

호흡보호구의 선정, 사용 및 관리를 위한 한국형 노동인구의 인두 개발

박정근* · 김세동¹ · 이은지¹

태원시바타(주) 기술연구소, ¹한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Development of Headforms for the Labor Population in Selection, Use and Maintenance of Respirators in Korea

Jung-Keun Park* · Se-Dong Kim¹ · Eun-Ji Lee¹

Institute for Scientific Technology, Taewon Sibata Ltd.,

¹Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency

ABSTRACT

Objective: This was to develop headforms for the labor population, based on a three-dimensional(3D) face dimensions data base(DB) and a principal component analysis(PCA) fit test panel, in selection, use and maintenance of respirators in Korea.

Methods: This study was part of a two-year-project initiated in 2021. The study was designed and conducted in line with ISO 16976-2 while subjects were those employed in the development of the PCA fit test panel. The approaches included literature review; examination on conformity of the 3D face dimensions DB; and development of headforms representing the labor population. The mean data were used in order to construct each model of the headforms through a way of 3D modeling and 3D printing technology.

Results: A total of 2,752 subjects were determined. Five models of headforms(small, medium, large, long-narrow, short-wide) were completely constructed for the labor population. For example, means of the 10 face dimensions for medium headform model were: minimum frontal breadth 106 mm, face width 136 mm, jaw width 127 mm, face length 111 mm, interpupillary distance 69 mm, head breadth 164 mm, nose protrusion 12 mm, nose breadth 34 mm, nasal root breadth 35 mm, and nose length 50 mm.

Conclusions: Five models of headforms were newly constructed using the study data. It is likely desirable that the constructed headforms, together with the 3D face dimensions DB as well as the PCA fit test panel, can be utilized more effectively in selection, use and maintenance of respirators for users including the labor population.

Key words: headform, respirator, fit testing, 3D face dimensions, PCA fit test panel

I. 서 론


호흡보호구 또는 마스크(이하 호흡보호구라 한다)는 착용자의 안전과 건강을 보호하는 도구이다. 호흡보호구는 2020년 1월부터 시작된 코로나-19 대유행에서 감염예방의 주요 수단 중 하나이었으며, 일상생활이나

산업현장에서 자주 사용되는 도구이다.

코로나-19 감염자 규모는 나라에 따라 다르나 여전히 발생되고 있으며, 이에 따라 호흡보호구의 사용 양상도 다르게 나타나고 있다. 코로나-19에 의한 인명 피해는 2024년 5월 현재 전 세계적으로 누적 사망자가 700만명, 누적 확진자가 7.75억명을 초과하였으며, 한

*Corresponding author: Jung-Keun Park, Tel: 02-841-2270, Email: ergo.jkpark@gmail.com
Taewon Sibata Ltd., #404, AceHighEndTower7th, 67 Gasan digital2 Rd, Geumcheon Gu, Seoul, Korea(zip: 08588)
Received: August 26, 2024, Revised: September 9, 2024, Accepted: September 27, 2024

 Jung-Keun Park <http://orcid.org/0000-0001-8103-4680>

 Se-Dong Kim <http://orcid.org/0000-0001-8691-3545>

 Eun-Ji Lee <http://orcid.org/0009-0009-6547-8260>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

국은 2023년 8월말 현재 누적 사망자가 35,605명이고, 누적 확진자가 3,457만명을 초과하였다(KDCA, 2024). 호흡보호구의 사용 규모도 적지 않았다. 2021년 기준 우리나라 호흡보호구의 연간 생산량과 소비량은 각각 약 40억개 및 73억개 이었다(KBS, 2021; MFDS, 2021a).

호흡보호구의 선정, 사용 및 관리에 대한 관심이 증가되고 있다. 산업현장에서 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리가 적절하지 않을 경우 안전보건 상 위험수준은 가벼운 증상부터 심할 경우 사망까지 이어질 수 있다. 노동자의 안전보건 관리에서 적격품의 호흡보호구를 선정하도록 규정하거나 널리 권장하는 이유이다. 산업안전보건법(이하 산안법 이라 한다) 시행령 제22조(보건관리자의 업무 등)에 따르면 보건관리자는 보호구를 구입할 때 적격품을 선정하도록 규정하고 있고(KOSHA, 2022), ISO/TS 16975-1는 호흡보호구의 선정 절차를 명확히 제시하고 있다(ISO, 2016a).

한편, 호흡보호구의 사용자가 많아지면서 호흡보호구 선정의 요소인 ‘밀착도 검사(fit testing)’에 관한 연구 보고가 증가되고 있으나(Han, 1999; Zhuang et al., 2007; Chen et al., 2009; Han et al., 2017; Phee et al., 2019; Seo et al., 2020; Park et al., 2023; Seo et al., 2023), ‘호흡보호구 선정’의 중요성이 일상 생활 또는 산업현장에서 상대적으로 경시되거나 간과되는 경향이 있다. 밀착도 검사를 수행하기 전에 적격품 호흡보호구를 선정하도록 해야 할 것이며, 지급 또는 사용 이후에도 유지 관리가 제대로 이루어져야 할 것이다. 산업현장에서 사업장의 업종, 규모, 유해·위험인자의 노출수준, 해당 노동자 수 등에 따라 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무는 달라진다. 호흡보호구를 착용해야 할 경우 해당 유해·위험인자용 호흡보호구의 종류, 인증 유무, 등급, 잔여 사용 유효 수준 등을 확인하여야 하며, 특히 착용자 얼굴의 형태[form; 형상(shape) 및 사이즈(size)의 통합된 용어임]가 반영된 적격품 호흡보호구를 선정한 이후 밀착도 검사를 실시하는 것이 바람직하다(Zhuang et al., 2010; ISO, 2016a). 밀착도 검사의 규정은 규범력 수준과 내용이 나라마다 다르나 우리나라는 법규 수준 이상의 규정이 없는 실정이므로 제도 도입을 위한 법적 근거 자료 마련이 필요하다. 밀착도 검사에 관한 국가별 규정의 차이, 국내 기술지침 또는 안내서의 현황, 제도 도입의 필요성 등에 관한 연구 자료의 확보가 필요한 이유이다.

밀착도 검사 패널(fit test panel)과 인두(human headform)의 개발도 호흡보호구의 연구 분야에서 다루어져 왔다(Han, 1999; Kim et al., 2003; Zhuang et al., 2007 & 2010; Chen et al., 2009; Yu et al., 2012; Seo et al., 2020; Park et al., 2021b; Park et al., 2022b; Park et al., 2023; Seo et al., 2023). 검사 패널은 호흡보호구의 선정 또는 밀착도 검사 업무에서 필요한 기본적인 수단이다. 피시험자를 이용하는 호흡보호구 시험을 수행할 때 얼굴 형상이나 사이즈의 변이성(variation)을 고려하면서 피시험자가 포함된 인구로부터 대표성 있는 대상자를 선정하는 도구로 활용할 수 있기 때문이다. 우리나라의 경우 노동인을 고려한 대표성 있는 밀착도 검사 패널의 개발은 국내 호흡보호구 연구 분야의 오랜 숙원 과제 중 하나이었는데 2021년에 산업안전보건연구원이 개발하였으며, 검사패널의 개발 방법, 특징, 활용성 등은 다른 문헌에서 보고되었다 (Park et al., 2021b; Park et al., 2023).

