Journal of the Korean Society of Costume
Vol. 69, No. 5 (August 2019) pp. 85-99

Print ISSN 1229-6880
Online ISSN 2287-7827
https://doi.org/10.7233/jksc.2019.69.5.085

사용자맞춤형 다기능성 스마트 방진마스크 개발에 관한 연구

- 3D 스캐닝과 3D 프린팅 기술의 활용을 중심으로 -

이 현 승
국민대학교 모듈형 스마트패션 플랫폼 연구센터 연구교수

A Study on the Development of User Focused Multifunctional Smart PM Face Masks with a Focus on the Application of 3D Scanning and 3D Printing

Hyun Seung Lee
Research professor, Module System Smart Fashion Platform Research Center, Kookmin University
(received date: 2019. 5. 17, revised date: 2019. 5. 23, accepted date: 2019. 6. 10)

ABSTRACT

This study aimed to develop a multifunctional particulate matter(PM) face mask to address the limitations of existing fabric PM face masks. A smart PM face mask could effectively filter out PM by sticking to a wearer's face completely and providing hands-free functionality through Bluetooth technology for communication through smartphones. This would provide a solution to problems people unavoidably have when they wear masks. A volunteer was recruited for the study, and the person's face and head underwent 3D scanning to develop the user-focused facial structure of the mask. Second, a total of five facial frames were developed and then tested by the volunteer to select the most fitted frame. Third, based on the selected frame, the 3D model of the mask platform was designed and 3D printed. At the same time, the Bluetooth system was also developed to fit to the structure of the platform. Fourth, a multifunctional smart PM face mask providing PM protection according to KF94 standards was combined with Bluetooth hands-free technology allowing wireless phone calls. At last, the developed mask was worn by the volunteer to assess the wearability and operability of the system, the mask's platform, and the Bluetooth system. All components were evaluated as positive and operative.

Key words: face-mask(마스크), multifunctionality(다기능성), particulate matter(미세먼지), 3D-printing(3D 프린팅), 3D-scanning(3D 스캐닝)

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2015R1A5A7037615)
Corresponding author: Hyun Seung Lee, e-mail: srwalpha@naver.com

Ⅰ. 서론

현재 한국의 미세먼지에 의한 대기오염은 점차 심화되고 있으며, 이로 인한 사회경제적 손실 또한 증대되고 있는 실정이며(Rhee, Ahn, & Kim, 2019. pp.173-174; So, 2016, pp.225-227), 개인단위에서 미세먼지에 대처하기 위한 조치로 마스크의 착용이 권장되고 일상화되고 있는 추세이다(Kang, 2015, pp.1-2; Kang, 2016, pp.114-115). 이러한 사회·환경적인 현상을 두고 보았을 때, 패션 디자인 분야에서 현재 심화일로의 미세먼지 문제에 대처하기 위한 제품 디자인 개발연구의 활성화가 요구되는 시점으로 사료된다. 패션분야에서는 Han(2004)과 Kang(2015), Kim, Seo, Myong, Yoon, Song & Kim(2016) 등의 연구와 같이 기존의 1회용 반면형 마스크의 사용성을 개선하기 위한 소재개발, 착용성, 기밀성(안면부누설율)에 관한 연구가 수행되어왔다. 그러나 일상적인 미세먼지 필터링 기능의 섬유(펄프) 소재를 활용한 1회용 반면형 마스크의 경우, 섬유소재의 안면부를 고무 스트랩으로 조이고, 콧잔등 부분의 노즈 서포트를 안면윤곽에 맞춰 조절하여 밀착시키는 구조 및 착용방식의 특성상 착용자의 안면에 완벽하게 밀착되기에 어려움이 있을 수 있음과 더불어, 안경 착용자의 경우 날숨이 세어나감에 따라 안경에 김이 서리는 불편함이 있다(Kwon, 2018, p.574).

미세먼지 차단을 위한 마스크는 사용자에 안면에 밀착되었을 때 완전한 기능성을 제공할 수 있다. 또한 현재 악화되고 있는 미세분진 문제로 인해 남녀노소를 불문하고 분진마스크의 착용대상과 수요가 확대되고 있음을 고려한다면, 보다 유연한 디자인 및 기술적인 시각에서의 연구개발의 필요성이 발견된다. 이를 통해 앞서 언급된 안면밀착성과 같은 불편함을 해소함과 더불어 효과적인 미세먼지 차단 및 기존 마스크의 기능적 측면을 강화할 수 있을 것으로 사료된다.

이와 같은 측면에서 두고 보았을 때, 미세먼지 차단을 위한 마스크의 착용성 및 기능성, 특히 안면부 밀착성 부분의 한계를 극복하기 위한 효과적인 방안으로, 사용자의 안면정보를 오차 없이 모사 가능한 3D 스캐닝과 3D 프린팅 기술의 활용은 연구의 가치가 있는 것으로 사료된다. 사용자의 안면정보를 3차원 스캔하여 해당인물의 안면윤곽에 동일한 형태의 마스크를 출력함으로써, 기존의 1회용 섬유소재 반면형 마스크의 안면부누설율 측면의 한계성을 극복할 수 있는 것으로 판단된다. 실제 한국 못지않게 미세먼지 문제가 심각한 중국의 샤오미 및 뉴질랜드의 O2O2 등의 해외브랜드에서는 기존의 1회용 반면형 마스크의 한계성을 극복하기 위해, 사용자의 안면에 밀착되기 위한 비섬유 재질 마스크의 구조 및 방진 필터, 전자공학 기술을 활용하여 보조적인 기능을 제공하는 하이브리드적인 개념의 스마트 마스크를 활발히 연구 개발하여 출시하고 있다(Walmsley, 2019. February 24; Cheng et al., 2017, p.562). 이와 같은 유형의 마스크 제품군은 전자공학 기술을 활용함에 있어 미세먼지 차단을 위한 밀폐형의 마스크 안면구조 내부로의 외기유입 및 미세먼지 필터링의 효율성을 위한 활용이 주를 이루며, 마스크 착용 시 사용자가 가질 수 있는 불편함을 해소하기 위한 다기능적인 콘셉트의 기능의 구현을 위한 연구 개발 사례는 아직 미비한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 기존의 섬유소재 마스크의 한계성을 보완하기 위해 3D 스캐닝과 프린팅 기술을 활용하여, 착용자의 안면에 완전히 밀착되어 미세먼지를 걸러냄과 동시에, 마스크 착용 시 착용자가 느낄 수 있는 의사소통의 불편함을 해소할 수 있는 Bluetooth hands-free기능이 부가된 다기능성 스마트 방진 마스크 개발에 목적을 두었다. 이를 통해, 미세먼지에 효과적으로 대처할 수 있음과 동시에 기본적인 일상 활동의 편의를 위한 디지털 기능을 제공하는 다기능성 마스크 디자인 개발을 위한 3D 스캐닝과 프린팅 기술의 활용성에 대한 기초연구를 수행하고자 한다.

본 연구의 다기능성 스마트 방진 마스크 디자인 개발은 다음과 같은 과정과 방법으로 수행되었다.

