

## 사두증 환자를 위한 맞춤형 헬멧 몰드 디자인 시스템 개발

강영훈<sup>1)</sup> · 박혜련<sup>1)</sup> · 김성민<sup>1),2)†</sup>

<sup>1)</sup>서울대학교 의류학과

<sup>2)</sup>서울대학교 생활과학연구소

## Development of a Customized Helmet Design System for Patients with Plagiocephaly

Yeonghoon Kang<sup>1)</sup>, Hyeryeon Park<sup>1)</sup>, and Sungmin Kim<sup>1),2)†</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University; Seoul, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Textiles, Research Institute of Human Ecology, Seoul National University; Seoul, Korea

**Abstract:** This study developed a three-dimensional helmet mold design software that can design helmets for treating the infant plagiocephaly (flat head syndrome) using three-dimensional head scan data. For this, the three-dimensional head data of sixth SizeKorea body measurement project as well as the data produced by a head modeling software were used to prepare the head shape data of plagiocephaly patients. A total of 14 landmarks and 10 dimensions of heads required for helmet mold shape design and plagiocephaly diagnosis were automatically measured using an anthropometric analysis software. Using the software developed in this study, plagiocephaly can be diagnosed not only visually by three-dimensional head data visualization but also quantitatively by calculating the medically defined indices such as cranial index, which measures the proportions of the head, and the cranial vault asymmetry index, which measures the asymmetry of the head. The basic shape of the helmet mold was automatically generated based on the head scan data. Additionally, it is possible to fine tune the shape of the mold to reflect individual characteristics by using a free form deformation technique. Finally, the designed helmet mold was converted into the data that can be printed on a three-dimensional printer for generating the actual prototype.

**Key words:** plagiocephaly (사두증), customization (개인 맞춤), helmet (헬멧), newborn baby (신생아), three-dimensional body data (3차원 인체 데이터)

### 1. 서 론

3차원 스캔 기술과 컴퓨터 그래픽의 급속한 발전으로 인해 다양한 분야에서 3차원 스캔 데이터가 활발하게 활용되고 있다. 의류 분야에서는 3차원 스캐너로 측정된 인체 데이터를 활용하고 있는데, 이는 직접 측정을 통해 얻을 수 있었던 인체 치수에 더해 실루엣, 수평 단면 등 개인의 신체적 특성을 정확하게 측정할 수 있다는 장점이 있다(Han et al., 2017; Shin & Nam, 2017). 이를 통해 인간공학적 의류와 장비 설계가 가능하므로 1대 1 맞춤 생산과 개인 맞춤 장비에 대한 필요성이 대두되는 시대적 흐름을 적극적으로 반영하는 생산 시스템의 구축이 가능할 것으로 기대된다.

3차원 스캔을 이용한 인간공학적 설계는 의류분야 외에도 국

방, 우주항공, 의료 등 다양한 분야에서 주목받고 있다. 의료 분야에서는 환자 개인의 신체적 특성을 반영한 치료와 재활을 위해 활용되고 있는데, 치료 보조를 위한 개인 장비를 제작하는 과정에서 3차원 스캔 데이터를 사용하고 있다(Koo & Lee, 2017).

사두증은 신생아의 머리 한쪽 또는 머리 뒤쪽 전체에 평평하게 눌린 부분이 나타나는 두개골 기형의 일종으로 두개골 변형은 신생아의 약 45%에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Binkiewicz-Glińska et al., 2016). 또한, 사두증은 선천적으로 또는 유아기에 나타나게 되는데, 신생아 머리뼈의 비대칭 변형을 유발하여 안면 비대칭을 유발할 수 있으며 성인이 되어도 저절로 교정되지 않기 때문에, 이를 치료하기 위해서는 수술이나 두상 교정이 필요하다(Chung & Kim, 2013; Graham et al., 2020). 사두증 치료법 중 대중적으로 많이 사용되는 방법은 신생아의 머리 주변을 감싸는 형태의 헬멧을 착용하는 것이다. 다른 방법에 비해 비교적 간단하다는 특성이 있으며, 사두증 교정을 위한 헬멧은 두개골 컴퓨터단층촬영, 표면레이저 스캔 혹은 석고 모형을 통해 제작되고 이는 생후 1년 이내의 신생아에게서 두상 교정 효과가 있는 것으로 나타났다(Chung & Kim, 2013).

본 연구는 사두증 치료를 보조하기 위한 사두증 교정용 헬

†Corresponding author; Sungmin Kim

Tel. +82-2-880-8769, Fax. +82-2-875-8359

E-mail: sungmin0922@snu.ac.kr

©2022 Fashion and Textile Research Journal (FTRJ). This is an open access journal. Articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

멧 몰드를 제작할 수 있는 설계 소프트웨어를 개발하는 것을 목적으로 하였다. 이 소프트웨어는 3차원 두상 데이터를 시각적으로 표시하고 비교할 수 있으며 선행 연구에서 정해진 기준에 따라 두상 데이터로부터 사두증 판별 및 중증도 판별을 할 수 있다. 또한, 자유 형태 변형(*free form deformation*)을 사용하여 헬멧 몰드 형태를 원하는 대로 변형할 수 있다(Sederberg & Parry, 1986). 최종적으로 디자인된 몰드는 3차원 프린터로 출력할 수 있는 데이터로 저장할 수 있다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 두상 데이터를 활용한 개인 장비 설계

