JESK J Ergon Soc Korea 2023; 42(1): 67-78
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2023.42.1.67
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Ergonomic Evaluation of Discomfort for the Development of a Mask-type Wearable Device

Daeyong Yang, Eui Seung Jung

Korea University, Department of Industrial & Management Engineering, Seoul, 02841

불편도 평가를 통한 마스크 타입 웨어러블 기기의 인간공학적 설계

양대용, 정의승

고려대학교 산업경영공학과

Corresponding Author
Eui Seung Jung
Korea University, Department of Industrial & Management Engineering, Seoul, 02841
Email : ejung@korea.ac.kr

Received : January 12, 2023
Revised : January 26, 2023
Accepted : February 05, 2023

Objective: This study investigated a perceived discomfort which can occur by the weight and loop type of a face mask type wearable device under simulated conditions.

Background: Despite of a rapidly growing interest in face mask type wearable devices, most studies on a face mask have focused on a lightweight disposable mask while few studies have been conducted to evaluate an effect of their weight on a perceived discomfort.

Method: The total of fifteen participants evaluated eight different face masks with four levels of weight and two types of loop. For each session, they were either seated or walking at a speed of 4km/h for thirty minutes while wearing a face mask with a certain weight. Then, they rated a level of discomfort on face, ear, and neck as well as overall discomfort every ten minutes.

Results: The level of overall discomfort was significantly affected by all the experimental factors such as weight and loop type of a mask as well as activity and hours of use. Also, levels of discomfort on face, ear, and neck could significantly predict an overall discomfort with an adjusted R^2 value of 0.917. It was also found that discomfort on face was the factor which had the strongest influence on an overall discomfort. Overall, the participants felt comfortable wearing a face mask with weight of up to 100g during 30 minutes of walking at a speed of 4km/h.

Conclusion: Although weight of 150g for a face mask-type wearable device can be acceptable for certain people, its weight is recommended to be less than 100g with a head loop to be comfortably used in a daily life such as working in an office or walking outside.

Application: The result of this study can be applied to determine an appropriate weight and loop type of a face mask type wearable device.

Keywords: Face mask, Wearable device, Perceived discomfort, Product design

Copyright@2023 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

1. Introduction

2020년 발생한 코로나 19의 영향으로 우리 일상에는 다양한 변화가 생겨났지만 그 중 마스크 착용은 단연 코로나 이전 대비 가장 두드러진 변화라고 할 수 있다. 특히, 한국에서는 황사와 꽃가루, 그리고 미세먼지로 인해 마스크에 대한 관심이 높았고 다양한 제품 개발 연구가 진행되어지고 있었으며(Shon, 2018), 이에 더해 코로나19 발생으로 인해 이제는 마스크 착용이 당연한 일상이 되었다고 할 수 있다(Koo and Lee, 2021).

마스크 착용이 장기화 되어지며 마스크에 대한 관심이 커짐에 따라 다양한 종류의 새로운 마스크가 생겨나고, 그로 인해 다양한 비교 연구 또한 이루어 지고 있다(Ryu et al., 2022). 하지만, 마스크 성능이 높아질 수록 필터에 의해 순환되는 공기의 양도 감소하기 때문에 호흡 능력 저하를 발생시킬 수 있으며(Kum and Shin, 2021), 마스크를 오래 착용할 수록 호흡이 어려울 뿐 아니라 작업 능력의 감소 또한 발생시킬 수 있다(Baig et al., 2010; Shenal et al., 2012). 마스크는 짧은 시간 동안 특수한 상황에서 사용하기 위해 만들어졌기 때문에 성능을 보장하기 위해 수술용 마스크는 최대 7.7시간 그리고 N95 마스크는 최대 6.6시간 이내로 사용되어야 한다(Radonovich, 2009). 하지만, 지금은 일상에서 긴 시간 동안 마스크 착용이 요구되며, 따라서 다양한 기업과 연구소는 N95 이상의 성능을 확보하는 것과 동시에 편안한 호흡이 가능한 마스크 형태의 공기 청정기 개발을 시도하고 있다(Bushwick, 2020).

하지만, 마스크 개발에서 가장 중요한 요소는 안전하면서도 사용자가 편안하게 사용하는 것이라고 할 수 있다(Dhillon et al., 2020). 코로나 이전에도 다양한 이유로 마스크에 대한 연구는 진행되었으며, 특히 산소 호흡기 등에 사용되는 전력을 통해 산소를 공급하는 마스크 사용 시 마스크의 무게가 목에 부담을 줄 수 있다는 연구 결과가 존재한다(Szeinuk et al., 2000). 또한, 수술용 마스크와 N95 마스크의 경우 모두 15g 이내로 가벼운 수준이지만 수술용 마스크 대비 N95 마스크 사용 시 귀에 더욱 불편함을 느끼는 것으로 나타났다(Nwosu et al., 2021). 현재 많은 사람들이 사용하는 일회용 마스크는 안면 분석을 통해 일상에서 편하게 사용할 수 있도록 인간공학적으로 설계되었다(Oh and Suh, 2022). 하지만, 무거운 무게의 마스크는 특수한 상황에서 사용되어 일상 생활을 고려하지 않았던 과거와 달리 마스크 형태의 공기청정기 뿐만 아니라 폐 기능이나 운동 능력 측정이 가능한 마스크 형태의 웨어러블 기기(Tipparaju et al., 2020), 또는 마스크 내부 센서를 활용하여 주변 공기 상태를 감지하는 기기(Gao et al., 2018) 등 일상에서 사용하기 위한 목적의 다양한 마스크 형태의 기기가 새롭게 생겨나고 있다. 하지만, 특수한 상황에서 짧은 시간 동안 이용하는 마스크가 아닌 일상에서 이러한 형태의 웨어러블 기기 착용 시 안면, 귀, 또는 목에 미치는 영향이 어떻게 변화하는지에 대한 연구가 현재는 미흡한 상황이다.