일반적으로 인두는 시험인두(test headform) 또는 표준인두(standard headform)로 개발되어 다양한 형태의 개인보호구(personal protection equipment)를 시험하거나 설계할 때 해당 보호구의 효능(efficacy)을 결정하기 위하여 사용되어 왔다(Zhuang et al., 2010; Yu et al., 2012). 호흡보호구의 사용 및 시험과 관련하여 개발된 인두는 국내·외에서 여러 연구자의 보고가 있었다. Zhuang et al.(2010)은 2003년 미국 노동인구 3,997명을 대상으로 실시한 인체측정조사 자료를 이용하여 5종 유형(소형, 중형, 대형, 길고 좁은형, 짧고 넓은형)의 디지털 3D인두를 개발했으며, Yu et al.(2012)은 2006년 중국 근로자 3,000명을 대상으로 실시한 인체측정조사 자료를 이용하여 Zhuang et al.(2010)과 유사한 방법으로 5종 유형의 디지털 3D 인두를 개발하였다. Seo et al.(2020 & 2023)은 두 가지 연구 과제를 통해 각각 3종 유형(소형, 중형, 대형)의 3D 인두를 개발했는데 과제 각각 한국인 4,583명이 참여한 제6차 Size Korea 3D머리형상 측정조사 DB와 한국인 11,429명이 참여한 제7차 및 제8차 Size Korea 인체측정치를 사용하였다.

호흡보호구 관련 인두는 국내 안전보건 분야에서 크게 논의되지 않았으나 최근 호흡보호구의 선정 및 밀착도 검사에 관한 연구가 다양하게 보고되고 밀착도 검사 패널의 개발에 관한 연구가 보고되면서 관심이 커지게

되었다. 호흡보호구의 인증 또는 품목허가 시험 업무에서 인두가 다양하게 활용되고 있다. 호흡보호구는 시장에 유통시키기 전에 인증 또는 허가 시험을 실시하여야 한다. 산업용 호흡보호구의 경우 보호구 안전인증 고시(고용노동부고시 제2023-64호)에 따라 인증시험을 실시해야 하며, 대상 보호구는 방진마스크, 방독마스크, 송기마스크, 전동식 호흡보호구이다(MOEL, 2023). 호흡보호구의 종류에 따라 다르나 방진마스크의 경우 14개의 인증시험 항목에 대해 시험을 실시해야 하며, 그 중 인두를 활용하는 항목은 인공폐 이용 전처리, 안면부 흡기저항, 안면부 배기저항, 안면부 누설률, 시야, 투시부의 내충격성, 그리고 안면부 내부의 이산화탄소이다. 보건용 및 의료용 마스크도 품목 허가를 위해 여러 가지 시험을 실시해야 한다. 보건용 마스크는 7가지 시험항목(밀착도 검사 별도)이 있으며, 그 중 인두를 사용하는 항목은 안면부 흡기저항이다(NIFDSE, 2022). 의료용 마스크는 9가지 시험항목(밀착도 검사 포함)이 있으며, 인두를 사용하는 시험항목은 호흡저항(흡기 또는 배기 저항)이다(MFDS, 2021b). 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)은 호흡보호구 인증시험기관 중 하나이며, 인두를 사용하는 시험도 실시하고 있다. 인두를 이용하는 시험항목은 저항성(resistance), 공기유속(air flow), 산소 및 이산화탄소 수준, 사용 시간율(rated service time), 양압, 가스유속(gas flow), 잔여 사용 시간 지수(remaining service life indicator), 시야(field of view)이다(Zhuang et al., 2010).

국내에서 호흡보호구 업무용 인두가 다양하게 활용되고 있으나 여러 가지 논란이 있다. 호흡보호구에 대한 시험, 교육 또는 연구 과정에서 일부 외국인 인두나 근거 없는 인두 모형들을 사용하고 있기 때문이다. 호흡보호구의 설계, 시험, 교육 및 연구 관련 공공기관, 시험기관, 대학교, 제조업체 등을 대상으로 호흡보호구 관련 인두 활용 실태를 조사한 결과 어디에도 한국인 표준인두가 없었다(Park et al., 2022a). 지금까지 국내 일부 연구자들이 인두 관련 연구결과를 보고하였으나(Seo et al., 2020; Park et al., 2021b; Park et al., 2022b), 아직 표준 인두가 없는 실정이다. 한국인 표준인두의 개발이 필요하다.

따라서 이 연구의 목적은 한국인 노동인구의 3D 얼굴사이즈 데이터베이스(data base, DB) 및 한국형 주성분분석 밀착도 검사 패널을 바탕으로 호흡보호구의

선정, 사용 및 관리 업무에서 활용될 수 있는 한국형 노동인구의 인두를 개발하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구 및 연구대상

이 연구는 2021년부터 추진된 2개년 연구프로젝트의 일부이며, 한국인 노동인구의 3D머리형상측정조사 DB로부터 개발된 3D얼굴사이즈 DB 및 한국형 주성분분석 밀착도 검사 패널에 관한 선행 연구결과를 바탕으로 수행되었다(Park et al., 2021b & 2023).

연구대상은 제6차 한국인 인체치수조사(Size Korea) 중 3D머리형상측정조사에 참여한 자이었으며, 선정기준(selection criteria)은 다음과 같았다: 1)제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사에 참여한 한국인; 2)제6차 Size Korea 3D머리형상측정조사 자료 중 이미지 데이터 원자료를 이용하여 3D얼굴사이즈 측정 가능자; 3)산안법 상 노무를 제공하는 자 또는 만15세 이상의 경제활동인구. 3D머리형상측정 이미지 데이터 원자료가 없거나 데이터의 품질 이상으로 인해 3D얼굴의 형상 및 사이즈 데이터로 활용할 수 없는 참여자는 연구대상에서 제외되었다(Park et al., 2023).

2. 연구 방법

1) 문헌조사

호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무에서 자주 경시되거나 무시되는 ‘호흡보호구의 선정’이 국제적으로 어떻게 다뤄지고 있는지 파악하기 위하여 해당 국제표준을 검토하였다. 또한 호흡보호구 선정 등 업무에서 활용되는 인두의 개발과 관련된 연구자료, 표준, 기술지침을 조사하였다.

2) 3D얼굴항목 및 데이터의 적합성 검토

이 연구에서 사용된 데이터는 한국인 노동인구의 3D 얼굴사이즈 DB 및 한국형 주성분분석 밀착도 검사 패널의 개발에 사용된 21가지 항목의 3D얼굴항목 데이터이었다. 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB는 제6차 Size Korea 3D머리형상측정조사 DB의 데이터를 이용하여 구축되었으며, 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB 및 한국형 주성분분석 밀착도 검사 패널의 개발 과정, 방법, 연구결과 등은 다른 문헌에서 이미 보고되었다(Park et al., 2021a; Park et al., 2023).

한편, 2021-2022년 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB 및 한국형 주성분분석 밀착도 검사 패널이 개발되는 과정에서 사용된 21가지 항목을 중심으로 적합성(conformity)에 대한 검토가 있었으나(Park et al., 2021a & 2023), 비교가 가능한 대상 DB인 제5차(2003-2004년), 제6차(2010-2014년) 및 제8차(2020-2021년) Size Korea 3D머리형상측정조사 DB 중 제8차 DB는 연구과제가 완료되지 않아 비교할 수 없었다. 따라서 이 연구에서 ISO 16976-2를 기준으로 3D얼굴 항목 데이터의 적합성과 최신성(recency)을 검증할 필요가 있었다. 검토 대상은 21가지 항목의 제6차 3D얼굴 항목 데이터를 제8차 Size Korea 3D머리형상측정조사 DB 중 해당 3D얼굴항목 데이터와 비교하였다.

3) 한국인 노동인구의 인두 개발

인두의 개발은 인두모델의 설계를 위한 데이터 분석, 3D모델링, 3D프린팅 과정을 거쳐 제작되었으며, 과업(3D모델링 및 3D프린팅)의 일부는 외부 전문기관을 통해 추진하였다. 연구팀은 한국형 주성분분석 밀착도 검사 패널 개발에 사용된 데이터의 적합성 평가 및 인두 모델 유형별 얼굴사이즈의 대푯값을 결정하였다. 외부 전문기관은 연구팀으로부터 제공받은 정보(3D얼굴이미지 원자료 포함)를 바탕으로 과업을 수행하였다.

