

## 3D 프린팅 기술을 적용한 스플린트의 제작 용이성 향상을 위한 아래팔 기하 정보 비교에 관한 연구

장지홍\*

### A Study for Comparison of Geometric Characteristics on Forearms for Improvement of Convenience in Splint Manufacturing with 3D Printing Technology

Ji Hong Chang\*

**요 약** 스플린트는 마비, 구축 등이 나타난 환측에 적용하는 대표적인 보조기로서 전통적으로 숙련된 전문가의 수작업을 통해 제작된다. 제작과정은 열가소성 소재를 가열한 후 부드러운 소재를 환측 부위에 접촉하며 해당 부위의 표면에 피팅시키는 과정을 반복하여 이루어진다. 이러한 전통적 방식은 저온화상의 위험, 제작자의 숙련도에 따른 완성도의 차이 등 여러 문제점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 3D 프린팅 기술을 이용한 다양한 접근이 시도되고 있으나 3D 스캐너를 이용하는 경우 고비용의 문제, 수작업 측정의 경우 정확도의 문제 등의 단점을 나타내고 있다. 본 연구는 인체의 좌우 대칭성에 착안하여 건축 아래팔의 기하 특징을 이용하여 환측 스플린트를 3D 프린팅 기술로 제작하는 가능성에 관한 사전 연구이다. 디지털 사진과 사진측량기법을 이용하여 건강한 성인 남성으로부터 양측 아래팔의 3차원 가상 모델을 생성하고, 매 20mm 위치마다 둘레 길이 및 단면적을 측정하였다. 동일한 피험자에서 우세측과 비우세측 사이의 둘레 길이 및 단면적은 허용할 만한 수준의 차이를 나타냈으며, 우세측과 비우세측 사이에서 동일한 변수들 간에 높은 수준의 양의 상관관계를 나타냈다. 이러한 결과로부터 건축 아래팔의 기하 특징을 이용하여 3D 프린팅 기술의 적용을 통해 환측 스플린트 제작 가능성을 확인하였다.

**Abstract** A splint is one of assisting devices for the disabled with hemiplegia or contracture and is manually made by an experienced expert. Heated thermoplastic materials are continuously fitted to the affected part. This traditional method has a possible risk of low-temperature burn, quality variance of the splint due to the proficiency of maker. etc. While various approaches has been made using 3D printing technology in order to redeem those disadvantages, they still carry high cost issues with 3D scanners or accuracy issues with manual measurement. This research begins with symmetrical characteristics of human body and focuses on the preliminary study for the possibility of splint manufacturing with 3D printing technology based on geometric characteristics of unaffected arm. 3D right and left forearm models of healthy male adults were created by photogrammetry software and a series of digital images in order to measure the circumference and cross-sectional area of the forearm models at every 20mm from the elbow. The circumference and cross-sectional area showed tolerable levels of differences between both sides within subjects; The circumference and cross-sectional area showed very strong correlations between both sides within subjects. From these findings, the possibility of splint manufacturing with 3D printing technology could be confirmed based on the geometric characteristics of unaffected side.

**Key Words** : Forearm, forearm geometry, photogrammetry, splint, splint manufacturing

This Paper was supported by the Jungwon University Grant for 2017 Research Year

\*Department of Occupational Therapy, Jungwon University

Received September 25, 2019

Revised October 07, 2019

Accepted October 08, 2019

## 1. 서론

스플린트는 신체 기능의 영구적 또는 일시적 상실이 발생한 경우 적용되는 정형외과적 장치로서 신체의 일부를 고정 및 지지하는 기능을 한다. 스플린트는 관절의 유무, 위치, 방향, 목적 등에 따라 다양한 형태를 가지고 있으며 일반적으로 치료 과정을 구성하는 요소로서 적용된다 [1]. 상지 스플린트는 손 및 팔의 기능 상실이 발생한 경우 적용될 수 있으며, 류머티스 관절염, 뇌졸중으로 인한 구축, 뇌성마비에 의한 구축, 마비성 근골격계 질환 등의 다양한 경우에 적용될 수 있다.

