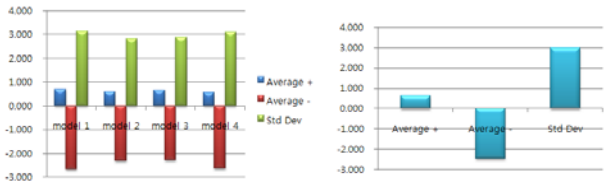

Fig. 5 Compare of 3D Foot Scan Data and 3D Laser Scan Data

발바닥의 Color Bar에서 연두색은 기준데이터와 실험데이터가 거의 동일함을 의미하며, 노란색은 두 데이터의 차이가 있음을 의미한다. 발바닥의 중간 부위에서 두 데이터의 차이는 약 0.6~2.5㎜ 정도로 나타나는데, 이는 3D Foot Scan에 의한 인솔 형상이 3D Laser Scan에 의한 인솔 형상보다 다소 튀어나와 있음을 의미하며, 나머지 부분에서는 두 개의 인솔 형상이 일치하고 있음을 알 수 있다. Table 2와 Fig. 5에는 3D Foot Scan 데이터와 3D Laser Scan 데이터와의 정량적 차이를 Deviation Average +/-와 Standard Deviation으로 비교한 결과를 나타내고 있다. 3D Foot Scan 데이터가 3D Laser Scan 데이터보다 크기가 작게 나타나며, 표준편차는 약 2.9㎜이다. 이것은 발 형상 전체의 스캔 데이터의 비교값이다.

4. 결 론

맞춤형 인솔을 제작할 때 발의 형상 중 발바닥의 길이, 폭, 아치의 높이 등의 치수가 중요하고 그 형상에 따라 인솔이 제작된다. 인솔 제작을 위해 족형을 파악하고 족형의 치수를 2차원이 아닌 3차원 데이터로 정밀하게 측정한다. 본 연구에서는 3차원 석고 발 형상을 스캔하여 데이터를 획득할 때 3D Foot Scan 방법과 3D Laser Scan 방법에 의한 인솔 형상의 데이터를 비교분석하였다. 3D Foot Scanner는 3D Laser Scanner와 비교하여 정밀도는 떨어지지만 10초 이내의 짧은 시간 안에 발의 형상을 스캔할 수 있고, 3D Laser Scanner에서는 정밀도는 높지만 스캔 시간이 약 30분 정도로 다소 길다. 본 연구에서 4가지 발바닥 모델에 대한 3D Foot Scanner와 3D Laser Scanner의 스캔 데이터를 비교분석해 본 결과 발바닥 부분의 중간 부위에서 약 0.6~2.5㎜ 정도 오차가 발생하였고 그 외 부분에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 3차원 발의 형상을 스캔하여 데이터를 획득할 때 3D Foot Scanner의 사용은 정밀도 면에서는 3D Laser Scanner와 비교하여 다소 떨어지지만 시간과 비용을 고려해 볼 때 3D Laser Scanner 사용보다는 3D Foot Scanner를 사용하는 것이 효율이 높을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 중소기업청 중소기업기술혁신사업의 과제로 수행되었으며, 이에 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

1. Mann, R. A., Hagy, J., "Biomechanics of walking, running and sprinting," American Journal of Sports Medicine, 8, 345-350, 1980.
2. 정임숙, 안승찬, 이진복, 김한성, 김영호, “인솔형 국부 전단센서의 개발 및 보행 시 발바닥의 국부 전단력 측정,” 한국정밀공학회지, Vol. 22, No. 6, 213-221, 2005.
3. 이지은, 권영아, “노년여성의 족저 형태에 따른 인솔 패턴 개발 연구,” 한국감성과학회 2008년도 추계학술대회 논문집, 122-125, 2008.
4. 최순복, 이원자, “성인여성의 발 특성에 따른 인솔 적합성 연구,” 한국의류학회지, Vol. 29, No. 6, 783-792, 2005.