가) 인두모델 설계를 위한 데이터 산출

인두모델은 여러 가지 문헌과 함께 주로 ISO 16976-2에 따라 한국형 주성분분석 밀착도 검사 패널 개발에 사용된 얼굴항목 데이터를 이용하여 개발하였다(Zhung et al., 2010; Yu et al., 2012; Park et al., 2021a & 2023; ISO, 2022). 통계분석을 통해 주성분분석 검사 패널을 구성하는 8개 구역의 전체 얼굴항목 데이터 그룹을 5종 유형의 인두모델 데이터 그룹으로 재분류하였다. 5종 유형의 인두모델 데이터 그룹으로 재분류한 것은 해당 국제표준에 부합시키면서 연구 목적을 효과적으로 달성시키고자 함이었다. 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무에서 활용되거나 교육·시험·연구용으로 활용될 인두의 대표성 및 효율성을 고려하였다. 통계분석 과정에서 성 및 연령에 따른 인두모델의 유형별 이미지 산출은 예산의 제한점 등 때문에 제외하였다. 전체 얼굴항목 데이터 중 주성분분석 검사 패널 개발에 사용된 10가지 3D얼굴항목(최소이마뼈너비, 얼굴너비, 아래턱사이너비, 얼굴수직길이, 눈동자사

이너비, 머리너비, 코높이, 코너비, 눈구석사이너비, 코길이) 데이터를 이용하여 인두모델 5종 유형별 10가지 얼굴사이즈 각각의 평균사이즈를 산출하였으며, 이를 바탕으로 제6차 Size Korea 3D얼굴측정 이미지 원자료로부터 인두모델 유형별 평균사이즈에 가장 근접한 5명씩 선정하였다. 그리고 인두모델 유형에 따라 선정된 5명의 3D얼굴항목 데이터를 이용하여 10가지 얼굴항목 각각의 평균사이즈를 산출하였다.

나) 인두모델의 크기 및 재질

인두모델의 외형적 크기는 소형(18×18×28 cm), 중형(19×19×29 cm), 대형(20×20×31 cm), 길고좁은형(20×20×30 cm), 짧고넓은형(19×19×30 cm)으로 구분하였다. 재질은 인두 내측 부분의 경우 플라스틱 ABS(acrylonitrile butadiene styrene)를 사용하였다. 인두 외측 부분은 실리콘(경도: 20~30 shore A; 두께: 4 mm)을 사용하였고(ISO, 2016b), 색깔은 인체 피부색을 고려하여 선정하였다.

다) 3D모델링 및 인두 제작 절차

인두모델은 3D모델링, 인두 내측의 플라스틱 부분 제작, 인두 외측의 플라스틱 부분 및 실리콘 부분 제작, 그리고 인두완성 공정을 거쳐 제작하였다.

(1) 3D모델링

인두모델 유형에 따라 선정된 5명의 3D얼굴측정 이미지 원자료와 이로부터 산출된 3D얼굴항목 데이터 평균사이즈를 바탕으로 인두모델 이미지의 5종 유형 각각을 설계하기 위하여 3D모델링을 실시하였다. 모델링은 3D모델링 소프트웨어(Rhino, Robert McNeel & Associate, USA)를 이용하였고, 모델링 작업절차를 통해 인두모델 이미지를 생성하였다. 인두모델 이미지의 5종 유형 각각은 반복적인 검토와 평가를 실시하면서 실제 인두의 30% 크기로 축소된 시제품 제작, 그리고 유형별 30개의 머리측정 기준점(landmark) 표시 등 과정을 통해 최종 인두모델 이미지가 결정될 때까지 반복하여 개선하였다.

(2) 3D프린팅 및 인두 완성

인두는 3D프린터(Fortus 450MC, Stratasys, USA)를 이용하여 인두 내측부분 금형제작, 인두 외측부분 금형제작, 실리콘 투입 공정을 거쳐 완성하였다(Table 1). 내측

Table 1. Three dimensional printing processes to construct headforms

| Process | | Description |
|--|-------------------------------|---|
| Internal plastic part | 3D printing | For constructing a headform, an internal mold is built based on face dimensions data, as 3D modeling outputs, by a 3D printer to which those data are transferred. Acrylonitrile butadiene styrene(ABS), a plastic material, is used for buiding the internal mold using a way of fused deposition modeling(FDM). |
| | Mold production (3D printing) | In a similar way, an external mold is constructed based on the face dimensions data by a 3D printer to which those data are transferred. ABS is used for building the external mold using a FDM way. |
| External plastic part (including silicon part) | Grinding | The external mold is grinded using a grinding material until its surface is sufficiently smoothened. |
| | Putty | Small scratches are removed by putty that is not interfere with ABS. |
| | Primer | For the mold transferred after grinding and putty processes, primer or surfacer is coated to ensure whether or not its surface is clean. The mold is repeatedly sent to grinding and putty processes until its surface is sufficiently clean. |
| | Silicon input | Silicon is put into a gap between internal mold(positive human headform) and external mold(negative headform) by assembling both molds. |
| Headform completion | Mold removal | Silicon headform is produced by disassembling the both molds. |
| | Top coating | Headform is completed by coating the surface of silicon headform using a human-skin color paint. |

부분은 3D모델링 결과(인두모델 이미지 파일)를 3D프린터에 전송시켜 플라스틱 재질의 양성형 인두 금형을 제작했다. 외측 부분도 3D프린터를 통해 플라스틱 재질의 음성형 인두 금형을 제작한 후 사상, 퍼티, 프라이머 공정을 거쳤다. 이어서 내측 및 외측 금형을 조립한 후 금형 간 빈틈에 실리콘을 투입하여 실리콘 인두를 제작한 후 탈형하여 탑코팅 공정을 거쳐 완성하였다.

4) 자료의 관리 및 통계분석

이 연구에서 인두는 한국형 주성분분석 밀착도 검사 패널 개발에 사용된 3D얼굴항목 데이터(Park et al., 2023)와 제6차 Size Korea 3D머리형상측정조사의 얼굴이미지 원자료를 이용하여 제작하였다. 과제를 수행하는 과정에서 얻어진 자료는 연구팀의 생체역학실험실 PC에 저장하여 관리하였다. 통계분석은 기술통계, t-검정, 상관분석 및 주성분분석(principal component analysis)을 포함하여 실시하였다. 통계분석은 SAS Windows 9.4(SAS Institute Inc., Cary, USA)를 이용하였으며, 유의수준은 0.05이었다.

III. 연구결과

1. 일반사항

연구대상자는 총 2,752명이었다(Table 2). 연구대상

자의 분포는 남녀 각각 52.9%, 47.1%이었고, 나이 평균과 표준편차는 남녀 각각 36.2 ± 17.4 세, 38.3 ± 17.2 세이었으며, 키 170.1 ± 66.4 cm, 158.1 ± 56.3 cm, 몸무게 67.6 ± 10.8 kg, 56.2 ± 8.2 kg이었다. 또한 연구대상자는 나이그룹, 체질량 지수, 조사연도에 따라 분포비율이 달랐으며, 조사지역은 수도권이었다.

