

산업용 방진마스크 등급 및 착용시간이 작업자에게 미치는 영향 : 주관적 불편 수준

김영미¹ · 최 원¹ · 이우제¹ · 김두영¹ · 김기연^{1,2*}

¹서울과학기술대학교 안전공학과대학원, ²서울과학기술대학교 안전공학과

Effects of Grade and Wearing Time of Industrial Filtering Facepiece Respirator on Workers: Subjective Discomfort Level

Young-Mi Kim¹ · Won Choi¹ · Woo-Je Lee¹ · Doo-Young Kim¹ · Ki-Youn Kim^{1,2*}

¹Graduate School of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

²Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

Objectives: As the time spent wearing masks has increased with spread of COVID-19, various research related to masks have been reported. However, there are still few experiments on the physiological response of the body to wearing industrial dust masks in South Korea. Considering the actual working hours at the work site, it is necessary to investigate the comfort of industrial dust masks. Therefore, this study aims to confirm the change in subjective discomfort level according to the wearing time for industrial dust masks in South Korea that have been certified for safety by KCS.

Methods: This study evaluated subjective discomfort level over four hours. The experimental conditions were five types: not worn (control group), special grade, first grade, second grade (with valve), and second grade (without valve). The subjective discomfort levels were classified for breathing, warmth (body and face) and wetness (body and face). Subjects recorded their discomfort level on a checklist every one hour.

Results: In special grade and second grade (without valve), the discomfort level in terms of breathing, warmth (face), and wetness (face) was significantly higher than that of the control group. However, the effects of all kinds of industrial dust masks on the discomfort level in the body were low.

Conclusions: Since this study was conducted on subjects working in an office with a comfortable working environment, it is difficult to apply it to workers at actual industrial sites. However, it is considered meaningful as the first clinical study to evaluate the subjective level of discomfort over a long time for domestic industrial dust masks that have been certified for safety by KCS.

Key words: Industrial dust mask, grade, wearing time, discomfort level, KCS

I. 서 론

2019년 12월 중국 우한에서 COVID-19의 발생 사례가 최초로 보고되었다. 코로나바이러스의 차단과 억제 위해 2020년 6월 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 건강한 사람에게도 마스크 착용을 권고하였고, 우리나라에서는 2020년 11월부터 실내 전체 및 실외에서도 마스크 착용을 의무화하기 시작했다(KDCA, 2020). 이로 인해 일반대중의 장시간 마스크 착용이 필수가 되었는데, COVID-19가 장기화되면서 마스크의 불편함과 잠재적인 위험에 대한 우려가 발생하였다.

용을 권고하였고, 우리나라에서는 2020년 11월부터 실내 전체 및 실외에서도 마스크 착용을 의무화하기 시작했다(KDCA, 2020). 이로 인해 일반대중의 장시간 마스크 착용이 필수가 되었는데, COVID-19가 장기화되면서 마스크의 불편함과 잠재적인 위험에 대한 우려가 발생하였다.

*Corresponding author: Ki-Youn Kim, Tel: 02-970-6376, E-mail: kky5@seoultech.ac.kr, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811

Received: December 2, 2022, Revised: December 20, 2022, Accepted: December 29, 2022

 Young-Mi Kim <http://orcid.org/0000-0003-2930-1256>

 Won Choi <https://orcid.org/0000-0003-4555-7913>

 Woo-Je Lee <https://orcid.org/0000-0001-9981-4044>

 Doo-Young Kim <http://orcid.org/0000-0001-8728-9908>

 Ki-Youn Kim <http://orcid.org/0000-0001-6889-8548>

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.

호흡보호구의 착용이 신체에 미치는 영향에 대하여 국외에서는 COVID-19 이전부터 다양한 연구가 진행되어 왔다. 미국의 경우는 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) 산하 국립개인보호기술실험실(National Personal Protective Technology Laboratory, NPPTL)에서는 2008년부터 2009년까지 호흡보호구 사용의 여러 측면을 조사하는 대규모 연구인 Project BREATHE(Better Respiratory Equipment using Advanced Technologies for Healthcare Employees)가 진행되나 있다(Gosch et al., 2013; Radonovich Jr et al., 2009). 이 연구의 목적은 의료종사자(health care workers, HCW)가 사용하는 호흡보호구의 개선을 위해 일련의 합의 권장 사항을 개발하는 것이었다. 총 28개의 권장사항이 개발되었고, '호흡보호구의 편안함과 허용성'과 관련하여서는 10가지(호흡 저항, 안면 자극, 알레르기, 안면 압력, 안면 열, 공기 교환, 수분관리, 중량 및 질량 분포, 냄새, 장기간 내구성)가 포함되었다. 28개의 권장사항이 개발된 이후에는 '호흡보호구의 편안함과 허용성'에 영향을 미치는 요인에 대한 이해와 평가를 목적으로 다양한 임상적인 연구가 진행되었다(Radonovich et al., 2009; R. Roberge et al., 2012; Roberge, 2012; R J Roberge et al., 2010; R. J. Roberge et al., 2012; Roberge et al., 2011; Shenal et al., 2012). 현재까지도 호흡보호구에 대한 연구는 호흡보호구의 성능, 착용에 의한 불편함, 착용 시 정신적 및 신체적으로 미치는 요인 등 여러 방면으로 다양하게 진행되고 있다.

이 중 착용에 의한 불편함과 관련하여 안면부의 열 인식의 증가로 인해 발생한 불편함은 안면부 여과식 호흡보호구(Filtering Facepiece Respirator, FFR)의 올바른 사용 방법을 방해하는 이유로 자주 거론되고 있다(Radonovich et al., 2009). 안면부의 열 인식과 관련하여 Baig et al.(2010)의 연구에서는 N95 FFR을 착용한 의료종사자 159명 중 56%가 안면부에서 열의 증가를 '자주에서 항상' 경험하였고, FFR 착용으로 인한 안면부의 열 인식 증가는 국소 피부의 반응, 호흡 공기의 온도 상승, 신체 코어 온도 상승, 기타 정신 생리학적 반응을 포함한 다양한 원인에 의해 나타날 수 있다고 언급하였다(Roberge et al., 2011). Roberge et al.(2012)의 연구에서는 20명의 건강한 성인을 대상으로 배기밸브가 있는 N95 FFR과 배기밸브가 없는 N95

FFR을 착용하고 중간 정도의 작업속도에서 최대 2시간 동안 심부온도, FFR 외부와 내부의 피부온도를 각각 측정하였는데, 그 결과 FFR 착용이 FFR 내부 피부의 온도 상승에 영향을 주었지만, 심부온도와 FFR 외부 피부의 온도에는 열적 부담을 가하지 않았다고 보고하였으며, 체온 상승의 인식에 대해서는 심부온도의 실제 상승이 아닌 FFR 내부 피부온도의 상승과 FFR 사적(dead space, 마스크 착용 시 내부의 공간의 부피)의 유효온도의 상승과 관련이 있을 수 있다고 언급하였다(R. Roberge et al., 2012). 한편 고온 다습한 환경에서 호흡보호구의 착용이 미치는 영향을 확인하기 위해 Kim et al.(2016)은 12명의 건강한 성인 남성을 대상으로 고온 다습한 환경에서 N95 FFR과 P100 FFR을 착용한 상태에서 1시간 동안 러닝머신 운동(시속 5.6km/h, 경사도 0%)을 하도록 하였는데, 그 결과 FFR을 착용한 경우에 미착용한 경우와 비교하여 얼굴 부분의 피부온도와 호흡 불편 수준이 유의하게 증가하였다고 보고했다(Kim et al., 2016).

이와 같이 호흡보호구의 착용 시 불편함과 정신적 및 신체적 허용성에 미치는 요인과 관련하여 다양한 연구가 COVID-19 이전부터 이어지고 있었다. 하지만 대부분의 연구는 N95 FFR를 대상으로 진행되어 왔다. N95 FFR는 NIOSH에서 인증하는 산업용 FFR 중 하나의 등급에 해당하며, 오일성 분진에 대한 저항성은 없이 고체 입자에 대한 95%의 포집효율을 가지고 있다. 반면, 유럽의 기준을 따르고 있는 우리나라의 산업용 방진마스크(이하 '방진마스크')와 보건용 마스크의 경우 고체입자와 오일성 분진에 대한 포집효율을 모두 검사하고 누설률 검사 또한 성능검사 항목에 포함되어 있기 때문에, NIOSH의 N95 FFR을 대상으로 진행된 연구 결과를 우리나라의 호흡보호구에 적용하기에는 무리가 있다.

