

호흡보호구 사용 노동인구의 3차원 얼굴사이즈 특징 및 한국형 밀착도 검사 패널 개발

박정근* · 김세동¹ · 조현민¹

한국산업안전보건공단 서울광역본부, ¹한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

3D Face Dimensions and New Fit Test Panels for the Labor Population Using Respirators in South Korea

Jung-Keun Park* · Se-Dong Kim¹ · Hyoun-Min Cho¹

Seoul Metropolitan Headquarters, Korea Occupational Safety and Health Agency

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

ABSTRACT

Objectives: The study was to examine the features of three-dimensional(3D) face dimensions and to develop fit test panels for the labor population using respirators in South Korea.

Methods: This study was part of the first-year work of a two-year-project conducted at Occupational Safety and Health Research Institute in 2021. After 3D head dimensions data were collected from Size Korea Center managing Sixth Size Korea databases, 3D face dimensions DB for the South Korean labor population was established for 21 items of face dimensions in line with the ISO/TS 16976-2 and KS A ISO 15535. With the South Korean labor population 3D face dimensions DB, in accordance with the ISO/TS 16976-2, the descriptive statistics of 3D face dimensions were calculated and two fit test panels were developed.

Results: A total of 2,752 subjects were finally determined and they were 52.9% for male, 41.2% for the highest age-group of 15-29, and residents in the capital area. Mean and standard deviation were obtained for each of the 21 3D face dimensions items for the South Korean labor population. Among the items, male and female face widths were 137.6 ± 5.7 mm, 133.2 ± 5.0 mm, respectively. Male and female face lengths were 116.6 ± 7.0 mm, 107.8 ± 6.8 mm, respectively. Two new South Korean fit test panels, a bivariate test panel and a principal component analysis test panel, were developed using the 3D face dimensions DB as well.

Conclusions: Using the 3D face dimensions DB, the mean and standard deviation were featured for each of the 21 items and also the two fit test panels were newly developed in the study. It is suggested that the study outputs should be utilized practically and effectively in selection, use, and management of respirators at work, expecting that respiratory protection can be furthermore improved for respirator users including labor population across the country.

Key words: respirator, face dimensions, fit test panel, labor population, Size Korea


I. 서 론


호흡보호구(respiratory protective device, RPD) 또는 마스크는 유해·위험한 공기의 흡입으로 인해 발생하는 건강장해 또는 위험으로부터 착용자를 보호하는


도구이다. 호흡보호구 착용은 오랫동안 건강장해나 위험 예방을 위한 대책의 하나로 제시되어 왔는데 최근에 착용자의 안전보건 측면에서 적절한 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리에 관한 관심이 증가되고 있다.

일반적으로 호흡보호구는 크게 일반용(예, 보건용 마

*Corresponding author: Jung-Keun Park, Tel: 02-6711-2813, E-mail: ergo.jkpark@gmail.com
Seoul Metropolitan Headquarters, KOSHA, Chilpae-Ro 42(7th Floor), Joong-Gu, Seoul, South Korea 04512
Received: June 1, 2023, Revised: June 17, 2023, Accepted: June 30, 2023

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

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

 Hyoun-Min Cho <http://orcid.org/0000-0003-4529-9846>

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.

스크), 산업용(예, 방진 또는 방독 마스크), 특수용(예, 의료용, 군용 또는 소방용 호흡보호구)으로 구분할 수 있다. 산업용 호흡보호구는 일반용 및 특수용과 달리 산업안전보건법(산안법) 및 같은 법 하위 규정에 따라 안전인증을 획득한 후 주로 산업 현장에서 사용된다. 산업용 호흡보호구는 산안법 제18조(보건관리자) 및 같은 법 시행령 제22조(보건관리자의 업무 등)에 따라 선정되며, 같은 법 산업안전보건기준에 관한 규칙(안전보건규칙)의 규정에 따라 지급, 착용, 사용 또는 관리된다(KOSHA, 2022). 또한, 산안법 제83조(안전인증기준) 및 같은 법 시행령 제74조(안전인증 대상기계 등)에 따라 보호구 성능시험이 포함된 안전인증을 거친다. 산안법 상 호흡보호구의 선정, 지급, 착용, 유지보수 및 관리에 관한 기술적인 사항은 안전보건공단 기술지침(Korea Occupational Safety and Health Agency Guide, KOSHA Guide)으로 규정되어 있다. 예를 들면, 2020년에 개정된 KOSHA Guide(호흡보호구의 선정·사용 및 관리에 관한 지침, H-82-2020)는 기존 유사 지침들을 정리하여 하나로 통합한 것이다(KOSHA, 2020). 이 KOSHA Guide는 호흡보호구 선정을 위한 고려사항, 선정 절차, 밀착도 검사(fit test) 등을 포함하고 있으며, 보호구의 종류에 따라 정성적·정량적 밀착도 검사 방법을 제시하고 있다.

밀착도 검사는 착용된 호흡보호구와 얼굴의 밀착 수준을 측정하는 검사를 말한다. 밀착도 검사는 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 분야에서 연구의 보고가 증가되면서 관심이 증가되었다(Han et al., 2017; Phee et al., 2019; Seo et al., 2020b). 나라마다 호흡보호구의 밀착도 검사 또는 선정에 관한 규정이 다르다. 미국은 노동자가 안면부 착용 호흡보호구를 처음 사용할 경우, 사이즈, 스타일, 모델 또는 제조사가 다른 호흡보호구를 사용할 때마다, 사용 전에 밀착도 검사를 적어도 매년 실시하도록 법령으로 규정하고 있다(USNARA, 2023). 캐나다, 일본 및 싱가포르의 경우 일부 특정인자(예, 납, 석면 또는 용접흡)를 중심으로 밀착도 검사를 실시하도록 행정규칙 또는 국가표준으로 규정하고 있다(Han et al., 2017; Phee et al., 2019; JMHLW, 2020). 그러나 우리나라는 밀착도 검사에 대해 법령, 행정규칙 또는 국가표준(Korean Standards, KS)으로 규정하고 있지 않고, 대신 기술지침 또는 안내서로 권장하고 있다(KOSHA 2020; MFDS, 2020; NIFDSE, 2021). 밀착도 검사 관련 논란은 착용자의 얼굴특성을

고려하지 않은 점도 포함되었다(Han, 1999; Kim and Kim, 2001; Park et al., 2021a). 호흡보호구의 설계 과정에서 밀착도 검사에 참여하는 피검자를 선정할 때 호흡보호구 사용 인구의 얼굴 형상과 사이즈를 고려하지 않을 경우 피검자의 대표성(representativeness) 또는 밀착도 검사의 신뢰성(reliability)에 대해 논란이 발생될 수 있기 때문이다.

밀착도 검사 패널(fit test panel)은 호흡보호구의 설계 또는 제작 과정에서 밀착도 검사를 실시하기 위해 선정되는 피검자 그룹을 말한다(Hack and McConville, 1978; Han, 1999; Kim et al., 2003; Zhuang et al., 2007; Chen et al., 2009; ISO, 2015). 밀착도 검사 패널은 호흡보호구 사용 인구에 대해 얼굴 특성 측면에서 대표성이 반영되도록 개발되는 것이 바람직하다. Hack and McConville(1978)은 미국 Los Alamos 국립연구소(Los Alamos National Laboratory, LANL) 종사자 200명의 얼굴너비와 얼굴길이를 이용하여 25명 피검자 패널인 이변량 검사 패널(bivariate test panel)을 개발하였으며, 1967년 실시된 미국공군 인체 측정조사 자료를 바탕으로 하였다. Zhuang et al. (2007)은 2003년 3,997명의 미국노동인구를 대상으로 조사된 머리 측정 자료를 이용하여 이변량 검사 패널과 주성분분석 검사 패널(principal component analysis test panel)을 개발하였다. 개발된 두 가지 검사 패널은 각각 ISO/TS 16976-2에 채택되었다(ISO, 2015). 한편, Chen et al.(2009)은 2006년 중국노동자 3,000명을 대상으로 조사된 머리 측정 자료를 이용하여 이변량 및 주성분분석 검사 패널을 각각 개발하였다.

호흡보호구 관련 얼굴의 형상 및 사이즈에 관한 정보는 호흡보호구 사용자 인구의 인체측정 데이터베이스(database, DB)를 이용하는 것이 바람직하다. 우리나라의 경우 ‘한국인 인체 측정 조사(Size Korea) 사업’을 통해 마련된 Size Korea DB가 있다. Size Korea DB는 국가기술표준원이 주관하여 1979년 제1차부터 2020년 제8차까지 5~7년 주기로 실시된 전국적인 인체측정조사 사업의 결과물이다. Size Korea 사업은 차수에 따라 다르나 제5차(2003-2004년), 제6차(2010-2014년) 및 제8차(2020-2021년)의 경우 직접측정 조사와 3차원(three-dimensional, 3D) 인체형상측정 조사로 구분하여 실시하였다. 제5차 Size Korea 사업에 포함된 3D인체형상측정 조사는 영국(2001-2002년)과 미국(2002-2003년)에 이어 한국에서 처음으로 실시되

었다(KATS, 2004, 2010, 2012; Size Korea Center, 2023).

호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무에서 얼굴의 형상 및 사이즈에 관한 인체 측정 정보와 이에 관한 규정 또는 지침이 여전히 부족하다(Park et al., 2021a). 보건용 마스크의 경우, 마스크 크기에 관한 가이드라인이 권장되고 있다(NIFDSE, 2021). 그러나 호흡보호구 관련 업무의 경우 전체적으로 얼굴의 형상 및 사이즈 정보 관리를 위한 규정이 없으며, 호흡보호구 사용자 전체 인구를 대상으로 측정된 얼굴의 형상과 사이즈 정보를 제공하는 KS나 기술지침이 없는 실정이다. 우리나라도 국가 또는 국제표준 수준에 해당하는 호흡보호구 관련 얼굴 사이즈 표준뿐만 아니라 호흡보호구 사용 인구 규모를 바탕으로 개발된 밀착도 검사 패널이 필요하다. 적절한 얼굴 사이즈 표준과 검사 패널을 활용하지 않고 실시하는 밀착도 검사는 바람직하지 않으며, 호흡보호구의 설계, 검인증, 선정, 표준제정, 교육과정 또는 연구과제 업무도 바람직하지 않다. 실시 과정이나 결과가 비과학적이며, 신뢰성 및 타당성(validity)을 담보할 수 없기 때문이다.