따라서, 본 연구를 통해 마스크의 무게 수준을 다양화하고 두 가지 대표 고정방식을 적용하여 실제 일상에서의 사용 상황을 가정하고 사용자가 느끼는 불편함에 대해 평가하며, 실험을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 마스크 형태의 웨어러블 기기 개발 시 사용 가능한 인간공학적 설계 가이드라인을 제시하고자 한다.

2. Method

2.1 Participants

기존 연구에 따르면 한국인의 안면과 귀의 형태는 각각 네 가지의 형태로 분류될 수 있으며 이러한 형태의 차이는 제품 사용 시 사용자가 느끼는 불편도에 영향을 미칠 수 있다(Ban and Jung, 2020; Lee et al., 2022). 다만, 본 연구에서는 무게와 고정방식에 의한 영향에 초점을 맞추었기 때문에 노화 또는 성별에 의해 발생할 수 있는 영향을 최소화하기 위해 39세 이하의 성인 남성을 대상으로 진행되었다. 결과적으로 실험에서 모집된 참여자는 총15명이었으며 평균 연령은 30.20±4.66세였다.

2.2 Experimental design

본 연구의 실험을 위해 머리끈 방식이 적용된 기존의 N95 등급 3M 8822 방진마스크에 귀걸이를 추가로 적용하였으며 외부에는 무게 모듈 고정을 위한 벨크로를 부착하였다(Figure 1). 기존 논문에서 사용된 마스크 타입 웨어러블 기기의 경우 160그램 수준으로 제작되었으며(Tipparaju et al., 2020), 다양한 센서, 공기 순환을 위한 팬, 배터리 등의 공학적 요소가 추가되는 상황을 고려하여 폭넓은 범위의 무게를 평가하고자 마스크 총 무게가 각각 100그램, 150그램, 200그램이 되도록 2그램과 5그램 무게의 추를 사용해 세 가지

세트의 무게 모듈을 제작하였다(Figure 2). 마스크는 참여자마다 별도로 지급되었으며, 실험 종료 후 즉시 폐기되었다.

Figure 1. Face mask with an ear loop (black elastic band) and head loop (blue elastic band)

Figure 2. Three sets of detachable weight modules

각 참여자는 두 가지의 고정방식이 적용된 마스크를 착용하고 세 가지 무게에 대해 평가를 진행하였으며, A 그룹은 대조군과 100g 및 150g 마스크를, B 그룹은 대조군과 150g 및 200g 마스크를, 마지막 C 그룹은 대조군과 100g 및 200g 마스크를 평가하였다.

참여자는 "마스크를 착용하고 주어진 작업을 수행함으로 인해 안면, 귀, 목 각각에 불편함을 느끼셨나요?"와 "마스크를 착용하고 주어진 작업을 수행함으로 인해 전체적으로 불편함을 느끼셨나요?"라는 질문에 리커트 8점 척도(0: 불편함을 느꼈다는 것에 매우 강하게 동의하지 않는다, 3: 불편함을 느꼈다는 것에 아주 조금 동의하지 않는다, 4: 불편함을 느꼈다는 것에 아주 조금 동의한다, 7: 불편함을 느꼈다는 것에 매우 강하게 동의한다)를 사용하여 주관적으로 인지한 불편도에 대해 응답했다.

2.3 Task

기존 연구에서 N95 수준의 마스크를 착용하고 걸을 때 약 4km/h의 속력까지는 호흡에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(Roberge et al., 2010). 본 연구에서 참여자는 앉아서 실내에서 업무를 보는 상황을 가정하여 앉아서 컴퓨터를 보는 작업과 출퇴근 또는 산책 상황 및 가벼운 운동 상황을 가정하여 4Km/h 속도로 가볍게 걷는 작업 등 두 가지 작업을 주어진 형태의 마스크를 착용한 상태에서 각각 30분씩 진행하였다.

2.4 Procedure

실험 시작 전 모든 참여자에게 연구의 목적 및 절차에 대한 설명 후 연구 참여 동의를 받아 실험을 진행하였다. 이후 실험 진행 시간을 고려하여 참여자는 무작위로 A, B, 또는 C 그룹으로 각각 5명씩 배치되었다. 각 참여자는 작업 수행 전 마스크의 귀걸이와 머리끈을 자신의 신체에 맞게 조절 하였으며, 이 후 주어진 마스크를 착용하고 앉아서 컴퓨터를 사용해 문서 작성 및 인터넷 서핑을 하는 작업과 4km/h의 속도로 런닝머신에서 걷는 작업을 각각 30분간 수행하는 동안 10분 간격으로 총 3번의 불편도 측정이 진행되었다.

각 작업 종료 후 5분 내외의 휴식시간이 제공되었으며, 모든 참여자는 세 가지 무게와 두 가지 고정방식으로 구성된 총 여섯 가지의 조합 중 두 가지 조합을 총 3일에 나눠 평가하였다. 참여자 별로 사용하는 마스크의 종류와 작업 순서 등을 무작위 순서로 진행하여 순서에 의한 영향을 최소화 하였다.

