한국산업보건학회지, 제26권 제3호(2016) ISSN 2384-132X(Print) ISSN 2289-0564(Online)
Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 2016: 26(3): 350-366
http://dx.doi.org/10.15269/JKSOEH.2016.26.3.350

Original Article

어린이용 황사 및 미세먼지 마스크 개발 연구

김현욱[1*] · 서혜경[1] · 명준표[2] · 윤종서[3] · 송윤근[4] · 김충범[5]

[1]가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실, [2]가톨릭대학교 직업환경의학과/직업환경의학센터,
[3]가톨릭대학교 의과대학 소아과, [4]㈜ 프로토텍, [5]도부라이프텍 ㈜

Developing Yellow Dust and Fine Particulate Masks for Children

Hyunwook Kim[1*] · Hyekyung Seo[1] · Jun-Pyo Myong[2] · Jong-Seo Yoon[3] · Yeunkun Song[4] · Choongbuem Kim[5]

[1]Dept. Prev. Med, College of Medicine, [2]Dept. Occup. and Environ. Med., College of Medicine, [3]Dept. Ped. Med., College of Medicine, The Catholic University of Korea, [4]PROTOTECH Inc, [5]DOBU LIFE TECH

ABSTRACT

Objectives: No 3D anthropometric analyses have been conducted for Korean children's faces for the purpose of designing respiratory protective devices. The aim of this study was to develop masks against yellow dust and fine particulates, particularly for children in Korea.

Methods: This study utilized a 3D scanning method to obtain 16 facial anthropometric data from children, ages of 5 to 13 years old. A total of 144 boys and girls were recruited from the kindergarten, elementary schools and middle schools in Seoul. With facial dimensions obtained, cluster analysis was performed to categorize them into similar facial groups. For each cluster, an optimal mask was designed and manufactured using a 3D printer. In addition, lung function data were obtained from 62 subjects and compared with those of normal adults. The pulmonary physiological results were subsequently used to suggest a test method for mask certification.

Results: Facial shapes were classified into tree clusters: small, medium, and large. The face width and length for the first group were small with high nosal protrusion. The face width and length for the second group were the largest among the three clusters. The third group had the largest angle of nose root - gnathion(n-prn-gn). Age was the most significant variable in the facial dimensions. Children's pulmonary physiological capacity was about 60% of adults' capacity. The results of fit test using the prototype masks developed showed very good fits for children.

Conclusions: For Korean children, three mask sizes will be sufficient and practical for providing protection against yellow dust and fine particulates. Anthropometric data obtained using digitalized 3D face analysis can be very effective for designing respiratory devices. 3D images can be accurate and easily measured for multiple dimensions, particularly for curved areas of the face. It is imperative to adopt different test methods for certifying respiratory protective devices for children, since their pulmonary physiological capacity is inferior compared with that of adults.

Key words: anthropometric analysis, physiological data , facial dimension, lung function, child masks, 3D

I. 서 론

우리나라에서는 최근 들어 유해물질이 다량 함유된 황사가 중국으로부터 유입되고 있으며, 그 횟수 및 강도는 해마다 증가하고 있다. 해마다 편차가 있으나 전국의 2000년대 황사일수(연평균 9.8일)는 80

*Corresponding author: Hyunwook Kim, Tel: 02-2258-7363, E-mail: hwkim@catholic.ac.kr
Dept. Prev. Med., College of Medicine, The Catholic University of Korea, 222 Banpo-daero, Seocho-gu, Seoul, Korea 06591
Received: June 22, 2016, Revised: September 6, 2016, Accepted: September 19, 2016

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.

년대(2.9일) 및 90년대(5.3일)에 비해 현저하게 증가하였다(ME, 2013). 황사 및 미세먼지로 인한 건강상 영향은 장기적, 지속적으로 노출 시 나타나며, 특히 어린이・노인・호흡기질환자 등 민감군은 일반인보다 건강영향이 클 수 있다. $PM_{2.5}$ 농도가 10 $\mu g/m^3$ 증가할 때 어린이・노인・호흡기질환자 등 민감군의 집단 사망률은 1.1%가 증가하였고, PM_{10} 농도가 10 $\mu g/m^3$ 증가하면 사망률도 0.4% 증가된 것으로 조사되었다(ME, 2013). 대기중 부유하는 유해물질 대부분은 코나 입 등의 호흡기를 통해 체내로 흡입되면서 건강장해를 초래하게 되는데, 황사와 미세먼지로부터 건강을 지키기 위한 방안으로, 정부는 황사나 미세먼지 예보 시 마스크를 착용하도록 권고하고 있다(KFDA, 2010; ME, 2013). 하지만, 현재 국내에서 시판되는 보건용 마스크는 성인용과 어린이용 구분이 없으며, 14세 이상의 청소년에게는 성인용 마스크의 작은 사이즈를 자신의 얼굴에 맞게 착용하도록 권고하고 있을 뿐이고, 14세 이하의 어린이에 대한 내용은 아예 없다(KFDA, 2010).

흡입되는 유해물질로부터 호흡기를 보호하기 위해서는 밀착이 잘 된 마스크를 착용하여야 하지만, 아직까지 우리나라는 마스크 제작과정에서 얼굴 체형에 맞는 마스크를 과학적인 방법으로 만들어 내지 못하고 일본 제품이나 미국 제품을 모방하여 그대로 만드는 경우가 많다(Han & Rhi, 2004). 더구나 어린이는 호흡 생리학적으로 어른과 비교해 매우 다른 패턴을 가지고 있으므로, 단순히 성인용 마스크의 크기만 줄여 어린이에게 착용하도록 한다면 어린이의 얼굴에 맞지도 않고, 호흡 곤란 등 문제도 발생할 수 있다. 더 중요한 사실은 어린이용 마스크를 개발하였다 하더라도 이런 어린이용 마스크를 인증할 제도가 마련되어 있지 않다는 점이다.

유해물질 차단용 호흡보호구의 경우, 필터의 성능이 매우 중요하지만 착용했을 때 얼굴 접촉면 간의 틈새도 최소화 하여야 소기의 목적을 달성할 수 있다. 그러므로 안면부와 얼굴간 밀착을 유지하도록 기술적 설계를 통하여 밀착도가 높은 형태의 마스크 제작이 요구된다. 마스크의 밀착도를 높이기 위해서는 얼굴 형태에 적합하도록 설계하는 것이 기본이며, 이를 위해서는 얼굴 형태에 대한 분석이 선행되어야 한다(Song & Yang, 2010). 과거 연구에 의하면 마스크를 디자인하기 위하여 얼굴치수를 측정하기도 하였고, 반대로 얼굴치수에 맞추어 마스크를 디자인하기도 하였다. 3D 초음파 디지타이저(sonic digitizer)를 이용하여 호주의 한 인구집단에서 착용시 가장 편안함을 줄 수 있는 마스크를 디자인 한 경우가 한 예이다(Yatapanage & Post, 1992).

최근 디지털화된 측정법 사용이 증가하는 추세이며, 설계 측면을 고려할 때 3차원 측정법은 매우 유용하고, 직접 측정법과 달리 정밀하고 정확한 측정이 이루어진다(Han & Rhi, 2004). 인체의 여러 부분은 굴곡이 많은 곡선으로 이루어져 있고, 그 중 얼굴은 다른 부위보다 더 다양한 곡선을 가지고 있다. 특히 호흡보호구의 경우 마스크와 얼굴이 접촉하는 밀착 부위는 곡선의 다양한 형태를 가지며, 이런 밀착면 설계를 위해서는 안면부 곡선에 맞도록 설계하여야 한다. 이러한 얼굴 형태가 반영되기 위해서는 각 표지점간의 거리나 호 등의 크기를 측정하는 전통적인 인체측정방법으로는 한계가 있다(Kim et al., 2003). 반면 3차원 기술은 3D 얼굴 데이터를 수집한 후 컴퓨터 소프트웨어를 사용하여 객관적이고 정량적인 결과를 도출할 수 있고, 계측치는 전통적인 직접측정치와 비교해도 근본적인 차이가 없다(Liu et al., 2013).

Han et al.(2004)은 한국인 대상으로 얼굴 치수를 측정하여 치수체계를 구분하고 3D 스캐닝을 통해 한국인의 얼굴 체형에 적합한 산업용 반면형 마스크를 개발하였다. Liu et al.(2008)은 머리의 3D 스캔 데이터를 기반으로 안전모를 설계하는 일련의 방법을 개발하고 효율적인 설계를 위한 안전모 설계 시스템을 구축하였다.Kim et al.(2003)에 의하면 얼굴의 크기와 형태는 인종간, 민족간 그리고 성별에 따라 다르다고 하였으며, 성장기에 속한 어린이의 경우도 그 크기와 형태가 다를 것으로 판단된다. 하지만 이런 연구들은 성인을 대상으로 하였으며, 어린이를 대상으로 한 호흡보호구 연구는 현재 매우 미흡하다. 지금까지 우리나라에서 어린이 얼굴을 측정하여 만든 어린이용 마스크는 없으며, 더욱이 얼굴 형태의 3D 이미지를 사용하여 측정한 사례는 성인용에도 매우 드물다. 어른과 달리 크기가 작은 얼굴을 가진 어린이의 얼굴에는 마스크가 밀착되지 않을 수 있어 어린이용으로 적합한 크기와 얼굴에 맞도록 디자인된 마스크가 필요한 실정이다.