첫 번째, 20-30대 남녀 48인을 대상으로 한 인터뷰 조사를 통해 마스크 착용 시 사용자가 가지는 불편을 해결할 수 있는 기능성으로 블루투스 핸즈프리 기능을 추출하였으며, 착용자의 안면정보에 최적화된 마스크 디자인 개발을 위해 지원자를 모집하여 착용대상자 1인을 선정하였다.

두 번째, 착용대상자의 두상을 3D 스캔하여, 이를 토대로 착용대상자의 안면윤곽에 밀착될 수 있는 마스크 프레임을 3D 모델링 하였다.

세 번째, Formlabs사의 SLA방식 3D프린터 Form2를 활용하여 마스크 프레임의 3D 모델을 출력하고, 착용대상자의 안면과 출력된 프레임의 밀착성을 실험하였다. 실험 결과, 가장 높은 밀착성을 보인 프레임의 3D 모델링 데이터를 선정하여 전반적인 마스크 구조 디자인에 활용하였다.

네 번째, 전반적인 마스크 구조의 3D 모델링 및 출력과 더불어 블루투스 핸즈프리 기능 구현을 위한 시스템 회로 설계, 제작 작업을 수행하였다. 다섯 번째, 출력된 각 마스크 구조물과 개발된 시스템 회로를 결합하여 마스크를 개발하고, 해당 마스크의 착용성 및 기능사용성 평가를 수행하였다.

Ⅱ. 이론적 고찰

1. 미세먼지에 관한 일반적 고찰

미세먼지(particulate matter)는 100μm 이하의 직경을 가지는 고체 혹은 액상 물질로 구성된 부유성 분진의 총칭으로, 입자의 크기에 따라 50μm 이하인 총먼지(TSP, total suspended particles)와 입자크기가 2.5μm이하의 극소크기의 미세먼지, 즉 이른바 초미세먼지(PM, Particulate matter)로 분류된다(So, 2018, p.224; Han, 2017, pp.191-192; Kwon, 2018, p.351). 미세먼지는 오염 발생원 혹은 생성원인에 따라 1차 미세먼지와 2차 미세먼지로 분류된다. 1차 미세먼지는 차량 및 발전소 등 오염원에서 바로 배출되는 미세먼지를 의미하며, 2차 미세먼지는 오염원으로부터 배출된 황산화물과 질소산화물 등이 대기 중에서 다른 화학물질 등과의 화학반응을 통해 생성된 미세먼지를 의미한다(So, 2018, p.224). 미세먼지의 크기 또한 분류기준으로 활용되는데, 일반적으로 미세먼지 차단 기준에 활용되는 기준이다. 미세먼지의 크기는 영문표기인 'particulate matter'의 머리글자를 따서 PM으로 명명되며, 지름이 10μm보다 작은 PM10과 지름이 2.5μm보다 작은 PM2.5로 분류된다(So, 2018, p.224; Han, 2017, pp.191-192; Cai, Zhang, & Bao, 2018, p.210; Kwon, 2018, p.572; Pacitto et al., 2019, p.1583).

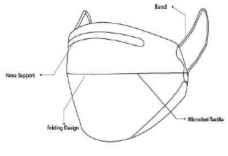
미세먼지가 신체에 미치는 악영향은 미세먼지에 대한 노출도(기간 및 미세먼지의 농도율), 체내에 축적되는 양, 체내 축적 시 신체의 저항력 및 자정능력 등에 따라 변화하나, 미세먼지가 체내 침투 시 DNA에 영향을 미치고 암을 유발한다는 점이 입증됨에 따라, 세계보건기구(WHO)는 이미 2013년에 미세먼지를 1군 발암물질로 지정하였다. 미세먼지가 2군 발암물질인 DDT, 가솔린, 코발트 보다 유해하며, 석면, 벤젠 등과 같은 1군 발암물질로 분류되는 유해물질이라는 점 및, HEI (Heath Effects Institute)에서 미세먼지로 인한 한국의 사망자 수가 증가하고 있음을 발표함에 따라 국가적, 사회적 측면은 물론, 개인 단위에서의 미세먼지에 대처방안이 활발히 모색되고 있다(So, 2018, p.226; Han, 2017, p.191; Kim et al., 2018, pp.379-380; Kwon, 2018, pp.571-572; Lee, Ahn, & Kim, 2018, pp.173-174). 특히 지름이 10μm 이하의 미세먼지는 폐침투성이 높아 심각한 건강상의 문제를 일으킬 수 있음에 따라, 환경부에서는 미세먼지 경보체계를 5단계로 구축하고 대중에 경보알림 서비스를 제공함으로써, 대기 중 미세먼지 농도가 높을 때 외출을 자제하거나 방진마스크 착용을 권고하고 있다(Han 2017, pp.191-192; Kwon, 2018, pp.571-572).

2. 미세먼지 마스크에 관한 일반적 고찰

미세먼지 관련 문제가 심화되어 감에 따라 식품의약품안전처(이하 식약처)는 2009년 평균입자지름 0.6μm의 분진포집효율에 따른 분진(방진)필터의 차단기준 규격인 KF(Korean Filter)를 인증하여 개인단위에서 미세먼지 문제에 대처하기 위한 기준을 마련하였다. KF80규격은 황사방지용으로서, 평균입자 크기 0.6μm의 분진을 80% 이상 차단하도록 규격이 설정되었으며, KF94와 KF99 규격은 보건, 방역용으로서 평균입자 크기 0.4μm의 분진을 각각 94%, 99% 이상 차단하도록 규격이 설정되었다(Han, 2017, pp.191-192; Kwon, 2018, p.573). 식약처에서 인증한 규격의 분진 필터는 섬유(펄프)조직이 무작위로 얽혀서 조성되는 부직포가 일반적으로 사용되고 있다. 부직포 조직으로 구성된 필터의 분진 차단 원리는 부착(interception), 관성충돌(inertial impaction), 중력침강(sedimentation), 확산(diffution), 정전기(electrostatic attraction) 등이 있으며(Han, 2017, p.192), 각 차단원리별, 미세먼지에 노출되는 빈도 및 시간에 따른 편차는 있으나, 필터에 적용된 각각의 원리를 통해 미세먼지를 필터의 조직 내에 붙잡아둠으로써 코나 입에 유입되는 것을 차단함에 따라, 일정기간 이상 사용 시 필터 조직 내에 미세먼지가 쌓여 차단 효율 및 공기유입 효율이 떨어지게 됨으로 미세먼지 필터는 1회용으로 사용되는 것이 일반적이다. 이에 따라 미세먼지 마스크 또한 미세먼지 차단 소재로 제작된 마스크 자체가 1회용으로 사용되거나 밀폐형인 마스크에 1회용 미세먼지 필터를 교환하여 사용되는 양상을 보인다.

생활 속 유해환경 차단을 위한 마스크 제품의 특성을 다룬 Kang(2015), Kang(2016)의 연구에서는 마스크의 유형을 크게 안면의 하반면, 즉, 코와 입을 가리는 기본형(반면형), 코가 드러나는 C형, 얼굴 아래를 모두 가리는 튜브형, 눈만 드러나고 두상 전체를 가리는 두건형으로 분류하였다.