머리에 착용하는 개인 장비의 인간공학적 설계를 위해 다수의 선행 연구에서 두상 데이터를 적극적으로 활용한 바 있다. 마스크 커스터마이제이션을 위한 사이즈 체계 개발이나 1대 1 맞춤형 생산을 위해 개개인의 두상 데이터가 직접 측정, 사진측정 그리고 3차원 측정 등 다양한 방법으로 수집되고 있으며, 최근에는 3차원 스캐너를 이용하여 데이터를 수집하는 연구가 주를 이루고 있다. 이러한 인간공학적 장비 설계는 정확한 맞춤새와 착용감은 물론 장비 착용의 목적 달성과 능률 향상에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

Meunier et al.(2000)은 착용자의 헬멧 착용성을 평가하기 위해서 헬멧 내부와 두개골 사이의 거리를 측정하는 3차원 스캐너를 제작하였으며, 스캔 된 데이터를 활용하여 더욱 개선된 착용감을 부여하는 헬멧을 제작하고자 하였다. Kouchi and Mochimaru(2004)는 얼굴의 3차원 형태적 변화를 디지털 모델을 이용하여 분석하였고, 이러한 분석을 바탕으로 개발된 사이즈 체계를 기반으로 안경테 디자인을 검증함으로써 개인 장비 설계에서의 3차원 형상 분석의 유용성을 입증하였다. Yokota(2005)는 다인종으로 구성된 미군이나 기타 대규모 조직에서 인체측정학적 특성의 분포가 장비와 의복 디자인에 영향을 줄 수 있음을 발견했으며, 이를 확인하기 위해 흑인과 백인 남성의 두상을 측정하여 인종에 따른 두상 모양의 차이를 확인했다. Lee et al.(2013)은 3차원 스캔을 통해 공군 조종사의 안면 치수를 측정하고 조종사 산소마스크를 설계하여 한국 및 미 공군과 비교하였다. Size China 데이터베이스를 기반으로 연구를 진행한 Luximon et al.(2016)은 3차원 CAD 환경에서 두상 스캔 데이터의 치수를 이용하여 머리 관련 제품을 설계할 수 있는 소프트웨어를 개발했다. Pang et al.(2018)은 3차원 두상 스캔 데이터의 치수를 기반으로 두 가지 그룹으로 구분한 뒤 매핑을 통해 헬멧을 제작하고 동작 안정성을 높이고자 하였다. Kang and Kim(2020)은 제6차 Size Korea의 3차원 인체 스캔 데이터 중 두상 스캔 데이터를 추출하여 헬멧 제작에 필요한 치수를 측정하고 이를 사용하여 헬멧의 대량 맞춤형 생산이 가능한 헬멧 금형 설계 소프트웨어를 개발했다. Verberne et al.(2021)은 피부에 잘 밀착되는 동시에 너무 꽉 끼지 않는 호흡기 마스크를 개발하기 위해 3차원 두상 데이터를 활용하여 호흡기 마스크의 형

태를 디자인하고, 이의 적합도를 분석하였다. Zhang et al.(2022)는 효율적인 개별 헬멧 맞춤화를 위해 3차원 스캔을 활용하였으며, 머리 영역에서 스캔이 잘되지 않는 머리 마루 부분 등 머리 영역을 예측하고 이를 생성하는 알고리즘을 개발하였다.

### 2.2. 사두증(Plagiocephaly)

사두증(Plagiocephaly)은 머리뼈가 비대칭적으로 한쪽 혹은 양쪽이 평평하게 나타나는 것으로 그리스어로 비스듬하다는 의미의 *plagios*와 머리를 의미하는 *kephale*가 합쳐진 합성어로 두개골 변형으로 인해 머리가 비대칭적인 형태를 보이는 것을 의미한다(Chung & Kim, 2013). 신생아 사두증은 굉장히 흔하게 발생하는 질병으로 미국 내에서 두개안면 클리닉에 나타나는 가장 빈번한 질병이 되었으며, 아동 5명 중 1명에서 발병하는 것으로 나타났다(Argenta, 2004; Flannery et al. 2012). 사두증은 보통 자세성 사두증과 두개골 유합증에 의한 사두증으로 구분되는데 두개골 유합증에 의한 사두증은 수술해야 하는 것이기 때문에 본 연구에서는 수술의 필요 없이 가정 내 물리치료 혹은 사두증 헬멧 등으로 치료와 호전을 할 수 있는 자세성 사두증을 대상으로 진행하였다.

후두부에서 나타나는 사두증의 대다수의 경우는 위치적(*positional*) 혹은 기형적(*deformational*)으로 출산하는 과정이나 신생아가 태어난 이후 유연한 두개골에 가해지는 압박 때문에 발생하는 것이다(Robinson & Proctor, 2009). 자궁에서 신생아가 자라나면서 비교적 큰 크기를 차지하는 두개골로 인해 자궁 내에서 다른 부위에 비해 많은 압박이 가해지며, 쌍둥이와 같은 다생아의 경우 두개골 압박이 흔하게 발생하는 것으로 연구되었다(Flannery et al. 2012; Robinson & Proctor, 2009). 또한, 출산 시에도 큰 부피를 차지하는 두개골에 강한 압박이 가해지는 것이 사두증의 원인이 되는 것으로 나타났으며, 갓 태어난 신생아의 경우 두개골이 유연하고 부드러운 상태인데 신생아의 경우 누워 있는 자세에서 두개골에 힘이 가해져 머리가 압박되기도 하며, 최근 신생아 수면 시 호흡 문제로 인한 영아 돌연사증후군을 막기 위해 신생아를 엎드려서 재우지 않고 똑바로 눕혀 재우는 가정이 많아짐에 따라 후두부에서 나타나는 사두증 사례의 비율이 많이 증가하였다(Chung & Kim, 2013; Robinson & Proctor, 2009).