Table 2. General characteristics of subjects in this study (N= 2,752 persons)*

| Variable | Subject(%) | Remarks |
|---------------------------------------|--------------|---------|
| Gender | Male | 52.9 |
| | Female | 47.1 |
| Age group (Years) | 15-29 | 41.2 |
| | 30-44 | 21.8 |
| | 45-69 | 37.0 |
| | <18.5 | 6.8 |
| BMI (kg/m ²) [†] | 18.5-24.9 | 68.6 |
| | 25-30 | 21.8 |
| | 30-35 | 2.8 |
| | >35 | 2.8 |
| Survey year | 2010 | 30.7 |
| | 2012 | 44.1 |
| | 2013 | 25.2 |
| Survey location | Capital area | 100.0 |

*Adopted from Park et al.(2023)

[†]Source: WHO(2024)

2. 인두모델 설계용 데이터 산출

1) 인두모델 설계용 데이터

한국형 주성분분석 검사 패널 개발에 사용된 얼굴항목 데이터는 8구역으로 구분되어 있으며(Figure 1), 각 구역에 따라 산출된 10가지 얼굴항목 각각의 평균사이즈는 Table 3과 같았다.

2) 인두모델의 유형 분류

한국형 주성분분석 검사 패널의 8개 구역(Figure 1)

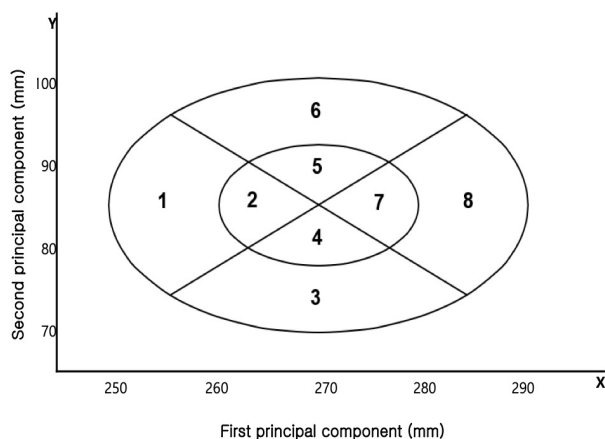


Figure 1. Korean principal component analysis fit test panel based on two principal components(N=2,037 persons, Missing value= 715, X= first principal component, Y= second principal component). Adopted from Park et al.(2023).

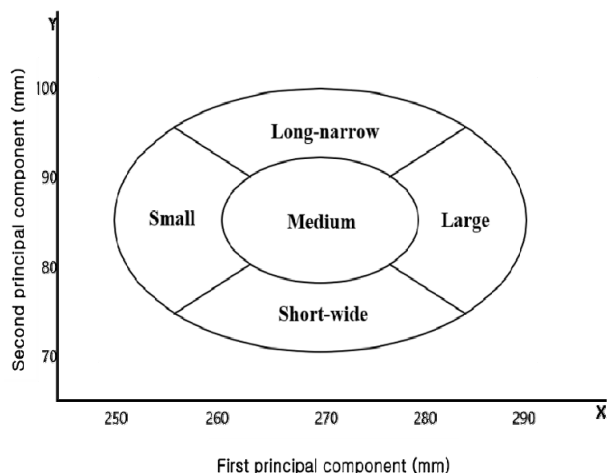


Figure 2. Distribution of the five model headforms for Korean labor population(N= 2,037 persons)

을 재분류한 인두모델 5종 유형의 분포는 Figure 2와 같았다: 소형 인두모델(Figure 1의 1구역), 짧고넓은형(3구역), 길고좁은형(6구역), 대형(8구역), 그리고 중형(2, 4, 5, 7구역).

3) 인두모델 유형별 얼굴항목 데이터의 평균사이즈 산출

인두모델 유형에 따라 얼굴항목별 데이터의 평균사이즈는 연구대상자 전체의 경우 Table 4와 같았으며, 연구대상자의 3D얼굴측정 이미지 원자료로부터 선정된 5명의 경우 Table 5와 같았다. Table 5에 나타난 바와 같이 얼굴항목 데이터의 평균사이즈는 인두모델 유형

Table 3. Mean of each of ten face dimensions, by cell, in Korean principal component analysis test panel (Unit: mm)

| Face dimension | Cell(N=2,752 persons)* | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1 (N=108) | 2 (N=880) | 3 (N=513) | 4 (N=170) | 5 (N=199) | 6 (N=502) | 7 (N=135) | 8 (N=122) |
| Minimum frontal breadth | 98.2 | 106.3 ^{†1} | 103.1 | 104.7 | 104.8 | 105.5 | 107.6 | 112.6 |
| Face width | 127.7 | 136.2 | 133.8 | 135.4 | 134.5 | 135.3 | 138.8 | 144.3 |
| Jaw width | 119.1 | 128.2 ^{†2} | 111.9 | 119.3 | 127.6 | 134.2 | 126.1 | 130.7 |
| Face length | 102.8 | 111.0 ^{†3} | 114.1 | 113.4 | 111.6 | 110.9 | 118.5 | 122.7 |
| Interpupillary distance | 61.7 | 70.6 ^{†3} | 69.2 | 68.1 | 65.7 | 64.9 | 69.4 | 72.9 |
| Head breadth | 153.8 | 167.4 ^{†2} | 153.1 | 157.0 | 161.4 | 166.2 | 161.4 | 165.0 |
| Nose protrusion | 11.5 | 12.3 ^{†4} | 12.3 | 12.3 | 13.1 | 13.5 | 13.6 | 14.0 |
| Nose breadth | 30.9 | 33.9 ^{†5} | 35.8 | 35.7 | 34.1 | 34.6 | 37.8 | 39.5 |
| Nasal root breadth | 29.9 | 42.2 ^{†2} | 32.5 | 31.8 | 30.9 | 30.0 | 32.2 | 33.4 |
| Nose length | 46.9 | 53.0 ^{†2} | 51.7 | 51.2 | 50.7 | 50.3 | 53.8 | 55.3 |

*123 persons fallen out of the outer ellipse in the Korean principal component analysis test panel. †1= 879 persons, †2= 860, †3= 859, †4= 168, and †5= 858.

Table 4. Mean of each face dimension of headforms, by model, in the selected subjects (Unit: mm)

| Face dimension | Headform model(N=2,752 persons)* | | | | |
|-------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------|------------------------|-----------------------|
| | Small (N=108) | Medium (N=1,384) | Large (N=122) | Long-narrow (N=502) | Short-wide (N=513) |
| Minimum frontal breadth | 98.2 | 106.0 ^{†1} | 112.6 | 105.5 | 103.1 |
| Face width | 127.7 | 136.1 | 144.3 | 135.3 | 133.8 |
| Jaw width | 119.1 | 126.8 ^{†2} | 130.7 | 134.2 | 111.9 |
| Face length | 102.8 | 112.1 ^{†3} | 122.7 | 110.9 | 114.1 |
| Interpupillary distance | 61.7 | 69.5 ^{†3} | 72.9 | 64.9 | 69.2 |
| Head breadth | 153.8 | 164.6 ^{†2} | 165.0 | 166.2 | 153.1 |
| Nose protrusion | 11.5 | 12.8 ^{†4} | 14.0 | 13.5 | 12.3 |
| Nose breadth | 30.9 | 34.6 ^{†5} | 39.5 | 34.6 | 35.8 |
| Nasal root breadth | 29.9 | 38.3 ^{†2} | 33.4 | 30.0 | 32.5 |
| Nose length | 46.9 | 52.5 ^{†2} | 55.3 | 50.3 | 51.7 |

*123 persons fallen out of the outer ellipse.

†1=1,383 persons, †2=1,364, †3=1,363, †4=672, and †5=1,362.