국내에서는 호흡보호구와 관련하여 보건용 마스크의 포집효율에 관한 연구(Jung et al., 2014), 방진마스크의 누설률에 관한 연구(Han et al., 2004), 마스크 밀착계수에 유의한 영향을 미치는 요인(얼굴형(Han, 1998), 얼굴크기(Han & Choi, 2002), 마스크 커버(Han, 2013), 마스크 형태(Eoh et al., 2016), 착용법 교육(Eoh et al., 2016), 작업강도(Lee et al., 2018) 등)에 관한 연구 등 주로 마스크의 포집효율과 누설률(또는 밀착계수)과 같은 성능관련 연구가 진행되어왔다. 최근에는 COVID-19로 인해 마스크 착용 시간이 증가되면서 보건용 마스크를 대상으로 신체적 부담 및 주관적

반응과 관련된 연구들이 보고되고 있다(Han & Kim, 2020; Jung et al., 2020). 하지만 방진마스크 착용에 의한 주관적인 불편 수준에 대한 실험 연구는 상대적으로 거의 없는 편이다.

한편, 우리나라의 방진마스크와 보건용 마스크는 외형이 비슷하고 일부 성능검사 항목이 중복되어 있다. 하지만 구조 면에서 끈의 위치와 배기밸브 장착에 따라 일부 차이가 존재하는데, 방진마스크의 경우 끈의 위치는 머리에 걸치는 형태로만 되어 있어야 하고, 특급과 1급에는 배기밸브를 장착하여 장시간 착용 시 노동자의 호흡 중에 발생하는 습기배출을 돕고 배기저항의 개선을 유도하고 있다. 성능검사 면에서는 방진마스크는 안면부 흡기저항, 분집포집효율, 안면부 배기저항, 누설률, 안면부 내부의 이산화탄소 농도, 불연성 등 12가지 시험을 거치지만, 보건용 마스크는 방진마스크와 동일한 3가지 항목(안면부 흡기저항, 분집포집효율, 누설률)에서 머리 끈 인장강도, 순도검사를 추가하여 5가지 항목을 시험을 실시하는데, 중복되는 3가지 시험항목에서도 시험조건과 기준에서 완전히 동일하지 않고, 세부적인 차이가 존재한다(Yoon et al., 2020).

국내의 한 연구에 따르면, 일반 성인 남녀 138명을 대상으로 COVID-19 대응을 위한 마스크 착용과 관련된 설문 조사에서 일일 평균 마스크의 착용 시간을 묻는 질문에 5~6시간이라고 응답한 경우가 64명(46.4%)으로 가장 많았다(Kim & Kim, 2022). 한편, 방진마스크의 경우는 유해한 에어로졸에 노출되는 산업현장에서 근무할 경우 평균근무시간을 고려하였을 때 8시간 이상 착용이 가능하다고 보여진다. 코로나 바이러스의 종식 이후에는 보건용 마스크와 달리 방진마스크는 장시간 착용이 유지될 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 N95 FFR 또는 보건용 마스크가 아닌 우리나라의 KCs 안전인증을 받은 산업용 방진마스크를 대상으로 장시간 착용에 따른 주관적인 불편 수준을 확인하고, 미착용과 유의한 차이를 나타내는 등급을 확인하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 조사 대상

본 실험의 피험자는 방진마스크 착용 경험이 없고 비흡연자이며 심혈관계 및 근골격계 질환이 없는 사무직

근로자 5명(연령: 28.4 ± 7.5 세, 키: 160.4 ± 4.8 cm, 체중: 57.4 ± 21.7 kg, 체표면적: 1.6 ± 0.3 m²)으로 남성 2명, 여성 3명을 대상으로 하였다. 본 실험은 서울과학기술대학교 생명윤리위원회의 승인을 받아 진행하였으며(IRB # No.2021-0034-01), 실험 참여에 앞서 모든 피험자에게 실험 내용과 실험 절차에 대하여 충분히 설명하였으며, 실험 참여 동의를 받아 실험하였다.

방진마스크는 KCs안전인증을 받은 제품으로 등급에 따라 특급, 1급, 2급(with valve), 2급(without valve)으로 총 4가지로 특급과 1급의 경우 우리나라에서는 배기밸브가 부착된 경우에만 안전인증을 받을 수 있도록 되어있고 2급의 경우는 배기밸브가 있는 것과 없는 것이 모두 가능하다. 4가지 모두 동일 제조사에서 제작된 제품으로 선정하였으며, 산업 및 의료분야에서 일반적으로 사용되는 컵형의 디자인으로 하였다(Chen et al., 2016). 추가적으로 마스크의 밀착도를 높이고 및 누설률을 최소화하기 위하여 노즈클립(nose clip)과 페이스 실(facial seal)이 부착된 제품으로 선정하였다.

2. 실험 조건

실험 조건은 마스크를 착용하지 않은 경우(대조군), 특급 착용, 1급 착용, 2급(with valve) 착용, 2급(without valve) 착용으로 총 5가지이며, 5명의 피험자는 5가지 실험에 모두 참여하여 총 25개의 실험이 진행되었다(피험자 5명 × 실험조건 5개 = 25개의 실험). 실험환경은 일반적인 열적 환경을 가진 사무실(22.7 ± 3.6 °C, 상대습도 : 31.2 ± 2.8 %, WBGT : 19.19 ± 3.3 1°C)에서 진행되었으며, Table 1은 날짜별 실험 및 환경조건을 나타낸다. 실험시간은 정기적인 8시간 근무 중에 일정한 휴식(식사시간 및 휴식시간)이 발생하기 때문에 4시간 이상의 지속적인 착용이 발생하지 않을 것으로 예상되어 4시간으로 하여 진행하였다(Roberge et al., 2010). 피험자는 방진마스크를 착용하는 동안 사무직 업무를 하도록 하였으며 앉은 상태에서 쓰기, 타이핑과 같은 가벼운 인력작업을 하였다. 이에 대한 신진대사율(metabolic rate, MR)은 ISO 8996에 따라 70~100 W/m²에 해당되며 분류 2의 약한 작업에 해당한다. 실험이 진행되는 동안 피험자의 건강 상태를 확인하였고, 모든 피험자는 착용 초기 호흡의 불편함을 호소하였지만, 그 외의 건강상의 이상을 나타낸 피험자는 없었다.

Table 1. Experimental conditions and indoor thermal environment for 5 days

| | Day 1 | Day 2 | Day 3 | Day 4 | Day 5 |
|------------------------|----------|---------------------------|-------------|---------------|------------------------------|
| Experimental condition | Control | Second grade (with valve) | First grade | Special grade | Second grade (without valve) |
| Air temperature(°C) | 21.7±3.4 | 22.4±2.9 | 21.4±1.0 | 23.7±2.7 | 22.4±2.3 |
| Relative humidity(%) | 31.0±4.5 | 30.0±1.9 | 32.0±4.7 | 33.0±4.7 | 30.0±3.8 |
| WBGT(°C) | 16.9±2.9 | 17.4±2.5 | 16.8±1.3 | 22.5±2.0 | 22.3±2.1 |

* Values are presented as mean±standard deviation.

3. 평가 항목

주관적 불편 수준은 호흡감, 온열감, 습윤감으로 평가하였다. 호흡감 평가는 실제로 천식 및 만성폐질환이 있는 성인 환자의 호흡곤란의 지표로도 사용되고, 건강한 피험자의 운동강도의 객관적인 지표로도 사용되는 수정된 보그의 호흡곤란척도(Modified Borg's Dyspnea Scale)를 사용하여 평가하였다(Banerjee et al., 2017; Borg et al., 2010). 온열감과 습윤감 평가에는 ANSI/ASHRAE standard 55-2020의 ASHRAE thermal sensation scale을 사용하였다. ASHRAE thermal sensation scale은 일반적으로 실내공간의 주관적인 열 감각 평가에 이용되는데(Schweiker et al., 2020), 일부 연구에서도 호흡용 보호구와 관련한 주관적인 열 감각 평가에 사용되고 있다. 본 연구에서는 습윤감 평가에서도 동일한 척도를 사용하였는데, 피험자가 느끼는 온열감과 비교하여 상대적인 부담수준의 차이를 확인하고자 하였다.

신체 전반(body)과 얼굴(face)을 구분하여 피험자에게 체크리스트에 직접 작성하도록 하였다. ASHRAE thermal sensation scale은 -3점에서 +3점의 총 7단계 척도로 구성되어있어 피험자가 느끼는 불편의 수준을 직접 선택하도록 하였다. 모든 평가 항목은 4시간의 실험시간 동안 총 5회 작성하도록 하였다.

4. 평가 절차

본 연구의 실험은 3월 중 2주간에 걸쳐 진행되었고, 2주 동안 피험자 모두가 참여가 가능한 5일을 선정하여 총 5일 동안 대조군을 포함하여 다섯 가지의 실험이 하루에 한가지씩 진행되었다. 또한 모든 실험은 동 시간대에 실시하였다. 실험 순서는 임의로 선정되었고, 피험자의 주관적 판단이 실험결과에 영향을 미칠 가능성을 고려하여 방진마스크의 등급은 사전에 블라인드 처리하였다.