신생아가 점차 성장함에 따라 사두증은 자연적으로 치료가 될 수 있지만, 치료가 되지 않으면 안면 비대칭을 불러오거나 변형된 두개골을 계속해서 유지할 수 있으므로 수술, 물리치료, 헬멧 착용 등 다양한 방법을 통해 이를 치료할 수 있다(Flannery et al., 2012). 그중 본 연구에서 개발하고자 하는 헬멧은 대중적으로 흔하게 사용되고 있는 제품으로 3~18개월 신생아의 두개골 성장을 헬멧이 잡아 주고 평평한 부위의 성장을 촉진해 비정상적인 두개골의 형상을 바로 잡는 데 도움이 된다는 연구 결과가 있다(Clarren et al., 1979; Kelly et al., 1999).

### 3. 연구방법

#### 3.1. 3차원 두상 측정

본 연구에서는 제6차 사이즈코리아 데이터 중 ISO 기준 만 7세의 데이터로부터 머리너비, 머리둘레, 머리높이 값이 평균치에 가까운 11개의 데이터를 추출하여 사용하였다. 추가적인 두상 데이터를 확보하기 위해 두상 모델링 프로그램인 FaceGen Modeller Pro 3.31(Singular Inversion, Canada)을 사용하여 3차원 두상 데이터를 확보하였다. 이때 신생아의 두상을 생성하기 위해 FaceGen Modeller Pro 3.31에서 제공하는 파라미터인 나이를 최소로 줄이고, 신생아 두상 형태에 영향을 미칠 것이라고 예상되는 성별, 인종, 피부색 등의 파라미터는 최소한으로 반영되게 하였다. 모델링 프로그램으로 제작된 3차원 두상 데이터와 6차 사이즈 코리아 데이터를 사두증 환자의 두상으로 만들기 위해 Rhinoceros 5(Robert McNeel & Associates, USA)를 사용하여 인위적으로 두개골을 비대칭으로 만들어서 사두증 환자의 두상 데이터를 제작하였다. 본 연구에서 필요한 데이터는 일반적인 두상 데이터와 사두증 형태의 데이터가 모두 필요하였기 때문에 뒤통수돌출점 주위를 누르거나 늘리는 방법으로 단두증, 주상두증의 형태로 수정하는 동시에 사두증의 중증도를 다양하게 측정 가능한지 확인하기 위해 CVAI값을 0~15 정도의 크기를 가질 수 있도록 두상 데이터의 형태를 수정하였다. 제작된 3차원 두상 데이터는 3차원 스캔 데이터 분석 프로그램인 SNU-BM을 사용하여 사두증 판별과 헬멧 몰드 생성에 필요한 인체 랜드마크 및 인체 치수를 분석하였다(Kim & Kim, 2018) (Fig. 1). 분석된 데이터는 본 프로그램에서 사용할 수 있는 파일 형식으로 저장되어 프로그램 내에서 자동으로 불러와서 사용할 수 있게 하였다.

3차원 두상 분석과 헬멧 몰드의 기초 형태를 디자인하기 위해 측정된 세부항목은 랜드마크 14개 항목과 머리 관련 치수 10개 항목이다. 랜드마크 항목은 뒤통수돌출점, 머리마루점, 머리옆점(좌우), 머리앞점(머리옆점과 같은 수평선에 위치하는 동시에 Z축 값이 가장 큰 점), 코끝점, 코뿌리점, 턱끝밑점, 귀구슬점(좌우), 귀끝점(귀에서 Y축 기준으로 가장 작은 값을 가지는 위치 좌우), 귀바퀴뒷점(좌우) 이다. 머리 관련 치수 항목은

머리 높이, 머리 너비, 머리둘레, 머리 깊이, 귀끝점과 머리마루점 사이 높이, 머리마루와 코뿌리점 사이 높이, 코뿌리점과 귀끝점 사이 높이, 귀끝점과 턱끝밑점 사이 높이, 머리옆점과 머리앞점을 기준으로 한 머리 깊이와 머리너비이다.

#### 3.2. 머리 비율에 따른 사두증 진단

본 연구에서는 머리의 비율을 측정하는 Cranial Index(CI)와 비대칭을 측정하는 CVAI(Cranial Vault Asymmetry Index)를 이용하여 사두증을 판별하였다 (Graham, et al., 2020; Callejas Pastor, et al., 2020). Fig. 2는 사두증 판별을 위해 사용되는 머리옆점과 머리앞점을 기준으로 한 두상 단면으로 머리깊이와 머리너비 그리고 좌우로 30도씩 회전한 두 개의 선 A와 B를 나타낸다. Cranial Index(CI)값은 머리깊이와 머리너비 값의 비율에 따라 식 1과 같이 계산되며, CVAI(Cranial Vault Asymmetry Index)는 A와 B의 값을 활용하여 식 2와 같이 계산된다.