일회용 미세먼지 마스크의 경우, 앞선 선행연구에서 언급된 기본형으로, 안면의 하단 반면을 가림에 따라 반면형(Han & Choi, 2002, p.47; Han & Rhi, 2004, pp.8-9)으로도 지칭된다. 일회용 미세먼지 마스크의 경우 〈Fig. 1〉와 같이 미세먼지 필터 소재로 제작된 안면 커버와 귀에 걸어 길이를 조절하는 고무밴드, 마스크 상단부를 착용자의 안면에 밀착시키기 위해 형태를 조절할 수 있는 노즈 서포트(nose support)로 구성된다(Kwon, 2018, p.573). 반면형 마스크는 콧잔등의 노즈 서포터를 안면윤곽에 따라 누르고 귀에 거는 고무 밴드의 길이를 조절하여 안면에 밀착시켜 착용함으로써 안면밀착성을 확보한다. 따라서 마스크 상단 콧잔등 부위에 미세한 유격공간이 발생하여 미세먼지가 포함된 외기가 유입되거나, 호흡 시 해당 유격을 통해 수증기가 빠져나와 안경착용자의 경우 렌즈에 김이서려 앞을 보기 힘든 상황이 발생할 수 있는 구조적 한계점이 있다(Kang, 2016, pp.116-124; Kwon 2018, p.574).



〈Fig. 1〉 The general structure of disposable dust masks (Kwon, 2018, p. 573)

〈Fig. 2〉 The example of Tube type dust mask provided by Akmon (Mechanics, n.d.)

〈Fig. 3〉 Inner frame of dust masks (Mi Air Wear Face Mask, n.d.)

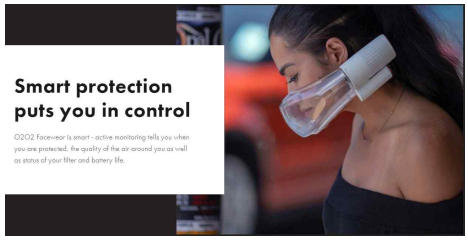
〈Fig. 4〉 Dust mask applied disposable dust filters (Kim & Yeom, 2018, p. 142)

이에 따라 기존의 반면형의 1회용 미세먼지 마스크의 안면밀착성 측면의 한계를 극복하기 위해, 교환이 가능한 미세먼지 필터부품이 안면부에 배치되고 착용자의 두상 하반부 모두를 감싸는 튜브형이나 입체적으로 제작된 밀폐형 안면부에 미세먼지 필터 부품이 장착되는 필터 교환형 마스크 및 대안적인 섬유소재나 수지 재질의 마스크 플랫폼에 교환 가능한 먼지필터 혹은 전자적 공기정화 모듈이 결합되는 하이브리드 적인 기능성 미세먼지 · 방진 마스크가 개발, 출시되고 있다.

첫 번째 필터교환식의 미세먼지 마스크의 경우, 일반적으로 미세먼지필터가 부착되는 부위를 제외한 모든 부위의 외기유입을 차단하기 위해, 후두부나 뒷목 쪽에서 장방형의 마스크 양끝을 당겨 조여 안면에 밀착시켜 착용함으로써 착용자의 두상 하단을 모두 감싸는 튜브형(Kang, 2015, pp.3-4; Kang, 2016, p.116)이나〈Fig. 2〉, 미세먼지 차단재질의 섬유재질이 적용된 인체의 안면과 유사한 입체적인 안면부 구조물에 귀에 거는 고무밴드나 후두부에 매는 스트랩으로 머리에 고정하는 유형이 있다. 해당 유형의 마스크들의 안면부 내부에는 외부 윤곽선을 따라 입체적인 형태 유지 및 마스크 착용 시 밴드나 스트랩이 조이는 힘에 의해 마스크와 착용자의 안면이 입체적으로 밀착되기 위한 프레임 구조가 적용되고〈Fig. 3〉, 코와 입에 근접한 안면부에 교환이 가능한 부직포조직 미세먼지 필터 내장된 구조물이 배치되는 것이 일반적이다〈Fig. 4〉. 한편으로는 마스크 구조자체가 미세먼지 필터재질로 제작되고 안면부에 극히 제한된 사이즈의 공기유입 밸브가 배치되는 사례〈Fig. 5〉도 있다(Mechanics, n.d.; Mi Air Wear Face Mask, n.d.; Your new smart mask, n.d.; Kim & Yeom, 2018, p.142).

두 번째 하이브리드적인 기능성 마스크의 경우, 방독면과 같이 비섬유 재질로 제작된 모노코크(monochoque) 구조의 마스크플랫폼 및, 미세먼지 차단 섬유재질의 입체형 마스크에 교체가 가능한 먼지 필터가 장착되고, 비섬유재질의 마스크 플랫폼이 사용자의 안면에 큰 물리적 부담 없이 착용되도록, 마스크와 착용자의 안면이 접촉되는 부위에 유연수지 혹은 고무재질의 패킹(packing)구조가 적용되는 것이 일반적인 구조이다(McDouall, Campbell, Tasker, Smart, & Bradbury, 2003, p.925). 해당 유형의 경우, 비침투성 소재의 폐쇄적 구조의 마스크 플랫폼에 적용된 제한된 크기의 외기유입구에 배치된 미세먼지 필터를 통해 공기가 유입됨에 따라, 외기유입효율의 강화를 위해 전자기술을 활용한 공기유입 팬(fan)이 장착되거나, 전자기에 의한 화학적인 먼지 포집원리를 가지는 하이브리드적인 필터가 적용되기도 한다(Cheng et al., 2017, pp.562-563; Cai, Zhang, & Bao, 2018, pp.210-211). 이는 현재 산업계의 IT 기술을 중심

〈Fig. 5〉 Schematic image of a mask consisting of a dust filter body and air-valves (Mechanics, n.d.)



〈Fig. 6〉 O2O2's smart mask providing electronic air-fintering function (O2O2 Face wear, n.d.)

〈Fig. 7〉 Air+ smart mask providing electronic air-fintering function (Air+ Smart Masks and Micro Ventilators, n.d.)

으로 한 융합 경향과 맞물려, 전통적인 마스크의 형태와 기능에 전자기술을 융합하여 최근 심화일로의 미세먼지 문제에 대처하기 위한 시도로 해석된다. 현재 O2O2와 Air+ smart mask 등의 해외 IT브랜드는 전자공학기술을 미세먼지 마스크에 도입하여 공학적인 공기정화, 유입 기능이 적용된 '스마트 마스크'로 분류될 수 있는 기능성 마스크 제품군을 개발, 출시하고 있다(Cheng et al., 2017, p.562), 〈Fig. 6〉, 〈Fig. 7〉. 상기의 O2O2와 Air+ smart mask 등이 제공하는 유형의 스마트 마스크는 외기의 미세먼지를 걸러냄에 있어, 전자기술을 활용하여 밀폐형 마스크의 구조적 한계에 따라 부족할 수 있는 외기의 유입 효율을 강화함으로써, 동시에 한정된 크기와 위치의 외기 유입구에 설치된 먼지필터의 공기정화 효율을 강화하는 기능을 제공하는 것이 일반적이다.