또 어린이의 경우는 얼굴 크기뿐만 아니라, 호흡 생리학적 특성을 고려한 마스크가 필요하다. 성인과 달리 소아의 경우 폐 용적이 성인에 비해 훨씬 적지만, 분당 환기량(minute ventilation) 즉, 분당 호흡횟수는 많다. 이런 연유로 오염물질의 기도 내 접촉시간이 많으며, 주로 구강 호흡을 많이 하고, 야외 활동량이 많아 오염물질에 대한 노출시간이 길며, 면역체계가 발달하지 않아 호흡기 질환의 악화에 대한 연관성이 많다고 보고되고 있다(Kim et al., 2010b). 황사발생과 어린이의 건강영향을 평가한 연구에 의하면 미세먼지의 농도 증가에 따라 초등학생의 최고호기유량(PEFR)이 미세한 감소를 보여 호흡기 민감군에 대한 고려가 필요하다고 하였다(Kim et al., 2006; Yuet al., 2007; Sonet al., 2009). 이는 어린이들의 호흡 능력에 맞추어 마스크의 흡배기 저항을 감안한 성능 시험을 해야 됨을 의미한다. 이렇게 제작된 마스크를 착용한다면 착용 후 호흡 곤란을 가져오지 않을 것으로 사료된다.

이와 같이 어린이 호흡기를 보호할 적절한 호흡보호구가 필요함에도 불구하고 한국에서는 어린이의 얼굴 형상에 대한 연구와 어린이용 호흡보호구에 대한 제작, 인증기준이 마련되어 있지 않다. 시중에 시판되고 있는 마스크 중 어린이용으로 출시된 것은 있으나, 이들은 성인용 마스크를 크기만 축소하여 제작한 것이다. 또 어린이용 인증 기준이 제정되어 있지 않아 성인용으로 인증된 것을 그대로 사용하고 있어 문제가 있다.

따라서 본 연구는 어린이용으로 밀착이 잘되는 호흡보호구 설계를 위한 기초자료를 얻기 위하여 13세 이하의 한국 어린이를 대상으로 3차원 측정을 실시하였다. 또한 폐기능 검사 자료와 문헌자료 등 호흡 생리학적 데이터를 이용하여, 이에 근거한 어린이 마스크 시험법 기준을 제시하고자 하였으며 이를 이용하여 향후 어린이용 마스크 설계에 기초 자료로 사용하고자 하였다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구대상

피험자는 대상지역의 초등학교와 유치원 중 연구참여를 희망하는 4곳에서 선정하였다. 연구의 목적과 내용을 설명한 후 어린이 얼굴에 수술자국이나 흉터가 없고 치아 교정기를 착용하지 않는 어린이 중 소아용 동의서와 보호자의 동의서에 동의를 한 어린이를 대상으로 하였다. 모집지역은 서울남부 북부 서부 각 지역에서 고르게 선정하여 지역간의 차이를 줄이고자 하였다. 본 연구에 최종적으로 모집된 피험자는 144명으로 만 5세부터 13세의어린이 남녀 각 72명씩이었다. 본 연구는 가톨릭 대학교 임상연구 심의위원회의 심의를 통과(MC15OISI0029) 하여 진행되었다.

2. 연구 방법

1) 안면부 3차원 스캐닝

측정은 3차원 스캐너(Geomagic Capture, 3D SYSTEMS, USA)를 이용하였는데, 0.08 mm의 해상도와, 300 mm에서 0.06 mm의 정밀도를 가지며 스캔당 9,850,000 포

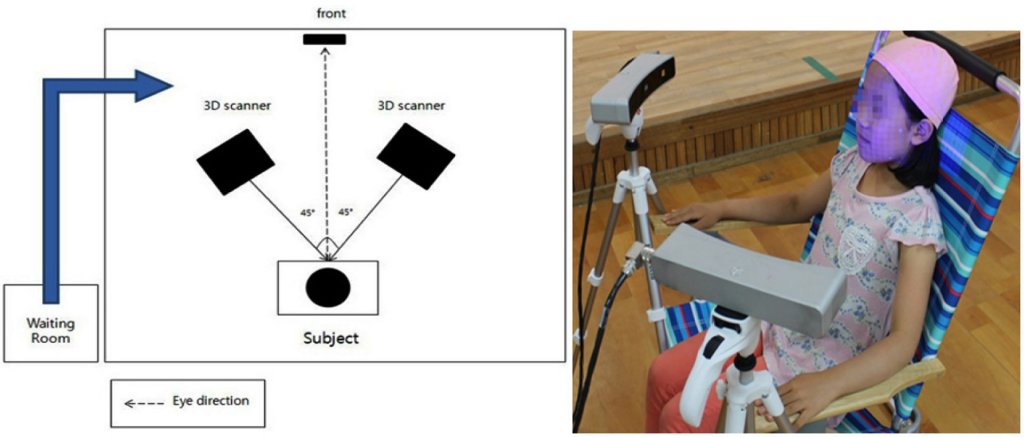


Fig 1. Schematic diagram of the scanning room (left) and a photo showing the setup of the scanners and the subject sitting on a chair (right)

인트/ 0.3 sec의 데이터 획득율을 가진 LED 광원 초정밀 장치이다. 이 장치를 채택한 이유는 인체측정에 소요되는 시간을 절약하고, 데이터의 재생 반복 측정이 가능하며, 오차가 적고, 기존 직접 측정방법에서 측정할 수 없는 얼굴의 굴곡 부위 측정이 가능(Lee et al., 2004)할 뿐만 아니라, 움직임이 많은 어린이들의 측정에 유리한 장점이 있기 때문이었다.

실험을 수행한 Scanning room(Figure 1)에는 스캐너 두 대 설치하여 피험자의 안면부를 좌우에서 동시에 촬영할 수 있도록 하였다. 스캐닝을 하는 동안 어린이의 머리가 움직이는 것을 방지하기 위하여, 목과 등이 고정되는 의자를 사용하였다. 이는 안면부의 작은 움직임에도 스캐닝 데이터가 노이즈(noise)로 인한 결측치(missing data)가 되어 여러 번 스캐닝 하는 어려움이 생길 수 있기 때문이다. 수집된 자료는 소프트웨어(Geomagic wrap, Design X, 3D SYSTEMS, USA)를 통하여 3차원 이미지 데이터를 만든 후 안면부의 각 항목을 측정하여 어린이 마스크의 크기를 결정하였다.

3차원 스캐닝을 위한 준비를 마친 대상자는 의자에 앉히고, 정면을 응시하여 스캐닝이 시행되는 약 1분간 움직이지 않도록 머리를 고정시켰다.

2) 안면부 측정 표지점

먼저, 대상 어린이가 Scanningroom(Figure 1)에 입실을 하면, 머리카락으로 인하여 올바른 안면부 데이터 측정이 방해 받지 않도록 두발 정리용 모자(elastic cap)을 씌운 후 연구자가 얼굴의 표지점(Luximon et al., 2010; Liu et al., 2013)에 표지점(land mark)(Figure 2)을 붙였으며, 의자에 앉아 시선을 고정할 수 있도록 정면 벽면에 캐릭터 그림을 붙여놓았다. 측정치는 Kim et al.(2013a)의 표지점을 바탕으로 Figure 3과 같이 구하였으며, Figure 4는 Design X

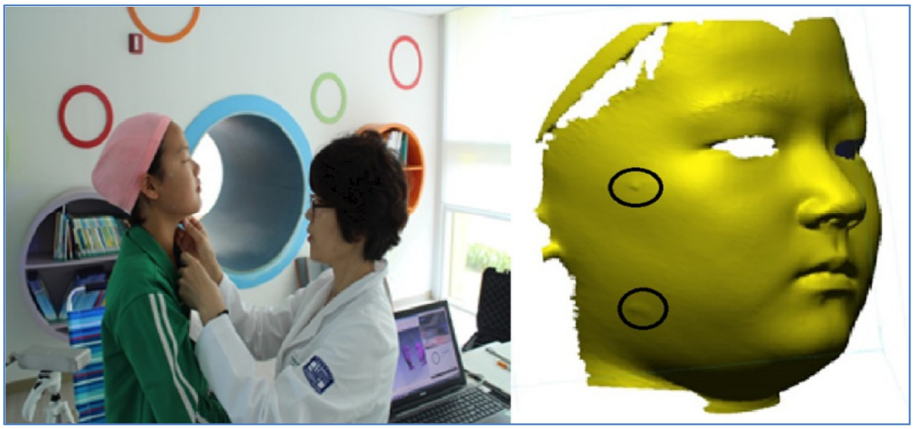
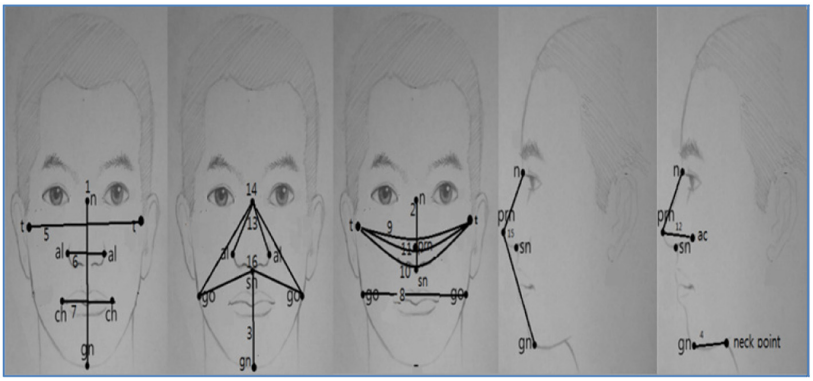


Fig 2. Placing land marks on the subject's face (left) and the land marks appeared after scanning (right)



Land marks	
n	Nasion
gn	Gnathion
prn	Pronasale
sn	Subnasale
t	Tragion
ch	Cheilion
go	Gonion
ac	Alar curvature point
al	Alare