머리 비율과 비대칭을 자세하게 판별하기 위해 Cranial Index(CI)의 값이 75~84.9% 사이이면 정상, 85%보다 크면 단두증(Brachycephaly), 75%보다 작으면 주상두증(Scaphocephaly)으로 구분하였으며, 이를 더욱 세분화하여 중증과 경증으로 구분하였다(Callejas Pastor, et al., 2020).

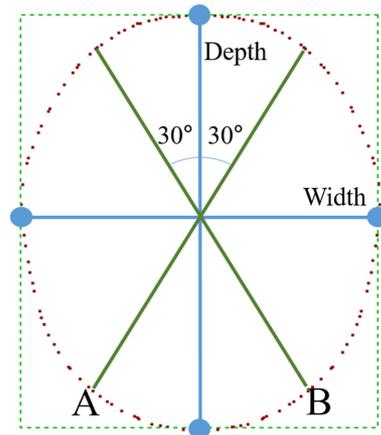


Fig. 2. Diagnosis of plagiocephaly according to head proportions.

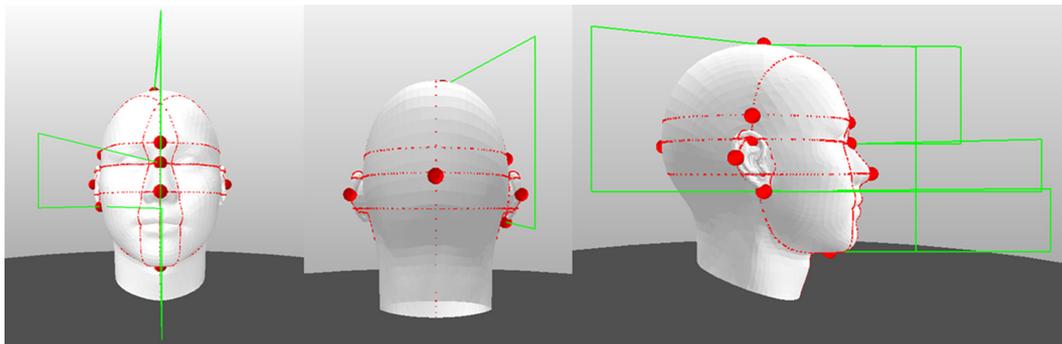


Fig. 1. 3D head measurement.

CVAI(Cranial Vault Asymmetry Index)는 머리의 비율을 계산하여 두상의 비대칭을 확인하는 방법으로 3.5~6.25이면 경중, 6.25~8.75이면 중등도, 8.75~11이면 중증, 11보다 크면 매우 중증으로 판별하였다(Callejas Pastor, et al., 2020).

SNU-BM을 통해 분석된 다양한 인체 치수 데이터를 불러와서 사두증 판별에 필요한 CI 판별에 필요한 인체 치수와 CVAI 판별에 필요한 두 개의 대각선 길이를 자동으로 추출하였다. 추출된 길이 치수를 사용하여 CI 값과 CVAI 값이 자동으로 산출되어 본 프로그램 내에서 사두증을 판별할 수 있도록 하였다.

$$CI = \frac{Width}{Depth} \times 100 \tag{1}$$

- CI < 65% = Severe Scaphocephaly
- 65% ≤ CI < 75% = Moderate Scaphocephaly
- 75% ≤ CI < 85% = Normal
- 85% ≤ CI < 95% = Moderate Brachycephaly
- 95% ≤ CI = Severe Brachycephaly

$$CVAI = \frac{|A - B|}{\max(A, B)} \tag{2}$$

- CVAI < 3.5% = Normal
- 3.5% ≤ CVAI < 6.25% = Light
- 6.25% ≤ CVAI ≤ 8.75% = Medium
- 8.75% < CVAI ≤ 11% = Serious
- 11% < CVAI = Critical

Where, Width=Horizontal distance between the points of the tragon Depth=Distance between glabella to the occiput

- A = Length of diagonal 1
- B = Length of diagonal 2

### 3.3. 헬멧 몰드 생성 과정

소프트웨어에서 3차원 두상 데이터를 불러오면 SNU-BM에

서 자동으로 측정되어 저장되어 있던 머리깊이, 머리높이, 머리너비 그리고 머리둘레의 수치 데이터를 확인할 수 있으며, Fig. 3에 보인 것과 같이 3차원 두상 데이터의 형상을 확인할 수 있다. 헬멧 몰드의 기초 형상은 연구자가 헬멧의 형태로 사전에 모델링 작업을 진행하여 프로그램 내에 저장되어 있다. 이를 3차원 데이터의 머리 깊이, 높이, 너비 치수 값을 바탕으로 인체 치수에 맞춰서 형태가 자동으로 모델링된다. 그 후에 개인의 특성을 헬멧 형태에 반영하기 위해 자유 형태 변형기법을 이용하여 형태를 변형할 수 있다. 예를 들면 두상 관련 인체 치수에 특이점이 있거나, 눈썹 뼈가 머리 깊이보다 더 튀어나와서 헬멧의 앞부분을 짧게 하여야 하는 등 개인이 자신만이 가지는 신체적인 특성이 있다면 이를 적극적으로 반영하는 디자인이 가능하다. 몰드의 형태를 조절할 수 있는 빨간색 바를 화살표 방향으로 움직이면 헬멧의 높이가 올라가거나 내려가고 길이가 길어지고 짧아지는 등 사용자가 3차원 두상 데이터와 몰드의 형태를 시각적으로 확인하며 형상을 변형할 수 있으며, 몰드의 형상은 극단적인 형태로까지 변형할 수 있다(Fig. 4). 마지막으로 완성된 헬멧 몰드는 3차원 프린터를 사용하여 인쇄 가능한 데이터로 저장할 수 있다.