이런 측면에서 밀착도 검사 제도(fit test program)가 아직 우리나라에 도입되지 않았지만 도입 전에 노동자의 얼굴 형상 및 사이즈 DB 마련, 검사 패널 개발, 밀착도 검사 교육과정 발굴 등을 위한 연구 자료가 필요하다. 특히, 호흡보호구 관련 얼굴사이즈 DB 구축과 전국적 인구 규모가 반영된 밀착도 검사 패널의 개발은 우리나라 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 연구 분야의 오랜 숙원과제에 포함되므로 연구를 통해 노동자 호흡기 보호 및 제도 개선을 위한 근거자료를 마련하는 것이 중요하다. 따라서 이 연구의 목적은 호흡보호구를 사용하는 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB 구축을 통해 3D얼굴사이즈 데이터의 특징을 살펴보고 한국형 밀착도 검사 패널을 개발하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 및 연구대상

이 연구는 한국인 노동인구의 얼굴 사이즈 특징에 관한 사항과 한국형 호흡보호구 밀착도 검사 패널 개발에 관한 사항을 주요 내용으로 다루었다. 연구대상은 제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사에 참여한 사람이었으며, 연구대상의 선정기준(selection criteria)은 다

음과 같았다: 1)제6차 3D머리형상측정 조사에 참여한 한국인; 2)제6차 3D머리형상측정 조사 자료 중 이미지 데이터 원자료를 이용하여 3D얼굴사이즈 측정 가능자; 그리고 3)산안법 상 노무를 제공하는 자 또는 만15세 이상의 경제활동인구 해당자. 3D머리형상측정 이미지 데이터 원자료가 없거나 데이터의 품질 이상으로 인해 3D얼굴의 형상 및 사이즈 데이터로 활용할 수 없는 참여자는 연구대상에서 제외되었다.

2. 연구 방법

1) 3D얼굴의 사이즈 데이터 수집 및 검토

Size Korea DB는 제1차(1979년)~제8차(2020-2021년) Size Korea 사업에 따라 차수별 보고서와 DB로 구성되어 있으며, Size Korea 센터에서 관리하고 있다(Size Korea Center, 2023). Size Korea DB 중 제5차, 제6차 및 제8차의 경우 3D인체형상측정 조사DB가 포함되어 있다. 3D인체형상측정 조사DB는 사이즈 데이터 DB와 이미지 데이터 DB로 구성되어 있고, 차수에 따라 신체부위(전신, 머리, 손, 발)가 다르게 구성되어 있는데 머리의 형상 및 사이즈 정보는 3D머리형상측정 조사DB로 분리하여 활용이 가능하다. 이 연구는 Size Korea 센터로부터 제6차 3D머리형상측정 조사DB(2010-2013년)를 수집하여 사용하였다. 제5차 3D머리형상측정 조사DB의 경우 2D측정방법을 이용하였기 때문에 선택하지 않았으며, 제6차 조사DB(2014년)와 제8차 조사DB의 경우 이 연구 과제를 수행하는 기간에 대중에게 공개되지 않았기 때문에 선택할 수 없었다.

제6차 Size Korea는 직접측정 조사와 3D인체형상측정 조사로 구분하여 실시되었으며, 각 조사를 위한 측정기간, 참여자, 조사기관, 거주지역 등이 달랐다(KATS, 2010 and 2012; Size Korea Center, 2023). 3D인체형상측정 조사의 경우 참여자는 총4,778명(7-69세)이었으며, 2010년에 848명(20-39세, 건국대), 2011년 1,238명(7-13세, 건국대), 2012년 1,228명(40-69세, 아이패션비즈센터) 및 2013년 1,464명(13-18세, 한국표준과학연구원)이었다. 참여자는 모두 수도권 지역 거주자이었다. 제6차 3D머리형상 사이즈 데이터는 3D머리측정 데이터(45항목)와 직접측정 데이터(21항목)로 구분되었다. 3D머리측정 데이터는 3D스캐너(scanner), 줄자 및 역설계 소프트웨어를 사용하여 측정되었다. 직접측정 데이터는 3D머리측정 데이터의 보완적 데이터로서 참여자마다 동일 장소 및 날짜에

3D인체측정 직후 직접 측정 장소로 이동하여 Martin 식 인체측정자(Martin-type anthropometer)와 체중계를 사용하여 측정되었다. 한편, 3D 얼굴 또는 머리 사이즈 데이터에 대한 세부적인 수집 및 검토 방법은 다른 문헌에 이미 보고되었다(Park et al., 2021a).

자는 3,088명(13-69세, 사용불가자 1,690명 제외)이었으며, 연도에 따라 2010년 846명(20-39세, 사용불가자 2명 제외), 2011년 0명(7-13세, 1,238명 제외), 2012년 1,213명(40-69세, 15명 제외) 그리고 2013년 1,029명(13-18세, 435명 제외)이었다. 사용불가자

2) 5가지 항목의 3D얼굴 사이즈 측정

제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사DB는 ISO/TS 16976-2에 따라 검토하였으나 이 연구의 목적을 달성하기 위해 필요한 3D얼굴사이즈 항목의 일부가 없었다. 해당 항목은 5가지이었다: 1)얼굴너비(bizygomatic breadth 또는 face width); 2)최소이마뼈너비(minimum frontal breadth); 3)목둘레(neck circumference); 4)귀구슬사이이마둘레(bitragion frontal arc); 그리고 5)최대이마뼈너비(maximum frontal breadth). 이들 5가지 3D항목의 사이즈 데이터는 제6차 3D머리형상측정 조사DB에 포함된 이미지 데이터 원자료를 이용하여 새롭게 측정되었으며, 과업용역을 통해 확보하였다. 과업용역의 조사 대상자는 제6차 3D머리형상측정 조사에 참여했던 4,778명이었다. 3D머리형상측정 이미지 데이터 원자료는 3D얼굴사이즈 측정 가능성 등에 대해 검토한 결과, 4,778명 중 사용 가능

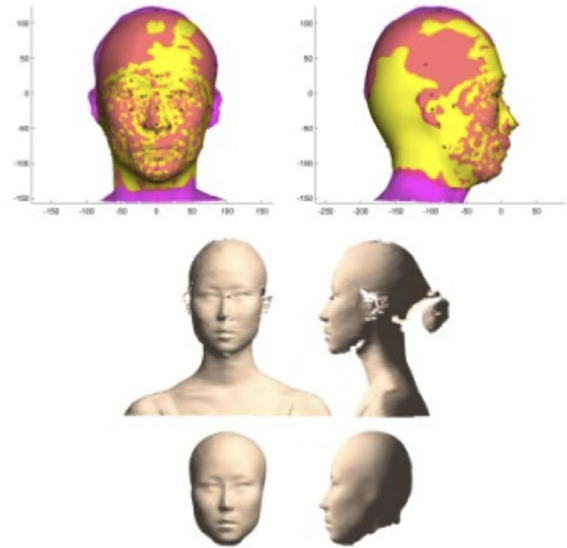


Figure 1. Template model registration process and example outputs(Source: Lee, 2021)

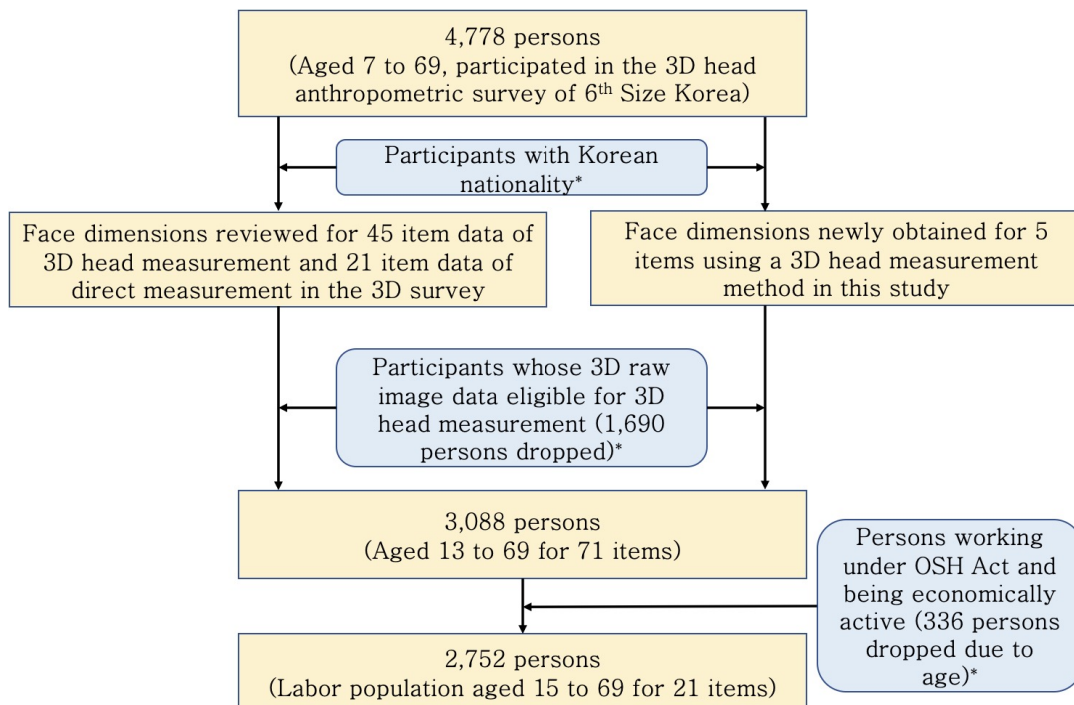


Figure 2. Selection criteria for subjects(*) and 3D face dimensions items

1,690명 중 422명(2013년, 13-18세)은 이미지 데이터 원자료가 없었으며, 나머지 1,268명은 이미지 데이터 원자료의 품질이상 등으로 3D얼굴사이즈 측정이 불가능했다. 3D얼굴사이즈 측정도구는 인체측정 기준점(land mark) 표기 프로그램 소프트웨어인 Matlab 2020a (The Mathwork Inc., MA, USA)이었으며, 측정절차는 다음과 같았다(Lee, 2021; Lee et al., 2020): 1)얼굴사이즈 측정 기준점 표기(3D얼굴 이미지에 11개 기준점 표기); 2)모드정합(template model registration) 기법 적용. 기준점을 기반으로 얼굴방향 자동 조절 가능. 기준점이 표기되어 있는 모드(노란색)를 각 얼굴(핑크색)에 정합하면 모드가 각 얼굴에 정합되면서 기준점이 각 얼굴에 자동 표기됨(Figure 1); 3)3D얼굴사이즈 검토타 및 측정; 그리고 4)측정된 데이터 검증. 과업용역 과정에서 얻어진 정보는 데이터 관리, 통계분석, 국내·외 연구결과 비교 등 검증 과정을 거쳤으며, 5가지 3D얼굴사이즈 데이터를 포함한 과업용역 결과는 적합한 것으로 나타났다(Lee, 2021).