스플린트를 포함하는 보조기의 매출액은 2009년 기준 약 262억원으로 2007년의 약 180억원에 비해 크게 증가하는 추세를 나타내고 있다. 같은 기간 보조기 업체의 수도 139개에서 149개로 증가하고 있다. 2007부터 2009년까지 3년간 보조기의 총 매출액은 보청기의 총매출액 813억원에 이어 652억원의 규모를 차지하고 있다. 그럼에도 불구하고 절반 이하(43.9%)의 보조기 업체에서 R&D에 투자를 하고 있으며 약 1/4의 보조기 업체만이 연구전담조직을 보유하고 있는 것으로 나타나고 있다 [2]. 이러한 사실로부터 보조기 시장 규모의 성장과는 무관하게 기존의 보조기 제작 방법에 의존하고 있음을 유추할 수 있다.

전통적으로 스플린트는 폴리프로필렌, 폴리카보네이트 등의 열가소성 소재를 사용하여 제작된다. 스플린트 팬을 이용하여 판 형태의 열가소성 소재를 가열한 후 적용 신체 부위의 표면과 일치하도록 스플린트를 수작업으로 제작한다. 이러한 전통적인 제작 방식은 현재도 매우 광범위하게 사용되고 있으나 다음과 같은 문제를 야기한다. 첫째, 열가소성 소재는 체온에 비해 비교적 고온(70-80℃)에서 가열된 후 피부에 접촉되므로 제작자 및 적용대상자가 저온 화상에 노출될 위험이 높다. 실제 제작과정에서는 이러한 위험이 단순한 불편함 정도로 인식되며, 능숙한 제작자들은 이러한 위험을 충분히 감소시키는 것으로 보인다. 두 번째로 제작자의 숙련도에 따라 제작 시간이 차이를 보인다. 제작 시간이 증가하면 소재의 재가열이 이루어져야 하므로 저온 화상의 위험도 따라서 증가하게 된다. 세 번째로 제작자간의 숙련도에 따라 스플린트의 완성도에 차

이를 보인다. 마지막으로 동일한 제작자내에서도 제작 재현성을 담보하기 어렵다 [3].

전통적인 제작 방법이 가지고 있는 이러한 단점을 보완하기 위해서 3D 프린팅 기술을 이용한 다양한 대체 제작법이 시도되고 있다. 류머티스 관절염 환자의 백조목 변형에 적용하기 위하여 3D 프린팅 기술로 스플린트 제작에 대한 연구에서는 손의 외형 윤곽선과 손가락의 주요 부위를 수작업으로 측정 후 캐드 프로그램으로 모델링 한 후 3D 프린터로 스플린트를 제작하였으며 높은 만족도를 나타냈다 [4]. 3D 프린팅 기술을 이용하여 손목 보조기의 제작 기법을 소개한 또다른 연구에서는 손목 보조기를 평면에 설계한 후 역설계 기법을 통해 3차원 모델링 한 후 스플린트를 제작하였다. 수작업을 통한 평면 설계를 기반으로 하지 않고 고가의 3D 스캐너를 사용하지 않는다는 장점을 가지고 있다 [5]. 3D 스캐너와 3D 프린팅 기술을 이용하여 보조기를 제작한 또 다른 연구에서는 스플린트 팬을 이용한 전통적 제작 기법과의 비교를 통해 제작기법 사이의 장단점을 비교했다 [3]. 이와같이 전통적인 스플린트 제작 기법의 단점을 보완하기 위하여 3D 프린팅 기술을 이용한 다양한 스플린트 제작에 대한 연구가 수행되고 있다.

3D 프린팅 기술을 이용하여 스플린트를 제작하는 경우, 제작물의 재현성 및 완성도 확보 등에 장점을 가지고 있으나 다음과 같은 단점을 가지고 있다. 적용되는 신체 부위의 표면 정보를 수작업으로 측정하므로 [3, 4] 측정자의 숙련도에 따라 측정 정보의 편차가 나타날 수 있다. 이러한 단점은 고가의 3D 스캐너를 사용하여 해결할 수 있으나 [5], 임상에서 비용 부담이 발생하므로 실제 사용에는 제한이 있을 것으로 보인다 [4]. 또한 마비, 구축 등이 발생한 경우 정적인 자세 유지가 어려운 경우 고정 및 지지를 통해 해당 부위의 표면 정보를 측정해야 한다. 이 경우 해당 부위의 표면에는 압력에 의한 변형이 나타나게 되어 정확한 표면 정보의 획득이 어려워진다. 그럼에도 불구하고 스플린트 제작 전문가가 3D 프린팅 기술을 이용하여 스플린트를 제작할 경우 높은 완성도와 재현성에 대한 장점을 가질 수 있다.