## 4. 연구결과

### 4.1. 헬멧 몰드 생성 프로그램 개요

본 연구에서 개발된 소프트웨어의 기본적인 구성과 UI는 Fig. 5와 같으며 소프트웨어의 이름을 Plagiocephaly Helmet Designer로 명명하였다. 본 소프트웨어는 Embarcadero C++ Builder 2010을 사용하여 개발되었다.

### 4.2. 3차원 두상 시각화

Fig. 6과 같이 3차원 공간에서 일반 데이터와 plagiocephaly 환자의 머리 데이터를 시각적으로 확인할 수 있으며, 이로부터 정상적인 두개골 형상과 얼마나 형태적 차이가 발생하는지 확

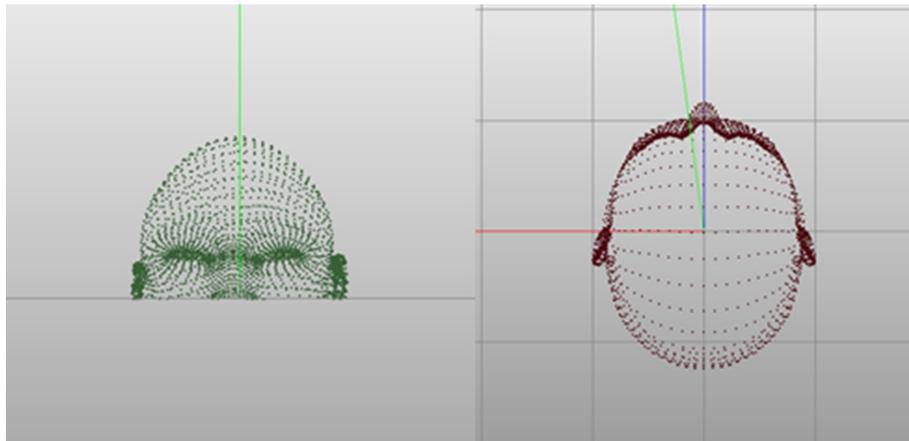


Fig. 3. Visualization of 3D head data.