Fig 3. Landmarks used and Facial Dimensions measured for the study

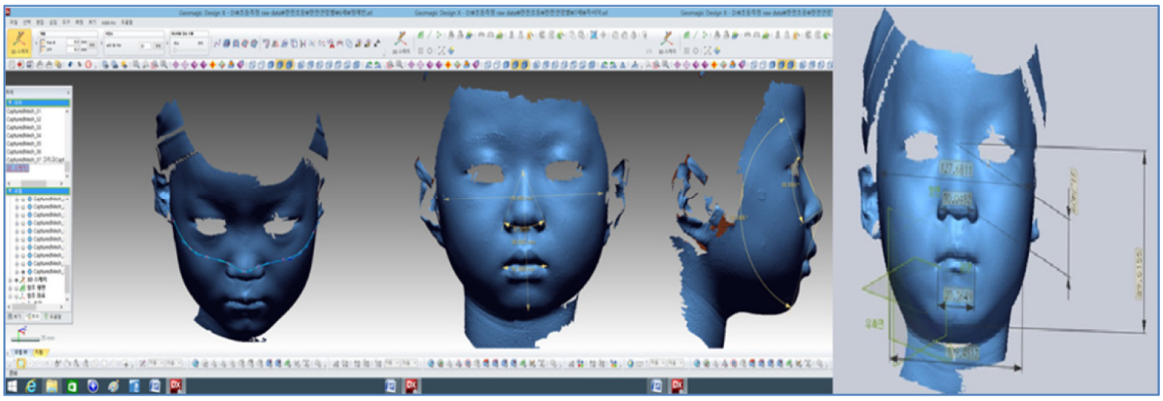


Fig 4. Extraction of 3D Anthropometry Data using the Software

Table 1. List of 3D Facial Anthropometry

	Description	Measurements	Number(in Figure)
Length	Face length	n-gn	1
	Nose length	n-prn	2
	Subnasale-chin length	sn-gn	3
	Menton length	gn-neck point	4
Width	Face width	t-t	5
	Nose width	al-al	6
	Lip width	ch-ch	7
	Gonion width	go-go	8
	Face curvature width	t-t curvature	9
Arc	Bitragion - subnasale arc	t-sn-t	10
	Bitragion - pronasale arc	t-prn-t	11
Angle	Nose protrusion angle	n-prn-ac	12
	Alare -nasal root angle	al-n-al	13
	Gonion -nose root angle	go-n-go	14
	Nose root -pronasale -gonion angle	n-prn-gn	15
	Gonion - subnasale angle	go-sn-go	16

소프트웨어를 이용하여 실제 측정한 장면이다.

3차원 이미지의 표지점을 이용하여 측정한 항목은, 얼굴길이, 얼굴너비, 얼굴곡률너비, 코너비, 코길이, 코뿌리코돌출각도, 코뿌리코끝턱끝각도, 코뿌리코망울각도, 코뿌리아래턱각도, 귀구슬코밑호길이, 귀구슬코끝호길이, 아래턱코밑점각도, 아래턱사이너비, 하악길이, 입술길이, 턱부위길이 총 16항목이었다(Table 1).

3) 호흡생리학적 자료 및 마스크 시제품 제작

서울의 S병원에 내원한 만 6세부터 13세의 어린이 중 폐기능 검사 결과가 정상치인 62명의 자료를 수집하였다. 최대호기유속(peak expiratory flow rate, PEFR), 일회 호흡량(tidal volume, TV), 폐활량(vital capacity, VC), 전폐용적(total lung capacity, TLC), 잔기량(residual volume, RV)자료를 이용해 어린이와 성인의 호흡량 및 폐활량을 비교하였다. 이뿐만 아니라 국내외 문헌조사를 통하여 성인과 어린이의 호흡생리학적 차이를 조사하였고, 이에 근거하여 어린이용 마스크 시험 기준을 마련하여, 이를 시제품 제작에 이용하였다.

본 연구에서 어린이 얼굴크기는 3가지로 분류되었으며, 이 3가지 크기의 마스크를 3차원 가상의 공간에서 입체 설계를 하였고, 3D 프린터(uPrint SE, Stratasys, USA)를 이용하여 3가지 마스크 사이즈를 출력하였다. 이를 바탕으로 설계된 마스크 디자인과 어린이 마스크 시험 기준을 적용하여 어린이용 마스크 시제품을 완성하였다.

4) 밀착도 검사

완성된 시제품이 실제 어린이의 얼굴에 밀착이 잘 되는지 확인하기 위하여 정량적 밀착도 검사기기(TSI Portacount Pro+ 8038)를 이용하여 총 18명(3가지 마스크당 6명)의 어린이에게 밀착도 검사를 실시하였다. 검사기기는 마스크 내부 농도(C_{inside})와 공기중 농도($C_{outside}$)의 비를 산출한 밀착계수(Fit Factor)를 측정하였고, OSHA QNFT(Quantitative Fit Testing) protocol의 기준에 따른 8개의 단계 중 3가지 동작을 수행하도록 하였으며, 통과기준의 밀착계수는 100이상을 적용하였다. 선정된 동작 3단계는 1)정상호흡(normal breathing), 2)머리를 좌우로 움직임(turning head side to side), 3)허리 굽히기(bending over)이다. 또한 시제품 마스크의 누설률(Leakage ratio)을 평가하기 위하여 MT-03(MT-03, SIBATA, Japan)을 이용하였다. MT-03 기기는 안면과 마스크와 사이에 프로브를 설치하여 안면부에 누설되어 들어온 0.3 ㎛이상의 분진 입자 갯수를 계측한다. 마스크 외측과 내측에서 측정된 입자 갯수의 비로 누설률을 표시한다. 측정시간은 30초가 소요되며, 누설률이 10% 이하일 경우 마스크가 안면부 밀착 시험을 통과한 것으로 평가하였다.

5) 통계분석

자료의 분석은 SPSS system version 18(SAS Institute Inc, USA)을 활용하였다. 연령의 증가에 따른 각 항목과의 관계를 상관분석(Correlation analysis)으로 분석하였고, 각 항목의 성별 차이를 보기 위해 독립표본분석(Independent t-test)을 실시하였다. 또한 군집분석(Cluster analysis)을 통하여 피험자 얼굴 형태를 특성별로 분류하였다. 어린이 폐기능 자료는 빈도 분석으로 기술통계 처리 한 후 성인의 기준과 비교하였다. 모든 통계치는 alpha=0.05 수준에서 검정하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 일반적 현황

본 연구에 최종적으로 참여한 피험자는 총 144 명이었다. 남자 어린이 72명(50%)과 여자 어린이 72명(50%)이 연구에 참여하였으며, 연령은 만 5세부터 13세까지로 각 연령군별 16명씩(11.1%) 분포되게 하였다. 만 5세부터 6세에 해당하는 유치원생 32명(22.2%)과, 만 7세부터 12세에 해당하는 초등학생 96명(66.7%) 그리고 만 13세에 해당하는 중학교 1학년생 16명(11.1%)의 안면부를 3차원 스캐닝 하였다(Table 2).

Table 2. General characteristics of the study subjects (N=144)

	Classification	N(%)
Sex	Male	72(50%)
	Female	72(50%)
Age	5	16(11.1%)
	6	16(11.1%)
	7	16(11.1%)
	8	16(11.1%)
	9	16(11.1%)
	10	16(11.1%)
	11	16(11.1%)
	12	16(11.1%)
	13	16(11.1%)
Grade	Kindergarten	32(22.2%)
	Elementary school	96(66.7%)
	Middle school	16(11.1%)

2. 안면부측정 결과

144 명의 스캐닝 데이터 중 표지점의 누락으로 경계가 모호한 결측치(missing data)와, 목부위 비만으로 턱부위길이 오차가 있는 자료를 제외한 13 명의 측정치를 최종 분석하였다.

연령과 각 얼굴 측정항목에 대한 상관분석(Correlation analysis)에서 얼굴길이, 얼굴너비, 입술길이, 코길이, 얼굴곡률너비, 코너비, 아래턱사이너비, 하악길이, 귀구슬코밑호길이, 귀구슬코끝호길이 모두 양의 상관관계가 있었다. 이 결과는 나이가 증가함에 따라 이

Table 3. Results of Correlation analysis

	Description	Mean	Std. Deviation	Pearson Correlation	p
Length	Face length	96.26	8.34	0.751	0.000*
	Nose length	33.37	3.74	0.740	0.000*
	Subnasale-chin length	57.29	5.48	0.622	0.000*
	Menton length	21.88	4.57	0.670	0.438
Width	Face width	129.06	9.01	0.446	0.000*
	Nose width	33.02	2.72	0.609	0.000*
	Lip width	38.62	4.49	0.632	0.000*
	Gonion width	104.77	8.23	0.429	0.000*
	Face curvature width	171.09	17.55	0.410	0.000*
Arc	Bitragion - subnasale arc	169.93	17.61	0.325	0.000*
	Bitragion - pronasale arc	174.23	18.52	0.344	0.000*
Angle	Nose protrusion angle	85.86	6.77	-0.359	0.000*
	Alare - nasal root angle	53.23	5.54	-0.168	0.045*
	Gonion - nose root angle	63.77	4.47	-0.317	0.000*
	Nose root - pronasale- gonion angle	133.11	4.09	-0.830	0.325
	Gonion - subnasale angle	84.80	7.81	-0.278	0.001*

*significant, alpha=0.05 (2-tailed)

Table 4. Independent t-test by gender

	Description	Boy Mean(SD)	Girl Mean(SD)	p-value
Length	Face length	97.60(8.31)	94.89(8.21)	0.0473*
	Nose length	33.73(3.92)	33.03(3.55)	0.2656
	Subnasale-chin length	58.11(5.53)	56.49(5.35)	0.0776
	Menton length	21.41(4.36)	22.33(4.75)	0.2376
Width	Face width	131.24(8.73)	126.91(8.81)	0.0037*
	Nose width	33.46(2.91)	32.59(2.49)	0.0585
	Lip width	39.07(4.10)	38.18(4.83)	0.2393
	Gonion width	105.97(7.97)	103.60(8.37)	0.0853
	Face curvature width	173.95(17.86)	168.32(16.92)	0.0556
Arc	Bitragion - subnasale arc	172.48(17.57)	167.47(17.42)	0.0900
	Bitragion - pronasale arc	177.35(18.50)	171.21(18.17)	0.0482*
Angle	Nose protrusion angle	86.24(6.71)	85.48(6.87)	0.5059
	Alare - nasal root angle	53.26(5.05)	53.21(6.02)	0.9582
	Gonion - nose root angle	63.72(4.20)	63.83(4.76)	0.8829
	Nose root - pronasale- gonion angle	133.43(4.38)	132.81(3.79)	0.3683
	Gonion - subnasale angle	84.29(7.63)	85.31(8.01)	0.4382

* significant, alpha=0.05

들 길이와 너비 항목들이 유의하게(p<0.05)로 증가한 것으로 보인다.