모든 실험 전에는 모든 피험자에게 누설률 검사(대조군 실험을 제외하고 총 20회)를 실시한 후 실험을 진행하였다. 누설률 검사란 호흡보호구 안으로 오염물질이 침투하는 모든 경로 즉, 여재, 흡배기밸브, 안면부 누설(face seal leakage) 등으로 들어오는 양을 테스트 하는 검사이며, 우리나라에서는 제조자가 제품 개발 후 안전보건공단에서 10명의 패널을 피검자로 선정하여 시행하고 있다. 누설률 검사 합격 기준은 특급이 5% 이하, 1급이 11% 이하, 2급이 25% 이하이다. 본 연구에서 진행한 누설률 검사는 밀착도 검사에 사용하는 기기(Portacount 8048, TSI, USA)를 이용하여 시행하는 것으로, 안전보건공단에서 시행하는 누설률 검사가 아닌, '간이 누설률 검사'이다(Han et al., 2017). 매 실험 마다 피험자의 '간이 누설률 검사' 적합성을 각각 확인한 후 방진마스크를 착용하도록 하였다. 미국의 경우 누설률 검사는 없으며, 대신 밀착도 검사를 법으로 정하여 호흡보호구를 착용하는 모든 근로자들은 1년 혹은 2년에 1회 이상 의무적으로 받도록 하고 있다. 밀착도 검사란 얼굴이나 두상과 접촉된 부분을 통해 오염물질이 유입되는 지를 검사하는 것으로 호흡보호구가 제공하는 보호 정도는 착용자의 얼굴에 얼마나 알맞게 밀착되는지는 그 밀착 성능에 달려있다. N95 FFR을 대상으로 임상적인 실험을 진행한 연구의 경우 대부분 사전에 밀착도 검사를 시행하고 있다. 하지만 우리나라의 경우는 밀착도 검사에 대한 의무조항이 현재는 없다. 따라서 본 연구에서는 밀착도 검사 대신 착용자의 얼굴에 호흡보호구가 효과적으로 밀착되는지를 확인하기 위한 목적으로 '간이 누설률 검사'를 실시하였다.

누설률 검사 후 방진마스크를 착용하지 않은 상태에서 앉아서 쉬는 자세로 15분간 휴식을 취하였다. 15분 후 처음으로 평가항목을 평가하였으며, 이후 방진마스크를 착용하고 4시간 동안 1시간 간격으로 평가를 진행하였다. 주관적 불편 수준 평가 시 피험자마다 개별 체

크리스트에 직접 체크하도록 하였으며 평가결과에 대한 대화는 금지하였다. 실험시간 동안 피험자는 간단한 타 이핑과 같은 일반적인 사무작업을 하였으며, 물을 포함 하여 음식물을 섭취하지 않았다.

5. 통계분석

모든 분석은 IBM사의 SPSS Statistics 27, MS사의 Excel을 사용하였으며, 본 실험의 독립변수는 2가지(실험조건과 시간변화)로 하여 통계적 차이는 Friedman 검정을 통해 검증하였다. 동일한 피험자의 실험조건별 (대조군, 특급, 1급, 2급(with valve), 2급(without valve))로 시간 경과에 따른 주관적 불편수준의 차이를 평가하기 위하여 평가지표를 반복 평가하였으며, 피험자 5명의 평균과 표준편차를 제시하였다. 시간 경과 중 첫 번째로 평가하는 경우는 마스크의 착용 없이 15분 휴식 후 피험자를 안정적인 상태에서 평가하는 것으로, 본 연구에서는 안정기(표에서는 0시간 후)로 표현하였다.

평가 항목 간 유의한 차이는 Wilcoxon Signed-Rand Test 사후검정을 사용하여 확인하였으며 유의확률은 p<0.05로 하였다. 본 연구를 통해 첫 번째로 대조군(미착용)과 주관적 불편수준에서 유의한 차이가 있는 방진마스크의 등급을 확인하고자 하였고, 두 번째로 대조군(미착용)과 비교하여 시간 경과에 따른 주관적 불편수준의 변화 양상에 차이가 있는 마스크 등급을 확인하고자 하였다.

III. 연구 결과

1. 주관적 호흡감

주관적 호흡감(1.00±1.15점)은 안정기 0.02점부터

시간의 경과에 따라 증가하였으며 4시간경과 1.72점이 었다(p<0.01). 실험조건에 의한 평균 주관적 호흡감은 특급 1.98점, 2급(with valve) 1.08점, 2급(without valve) 0.96점, 1급 0.94점, 미착용 0.02점 순으로 (p<0.01), 미착용과 특급에서 유의한 차이가 있었다 (p<0.01). Table 2과 Figure 1은 실험조건별 시간 경과에 따른 주관적 호흡감의 변화를 나타낸다. 1시간 경과에서 미착용이 0.00점이고 특급이 1.40점으로 2.4점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.01). 또한 특급 1.40점과 1급, 2급(with valve), 2급(without valve)이 모두 0.60점으로 0.80점의 유의한 차이가 있었다(p<0.01). 2시간 경과에서 미착용 0.00점에서 특급 2.20점으로 2.20점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.01). 또한 특급 2.20점에서 1급 0.70점으로 1.50점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.01). 3시간 경과에서 미착용 0.10점에서 특급 3.00점으로 2.90점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.01). 또한 특급 3.00점에서 1급 1.50점으로 1.50점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.05). 4시간 경과에서 미착용 0.00점에서 특급 3.20점으로 3.20점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.001). 또한 특급 3.20점에서 2급(without valve) 1.60점으로 1.60점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.05). 특급의 경우 안정기 0.10점에서 4시간 경과 3.20점으로 증가하여 3.10점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.01). 1시간 경과 1.40점에서 4시간 경과 3.20점으로 증가하여 1.80점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.01). 1급과 2급(with valve)의 경우 안정기 0.00점에서 4시간 경과 1.90점으로 증가하여 1.90점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.01). 1시간 경과 0.60점에서 4시간 경과 1.90점으로 증가하여 1.30점

Table 2. Subjective breathing level according to five experimental conditions over 4 hours

| Time (hour) | Control | Special grade (with valve) | 1st grade (with valve) | 2nd grade (with valve) | 2nd grade (without valve) | All | p-value [†] |
|----------------------|------------|----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-----------|----------------------|
| 0** | 0.00±0.00* | 0.10±0.22 | 0.00±0.00 | 0.00±0.00 | 0.00±0.00 | 0.02±0.10 | 0.431 |
| 1 | 0.00±0.00 | 1.40±0.55 | 0.60±0.22 | 0.60±0.42 | 0.60±0.42 | 0.64±0.57 | 0.000 |
| 2 | 0.00±0.00 | 2.20±1.10 | 0.70±0.27 | 1.20±0.76 | 0.90±0.74 | 1.00±0.97 | 0.001 |
| 3 | 0.10±0.22 | 3.00±1.41 | 1.50±0.71 | 1.70±0.97 | 1.70±0.97 | 1.60±1.27 | 0.003 |
| 4 | 0.00±0.00 | 3.20±1.64 | 1.90±0.89 | 1.90±1.14 | 1.60±0.55 | 1.72±1.39 | 0.002 |
| All | 0.02±0.10 | 1.98±1.54 | 0.94±0.85 | 1.08±1.01 | 0.96±0.87 | 1.00±1.15 | |
| p-value [†] | 0.985 | <0.001 | <0.001 | 0.008 | 0.007 | | |

