

# Finite Element Analysis(fem) of The Fixed Position of the Velcro Band for the 3D Print Wrist Brace made using the Dicom File

Hyeun-Woo Choi<sup>1,2</sup>, An-Na Seo<sup>3</sup>, Jong-Min Lee<sup>1,2,4,\*</sup>

<sup>1</sup>Kyungpook National University Hospital

<sup>2</sup>Molecular Hemodynamic & Computational Laboratory, Kyungpook National University

<sup>3</sup>Seann Solution

<sup>4</sup>Department of Radiology, School of Medicine, Kyungpook National University

Received: September 01, 2021. Revised: October 20, 2021. Accepted: October 31, 2021.

## ABSTRACT

Wrist braces are being used for patients with wrist trauma. Recently, many studies have been conducted to manufacture custom wrist braces using 3D printing technology. Such 3D printing customized orthosis has the advantage of reflecting various factors such as reflecting different shapes for each individual and securing breathability. In this paper, the stress on the orthosis by the number and position of Velcro bands that should be considered when manufacturing a 3D printing custom wrist brace was analyzed. For customized orthosis, 3D modeling of the bone and skin regions was performed using an automatic design software (Reconeasy 3D, Seann Solution) based on CT images. Based on the 3D skin area, a wrist orthosis design was applied to suit each treatment purpose. And, for the elasticity of the brace, a wrist brace was manufactured with an FDM-type 3D printer using TPU material. To evaluate the effectiveness according to the number and position of the Velcro band of the custom 3D printed wrist brace, the stress distribution of the brace was analyzed by the finite element method (FEM). Through the finite element analysis of the wrist orthosis performed in this study, the stress distribution of the orthosis was confirmed, and the number and position of the orthosis production and Velcro bands could be confirmed. These experimental results will help provide quality treatment to patients.

Keyword: Wrist Brace, Computed Tomography(CT), 3D Printing, STL File, FEM

## I. INTRODUCTION

3D 프린터는 설계에 따라 액체와 파우더 형태의 수지, 금속 등의 재료를 가공하여 적층 방식으로 쌓아 올려 제품을 제조하는 장비로서 3차원 프로그램에 따라 생산하고자 하는 형상을 신속하게 조형하는 기술이다. 재료는 파우더를 활용한다. 입체의 재료를 레이저를 이용하여 자르거나 깎는 방식으로 제품을 생산하는 절삭가공 방식과 적층 가공방식이 있다<sup>[1]</sup>.

유한요소법(Finite Element Method, FEM)은 유체

해석, 구조 해석, 자장 해석, 열 해석 등에서 널리 보급된 수치 해석 방법이다. 해석의 대상을 유한개의 요소로 분할 하여 대표하는 접점을 정하고, 이 접점의 지배 방정식을 연립 1차 방정식에 근사시켜 푸는 방법이다. 유한요소법은 차분법(FDM)이나 경계 요소법(BEM)과 함께 컴퓨터공학(CAE)에서의 수치 해석에 많이 사용된다. 무릎 보조기 착용 시 견인 효과에 의해 무릎 관절 내에서 발생하는 세부적 효과에 대해 정량적으로 분석하고, 보조기의 효용성 및 안정성 등을 유한요소 해석을 수행하기도 한다. 본 논문에서는 구조 해석에 사용되었다<sup>[2]</sup>.

\* Corresponding Author: Jong-Min Lee      E-mail: jonglee@knu.ac.kr  
Address: (41944) 130, Dongdeok-ro, Jung-gu, Daegu, Republic of Korea

3차원 프린팅 기술은 의료 분야에서 널리 사용되고 있다. 예를 들면, 3D 프린터를 의료에 활용하여 손목 보조기(Wrist brace) 개발을 하고 있다<sup>[3-5]</sup>. 재활의학과에서는 편마비 환자의 손목 하수(Wrist drop) 교정용으로 사용되고, 정형외과에서는 골절의 수술 후, 염좌나 타박상 치료에 사용되고 있다<sup>[6,7]</sup>. 3D 프린터로 로봇 손 제작과 손목 절단 환자에 게도 활용 되어지고 있다<sup>[8-10]</sup>.