Table 5. Mean of each face dimension of headforms, by model, in the five selected subjects (Unit: mm)

| Face dimension* | Headform model | | | | |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------|---------------------|
| | Small (N=5) | Medium (N=5) | Large (N=5) | Long-narrow (N=5) | Short-wide (N=5) |
| Minimum frontal breadth | 98 | 106 | 114 | 106 | 103 |
| Face width | 128 | 136 | 145 | 134 | 133 |
| Jaw width | 120 | 127 | 131 | 134 | 110 |
| Face length | 101 | 111 | 122 | 117 | 113 |
| Interpupillary distance | 62 | 69 | 74 | 65 | 68 |
| Head breadth | 156 | 164 | 166 | 167 | 152 |
| Nose protrusion | 11 | 12 | 14 | 13 | 12 |
| Nose breadth | 30 | 34 | 39 | 39 | 36 |
| Nasal root breadth | 30 | 35 | 31 | 30 | 33 |
| Nose length | 47 | 50 | 54 | 52 | 51 |

*Lip width added: Small 40 mm, Medium 49, Large 57, Long-narrow 49, and Short-wide 49.

및 얼굴항목에 따라 다르게 나타났으나, 중형 인두모델의 경우 최소이마뼈너비의 평균사이즈는 106 mm이었고, 얼굴너비 136 mm, 아래턱사이너비 127 mm, 얼굴수직길이 111 mm, 눈동자사이너비 69 mm, 머리너비 164 mm, 코높이 12 mm, 코너비 34 mm, 눈구석사이너비 35 mm 및 코길이 50 mm로 나타났다.

3. 3D모델링

1) 인두모델의 이미지 결정

3D모델링 과정에서 인두모델의 이미지는 반복적으로

개선되었으며, 5종 유형에 따라 인두모델의 정면과 옆면 이미지에 대해 형상과 크기가 다르게 나타났다(예, Figure 4). 또한, 각 유형에 대해 30개의 머리측정 기준점(landmarks)을 표시한 후 최종 인두모델의 이미지를 결정하였다(Figure 5).

4. 한국형 노동인구의 인두

3D모델링에서 결정된 5종 유형의 최종 인두모델 이미지를 바탕으로 한국형 노동인구의 인두는 3D프린팅 과정을 통해 제작되었다(Figure 6).

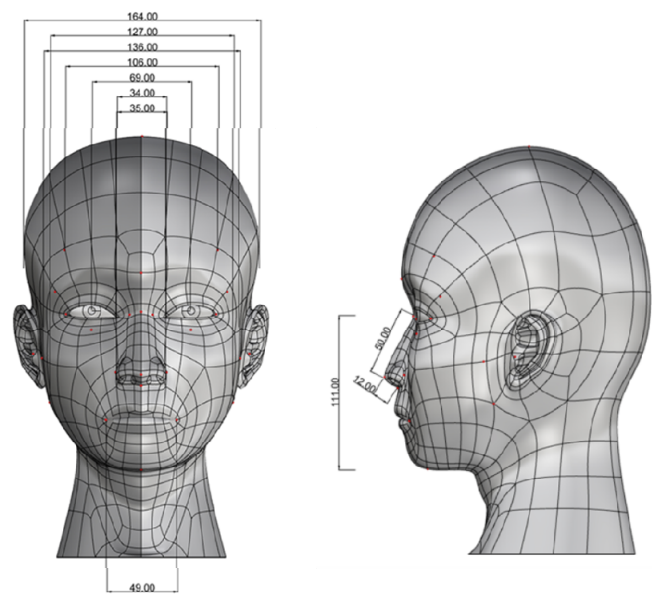


Figure 4. Front and side view images of medium headform in 3D modeling (example), showing that head-face landmarks are in place in red in the images

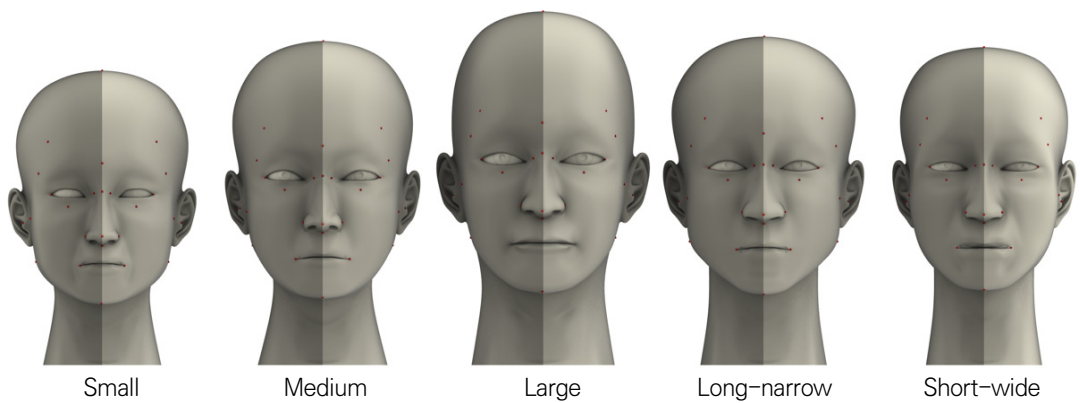


Figure 5. Final images in 3D modeling for each model of five headforms

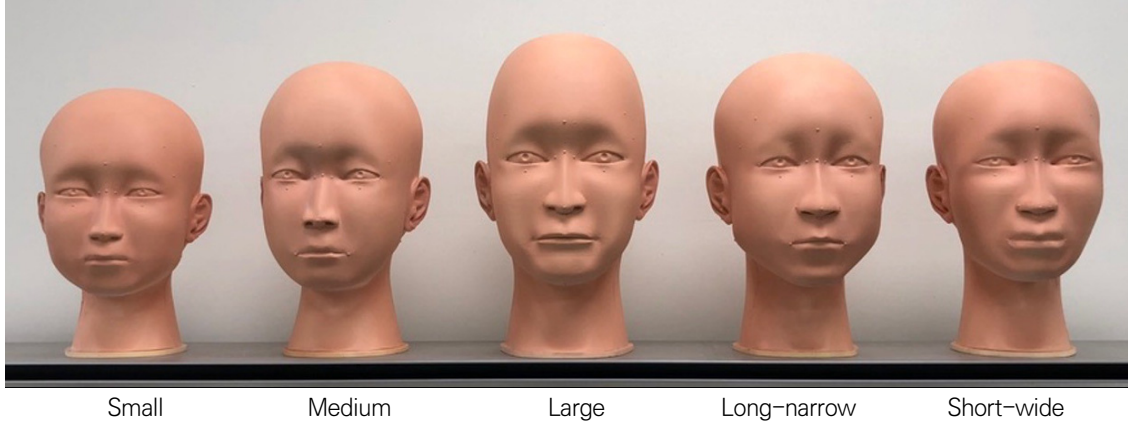


Figure 6. Five models of Korean headforms constructed finally for labor population

IV. 고 찰

1. 3D얼굴항목 데이터의 적합성

이 연구에서 사용된 얼굴항목 데이터는 제6차 Size Korea 3D머리형상측정조사 DB 중 21가지 항목의 3D 얼굴항목 데이터였으며(Park et al., 2023), 2021년 수행된 한 연구과제에서 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB 구축과 한국형 주성분분석 검사 패널 개발에 사용되었다(Park et al., 2021b).