* Values are presented as mean±standard deviation

** Time to evaluate for the first time after a 15-minute break without wearing a dust respirator

† The significance probability was p<0.05

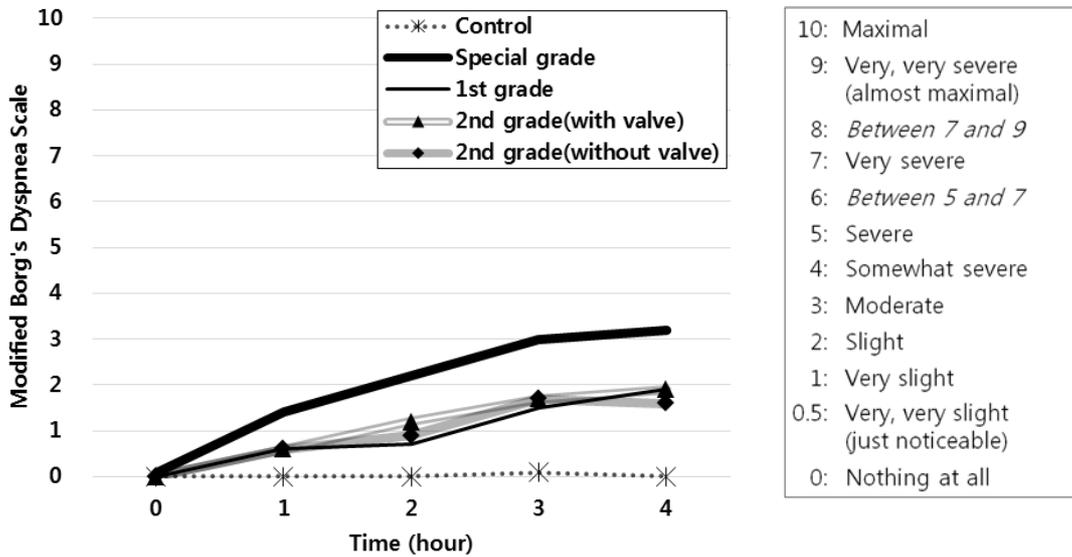


Figure 1. Temporal changes in subjective breathing level over 4 hours

의 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 2급(without valve)의 경우 안정기 0.00점에서 3시간 경과 1.70점으로 증가하여 1.70점의 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.01$). 1시간 경과 0.60점에서 3시간경과 1.70점으로 증가하여 1.10점의 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 미착용과 안정기 시간을 제외한 방진마스크 등급 간의 분석에서도 주관적 호흡감(1.54±0.12점)은 시간경과에 따라 통계적으로 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.01$). 하지만 방진마스크 등급에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았고($p = 0.06$), 시간과 방진마스크 등급에 의한 유의한 교호작용도 나타나지 않았다($p = 0.65$). 시간에 의한 평균 주관적 호흡감은 1시간 경과 0.80점부터 시간의 경과에 따라 증가하였으며, 2시간경과 1.25점, 3시간경과 1.98점, 4시간 경과 2.15점이었다. 1시간 경과 0.80점에서 4시간 경과 2.15점으로 1.35점이 증가하여 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 마스크 등급은 특급 2.45점, 2급(with valve) 1.35점, 2급(without valve) 1.20점, 1급 1.18점이었다. 특급 2.45점과 1급 1.18점은 1.28점의 차이가 있었으나 유의하지 않았다($p = 0.08$).

2. 열감

1) 안면부 열감

Table 3과 Figure 2에서 제시된 바와 같이 안면부 열감(0.96±1.08점)은 안정기 -0.16점에서 3시간 경과 1.88점으로 증가하여 2.04점의 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.01$). 실험조건에 따라서는 특급 1.36점, 2급

(without valve) 1.24점, 2급(with valve) 1.04점, 1급 0.96점, 미착용 0.20점 순으로 나타났으며($p < 0.01$), 미착용과 유의한 차이가 나타난 방진마스크 등급은 특급($p < 0.01$)과 2급(without valve)($p < 0.01$)이었다. 미착용의 경우 1시간 경과 -0.60점에서 3시간 경과 1.20점으로 증가하여 1.80점의 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.05$). 특급의 경우 안정기 0.00점에서 3시간 경과 2.40점으로 증가하여 2.40점의 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.01$). 1급의 경우 안정기 -0.40점에서 3시간 경과 1.80점으로 증가하여 2.20점의 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.05$). 2급(with valve)의 경우 안정기 -0.40점에서 3시간 경과 2.00점으로 증가하여 2.40점의 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.01$) 2급(without valve)의 경우 안정기 0.20점과 3시간 경과 2.00점으로 증가하여 1.80점의 차이가 있었으나 유의하지 않았다($p = 0.07$). 미착용과 안정기 시간을 제외한 방진마스크 등급 간의 분석에서도 안면부의 열감(1.7±0.66점)은 시간 경과에 따라 통계적으로 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.01$). 하지만 방진마스크 등급에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았고($p = 0.70$), 시간과 방진마스크 등급에 의한 교호작용도 나타나지 않았다($p = 0.86$). 재배열한 결과 평균 안면부 열감은 1시간 경과 0.85점부터 시간의 경과에 따라 증가하여 3시간 경과 2.05점으로 1.20점의 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 3시간 경과 2.05점, 4시간 경과 1.70점, 2시간 경과 1.30점, 1시간 경과 0.85점 순으로 높았다. 방진마스크 등급에서

Table 3. Thermal sensation of face according to five experimental conditions over 4 hours

| Time (hour) | Control | Special grade (with valve) | 1st grade (with valve) | 2nd grade (with valve) | 2nd grade (without valve) | All | p-value [†] |
|----------------------|-------------|----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------|----------------------|
| 0** | -0.20±0.45* | 0.00±0.71 | -0.40±0.89 | -0.40±0.55 | 0.20±1.10 | -0.16±0.75 | 0.690 |
| 1 | -0.60±0.89 | 1.00±0.71 | 0.60±0.55 | 0.80±0.45 | 1.00±0.71 | 0.56±0.87 | 0.007 |
| 2 | 0.20±0.84 | 1.60±0.55 | 1.20±0.45 | 1.00±0.71 | 1.40±0.55 | 1.08±0.76 | 0.002 |
| 3 | 1.20±1.30 | 2.40±0.89 | 1.80±0.45 | 2.00±1.00 | 2.00±0.71 | 1.88±0.93 | 0.365 |
| 4 | 0.40±0.55 | 1.80±0.84 | 1.60±0.55 | 1.80±0.84 | 1.60±0.55 | 1.44±0.82 | 0.019 |
| All | 0.20±1.00 | 1.36±1.08 | 0.96±0.98 | 1.04±1.10 | 1.24±0.93 | 0.96±1.08 | |
| p-value [†] | 0.075 | 0.025 | 0.020 | 0.007 | 0.126 | | |

* Values are presented as mean±standard deviation

** Time to evaluate for the first time after a 15-minute break without wearing a dust respirator

† The significance probability was p<0.05

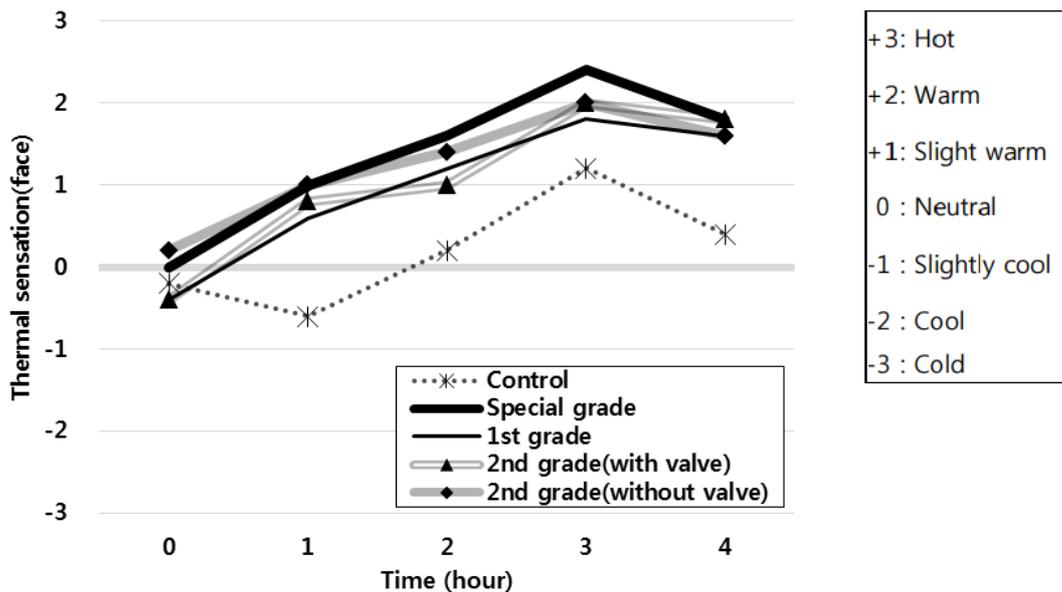


Figure 2. Temporal changes in thermal sensation of face over 4 hours

는 특급 1.7점, 2급(without valve) 1.5점, 2급(with valve) 1.4점, 1급 1.3점 순으로 높았다. 특급과 1급은 0.4점의 차이가 있었으나 유의하지 않았다(p=1.00).