본 연구는 건강한 사람의 외형이 좌우 대칭성을 갖는다는 점에 착안하여 건축 표면정보를 이용하여 환측

스플린트의 3D 프린팅 제작 가능성에 대한 기초 연구이다. 마비, 구축 등이 나타나지 않은 건측 아래팔의 표면 정보를 사진측량기법으로 측정하여 3D 프린팅 기술로 환측 스플린트를 제작할 경우 3D 스캐너보다 저비용, 수작업보다 고효율의 장점을 가질 수 있다. 이러한 시도에서 가장 중요한 요소는 인체 좌우 대칭성의 일치 정도이다. 만약 건측 표면정보와 환측 표면정보의 차이가 수용가능한 수준이라면 이러한 접근의 활용 가능성은 매우 크다 할 것이다. 좌우 상지의 근력 차이 등에 대한 연구에 비해 좌우 아래팔의 표면 정보 차이에 대한 연구는 사례를 찾을 수 없다. 따라서 본 연구에서는 좌우 아래팔의 표면 정보를 각각 측정하고 비교하여 해당 분절의 표면 정보에 대한 차이를 규명하고자 한다. 이를 통해 건측 아래팔의 표면 정보를 이용한 스플린트 제작에서 3D 프린팅 기술 도입의 당위성을 확장하고 나아가 보조기 분야의 발전에 기여하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 아래팔 모델링

#### 2.1.1 연구 대상자

본 연구는 대학 재학 중인 학생 10명을 대상으로 진행되었다. 연구 대상자 전원은 아래팔의 근골격계질환 병력이 없으며 평균 연령 22.6세의 남성이다. 연구 대상자의 신장과 체중의 평균은 각각 174.6cm(SD 4.9)와 81.5kg(SD 16.6)이다. 이들 중 오른손잡이와 왼손잡이의 비율은 4:1이다.

#### 2.1.2 모델링

아래팔의 3차원 가상 모델을 생성하기 위하여 3차원 모델링 소프트웨어(Photomodeler Scanner, EOS Systems Inc.)를 사용하였다. 해당 소프트웨어는 대상체에 대한 일련의 사진으로부터 대상체의 3차원 정보를 획득하는 사진측량기법을 구현한 소프트웨어로 상대적으로 저렴한 비용으로 정밀도 높은 3차원 가상 모델의 생성이 용이하다는 장점을 가지고 있다 [6, 7].

연구 대상자의 좌우측 아래팔에 마커를 부착하고 움직임을 제한하기 위하여 별도 제작된 거치대에 지지한

후 아래팔을 중심으로 하여 회전하며 사진 촬영을 하였다(그림 1). 각각의 사진은 약 30도의 간격을 두고 촬영되었으며 디지털 SLR 카메라와 표준 렌즈를 사용하였다. 사진의 심도 확보를 위해 F/16으로 조리개를 세팅하여 사진에서 초점의 흐려짐을 방지하였고 1/100초의 비교적 느린 셔터 스피드로 촬영하여 움직임으로 인한 블러링을 검출하고자 하였다. 실내 촬영으로 인한 부족한 광량을 보충하기 위하여 별도의 스트로보를 장착하였다. 사진측량 소프트웨어를 이용하여 촬영된 사진들로부터 마커의 3차원 위치 정보를 수집하였으며 이를 기반으로 좌우측 아래팔의 3차원 가상 모델이 생성되었다.