본 연구에서는 인체의 상지를 이용하여 손목 보조기를 디자인하였다. 3D 프린터를 사용하여 프린터 하였다. 보조기를 손목 고정 치료 시 고정 벨크로 밴드(Velcro band)의 숫자와 위치에 의한 뼈와 피부에 가해지는 압력 및 보조기의 스트레스 분포를 유한요소법(FEM)으로 해석하였다. 치료를 위해 필요한 고정 벨크로 밴드의 위치와 수를 분석하여 임상에 적용할 수 있길 바란다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 연구대상

본인의 왼쪽 상지를 컴퓨터 단층 촬영(Computer tomography, CT)으로 CT Dicom file을 획득한 후 디자인 프로그램으로 손목 보조기를 디자인하고 3D 프린터로 3D 프린터 손목 보조기(3D print wrist brace)를 프린팅하여 제작하였다.

### 2. 실험방법

3D 프린터를 사용하여 손목 보조기를 제작하기 위해 Fig. 1처럼 컴퓨터 단층 촬영(Computer tomography, CT)하였다. Fig. 2와 같이 손목 Dicom file 이미지를 획득하고, 획득된 이미지를 자동설계 소프트웨어(Reconeasy 3D, Seeann Solution)를 사용하여 뼈, 피부 영역 3D 모델링을 수행하였다. 3D 피부 영역을 기반으로, 각 치료 목적에 맞도록 손목 보조기를 Fig. 3과 같이 디자인을 적용하였다. 디자인된 파일을 "STL(Stereolithgraphy)" 파일로 변환시켰다. 3D 프린터로 인쇄하여 환자 맞춤형 3D 프린터 손목 보조기를 제작하였다.

3D 프린터 손목 보조기를 벨크로 밴드를 사용하여 손목에 고정 착용하였다. 보조기의 원위부에 2

개의 벨크로 밴드(Velcro 1,2), 보조기 원위부와 근위부에 두개의 벨크로 밴드(Velcro 1,3), 보조기 원위부, 중간부, 근위부에 3개의 벨크로 밴드(Velcro 1,2,3)를 위치와 숫자를 바꾸어 가며 실험을 하였고, 부착 위치와 숫자 의한 보조기의 스트레스 분포를 유한 요소법(FEM)으로 해석하였다.

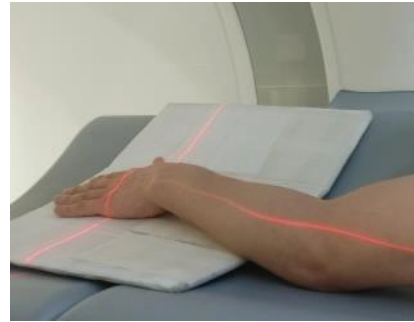


Fig. 1. CT Scan.



Fig. 2. Wrist Brace Design.

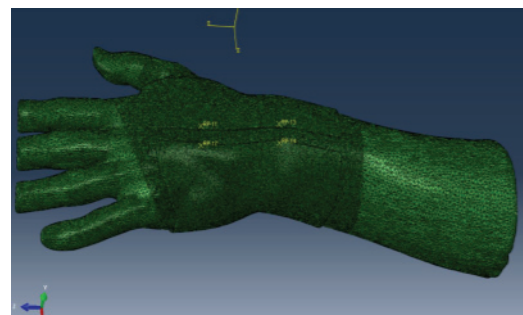


Fig. 3. Wrist Brace Wearing Image.

### 3 유한 요소 해석

#### 3.1 모델링

보조기, 조직, 뼈를 유한요소 해석을 위해 사용하였고, 초음파로 측정된 영율을 조직의 물성으로 사용하였다<sup>[11]</sup>. 요골과 척골의 물성을 사용하고, 보조기는 TPU(Thermoplastic Polyurethane) 물성을 사용하였다. Table 1에 물성과 요소의 수를 표현하였다.

Table 1. The Number of Properties and Elements applied to the Model

Materials	Young's Modulus[MPa]	Poisson's ratio	Number of element
Tissue	0.15	0.45	377395
Bone	7000	0.3	119041
Splint	60	0.4	213972

#### 3.2 유한요소 해석 힘 및 경계 조건

범용 유한요소해석 프로그램 ABAQUS(ABAQUS v.6.4, France)를 이용하여 근육과 뼈와 보조기의 벨크로 밴드 숫자와 위치 영향 분석으로 축력, 전단력, 휨모멘트 등을 동적 해석을 수행하여 주요 위치의 응력을 분석하여 강도를 측정하였다. 힘 및 경계 조건은 보조기의 연결 부분과 벨크로 밴드 부착 부위 부분과 손바닥 방향으로 부하 조건(load condition)으로 두 곳을 설정하였다. 손바닥 표면에 하중을 주고, 뼈와 조직 끝에 축을 고정하고, 보조기 고정은 외부 표면 사이에 하중을 주고, 실험을 통해 벨크로 밴드 스프링 상수를 측정하여 사용하였다. 조직과 보조기 표면의 마찰계수는 0.3을 주고, 뼈와 조직은 타이(Tie) 조건, 벨크로 밴드 부착 표면은 기구학적 커플링을 사용하였다.