반면, 코뿌리코돌출각도, 코뿌리코망울각도, 코뿌리아래턱각도, 아래턱코밑점각도는 통계적으로 유의한(p<0.05) 음의 상관관계를 보였다. 이는 연령증가에 따라 그 각도가 감소하는 것으로 보인다. 코뿌리코끝턱끝각도(p=0.325)와 턱부위길이(p=0.438)는 연령과 상관성이 없었다(Table 3).

각 항목의 성별 차이를 보기 위해 독립표본분석을 실시하였다. 표 4 에 수록한 바와 같이 남자 어린이가 여자 어린이에 비해 각 항목에서 측정치가 다소 큰 것으로 나타났지만, 16 항목 중 성별에 따라 통계적으로 유의한 차이가 있는 항목은 얼굴길이(p=0.0473), 얼굴너비(p=0.0037), 귀구슬코끝호길이(p=0.0482)의

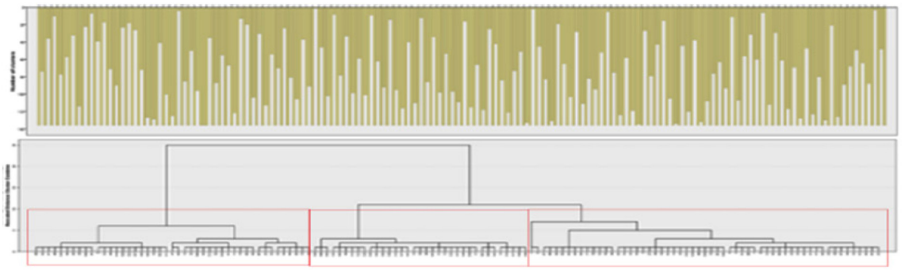


Fig 5. The Dendrogram of the clusters combined showing three clusters

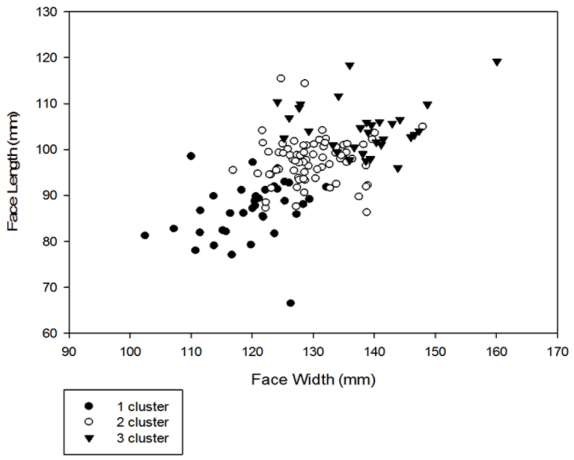


Fig 6. Distribution of test subjects by cluster

3 개 항목뿐 이었다. 이들 3 가지 항목은 남자가 여자보다 얼굴길이 2.71 mm, 얼굴너비 4.33 mm, 귀구슬코끝호길이 6.14 mm 더 컸으며, 통계적으로 유의한 차이가($p<0.05$) 나타났다(Table 4).

마스크 크기를 구분하기 위하여 어린이 137명의 얼굴 계측치를 군집분석(Cluster analysis, SPSS)으로 분류하였다. 우선, 최적의 군집수를 결정하기 위하여 단계적 군집분석에 기반한 계층적 군집분석(hierarchical clustering)을 실시한 후, 덴드로그램을 통하여 얼굴형태별 군집수를 3가지로 결정하였다(Figure 5). 결정된 군집 수인 3가지 얼굴형태별 분류를 위하여 제곱 유클리드 거리를 이용한 비계층적 군집분석(k-mean clustering)을 실시하였고, 각 데이터 값을 최소한의 분

Table 5. The Results of Clustering by Facial Anthropometry

Description	Cluster			F	Sig.
	1 (n=49)	2(n=28)	3(n=60)		
Face length	-.70039	**.77120**	.10799	**31.309**	.000*
Nose length	-.59059	**.70793**	.06352	22.233	.000*
Subnasale-chin length	-.67409	**.40602**	.24063	20.789	.000*
Menton length	-.25647	.50457	-.01644	5.499	.005*
Face width	-.75918	**1.06917**	.13754	**52.284**	.000*
Nose width	-.51196	**.64809**	.06658	15.632	.000*
Lip width	-.54876	**.57232**	.07761	5.499	.005*
Gonion width	-.54381	**.92771**	-.04730	26.232	.000*
Face curvature width	-.98643	**1.35198**	.25825	**212.149**	.000*
Bitragion - subnasale arc	-.96743	**1.40201**	.22361	**223.630**	.000*
Bitragion - pronasale arc	-1.00701	**1.40280**	.25442	**273.060**	.000*
Nose protrusion angle	**.27746**	-.09348	-.14960	2.636	.075
Alare - nasal root angle	**.18185**	-.20505	-.00594	1.354	.262
Gonion - nose root angle	**30395**	-.25973	-.16454	4.150	.018
Nose root - pronasale- gnathion angle	-.04049	-.04121	**.08997**	.284	.753
Gonion - subnasale angle	**.53062**	-.61620	-.27879	19.166	.000*
Specific	Short face length and width, protruded nose, and the largest gonion angle	Long face length and width	Medium facesizes and the largest angle of nose root - gnathion		

* significant, alpha=0.05

산이 되도록 표준화 처리하여 가장 가까운 중심으로부터 군집을 분류한 결과 클러스터 1, 2, 3으로 구분되었다(Figure 6).

F값이 큰 얼굴곡률너비, 귀구슬코밑호길이, 귀구슬코끝호길이, 얼굴너비와 얼굴길이는 3가지 클러스터 집단간 변동이 특히 컸으며(Table 5), 코돌출각도(p=0.075), 코뿌리코망울각도(p=0.262), 코뿌리아래턱각도(p=0.018), 코뿌리코끝턱끝각도(p=0.753)를 제외한 모든 항목이 각 클러스터 사이에서 유의한 차이(p<0.01)가 있었다. 이와 같은 결과에서 얼굴길이와 얼굴너비 그리고 호길이 항목이 유의한 차이로 클러스터링 되었으며, 코밑아래턱 각도(p=0.000)를 제외한 얼굴 각도항목은 각 클러스터 간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

클러스터 1에 속한 어린이의 얼굴 특징은 얼굴길이와 너비가 작고 코가 돌출되어 있으며 아래턱각도가 발달된 특징이 있고, 클러스터 2에 속한 어린이 얼굴의 특징은 얼굴길이와 너비가 큰 얼굴이며, 클러

Table 6. Centroid for each facial anthropometry by Cluster

Description	Cluster		
	1(n=49)	2(n=28)	3(n=60)
Face length	90.42	102.69	97.16
Nose length	31.16	36.03	33.61
Subnasale-chin length	53.60	59.52	58.62
Menton length	20.71	24.19	21.81
Face width	122.22	138.69	130.30
Nose width	31.63	34.79	33.20
Lip width	36.15	41.19	38.97
Gonion width	100.30	112.41	104.39
Face curvature width	153.78	194.83	175.63
Bitragion - subnasale arc	152.90	194.64	173.88
Bitragion - pronasale arc	155.58	200.22	178.95
Nose protrusion angle	87.74	85.23	84.85
Alare - nasal root angle	54.24	52.10	53.20
Gonion - nose root angle	65.14	62.61	63.04
Nose root - pronasale- gnathion angle	132.95	132.95	133.48
Gonion - subnasale angle	88.95	79.99	82.62
Age	5.6.7	11.12.13	8.9.10

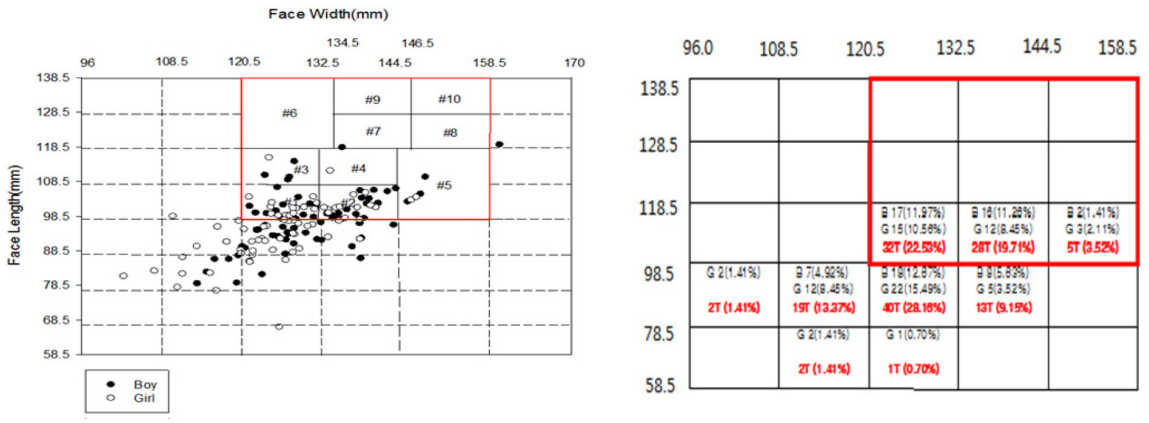


Fig 7. Distribution of test subjects plotted on the NIOSH Panel

스터 3에 속한 어린이 얼굴의 특징은 얼굴크기는 중간이나 코뿌리코끝턱끝각도가 발달된 특징이 있었다. 얼굴크기와 형태별 특징으로 분류된 3가지 클러스터 그룹의 항목별 중심점(centroid)을 Table 6에 수록하였다. 이를 근거로 어린이 마스크 사이즈를 소형, 중형, 대형 3가지로 분류하였다.