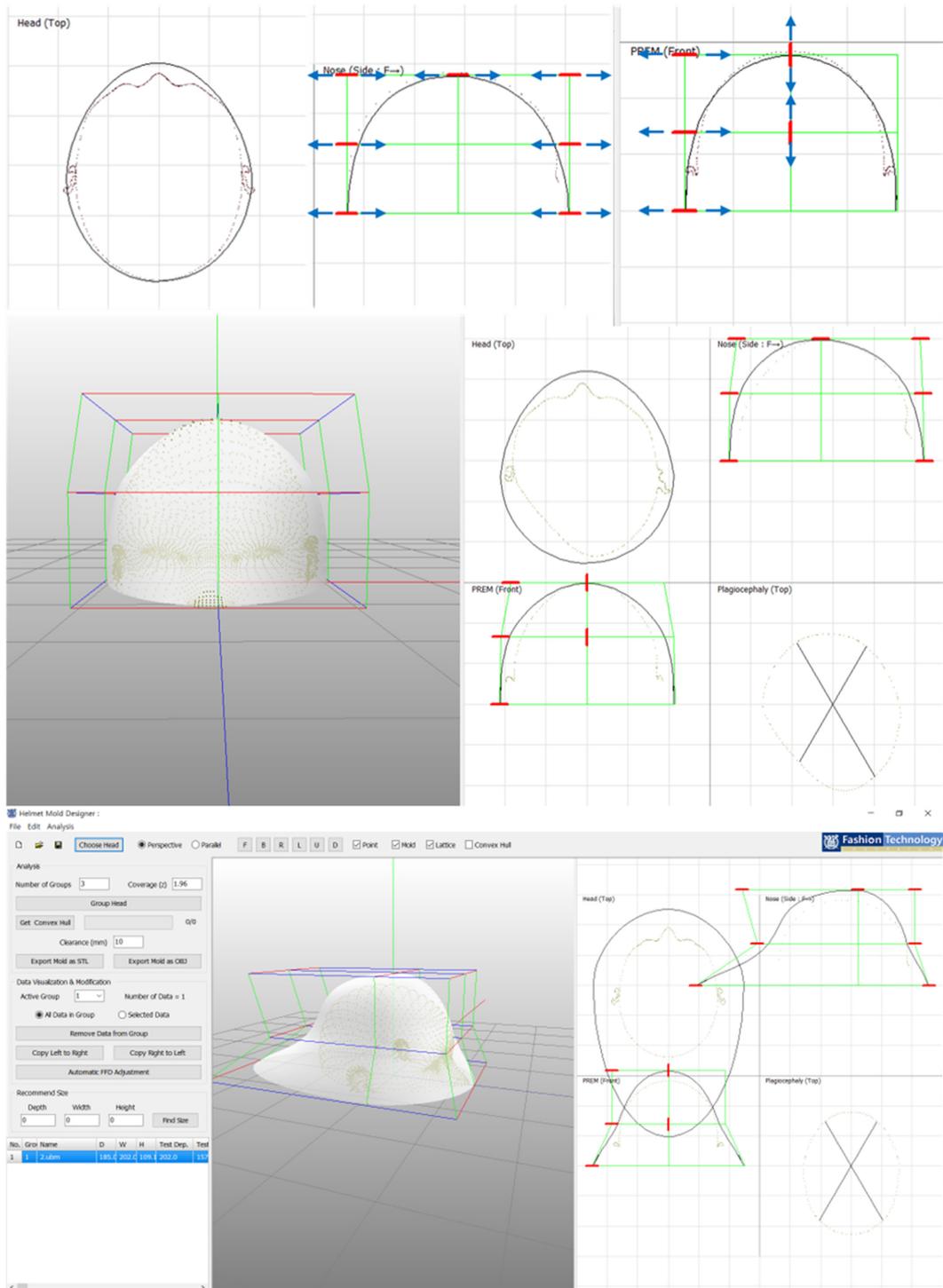


Fig. 4. Helmet mold deformation using free form deformation.

인하는 것으로 육안을 통한 사두증 판별이 가능하도록 하였다. 선행 연구에 따르면 사두증의 육안 판별 또한 사두증을 판별하는 데 기초가 되는 중요한 도구 사용되기 때문에 정상적인 두개골 형상과의 비교는 필수적이다. 이를 위해 본 연구에서는

3차원 두상 데이터를 겹쳐서 3차원 시각적으로 확인할 수 있는 동시에 위에서 바라보는 2차원 형태로도 확인할 수 있으므로 사두증 두상의 경우 얼마나 두개골이 눌리거나 튀어나와 있는지를 시각적으로 판별할 수 있다.

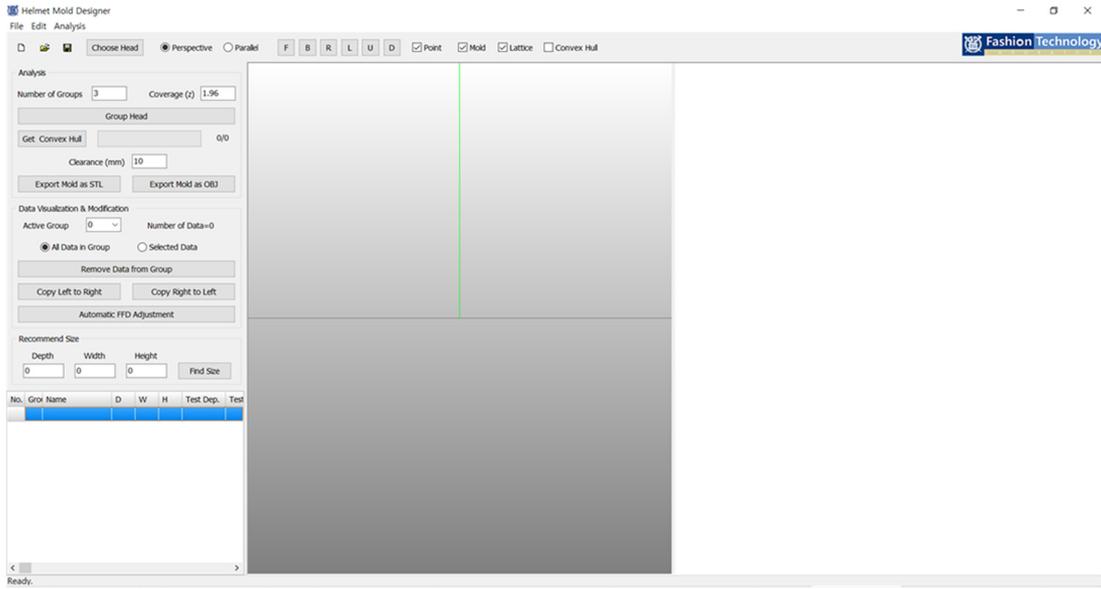


Fig. 5. Overview of plagiocephaly helmet designer.

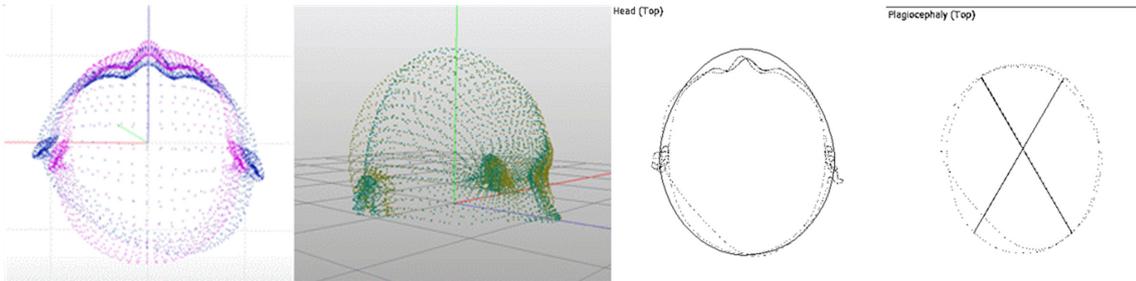


Fig. 6. Visual comparison of 3D head data.