2) 전신 열감

전신의 열감(0.33±1.05점)은 1시간 경과 -0.28점에서 3시간 경과 1.24점으로 증가하여 1.52점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.01). 실험 조건에 의한 전신의 평균 열감은 특급과 2급(without valve)에서 0.52점으로 가장 높았고, 다음으로 미착용과 1급, 2급(with valve)이 모두 0.20점으로 동일하였으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. Table 4과 Figure 3은

실험조건별 시간 경과에 따른 전신의 열감 변화를 나타낸다. Figure 3을 보면 1시간 경과에서 특급이 0.40점, 2급(without valve)이 0.20점으로 점수대가 비슷하게 높았고, 2급(with valve)은 -0.60점, 미착용 -0.60점, 1급 -0.80점으로 비슷하게 낮았다. 하지만 3시간 경과 시까지 모든 실험 조건의 주관적 열감이 높아지면서 비슷한 점수대(1.20점에서 1.40점까지)에 모여 있는 것을 확인할 수 있었다. 1급의 경우 1시간 경과 -0.80점에서 4시간 경과 1.00점으로 증가하여 1.80점의 유의한 차이가 존재하였다(p<0.05). 미착용과 안정기 시간을 제외한 방진마스크 등급 간의 분석에서도 전신의 열감 (0.48±1.08점)은 시간 경과에 따른 통계적으로 유의한

Table 4. Thermal sensation of body according to five experimental conditions over 4 hours

| Time (hour) | Control | Special grade (with valve) | 1st grade (with valve) | 2nd grade (with valve) | 2nd grade (without valve) | All | p-value [†] |
|----------------------|-------------|----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------|----------------------|
| 0** | -0.20±0.45* | 0.00±0.71 | -0.40±0.89 | -0.40±0.55 | 0.20±1.10 | -0.16±0.75 | 0.690 |
| 1 | -0.60±0.89 | 0.40±0.55 | -0.80±0.84 | -0.60±0.89 | 0.20±0.84 | -0.28±0.89 | 0.104 |
| 2 | 0.20±0.84 | 0.40±0.89 | 0.20±0.84 | 0.00±1.22 | -0.20±0.84 | 0.12±0.88 | 0.877 |
| 3 | 1.20±1.30 | 1.40±0.89 | 1.00±0.71 | 1.20±1.30 | 1.40±1.14 | 1.24±1.01 | 0.975 |
| 4 | 0.40±0.55 | 0.40±0.55 | 1.00±1.00 | 0.80±1.30 | 1.00±1.00 | 0.72±0.89 | 0.712 |
| All | 0.20±1.00 | 0.52±0.82 | 0.20±1.08 | 0.20±1.22 | 0.52±1.08 | 0.33±1.05 | |
| p-value [†] | 0.131 | 0.135 | 0.060 | 0.208 | 0.234 | | |

* Values are presented as mean±standard deviation

** Time to evaluate for the first time after a 15-minute break without wearing a dust respirator

† The significance probability was p<0.05

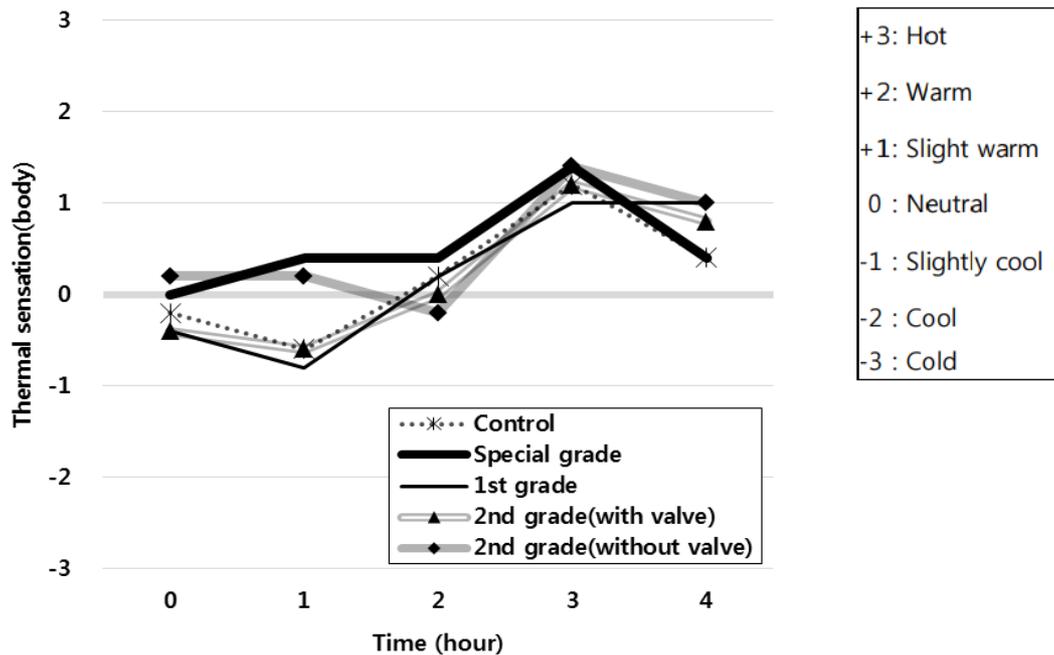


Figure 3. Temporal changes in thermal sensation of body over 4 hours

차이가 존재하였다(p<0.01). 하지만 방진마스크 등급에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았고(p=0.80), 시간과 방진마스크 등급에 의한 유의한 교호작용도 나타나지 않았다(p=0.43). 재배열한 결과 평균 전신의 열감은 1시간 경과 -0.2점부터 시간의 경과에 따라 증가하여 3시간 경과 1.25점으로 1.45점의 유의한 차이가 있었으며(p<0.01), 3시간 경과 1.25점, 4시간 경과 0.80점, 2시간경과 0.10점, 1시간 경과 -0.20점 순으로 높았다. 방진마스크의 등급에서는 특급 0.65점, 2급(without valve) 0.60점, 1급과 2급(with valve) 0.35점 순으로 나타나, 특급은 1급과 2급(with valve)간에 0.30점의

차이가 있었으나 유의하지 않았다(p=1.00)

3. 습윤감

1) 안면부 습윤감

안면부 습윤감(0.57±1.03점)은 안정기 -0.40점에서 3시간 경과 1.16점으로 1.56점이 증가하여 유의한 차이가 있었다(p<0.01). 3시간 경과에서 1.16점으로 가장 높았고, 4시간 경과 1.00점, 2시간경과 0.68점, 1시간 경과 0.40점, 안정기 -0.40점 순이었다. 실험조건에서는 2급(with valve)에서 0.92점으로 가장 높았고, 특급과 2급(without valve)에서 0.76점, 1급에서 0.72

점, 미착용 -0.32점 순이었다($p < 0.01$). 미착용과 유의한 차이가 있는 경우는 특급($p < 0.05$), 2급(with valve) ($p < 0.05$), 2급(without valve) ($p < 0.05$)으로 나타났다. Table 5와 Figure 4는 실험조건별 시간 경과에 따른 안면부 습윤감의 변화를 나타낸다. 4시간 경과에서 미착용 -0.40점과 2급(with valve) 1.60점으로 2.0점의 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.01$). 미착용의 경우 시간에 따른 유의한 차이가 없었다($p = 0.75$). 특급의 경우 안정기 -0.60점에서 3시간 경과 1.60점으로 증가하여 2.20점의 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 1급의 경우 안정기 -0.40점에서 3시간 경과 1.40점으로 증가하여 1.80점의 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 2급(with valve)의 경우 안정기 0.20점에서 4시간 경과 1.60점으로

로 증가하여 1.40점의 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 2급(without valve)의 경우 안정기 -0.80점에서 3시간 경과 1.60점으로 증가하여 2.40점의 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 미착용과 안정기 시간을 제외한 방진마스크 등급 간의 분석에서도 안면부의 습윤감(1.09 ± 0.75 점)은 시간 경과에 따라 통계적으로 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.01$), 하지만 방진마스크 등급에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았고($p = 0.99$), 시간과 방진마스크 등급에 의한 교호작용도 나타나지 않았다($p = 0.29$). 평균 안면부의 습윤감은 3시간 경과 1.45점, 4시간 경과 1.35점, 2시간 경과 0.95점, 1시간 경과 0.60점 순으로 높았다($p < 0.05$). 방진마스크 등급에서 2급(without valve) 1.15점, 특급과 2급(with valve)

Table 5. Humidity sensation of face to five experimental conditions over 4 hours

| Time (hour) | Control | Special grade (with valve) | 1st grade (with valve) | 2nd grade (with valve) | 2nd grade (without valve) | All | p-value [†] |
|----------------------|-------------|----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------|----------------------|
| 0** | -0.40±0.55* | -0.60±0.55 | -0.40±0.89 | 0.20±0.45 | -0.80±0.84 | -0.40±0.71 | 0.234 |
| 1 | -0.40±0.55 | 0.40±0.55 | 0.60±0.55 | 0.80±0.84 | 0.60±0.55 | 0.40±0.71 | 0.048 |
| 2 | -0.40±0.55 | 1.00±0.71 | 0.80±0.84 | 0.80±0.84 | 1.20±0.84 | 0.68±0.90 | 0.029 |
| 3 | 0.00±1.41 | 1.60±0.55 | 1.40±0.55 | 1.20±0.84 | 1.60±0.55 | 1.16±0.99 | 0.038 |
| 4 | -0.40±0.89 | 1.40±0.55 | 1.20±0.84 | 1.60±1.14 | 1.20±0.45 | 1.00±1.04 | 0.007 |
| All | -0.32±0.80 | 0.76±0.97 | 0.72±0.94 | 0.92±0.91 | 0.76±1.05 | 0.57±1.03 | |
| p-value [†] | 0.745 | 0.005 | 0.039 | 0.024 | 0.005 | | |