수집된 남녀 어린이의 얼굴길이와 얼굴너비 측정치를 이용해 NIOSH panel에 그 분포를 Figure 7과 같이 나타내었다. 이 분포에서 어린이는 성인용 테스트 패널 밖의 다른 위치에 다소 많은 대상자가 위치함을 알 수 있었으며, 어린이의 얼굴 크기는 어른과 비교해 볼 때 얼굴길이와 너비가 다소 작은 것으로 보여진다.

3. 어린이 호흡생리학적 능력 및 마스크 인증기준, 시제품 제작

서울 S 병원에 내원한 어린이 만 6세부터 13세 62명의 폐기능 검사 자료를 수집하였다. 남아 58.1%, 여아 41.9%의 자료를 분석하였으며, 연령별로는 10세(21.0%)와 11세(22.6%)의 자료가 가장 많은 반면 폐기능 검사가 어려운 어린 나이인 6세(6,4%)에서 가장 적은 결과치를 얻어 분석하였다. 그 결과 평균(표준편차)는 최대호기량(PEFR)이 298.4(93.0) ℓ/m, 일회호흡량(TV)은 495.9(176.2) mℓ, 폐활량(VC)은 2284.0 (661.8) mℓ, 전폐용적(TLC)은 2812.9 (729.2) mℓ, 잔기량(RV)은 549.0(319.9) mℓ였다(Table 7). 폐기능과 밀접한 연관이 있는 최대호기량(PEFR)은 본 조사대상 어린이 평균치가 298.4 ℓ/m이었으며, 폐활량의 경우 2284.0 mℓ였다. 이는 서울과 제주 어린이 215명의 평균 최대호기량(PEFR) 283.2 ℓ/m(NIER Report, 2008)와 비교해 약간 높으나 큰 차이는 없는 것으로 판단된다. 따라서 어린이의 폐기능은 정상 성인에 비해 약 60% 정도로 사료되며, 이를 근거로 제작하는 어린이

Table 7. Values of pulmonary function testing in children (N=62)

PFT(pulmonary function test)	Mean(SD)	Adult†	Rate
PEFR(peak expiratory flow rate)	298.4(93.0)	420-520 ℓ/m	63%
TV(tidal volume)	495.9(176.2)	500ml-600 mℓ	90%
VC(vital capacity)	2284.0(661.8)	3200-4800 mℓ	57%
TLC(total lung capacity)	2812.9(729.2)	4200-6000 mℓ	55%
RV(residual volume)	549.0(319.9)	mℓ	41%

† Data for Adult were obtained from the report of NIER, 2008

Table 8. Certification of KF80 for yellow sand dust & Suggested criteria for Children's mask

Criteria	KF 80‡	For Children
Filtering efficiency test	95 L/m. upper 80%	60 L/m. upper 80%
Inhalation resistance test	30 L/m. below 60 Pa	20 L/m. below 60 Pa
Face seal leakage test	below 25%	below 25%

‡ KF: Korea filter, Ministry of Food and Drug Safety

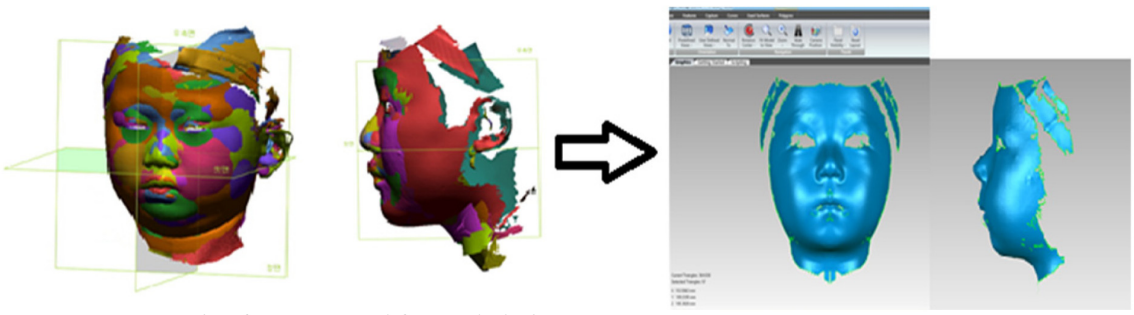


Fig 8. Representative face generated for mask design

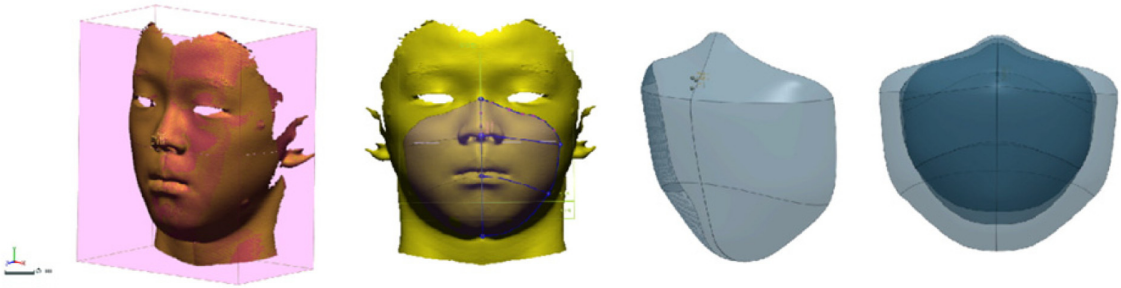


Fig 9. Mask design process utilizing the 3D image

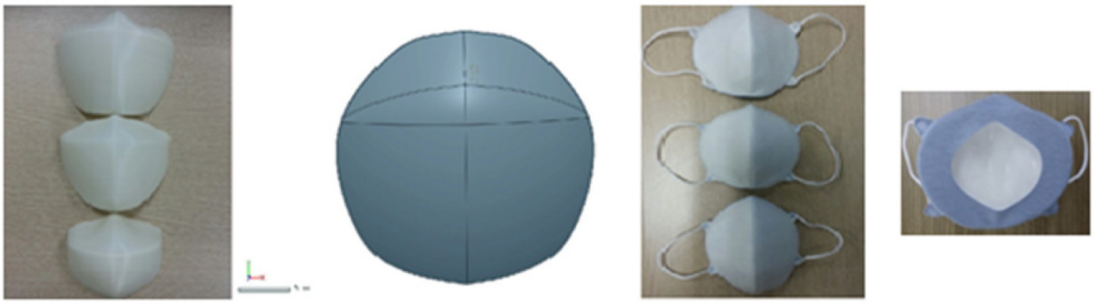


Fig 10. Masks printed using 3D Printer and prototype masks manufactured for testing

Fig 11. Exercises selected for fit testing (1. Normal breathing 2.Turning head side to side 3. Bending over)

용 시제품 마스크에는 국내 황사마스크 인증기준인 KF80 시험법 자료의 60%를 적용하여 기준으로 제안하였다(Table 8).

시제품의 성능은 filter efficiency를 85.5%, pressure drop은 10.9 Pa로 제작하였으며, 마스크의 크기는 어린이 144명의 안면부 측정으로 구분한 클러스터로부터 3가지 크기로 제작하였다. 대. 중. 소 그룹으로 분리된 어린이들(1 클러스터 38명. 2 클러스터 73명, 3 클러스터 31명)중 95percentile에 속한 안면부 이미지를 중첩하여 대표얼굴(Figure 8)을 만든 후 Figure 9와 같이 3D 이미지상에서 직접 마스크 디자인을 설계하는 3D 기법을 이용하였다. 디자인한 마스크를 3D 프린터로 출력하여 시제품 제작을 위한 보정작업을 하였으며, KF80 마스크 시험법의 60%를 적용한 시제품 18개와 KF80 마스크 시험법을 적용한 시제품 18개, 총 36개를 마련하여 시험하였다(Figure 10).