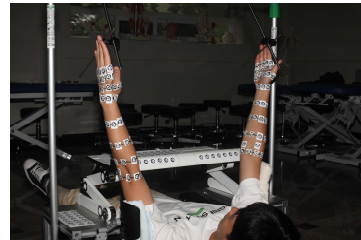


그림 1. 아래팔 모델 제작을 위한 이미지 샘플  
Fig. 1. Samples of image for creating 3-D lower arm models

### 2.2 아래팔 표면 정보 분석

3차원 가상 모델을 생성한 후 좌우측 아래팔 모델의 팔꿈관절 근처를 기준면으로 정하고 이전 연구[7]에서 도출한 결과를 응용하여 매 20mm 위치마다 아래팔 표면 정보 측정 위치를 설정하였다. 각 측정 위치에서 둘레 길이와 단면적을 측정하였다. 이렇게 측정된 기하 정보를 우세측과 비우세측으로 구분하고 비교하였다. 각 측정위치에서 우세측과 비우세측의 둘레 길이 비교를 위해 피어슨 상관계수를 계산하여 양측간의 유사성을 규명하고자 하였다. 단면적 또한 동일한 방법으로

유사성을 규명하고자 하였다.

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 둘레 길이

각 측정 위치에서 우세측과 비우세측의 둘레 길이는 그림 2에 나타나 있다. 모든 실험 대상자에서 둘레 길이의 변화 추세는 일치하는 것으로 나타나고 있다. 우세측과 비우세측의 둘레 길이 차이는 표 1과 같다. 우세측과 비교했을 때 둘레 길이 차이는 최소 0.5%에서 최대 6.7%로 다양하게 나타나고 있다. 비우세측의 경우에도 둘레 길이 차는 동일한 양상을 나타내고 있다. 전체적으로 둘레 길이 차는 2~4% 수준을 보이는 것으로 나타났다.

우세측과 비우세측의 둘레 길이에 대한 상관관계는 표 3에 나타나 있다. 상관계수의 범위는 최소 0.925, 최대 0.999로 나타나고 있어 우세측과 비우세측의 둘레 길이는 매우 강한 양의 상관관계를 나타내고 있다. 이와 같은 결과로 미루어 우세측과 비우세측의 아래팔 둘레 길이는 매우 높은 유사성을 갖는 것으로 나타난다고 할 수 있다.

표 1. 우세측과 비우세측간의 아래팔 둘레 길이 차이  
Table 1. Difference of circumference between the dominant and non-dominant side of lower arm

Sub No.	Avg.	SD	% against dominant side	% against non-dominant side
S01	14.7	6.2	6.7	7.0
S02	5.5	3.0	2.2	2.3
S03	6.8	3.6	2.9	3.0
S04	1.3	1.1	0.5	0.5
S05	8.3	8.1	4.2	4.3
S06	8.1	4.8	3.5	3.7
S07	7.1	5.2	3.3	3.3
S08	5.5	4.3	2.7	2.8
S09	6.2	7.3	3.0	3.2
S10	6.6	5.9	3.6	3.9

#### 3.2 단면적

단면적에 대한 우세측과 비우세측의 정보는 그림 3에 보여진다. 둘레 길이와 마찬가지로 모든 실험 대상

자에서 단면적의 변화 추세는 우세측과 비우세측이 일치하는 것으로 나타나고 있다. 우세측과 비우세측의 단면적 차이는 표 2에 나타나 있다. 우세측과 비교했을 때 단면적 차이는 최소 1.7%에서 최대 12.2%로 나타나고 있다. 비우세측의 경우에도 단면적의 차는 동일한 양상을 나타내고 있다. 전반적으로 4~9% 수준의 단면적 차이가 나타나는 것으로 보여지고 있다. 단면적의 차이가 둘레 길이의 차이에 비해 크게 나타나는 이유는 면적이 길이의 곱에 의해 결정되기 때문인 것으로 판단된다.