### III. RESULT

벨크로 밴드의 Fig. 4처럼 숫자와 위치에 따라 손목 보조기의 응력 분포를 알아보기 위해 삼차원 유한요소 분석법을 사용하였다. 본 실험 결과는 Table 2와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

유한 요소 해석으로 손목 보조기의 엄지와 검지 사이의 장무지외전근(Abducto pollicis transversus)

부위에서 최대 등가응력은 벨크로 밴드 1,2는 최대 등가응력은 0.271 Mpa로 Fig. 5처럼 나타났다. 벨크로 밴드 1,3에서 최대 등가응력은 0.255 Mpa로 Fig. 6처럼 나타났다. 벨크로 밴드 1,2,3에서는 최대 등가응력 0.263 Mpa이 Fig. 7처럼 나타났다.



(A) Attaching 2 Velcro Bands to the Distal Wrist Brace  
 (B) Attaching Two Velcro Bands to the Distal and Proximal Wrist Brace  
 (C) Attaching Three Velcro Bands to the Distal, Middle and Proximal Wrist Brace

Fig. 4. 3D Print Wrist Orthosis Velcro Band Numbers and Attachments.

Table 2. Maximum Value of Stress by Velcro Position of Each Wrist Braces

	Location	Maximum Von Mises Stress
1	Velcro 1,2	0.271
2	Velcro 1,3	0.255
3	Velcro 1,2,3	0.263

벨크로 밴드 1,3에서 최대 등가응력은 0.255 Mpa로 손목 보조기의 스트레스가 제일 낮게 나타났다.

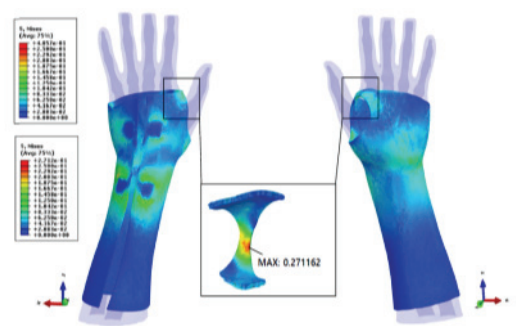


Fig. 5. Velcro Band 1,2 Maximum Equivalent Stress of the Wrist Brace.

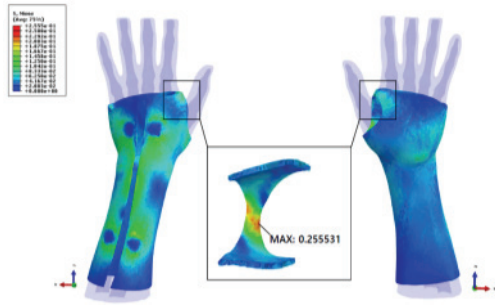


Fig. 6. Velcro Band 1,3 Maximum Equivalent Stress of the Wrist Brace.

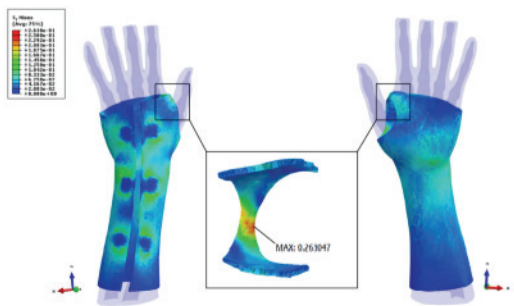


Fig. 7. Velcro Band 1, 2, 3 Maximum Equivalent Stress of the Wrist Brace.

#### IV. DISCUSSION

3차원 프린팅 기술은 프린트 성능과 프린트 재료의 향상으로 오늘날 의료 분야의 치료에 많은 연구가 이루어지고 있다. 의료 분야에 사용되는 3D 프린터 재료와 기술 개발로 체외의 신체 부위, 체내 장기, 임플란트, 조직등의 프린팅으로 의료 분야에서 널리 사용되고 있다. 3D 프린팅은 단계적으로 4D 프린팅으로 점진적으로 이동하고 있고 의료 서비스의 새로운 모델을 제시할 것이다<sup>[12]</sup>.