3) 3D 얼굴사이즈 항목 선정 및 DB 구축

제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사DB에 포함된 3D얼굴사이즈 데이터 항목(45가지)과 직접 측정 사이즈 데이터 항목(21가지), 그리고 이 연구에서 새롭게 측정된 3D얼굴사이즈 데이터 항목(5가지)을 합한 총 71가지에 대해 검토하였으며, 이 연구는 ISO/TS 16976-2에 따라 Figure 2와 같이 71가지 항목 중 21가지를 선정하였다(ISO, 2015). 선정된 21가지 항목은 KS A ISO 15535에 따라 DB의 형식(format)을 갖춘 후 '한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB'로 구축하였다(KSRC, 2021).

4) 한국형 호흡보호구 밀착도 검사 패널 개발

호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무에서 밀착도 검사를 실시할 때 활용 가능한 검사 패널(test panel)을 개발하고자 하였다. 검사 패널은 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB를 이용하여 ISO/TS 16976-2에 따라 이변량 검사 패널과 주성분분석 검사 패널로 구분하여 개발하였다.

이변량 검사 패널은 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB로부터 선정된 두 가지 변량 또는 변수(variable) 즉, 얼굴너비(bizygomatic breadth 또는 face width)와 얼굴수직길이(menton sellion length 또는 face

length)를 선정하고 이들 변량의 데이터를 이용하여 개발하였다. 얼굴너비와 얼굴수직길이 각각을 x축과 y축으로 정하고, x축과 y축 각각에 대해 가장 큰 값(남성 평균 + 2표준편차)과 가장 작은 값(여성 평균 - 2표준편차)으로 이루어진 길이를 4등분하여 16개 구역으로 나눴다. 연구대상자의 분포 비율이 작은 구역을 통폐합시켜 10개 구역으로 재조정하였으며, 10개 구역에 분포된 연구대상자는 전체 연구대상자 중 적어도 95% 이상 포함하도록 하였다.

주성분분석 검사 패널은 한국인 노동인구 얼굴사이즈 DB로부터 선정된 10가지 얼굴사이즈 변량(최소이마뼈너비, 얼굴너비, 아래턱사이너비, 얼굴수직길이, 눈동자사이너비, 머리너비, 코높이, 코너비, 눈구석사이너비, 코길이)을 이용하여 개발하였다. 10가지 변량 항목에 대하여 주성분분석 통계기법으로 10가지 주성분의 고유벡터(eigenvector)를 산출하고 처음 두 가지 주성분 1과 주성분2의 통계량(score)을 산출하였다. 산출된 주성분1 통계량과 주성분2 통계량을 각각 x축과 y축으로 정하여 원점이 동일한 2개의 타원으로 구성하였으며, 2개의 직선을 수직 교차시켜 8개 구역으로 구분하였다. 2개 타원에 분포된 연구대상자는 전체 연구대상자를 적어도 95% 이상 그리고 내부 타원이 전체의 약 50%를 포함하도록 하면서 알고리즘(algorithm)과 주성분분석 검사 패널을 개발하였다.

5) 데이터 관리 및 통계분석

한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB는 연구팀의 실험실 PC에 구축되었으며, 3D얼굴사이즈 데이터의 특징을 파악하고 호흡보호구 밀착도 검사 패널 개발에 필요한 자료검토 및 통계분석에 수시로 사용되었다.

연구대상자의 성, 나이, 체질량지수(body mass index, BMI) 등 인구학적 특징, 머리 측정 기준점, 얼굴 사이즈의 항목 및 정의에 관한 정보를 검토하였으며, 한국 총인구(2015-2020년)와 노동인구의 분포 특징을 고려하면서 기술통계 및 통계분석을 위한 검토를 실시하였다. 3D얼굴사이즈 데이터의 특징은 성별 항목별 얼굴 사이즈의 대푯값(산술평균, 표준편차, 최솟값, 최댓값, 백분위수)으로 제시하였다.

이변량 패널과 주성분분석 패널의 개발과정에서 3D얼굴사이즈 데이터의 산포도와 대푯값을 산출하였으며, 25명 밀착도 검사 패널 모델의 대상자를 추정하였다. 주성분분석 패널의 경우 10가지 주성분의 고유벡터를

산출한 후, 처음 두 가지 주성분(주성분1 및 주성분2)의 통계량을 산출하였으며, 알고리즘을 개발하여 각 연구 대상자가 8가지 구역 중 하나로 분류되도록 하였다 (Zhuang et al., 2007; ISO, 2015). 통계분석(t-test, χ^2 -test, principal component analysis 포함)은 SAS Windows 9.4(SAS Institute Inc., Cary, USA)를 이용하였으며, 유의수준은 0.05이었다.

III. 결 과

1. 일반사항

최종 연구대상자는 총 2,752명이었다(Table 1). 연구 대상자의 남녀 분포는 각각 52.9%, 47.1%이었고, 남녀 나이 평균과 표준편차는 36.2 ± 17.4 세, 38.3 ± 17.2 세이었고, 키 170.1 ± 66.4 cm, 158.1 ± 56.3 cm, 몸무게 67.6 ± 10.8 kg, 56.2 ± 8.2 kg이었다. 또한 나이그룹, 체질량 지수, 조사연도에 따라 달랐으며, 조사지역은 수도권이었다.

2. 한국인 노동인구의 얼굴사이즈 특징

한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB는 연구대상자 2,752명의 3D얼굴사이즈 데이터로 구성되어 있으며, 3D얼굴사이즈 데이터의 얼굴측정 기준점은 30개이었다(부록1 Table A1). 얼굴사이즈의 정의는 21가지 항목에 따라 부록1 Table A2와 같았으며, 길이의 단위는 mm이고 무게는 kg이었다.

Table 1. 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	Underweight
BMI (kg/m ²)*	18.5-24.9	68.6	Normal
	25-<30	21.8	Overweight
	30-35	2.8	Moderately obese
Survey year (Year)	2010	30.7	Age: 20-39
	2012	44.1	Age: 40-69
	2013	25.2	Age: 15-18
Survey location	Capital area	100.0	

*Source: WHO(2021).

연구대상자의 남녀 얼굴사이즈 데이터는 항목에 따라 평균, 표준편차, 최솟값, 최댓값 및 백분위수를 나타낸 것이며, 각각 Table 2 및 Table 3과 같았다. 예를 들면, 남녀 각각 21개의 3D얼굴사이즈 항목 중 얼굴너비의 평균과 표준편차는 각각 137.6 ± 5.7 mm, 133.2 ± 5.0 mm이었고, 얼굴수직길이의 평균과 표준편차는 각각 116.6 ± 7.0 mm, 107.8 ± 6.8 mm이었다.

Table 2. Features of 3D face dimensions in South Korean male labor population(Unit: mm or kg)

Dimension	Number	Mean	SD*1	Min.	Max.	Percentile		
						5th	50th	95th
Bigonial breadth (Jaw width)	1,441	128.2	11.0	90	161	109	129	146
Bitracion chin arc	1,033	343.0	30.2	277	445	307	336	410
Bitracion coronal arc	1,441	376.0	22.9	294	466	334	376	412
Bitracion frontal arc*2	1,456	312.8	11.6	264	352	295	313	332
Bitracion subnasale arc	1,033	307.6	28.4	255	402	276	300	373
Bizygomatic breadth(Face width)*2	1,456	137.6	5.7	119	160	128	138	147
Head breadth	1,441	165.1	8.9	136	192	150	166	179
Head circumference	1,441	586.1	21.3	520	696	556	584	623
Head length	1,441	194.3	9.2	167	229	180	193	210
Interpuillary distance	1,440	69.4	5.5	53	86	61	69	78
Lip length	1,441	50.7	8.6	31	78	38	50	64
Maximum frontal breadth*2	1,456	112.1	5.1	93	133	104	112	120

Table 2. Continued

Dimension	Number	Mean	SD* ¹	Min.	Max.	Percentile		
						5th	50th	95th
Menton Sellion length (Face length)	1,441	116.6	7.0	96	143	105	117	128
Minimum frontal breadth* ²	1,455	107.3	5.1	89	129	99	107	116
Nasal root breadth	1,441	35.2	7.4	21	56	26	33	49
Neck circumference* ²	1,394	382.0	30.6	299	598	339	378	435
Nose breadth	1,440	36.8	3.3	28	56	32	37	42
Nose protrusion	1,033	13.6	2.3	6	23	10	14	17
Subnasale Sellion length(Nose length)	1,441	53.2	3.9	42	68	47	53	60
Stature(Height)	1,453	1,701.3	66.4	1,485	1,881	1,587	1,704	1,809
Weight	1,455	67.6	10.8	39	126	51	67	87

*1: Standard deviation

*2: Newly obtained in this study since they are not in the list of the 6th Size Korea DB.