4. 밀착도 검사

제작된 시제품 마스크가 어린이 얼굴에 밀착이 잘 되는지 확인하기 위하여 소형, 중형, 대형 3가지 마

Table 9. Result of Fit factor & Leakage

		Large		Medium		Small		KF80	Children	P
		KF80	Children	KF80	Children	KF80	Children			
FF	GM(GSD)	115.4(2.4)	52.0(2.9)	129.3(2.2)	127.1(2.5)	200.0(1.0)	170.0(1.5)	124.6(2.3)	84.3(2.9)	*0.000
	Pass rate	83.3	33.3	66.7	83.3	100	83.3	83.3	66.7	
L	Mean(SD)	5.6(4.1)	12.41(8.3)	4.74(3.5)	3.29(2.6)	3.6(1.4)	5.6(5.6)	4.67(3.1)	7.12(6.8)	*0.006

*Statistically significant, alpha = 0.05 by Paired t-test

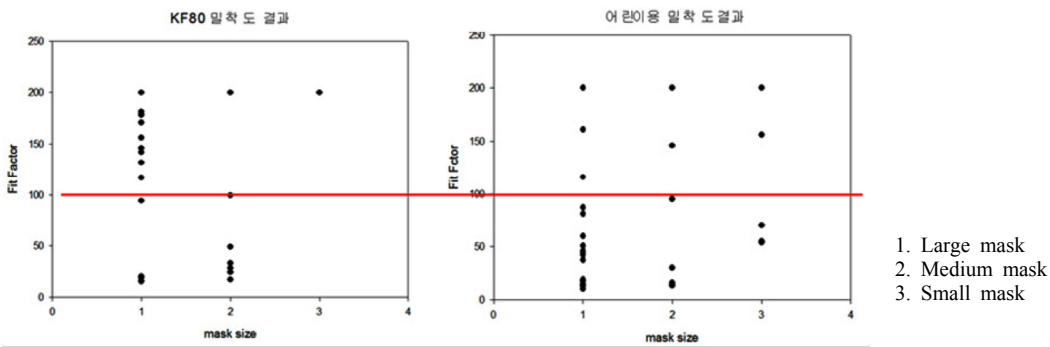


Fig 12. Fit Factor in each mask

스크를 얼굴크기에 맞는 어린이 각 6명(총 18 명)에게 착용시킨 후, 밀착도 검사용 3가지 동작을 수행하게 하여 밀착도와 누설률을 검사하였다(Figure 11).

밀착도 검사와 누설률 검사를 실시한 결과는 Table 9와 같다. KF80 시험법으로 제작한 마스크 중 밀착도가 가장 낮은 마스크는 대형 사이즈였고 밀착계수 기하평균(기하표준편차)은 115.4(2.4)였다. 어린이 시험법으로 제작한 마스크 중 대형사이즈의 밀착계수 기하평균(기하표준편차)도 52.0(2.9)로 역시 가장 낮은 결과를 보였다. KF80 시험법으로 제작한 마스크 중 밀착도 검사 성공률이 가장 좋은 마스크는 소형 사이즈로 100%였고, 중형의 성공률은 가장 낮은 66.7%였다. 어린이 시험법으로 제작한 마스크 중 대형사이즈 마스크의 밀착검사 성공률이 33.3%로 가장 낮은 결과를 보였다. 반면 중소형은 밀착도 성공률이 동일하였고, 성공률도 83.3%로 높았다. MT03으로 실시한 누설률 또한 12.41%로 나타나 어린이용 시험법의 대형 마스크의 경우 특히 밀착이 안되었을 뿐 아니라 필터로도 누설되는 것이 의심되었다.

Figure 12에서 Fit Factor가 100이하인 마스크는 대형과 중형 사이즈가 대부분이었으며, 100 이하의 밀착계수를 나타낸 마스크는 KF80 시험법에 의한 마스크보다 어린이용 시험법에 의한 마스크가 더 많았다. 하지만 KF80 시험법과 어린이용 마스크 시험법에 의한 마스크 전체의 밀착계수 기하평균(기하표준편차)은 각각 124.6(2.3)와 84.3(2.9)이었고, 밀착도 검사의 pass rate 또한 83.3%와 66.7%의 통과율을 보였다. KF80 시험법에 의한 마스크와 어린이용 시험법에 의한 마스크의 밀착계수는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(P<0.000).

5. 고찰

본 연구는 3D 스캔 데이터를 이용하여 어린이 안면부에서 여러 항목을 측정한 후, 호흡보호구 설계를 위하여 얼굴 형태를 구분하고자 하였다. 기존 연구에서 3D 안면 스캔 데이터를 이용하는 digital 설계 또는 평가 방법들이 제안(Gross et al., 1997; Han & Choi, 2003; Song & Yang, 2010)되어 있으나, 현재까지 어린이용 마스크를 설계하기 위한 분류기준이나 평가기준은 제시되고 있지 못한 실정이다.

3D 스캐닝 장치는 사물의 형상을 입체적으로 읽어들여 디지털화하는 장비로서 리버스 엔지니어링, 매스 커스터마이제이션, 캐릭터 디자인, 유물 및 건축물 복원 등에서 사용되고 있으며, 전통적인 실측 방법과

달리 매우 정밀한 측정이 이루어진다. 얼굴의 경우, 각 포인트의 위치 선정과 표지점의 정의가 측정 결과치에 큰 영향을 줄 수 있다고 하며, 직선거리와는 다른 개별 얼굴 형상의 자유곡선 측정은 실측치와 더 큰 차이가 있다고 하였다(Han et al., 2004). 3차원 측정의 장점은 인체측정에 소요되는 시간을 절약할 수 있고, 전통적 직접측정법으로 측정할 수 없는 부위도 측정이 가능하다. 하지만 신뢰할 수 있고 정밀한 3차원 자료를 얻기 위해서는 우선 하드웨어나 소프트웨어의 정밀도에 대한 검증이 필요하며, 표준화된 3차원 측정 방법이 확립되어야 한다(Lee et al., 2004).

3D 데이터를 이용한 얼굴분석에 대한 연구(Kim et al., 2003; Song & Yang, 2010)에서 밀착이 잘되는 마스크 개발에 필요한 성인 얼굴 형태를 3차원적인 방법으로 분류하거나 얼굴의 밀착부를 3차원으로 모델링하였다. Luximon et al.(2010)에 의하면 중국 성인의 얼굴 형태는 미국인의 얼굴 형태와 다를 뿐 아니라 한국과 같은 다른 아시아 인종과의 비교에서 중국성인 여성의 얼굴너비는 그들보다 넓고 얼굴길이는 짧은 것으로 조사되었다. Ball et al.(2010)은 Size China사업을 통해 3D 안면 데이터를 중국과 코카시안의 안면과 머리를 측정 비교하였으며, 최근 연구들은 3D 안면 스캔데이터를 이용하여 치수를 측정하거나 형상을 분석(Zhuang et al., 2010a; Zhuang et al., 2010b; Luximon et al., 2012)하고 있을 뿐만 아니라, 3차원 영상으로부터 성인 얼굴 형태를 모델링하는 연구(Lee et al., 2011; Kim et al., 2013b)도 활발히 이루어지고 있다.

Lee et al.(2012)은 호흡보호구 설계를 위한 3차원 안면 연구들의 선행자료 검토를 통하여 안면크기와 안면 형태를 분류하였고, 이에 적합한 호흡보호구를 설계하고 평가하는 측면은 다양한 인간공학적 제품 개발에 중요하게 적용될 수 있음을 시사하였다. 최근 3D 스캔 기술 및 FEM(Finite Element Method, 유한요소법)기반의 분석 시스템이 발전함에 따라 많은 양의 점들로 구성된 정교한 3D 안면에 대한 다양한 분석이 가능해졌음에도 불구하고, 어린이와 노인 등에 대한 연구는 드물게 이루어지고 있다. 직접측정이 어려운 노년층이나 장애인, 그리고 어린이들에게는 짧은 시간 안에 효율적이며 안전하게 측정이 이루어지는 3차원 측정이 바람직한 방법(Weinberg & Kolar, 2005; Amirav et al., 2014)이다.

이러한 장점에도 불구하고 세계적으로도 어린이 얼굴에 대하여 3D 측정을 하거나 얼굴의 3차원 분석을 하는 연구는 매우 찾아보기 힘들다. 소아의 약물 투여용 마스크 디자인에 있어서, 이들의 연령그룹간 차이를 알아보기 위해 실시한 연구(Amirav et al., 2014)에서는 생후 1개월부터 4세의 소아 271명을 대상으로 3D 스캐닝을 한 후 얼굴 이미지 분석을 하였는데, 신생아, 영아 그리고 소아에서 3가지 클러스터 그룹으로 분류되었으며, 소형, 중형, 대형의 마스크 사이즈가 필요하다고 결론 지었다. 본 연구의 결과도 위의 연구와 마찬가지로 연령이 증가함에 따라 얼굴의 길이와 너비가 증가함을 볼 수 있었고, 코뿌리코끝턱끝각도와 턱부위길이를 제외한 나머지 항목은 연령증가에 따라 유의한 차이를 보였다.

안면부의 민족간, 인종간 차이에 대한 선행 연구(Ball et al., 2010)에 의하면 얼굴형상이나 그 특성이 상이하며, 동일한 인종 내에서도 개체마다 서로 다른 경향이 있다고 하였다. Cho & Choi(1999)에 의하면 한국인의 얼굴유형은 남녀모두에서 둥근얼굴(그룹A)과 좁고 긴얼굴(그룹B)로 분류하였으며, 얼굴길이와 너비의 비율관계로 전체적인 얼굴의 형태를 표현하는 것이 바람직하다고 하였다. 본 연구의 경우 어린이의 얼굴 형태를 3가지 클러스터로 분류하는 기준에서 얼굴 길이와 너비 항목이 큰 영향을 미쳤음을 알 수 있었다.