본 논문은 CT 검사의 스캔 기법을 이용하여 피실험자의 손목 자료를 획득하고, 획득된 자료로 자동설계 소프트웨어(Reconeasy 3D, Korea)를 사용하여 뼈, 피부 영역 3D 모델링을 수행하였다. 3D 피부 영역을 기반으로, 각 치료 목적에 맞도록 손목 보조기 디자인을 적용하였다. 그리고, 보조기의 탄성을 위해 TPU 소재를 사용하여 차분법(FDM)으로 3D 프린트 손목 보조기를 제작하였다. 손목 보조기

와 조직, 뼈를 유한요소 해석을 위해 사용하였고, 유한요소해석 프로그램 ABAQUS를 이용하여 근육과 뼈와 보조기의 벨크로 밴드 숫자와 위치 영향 분석으로 축력, 전단력, 휨모멘트 등을 동적 해석을 수행하여 주요 위치의 응력을 분석하여 강도를 측정하였다.

본 연구의 결과에서 알 수 있듯이 벨크로 밴드 1,3에서 최대응력이 제일 낮게 나타남으로 보조기의 원위부와 근위부만을 고정하여 보조기가 받는 응력을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 연구의 제한점으로 벨크로 밴드가 부착되는 보조기의 부위별 종류가 많음으로 신체 부위별로 보조기를 제작하여 벨크로 밴드 숫자와 위치를 유한 분석할 수 있는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3D 프린터로 손목 보조기 제작 시 벨크로 밴드의 숫자와 위치를 보조기 최대 응력 부위를 알고 제작한다면 보조기 파손 등의 문제점을 파악하여 제작할 수 있을 것으로 본다.

#### V. CONCLUSION

보조기의 탄성을 위해 TPU 소재를 사용하여 차분법(FDM)으로 3D 프린터로 손목 보조기를 제작하였다. 맞춤형 3D 프린팅 손목 보조기의 벨크로 밴드의 숫자와 위치에 따른 효용성 평가를 위해 뼈와 피부에 가해지는 압력 및 보조기의 스트레스 분포를 유한요소법(FEM)으로 분석하였다.

본 연구에서 수행한 손목 보조기 유한요소 해석을 통해 신체와 보조기의 스트레스 분포를 확인하였고 보조기 제작과 벨크로 밴드의 적절한 위치와 수를 확인할 수 있었다. 이러한 실험 결과는 보조기 제작 방법과 환자 치료에 도움이 될 것이다.

#### Acknowledgement

본 연구는 중소벤처기업부의 창업성장기술개발사업의 일환으로 수행되었다. [ S3046620 , AI기반 개인맞춤형 수부 보조기 반자동 설계 SW 및 3D프린팅 제작 솔루션 개발]