2.5 Data analysis

마스크 무게(Mask weight)를 참여자에 따라 다르게 적용하여 고정방식(Loop type)과 이용 상황(Activity), 그리고 착용 시간(Hours of use) 등 총 세 가지 요인을 반복 측정하며 얻어진 안면, 귀, 그리고 목에 느껴지는 불편도와 종합 불편도에 대해 혼합모형 다변량 분산분석(Mixed multivariate analysis of variance with repeated measures)을 진행하였다. 이를 통해, 불편도에 대한 각 요인 간 상호작용을 확인하였으며, 1종 오류 통제를 위한 본페로니 교정을 적용하여 쌍대비교(Pairwise comparisons)를 통해 효과에 따른 불편도 차이의 유의성을 도출하였다. 또한, 참여자가 응답한 신체 부위 별 불편도를 통해 종합 불편도를 산출하기 위한 단계별 다중 선형 회귀분석(Stepwise Multiple linear regression)을 진행하였다. 회귀분석 모형의 adjusted R^2의 값이 0.5 이상일 경우 모형의 설명력이 적합하다고 평가하였다(Moore et al., 2013). 통계적 유의성은 $\alpha = 0.05$ 수준에서 평가되었으며, 모든 통계 분석은 IBM SPSS 26를 사용하여 진행되었다(SPSS Inc., Chicago, IL).

3. Results

3.1 Multivariate tests of the measurements

Table 1의 다변량 검정 결과 마스크 무게와 고정방식, 활동, 그리고 착용 시간의 주효과와 여섯 가지의 모든 상호작용 효과에 의한 참여자의 세 가지의 부위 별 불편도 및 종합 불편도의 차이가 $\alpha = 0.05$ 수준에서 유의함을 확인하였다.

Table 1. Multivariate tests of the measurements

Effect	Wilks' Lambda	*F*	df	Error df	*p* value	Partial Eta Squared
Mask type	0.039	20.263	12	100.83	0	0.661
Loop type	0.117	71.961	4	38	0	0.883
Loop type * Mask type	0.586	1.883	12	100.83	0.045	0.163
Activity	0.17	46.351	4	38	0	0.83
Activity * Mask type	0.434	3.12	12	100.83	0.001	0.243
Duration	0.19	18.065	8	34	0	0.81
Duration * Mask type	0.256	2.476	24	99.212	0.001	0.365
Loop type * Activity	0.576	7.007	4	38	0	0.424
Loop type * Activity * Mask type	0.722	1.102	12	100.83	0.367	0.103

Table 1. Multivariate tests of the measurements (Continued)

Effect	Wilks' Lambda	*F*	df	Error df	*p* value	Partial Eta Squared
Loop type * Duration	0.598	2.86	8	34	0.015	0.402
Loop type * Duration * Mask type	0.52	1.045	24	99.212	0.42	0.196
Activity * Duration	0.653	2.254	8	34	0.047	0.347
Activity * Duration * Mask type	0.431	1.39	24	99.212	0.132	0.244
Loop type * Activity * Duration	0.874	0.614	8	34	0.76	0.126
Loop type * Activity * Duration * Mask type	0.394	1.567	24	99.212	0.065	0.267

혼합모형 다변량 분산분석 결과를 기반으로 여섯 가지 상호작용 효과에 의한 종합 불편도 비교 결과 이용 상황과 착용 시간($\chi^2(2) = 8.062$, $p = 0.018$, $\varepsilon = 0.846$, *Huynh – Feldt corrected* $F(1.885,77.297) = 7.631$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.157$), 고정방식과 착용 시간($\chi^2(2) = 15.471$, $p = 0.000$, $\varepsilon = 0.757$, *Huynh – Feldt corrected* $F(1.675,68.679) = 7.448$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.154$), 고정방식과 이용 상황(*Greenhouse – Geisser corrected* $F(1,41) = 22.174$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.351$), 그리고 마스크 무게와 이용 상황(*Greenhouse – Geisser corrected* $F(3,41) = 3.448$, $p = 0.025$, $\eta^2 = 0201$) 등 모든 주효과 요인이 포함된 네 가지의 상호작용 효과가 유의하였다.

다음으로, 안면 불편도에 대한 영향은 고정방식과 착용 시간($\chi^2(2) = 0.929$, $p = 0.628$, $F(2,82) = 6.543$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.138$), 고정방식과 이용 상황(*Greenhouse – Geisser corrected* $F(1,41) = 11.338$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.217$), 마스크 무게와 이용 상황(*Greenhouse – Geisser corrected* $F(3,41) = 9.751$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.416$), 마스크 무게와 고정방식(*Greenhouse – Geisser corrected* $F(3,41) = 5.516$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.288$) 등 네 가지 상호작용이 유의하게 나타났으며, 주효과 요인이 상호작용 효과 내 모두 포함되었다.

참여자가 귀에 느낀 불편도에 대해 모든 상호작용이 유의하지 않았으며, 착용 시간($\chi^2(2) = 14.035$, $p = 0.001$, $\varepsilon = 0.772$, *Greenhouse – Geisser corrected* $F(1.543,63.275) = 38.413$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.484$), 이용 상황(*Greenhouse – Geisser corrected* $F(1,41) = 27.470$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.401$), 고정방식(*Greenhouse – Geisser corrected* $F(1,41) = 251.142$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.860$), 마스크 무게($F(3,41) = 58.804$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.811$), 등 네 가지의 주효과가 유의하였다.

마지막으로 목에 느낀 불편도의 경우 이용 상황과 착용 시간($\chi^2(2) = 8.225$, $p = 0.016$, $\varepsilon = 0.843$, $F(2,82) = 6.230$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.132$), 마스크 무게와 착용 시간(*Greenhouse – Geisser corrected* $F(4.321,59.060) = 14.992$, $p = 0.000$, $\eta^2 = 0523$), 마스크 무게와 이용 상황(*Greenhouse – Geisser corrected* $F(3,41) = 3.154$, $p = 0.035$, $\eta^2 = 0.188$) 등 세 가지 상호작용이 유의하였으며, 상호작용에 포함되지 않은 고정방식의 주효과(*Greenhouse – Geisser corrected* $F(1,3) = 4.872$, $p = 0.033$, $\eta^2 = 0.106$) 또한 유의한 것을 확인하였다.