### 4.3. 사두증 판별

SNU-BM을 통해 측정된 인체 치수를 본 소프트웨어로 불러온 후 CI 판별에 필요한 데이터를 자동으로 추출하였고, CVAI 판별에 필요한 치수를 계산하여 사용하였다. 본 연구에서 개발된 소프트웨어 내에서 머리깊이와 머리너비의 비율을 사용하여 구한

CI 값에 따라 단두증(Brachycephaly), 주상두증(Scaphocephaly) 및 정상(Normal)을 진단할 수 있으며 중증도에 따라 표기하였다(Table 1). 두 개의 머리 대각선 길이 공식을 사용하여 계산된 CVAI 값에 따른 사두증 질병의 중증도 진단 결과는 Table 1에 보인 것과 같다.

Table 1. Example of plagiocephaly diagnosis

No	Test depth	Test width	Score 1	Status	Short Dia.	Long Dia.	Score 2	Status
1	198.0	159.0	80.3	Normal	188.8	188.8	0.0	Normal
2	193.0	167.0	86.5	Moderate. brachycephaly	164.1	190.5	13.9	Critical
3	181.0	173.0	95.6	Severe brachycephaly	162.1	191.2	15.2	Critical
4	189.0	175.0	92.6	Moderate brachycephaly	171.1	189.4	9.7	Serious
5	198.0	157.0	79.3	Normal	187.3	187.3	0.0	Normal
6	179.0	181.0	101.1	Severe brachycephaly	166.2	189.8	12.4	Critical
7	201.0	156.0	77.6	Normal	189.7	189.8	0.0	Normal
8	181.0	163.0	90.1	Moderate brachycephaly	169.8	184.2	7.8	Medium
9	165.0	167.0	101.2	Severe brachycephaly	166.9	169.0	1.2	Normal
10	217.0	159.0	73.3	Moderate scaphocephaly	196.7	205.8	4.4	Light



Fig. 7. Examples of 3D printed mold.

#### 4.4. 헬멧 몰드 생성

헬멧 몰드의 기본 디자인은 사전에 저장되어 있던 헬멧 몰드의 형태가 사두증 환자의 3차원 두상 데이터 중 머리깊이, 높이, 너비 치수로부터 자동으로 변형되어 생성된다. 사용자는 제작된 기초 형태에 개인의 특성을 부여하여 사용자가 원하는 형태로 자유롭게 변형하여 최종적인 형태를 디자인할 수 있다. 최종 완성된 헬멧 디자인은 3차원 프린팅을 이용하여 프린팅 가능한 데이터로 저장되며, 본 연구에서는 이를 50%로 축소하여 프린팅하였다(Fig. 7). 3차원 프린팅에 사용된 프린터는 FDM(fused deposition modeling) 방식의 CUBICON Style NEO-A22C로 저 수축 ABS 필라멘트를 사용하였다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 인체 중 머리의 3차원 스캔 데이터를 활용하여 사두증 환자를 위한 헬멧 몰드를 제작하는 시스템을 개발하였다. 이를 위해 인체 측정 소프트웨어를 사용해서 머리 부위의 중요 랜드마크 14개와 헬멧 제작 및 사두증 판별에 필요한 인체 치수 10개 항목을 측정하였다. 이렇게 측정된 치수로부터 간단한 수식을 사용하여 사두증을 자동으로 판별할 수 있었다. 또한, 단순히 사두증 여부를 판별하는 것에 그치지 않고 질병의 정도를 값에 따라 세분화하여 중증도를 확인할 수 있게 하였으며 3차원 공간에서 시각적으로 정상 두상과 비교하여 시각적으로도 사두증을 판별할 수 있도록 하였다. 두상 데이터의 평균 형상으로부터 헬멧 몰드의 초기 형상을 자동으로 제작하게 하였으며 자유 형상 변형기법을 써서 추가로 형상을 수정할 수 있게 하였다. 최종적으로 완성된 몰드에 사용자 임의의 두께와 여유분을 부여하고 3D 프린터로 출력이 가능한 데이터로 저장하도록 하였다.

연구의 한계점으로는 분석에 이용한 데이터가 실제 신생아 사두증 환자의 데이터가 아니라 프로그램을 이용해 제작한 3차원 형상과 만 7세 아동의 두상 데이터를 변형한 데이터였다는 것인데, 추후 연구에서 실제 사두증을 판정받은 신생아의 데이터를 활용한 연구를 진행하고자 한다. 또한, 본 연구에서 개발된 방법론을 바탕으로 다양한 인간공학적 개인 장비를 만들 수 있는 범용 시스템을 개발하고자 한다.

## 감사의 글

이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0012770, 2022년 산업혁신인재성장지원사업).