Ⅲ. 다기능성 스마트 방진 마스크 디자인 개발

1. 3D 스캐닝을 활용한 마스크 안면 프레임 개발

본 연구의 스마트 방진 마스크의 R&D(research and development) 콘셉트를 설정함에 있어, 기존의 스마트 마스크로 분류되는 유형의 마스크와 차별적인 기능성에 관한 연구를 수행하고자 하였다. '미세먼지 오염 상황에서 사용자가 마스크 착용 시 사용자가 가질 수 있는 불편함이나, 마스크 자체에 요구될 수 있는 부수적인 기능성의 구현'으로 전자 공학적인 기능성 R&D의 방향성을 설정하였다. 이에 따라 사용자 중심의 기능성을 탐색하고자, 20~30대의 남녀 48인을 대상으로 인터뷰 조사를 실시하였다. 그 결과, 총 48인 중 가장 많은 21인이 공통적으로 마스크 착용 시 스마트폰 사용, 특히 통화기능 사용에 불편함이 있음을 공통적으로 지적하였고, 마스크에 블루투스 핸즈프리나 헤드셋의 기능이 부가될 경우 사용성이 증대될 수 있을 것이라 응답하였다〈Table 1〉.

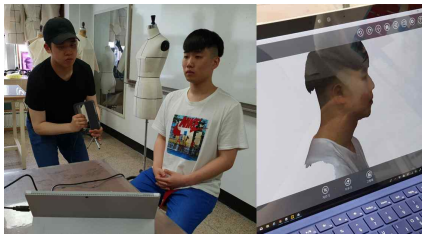
이에 따라 미세먼지 차단과 블루투스 핸즈프리 기능의 구현을 본 연구의 전반적인 방향성으로 설정하였으며, 본 연구의 마스크 안면 프레임 개발은 다음과 같은 과정과 방법으로 수행되었다. 첫 번째, 사용자 맞춤형 마스크 안면 프레임 개발을 위해 지원자의 안면 정보를 3D 스캐닝을 수행한다. 두 번째, 스캔된 지원자의 안면 정보를 토대로 마스크의 디자인 발상을 수행하고, 3D 모델링 툴을 활용하여 마스크 프레임 시안을 개발한다. 세 번째, 앞서 안면 스캔에 참여한 지원자를 대상으로 개발된 마스크 프레임 시안의 안면밀착성능 검증을 위한 착용평가를 수행하여, 전체적인 스마트 방진 마스크 개발에 적용할 마스크 프레임을 선정한다.

상기와 같은 과정에 따른 구체적인 마스크 프레임의 개발과정은 다음과 같다.

첫 번째, 착용자의 안면에 최적화된 마스크의 외형 및 구조의 디자인개발을 위해 착용지원자를 모색하여, 일반적인 신장과 체형의 남성 지원자 한명을 선정하여 해당 지원자의 두상을 3D 스캔하였다〈Fig. 8〉, 〈Fig. 9〉. 안면 스캔에는 신도리코

〈Table 1〉 The result of the interviews on the electronic function needed by users

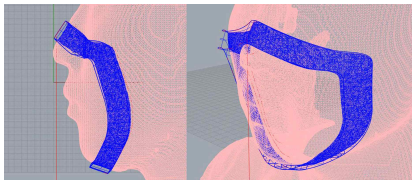
Additional function	Number of mentioned people	Additional function	Number of mentioned people
Air-cleaning	9	Bluetooth hands-free	21
Heating	2	Cooling	5
Bluetooth wireless speaker	7	Particulate matter sensing	4



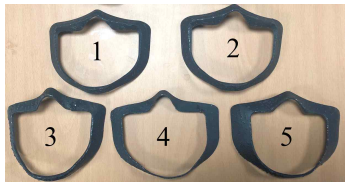
〈Fig. 8〉 The process of 3D-scanning by 3D-Sense scanner

〈Fig. 9〉 The 3D scanned facial data of the volunteer

〈Fig. 10〉 The sample design sketches using 3D scanned data



〈Fig. 11〉 Process of the frame 3D modeling



〈Fig. 12〉 The printed mask frame samples for test of wearability

의 보급형 3D 스캐너인 Sense가 활용되었다.

두 번째, 3D 스캔된 지원자의 안면데이터를 토대로 디자인 발상이 수행되었다. Bluetooth hands-free 기능을 위한 음성 집음이 가능하면서도 미세먼지 정화를 위한 필터의 적용이 가능한 마스크 안면부 구조에 관한 디자인 연구를 수행하여, 착용대상자의 안면윤곽과 정확히 밀착될 수 있는 마스크 프레임과 해당 프레임위에 미세먼지 차단을 위한 KF94 규격의 섬유필터, 해당 필터를 프레임에 고정하기 위한 마스크 커버로 구성되는 3중 레이어의 마스크 안면구조를 기획하였다〈Fig. 22〉. 이에 따라 앞서 스캔된 착용대상자의 안면을 기준으로 러프한 2D 디자인 스케치를 수행하였고〈Fig. 10〉, 그 결과를 토대로 3D 그래픽 툴인 Rhinoceros 5를 활용하여 마스크의 안면밀착성 확보에 가장 중요한 부품인 안면 프레임의 3D 모델링작업을 수행하였다. 해당 인물의 안면 윤곽을 최대한 똑같이 모사하기 위해 스캔 데이터의 안면 윤곽 특징에 따라 폴리곤을 조각조각 그려 결합하는 방식으로 마스크 프레임의 3D 모델을 작성하였다. 〈Fig. 11〉.

마스크 프레임의 경우, 미세먼지 차단을 위한 안면부누설율 및 착용성에 주요한 영향을 미치는 구성물임에 따라, 최적의 결과 도출을 위해 마스크 프레임 각 부위의 두께와 얼굴에 닿는 면의 면적을 달리한 복수의 시안을 모델링하여 상기의 두

〈Table 2〉 The specific information of the size, width and specs in each mask-frame variation

	1	2	3	4	5
overall thickness (mm)	4	5	3	2	3
side part width (mm)	20	25	25	25	35
upper part width (mm)	25	25	4.5	2	3
weight (g)	25	27	10	9	10

요인을 평가하고자 하였다〈Table 2〉.

세 번째, 앞선 마스크 프레임의 3D 모델 개발 결과 총 5종의 마스크 프레임 시안이 도출되었으며, 해당 시안들의 안면밀착성을 실험하기 위해 Formlabs사의 보급형 SLA(광경화성형)방식의 3D 프린터인 Form2를 활용하여 출력하였다〈Fig. 12〉.