표 2. 우세측과 비우세측간의 아래팔 단면적 차이  
Table 2. Difference of cross-sectional area between the dominant and non-dominant side of lower arm

Sub No.	Avg.	SD	% against dominant side	% against non-dominant side
S01	431.9	145.2	12.2	13.2
S02	203.3	123.9	4.1	4.2
S03	242.9	139.4	5.6	6.0
S04	72.7	65.2	1.7	1.8
S05	246.0	197.7	8.2	8.7
S06	275.5	138.3	6.8	7.5
S07	201.9	166.5	5.7	5.8
S08	164.3	107.7	5.1	5.4
S09	217.7	190.0	6.4	7.3
S10	190.9	126.6	7.3	8.5

표 3. 아래팔 우세측과 비우세측간의 상관관계  
Table 3. Correlation between dominant and non-dominant sides of lower arm

Sub No.	Circumference	Corss-sectional Area
S01	0.925	0.954
S02	0.992	0.996
S03	0.994	0.996
S04	0.999	0.999
S05	0.963	0.974
S06	0.988	0.992
S07	0.977	0.986
S08	0.988	0.995
S09	0.979	0.983
S10	0.985	0.988

우세측과 비우세측의 단면적에 대한 상관관계는 표 3과 같다. 상관계수는 최소 0.954, 최대 0.999로 나타

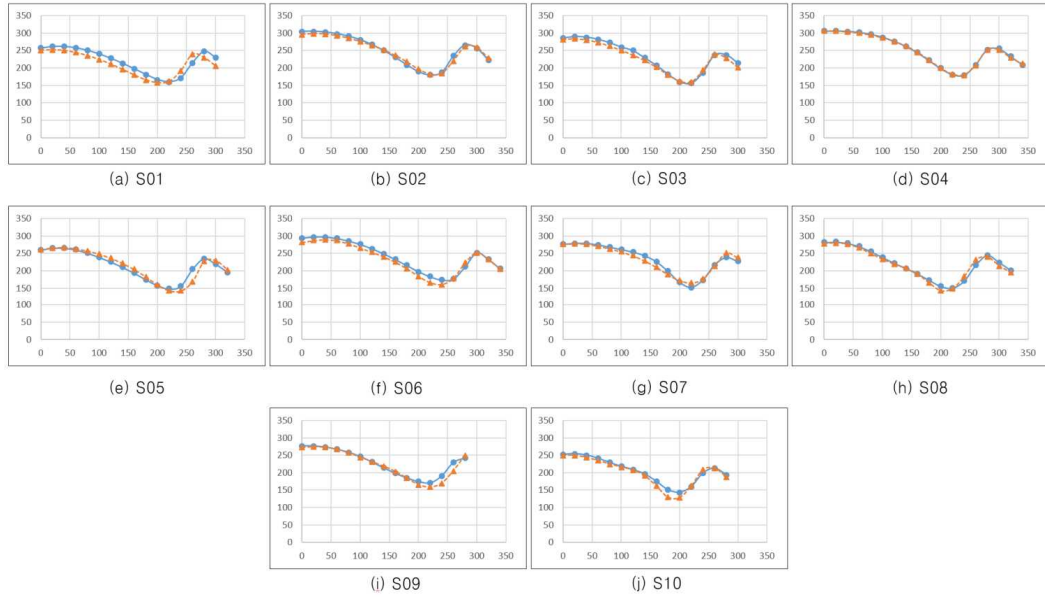


그림 2 우세측과 비우세측 아래팔의 둘레 길이 비교 (x축: 측정위치, mm; y축: 둘레 길이, mm)  
 Fig. 2. Comparison of lower arm circumference between dominant (blue dots) side and non-dominant (orange triangles) side (x axis: measurement position in mm, y axis: circumference in mm)