## References

- Argenta, L. (2004). Clinical classification of positional plagiocephaly. *Journal of Craniofacial Surgery*, 15(3), 368-372.
- Binkiewicz-Glińska, A., Mianowska, A., Sokolów, M., Reńska, A., Ruckeman-Dziurdzińska, K., Bakula, S., & Kozłowska, E. (2016). Early diagnosis and treatment of children with skull deformations. The challenge of modern medicine. *Developmental Period Medicine*, 20(4), 289-295.
- Callejas Pastor, C. A., Jung, I. Y., Seo, S., Kwon, S. B., Ku, Y., & Choi, J. (2020). Two-dimensional image-based screening tool for infants with positional cranial deformities - A machine learning approach. *Diagnostics*, 10(7), 495. doi:10.3390/diagnostics10070495
- Chung, K. J., & Kim, Y. H. (2013). Diagnosis and treatment of deformational plagiocephaly. *Archives of Craniofacial Surgery*, 14(2), 73-80. doi:10.7181/acfs.2013.14.2.73
- Clarren, S. K., Smith, D. W., & Hanson, J. W. (1979). Helmet treatment for plagiocephaly and congenital muscular torticollis. *The Journal of Pediatrics*, 94(1), 43-46. doi:10.1016/S0022-3476(79)80347-9
- Flannery, A. B. K., Looman, W. S., & Kemper, K. (2012). Evidence-based care of the child with deformational plagiocephaly, part II - management. *Journal of Pediatric Health Care*, 26(5), 320-331. doi:10.1016/j.pedhc.2011.10.002
- Graham, T., Millay, K., Wang, J., Adams-Huet, B., O'briant, E., Oldham, M., & Smith, S. (2020). Significant factors in cranial remodeling orthotic treatment of asymmetrical brachycephaly. *Journal of clinical medicine*, 9(4), 1027. doi:10.3390/jcm9041027
- Han, T., Song, H. K., & Lee, K. S. (2017). Classification of breast shape of women aged 11~15 using 3D body scan data. *Fashion & Textile Research Journal*. 19(6), 786-794. doi:10.5805/sfti.2017.19.6.786
- Kang, Y., & Kim, S. (2020). Development of helmet mold design system using 3D anthropometric analysis. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 32(3), 446-456. doi:10.1108/IJCT-02-2019-0022
- Kelly, K. M., Littlefield, T. R., Pomatto, J. K., Manwaring, K. H., & Beals, S. P. (1999). Cranial growth unrestricted during treatment of deformational plagiocephaly. *Pediatric Neurosurgery*, 30(4),

- 193-199. doi:10.1159/000028794
- Kim, M., & Kim, S. (2018). Development of a script-based versatile three-dimensional body measurement system. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 30(5), 598-609. doi:10.1108/IJCST-10-2017-0159
- Koo, D. S., & Lee, J. R. (2017). The development of a wrist brace using 3D scanner and 3D printer. *Fashion & Textile Research Journal*. 19(3), 312-319. doi:10.5805/SFTI.2017.19.6.749
- Kouchi, M., & Mochimaru, M. (2004). Analysis of 3D face forms for proper sizing and CAD of spectacle frames. *Ergonomics*, 47(14), 1499-1516. doi:10.1080/00140130412331290907
- Lee, W., Jeong, J., Park, J., Jeon, E., Kim, H., Jung, D., Park, S., & You, H. (2013). Analysis of the facial measurements of Korean Air Force pilots for oxygen mask design. *Ergonomics*, 56(9), 1451-1464. doi:10.1080/00140139.2013.816376
- Luximon, Y., Ball, R. M., & Chow, E. H. (2016). A design and evaluation tool using 3D head templates. *Computer-aided design and applications*, 13(2), 153-161. doi:10.1080/16864360.2015.1084188
- Meunier, P., Tack, D., Ricci, A., Bossi, L., & Angel, H. (2000). Helmet accommodation analysis using 3D laser scanning. *Applied Ergonomics*, 31(4), 361-369. doi:10.1016/S0003-6870(00)00006-5
- Pang, T. Y., Lo, T. S. T., Ellena, T., Mustafa, H., Babalija, J., & Subic, A. (2018). Fit, stability and comfort assessment of custom-fitted bicycle helmet inner liner designs, based on 3D anthropometric data. *Applied ergonomics*, 68, 240-248. doi:10.1016/j.apergo.2017.12.002
- Robinson, S., & Proctor, M. (2009). Diagnosis and management of deformational plagiocephaly - A review. *Journal of Neurosurgery - Pediatrics*, 3(4), 284-295. doi:10.3171/2009.1.PEDS08330
- Sederberg, T. W. & Parry, S. R. (1986). Free-form deformation of solid geometric models. *Proceedings of the 13th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, Annual Conference, United States*, pp. 151-160. doi:10.1145/15922.15903
- Shin, J. A., & Nam, Y. (2017). Developing of grading method using 3d body measurement data of women in their thirties - Focusing on their proper body types. *Fashion & Textile Research Journal*. 19(6), 749-758. doi:10.5805/SFTI.2017.19.6.749
- Verberne, J. W. R., Worsley, P. R., & Bader, D. L. (2021). A 3D registration methodology to evaluate the goodness of fit at the individual-respiratory mask interface. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 24(7), 728-739. doi:10.1080/10255842.2020.1849156
- Yokota, M. (2005). Head and facial anthropometry of mixed-race US Army male soldiers for military design and sizing - A pilot study. *Applied Ergonomics*, 36(3), 379-383. doi:10.1016/j.apergo.2005.01.009
- Zhang, J., Luximon, Y., Shah, P., Zhou, K., & Li, P. (2022). Customize my helmet - A novel algorithmic approach based on 3D head prediction. *Computer-Aided Design*, 150, 103271. doi:10.1016/j.cad.2022.103271

(Received June 30, 2022; 1st Revised July 15, 2022;  
2nd Revised July 25, 2022; 3rd Revised July 26, 2022;  
Accepted August 01, 2022)