본 연구에서 대중적인 FDM(고온압출성형)방식이 아닌 SLA 방식의 프린터가 활용된 이유는 다음과 같다. SLA 방식의 경우, 고온으로 수지필라멘트를 물리적으로 가열하여 하단의 베드에 적층하여 성형하는 FDM 방식과 달리, 프린터 하단의 탱크에 적재된 액상레진소재에 자외선을 조사하여 화학적으로 경화, 성형하는 방식임에 따라 FDM에 비해 출력해상도가 높고 출력물의 표면품질이 우수하여, 사용자의 안면에 밀착되어야하는 마스크의 출력에 적합한 것으로 판단되었기 때문이다. 또한 해당 SLA 프린터는 유연한 flexible resin 소재와 견고하고 내마모성이 높은 tough resin소재를 사용가능하여, 마스크의 전반적인 구조를 제작함에 있어 인체에 밀착되거나 유연하게 형태가 휘어져야하는 구조, Bluetooth 회로가 내장되어 견고함이 확보되어야하면서도 내부회로의 유지보수를 위해 빈번한 탈부착이 요구되는 구조물의 출력에 적합한 것으로 판단되었기 때문이다.

마지막으로 총 5종의 마스크 프레임 시안 의 출력이 완결된 후, 착용대상자로 하여금 해당프레임들을 착용해 본 후, 착용감 및 안면밀착 여부를 평가하도록 하였다〈Fig. 13〉. 그 결과, 〈Table 1〉의 5번 시안의 가장 우수한 착용감과 안면밀착력을 가지고 있는 것으로 평가되어, 이후 전체적인 마스크 디자인과 3D 모델링 작업에 해당 시안의 모델링 데이터를 활용하였다.

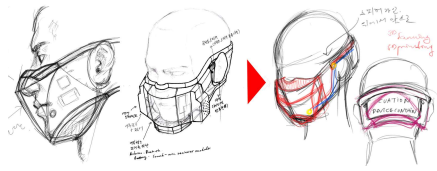
2. 마스크 플랫폼 및 Bluetooth hands-free system 개발

마스크 안면부의 누설율문제 해결을 위해 가장 주요한 구성물인 프레임의 개발이 완결된 이후 전체적인 마스크 플랫폼 및 Bluetooth 시스템의 개발은 다음과 같은 과정과 방법으로 수행되었다. 첫 번째, 개발된 마스크 프레임를 토대로 전체적인 마스크 플랫폼의 구조의 디자인 방향성을 설정한다. 두 번째, 확립된 마스크 플랫폼 개발 방향성에 따라 Bluetooth hands-free 기능성 구현을 위한 회로 설계 및 실험 작업을 수행한다. 세 번째, 전반적인 마스크 플랫폼의 3D 디자인 및 모델링 작업을 수행하여 3D 출력하고, Bluetooth 시스템 회로를 제작한다. 네 번째, 개발된 마스크 플랫폼과 미세먼지 필터, 시스템을 결합하여 다기능성 스마트 방진 마스크를 완성한다.

상기와 같은 과정에 따른 구체적인 전반적인 본 연구의 다기능성 스마트 방진 마스크 개발과정은 다음과 같다.

첫 번째, 초기 전체적인 마스크 플랫폼의 디자인과정에서는 Bluetooth hands-free 기능을 마스크에 적용함에 있어 마스크 안면부에 시스템 디바이스를 장착하는 1안과, 상기의 안면부와 후두부로 이원화되어 마스크 플랫폼이 이원화되어 안면부가 미세먼지 차단을 담당하고, 후두부가 Bluetooth 시스템 제어를 담당하는 2안, 두 가지 디자인 콘셉트가 동시에 고려되었다〈Fig. 14〉. 그러나 마스크

〈Fig. 13〉 The wearability test of the mask frame samples



〈Fig. 14〉 idea sketches of the whole mask platform

〈Fig. 15〉 Pre-developed and tested mask frame and device platform

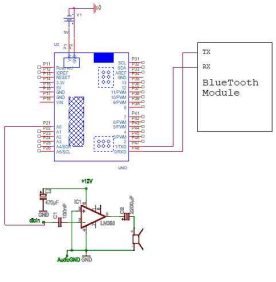
프레임 개발 이후 실험적으로 수행되었던 마스크 프레임과 연결되어 Bluetooth 시스템 회로를 수용할 디바이스 프레임 디자인 및 출력 실험 과정에서, 모든 시스템 디바이스가 마스크 전면부에 배치될 경우 하중이 앞으로 쏠려 마스크의 착용감 및 안면밀착성에 악영향이 있으며, 착용감을 고려하여 적용한 flexible resin으로 출력된 마스크프레임의 구조물이 파손될 수 있음이 판명되었다〈Fig. 15〉.

이에 따라, 미세먼지차단 및 통화 시 사용자의 음성송신을 담당하는 안면부 front-part와 Bluetooth 시스템에 의한 소리정보의송수신, 증폭 제어를 담당하는 후두부 rear-part, 크게 두 주요 구조물로 구성되도록 구체적인 개발 방향성이 수립되었다. 전반적인 마스크 시스템을 두부 전반에 걸쳐 착용함으로써, 마스크의 무게중심의 균형 및 다기능성을 효과적으로 제공하고자 하였다〈Fig. 18〉.

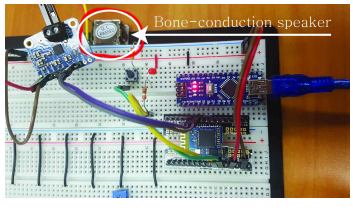
두 번째, 마스크 착용 시 사용자의 활동성 및 편의성을 고려하여, 기존의 Bluetooth hands-free 제품군과 같이 소리 스피커를 마스크에 내장하거나 마스크에서 이어폰을 꺼내어 귀에 꼽는 번거로운 사용방식을 탈피할 수 있도록, 골전도 스피커 〈Fig. 17〉를 활용하고자 하였다. 착용자와 마스크의 피부접촉면에 골전도 스피커를 배치하여 피부에 밀착되도록 함으로써 사용자가 이어폰을 귀에 꼽지 않고도 마스크를 착용하는 것만으로도 사용자가 소리정보를 전달 받을 수 있도록, 마스크의 전반적인 구조 및 시스템디바이스를 설계하고, 브레드보드 실험을 수행하였다〈Fig. 16〉, 〈Fig. 17〉.

세 번째, 앞서 설정된 개발 방향성에 따라, 구체적인 마스크 구조의 3D 모델링 디자인 개발과 시스템 개발 작업이 수행되었다.