3.2 Relationship of discomfort on face, ear, and neck to overall discomfort

참여자가 응답한 안면과 귀 그리고 목에 느낀 각각에 불편도를 통해 종합 불편도를 도출하기 위한 단순 선형 회귀분석을 실시한 결과, Table 2과 같이 F=1996.013 (p<0.001)로 본 회귀모형이 적합하다고 할 수 있었다. 참여자가 안면, 귀, 그리고 목에 느낀 불편도는 $R^2 = 0.917$로 종합적 불편도에 대해 91.7%의 높은 설명력을 가진 것을 확인하였다. 종합 불편도에 대한 신체 부위 별 불편도의 영향에는 차이가 존재했으며, 안면 불편도가 종합 불편도에 가장 크게 영향을 미친 것으로 나타났다. 따라서, 신체 부위 별 불편도와 종합 불편도에 대한 특정 요인의 효과가 다르게 나타날 수 있으며, 특정 부위의 불편도의 변화가 종합 불편도의 변화를 의미하지 않을 수 있다는 것을 [3.1]에서의 결과와 함께 확인할 수 있다.

Table 2. Effect of perceived discomfort (on face, ear, and neck) on perceived overall discomfort

Predictors	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t (p)	F (p)	Adjusted R^2
	B	Std.Error	Beta			
(Constant)	0.461	0.047		9.760***	1996.013***	0.917
On face	0.429	0.028	0.418	15.277***		
On ear	0.283	0.023	0.296	12.474***		
On neck	0.228	0.019	0.300	11.705***		

*p <.05, **p <.01, ***p <.001

3.3 Relationship of hours of use and activity to discomfort

다변량 검증 결과를 통해 목 불편도와 종합 불편도에 대한 착용 시간과 이용 상황의 상호작용 효과를 확인할 수 있다(Figure 3). 이 두 요인의 상호작용 효과를 본페로니 사후 검정을 통해 비교한 결과 앉아있는 경우와 걷는 경우 모두 목에 느낀 불편도는 유의한 수준으로 상승했다. 하지만, 시간이 지날 수록 이용 상황 사이의 불편도 차이는 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 30분이 지난 시점에서 앉아있는 상황과 걷는 상황의 불편도 차이는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 종합 불편도의 경우 이용 상황 사이의 차이는 30분 후에도 유의했지만 10분 후와 20분 후의 차이보다 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해, 마스크의 무게와 고정방식과 관계없이 걷는 경우에는 불편함이 사용 시간 초반에 빠르게 증가했지만, 앉아서 이용하는 경우 장시간 이용할 수록 불편도가 지속적으로 증가하며 이용 상황 사이의 불편도 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

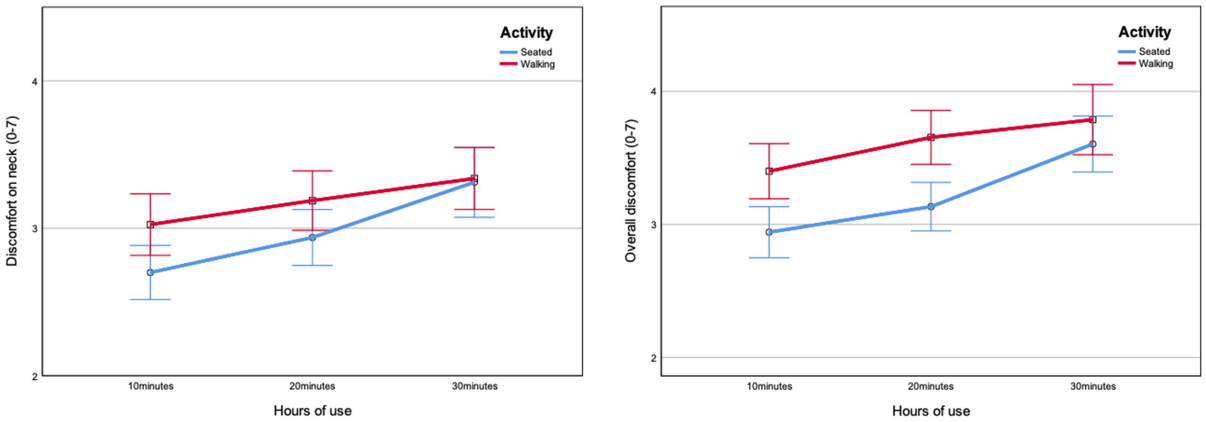

Figure 3. Discomfort on neck (left) and overall discomfort (right) plotted against hours of use for each activity

3.4 Relationship of mask weight to discomfort

종합 불편도에 대한 마스크 무게와 이용 상황의 상호작용 효과는 동시에 안면과 목에도 유의한 것을 확인할 수 있었다(Figure 4). 대조군 마스크와 100그램 마스크 착용 시에 느끼는 불편도는 이용 상황에 따른 차이가 유의하지 않았다. 하지만, 안면에 느낀 불편도와 종합 불편도는 대조군 마스크를 착용하더라도 이용 상황이 유의한 영향을 미친 것을 확인할 수 있었다.