* Values are presented as mean±standard deviation

** Time to evaluate for the first time after a 15-minute break without wearing a dust respirator

† The significance probability was $p < 0.05$

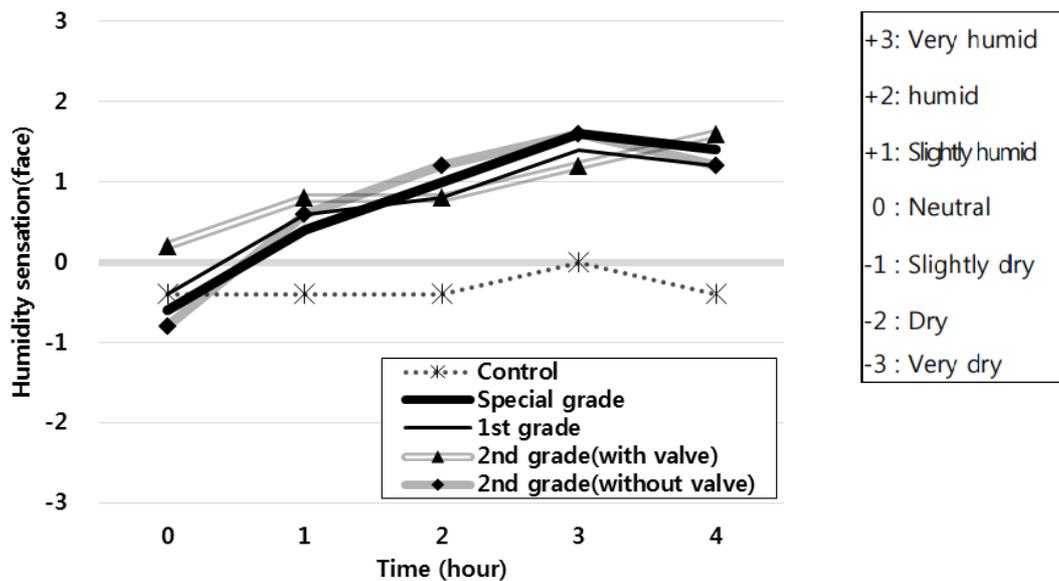


Figure 4. Temporal changes in humidity sensation of face over 4 hours

Table 6. Humidity sensation of body according to five experimental conditions over 4 hours

| Time (hour) | Control | Special grade (with valve) | 1st grade (with valve) | 2nd grade (with valve) | 2nd grade (without valve) | All | p-value [†] |
|----------------------|-------------|----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------|----------------------|
| 0** | -0.40±0.55* | -0.60±0.55 | -0.40±0.89 | 0.20±0.45 | -0.80±0.84 | -0.40±0.71 | 0.234 |
| 1 | -0.40±0.55 | -0.60±0.55 | -0.60±0.89 | -0.60±0.89 | -0.40±1.14 | -0.52±0.77 | 0.986 |
| 2 | -0.40±0.55 | -0.40±0.55 | -0.60±0.89 | -0.20±0.84 | -0.40±1.14 | -0.40±0.76 | 0.962 |
| 3 | 0.00±1.41 | -0.20±0.84 | -0.40±1.14 | 0.00±0.71 | -0.40±1.14 | -0.20±1.00 | 0.950 |
| 4 | -0.40±0.89 | -0.40±0.55 | -0.40±1.14 | 0.40±1.52 | -0.60±0.89 | -0.28±1.02 | 0.607 |
| All | -0.32±0.80 | -0.44±0.58 | -0.48±0.92 | -0.04±0.93 | -0.52±0.96 | -0.36±0.86 | |
| p-value [†] | 0.757 | 0.660 | 0.908 | 0.045 | 0.646 | | |

* Values are presented as mean±standard deviation

** Time to evaluate for the first time after a 15-minute break without wearing a dust respirator

† The significance probability was p<0.05

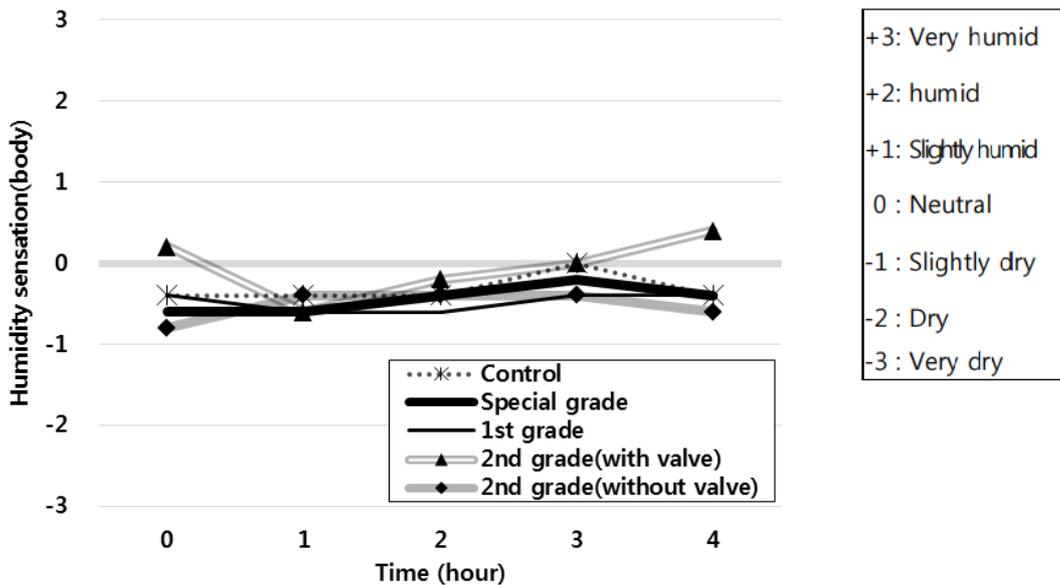


Figure 5. Temporal changes in humidity sensation of body over 4 hours

1.10점, 1급 1.0점 순으로 높았으나 유의하지 않았다 (p>0.05).

2) 전신 습윤감

Table 6과 Figure 5는 실험조건별 시간 경과에 따른 전신의 습윤감 변화를 나타낸다. 전신의 습윤감 (-0.36±0.86점)은 1시간 경과 -0.52점에서 3시간 경과 -0.20점으로 0.32점이 증가하였지만 유의하지 않았다(p=0.74). 실험조건에 의한 평균 전신 습윤감은 2급 (with valve) -0.04점으로 가장 높았고, 미착용 -0.32점, 특급 -0.44점, 1급 -0.48점, 2급(without valve) -0.52점 순이었으나 유의하지 않았다(p=0.88). 미착용

과 안정기 시간을 제외한 방진마스크 등급 간의 분석에서는 시간에 의한 평균 전반적 습윤감(-0.36±0.90점)은 3시간 경과와 4시간 경과 -0.25점, 2시간 경과 -0.40점, 1시간 경과 -0.55점 순으로 높았다(p=0.45). 방진마스크 등급에서는 2급(with valve) -0.1점, 특급 0.4점, 2급(without valve) -0.45점, 1급 -0.50점 순으로 높았다(p=0.70).

IV. 고 찰

주관적 호흡감(1.00±1.15점)은 안정기부터 시간의 경과에 따라 통계적으로 유의하게 증가하였다(p<0.01).

실험조건에서는 특급 1.98점, 2급(with valve) 1.08점, 2급(without valve) 0.96점, 1급 0.94점, 미착용 0.02점 순으로($p < 0.01$), 미착용과 특급에서 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 안정기와 미착용 경우를 제외하고 착용의 경우로만 재배열한 결과에서는 평균 주관적 호흡감(1.54 ± 0.12 점)은 1시간 경과 0.80점('신경을 써야 할 수 있을 정도'에서 '아주 경미한 호흡곤란', 2시간 경과 1.25점('아주 경미한 호흡곤란'에서 '약간의 호흡곤란'), 3시간 경과 1.98점('아주 경미한 호흡곤란'에서 '약간의 호흡곤란'), 4시간 경과 2.15점('약간의 호흡곤란'에서 '중간 정도의 호흡곤란')순으로 나타나 시간의 경과에 따라 통계적으로 유의하게 증가하였다($p < 0.01$). 등급에서는 특급 2.45점, 2급(with valve) 1.35점, 2급(without valve) 1.20점, 1급 1.18점 순이었으나 유의하지 않았다. 하지만 특급의 경우 1시간경과 1.40점에서 4시간경과 3.20점('중간 정도의 호흡곤란'에서 '약간 심한 호흡곤란')으로 증가하여 1.80점의 유의한 차이가 나타났다($p < 0.01$). 따라서 방진마스크의 착용시간에 길어짐에 따라 주관적 호흡감의 불편 수준이 증가하는 것으로 판단되며, 특히 특급의 경우 가장 높은 영향을 미친 것으로 판단된다.