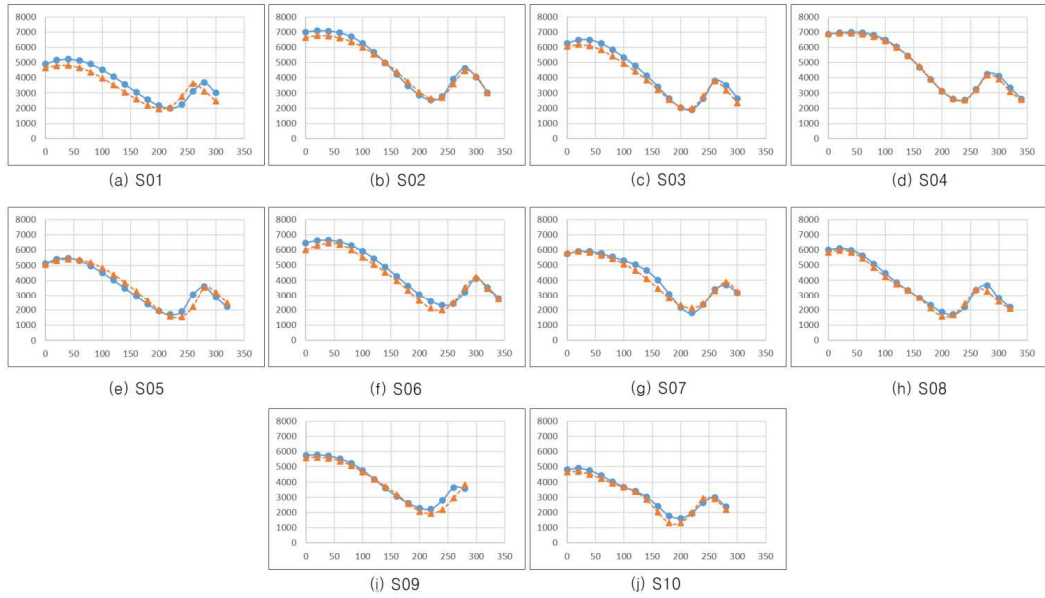


그림 3 우세측과 비우세측 아래팔의 단면적 비교 (x축: 측정위치, mm; y축: 단면적, mm²)  
 Fig. 3. Comparison of lower arm cross-sectional area between dominant (blue dots) side and non-dominant (orange triangles) side (x axis: measurement position in mm, y axis: circumference in mm²)

나며, 우세측과 비우세측의 단면적은 매우 강한 양의 상관관계를 보여주고 있다. 둘째 길이와 마찬가지로 우세측과 비우세측의 아래팔 단면적은 매우 높은 유사성을 갖는 것으로 나타난다고 할 수 있다.

### 3.3 고찰

본 연구에서는 우세측과 비우세측 아래팔의 표면 기하 정보를 측정하고 비교하였으며, 이를 통해 건축 아래팔의 표면 정보를 기반으로 3D 프린팅 기술을 이용하는 환측 스플린트 제작 가능성을 검토하였다. 아래팔의 가상 모델은 디지털 SLR 카메라와 사진측량기법으로 제작되었으며, 가상모델의 팔뚝관절로부터 매 20mm 위치에서 우세측과 비우세측의 둘째 길이 및 단면적을 측정하였다. 우세측과 비우세측의 둘째 길이의 변화 추세는 대부분의 대상자에서 허용할만한 수준에서 일치하는 것으로 나타났으며, 우세측과 비우세측의 둘째 길이 차이 또한 용인할만한 수준으로 나타났다. 또한 단일 대상자 내에서 우세측과 비우세측의 둘째 길이 사이에는 매우 강한 양의 상관관계가 나타났다. 단면적의 변화 추세, 단면적 차이도 우세측과 비우세측의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 단일 대상자 내에서 우세측과 비우세측의 단면적 사이에는 매우 강한 양의 상관관계가 나타났다.

이상의 결과로부터 아래팔의 근골격계질환 병력이 없는 건강한 대상자의 아래팔은 우세측과 비우세측 사이에 매우 유사한 표면 정보를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 따라서 급성의 질환으로 편측 마비, 구축 등이 나타난 경우, 건축 기하 정보로부터 3D 프린팅 기술을 이용한 스플린트의 제작 가능성을 강하게 뒷받침한다고 할 수 있다. 다만 낮은 수준에서나마 우세측과 비우세측의 표면 기하 정보가 불일치를 나타내고 있기 때문에 건축 기하 정보로부터 환측 스플린트를 제작하기 전 아래팔 동일 위치에 대한 둘째 길이 측정을 통해 적용 여부를 사전 검토하여야 할 것이다. 또한 본 연구에서 제시하는 방법을 위축이 이미 진행된 만성 질환자에게 적용하는 것은 추가 연구를 통해 규명되어야 할 것이다. 또한 본 연구는 3D 프린팅 기술을 이용하여 스플린트를 제작하기 위한 사전 연구의 성격을 가지고 있으므로 아래팔 모델 제작 시간에 대한 고려를 하지