또한, 대조군 마스크와 100그램 마스크의 경우 앉아있는 상황에서 이용 시 참여자가 안면에 느낀 불편도의 차이가 유의하지 않은 것

으로 나타났다. 하지만, 동일한 상황에서 목에 느낀 불편도의 차이는 유의했으며 종합 불편도 또한 목에 느낀 불편도와 같이 대조군과 100그램 마스크 사이 앉아있는 상황에도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

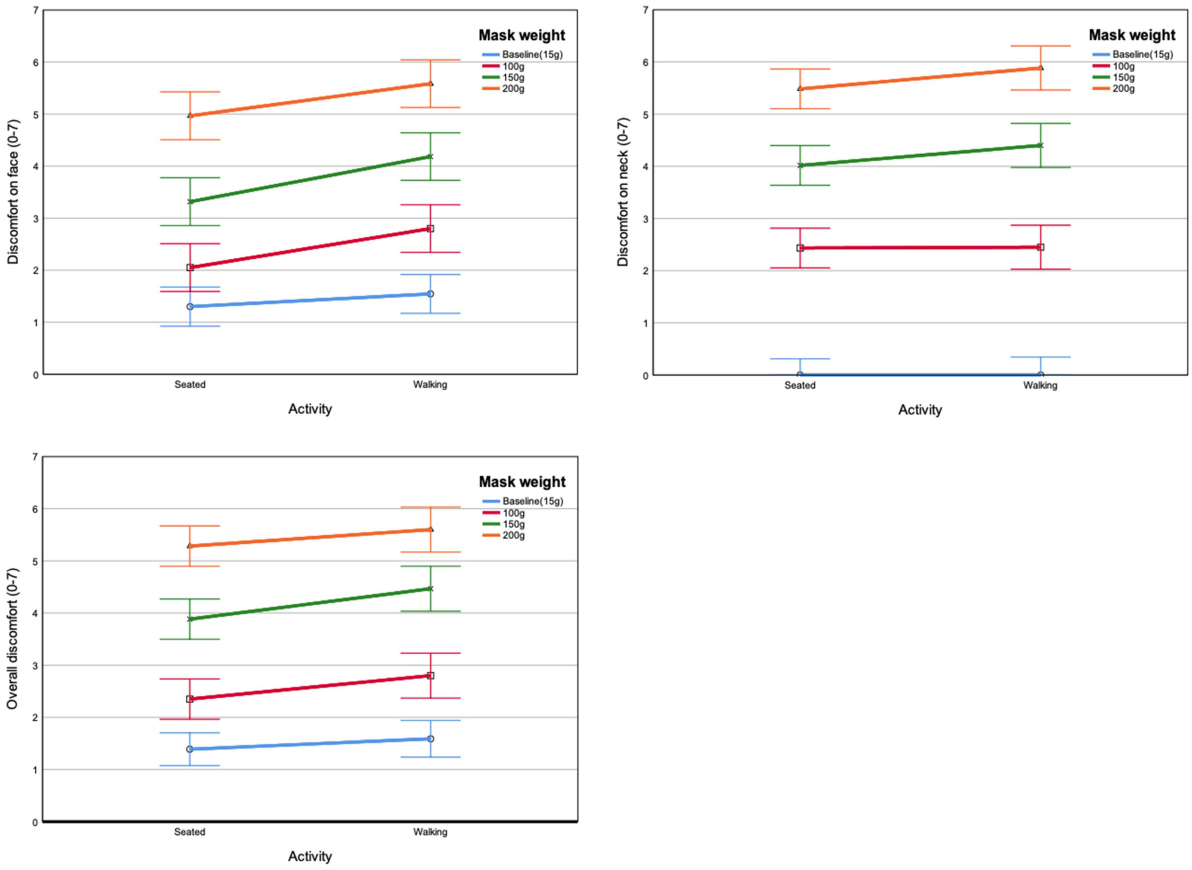

Figure 4. Discomfort on face (top left), neck (top right) and overall discomfort (bottom) plotted against activity for each mask weight

3.5 Relationship of loop type to discomfort

고정방식과 이용 상황의 상호작용 효과는 안면과 종합 불편도에 유의한 것으로 나타났다(Figure 5). 두 불편도 모두 앉아있는 상황 대비 걷는 상황에서 유의한 수준으로 높게 나타났으며 머리끈 방식보다 귀걸이 방식이 유의하게 높은 불편도를 유발한 것으로 나타났다. 또한, 두 요인의 상승작용으로 인해 앉아있는 상황과 걷는 상황에서의 불편도 차이가 귀걸이 방식을 사용하는 경우 머리끈 방식보다 크게 상승하는 것으로 나타났으며, 귀걸이 방식과 머리끈 방식의 불편도 차이는 앉아있는 상황 대비 걷는 상황에서 더욱 크게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

안면과 종합 불편도에 대해 착용 시간 또한 고정방식과 유의한 상호작용 효과가 있는 것으로 나타났다(Figure 6). 귀걸이 방식 사용 시 모든 구간에서 머리끈 방식 대비 참여자는 유의한 수준의 높은 안면 및 종합 불편도를 느낀 것으로 나타났으며, 귀걸이 방식의 경우 모든 구간의 불편도 상승이 유의하게 나타났지만, 머리끈 방식을 착용할 경우 20분에서 30분까지의 불편도 변화가 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 착용 시간이 길어질 수록 귀걸이 방식은 머리끈 방식과의 불편도의 차이가 더욱 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