## Reference

- [1] S. H. Baek, "Introduction of 3D Printing Technology & Applications", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 18, No. 1, pp. 2-10. 2015.
- [2] D. H. Lim, S. K. Cho, W. P. Park, S. R. Sohn, Y. H. Kim, H. S. Kim, "The Evaluation of Biomechanical Effects of the Arthritis Knee Brace Using Finite Element Methods", *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference*, pp. 257-258, 2008.
- [3] D. S. Koo, J. R. Lee, "The Development of a Wrist Brace using 3D Scanner and 3D Printer", *Fashion & Textile Research Journal*, Vol. 19, No. 3, pp. 312-319, 2017.  
<https://doi.org/10.5805/SFTI.2017.19.3.312>
- [4] S. J. Kim, Y. H. Cha, K. H. Lee, J. Y. Kwon, "Effect of personalized wrist brace for wrist pain with 3D scanning and printing technique: A preliminary, randomized, controlled, open-label study", *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, Vol. 61, pp. 466-467, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.1089>
- [5] A. M. Paterson, E. Donnison, R. J. Bibb, R. I. Campbell, et. al., "Computer-aided design to support fabrication of wrist splints using 3D printing: A feasibility study", *Hand Therapy*, Vol. 19, No. 4, pp. 102-113, 2014.  
<http://dx.doi.org/10.1177/1758998314544802>
- [6] Yanan Zheng, Gongliang Liu, Long Yu, Yanmin Wang, Yuan Fang, Yikang Shen, Xiuling Huang, Lei Qiao, Jianzhong Yang, Ying Zhang, Zikai Hua, "Effects of a 3D-printed orthosis compared to a low-temperature thermoplastic plate orthosis on wrist flexor spasticity in chronic hemiparetic stroke patients: a randomized controlled trial", *Clinical Rehabilitation*, Vol. 34, No. 2, pp. 194-204, 2020.  
<http://dx.doi.org/10.1177/0269215519885174>
- [7] T. H. Bergh, T. Lindau, S. V. Bernardshaw, M. Behzadi, L. A. Soldal, K. Steen, C. Brudvik, "A new definition of wrist sprain necessary after findings in a prospective MRI study", *Injury*, Vol. 43, No. 10, pp. 1732-1742, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.injury.2012.06.028>
- [8] Markellos Ntagios, Habib Nassar, Abhilash Pullanchiyodan, William Taube Navaraj, Ravinder Dahiya, "Robotic Hands with Intrinsic Tactile Sensing via 3D Printed Soft Pressure Sensors", *Advanced Intelligent Systems*, Vol. 2, No. 6, 2019.  
<https://doi.org/10.1002/aisy.201900080>
- [9] Li Tian, Nadia Magnenat-Thalmann, Daniel Thalmann, Jianmin Zheng, "A methodology to model and simulate customized realistic anthropomorphic robotic hands", In *Proceedings of Computer Graphics International*, pp. 153-162, 2018.  
<https://doi.org/10.1145/3208159.3208182>
- [10] Xu Guisheng, Gao Liang, Tao Ke, Wan Shengxiang, Lin Yuning, Xiong Ao, Kang Bin, Zeng Hui, "Three-dimensional-printed upper limb prosthesis for a child with traumatic amputation of right wrist", *Medicine*, Vol. 96, No. 52, 2017.  
<http://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000009426>
- [11] E. J. Chen, J. Novakofski, W. K. Jenkins, W. D. O'Brien Jr, "Young's modulus measurements of soft tissues with application to elasticity imaging", *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, Vol. 43, No. 1, pp. 191-194. 1996. <http://dx.doi.org/10.1109/58.484478>
- [12] Hongjian Li, Wenguo Fan, Xiao Zhu, "Three-dimensional printing: The potential technology widely used in medical fields", *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, Vol. 108, No. 11, pp. 2217-2229, 2020.  
<http://dx.doi.org/10.1002/jbm.a.36979>

# CT Dicom 파일을 이용하여 제작한 3D Print 손목보호대용 Velcro band 고정위치의 유한요소해석(FEM)

최현우<sup>1,2</sup>, 서안나<sup>3</sup>, 이종민<sup>1,2,4,\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교병원

<sup>2</sup>경북대학교 비선형동역학연구소

<sup>3</sup>(주)시안솔루션

<sup>4</sup>경북대학교 의학전문대학원 영상의학과

## 요 약

손목 보조기(Wrist brace)는 손목 외상 환자들에게 사용이 되고 있다. 최근 맞춤형 손목 보조기를 3D 프린팅 기술을 활용하여 제작하는 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 3D 프린팅 맞춤형 보조기는 개인마다 다른 형태 반영, 통기성 확보 등의 다양한 요소를 반영할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 3D 프린팅 맞춤형 손목 보조기 제작 시 고려되어야 하는 벨크로 밴드 숫자와 위치가 보조기에 미치는 스트레스를 분석하였다. 맞춤형 보조기를 위해 CT 영상 기반으로 자동설계 소프트웨어(Reconeasy 3D, Seeann Solution)를 사용하여 뼈, 피부 영역 3D 모델링을 수행하였다. 3D 피부 영역을 기반으로, 각 치료 목적에 맞도록 손목 보조기 디자인을 적용하였다. 그리고, 보조기의 탄성을 위해 TPU 소재를 사용하여 FDM 방식 3D 프린터로 손목 보조기를 제작하였다. 맞춤형 3D 프린팅 손목 보조기의 벨크로 밴드의 숫자와 위치에 따른 효용성 평가를 위해 보조기의 스트레스 분포를 유한요소법(FEM)으로 분석하였다. 본 연구에서 수행한 손목 보조기 유한요소 해석을 통해 보조기의 스트레스 분포를 확인하였고 보조기 제작과 벨크로 밴드의 숫자와 위치를 확인할 수 있었다. 이러한 실험 결과는 환자에게 양질의 치료를 제공하는데 도움이 될 것이다.

중심단어: Wrist brace, 전산화단층촬영기(CT), 3D printing, STL, FEM

## 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	최현우	경북대학교병원, 경북대학교 비선형동역학연구소	방사선사/연구원/박사
(공동저자)	서안나	(주)시안솔루션	대표/박사
(교신저자)	이종민	경북대학교 의학전문대학원 영상의학교실	교수