Table 3. Features of 3D face dimensions in South Korean female labor population(Unit: mm or kg)

Dimension	Number	Mean	SD* ¹	Min.	Max.	Percentile		
						5th	50th	95th
Bigonial breadth (Jaw width)	1,291	121.6	11.2	80	166	102	123	138
Bitragion chin arc	1,007	311.6	16.0	272	414	288	311	337
Bitragion coronal arc	1,291	368.4	15.7	312	489	345	367	393
Bitragion frontal arc* ²	1,296	299.4	11.0	260	341	281	299	317
Bitragion subnasale arc	1,007	282.7	14.0	240	369	262	282	303
Bizygomatic breadth(Face width)* ²	1,296	133.2	5.0	117	153	125	133	142
Head breadth	1,291	158.8	8.5	138	194	145	159	173
Head circumference	1,291	564.5	18.4	512	663	537	563	595
Head length	1,291	187.2	8.9	167	229	175	187	202
Interpuillary distance	1,291	67.3	4.9	50	84	60	67	75
Lip length	1,291	46.9	7.9	28	71	35	46	59
Maximum frontal breadth* ²	1,296	107.9	4.5	88	126	101	108	115
Menton Sellion length (Face length)	1,290	107.8	6.8	90	131	96	108	119
Minimum frontal breadth* ²	1,296	103.1	4.6	84	120	96	103	111
Nasal root breadth	1,291	34.4	6.3	22	54	26	33	47
Neck circumference* ²	1,247	338.6	31.0	277	675	296	335	391
Nose breadth	1,290	32.9	3.3	23	47	28	33	38
Nose protrusion	1,007	12.1	2.3	5	20	8	12	16
Subnasale Sellion length(Nose length)	1,291	50.3	4.0	40	68	44	50	57
Stature(Height)	1,294	1,581.9	56.3	1,390	1,737	1,488	1,583	1,675
Weight	1,296	56.2	8.2	33	127	45	55	70

*1: Standard deviation

*2: Newly obtained in this study since they are not in the list of the 6th Size Korea DB.

3. 한국형 밀착도 검사 패널 개발

1) 이변량 검사 패널(Bivariate test panel)

이변량 패널은 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB에 있는 두 가지 얼굴 사이즈 변량(얼굴너비 및 얼굴수직길이)의 데이터를 이용하여 개발되었다. 두 가지 변량 데이터의 산포도는 Figure 3과 같았으며, 한국형 이변량 검사 패널은 Figure 4와 같았다.

이변량 검사 패널은 연구대상자 2,731명의 95.2%를 포함하였으며(Table 4), 남녀 연구대상자는 각각의 94.9%, 95.4%를 포함한 것으로 나타났다. 이변량 검사 패널을 ‘25명 밀착도 검사 패널’ 모델에 적용시킬 경우 남성은 각각 12명, 13명으로 선정되었고, 10개 구역에

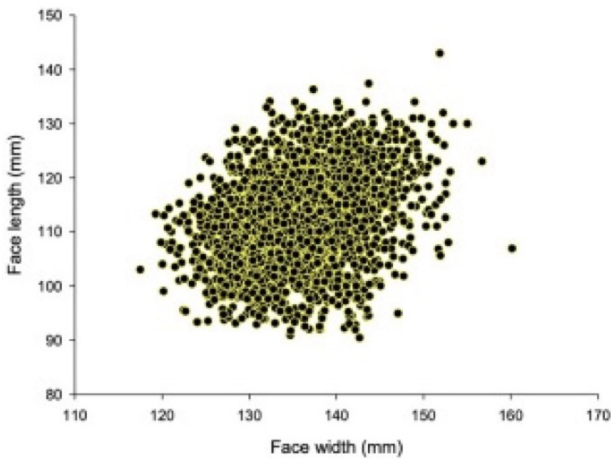


Figure 3. Scatter plot of face width and face length for South Korean bivariate test panel(N=2,731 persons; Missing value= 21)

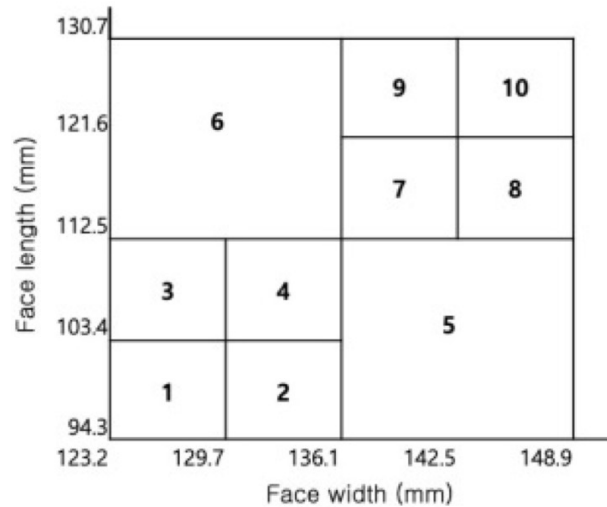


Figure 4. South Korean bivariate test panel based on face width and face length(N=2,731 persons; Missing value= 21)

따라 성별 구역별 인구분포 비율을 고려하여 2~4명의 검사 대상자 수가 추정되었다.

2) 주성분분석 검사 패널(Principal component analysis test panel)

주성분분석 검사 패널은 한국인 노동인구의 3D얼굴 사이즈 DB에 있는 10가지 얼굴사이즈 변량의 데이터를 이용하여 개발되었다(Table 5).

10가지 변량의 데이터는 주성분분석 기법이 적용된 통계분석에 사용되었고, 통계분석을 통해 산출된 10가지 주성분 중 처음 두 가지 주성분1과 주성분2에 대한

Table 4. Distribution of population and number of subjects for South Korean bivariate test panel

Cell	Distribution(%)			Number of subjects for 25 fit test panel model		
	Male	Female	Total	Male	Female	Total
1	0.7	6.0	3.2	-	2	2
2	1.0	11.1	5.8	1	1	2
3	2.4	10.9	6.4	1	1	2
4	9.4	25.4	16.9	1	2	3
5	12.7	18.2	15.3	1	2	3
6	25.2	16.2	20.9	2	2	4
7	21.7	6.2	14.4	1	2	3
8	6.7	0.5	3.8	1	1	2
9	9.0	0.8	5.1	2	-	2
10	6.1	0.2	3.3	2	-	2
Total	94.9	95.4	95.2	12	13	25

Table 5. Mean and standard deviation of 10 face dimensions for South Korean principal component analysis test panel (Unit: mm)

Face dimensions	Number	Mean	Standard deviation	Min.	Max.
Minimum frontal breadth	2,751	105.3	5.3	84.3	129.0
Face width	2,752	135.5	5.8	117.5	160.1
Jaw width	2,732	125.1	11.6	80.0	165.8
Face length	2,731	112.5	8.2	90.4	143.0
Interpupillary distance	2,731	68.4	5.3	50.0	86.0
Head breadth	2,732	162.1	9.3	136.0	193.8
Nose protrusion	2,040	12.8	2.4	5.0	23.0
Nose breadth	2,730	34.9	3.8	23.4	56.1
Nasal root breadth	2,732	34.8	7.0	20.6	56.3
Nose length	2,732	51.8	4.2	39.6	67.7

Table 6. Eigenvectors from principal component analysis to South Korean labor population

Face dimensions	Principal component1	Principal component2
Minimum frontal breadth	0.425905	0.111704
Face width	0.437465	0.053653
Jaw width	0.216894	0.517003
Face length	0.379257	-0.145838
Interpupillary distance	0.289425	-0.457620
Head breadth	0.249411	0.446659
Nose protrusion	0.204913	0.237037
Nose breadth	0.349140	-0.202447
Nasal root breadth	0.120745	-0.424226
Nose length	0.334530	-0.100117

고유벡터는 Table 6과 같았다.

주성분1 및 주성분2 통계량은 식(1)과 식(2)를 이용하여 연구대상자 각각에 대해 산출되었으며, 알고리즘은 연구대상자 각각의 구역 결정에 사용되었다(부록2). 주성분1 및 주성분2 통계량의 산포도는 Figure 5와 같았으며, 한국형 주성분분석 검사 패널은 Figure 6과 같았다.

$$\text{주성분1} = 0.425905(\text{최소이마뼈너비}) + 0.437465(\text{얼굴너비}) + 0.216894(\text{아래턱사이너비}) + 0.379257(\text{얼굴수직길이}) + 0.289425(\text{눈동자사이너비}) + 0.249411(\text{머리너비}) + 0.204913(\text{코높이}) + 0.349140(\text{코너비}) + 0.120745(\text{눈구석사이너비}) + 0.334530(\text{코길이}) \text{ ----- (식1)}$$

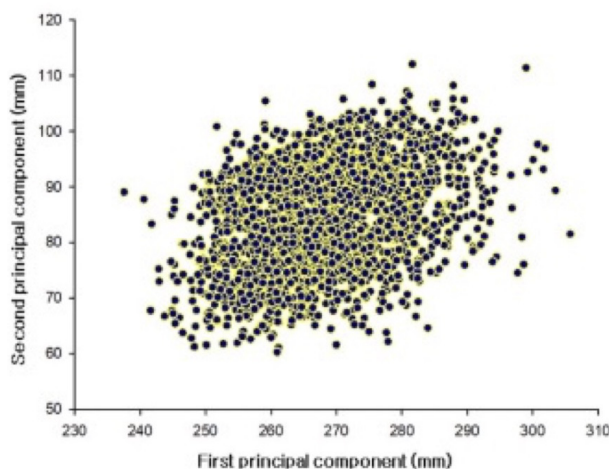


Figure 5. Scatter plot of two principal component statistics for South Korean principal component analysis test panel (N= 2,037 persons; Missing value= 715)

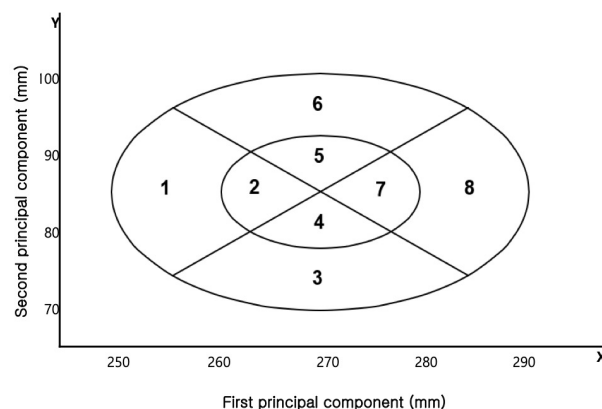


Figure 6. South Korean principal component analysis test panel based on two principal component statistics (N= 2,037 persons; Missing value= 715)

Table 7. Distribution of population and number of subjects for South Korean principal component analysis test panel

Cell	Distribution(%)			Number of subjects for 25 fit test panel model		
	Male	Female	Total	Male	Female	Total
1	0.3	8.0	3.9	-	2	2
2	31.0	33.1	32.0	3	3	6
3	12.9	25.1	18.6	1	3	4
4	5.3	7.2	6.2	1	1	2
5	6.7	7.8	7.2	1	1	2
6	22.5	13.4	18.2	2	3	5
7	8.2	1.2	4.9	2	-	2
8	8.1	0.3	4.4	2	-	2
Total	95.1	96.1	95.5	12	13	25

주성분2 = 0.111704(최소이마뼈너비) + 0.053653(얼굴너비) + 0.517003(아래턱사이너비) - 0.145838(얼굴수직길이) - 0.457620(눈동자사이너비) + 0.446659(머리너비) + 0.237037(코높이) - 0.202447(코너비) - 0.424226(눈구석사이너비) - 0.100117(코길이) ----- (식2)

주성분분석 검사 패널은 연구대상자 2,037명의 95.5%를 포함하였으며(Table 7), 남녀 연구대상자는 각각 95.1%, 96.1%를 포함한 것으로 나타났다. 주성분 분석 검사 패널을 ‘25명 밀착도 검사 패널’ 모델에 적용시킬 경우 남녀는 각각 12명, 13명으로 선정되었고 8가지 구역에 따라 성별 구역별 인구분포 비율을 고려하여 2~6명의 검사 대상자 수가 추정되었다.