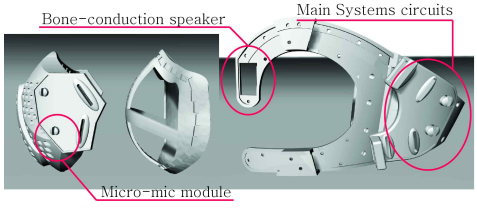
먼저 마스크 플랫폼의 3D 개발 과정은 다음과 같다. 미세먼지 차단 및 Bluetooth 시스템의 음성입력을 담당하는 마스크의 front-part의 경우, 안면에 밀착되는 안면부 프레임과 KF94소재의 미세먼지 필터, 미세먼지 필터를 프레임에 고정하며



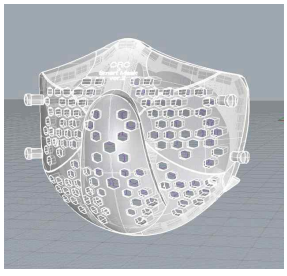
〈Fig. 16〉 The diagram of Bluetooth hands-free circuit



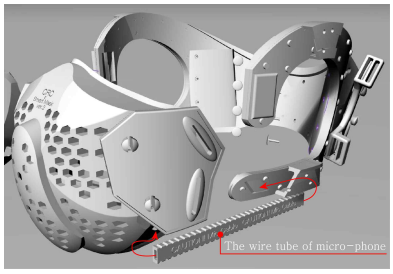
〈Fig. 17〉 The breadboard experiment of the system for circuit making and coding



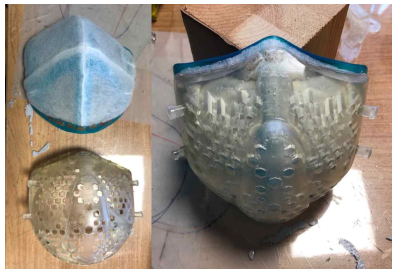
〈Fig. 18〉 The divided whole mask structure into the two parts



〈Fig. 19〉 3D model of mask front-part cover



〈Fig. 20〉 The structure of circuit wire tube connecting micro-phone to main control system



〈Fig. 21〉 The 3-layered structure of the front-part consisting of the magnetic assembly

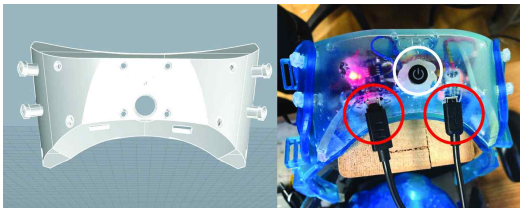
통화를 위한 초소형 마이크를 내장하는 마스크 커버로 구성되는 3중 레이어 구조로 설계되었다. 따라서 마스크 안면부 유니트의 경량화 및 공기유입의 효율성 확보를 위해 마스크 커버 전반에 걸쳐 내구성에 저해요인이 되지 않는 한도 내에서 벌집 모양의 타공 구조를 적용하였다〈Fig. 19〉.

안면부 커버에 내장되는 마이크는 타공 구조가 적용되지 않은 내측에 배치하고, 우레탄 튜브로 코팅하여 우천 시 수분이 스며들지 않도록 조치하였다. 마이크에 수집된 음성데이터를 rear-part의 Bluetooth 제어회로로 전송하기 위한 전선의 연결구조의 경우, 마이크로 핀 소켓 연결구조를 적용하여 손쉽게 분해결합이 가능하도록 설계하였다. 또한 마이스 연결 케이블을 flexible resin 소재로 출력된 튜브에 내장되어 front-part의 마이크 연결핀 구조에 삽입되도록 하여 최소한의 내구성과 방수성을 확보고자 하였다〈Fig. 20〉. 마스크 커버와 프레임의 접촉면에서는 5x10mm 네오디뮴자석을 외곽선라인에 따라 빈틈없이 배치하여 미세먼지 필터 교환을 위한 분리, 결합이 가능하면서도 공간의 유격이 발생하여 불필요한 외기가 유입되지 않도록 마스크의 front-part를 개발 하였다〈Fig. 21〉.

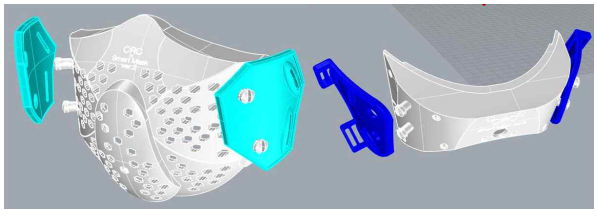
Bluetooth 시스템 제어 및 소리 출력을 담당하는 마스크의 rear-part의 경우, 착용 시 활동성 증진과 청음의 편의를 위해 골전도 스피커가 적용됨에 따라 접촉식 스피커의 소리전달 효율이 귀의 반고리관 부근에서 가장 높음을 고려하여 착용자의 귀 전면부에 골전도 스피커가 배치될 수 있도록 측두부 연장 구조물이 설계 · 적용되었다〈Fig. 22〉. 이에 따라 타공 구조가 적용된 front-part에 비해 back-part의 면적과 크기가 확장되어, 무게중심의 균형을 위해, 각 구성물의 출력 두께를 내구성이 유지되는 한도 내에서 최대한 얇은 두께인 2-3mm로 설계하였다. Bluetooth 제어회로가 내장되는 후두부의 시스템 컨테이너의 정면부에 주전력 제어스위치를 배치하기 위한 타공 구조를 적용하여 배터리사용효율을 높이고자 하였으며, 컨테이너 모듈의 하단부에는 5핀 케이블단자를 배치하여 손쉽게 시스템 충전이 가능함과 동시에 우천 시 빗물이 모듈 내부로 유입되는 것을 방지하고자 하였다〈Fig. 22〉.

상기와 같이 설계된 마스크의 front-part와 rear-part의 좌우에는 상하로 10mm, 좌우로 8mm 정도 유동이 가능한 스트랩 고정 구조를 적용하여 사용자가 스트랩을 늘리고 조이는 동작으로 손쉽게 해당 마스크 유닛들을 착용할 수 있도록 착용구조를 설계하였다〈Fig. 23〉.

마스크 플랫폼 구조 설계에 따라, 140x50x40 mm 사이즈의 공간으로 설계된 후두부 유닛 내부에 내장하기 위하여 최단 거리로 프로세서와 Bluetooth 사운드 컨트롤, 앰프(applifier) 회로를 배치하고, 최대한 전선을 사용하지 않고 각 회로



〈Fig. 22〉 The system cover of rear-part adapted power control and recharging system



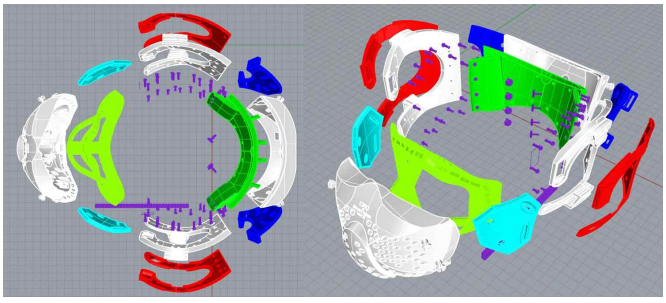
〈Fig. 23〉 The strap anchor parts of front(left) and rear-part(right)