주관적인 열감수준은 전신(body) 및 안면부(face)의 열감 모두 방진마스크의 착용유무와 관계없이 3시간 경과에서 가장 높게 나타났으며($p < 0.01$), 전신의 열감은 실험조건간에 유의한 차이는 아니었지만, 특급, 2급(without valve) > 1급, 2급(with valve), 미착용 순으로 나타났다. 안면부의 열감 또한 특급 > 2급(without valve) > 2급(with valve) > 1급 > 미착용 순으로 나타나, 특급과 2급(without valve)의 경우 미착용과 유의한 차이가 있었다(각각 $p < 0.01$). 이러한 결과를 통해 특급에서 방진마스크 내부의 볼 온도가 가장 높고, 다음으로 2급(without valve) 순으로 높을 것으로 예상할 수 있다. 안정기와 미착용 경우를 제외하고 방진마스크를 착용한 경우만을 재배열한 결과에서는 안면부 열감(1.7 ± 0.66 점)이 전신의 열감(0.48 ± 1.08 점)보다 1점 이상 높았다. 특히 안면부의 열감에서 3시간 경과 특급의 경우에서 가장 높은 점수(2~3점 사이, '따뜻하다'에서 '덥다')가 나타났다.

머리, 얼굴, 목의 평균 발한율은 0.203 g/min 이며(Caretti & Gardner, 1999), 맨얼굴 피부의 단위 면적당 열 유속은 104 W/m^2 로 나머지 신체 부위의 열 유속 50 W/m^2 의 약 두 배이다(DuBois et al., 1990).

또한 얼굴 부위는 온도 수용체의 밀도가 높아 말초 신경에서 얻은 신호를 중추신경계로 전달하는 구심성 자극(afferent impulse)의 가능성 때문에 다른 피부 영역보다 뇌의 열 지각에 더 큰 영향을 미칠 수 있으며(R. Nielsen et al., 1987), 전신의 열감각에 큰 영향을 미칠 수 있다(Ruth Nielsen et al., 1987). 또한 온도가 상승된 FFR 사적의 공기를 흡입하면 뇌가 온도가 상승할 수 있다(Gwosdow et al., 1989). 따라서 특급과 2급(without valve)을 장시간 착용할 경우 얼굴부위의 발한으로 인해 내부볼과 사적의 온도가 유의하게 상승하여 다른 실험 조건보다 뇌의 열 지각에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 하지만 안면부에서 느끼는 열감이 전신의 열감 상승에 미치는 영향은 본 연구의 환경조건에서는 낮은 것으로 판단된다.

주관적인 습윤감 수준은 전신의 습윤감(-0.36 ± 0.86 점)에서는 방진마스크의 착용여부 및 등급과 관련이 없이 -1.0 점에서 0.0 점대의 수준('약간 건조한'에서 '보통이다')으로 나타났다. 하지만 안면부의 습윤감(0.57 ± 1.03 점)에서는 방진마스크 착용의 경우 1시간 경과 0.60점에서 3시간 경과 1.45점('약간 습한'에서 '습한')으로 증가하였으며, 2급(with valve), 특급과 2급(without valve)이 미착용과 간에 유의한 차이가 있었다. 따라서 방진마스크 착용으로 인해 발생한 안면부의 습윤감이 전신의 습윤감 상승에 미치는 영향은 낮은 것으로 판단된다.

반면, FFR의 사적의 '유효온도'(공기 온도와 습도를 포함하는 환경 불편함의 단일 정량적 지표)는 상당히 높을 수 있고, 호기의 상대적으로 높은 열과 습도는 FFR과 환경 간의 온도 차로 인해 FFR의 외부온도에 수분이 응결되는 것을 유발할 수 있다(Li et al., 2006). FFR 내에서 증가된 수증기와 땀의 보유는 얼굴의 밀착도에 영향을 줄 수 있고(Caretti & Gardner, 1999), 잠재적으로 호흡저항을 증가시킬 수 있다(Caretti & Gardner, 1999; Raymond J. Roberge et al., 2010). 따라서 방진마스크를 착용 시 피험자의 호기로 인해 방진마스크 내부공간에 수분이 발생하여 안면부의 습윤감이 상승하고, 4시간 중 3시간 경과에 습윤감에 의한 불편수준이 가장 높은 것으로 판단된다.

KCs 안전인증을 받은 국내의 산업용 방진마스크에 대한 등급과 장시간 착용 시간에 따른 작업자의 주관적인 불편수준은 호흡감, 안면부의 온열감과 습윤감에서 특급의 경우 미착용과 유의한 차이를 나타내었고, 2급

(without valve)은 이 중에서 호흡감을 제외하고, 안면부의 온열감과 습윤감에서 유의한 차이를 나타냈다. 하지만 이러한 안면부 온열감 및 습윤감의 상승이 전신의 온열감 및 습윤감 상승에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 한편, 안면부의 불편감이 전신의 불편감에 미치는 영향은 매우 낮으나, 안면부의 불편수준이 높을 경우 호흡보호구의 미착용을 초래할 수 있고, 작업의 집중력 저하를 유발할 수 있기 때문에 근로자가 근무 중 느낄 수 있는 불편의 정도를 알릴 수 있으며, 적절한 휴식을 제공할 수 있는 작업 환경 조성이 필요할 것으로 판단된다.

한편, 미착용의 경우와 비교하여 유의한 차이를 나타내는 방진마스크가 특급, 1급, 2급 순의 분진포집효율이 높은 순이 아닌, 특급과 2급(without valve)에서 주로 나타난 이유에 대하여는 배기밸브의 부착 여부에 의한 것으로 예측된다. 2급(without valve)의 경우 낮은 분진포집효율(80%)임에도 불구하고 특급(분진포집효율 99%)과 함께 주관적인 불편수준에 유의한 영향을 미치는 것을 보았을 때 1급과 2급(with valve)에 부착된 배기밸브가 배기저항을 낮추고 습기배출을 개선해 주는 것으로 예측된다. 그 결과 1급과 2급(with valve)의 경우 방진마스크 착용으로 인해 불편수준에 미치는 영향이 2급(without valve)보다 낮게 나타난 것으로 판단된다.

본 연구의 제한점으로는 실험에 참여한 피험자의 수가 5명으로, 측정 항목들의 유의성을 평가하기에는 다소 적은 수이며, 본 실험에 사용된 방진마스크는 한 제조사의 것으로 국내 상용화되고 있는 모든 산업용 방진마스크를 대표할 수는 없다. 또한 본 연구는 사무실 작업과 같은 낮은 작업강도와 쾌적한 온습도의 작업환경(WBGT 21°C 미만)에서 이루어진 것으로, 실제 산업현장의 작업 환경 조건과 상이하여 연구 결과 해석 시 유의해야 할 필요가 있다. 하지만 N95 FFR을 착용하고 서서 작업하는 경우 호흡속도, 근육활동, 피로도가 상승한 기존 연구 결과에 근거한다면, 실제 산업현장에서는 생리학적 반응의 변화로 인해 주관적인 불편수준 또한 더 유의하게 나타날 것으로 예측되며 보다 명확한 주관적 불편수준을 평가하기 위해서는 생리학적 신체 반응을 동시에 비교하는 추가적인 연구가 필요하다.