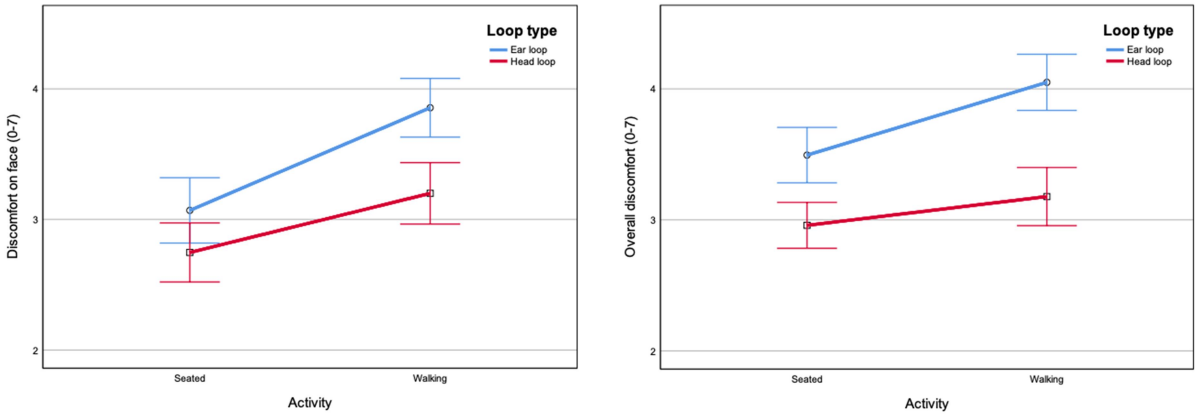

Figure 5. Discomfort on face (left) and overall discomfort (right) plotted against activity for each loop type

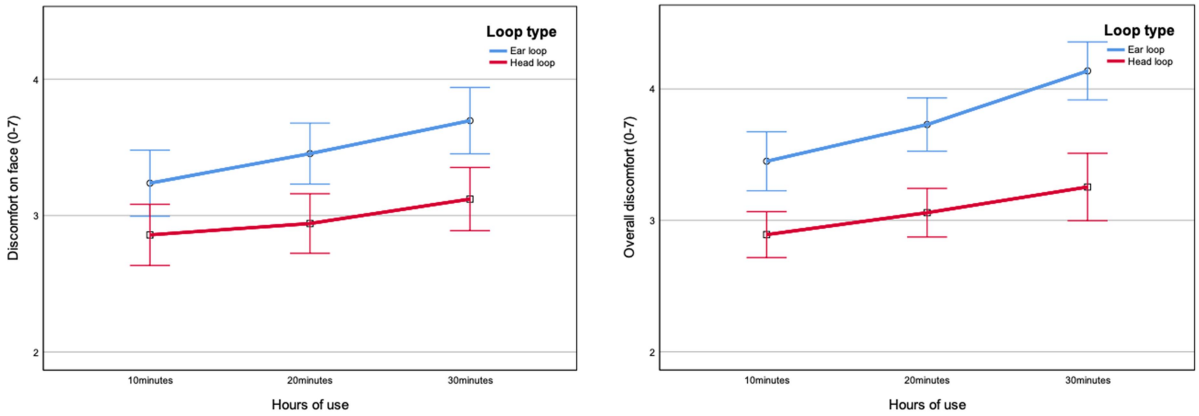

Figure 6. Discomfort on face (left) and overall discomfort (right) plotted against hours of use for each loop type

4. Discussion

본 연구를 통해 마스크 착용 시간 또는 활동의 수준에 따라 참여자가 느낀 불편도에 유의한 영향이 있었으며, 이 영향은 마스크의 무게 또는 고정방식에 따라 변화함이 다변량 검증에서 상호작용의 유의성을 통해 확인되었다. 또한, Table 1의 다변량 검정 결과 및 일변량 검정 결과를 통해 실험 요인의 주효과 및 상호작용 효과는 신체 부위에 따라 다르게 나타날 수 있음을 검증하였다. 추가로, 특정 효과에 의해 한 부위의 불편도가 증가하더라도 종합 불편도에 영향이 유의하지 않을 수 있으며, 이는 종합 불편도에 미치는 각 부위 별 불편도의 영향이 달랐기 때문임을 Table 2을 통해 확인할 수 있다.

따라서, 마스크 설계 시 이러한 상호작용 효과가 주요 신체 부위에 미치는 영향을 고려하여 사용자의 불편도를 최소화할 수 있어야 하며, 본 연구를 통해 사용 시간과 이용 상황 측면에서 마스크의 무게와 고정방식 설계에 대한 불편도 변화를 확인할 수 있다.

가장 먼저 착용 시간과 이용 상황의 상호작용으로 인해 Figure 3에서 착용 시간이 짧을 수록 앉아있는 상황과 걷는 상황에서 불편도 차이가 크게 나타났지만, 사용 시간이 길어질 수록 종합 불편도의 차이가 감소하는 것을 확인하였다. 이를 통해, 장시간 착용을 고려할 수록 이용 상황에 의한 영향은 감소하며 마스크의 무게 또는 고정방식에 대한 고려가 더욱 중요하다는 것을 알 수 있었다.

사용 시간 측면에서 30분 내외의 짧은 시간 착용할 것으로 예상되는 마스크는 Figure 7에서 볼 수 있듯 편한 수준으로 해석이 가능한 3점 이하인 100그램 이내로 설계하는 것이 사용자의 편안한 사용을 위해 적절할 것으로 예상할 수 있다. 추가적으로, 종합 불편도 변화에 대한 마스크 무게와 사용 시간의 상호작용은 유의하지 않았으며 따라서 마스크의 무게와 상관없이 사용 시간이 길어질 수록 선형적으로 증가할 것으로 예상할 수 있다. 이러한 결과를 통해 한 시간 이상의 장시간 착용이 필요할 경우 100그램 수준의 마스크를 착용하더라도 불편함이 발생할 수 있는 것을 확인하였다.