IV. 고 찰

1. 3D얼굴사이즈 데이터 특징

1) 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB 구축
 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB가 구축되었다. 구축된 DB는 ISO/TS 16976-2에 따라 21가지 항목으로 구성되었으며, 제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사DB로부터 선정된 2,752명의 데이터로 이루어졌다(ISO, 2015; KSRC, 2021). 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB를 구축하기 위해서 21가지 항목 중 5가지 항목(귀구슬사이마호길이, 얼굴너비, 최대이마뼈너비, 최소이마뼈너비, 목둘레)의 데이터는 이 연구에서 새롭게 측정되었다. 이들 5가지 항목의 데이터가 제6차 3D머리형상측정 조사DB에 없었기 때문이다. 5가지 항목

의 데이터가 없었던 이유는 아마도 제6차 조사가 실시된 2010-2013년에 해당 국제표준(ISO/TS 16976-2)이 아직 제정되지 않았기 때문이며, 국가적인 차원으로 추진된 Size Korea 사업 과정에서 국제적인 연구동향이 충분히 반영되지 못했던 점과 관련될 것이다. 목둘레 데이터의 경우 제6차 Size Korea 직접측정 조사DB(2D 자료)에 포함되어 있었지만 3D머리형상측정 조사DB에 포함되어 있지 않았기 때문에 이 연구에서 사용될 수 없었다. 5가지 항목의 데이터는 제6차 3D머리형상측정 조사DB에 포함된 3D머리형상측정 이미지 데이터 원자료를 이용하여 측정함으로써 새롭게 추가될 수 있었다.

한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB는 5가지 항목의 3D얼굴사이즈 데이터를 새롭게 추가함으로써 ISO/TS 16976-2의 필요사항(21가지 항목)을 충족시켰고, KS A ISO 15535의 필요사항(DB의 형식)까지 충족시킴으로써 연구목적 달성을 위한 DB로 구축되었다. 구축된 3D얼굴사이즈 DB의 데이터를 활용할 경우 국내 및 국제적으로 비교가 가능하다. 따라서 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB가 구축됨으로써 호환보호구 사용 노동인구의 얼굴사이즈에 대해 국내 및 국제적인 수준의 정보로 활용될 수 있는 기초자료가 마련되었다고 할 수 있다.

2) 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 데이터 특징

한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB를 구성하는 2,752명의 21가지 3D얼굴사이즈 데이터는 성 및 항목에 따라 평균, 표준편차, 최솟값, 최댓값, 백분위수로 산출되었다. 예를 들면, 얼굴너비의 평균과 표준편차는

남녀 각각 137.6 ± 5.7 mm, 133.2 ± 5.0 mm이었고, 얼굴수직길이의 평균과 표준편차는 남녀 각각 116.6 ± 7.0 mm, 107.8 ± 6.8 mm이었다. 얼굴너비와 얼굴수직길이에 대해 성 및 나이를 고려하면서 비교 가능한 기존의 연구결과와 정성적으로 비교하였다. Han(1999)은 522명(남 78%, 여 22%; 나이 20세 이상)의 근로자와 대학생을 대상으로 얼굴너비와 얼굴길이를 직접조사 방법으로 측정하였는데 얼굴너비의 경우 남녀 각각 145.1 ± 5.9 mm, 136.7 ± 5.4 mm이었고, 얼굴길이는 120.2 ± 6.2 mm, 109.7 ± 4.5 mm로 보고하여 남녀 각각 이 연구의 얼굴너비와 얼굴수직길이보다 더 큰 것으로 나타났다. Kim et al.(2003)은 102명(남 69%, 여 31%; 나이 20~40세)의 대학생 및 근로자를 대상으로 얼굴에 대해 3D형상해석을 위한 자료를 확보한 후 얼굴길이를 측정했는데 남녀 각각 122.38 ± 5.54 mm, 113.25 ± 4.79 mm로 보고하여 이 연구의 얼굴수직길이보다 남녀 각각 더 큰 것으로 나타났다. 이 연구 및 국내 기존 연구의 결과 비교에서 얼굴너비의 범위는 남녀 각각 $137.6 \sim 145.1$ mm, $133.2 \sim 136.7$ mm이었고, 얼굴수직길이 범위는 $116.6 \sim 122.38$ mm, $107.8 \sim 113.25$ mm인 것으로 나타났으나 표준편차를 고려할 경우 비교 대상 얼굴사이즈 중 어느 것도 크게 벗어나지 않았다. 다만, 이 연구의 얼굴너비와 얼굴수직길이 상대적으 작았는데 그 이유는 20세 미만의 연구대상자(693명)가 전체의 25% 이상 포함되었기 때문일 것이며, 이런 점은 다른 연구결과가 지지하였다(Hughes and Lomaev, 1972; Seo et al., 2020a). Hughes and Lomaev(1972)는 호주 일반남자(나이 15-80세) 335명의 얼굴사이즈 측정결과를 보고했는데 21세 미만의 연령그룹은 21-59세 연령그룹보다 얼굴이 더 작았고, 얼굴너비의 경우 통계적으로 매우 유의하게 작았는데 이런 차이는 얼굴뼈가 구조적으로 25세까지 성장하는 점과 관련된다고 하였다. Seo et al.(2020a)은 제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사DB에 있는 4,583명(남 50.8%, 여 49.2%; 나이 7-69세)의 얼굴길이의 평균과 표준편차를 산출하였는데 남녀 각각 111.2 ± 23.1 mm, 104.7 ± 12.2 mm로 보고하여 남녀 각각 이 연구의 얼굴수직길이보다 더 작은 것으로 나타났으며, 20세 미만의 연구대상자(2,525명)가 전체의 55% 이상 포함되었기 때문일 것이다. 비록 국내에서 보고된 일부 연구결과를 중심으로 비교를 실시했으나, 이 연구에 참여했던 연구대상자의 얼굴너비와 얼굴수직

길이는 다른 연구의 연구대상자 얼굴크기에서 크게 벗어나지 않은 것으로 나타났다.

국가 간 노동인구의 얼굴사이즈 데이터에 대해 정성적으로 비교하였다. 미국 남녀 노동자 얼굴너비의 경우 각각 143.5 ± 6.9 mm, 135.1 ± 6.5 mm이었고(Zhuang and Bradtmiller, 2005), 중국 남녀 노동자의 경우 각각 147.5 ± 4.7 mm, 139.9 ± 6.3 mm로 나타나(Du et al, 2008), 이 연구의 연구대상자 얼굴너비는 미국과 중국 노동자의 얼굴너비 보다 더 작은 것으로 나타났다. 미국 남녀 노동자 얼굴수직길이의 경우 각각 122.7 ± 7.0 mm, 113.4 ± 6.1 mm이었고(Zhuang and Bradtmiller, 2005), 중국 남녀 노동자의 경우 각각 117.3 ± 5.6 mm, 110.3 ± 7.2 mm로 나타나(Du et al, 2008), 이 연구의 연구대상자 얼굴수직길이가 미국과 중국 노동자의 얼굴수직길이 보다 더 작은 것으로 나타났다. 21가지 항목 중 5가지(얼굴너비, 얼굴수직길이, 키, 몸무게, 목둘레)를 제외한 나머지 16가지 3D얼굴사이즈 항목도 살펴보았는데, 항목에 따라 전체적으로 국가 간 노동자의 얼굴사이즈에 차이가 존재되어 있었다. 키, 몸무게 및 목둘레의 경우 한국과 중국 노동자간 차이가 없었으나 한국과 미국 노동자간 차이가 있었다.

한편, 3D얼굴사이즈 데이터와 2D얼굴사이즈 데이터의 차이를 검토하고자 하였다. 제6차 Size Korea DB를 구성하는 두 가지 조사DB에 포함된 데이터를 살펴 보았는데, 3D머리형상측정 조사 참여자(수도권 4,778명)로부터 선정된 이 연구의 연구대상자(2,752명, 3D그룹)와 직접측정 조사 참여자(전국 14,016명)로부터 선정된 노동인구(8,343명, 2D그룹)가 비교되었다(Park et al., 2021b). 얼굴사이즈 비교가 가능한 9가지 항목에 대해 분석하였으며, 대상 항목은 귀구슬사이머리위길이, 머리너비, 머리둘레, 머리두께, 눈동자사이너비, 얼굴수직길이, 목둘레, 키 및 몸무게이었다. 9가지 각 항목의 얼굴사이즈 데이터에 대해 두 그룹 간 분석결과, 성 및 항목에 따라 각각 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사DB를 구성한 두 그룹의 데이터도 ISO 20685-1에 따라 비교하였다(ISO, 2015). 3D머리측정 항목(45가지)과 직접측정 항목(21가지) 중 데이터 확보가 가능한 3가지 항목(귀구슬사이너비, 귀구슬사이머리위길이, 머리둘레)을 대상으로 남녀 전체 및 각각의 대푯값을 비교했다(Park et al., 2021b). 비교 결과, 3D측정 데이

터의 평균이 직접측정 데이터의 평균보다 전반적으로 높게 나타났고, 3개 항목의 데이터 평균 차이는 13-21 mm로 나타났으며, 3D측정 데이터와 직접측정 데이터 간 최대허용오차(maximum allowable error) 기준을 초과한 것으로 나타났다.