얼굴항목 데이터는 2010~2014년에 실시된 제6차 Size Korea에서 측정되었기 때문에 가장 최근에 실시된 제8차 Size Korea(2020~2021년) 3D머리형상측정조사 DB의 해당 얼굴항목 데이터와 함께 적합성 및 최신성을 검토하였다. 검토결과, 제8차 Size Korea 3D DB 중 일부 얼굴항목(예, 코높이)은 조사과정에서 측정이 누락되어 비교할 수 없었다. 코로나-19 대유행으로 인해 피측정자들이 마스크를 착용한 상태에서 인체측정을 실시해야 했기 때문이었다. 사실 제8차 Size Korea 3D머리형상측정조사는 50가지 항목을 측정하기로 계획하였으나 코로나-19 대유행 때문에 14가지 항목을 측정할 수 없었다(KATS, 2021). 조사에서 누락된 14가지 항목 중 이 연구에서 사용될 3가지 항목(코높이, 코길이, 코너비)이 포함되었다. 한편, 50가지 항목 측정조사 계획에서 누락된 1가지 항목(최소이마뼈너비)에 대한 얼굴항목 데이터는 확보할 수 없었다. 다시말하면, 제8차 Size Korea 3D머리형상측정조사 DB에는 이 연구에서 사용할 4가지 3D얼굴항목 데이터가 없었다. 따라서 제6차 Size Korea 3D머리형상측정조사 DB에서 확보가 가능했던 21가지 항목의 3D얼굴항목 데이터가 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB와 한국형 주성분분석 검사 패널의 개발에 더 적합하며, Size Korea 3D머리형상측정조사의 전체 DB(즉, 제5차, 제6차, 제8차 DB) 중 가장 최신 자료인 것으로 나타났다(KATS, 2004, 2010 & 2021).

2. 인두모델 얼굴사이즈의 특징

인두모델 개발에 사용된 10가지 3D얼굴항목들은 한국형 주성분분석 검사 패널 개발에 사용되었던 얼굴항목들이다. 이들은 호흡보호구 밀착수준(respiratory fit)에 직접적으로 관련이 있고, 일정성 있게 측정이 가능하며, 다른 얼굴항목들과 상호관련성이 있는 것으로

나타났기 때문이다(Zhuang et al., 2007 & 2010). 5종 유형 중 중형 인두의 10가지 얼굴항목 데이터의 평균값은 최소이마뼈너비의 경우 106 mm 이었고, 얼굴너비 136 mm, 아래턱사이너비 127 mm, 얼굴수직길이 111 mm, 눈동자사이너비 69 mm, 머리너비 164 mm, 코높이 21 mm, 코너비 34 mm, 눈구석사이너비 35 mm, 그리고 코길이 50 mm 이었다.

미국 NIOSH는 2003년 인체측정조사에서 3D 스캐너로 측정한 1,013명을 포함하여 총3,997명의 인체측정 데이터를 바탕으로 5종 유형의 새로운 디지털 인두를 개발하였으며(Zhuang et al., 2010), Zhuang et al.(2010) 연구결과는 ISO 16976-2로 채택 되었다(ISO, 2022). Zhuang et al.(2010)의 연구결과 중 중형 인두의 10가지 얼굴항목 데이터의 평균값은 최소이마뼈너비의 경우 105 mm 이었고, 얼굴너비 141 mm, 아래턱사이너비 118 mm, 얼굴수직길이 120 mm, 눈동자사이너비 62 mm, 머리너비 152 mm, 코높이 21 mm, 코너비 37 mm, 눈구석사이너비 17 mm, 그리고 코길이 52 mm 이었다. Yu et al.(2012)은 2006년 인체측정 조사에서 3D 스캔 방식으로 측정한 350명을 포함하여 중국 노동자 총3,000명의 인체측정 데이터를 바탕으로 5종 유형의 디지털 인두를 개발하였다. 5종 유형 중 중형 인두의 10가지 얼굴항목 데이터의 평균값은 최소이마뼈너비의 경우 106 mm 이었고, 얼굴너비 146 mm, 아래턱사이너비 116 mm, 얼굴수직길이 114 mm, 눈동자사이너비 61 mm, 머리너비 150 mm, 코높이 19 mm, 코너비 39 mm, 눈구석사이너비 18 mm, 그리고 코길이 51 mm 이었다.

미국 NIOSH 인두, 중국 인두 및 이 연구의 한국형 인두를 대상으로 일부 얼굴항목의 사이즈 특징을 비교하였다. 예를 들어, 한국형 인두의 얼굴너비(136 mm)는 미국 인두(141 mm) 및 중국 인두(146 mm)보다 작았다. 얼굴수직길이의 경우 한국형 인두의 얼굴수직길이(111 mm)도 미국 인두(120 mm) 및 중국 인두(114 mm)보다 작은 것으로 나타났다. 이런 국가별 연구결과와의 비교는 다른 연구에서도 나타났다. Park et al. (2021a & 2023)은 제6차 Size Korea 3D머리형상측정 항목 중 남녀 얼굴수직길이의 평균치를 중심으로 미국 및 중국 노동자의 얼굴수직길이와 비교했는데 비교결과, 한국인의 남녀 얼굴수직길이는 미국과 중국 노동자의 얼굴수직길이보다 작은 것으로 나타났다. 인두개발 연구에서 연구대상 인구의 머리얼굴항목 사이즈는 개발되

는 인도모델의 얼굴사이즈에 반영되는 것이 바람직하다. 이 연구에서도 제6차 Size Korea 3D머리측정조사 참여자들의 얼굴사이즈 특징이 개발된 한국형 인도의 얼굴사이즈에 반영되었다고 볼 수 있다. 한편, 인도의 얼굴사이즈 특징을 국제적으로 비교할 때 얼굴항목 중 얼굴너비와 얼굴수직길이를 중심으로 비교한 이유는 이들 항목들이 이변량 검사 패널뿐만 아니라 주성분분석 검사 패널을 개발할 때 사용되는 필수 항목이었으며, 비교 대상 국가별 호흡보호구 사용 인구의 얼굴 형상과 사이즈 특징을 나타내는 핵심 항목이라고 판단했기 때문이다.

3. 한국형 노동인구 인도

우리나라 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 분야에서 업무적으로 활용되고 있는 한국인 표준인두는 아직 없다. 일부 호흡보호구의 인증기관, 시험기관, 연구기관, 제조업체 등에서 호흡보호구의 시험 업무를 수행하는 동안 외국인 인도, 자체제작 인도 또는 일반 시장에서 유통되는 인형 등이 활용되고 있었다(Park et al., 2022a). 외국인 인도일지라도 해당 국가의 표준인두인지 일반 시험인두 인지 여부는 확인되지 않았다. 비록 한국인 인두를 개발한 연구가 보고되었으나(Seo et al., 2020; Seo et al., 2023), 국가 또는 국제 표준에 따라 제작된 인두가 아니다. Size Korea DB를 관리하고 있는 (재)한국의류시험연구원 사이즈코리아 센터에도 인두가 전시되어 있다. 성별 및 연령그룹에 따라 제작되어 전시되어 있지만 제작 근거 등에 관한 정보를 파악할 수 없었다. 이 연구의 연구팀은 ISO 16976-2에 따라 10가지 얼굴항목 데이터를 이용하여 우리나라 노동인구를 대표하는 5종 유형의 한국형 인두를 개발하였다. 국내 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 분야에서 교육 · 시험 · 연구용 인두로써 일하는 사람의 안전보건을 위해 사용될 수 있도록 제작되었으며, 해당 국내 및 국제 표준에 따라 제작되었기 때문에 한국인 노동인구의 표준인두로 활용이 가능하다.