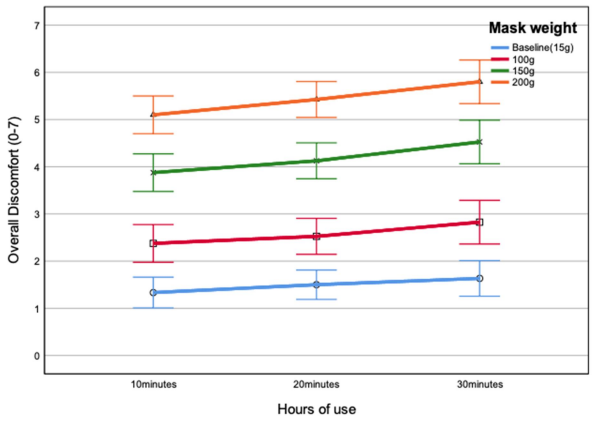

Figure 7. Overall discomfort plotted against hours of use for each mask weight

종합 불편도에 대한 마스크 무게와 고정방식의 2방향 상호작용은 유의하지 않았으며, 마스크 무게와 고정방식 및 착용 시간의 3방향 상호작용 또한 유의하지 않음을 확인하였다. 따라서, 마스크 무게와 상관없이 착용 시간이 증가할 수록 귀걸이 방식과 머리끈 방식의 불편도 차이가 Figure 6과 같이 상승하는 것을 알 수 있다. 따라서, 100그램 수준의 마스크의 경우 귀걸이 방식을 적용하더라도 짧은 시간 사용할 경우 큰 불편함이 없을 것으로 기대하지만, 많은 사용자는 아주 낮은 수준의 불편함은 감수하는 경향이 있기 때문에(Zhang and Zhao, 2008), 머리끈 방식이 적용 될 경우 100그램 뿐만 아니라 150그램 수준까지의 수용을 기대할 수 있다.

기존 연구에서 수술용 마스크와 N95 마스크와 같이 가벼운 수준의 마스크의 비교에서는 안면에는 유의한 불편도의 차이가 없었던 반면(Nwosu et al., 2021), 본 연구에서 진행한 100그램에서 최대 200그램 수준의 마스크 착용 시 안면에 느끼는 불편도가 큰 차이가 있었고 종합 불편도에 가장 큰 영향을 준 요인이었음을 Table 2의 결과와 같이 확인할 수 있다. 다만, 마스크 설계 시 안면의 경우 콧대(Nasal root), 비측(코쪽; Nasal side), 뺨(cheek), 광대(Zygomatic bone), 턱(Chin) 등으로 부위가 세분화 될 수 있으며(Lee et al., 2013), 귀걸이 방식 또한 또한 귀의 가장 윗 부위(Otobasion superius)와 귀의 가장 뒷 부위(Otobasion posterius) 등 세부적으로 영향을 주는 부위가 다를 수 있다(Ban and Jung, 2020). 같은 형태의 마스크를 사용하더라도 안면이나 귀의 형태에 따라 불편도가 다르게 느껴 질 수 있지만, 이에 대한 효과는 본 연구에서 고려하지 않았다. 따라서, 웨어러블 기기 설계 시 사용자의 안면과 귀 형태 분류에 의해 안면과 귀의 세부 부위에서 느껴지는 불편도를 비교할 수 있는 연구가 추가적으로 진행되어야 한다.

본 연구는 최대 30분 사용 후 불편도 측정이 진행되었지만 200그램 수준의 마스크에 대한 높은 불편도를 확인하였으며 귀걸이 방식 또한 머리끈 보다 유의한 수준의 높은 불편도를 유발하는 것으로 나타났다. 따라서, 요인의 수준을 제한하고 착용 시간을 대폭 증가하여 장시간 사용이 갖는 영향에 대한 검증이 제안된다.

추가적으로, 이전에는 단순하게 가볍고 저렴한 마스크를 요구했지만 마스크의 오염 수준을 확인 가능한 것과 같이 마스크에 대한 새로운 사용자의 요구 사항과 구매 요인이 생겨나고 있으며(Hwang and Lee, 2022), 사용자를 만족시키기 위해 인간공학적 설계 가이드라인과 함께 이러한 요인에 대한 연구가 함께 적용되어야 한다.

5. Conclusion

본 연구를 통해 참여자가 마스크 사용 시 느끼는 불편도에는 다양한 요인들의 상호작용 효과에 의해 발생하는 것을 확인하였으며, 이러한 각각의 상호작용이 안면과 귀, 목, 그리고 종합적인 불편도에 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 특히, 참여자가 느낀 종합 불편도는 안면에 느낀 불편도와 가장 높은 관계가 있는 것으로 나타났다. 마스크의 무게와 고정방식, 그리고 이용 상황을 다르게 하여 30분간 측정한 불편도 비교 결과를 통해 마스크 형태의 웨어러블 기기는 100그램 이내의 무게를 적용할 시 30분 이상의 이용 시에도 불편하지 않은 사용을 기대할 수 있었다. 다만 무게는 최대 150그램 수준까지 고려할 수 있으며, 이 경우 불편도 감소를 위해 고정방식으로는 머리끈 방식이 권장된다.

마스크 형태의 웨어러블 기기에 대한 관심이 증가함에 따라 사용자가 불편함 없이 사용할 수 있도록 인간공학적 설계를 하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 무게와 고정방식에 의한 안면, 귀, 목 등 세 신체 부위와 종합 불편도를 측정한 본 연구 결과를 바탕으로 추후 신체 부위의 세분화를 통한 물리적 설계 요인과 사용자의 요구 사항을 만족시키기 위한 기능적 요인에 대한 추가적인 연구가 진행된다면 다양한 형태의 마스크 방식 웨어러블 기기 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

Acknowledgement

본 연구는 4단계 두뇌한국21에 의해 지원되었습니다.