3) 신뢰성 및 타당성 향상 노력

한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB는 국가 또는 국제 표준(ISO/TS 16976-2, ISO 7250-1 및 KS A ISO 15535)에 따라 구축함으로써 구축된 DB가 활용된 연구결과의 비교성(comparability)을 향상시킬 수 있게 되었다(ISO, 2008; ISO, 2015; KSRC, 2021). 제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사 기관들도 조사 방법 및 결과의 신뢰성과 타당성을 향상시키고자 노력했을 것이다. 조사 규모 특성상 조사대상자를 나이 그룹에 따라 1년 단위 프로젝트로 계획하여 추진함으로써 나이그룹별 데이터의 균질성을 향상시키고자 하였으며, 3D인체형상측정 조사의 경우 조사 참여자가 동일 날짜 및 장소에서 3D측정 데이터뿐만 아니라 직접측정 데이터까지 확보함으로써 3D데이터의 활용성과 측정 방법 간 비교성을 높였던 것으로 나타났다(KATS, 2012).

신뢰성과 타당성은 연구 과제를 수행할 때 고려하는 중요한 요소이다. 인체측정 데이터는 모집단 인구 및 품질의 측면에서 신뢰할 수 있어야 하기 때문이다. 이 연구는 연구대상자 선정기준의 설정과 3D얼굴사이즈의 데이터 관리 과정에서 한국인 노동인구 3D얼굴사이즈 DB의 대표성을 향상시키고자 했고, 연구의 방법이나 결과의 신뢰성과 타당성을 높이기 위해 노력했다. 전국적 거주자를 대상으로 측정된 제5차 Size Korea 3D인체형상측정 데이터는 지역에 따라 통계적으로 유의한 차이가 없었다고 했다(KATS, 2012). 제6차 Size Korea 3D인체형상측정 조사가 수도권 거주자로 선정된 이유는 제5차 3D인체형상측정 조사에서 지역에 따라 통계적으로 유의한 차이가 없다고 보고되었던 점, 3D인체측정 장비(예, 전신스캐너)의 크기 특성상 이동의 어려움, 그리고 3D인체측정 조사를 위한 시간과 예산의 제한점 등 때문이었을 것이다(Park et al., 2021a).

연구대상자의 인구학적 특성은 성, 나이, 키, 몸무게 및 BMI에 따라 다양했다. 제6차 Size Korea DB 중 3D머리형상측정 조사에 참여한 이 연구의 연구대상자(2,752명)와 직접측정 조사에 참여한 노동인구(8,343

명)에 대해 성별 분포를 비교한 결과, 이 연구의 연구대상자는 남녀 각각 52.9%, 47.1%이었고, 직접측정 조사 참여자의 남녀는 각각 53.0%, 47.0%로 나타나 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$)(Park et al., 2021b). 나이그룹 분포는 연구대상자의 경우 15-29세가 41.2%, 30-44세 21.8%, 45-69세 37.0%로 나타났고, 직접측정 조사 참여자의 경우 15-29세가 55.2%, 30-44세 24.7%, 45-69세 20.1%로 나타나 나이그룹 분포에서 두 그룹간 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). BMI는 연구대상자의 경우 $< 18.5 \text{ kg/m}^2$ 가 6.8%, 18.5-24.9 kg/m^2 68.6%, 25- $< 30 \text{ kg/m}^2$ 21.8%, $> 30 \text{ kg/m}^2$ 2.8%이었고, 직접측정 조사 참여자는 $< 18.5 \text{ kg/m}^2$ 가 8.1%, 18.5-24.9 kg/m^2 67.7%, 25- $< 30 \text{ kg/m}^2$ 21.5%, $> 30 \text{ kg/m}^2$ 2.7%로 나타나 두 그룹 사이에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). 한편, 2015-2020년 한국총인구(51,829,136명)의 성별 분포는 남녀 각각 50.0%, 50.0%이었으며, 나이그룹은 15-29세가 18.3%, 30-44세 21.2%, 45-69세 37.7%로 나타났는데(Statistics Korea, 2021), 이 연구의 연구대상과 2015-2020년 한국총인구를 정성적으로 비교할 경우, 성별 및 일부 나이그룹(30-44세 및 45-69세)의 구성분포에서 유사한 경향이 나타났다.

연구대상자의 성 및 항목에 따라 얼굴사이즈 데이터의 특징을 살펴보고, 얼굴너비와 얼굴수직길이를 중심으로 국내 및 국외 연구결과와의 차이를 비교하였으며, 2D와 3D 데이터의 차이를 살펴보았다. 선택적으로 실시했지만 변수(국가, 성, 나이그룹, 2D/3D 측정방법 등)에 따른 얼굴사이즈의 차이를 단순 파악하기보다 이 연구의 얼굴사이즈 데이터의 특징에 관한 정보를 다각적으로 제공하고자 했다. 비록 비교할 수 있는 국가표준이 없고 전국 규모의 얼굴사이즈 DB가 부족한 실정에서 다른 연구결과와의 차이 유무 또는 정도에 관한 정보가 제공하는 의미는 제한적이겠으나 이 연구의 얼굴너비와 얼굴수직길이는 국내 다른 연구의 얼굴사이즈 데이터와 큰 차이를 보이지 않은 것으로 나타났다. 이런 측면에서 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무를 수행하는 한국인 노동인구의 얼굴 형태 및 사이즈에 관한 정보가 필요할 때 이 연구에서 제시된 얼굴사이즈 데이터를 활용할 수 있다. 또한, 특정 노동자 그룹(예, 이주노동자)의 경우 인종, 민족, 국가 등 변수에 따른 차이를 고려하여 얼굴사이즈 데이터를 활용하는 것이 바람직하다.

2. 한국형 밀착도 검사 패널 개발

이 연구에서 한국인 노동인구 2,752명의 3D얼굴사이즈 데이터를 바탕으로 한국형 이변량 검사 패널과 한국형 주성분분석 검사 패널을 각각 개발하였으며, 두 가지 모두 25명 피검자 그룹 패널이었다. 밀착도 검사 패널은 호흡보호구 사용 인구에 대해 대표성이 반영될 필요가 있기 때문에(Han, 1999; Kim et al., 2003; Chen et al., 2009), 두 가지의 검사 패널을 개발하는 과정에서 국제 표준을 포함한 다수의 문헌에 보고된 근거와 방법에 따라 개발하였다(Zhuang et al., 2007; ISO, 2008, 2015, 2018; Chen et al., 2009; KSRC, 2021). 검사 패널(피검자 그룹)의 수는 양질의 통계결과를 산출하기 위해 필요한 충분한 검사와 일정한 기간 동안 요청된 모든 호흡보호구를 검사할 필요성을 고려한 것이다. '25명의 밀착도 검사 패널'의 모델에서 피검자 25명은 밀착도 검사를 위한 비용과 시간이 고려된 것이다(Zhuang et al., 2007; ISO, 2015).

이변량 검사 패널은 한국인 노동인구의 얼굴사이즈 DB에 있는 두 가지 변량(얼굴너비, 얼굴수직길이)의 데이터를 통계분석 후 산출된 남녀 각각 평균과 표준편차를 이용하여 개발하였다. 검사 패널 개발과정의 주요 절차는 두 변량의 데이터 검토, 산포도 작성, 평균과 표준편차 산출, 검사 패널 작성, '25명 밀착도 검사패널' 모델의 대상자 추정이었다. 이 연구의 이변량 검사 패널은 해당 전체 연구대상자의 95.2%(남녀 각각 94.9%, 95.5%)를 설명할 수 있는 것으로 나타났으며, '25명 밀착도 검사 패널' 모델에 적용시킬 경우 10구역에 대해 성별 구역별 인구분포 비율을 고려하여 2~4명의 검사 대상자가 제시되었다. 주성분분석 검사 패널은 한국인 노동인구의 얼굴사이즈 DB로부터 선정된 10가지 얼굴사이즈 변량의 데이터를 이용하여 개발되었다. 검사 패널 개발과정의 주요 절차는 10가지 얼굴사이즈 변량의 선정 및 검토, 주성분의 고유벡터 산출, 주성분 통계량 산출, 산포도 작성, 평균과 표준편차 산출, 검사 패널 작성, '25명 밀착도 검사 패널' 모델의 대상자 추정이었다. 이 연구의 주성분분석 검사 패널은 해당 전체 연구대상자의 95.5%(남녀 각각 95.1%, 96.1%)를 설명할 수 있는 것으로 나타났으며, '25명 밀착도 검사 패널' 모델에 적용시킬 경우 8구역에 대해 성별 구역별 인구분포 비율을 고려하여 2~6명의 검사 대상자가 제시되었다.

이 연구에서 전국적인 규모의 인체측정 데이터를 이용한 검사 패널의 개발은 우리나라 호흡보호구 선정,

사용 및 관리 업무 종사자들의 숙원 과제 중 하나였으며, 개발의 필요성이 점차 증가되고 있는 가운데 한국형 이변량 검사 패널과 한국형 주성분분석 검사 패널이 개발되었다. 이변량 패널이든 주성분분석 패널이든 검사 패널을 이용하여 호흡보호구 밀착도 검사를 실시할 경우, 검사에 참여하는 피검자 그룹은 해당 호흡보호구 사용 인구를 대표하도록 선정하는 것이 필요하다. 밀착도 검사 대상 호흡보호구의 모델마다 사이즈 종류 또는 규격(size systems)이 달라 피검자 그룹의 선정 방식도 다르겠지만 두 가지 검사 패널이 개발될 때 반영시킨 한국인 노동인구 분포의 비율에 따라 피검자 그룹을 선정하는 것이 바람직하다. 그 동안 국내에서도 검사 패널을 개발한 연구가 보고되었으나(Han, 1999; Kim et al., 2003), 연구대상자의 선정방식에 따른 대표성과 국가 또는 국제 표준에 대한 적합성(confirmity)에 관한 논란이 있었다. 그러나 이 연구에서 개발된 한국형 이변량 및 주성분분석 검사 패널은 제6차 Size Korea DB에 포함된 한국인 노동인구 2,752명의 얼굴사이즈 데이터를 이용하였고, ISO/TS 16976-2, ISO 7250-1 및 KS A ISO 15535에 따라 개발되었기 때문에 대표성 또는 적합성에 관한 우려가 크지 않을 것이다. 더욱이, 한국형 주성분분석 검사 패널을 개발하는 과정에서 산출된 연구 자료는 한국인 노동인구의 인두를 개발할 수 있는 기초자료이므로 향후 인두 개발과정에서 자료의 활용성이 확대될 수 있으나 인두 개발에 관한 사항은 이 연구의 범위 밖이다. 전체적으로 이 연구에서 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB를 이용하여 국제적인 표준에 따라 개발된 두 가지 검사 패널은 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무에 활용될 경우 업무 결과의 신뢰성을 높일 수 있을 것이다.