Kim et al(2003)은 한국인 얼굴의 형상 해석에서 4가지 형태(얼굴굴곡이 없는 타원형, 굴곡이 많은 긴 타원형, 둥근 타원형, 턱이 밋밋한 긴 타원형)로 분류하였으며, 얼굴크기를 코뿌리점에서 턱끝융기점까지의 좌표값을 이용하여 측정된 거리를 이용하였다. 남자와 여자 모두 거의 두 그룹에 집중되어 있었고, 이는 남자와 여자가 고유한 얼굴형을 가지고 있는 것으로 나타났다. 한국인은 얼굴 유형의 해부학적 특성이 보편적인 얼굴(Cho & Choi, 1999)을 지닌다고 하였으며, 어린이의 안면부 형태의 지역적 차이를 비교한 연구(Kim et al., 1992)에서도 성별과 지역간의 얼굴 항목의 통계적 차이가 없다고 보고하였다. 하지만 나이에 따른 안면부 크기를 비교한 연구에 의하면(Kim & Lee, 2010a) 나이가 들어감에 따라 얼굴 불균형이 생긴다고 하였으며, 어린이의 안면 연구에서는 하악의

성장이 머리의 다른 부분에서 보다 장기간에 걸쳐 성장이 이루어지며 불규칙하고 예측이 어렵다고(Chang, 1997)하였다. Jung & Whang(1999)은 얼굴길이가 10-11, 12-13, 14-15세 사이 군에서 연령증가에 따라 그 길이가 유의한 차이로 증가하였다고 보고하였으며, 본 연구에도 나이별 증가에 따른 얼굴 크기의 증가와 같은 결과를 나타내었다. 어린이의 연령 증가에 따라 안면부의 성장과 형태적 특성에 변화가 있다는 위의 연구 결과와 같이 이번 연구에서도 연령 증가에 따라 얼굴너비, 얼굴길이, 얼굴곡률너비, 귀구슬코밑호길이 그리고 귀구슬코끝호길이가 어린이 얼굴 형태 분류에 영향을 미치는 길이 항목이었다.

어린이 얼굴을 군집 분석한 결과 얼굴크기가 작은 얼굴과 중간 얼굴 그리고 큰 얼굴의 3가지 그룹으로 분류되었다. 얼굴 형태의 특징은 1번 클러스터 그룹은 작은 얼굴 크기로 코가 돌출되고 아래턱각도가 발달된 특징인 5.6.7세 어린이였으며, 2번 클러스터 그룹은 얼굴길이와 너비가 두드러지게 큰 특징을 가지고 있었으며 11.12.13세의 어린이가 다수 포함되었다. 중간크기 얼굴인 3번 클러스터 그룹은 코뿌리코돌출턱끝각도가 발달된 특징을 가진 8.9.10세의 어린이가 다수 포함되어 있었다. Amirav et al.(2014)은 연령이 증가함에 따라 얼굴의 길이와 너비가 증가하였고 소형, 중형, 대형의 마스크 사이즈가 필요하다는 결과를 제시하였는데, 본 연구에서도 3가지 크기의 마스크를 분류하였고, 이를 바탕으로 시제품을 제작하기로 하였다.

본 연구 결과는 성장기의 어린이들의 다양한 안면크기와 형상을 3차원 스캔 데이터들을 이용하여 길이와 너비뿐만이 아니라 각도 및 곡선길이 등 세부적이고 정확한 측정을 실시하였고, 향후 3차원 안면데이터를 이용한 어린이 마스크 사이즈의 기초 자료로 활용될 수 있다. 이와 같은 3D 스캐닝을 기반으로 모델링 하는 방법은 매우 정교하고 사실적인 모델을 얻을 수 있지만 3D 얼굴데이터 수집이 어렵고, 모델을 구축하는데 있어 수반되는 작업량이 많고 처리하는데 시간이 많이 걸리는 단점이 있다(Kim et al., 2013b). 하지만 측정자에 의한 오차가 적고 피험자가 빠른 시간내에 번거롭지 않은 과정으로 측정을 마칠 수 있다는 장점이 있으며, 다양한 측정치를 얻을 수 있는 이점을 지니고 있어 어린이들의 안면부 측정에 유용하였다.

마스크의 크기는 물론 어린이의 호흡생리학적 특징을 고려하여 숨쉬기 편한 마스크를 개발하기 위해서는 호흡량 자료가 필요하였다. 만 5세부터 13세의 어린이 폐기능 결과치는 국립환경과학원(2008)의 결과와 유사하였으며, 성인의 생리학적 자료와 비교하여 약 60%의 차이가 있었음을 알 수 있었다. 일본의 어린이 연구에 의하면 각 활동 별 어린이 호흡량은 성인과 비교하여 매 분당 호흡량이 70%, 피크유량(PF)이 약 70% 적게 측정되어 일본의 마스크 국가검정규격 유량 85 L/m의 0.7배를 적용한 60 L/m이 적당하다고 하였다(JASHS, 2013). 본 연구의 결과에서는 어린이의 호흡량이 성인과 60% 차이를 보여 이를 토대로 마스크 인증 시 검정 항목 내 기준을 정하였다. KF80 시험법에 대하여 어린이 마스크 시험법의 시험유량은 분진포집효율 시험 유량 60 L/m, 안면부 흡기저항 시험 유량 20 L/m으로 각각 정하여 시제품 마스크를 제작하였다.

시제품 마스크는 각각 KF80시험법과 어린이용 시험법을 적용하여 제작하였는데, 이는 현행 마스크 인증기준과 본 연구에서 제안한 기준이 어떤 차이를 가지는지 비교하기 위한 것이었다. 시제품에는 마스크 내부로 누설되는 부분에 마스크 shell을 덧댄 형태를 개발(Koehler, 2014)한 것과 같이, 천을 덧붙여 내부의 누설을 줄이고 착용감을 높이도록 하였다. 이 시제품 6가지 종류의 마스크 총 72개로 남녀 18명 어린이에게 밀착도와 누설률 검사를 실시하였다. 그 결과, 어린이 시험법 적용 마스크의 밀착도는 KF80 시험법 적용 마스크의 밀착도 결과에 비해 낮게 나타났으며, 특히 대형 마스크의 경우 Overall Fit Factor의 평균값이 85.1로 낮은 결과를 보였다. 마스크를 착용한 어린이의 모습에서 밀착은 잘 유지된 것으로 보였으나, 필터의 문제가 아닐까 하는 의문을 갖게 되었다. 중형 마스크의 경우 연구에서 제안한 크기보다 작은 크기로 시제품이 제작되어 대부분의 대상 어린이의 얼굴길이보다 작았으며, 밀착도 검사에서 66.7%의 성공률을 나타내었다. 이는 얼굴크기에 맞는 마스크를 착용할 때 밀착도 성공률이 높다는 Han(2000)의 연구결과와 비슷하다. 하지만 KF80 시험법을 적용한 대. 중. 소형 마스크와 어린이용 시험법을 적용한 대. 중. 소형 마스크의 평균 밀착계수는 100이상을 넘는 결과를

보였고, 밀착도 검사의 성공률 또한 높게 나타났다. 이는 안면부에 부착한 마스크 shell이 밀착도를 높여주는 역할을 한 것으로 보여진다.

본 연구의 제한점으로는 대상 어린이 수가 적은 점이다. 이는 대상자를 구하기 매우 어려운 현실적인 제약이기도 하지만 향후에는 더 많은 대상자를 대상으로 해야 할 것으로 본다. 특히 폐기능 자료의 경우 수집된 자료의 연령별 분포가 고르지 않아 그 차이를 분석하지 못하였다. 또 시제품 마스크의 밀착도 검사를 실시할 때 OSHA Exercise Regimen 8가지중 3가지 동작만을 사용한 점이다. 이는 작업장의 근로자들에게 밀착도 검사를 하기 위한 8가지 동작을 어린이들에게 그대로 적용하기에는 무리가 있었으므로, 그 중 정상호흡, 머리 좌우로 움직이기, 허리 굽히기의 3가지를 선정하여 실시하였는데, 이로 인한 결과가 다소 달라질 수 있다고 본다. 일본에서도 (JASHS, 2013) 어린이가 주로 활동하는 4가지 종류의 동작으로 밀착도를 측정하였다. 그러나 추후 어린이용 마스크의 밀착도를 측정하게 된다면 좀더 근거있는 동작으로 구성한 Exercise Regimen이 필요할 것으로 사료된다. 그리고 밀착도 검사는 물론 누설률도 측정하였으나, 이 두 가지 방법은 각각 다른 두 기기를 이용해 마스크가 얼마나 잘 맞는지를 확인하기 위한 방법일 뿐 밀착도와 누설률을 상호 비교하기 위한 방법은 아니었다.

이런 제한점에도 불구하고, 본 연구의 결과에 의하면, 어린이 얼굴의 크기와 특성에 따른 마스크의 구분이 필요하다고 보며, 어린이의 호흡생리에 적합한 마스크를 제작해야 한다고 본다. 이를 위해서 현행 황사마스크 인증 기준인 KF80 시험법 기준의 60%를 적용하였는데, 이 기준이 적합한 것으로 인정받으려면 더 많은 자료를 축적해야 할 것으로 본다. 이 연구에서는 궁극적으로 어린이 얼굴 형태에 맞는 마스크를 설계하고, 착용감을 높이는 방안을 마련하였으며, 숨쉬기 편한 마스크 개발을 하고자 하였는데, 소기의 목적을 달성한 것으로 판단되었다.

IV. 결 론

어린이용 호흡보호구 설계를 위한 기초자료를 구하고자 어린이 안면부 형태를 측정하고 특징을 구분하였다. 만 5세부터 13세 남녀 어린이 144명을 대상으로 3D 스캐닝한 후, 소프트웨어를 통하여 3차원 형상 데이터를 만들어 안면부 16개 항목을 측정하였다. 또 측정된 안면부 항목을 통계적으로 분석하여 3가지 그룹으로 구분하였으며, 성인의 생리학적 자료와의 차이를 고려한 어린이 마스크 시험법을 적용하여 어린이용 마스크를 제작하였다. 이를 대상으로 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 피험자는 총 144명이었으며, 남자 어린이 72명(50%)과 여자 어린이 72명(50%)이었고 연령은 만 5세부터 13세까지 각 연령군별 16명씩(11.1%) 분포하였다.