References

Baig, A.S., Knapp, C., Eagan, A.E. and Radonovich, L.J., Health care workers' views about respirator use and features that should be included in the next generation of respirators. *American Journal of Infection Control*, 38(1), 18-25, 2010. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2009.09.005

Ban, K. and Jung, E.S., Ear shape categorization for ergonomic product design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 80, 102962, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102962

Bushwick, S., New Design Helps N95 Mask Wearers Breathe Easier. *Scientific American*, 2020. https://www.scientificamerican.com/article/new-design-helps-n95-mask-wearers-breathe-easier/

Dhillon, R.S., Karan, A., Beier, D. and Srikrishna, D., We Need Better Masks. *Harvard Business Review*, 2020. https://hbr.org/2020/06/we-need-better-masks

Gao, Z., Lou, Z., Chen, S., Li, L., Jiang, K., Fu, Z., Han, W. and Shen, G., Fiber gas sensor-integrated smart face mask for room-temperature distinguishing of target gases. *Nano Research*, 11(1), 511-519, 2018. https://doi.org/10.1007/s12274-017-1661-9

Hwang, N. and Lee, K.W., Survey on Current Mask Use and Satisfaction Among Domestic Consumers During COVID-19. *Fashion & Textile Research Journal*, 24(4), 399-407, 2022. https://doi.org/10.5805/SFTI.2022.24.4.399

Koo, M.J. and Lee, H.K., Strap Design for Masks Due to COVID-19. *Journal of the Korean Society Design Culture*, 27(4), 15-25, 2021. https://doi.org/10.18208/ksdc.2021.27.4.15

Kum, D.M. and Shin, W.S., How Does the Filter on the Mask Affect Your Breathing? *Physical Therapy Rehabilitation Science*, 10(4), 438-443, 2021. https://doi.org/10.14474/ptrs.2021.10.4.438

Lee, W., Kim, H., Jung, D., Park, S. and You, H., Ergonomic Design and Evaluation of a Pilot Oxygen Mask. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57(1), 1673-1677, 2013. https://doi.org/10.1177/1541931213571371

Lee, W., Lee, B., Yang, X. and You, H., A Method for Generation of a Sizing System and Representative Models for a Facial Mask Design. *Applied Sciences*, 12(23), 12387, 2022. https://doi.org/10.3390/app122312387

Moore, D.S., Notz, W. and Fligner, M.A., *The basic practice of statistics* (6th ed., student ed). W.H. Freeman, 2013.

Nwosu, A.D.G., Ossai, E.N., Onwuasoigwe, O. and Ahaotu, F., Oxygen saturation and perceived discomfort with face mask types, in the era of COVID-19: A hospital-based cross-sectional study. *Pan African Medical Journal*, 39, 2021. https://doi.org/10.11604/pamj.2021.39.203.28266

Oh, S.Y. and Suh, D.A., Designing of standard sizing system for hygienic masks. *The Research Journal of the Costume Culture*, 30(4), 495-512, 2022. https://doi.org/10.29049/rjcc.2022.30.4.495

Radonovich, L.J., Respirator Tolerance in Health Care Workers. *JAMA*, 301(1), 36, 2009. https://doi.org/10.1001/jama.2008.894

Roberge, R.J., Coca, A., Williams, W.J., Powell, J.B. and Palmiero, A.J., Physiological Impact of the N95 Filtering Facepiece Respirator on Healthcare Workers. *Respiratory Care*, 55(5), 2010.

Ryu, H.J., Park, W.H., Lee, C.Y., Jeong, S.O., Choi, H.J., Lee, J.M., Hwang, I.S. and Shin, Y.S., A Comparison of Performance Evaluations of Reusable Masks. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 32(1), 53-63, 2022. https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2022.32.1.53

Shenal, B.V., Radonovich, L.J., Cheng, J., Hodgson, M. and Bender, B.S., Discomfort and Exertion Associated with Prolonged Wear of Respiratory Protection in a Health Care Setting. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 9(1), 59-64, 2012. https://doi.org/10.1080/15459624.2012.635133

Shon, S.H., Analysis of Product Design by the Atmospheric Environment—Focusing on the Yellow Dust Mask. *Journal of the Korean Society Design Culture*, 24(2), 335-345, 2018. https://doi.org/10.18208/ksdc.2018.24.2.335

Szeinuk, J., Beckett, W.S., Clark, N. and Hailoo, W.L., Medical evaluation for respirator use. *American Journal of Industrial Medicine*, 37(1), 142-157, 2000. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(200001)37:1<142::AID-AJIM11>3.0.CO;2-K

Tipparaju, V.V., Wang, D., Yu, J., Chen, F., Tsow, F., Forzani, E., Tao, N. and Xian, X., Respiration pattern recognition by wearable mask device. *Biosensors and Bioelectronics*, 169, 112590, 2020. https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112590

Tipparaju, V.V., Xian, X., Bridgeman, D., Wang, D., Tsow, F., Forzani, E. and Tao, N., Reliable Breathing Tracking With Wearable Mask Device. *IEEE Sensors Journal*, 20(10), 5510-5518, 2020. https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2969635

Zhang, Y. and Zhao, R., Overall thermal sensation, acceptability and comfort. *Building and Environment*, 43(1), 44-50, 2008. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.11.036

Author listings

Daeyong Yang: dyang59@korea.ac.kr
Highest degree: BS, Department of Physics, University of Wisconsin-Madison
Position title: Ph.D Student, Department of Industrial & Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Ergonomics, UI/UX design and evaluation

Eui Seung Jung: ejung@korea.ac.kr
Highest degree: Ph.D, Department of Industrial & Manufacturing Engineering, Penn State University
Position title: Professor, Department of Industrial & Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Ergonomics, UI/UX design and evaluation