3. 연구의 제한점

제6차 Size Korea DB는 국가 표준기관의 사업계획에 따라 구축된 것이며, 조사의 범위, 규모, 참여했던 조사기관의 전문성 등을 고려할 때 조사 방법 및 결과의 신뢰성이나 타당성이 상당 수준으로 확보되었을 것이다. 이 연구는 제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사DB 중 노동인구 2,752명을 대상으로 연구를 실시했으나 이들 연구대상자는 전국 노동인구의 일부이었다. 또한, 제6차 3D머리형상측정 조사DB는 일부 3D얼굴사이즈 항목과 19세 참여자의 누락이 있었고, 용어의 표준화가 미흡했으며(Park et al., 2021a), 2010- 2013년 동안 각

연도 또는 연령그룹마다 조사기관이 달랐다.

얼굴 사이즈 데이터 및 밀착도 검사 패널 개발에 사용된 데이터는 기존 문헌의 경우 2D측정 데이터(직접 측정 데이터)를 이용하였거나 일부 3D측정 데이터를 포함하였으나(Han, 1999; Zhuang and Bradtmiller, 2005; Zhuang et al., 2007; Du et al., 2008; Chen et al., 2009; ISO, 2015), 이 연구는 모두 3D측정 데이터를 이용하였다. ISO 20685-1에 따르면 3D인체측정 데이터는 2D인체측정 데이터로부터 일정한 오차 범위 이내가 되도록 권장하고 있다(ISO, 2018). 이 연구에서 비교 가능한 3가지 항목에 대해 2D측정 데이터와 3D측정 데이터 간 차이에 대하여 분석한 결과, 국제표준(ISO 20685-1)의 최대허용오차 기준을 초과한 것으로 나타났다. 한편, 이 연구에서 새롭게 추가된 5가지 항목에 대한 3D얼굴사이즈 측정방법은 제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사에서 사용된 측정방법(측정 프로그램)과 동일하지 않았다. 이런 측면에서 연구대상자의 규모, 2D측정 방법과 3D측정 방법의 비교, 3D얼굴사이즈 측정 방법 간 차이 비교 등에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

V. 결 론

호흡보호구 착용은 착용자의 건강장해 또는 위험 예방을 위한 대책의 하나로 제시되어 왔으나 적절한 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리에 관한 논란은 지속되어 왔다. 이 연구의 목적은 호흡보호구를 사용하는 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB구축을 통해 3D얼굴사이즈 데이터의 특징을 살펴보고 한국형 밀착도 검사 패널을 개발하고자 하였다.

Size Korea 센터로부터 제6차 Size Korea 3D머리형상측정 조사DB(2010-2013년)를 수집하여 ISO/TS 16972-2 및 KS A ISO 15535에 따라 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB를 구축하였다. 21가지 항목의 3D얼굴사이즈 데이터로 구성된 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 DB를 활용하여 ISO/TS 16972-2에 따라 3D얼굴사이즈 데이터의 대푯값을 산출하고, 한국형 밀착도 검사 패널을 개발하고자 하였다.

연구대상은 총2,752명(남자 52.9%, 15-69세, 수도권 거주자)이었다. 연구대상자의 3D얼굴사이즈는 21가지 각 항목 및 성에 따라 평균, 표준편차, 최솟값, 최댓값, 백분위수(5th, 50th, 95th)로 산출되었다. 예를 들

면, 얼굴너비의 평균과 표준편차는 남녀 각각 137.6 ± 5.7 mm, 133.2 ± 5.0 mm이었고, 얼굴수직길이의 평균과 표준편차는 남녀 각각 116.6 ± 7.0 mm, 107.8 ± 6.8 mm이었다.

한국형 이변량 검사 패널과 한국형 주성분분석 검사 패널이 각각 개발되었다. 이변량 검사 패널은 얼굴너비와 얼굴수직길이 변량으로 구성된 좌표축에 대하여 10개 구역으로 나뉘었으며, 해당 전체 연구대상자 2,731명의 95.2%(남녀 94.9%, 95.5%)를 포함했다. '25명 밀착도 검사 패널' 모델에 적용시킬 경우 남녀 각각 13명, 12명으로 선정되었고 성별 구역별 인구분포 비율을 고려하여 2~4명 검사 대상자가 제시되었다. 주성분분석 검사 패널은 10가지 변량을 이용하여 주성분분석 기법으로 통계분석을 실시한 후, 주성분1 및 주성분2 통계량으로 구성된 좌표축에 따라 원심이 동일한 2개의 타원으로 구성하고 2개의 직선을 수직 교차시켜 2개 타원을 8개 구역으로 구분하였다. 주성분분석 패널은 해당 전체 연구대상자 2,037명의 95.5%(남녀 95.1%, 96.1%)를 포함했다. '25명 밀착도 검사 패널' 모델에 적용시킬 경우 남녀는 각각 13명, 12명으로 선정되었고 성별 구역별 인구분포 비율을 고려하여 2~6명 검사 대상자가 제시되었다.

종합적으로 이 연구에서 한국인 노동인구의 3D얼굴사이즈 데이터의 특징이 파악되었고, 한국형 이변량 및 주성분분석 검사 패널이 개발되었다. 그러므로 이들 연구결과가 호흡보호구의 선정, 사용 및 관리 업무에 실용적이고 효과적으로 활용되도록 하는 것이 바람직하며, 이로써 전국 노동인구를 포함한 호흡보호구 사용자의 건강보호와 위험예방이 향상되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2021년 산업안전보건연구원의 연구과제로 수행한 결과입니다. 이 연구과제의 과업용역을 수행해주신 한동대학교 이원섭 교수님께 특별히 감사드립니다.

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

- Du L, Zhuang Z, Guan H et al. Head-and-face anthropometric survey of Chinese workers. *Ann Occup Hyg* 2008;52(8):773-782. doi:10.1093/annhyg/men056
- Hack AL and McConville JT. Respirator protection factors: Part 1 – Development of an anthropometric test panel. *Am Ind Hyg Assoc J* 1978;39:970-975
- 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(I). 2017-OSHRI-969; 2017
- International Organization for Standardization(ISO), Basic human body measurements for technological design – Part 1: Body measurement definitions and landmarks, ISO 7250-1; 2008
- International Organization for Standardization(ISO), Respiratory protective devices – Human factors– Part 2: Anthropometrics, Technical Specification, ISO/TS 16976-2; 2015
- International Organization for Standardization(ISO), 3-D scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases – Part 1: Evaluation protocol for body dimensions extracted from 3-D body scans, ISO 20685-1; 2018
- Japan Ministry of Health, Labor and Welfare(JMHLW), Methods on sampling and analysis for welding fumes generating from tasks like metal-arc-welding at work (JMHLW Notice 286 on 31 Jul. 2020); 2020. [accessed 2023 May 26]. Available from https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000099121_00001.html
- Kim H and Kim K. Review on the development of 3-dimensional face recognition and measurement for the design of respirators. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2001;11(2):92-101
- 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
- Korean Agency for Technology and Standards(KATS). The Report of 5th Korean anthropometric national survey(2nd Final report), KATS; 2004
- Korean Agency for Technology and Standards(KATS). The Report of 6th Korean 3D anthropometric national survey, KATS; 2010
- Korean Agency for Technology and Standards(KATS). The Report of Korean 3D anthropometric national survey for senior and older ageing group, KATS; 2012
- Korean Agency for Technology and Standards(KATS). The Report of 8th Korean anthropometric national survey (Final report), KATS; 2021
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). Guideline for selection, use and management of RPD. KOSHA Guide H-82-2020; 2020
- Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA). 2022 Occupational Safety and Health Act Book; 2022
- Korean Standards Review Committee(KSRC), General requirements for establishing anthropometric databases. KS A ISO 15535:2012(revised in 2021); 2021. [accessed 2021 Jul 14]. Available from: <https://kosha.ks.or.kr>
- Lee W. Measurement of 3D face dimensions using 3D head image raw data of 6th Size Korea DB(Technical report). Occupational Safety and Health Research Institute; 2021
- Lee W, Jung H, You H. Application of a 3D template-registered image database of Korean heads for ergonomic product design. *J Ergon Soc Korea* 2020;39(5):437-451. doi/10.5143/JESK.2020.39.5.437
- Ministry of Food and Drug Safety(MFDS). Guidelines on approval and review for medical respirators (Guidance for frequently questions and answers); 2020
- National Institute of Food and Drug Safty Evaluation (NIFDSE). Guidelines of standards for health mask (Guidance for frequently questions and answers); 2021
- 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). Occupational Safety and Health Research Institute 2021-OSHRI-752, ISBN 979-11-92138-17-6; 2021b
- 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, Kim JI, Kim H. Development of Korean head forms for respirator performance testing, *Saf Health Work* 2020a;11:71-79. doi:10.1016/j.shaw.2019.12.008
- Seo HK, Kang BK, Kwon YI. Fit testing for domestic N95 medical masks, *J Korean Soc Occup Environ Hyg*

- 2020b;30(2):124–133
- Size Korea Center. The report of anthropometric survey/ Standard anthropometry. 2023. [accessed 2023 Apr 10]. Available from: <https://sizekorea.kr>.
- Statistics Korea. Census for population by age and gender in 2015–2020. [accessed 2021 Apr 6]. Available from: <https://kosis.kr/index/index.do>
- US National Archives and Records Administration (USNARA). Code of Federal Regulations (CFR), 29 CFR §1910.134; 2023. [accessed 2023 May 29] Available from <https://www.ecfr.gov/current/title-29/subtitle-B/chapter-XVII/part-1910/subpart-I/section-1910.134>.
- World Health Organization(WHO). Obesity and overweight: 2021. [accessed 2023 Apr 10]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight/>
- Zhuang Z, Bradtmiller B. Head-and-face anthropometric

survey of US respirator users. J Occup and Environ Hygiene 2005;2:567–576. doi:10.1080/15459620500324727

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

<저자정보>

박정근(부장), 김세동(연구위원), 조현민(연구위원)

Appendix

부록 1. 머리측정 기준점 및 얼굴사이즈 항목의 정의
이 연구에서 사용한 머리측정 기준점 및 얼굴사이즈 항목의 정의는 Table A1 및 Table A2와 같았다.