마지막으로 본 연구는 KCs안전인증을 받은 국내의 산업용 방진마스크를 대상으로 등급과 착용시간에 따른 작업자의 주관적 불편 수준을 평가한 국내외 첫 사례

로, 본 연구를 통해 도출된 결과는 산업용 방진마스크에 대한 장시간 착용 시 편안함과 허용성과 관련한 향후 추가 연구에서 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

V. 결 론

본 연구를 통해 대조군(미착용)과 비교하여 주관적 불편수준에서 유의한 차이가 있는 산업용 방진마스크의 등급을 확인할 수 있었고, 특급과 2급(without valve)의 경우가 주관적 호흡감, 안면부의 온열감 및 습윤감에서 미착용과 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 본 실험 결과에 근거하면 방진마스크 착용으로 인한 안면부의 호흡감과 습윤감 상승이 전신의 온열감 및 습윤감 상승에 미치는 영향은 낮은 것으로 판단되는데, 실제 전신의 온도 상승은 없었던 것으로 추정된다. 따라서 온도와 습도가 높은 여름철에 분진 발생으로 2급을 착용해야 할 경우는 배기밸브가 있는 것이 우선 고려되어야 하고, 특급과 배기밸브가 없는 2급을 착용해야 할 경우에는 규칙적인 휴식시간을 마련하여 장시간 연속 착용을 피하며, 휴식의 적정 간격은 방진마스크를 직접 착용하는 근로자의 의견을 수렴하여 마련할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문(특허)은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ017075)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Banerjee D, Kamuren J, Baird GL, Palmisciano A, Krishnan I et al. The Modified Borg Dyspnea Scale does not predict hospitalization in pulmonary arterial hypertension. *Pulmonary circulation* 2017;7(2): 384-390. doi: 10.1177/2045893217695568
- Borg E, Borg G, Larsson K, Letzter M, Sundblad B-M. An index for breathlessness and leg fatigue. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20(4):644-650. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.00985.x
- Caretti DM, Gardner PD. Respirator fit factor performance while sweating. *Am Ind Hyg Assoc J* 1999;60(1):84-88. doi: 10.1080/00028899908984425
- Chen Y, Yang Z, Wang J, Gong H. Physiological and subjective responses to breathing resistance of N95 filtering facepiece respirators in still-sitting and

- walking. *Int J Ind Ergon* 2016;53:93-101. doi:10.1016/j.ergon.2015.11.002
- DuBois A, Harb Z, Fox S. Thermal discomfort of respiratory protective devices. *Am Ind Hyg Assoc J* 1990;51(10):550-554. doi: 10.1080/15298669091370086
- Eoh WS, Choi Y, Shin C. Comparison of effects of mask style and donning training on fit factors of particulate filtering facepiece respirators. *J Korean Soc Saf* 2016;31(5):35-41. doi: 10.14346/JKOSOS.2016.31.5.35
- Gosch ME, Shaffer RE, Eagan AE, Roberge RJ, Davey VJ et al. B95: A new respirator for health care personnel. *Am J Infect Control* 2013;41(12):1224-1230. doi: 10.1016/j.ajic.2013.03.293
- Gwosdow A, Nielsen R, Berglund L, DuBois A, Tremml P. Effect of thermal conditions on the acceptability of respiratory protective devices on humans at rest. *Am Ind Hyg Assoc J* 1989;50(4):188-195. doi: 10.1080/15298668991374499
- Han DH. Correlation of fit factors for respirators and anthropometric dimension. *J Pre Med and Public Health* 1998;31(3):440-448
- Han DH. The effects of mask covers on the fit factors of respirators. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2013;23(3):177-183. doi: 10.15269/JKSOEH.2013.23.3.177
- Han DH, Choi KL. Development of half-masks well-fitting for Korean faces (1) - Facial dimensions and predictors of fit for half-mask. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2002;12:46-54
- Han DH, Kim HW, Jang YJ, Myong JP, Yang HS et al. A study on the actual results and draftings regulations of fit testing(I) (Research Paper No. 2017-969). OSHRI 2017. Available from: <http://oshri.kosha.or.kr>
- Han DH, Kim IS. Dust collection efficiency, inhalation pressure, and CO2 concentration in health masks. *J Environ Health Sci* 2020;46(1):78-87. doi: 10.5668/JEHS.2020.46.1.78
- Han DH, Woo SS, Jung HM. Evaluation of particulate respirators by total inward leakage (TIL) and validity of the certification regulation for TIL. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2004;14(3):213-220
- Jung HJ, Kim JB, Lee SJ, Lee JH, Kim JY et al. Comparison of filtration efficiency and pressure drop in anti-yellow sandmasks, quarantine masks, medical masks, general masks, and handkerchiefs. *Aerosol and Air Qual Res* 2014;14:991-1002. doi: 10.4209/aaqr.2013.06.0201
- Jung JY, Kang CH, Seong YC, Jang SH, Lee JY. Effects of wearing COVID-19 protective face masks on respiratory, cardiovascular responses and wear comfort during rest and exercise. *Fashion & Text Res J* 2020;22(6):862-872. doi: 10.5805/SFTI.2020.22.6.862
- KDCA(Korea Disease Control and Prevention Agency). Order to comply with quarantine guidelines for wearing masks and work guidelines for imposing fines[4-1st edition]. KDCA 2020
- Kim JH, Wu T, Powell JB, Roberge RJ. Physiologic and fit factor profiles of N95 and P100 filtering facepiece respirators for use in hot, humid environments. *Am J Infect Control* 2016;44(2):194-198. doi: 10.1016/j.ajic.2015.08.027
- Kim SJ, Kim HJ. The effect of increased face mask-wearing on dry eye symptoms during the COVID-19 pandemic. *J Korean Ophthalmic Opt Soc* 2022;27(1):79-87. doi: 10.14479/jkoos.2022.27.1.79
- Lee JS, Cho SH, Yun JM, Kim MS, Park JK et al. Effect of work intensity on fit factor and affective quality of dustproof mask. *J Korean Soc Qual Manag* 2018;46(2):301-310. doi: 10.7469/JKSQM.2018.46.2.301
- Li Y, Wong T, Chung, Guo YP, Hu JY et al. In vivo protective performance of N95 respirator and surgical facemask. *Am J Ind Med* 2006;49(12):1056-1065. doi: 10.1002/ajim.20395
- Nielsen R, Berglund LG, Gwosdow AR, A B. Thermal sensation of the body as influenced by the thermal microclimate in a face mask. *Ergonomics* 1987;30(12):1689-1703. doi: 10.1080/00140138708966058
- Nielsen R, Gwosdow AR, Berglund LG, DuBois AB. The effect of temperature and humidity levels in a protective mask on user acceptability during exercise. *Am Ind Hyg Assoc J* 1987;48(7):639-645. doi: 10.1080/15298668791385336
- Radonovich Jr L, Baig A, Shaffer R, Roberge R, Levinson A. Better respiratory equipment using advanced technologies for healthcare employees(Project B.R.E.A.T.H.E.): A report of an interagency working group of the U.S. federal government. 2009. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/npptl/hospresptoolkit/pdfs/ProjectBREATHE-final-report-508.pdf>
- Radonovich LJ, Cheng J, Shenal BV, Hodgson M, Bender BS. Respirator tolerance in health care workers. *JAMA* 2009;301(1):36-38. doi: 10.1001/jama.2008.894
- Roberge R, Benson S, Kim JH. Thermal burden of N95

filtering facepiece respirators. *Ann Occup Hyg* 2012;56(7):808–814. doi: 10.1093/annhyg/mes001

Roberge RJ. Are exhalation valves on N95 filtering facepiece respirators beneficial at low–moderate work rates: an overview. *J Occup Environ Hyg* 2012; 9(11):617–623. doi: 10.1080/15459624.2012.715066

Roberge RJ, Bayer E, Powell JB, Coca A, Roberge MR et al. Effect of exhaled moisture on breathing resistance of N95 filtering facepiece respirators. *Ann Occup Hyg* 2010;54(6):671–677. doi: 10.1093/annhyg/meq042

Roberge RJ, Coca A, Williams WJ, Powell JB, Palmiero AJ. Physiological impact of the N95 filtering facepiece respirator on healthcare workers. *Respir Care* 2010;55(5):569–577. Available from: <https://rc.rcjournal.com/content/respcare/55/5/569.full.pdf>

Roberge RJ, Kim JH, Benson S. N95 filtering facepiece respirator deadspace temperature and humidity. *J Occup Environ Hyg* 2012;9(3):166–171. doi: 10.1080/15459624.2012.660428

Roberge RJ, Kim JH, Coca A. Protective facemask impact on human thermoregulation: An overview. *Ann Occup Hyg* 2011;54(1):102–112. doi: 10.1093/

annhyg/mer069

Schweiker M, André M, Al-Atrash F, Al-Khatri H, Alprianti RR et al. Evaluating assumptions of scales for subjective assessment of thermal environments – Do laypersons perceive them the way, we researchers believe? *Energy and Buildings* 2020; 211:109761. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109761

Shenal BV, Radonovich Jr LJ, Cheng J, Hodgson M, Bender BS. Discomfort and exertion associated with prolonged wear of respiratory protection in a health care setting. *J Occup Environ Hyg* 2012;9(1): 59–64. doi: 10.1080/15459624.2012.635133

Yoon CS, Go SB, Park JH. Comparisons of certification standards for mask and review on filtration efficiency for viruses. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2020;30(2):109–123. doi: 10.15269/JKSOEH.2020.30.2.109

<저자정보>

김영미(연구원), 최원(연구원), 이우제(연구원), 김두영(연구원), 김기연(교수)