인두개발 연구에서 개발의 근거와 과정은 과학적이어야 하며, 연구의 방법과 결과에 대해 객관적으로 비교될 수 있어야 바람직하다. 표준 또는 표준형 인두는 해당 인구의 머리 및 얼굴의 형상과 사이즈에 대한 대표성이 담보되어야 하며, 설계와 제작 과정이 국가 또는 국제 표준에 따르도록 요구되는 이유이다. 이 연구에서 제작된 한국형 인두는 국가 및 국제 표준(ISO 16976-2

및 ISO 16900-5 포함)에 따라 제6차 Size Korea의 3D머리형상측정조사 DB를 바탕으로 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB 구축, 한국형 주성분분석 검사 패널 개발, 인도모델 5종 유형별 얼굴항목 데이터 산출, 3D모델링, 3D프린팅 등 일련의 과정을 거쳐 제작되었다(ISO, 2016b; Park et al., 2021a; Park et al., 2023). 얼굴 변이성(facial variation)을 최대로 대표하는 얼굴항목의 변수 조합을 발굴하고자 주성분분석 통계기법을 통해 주성분분석 검사 패널이 개발되었으며, 이를 바탕으로 인도모델이 5종 유형이 결정되었다. 이런 연구과정은 미국과 중국 연구자들이 보고한 연구과정과 비교한 결과 유사한 것으로 나타났다(Zhuang et al., 2010; Yu et al., 2012). 그러나 Seo et al. (2020 & 2023)이 보고한 인두의 경우 사용된 얼굴항목 데이터, 인두의 설계 및 제작 과정의 차이 때문에 비교하기 어려웠다. Seo et al.(2023)의 연구에서 사용된 얼굴항목 데이터는 제7차 및 제8차 Size Korea의 직접측정조사 DB이었으며(KATS, 2015 & 2021), 주성분분석 검사 패널 개발 과정과 그 이후 인도모델 분류로 이어지는 주요 접근방식은 ISO 16976-2에서 사용된 방식이 아니었기 때문이다. 특히, 인두의 설계 및 제작 과정 중 필수 단계인 주성분분석 검사 패널에 관한 정보가 없었으며, 5종 유형 분류 과정에 관한 주요 정보도 보고되지 않았다. Seo et al.(2023) 연구에 사용된 12가지 얼굴항목 변수 중 6가지(얼굴너비, 아래턱사이너비, 얼굴수직길이, 눈동자사이너비, 머리너비, 눈구석사이너비) 이외는 ISO 16976-2에서 사용된 10가지 변수에 해당되지 않아 주성분분석 검사 패널 및 인두 개발을 위한 적합한 변수인지의 여부, 그리고 선정의 근거와 과정에 대해 논란을 유발할 수 있다. 코놀이 등 얼굴항목 변수가 누락된 점도 마찬가지다. Seo et al.(2020)이 보고한 인두는 제6차 Size Korea의 직접측정조사 DB를 구성하는 얼굴항목 중 44개가 사용되었고, 인도모델의 설계과정에서 클러스터 분석(cluster analysis) 통계기법을 이용하여 3종 유형의 3D인두 이미지가 결정된 후 3D프린팅된 것이었다.

이 연구에서 개발된 한국형 노동인구 인두는 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무에서 활용될 수 있으며, 더 나아가 교육 · 시험 · 연구용으로도 활용될 수 있다. 예를 들어, 사업장 규모에 따라 다르겠지만 보건관리자는 사업장 종사자 전체의 머리 및 얼굴의 형상과 사이즈 정보를 5종 유형으로 구분하고, 각 유형에 따라 호

흡보호구를 구입하여 보관하면서 필요할 때마다 사용자에게 지급할 수 있다. 이 때 맞춤형 호흡보호구의 선정, 선정된 호흡보호구에 대한 밀착도 검사 실시, 최종 적격품 호흡보호구 결정 및 지급 등 과정을 통해 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무의 효율성이 향상될 것이다. 적격 호흡보호구의 선정 및 지급을 통해 산안법상 보건관리가 효과적으로 이행되는 것이다. 교육용 활용 측면에서 보더라도 효과가 있을 것이다. 개발된 인두가 국제표준 ISO 16976-2의 접근방식에 따라 제작되었기 때문에 밀착도 검사 또는 인체측정학 관련 교육과정에서 머리 및 얼굴의 형상과 사이즈에 관한 표준의 특징을 다룰 때 실습용 도구로 유용할 것이다. 특히, 이들 인두는 표준인두의 특성을 강화시키기 위하여 머리 또는 얼굴의 형상에 따라 선정이 가능할 뿐만 아니라 얼굴항목별 사이즈에 대해 직접 측정이 가능하도록 5종 유형 각각에 얼굴측정 기준점이 표시되었기 때문이다. 인두를 개발하기 위한 설계의 근거와 과정 측면에서 해당 국제표준의 접근방식에 따라 수행된 이 연구의 접근방식은 국제적으로 널리 알려진 학술지에 보고된 미국과 중국의 연구방식과 유사할 뿐 아니라 국내에서 유일한 것으로 나타났으며, 얼굴측정 기준점이 표시된 인두는 국내 및 국제적으로 최초 보고된 것으로 나타났다. 더욱이 연구결과를 인두모델 이미지 생성 단계까지 진행한 미국 및 중국의 연구와 달리 이 연구에서는 인두모델 이미지에 얼굴측정 기준점을 표시하고 3D프린팅까지 실시함으로써 제작된 인두의 표준 특성과 활용성이 향상되었음을 시사한다.

4. 연구의 제한점

이 연구에서 한국형 인두 개발에 사용된 데이터는 3D스캔측정법을 통해 생성된 10가지 항목의 3D얼굴항목 데이터이었다. 전통적 직접측정(2D측정) 데이터와 달리, 3D측정 데이터는 인두를 개발하는 과정에서 얼굴측정 기준점 사이의 형상과 사이즈에 대해 부피 및 등고선(contour)에 관한 정보를 바탕으로 3차원 공간적 위치 특성이 반영되었을 것이다(Zhuang et al., 2010; Yu et al., 2012). 그러나 3D인체측정 데이터는 스캔기술의 특성상 2D인체측정 데이터보다 부풀림(inflation)이 있을 수 있다. 예를 들면, 머리너비를 측정할 경우 3D스캔측정법은 가발모자(wig cap)를 쓴 피시험자의 스캔이미지 표면에 있는 측두점(euryon)간 너비를 측정하는데 2D직접측정법은 캘리퍼스(callipers)

를 이용하여 머리카락을 누르면서 양쪽 머리 피부에 있는 측두점간 너비를 측정한다. 3D측정 머리너비는 실제보다 부풀려진 값으로서 2D측정 머리너비 값보다 더 크게 산출되며, 3D측정 데이터의 부풀림 특성이 반영된다. 이 연구에서 사용된 10가지 얼굴항목 중 부풀림 특성이 잠재된 항목은 머리너비뿐이었다. 나머지 얼굴항목들은 피부 표면에 대해 직접 스캔되었기 때문에 부풀림에 관한 고려의 대상이 아니었다. 국제표준(ISO 20685-1)에 따르면 측정항목에 따라 다르나 3D측정 데이터는 2D측정 데이터로부터 최대허용오차(maximum allowable error) 이내가 되도록 권장하고 있으나(ISO, 2018), 제6차 Size Korea DB에는 10가지 연구변수(얼굴항목)에 대해 3D 및 2D측정 데이터간 오차범위를 비교할 수 있는 데이터가 없어 평가할 수 없었다.

한편, 연구대상에 비경제활동인구(예, 가정주부)의 포함여부에 따라 대표성에 미치는 영향이 다르나 제6차 Size Korea 3D머리형상측정조사 DB에서 해당 정보를 파악할 수 없었다. 동일한 얼굴항목 데이터라 하더라도 3D모델링 또는 3D프린팅을 이용한 접근방법 및 기술 수준에 따라 인두가 다르게 생성될 수 있다. 이런 점들은 추가적인 연구가 필요하다. 얼굴항목의 종류, 정의, 측정조사의 기관 및 시기, 2D 및 3D 측정기술 등에 관한 제한점은 다른 문헌에서 이미 다뤘다(Park et al., 2021a; Park et al., 2023).