Table A1. List of selected landmarks for 3D head and face anthropometric measurement*1

No	Landmark	Definition
1	Alare(right/left)	The lateral point on the flare or wing of the nose
2	Cheilion(r/l)	The lateral point of the juncture of the fleshy tissue of the lips with facial skin at the corner of the mouth
3	Chin	The most protruding point on the bottom edge of the chin, along the jawline
4	Ectocanthus(r/l)	The outside corner of the eye formed by the meeting of the upper and lower eyelids
5	Frontotemporale(r/l)*2	The point of deepest indentation of the temporal crest of the frontal bone above the brow ridges
6	Glabella	The anterior point on the frontal bone midway between the bony brow ridges
7	Gonion(r/l)	The most lateral, most inferior, and most posterior point on the angle of the mandible(Jawbone)
8	Infraorbitale(r/l)*2	The lowest point on the anterior border of the bony eye socket
9	Menton*2	The inferior point of the mandible in the midsagittal plane
10	Nasal root point(r/l)	The point on the side of the nasal root at a depth equal to half the distance from the bridge of the nose to the eyes
11	Pronasale(r/l)	The point of the anterior projection of the tip of the nose
12	Pupil(r/l)	The centre of the pupil of a subject looking straight ahead
13	Sellion	The point of the deepest depression of the nasal bones at the top of the nose
14	Subnasale	The point of intersection of the philtrum(groove of the upper lip) with the inferior surface of the nose in the midsagittal plane
15	Vertex(Top of head)	The top point of the head
16	Tragion(r/l)	The superior point on the juncture of the cartilagenous flap(tragus) of the ear with the head
17	Zygion(r/l)*2	The most lateral point on the zygomatic arch
18	Zygofrontale(r/l)*2	The lateral point of the frontal bone on zygomatic process

*1 Adapted from ISO/TS 16976-2(ISO, 2015);

*2: Newly obtained in this study since they are not in the list of the 6th Size Korea DB.

Table A2. 3D face dimensions and definition*1

No	Dimension	Definition
1	Bigonial breadth (Jaw width)	The straight-line distance between the right and left gonion landmarks on the corners of the jaw
2	Bitrignon chin arc	The surface distance between the right and left trignon landmarks across the anterior point of the chin
3	Bitrignon coronal arc	The surface distance between the right and left trignon landmarks across the top of the head in the coronal plane
4	Bitrignon frontal arc*2	The surface distance between the right and left trignon landmarks across the forehead just above the ridges of the eyebrows(Supraorbital ridges)
5	Bitrignon subnasale arc	The surface distance between the right and left trignon landmarks across the subnasale landmark at the bottom of the nose
6	Bizygomatic breadth (Face width)*2	The maximum horizontal breadth of the face between the zygomatic arches
7	Head breadth	The maximum horizontal breadth of the head above the level of the ears
8	Head circumference	The maximum circumference of the head just above the ridges of the eyebrows (supraorbital ridges) and the attachment of the ears
9	Head length	The maximum length of the head in the midsagittal plane
10	Interpuillary distance	The distance between the center of the right and the center of the left pupil
11	Lip length	The straight-line distance between the right and left cheilion landmarks at the corners of the closed mouth
12	Maximum frontal breadth*2	The straight-line distance between the right and left zygofrontale landmarks at the upper margin of each bony eye socket
13	Menton Sellion length (Face length)	The distance in the midsagittal plane between the menton landmark at the bottom of the chin and the sellion landmark at the deepest point of the nasal root depression
14	Minimum frontal breadth*2	The straight-line distance between the right and left frontotemporal landmarks on the temporal crest on each side of the forehead
15	Nasal root breadth	The horizontal breadth of the nose at the level of the deepest depression in the root(sellion landmark) and at a depth equal to half the distance from the bridge of the nose to the eyes
16	Neck circumference*2	The circumference of the neck at the level of the infra-thyroid landmark(Adam's apple)
17	Nose breadth	The straight-line distance between the right and left alare landmarks
18	Nose protrusion	The straight-line distance between the pronasale landmark at the tip of the nose and the subnasale landmark under the nose
19	Subnasale Sellion length (Nose length)	The straight-line distance between the subnasale landmark and the sellion landmark
20	Stature(Height)	The vertical distance between the standing surface and the top of the head
21	Weight	The weight of the subject

*1: Adapted from ISO/TS 16976-2(ISO, 2015);

*2: Newly obtained in this study since there are not in the list of the 6th Size Korea DB.

부록 2. 밀착도 검사의 피검자 분류 및 주성분분석 패널의 구역 결정위한 알고리즘

검사 패널(피검자 그룹) 각각에 대해 다음과 같이 산출한 후 8개 구역 중 어느 구역으로 분류되는지 결정한다(ISO, 2015).

$$x = \text{주성분1} - 268.0766416$$

$$y = \text{주성분2} - 84.3364170$$

$$\text{기울기값} = 0.4779393 (=7.0592843/14.7702537)$$

$$a = 2.55 * 14.7702537$$

$$b = 2.55 * 7.0592843$$

$$c = 1.02 * 14.7702537$$

$$d = 1.02 * 7.0592843$$

$$r1 = \sqrt{(x^2)/(a^2) + (y^2)/(b^2)}$$

$$r2 = \sqrt{(x^2)/(c^2) + (y^2)/(d^2)}$$

여기서,

x 및 y: 주성분1 및 주성분2 원좌표를 그들의 평균치 좌표(268.0766416, 84.3364170)에서 (0, 0)으로 평행이동을 위한 새로운 좌표

기울기: 두 개의 타원을 8개의 구역(cell)으로 나누는 2개의 직선 기울기 값

a: 외부타원 큰축 반쪽길이 상수

b: 외부타원 작은축 반쪽길이 상수

c: 내부타원 큰축 반쪽길이 상수

d: 내부타원 작은축 반쪽길이 상수

r1 및 r2: 특정(임의) 데이터 점 또는 피검자의 위치가 외부 및 내부 타원의 바깥, 선상, 안쪽 중 어디에 있는지 결정하는 값. 예를 들면, 외부 타원의 경우 $r1 > 1$: 바깥위치, $r1 = 1$: 선상위치, $r1 < 1$: 안쪽위치

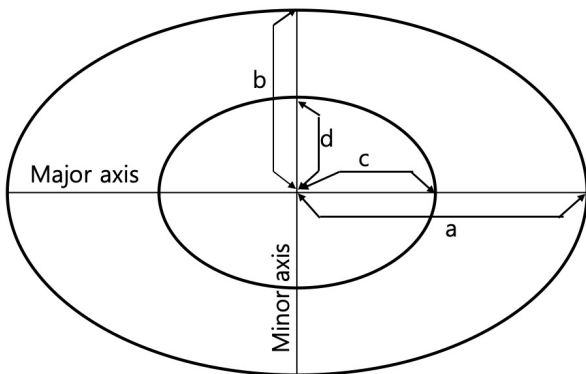


Figure A1. Two ellipses(outer, inner) and two semi-axes (major, minor)

아래와 같이 x, y 및 r1 값과 알고리즘을 사용하여 피검자가 1, 3, 6, 8 구역 중 어느 구역인지 결정한다.

- 만약 $x \geq 0$ 그리고 $y \geq 0$ 그리고 $r1 \leq 1$ 그리고 $abs(y)/abs(x) \leq$ 기울기값이면 구역 = 8
- 만약 $x \geq 0$ 그리고 $y < 0$ 그리고 $r1 \leq 1$ 그리고 $abs(y)/abs(x) <$ 기울기값이면 구역 = 8
- 만약 $x \geq 0$ 그리고 $y < 0$ 그리고 $r1 \leq 1$ 그리고 $abs(y)/abs(x) \geq$ 기울기값이면 구역 = 3
- 만약 $x < 0$ 그리고 $y < 0$ 그리고 $r1 \leq 1$ 그리고 $abs(y)/abs(x) >$ 기울기값이면 구역 = 3
- 만약 $x < 0$ 그리고 $y < 0$ 그리고 $r1 \leq 1$ 그리고 $abs(y)/abs(x) \leq$ 기울기값이면 구역 = 1
- 만약 $x < 0$ 그리고 $y \geq 0$ 그리고 $r1 \leq 1$ 그리고 $abs(y)/abs(x) <$ 기울기값이면 구역 = 1
- 만약 $x < 0$ 그리고 $y \geq 0$ 그리고 $r1 \leq 1$ 그리고 $abs(y)/abs(x) \geq$ 기울기값이면 구역 = 6
- 만약 $x \geq 0$ 그리고 $y \geq 0$ 그리고 $r1 < 1$ 그리고 $abs(y)/abs(x) >$ 기울기값이면 구역 = 6

만약 r2값이 1이하이면, 다음 알고리즘을 사용하여 피검자가 2, 4, 5, 7구역 중 어느 구역인지 결정한다.

- 만약 구역 = 8 그리고 $r2 \leq 1$ 이면 구역 = 7
- 만약 구역 = 3 그리고 $r2 \leq 1$ 이면 구역 = 4
- 만약 구역 = 1 그리고 $r2 \leq 1$ 이면 구역 = 2
- 만약 구역 = 6 그리고 $r2 \leq 1$ 이면 구역 = 5.