않았으나, 대단위 적용에는 소요 시간을 줄일 수 있는 방법의 도입이 요구될 것으로 판단된다. 또한 본 연구의 결과는 3D 프린팅 기술을 이용한 스플린트 제작에 국한되지 않고 다양한 형태의 의지 및 보조기 제작에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구는 인체의 외형이 좌우 대칭성을 나타낸다는 점에 착안하여, 건축 아래팔 모델로 마비 또는 구축 등이 나타난 환측 스플린트를 3D 프린팅 기술을 이용한 제작 가능성에 대한 사전 연구의 성격을 갖는다. 전통적인 스플린트 제작 방식의 단점을 보완하기 위해 3D 프린팅 기술을 이용하여 스플린트를 제작하려는 시도는 다양하게 이루어졌으나, 서론에서 언급했듯이 마비 또는 구축이 나타난 환측 아래팔의 기하 정보를 이용하여 스플린트를 제작하는데는 아직 많은 숙제를 가지고 있다. 상대적으로 저비용의 디지털 SLR 카메라와 사진측량 소프트웨어의 도입으로 3D 프린터를 이용한 스플린트 제작의 진입장벽을 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

아래팔의 근골격계질환 병력이 없는 20대의 남성들로부터 우세측과 비우세측 아래팔 모델을 제작하고 팔꿈치 부위로부터 아래팔의 장축을 따라 매 20mm마다 둘째 길이와 단면적을 측정하여 비교하였다. 동일한 대상자 내에서 우세측과 비우세측의 둘째길이 변화 추세와 단면적 변화 추세는 매우 높은 일치성을 나타내는 것으로 나타났다. 동일한 위치에서 우세측과 비우세측 사이의 둘째 길이와 단면적의 차이는 용인할만한 수준인 것으로 나타났다. 동일한 대상자 내에서 우세측과 비우세측 사이의 둘째 길이 및 단면적은 매우 강한 양의 상관관계를 나타낸다. 이러한 결과로부터 위축이 수반되지 않은 구축 및 마비 환자들에게 건축의 아래팔 기하 정보와 3D 프린팅 기술을 이용하여 스플린트를 제작하여 보급하는 것이 가능할 것으로 보여진다. 이에 대한 후속 연구를 통해 본 연구의 결과를 검증해야 할 것이다. 또한 본 연구의 결과를 활용하여 다양한 형태의 의지 및 보조기 제작에 기여할 것으로 기대한다.

## REFERENCES

- [1] B. M. Coppard, H. Lohman, "Introduction to Splinting: A Clinical Reasoning & Problem-solving Approach", 4, Elsevier Health Science, 2013
- [2] S. J. Kwon, J. Y. Park, "A Study of the Current Status of the Assistive Devices Industry in Korea", Disability & Employment, 22(4), pp. 5-31, 2012
- [3] S. Y. Heo, "A Study on the Case of Developing Manufacturing Techniques for Orthosis Using 3D Printing Technology: Focusing on Comparative Study with Using the Splint Pan", Disability & Employment, 25(1), pp. 79-103, Feb, 2015
- [4] W. S. Choi, W. H. Jang, S. W. Hwangbo, M. Heo, "A Pilot Study on Development and Usefulness of Finger Splint Using 3D Printing Technology: for the Patients with Rheumatoid Arthritis", Korea Science & Art Forum, 36, pp. 379-389, 2018
- [5] W. S. Choi, J. B. Kim, "The Study of Manufacturing Customized Light-weight Wrist Splint only Using 3D Modeling & 3D Printing", Proceedings of HCI Korea, pp. 831-836, Jan, 2018
- [6] J. H. Chang, "A Photogrammetric Approach to Create 3-Dimensional Models of Irregular-shaped Craves", J. of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, 10(6), pp. 545-551, Dec. 2017
- [7] J. H. Chang, "An Approach to Measure Anthropometric Data of Simulated Human Hand Using Photogrammetry", J. of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, 9(5), pp. 511-517, Oct. 2016

---

## 저자약력

---

**장 지 홍(Ji Hong Chang)**

[중심회원]



- 2007년 2월 : University of California, Davis (박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 중원대학교 교수

〈관심분야〉 작업생체역학, 재활공학