2. 연령과16항목에 대한 상관분석결과 길이와 너비 등의 수치는 양의 상관관계가, 그리고 각도는 음의 상관관계가 있었으며, 코뿌리코끝턱끝각도와 턱부위길이는 연령과 상관성이 없었다.

3. 얼굴형태 분류를 위한 최적의 군집수는 계층적 군집분석 결과 3가지로 분류되었다. 비계층적 군집분석(k-mean clustering)을 실시하여 각 얼굴의 형태별 특성을 분류한 결과, 3가지 클러스터로 분류되었다. 이를 기반으로 대형 마스크의 사이즈는 121 x 99 mm, 중형 마스크는 118 x 94 mm, 소형 마스크는 102 x 91 mm를 제작하였다. 마스크의 안면부 접촉면에는 shell을 덧대어 밀착도와 착용감을 높이도록 설계하였다.

4. 어린이의 폐기능 자료에서 최대호기유속과 폐활량은 성인 정상치의 약 60%로 조사되었다. 이를 기반으로 시제품의 어린이 마스크 시험법을 KF80 시험법의 60%로 정하였으며, 시제품으로 제작된 마스크를 대상으로 한 밀착도 검사 결과 어린이 마스크 시험법은 KF80의 마스크 시험법의 결과에 비해 낮은 밀착도를 보였다.

5. 대형마스크의 경우, 밀착도 검사 결과 낮은 결과를 보였으며, 검사 통과률도 매우 낮았다. 중소형 마스크의 경우 밀착도 검사에서 66.7%~100%의 통과율을 보였으며, 중형크기의 KF80 시험법 마스크와 어린이용 시험법 마스크 밀착계수의 기하평균(기하표준편차)값을 살펴보면 각각 129.3(2.2)와 127.1(2.5)이며, 소형크기의 KF80 시험법 마스크와 어린이용 시험법 마스크 밀착계수의 기하평균(기하표준편차)값은 각각 200.0(1.0)과 170.0(1.5)였다.

결론적으로 본 연구에서 사용한 3D 측정방법은 얼굴과 같은 측정이 어려운 곳에 유용하게 활용할 수 있으며, 어린이 등 측정이 어려운 대상자에게 적용하기 편리한 것으로 판단된다. 이 연구에서 분류된 어린이의 안면부 클러스터와 안면부 형태의 특징은 추후 한국의 어린이용 마스크를 설계할 때 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 보며, 성인과의 생리학적 자료가 차이가 있음을 고려하여 별도의 마스크 시험법 제정이 필요할 것으로 판단된다. 즉 현행 황사마크스 기준은 어린이에 맞지 않으며, 향후 어린이의 호흡생리를 감안하여 인증기준을 마련해야 어린이가 숨쉬기 편한 마스크의 제작이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구를 수행할 수 있도록 물심양면으로 후원을 아끼지 않으신 도부라이프텍의 김일순 회장님께 먼저 큰 감사를 드리며, 3D 측정과 프린팅을 위해 많은 도움을 주신 프로토텍의 직원에게도 감사를 드립니다. 특히 한천초등학교와 문덕초등학교의 교장, 교감, 선생님 그리고 대방동 성모유치원과 서울 꿈나무 마을의 원장선생님, 선생님들 그리고 참여 어린이들의 큰 도움이 없었다면 이연구가 진행될 수 없었을 것입니다. 머리 숙여 이 모든 분들께 깊은 감사의 인사를 드립니다.

References

Amirav I, Luder AS, Halamish A, Raviv D, Kimmel R., Waisman D and Newhouse MT. Design of aerosol face masks for children using computerized 3D face analysis. J. Aerosol. Med. Pulm. Drug. Deliv 2014; 27: 272-278

Ball R, Shu C, Xi PC, Rioux M, Luximon Y and Molenbroek. J. A comparison between chinese and caucasian head shapes. J . Ergonomics2010; 41: 832-839

Chang YI. Facial asymmetry. Kor. J. Orthod1997; 21(2): 251-258

Cho SW and Choi YC. Craniofacial morphologic patterns related to different facial types in korean adults: a cephalometric analysis. J. Kor. Acad. Pediatr. Dent 1999; 26(1): 185-199

Gross ME, Taylor SE, Mountjoy DN and Hoffmeister Jeff. Antropometric research on the sizing of the MBU-20P Aircrew Oxygen Mask. AFRL-HE-WP-TR-2002-0181, Human Effectiveness Directorate Crew System Interface Division Available from United States Air Force Research Laboratory1997

Han DH, Rhi JM. Development of half-masks well-fitting for korean faces (2)-pilot study. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2004; 14(1): 8-17

Han DH and Choi Kl. Facial dimensions and predictors of fit for half-mask respirators in koreans. J.AIHA 2003; 64(6): 815-822

Han DH. Fit factor for quarter maska and facial size categories. Ann. occup. Hyg 2000; 44(3):227-234

Jung M and Whang CJ. Semi-longitudinal study on growth development of children aged 6 to 16. Kor. J. Orthod 1999;29(1): 51-72

KFDA. Guidelines on the specification of standard on the dust mask. 2010

Kim HJ, Im SW, Jargal G, Lee SW, Yi JH, Park JY, Sung JH, Cho SI, Kim JY, Kim JI and Seo JS. Heritabilities of facial measurements and their latent factors in korean families. genomics inform 2013a;11(2): 83-92

Kim JS, Kim JM and Cho HJ. 3D face modeling from a frontal face image by mesh-wrapping. J Kor. Mult. Soc 2013b;16(1): 108-118

Kim A and Lee KH. Comparison and analysis of women faces in 60s through women face's measured value. Kor. J. Sci. Emot. &Sens 2010a; 13(3): 485-492

Kim SH, Son JY, Lee JT, Kim TH, Sohn JW, Shin DH, Park SS, Yoon HJ and Park SW. Effect of airpollution on acute exacerbation of adult asthma in seoul, korea: A case-crossover study. Korea J Med 2010b; 78(4): 450-456

Kim DS, Yu SD and Ahn SC. A study on the acute effects of fine particles on pulmonary function of school children in china. Epidemiology2006*;* 17(6): 404

Kim KY, Kim HY, Lee J, Lee ED, Kim DW. Development of the 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

Kim JC, Hwang HS, Cho SM. A comparative study on dentofacial morphology between urban and sub-urban children, Korean J. Phys Anthrop 1992; 12: 187-199

Koehler RH, He X, Grinshpun SA. A novel face seal design for filtering facepiece respirators: development and pilot testing in a hospital operating room. J. ISRP 2014; 31(2): 116-127

Lee WS, Jung DH, Park SW, Kim HE and You HC. Facial anthrophometric surveys and respiratory design: a

literature review and future works 2012. Website: http://www.esk.or.kr/conference/2012_fall/file/S2/S2.4.pdf

Lee WS, Jeong JR, Jeon EJ, Son DH, Park SK, Jung DH, Kim HE and You HC. Development of a design process for an oxygen mask based on 3D face scanning. Ergo. Soc. Kor 2011;18-23. website: http://www.esk.or.kr/conference/2011_spring/file/S13/S13.1.pdf

Lee JI, Ju SL and Ashdown SP. A basic study contributes to extract the standardized 3D body data for women aged 60 and older. J Korean Soc .Cloth.Text 2004;28(2): 344-353

Liu, Yun, Kau, Chung How, Pan, Feng, Zhou, Hong, Zhang, Qiang. A 3-dimensional anthropometric evaluation of facial morphology among chinese and greek population. J Craniofacial Surgery2013; 24 (4):353-358

Lui H. LiZ and Zheng L. Rapid preliminary helmet shell design based on three-dimensional anthropometric head data . J .Eng. Desig 2008;19(1): 45-54

Luximon Y. Ball R and Justice L. The 3D chinese head and face modeling. Computer-Aided Design 2012;44: 40-47

Luximon Y, Ball R and Justice L. The chinese face: a 3D anthropometric analysis, organizing commettee of TMCE April 2010; 12-16

ME. Ministry of environment comprehensive plan for preventing damage caused by yellow dust 2013

NIER Report. Health effect of yellow dust and fine particulates 2008

Song YW, Yang WH. Half-mask interface prototype design using korean face anthropometric data. J Korea Safety Mang & Scien 2010;12(4):87-92

Son JY, Cho YS, Kim YS, Lee JT and Kim YJ. An Analysis of air pollution effect in urban area related to asian dust on all-cause and cause-specific mortality in Seoul, Korea 2000-2006. J. Env. Hlth. Sci 2009; 35(4): 249-258

The 60th Annual meeting of the japanese association of school health. Safety NWES 2014; 660:12-14

The 60th Annual meeting of the japanese association of school health Safety NWES 2013; 659:4-7

Weinberg SM and Kolar CJ. Three-dimensional surface: limitations and considerations from the anthropometric perspective. J. Craniofacial Surg2005; 16(5): 847-851

Yatapanage KG, Post K. Measurement of 3D facial contours for the design of half-face respirators. Am Ind Hyg Assoc J 1992;53(1): 19-26

Yu SD, Cha JH, Kim DS and Lee JT. Effects of fine particles on pulmonary function of elementary school children in ulsan. Kor. J. Env. Hlth 2007; 33(5): 365-371

Zhuang Z, BensonS and Viscusi D. Digital 3-D headforms with facial features representative of the current US workforce. J Ergonomics 2010a; 53(5): 661-671

Zhuang Z, Slice DE. Benson S. Lynch S and Viscusi, DJ. Shape analysis of 3D head scan data for US respirator users. EURASIP Jon Advances in Signal Processing 2010.2010b; 2010: 248954. Website: http://asp.eurasipjournals.com/ content/2010/1/248954.