의 단자를 직접적으로 연결하여 전반적인 시스템 회로를 제작하였다. 전선의 사용이 불가피한 주전원 관리 스위치 및 골전도 스피커의 경우, 장착될 위치와 후두부에 내장되는 프로세서와의 거리를 계측하여 필요한 최단 길이로 재단하여 회로에 장착하였다. 해당 시스템 회로는 마스크라는 한정된 크기와 공간의 플랫폼 내에 내장되어야 함에 따라, 미국의 Tinycircuit에서 제공하는 20x20mm 크기의 초소형 arduino 튜닝 보드인 Tiduino 프로세서를 시스템의 제어장치로 사용하였다. 사운드 컨트롤을 위해서는, 일반적으로 100x80x30mm 정도의 크기인 시판용 Bluetooth 사운드 모듈을 활용하지 않고, 가장 기본적인 Bluetooth 무선통신 칩셋과 IC변환 모듈 PCB를 결합하고, 이를 사운드 앰프 회로와 연결하여 전반적인 Bluetooth 무선 사운드 제어 모듈을 수제작하였다. 이를 통해 전반적인 기능제공을 위한 시스템 디바이스의 크기를 최소화하고자 하였다. 또한 해당 시스템의 실질적 사용성 향상을 위해 3.7v 이차전지와 5핀 충전모듈을 결합하여 마스크를 분해하여 배터리를 교환하지 않고, 일반적인 스마트폰의 충전에 사용되는 5핀 케이블을 연결하는 것만으로도 배터리 충전이 가능하도록 회로를 개발하였다. 해당 시스템 개발에 활용된 디바이스 개요는 다음의 〈Table 3〉과 같다.

마지막으로 네 번째, 앞선 단계에서 설계된 마스크의 각 부분은 본 연구에서 활용된 보급형 SLA 프린터의 출력사이즈의 한계 고려하여 안정적인 170X170X150mm 규모 내에서 출력이 가능하도록 각 부품을 분할하였고, 분할된 각 부품은 역시 별도로 모델링된 나사부품으로 간편하게 조립될 수 있도록 연결 및 조립 구조를 구성하였다〈Fig. 24〉. 또한 마스크 플랫폼을 3D 출력함에 있어, 안면부 마스크 프레임과 같이 피부에 밀착되는 부품은 유연소재인 flexible resin 소재로 출력하였으며, 후두부의 Bluetooth 시스템을 내장하는 커버 및 안면부와 후두부의 스트랩을 고정하는 고정 부품과 같이 강한 내구성이 요구되는 부품은 tough resin 소재로 출력하여, 마스크 플랫폼의 착용 시 유연성과 내구성을 확보하고자 하였다. 출력이 마무리 된 각 마스크 구조물의 조립하여, 앞서 개발된 Bluetooth hands-free 시스템을 결합하여 본 연구의 다기능성 스마트 방진 마스크를 완성하였다〈Fig. 25〉.

〈Table 3〉 The outline of the applied devices in the Bluetooth system circuit

Role of system	Control	Input	Output	Power
Selected device	• Tiduino processor	• Push switch for main power control • Micro-mic module for phone-call	• Bone-conduction speeker for phone-call and sound streaming	• 3.7V LE battery



〈Fig. 24〉 The whole structure of the mask platform divided to prepare 3D-printing process

〈Fig. 25〉 The printed and assembled mask platform and Bluetooth systems

〈Fig. 26〉 The developed this study's multi-functional PM face-mask worn by the tester

3. 마스크 착용성 및 Bluetooth 시스템 사용성 실험 평가

완성된 본 연구의 다기능성 스마트 방진 마스크의 사용성과 착용성을 검증하기 위해, 앞서 선정된 착용대상자를 대상으로 해당 마스크의 착용감 및 Bluetooth hands-free 기능의 사용성의 착의평가를 수행하였다〈Fig. 26〉. 해당 평가자는 마스크를 착용한 후 블루투스 핸즈프리 기능의 작동성 검증을 위해 통화 및 스트리밍 서비스 사용실험을 수행한 후, 마스크 안면부의 밀착력 및 착용감(안면부, 후두부), Bluetooth hands-free 기능의 사용성에 관한 간략한 평가지를 작성하였다. 5점 척도가 적용된 평가지의 평가항목 및 해당 평가자의 응답 결과는 〈Table 4〉와 같다.

평가 결과, 마스크 착용 시 마스크의 안면 프레임의 안면밀착력은 충분히 확보된 것으로 나타났으며, 안면부와 후두부의 피부 접촉면의 착용감 또한 긍정적으로 평가되었다. 타공 구조가 적용된 front-part와 측두부 연장구조가 적용된 rear-part 간의 큰 무게중심의 문제는 없는 것으로 평가되었으며, 측두부 연장구조가 귀에 걸쳐짐으로써 앞이나 뒤로 쏠림현상 없이 전체 마스크가 머리가 견고하게 고정될 수 있다는 긍정적인 평가를 받았다. 마스크의 Bluetooth 시스템과 스마트폰의 페어링이 원활히 이루어졌으며, 골전도 스피커 또한 측두부에 밀착되어 소리전달이 효과적으로 이루어지는 것으로 긍정 평가되었다. 반면 음성통화 실험 시, 음성의 수신 효율은 높으나 음성의 송신 효율이 상대적으로 낮은 것으로 평가되었다. 이는 소형 마이크 모듈이 마스크 커버에 내장되어 착용자의 입과 마이크 사이에 미세먼지 필터가 위치하여 착용자의 음성이 필터에 한번 걸러져서 마이크

〈Table 4〉 The questions of the evaluation of the usability of the mask and the tester's answers.

Questions	1 highly negative	2 negative	3 neutral	4 positive	5 highly positive
• Was the mask frame completely stuck to the face?					O
• Was there any pain when you wore the front-part of the mask?					O
• Was there any pain when you wore the rear-part of the mask?				O	
• Was there any problem on the weight balance between front-part and rear-part of the mask platform?				O	
• Was it easy to connect your phone to the system of the mask?					O
• Did the bone-conduction speaker of the bluetooth-system effectively provide the sounds of phone-call?				O	
• Did the bone-conduction speaker of the bluetooth system effectively provide the sounds of phone-call?			O		

에 집음됨에 기인하는 것으로 해석된다. 평가 결과를 종합하면, 본 연구의 다기능성 스마트 방진마스크의 경우 Bluetooth 시스템의 초소형 마이크의 내장 위치에 따른 음성 집음 효율의 저하를 제외하고는, 연구의 목표인 마스크 front-part의 안면밀착성과 Bluetooth hands-free 기능의 사용성의 확보는 전반적으로 성취된 것으로 평가되었다.