V. 결 론

이 연구는 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB 구축 및 한국형 주성분분석 밀착도 검사 패널 개발 결과를 바탕으로 한국형 노동인구 인두를 개발하였다. 인두 개발에 사용된 3D얼굴항목 데이터의 적합성에 대해 해당 국제표준을 기준으로 검토한 결과, 전체 비교대상 Size Korea 3D DB 중 이 연구에서 사용된 제6차 Size Korea 3D얼굴사이즈 데이터가 적합하며, 가장 최신 자료인 것으로 나타났다.

인두는 ISO 16976-2에 따라 21가지 항목 중 10가지 3D얼굴항목을 선정한 후 8개 구역으로 구성된 주성분분석 검사 패널 개발에 사용된 데이터를 5종 유형(소형, 중형, 대형, 길고 좁은형, 짧고 넓은형)으로 재분류하였고, 5종 유형별 얼굴사이즈 데이터의 평균사이즈 산출, 3D모델링 및 3D프린팅 과정을 거쳐 5종 유형으로 각각 제작되었다. 5종 유형에 따라 인두모델의 10가

지 얼굴사이즈 데이터의 평균값은 달랐다. 중형 인두모 델의 경우 최소이마뼈너비는 106 mm이었고, 얼굴너비 136 mm, 아래턱사이너비 127 mm, 얼굴수직길이 111 mm, 눈동자사이너비 69 mm, 머리너비 164 mm, 코높이 21 mm, 코너비 34 mm, 눈구석사이너비 35 mm, 그리고 코길이 50 mm 이었다.

요약하면, 5종 유형으로 개발된 한국형 인두는 21가지 항목으로 구성된 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB 구축과 한국형 주성분분석 검사 패널 개발에 이어진 연구결과이었다. 한국형 노동인구 인두는 호흡보호구 관련 밀착도 검사 업무뿐만 아니라 교육·시험·연구 업무에서 활용될 수 있을 것이다. 이들 인두가 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB 및 한국형 주성분분석 밀착도 검사 패널과 함께 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무에 활용될 경우 노동인구를 포함한 호흡보호구 사용자의 안전과 건강을 더욱 효과적으로 보호할 수 있다고 판단한다.

References

- Chen W, Zhuang Z, Benson S et al. New respirator fit test panels representing the current Chinese civilian workers. *Ann Occup Hyg* 2009;53(3):297-305. (doi:10.1093/annhyg/men089)
- Han D. Fit testing for respirators and development of fit test panels for Koreans. *Korean Ind Hyg Assoc J* 1999;9(1):1-13
- Han DH, Kim HY, Jang YJ et al. Study on fit performance survey for respirators and suggestions on fit test regulation. 2017-OSHRI-969; 2017
- ISO. 3-D scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases- Part 1: Evaluation protocol for body dimentions extracted from 3-D body scans. ISO 20685-1; 2018
- ISO. Respiratory protective devices - Selection, use and maintenance- Part 1: Establishing and implementing a respiratory protective device programme. ISO/TS 16975-1; 2016a
- ISO. Respiratory protective devices - Human factors- Part 2: Anthropometrics, Technical Specification, ISO 16976-2; 2022
- ISO. Respiratory protective devices - Selection, use and maintenance- Part 5: Breathing machine, metabolic simulator, RPD headforms and torso, tools and verification tool. ISO 16900-5; 2016b
- Kim K, Kim H, Lee J et al. Development of the new 3D test panel for half-mask respirators by 3D shape analysis for Korean faces. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2003;13(3):217-225
- KATS. The Report of 5th Korean anthropometric national survey(2nd final report), KATS; 2004. [accessed 2024 Aug 06]. Available from: <https://sizekorea.kr>
- KATS. The Report of 6th Korean 3D anthropometric national survey, KATS; 2010. [accessed 2024 Aug 06]. Available from: <https://sizekorea.kr>
- KATS. The Report of 7th Korean anthropometric national survey, KATS; 2015. [accessed 2024 Aug 06]. Available from: <https://sizekorea.kr>
- KATS. The Report of 8th Korean anthropometric national survey(Final report), KATS; 2021. [accessed 2024 Aug 06]. Available from: <https://sizekorea.kr>
- Korean Broadcasting System(KBS). 7.3 billion of masks consumed yearly, how to deal with?(KBS 9 O'clock News on 2021 Nov 18). [accessed 2024 Aug 16]. Available from: <https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=5328542>
- KDCA. Status of COVID-19 incidence in 2024. [accessed 2024 Sept 8]. Available from: <https://dportal.kdca.go.kr/pot/cv/trend/dmstc/selectMntrgSttus.do>
- KOSHA. 2022 OSH Act Book; 2022
- KOSHA. Guideline for selection, use and maintenance of RPD. KOSHA Guide H-82-2020; 2020
- MOEL. Notice on safety certification for personal protective equipment, notice No. 2023-64; 2023
- MFDS. Article on 78.62 million masks produced last week... prices of them are kept stable, dated on Nov 17, 2021a. [accessed 2024 Aug 16]. Available from: <https://www.yna.co.kr/view/AKR20211117039600530?input=1195m>
- MFDS. Guidelines on approval and examination for medical respirators (Guidance for frequently questions and answers); 2021b
- NIFDSE. Guidelines on standards for health mask (Guidance for frequently questions and answers); 2022
- Park JK, Kim SD, Cho HM. 3D face dimensions and new fit test panels for the labor population using respirators in South Korea. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2023;33(2):247-264. (doi:10.15269/JKSOEH.2023.33.2.247)
- Park JK, Kim SD, Cho HM. An analysis of three-dimensional head anthropometric data to select respirators for Korean users. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2021a;31(4):521-530. (doi:10.15269/JKSOEH.2021.

31.4.521)

- Park JK, Kim SD, Cho HM. Establishment of face dimensions database for Korean labor population and improvement of RPD selection guidelines(I). OSHA Institute 2021-OSHRI-752, ISBN 979-11-92138-17-6; 2021b
- Park JK, Kim SD, Lee EG. A survey on how headforms are used in the field of tasks such as test, research, education and training. A technical report. Occupational Safety and Health Research Institute; 2022a
- Park JK, Kim SD, Lee EG. Establishment of face dimensions database for Korean labor population and improvement of RPD selection guidelines(II). OSHA Institute 2022-OSHRI-784, ISBN 979-11-92782-33-1; 2022b
- Phee YG, Kim SW, Aeh WS. Study on fit performance survey for respirators and suggestions on fit test regulation(II). 2019-OSHRI-1422; 2019
- Seo HK, Jang HY, An HR. A study on the Korean fit test panel and static headform chamber, J Korean Soc Occup Environ Hyg 2023;33(2):145-155. (doi.org/10.15269/JKSOEH.2023.33.2.145)
- Seo HK, Kim JI, Kim H. Development of Korean head forms for respirator performance testing, Saf Health Work 2020;11:71-79. (doi.org:10.1016/j.shaw.2019.12.008)
- Size Korea Center. The report of anthropometric survey/ Standard anthropometry. 2024. [accessed 2024 Aug 06]. Available from: <https://sizekorea.kr>
- WHO. Body mass index among adults. 2024. [accessed 2024 Aug 06]. Available from: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/topic-details/GHO/body-mass-index>
- Yu Y, Benson S, Cheng W et al. Digital 3-D headforms representative of Chinese workers. Ann Occup Hyg 2012;56(1):113-122. (doi:10.1093/annhyg/mer074)
- Zhuang Z, Bradtmiller B, Shaffer RE. New respirator fit test panels representing the current U.S. civilian work force. J Occup Environ Hygiene 2007;4:647-659. (doi:10.1080/15459620701497538)
- Zhuang Z, Benson S, Viscusi D. Digital 3-D headforms with facial features representative of the current US workforce. Ergonomics 2010;53(5):661-671. (doi:10.1080/00140130903581656)

<저자정보>

박정근(소장), 김세동(연구위원), 이은지(연구원)