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 2010년대 들어 더욱 심화되고 있는 미세먼지, 유독분진에 의한 대기오염 문제로 인해 마스크 착용이 권장·일상화되고 있는 현재 한국의 환경적 실정 및 마스크 연구개발에 있어 전자기술이 반영된 스마트 마스크로 분류되는 새로운 제품군이 개발, 출시되고 있는 산업적 경향에 착안하여, 3D 스캐닝과 프린팅 기술을 사용하여 사용자의 안면에 최적화된 KF94규격의 미세분진 차단 기능과 함께 마스크 착용 시 사용자가 가질 수 있는 불편함을 해결할 수 있는 전자적 기능을 동시에 제공하는 다기능성 스마트 방진 마스크 디자인 개발 연구를 수행하였다. 이를 위해 먼저 20-30대 48인을 대상으로, 마스크 착용 시 가질 수 있는 불편함 혹은 마스크에서 제공될 경우 사용자에게 유익할 수 있는 부수적 기능성을 파악하기 위한 인터뷰 조사를 실시하여, 본 연구의 스마트 마스크에 반영하기 위한 디지털 기능성으로 Bluetooth hands-free 기능을 도출하였다. 이후 사용자의 안면에 완전히 밀착되어 기존의 1회용 반면형 마스크의 안면부누설율 문제를 해결하기 위해, 평균신장과 체형의 남성 1인을 착용대상자로 설정하여 사용자 맞춤형 마스크 안면부 디자인 및 개발을 위한 3D 스캐닝, 프린팅 기술의 활용성을 탐색하기 위한 연구를 수행하였다. 그 결과, 착용자 개인의 안면에 최적화된 안면밀착성을 확보하기 위한 3D 스캐닝과 프린팅 기술의 활용성 및, 마스크 착용 시 사용자가 가질 수 있는 불편함을 해소하기 위한 보조적 기능성을 제공할 수 있는 플랫폼 및 기능 구축을 위한 3D와 전자기술의 활용성 또한 확인할 수 있었다.

본 연구와 같이 3D 기술은 미세먼지 차단에 있어 가장 중요한 안면밀착성을 확보하기 위해 착용

자의 안면정보를 3차원으로 디지털 정보화하고, 마스크와 안면의 접촉면을 형태적 손실 없이 거의 사용자의 안면윤곽과 같은 형상으로 조형 가능함에 따라 활용성이 높다고 볼 수 있다. 또한 손쉽게 입체적으로 부수적인 공간을 조성할 수 있음에 따라, 보조적인 기능을 부가할 수 있는 여지가 있어 활용의 폭 또한 넓은 것으로 사료된다.

본 연구는 한정된 재원과 기간 내에 수행됨에 따라 한 명의 착용대상자만을 대상으로 마스크의 연구개발이 수행되어, 보다 넓은 범주의 사용자를 대상으로 한 3D 스캐닝과 프린팅의 활용성에 대한 연구가 불가능했던 점과, 마스크 착용 시 부수적으로 필요한 보조적 기능을 추출하기 위한 사용자 요구조사의 대상이 20대와 30대에 한정되어 보다 폭 넓은 연령대의 사용자의 요구가 반영될 수 없었던 점이 연구의 한계점으로 작용하였다.

이에 따라 향후에는 본 연구의 과정과 결과물을 토대로, 다양한 사용자의 안면정보를 유형화하고, 각 안면윤곽 유형별로 최적의 밀착력을 제공할 수 있을 마스크 프레임 구조 및 보다 다양한 시각에서 요구되는 마스크 플랫폼이 제공 가능한 기능성에 대한 연구가 후속될 예정에 있다.

References

Air+ Smart Masks and Micro Ventilators. (n.d.). Retrieved from https://www.designsingapore.org/pda/award-recipients/2015/air-smart-masks-and-micro-ventilators

Cai, R. R., Zhang, L. Z., & Bao, A. B. (2018). PM collection performance of electret filters elecrospun with different dielectric materials -a numerical modeling and experimental study. *Building and Environment, 131*(-), 210-219.

Cheng, Y., Wang, C., Zhong, J., Lin, S., Xiao, Y., Zhong, Q, Jiang, H., Wu, N., Chen, S., Wang, B., Zhang, Y., & Zhou, J. (2017). Electrospun polyetherimide electret nonwoven for bi-functional smart face mask. *Nano Energy, 34*(-), 562-569.

Han, D. H. & Choi, K. I. (2002). Development of half-masks well-fitting for Korean faces (1) -facial dimentions and predictors of fit for half-mask. *Journal of Korean Society of Occupational and Environment Hygiene, 12*(1), 46-54.

Han, D. H. (2004). Inward leakage test for particulate filtering respirators in Korea. Korean *Journal of Environmental Health, 30*(5), 432-439.

Han, D. H. & Rhi, J. (2004). Development of half-masks well-fitting for Korean faces (2) -pilot study-. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 14*(1), 8-17.

Han, S. Y. (2017). Structural analysis and design proposal of fine dust mask with nanofiber filter fabricated using electrospining. *Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology, 27*(4), 191-195.

Kang, Y. S. (2015). The research of the lifestyle facial masks characteristics and consumer's wearing attitude. *Journal of the Korean Society of Fashion Design, 15*(3), 1-20.

Kang, Y. S. (2016). Research on uncomfortableness and customer needs of life-type protection mask-focused on UV protection mask and dust protection mask-. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, 40*(1), 114-130.

Kim, H. W., Seo, H. K., Myong, J. P., Yoon, J. S., Song, Y. K., & Kim, C. B. (2016). Developing yellow dust and fine particulate masks for children. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, 26*(3), 350-366.

Kim, J. S., Jang, Y. J., Kim, J. S., Park, M. W., Bu, C. J., Lee, Y. G., Kim, Y. H., & Woo, J. H. (2018). Evaluation of the usability of micro-sensors for the portable fine particle measurement. *Journal of Environmental Impact Assessment, 27*(4), 378-393.

Kim, J. Y. & Yeom, M. S. (2018). The development of fashion mask design. *Journal of Fashion Design, 18*(3), 135-151.

Kwon, J. H. (2018). A study of disposable micro dust-mask design for bicycle users. *Journal of Digital Convergence, 16*(12), 571-577.

Lee, H. C., Ahn, K. A., & Kim, T. Y. (2018). A socio-economic loss of respiratory disease caused by particulate matter pollution: focusing on Panel VAR model. *Korean Management Consulting Review, 18*(4), 173-186.

McDouall, S. F., Campbell, R. C., Tasker, R. C., Smart, J. R., & Bradbury, N. S. (2003). Clinical alert: failure in face mask seal as a consequence of incorrect face mask assembly. *BJA: British Journal of Anaesthesia, 91*(6), 924-925.

Mechanics. (n.d.). Retrieved from https://www.akmonconcept.com/pages/mechanics

Mi Air Wear Face Mask. (n.d.). Retrieved from https://www.xiaomistore.pk/xiaomi-air-wear-face-mask.html

O2O2 Face wear. (n.d.). Retrieved from https://o2o2.co/

Pacitto, A., Amato, F., Salmatonidis, A., Moreno, T., Alastuey, A., Reche, C., Buonanno, G., Benoto, C.,

& Querol, X. (2019). Effectiveness of commercial face masks to reduce personal PM exposure. *Science of the Total Environment, 650*(-), 1582-1590.

Rhee, H. C., Ahn, K. A., & Kim, T. Y. (2019). A socio-economic loss of respiratory disease caused by particulate matter pollution: focusing on panel VAR model. *Korean Management Consulting Review, 18*(4), 173-186.

So, B. C. (2018). Environmental Legal & Policy Views on PM-2.5. *Korean Environmental Law Association, 40*(3), 221-247.

Walmsley, J. (2019 February 24). Facewear To Clean Your Breathing Space And More Futuristic Ideas For Urban Commuters. Forbes, Retrieved from https://www.forbes.com/sites/juliewalmsley/2019/02/24/these-3-startups-are-making-nerdy-urban-commute-necessities-stylish/#4478636277a1