

시판되고 있는 유사마스크 제품의 여과효율성능 비교평가

장지영 · 김승원[†]

계명대학교 공중보건학과

Evaluation of Filtration Performance Efficiency of Commercial Cloth Masks

Ji Young Jang and Seung Won Kim[†]

Department of Public Health, Keimyung University

ABSTRACT

Objectives: This study was designed to evaluate the filtration efficiencies and pressure drops of five commercial cloth masks (4 plate type, 1 cup type) in comparison to the performance of a class 1 disposable respirator (reference respirator). A further objective was to evaluate the effects of the number of layers and wash treatment independently on filtration efficiencies and pressure drops.

Methods: Polydisperse NaCl aerosols were generated in an aerosol chamber and their concentrations were measured by an optical particle counter (OPC) in the size range of 0.3~10 μm (five channels).

Results: The filtration efficiencies of the five cloth masks and the reference respirator were D: 9.5%, C: 18.5%, E: 23.6%, A: 28.5%, B: 29.7% and R: 91.1%, respectively, and the pressure drops through them were C, D: 0.8 Pa, E: 1.7 Pa, B: 6.4 Pa, A: 42.7 Pa and R: 19.3 Pa, respectively. The filtration efficiencies of the cloth masks and reference respirator were below the class 1 respirator criterion ($\geq 94.0\%$) of the Ministry of Employment and Labor (MOEL) and Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). The pressure drops satisfied the class 1 respirator criterion (≤ 70 Pa) of MOEL and MFDS. When the cloth masks were folded into two and four layers, the filtration efficiencies of cloth masks A, B, C, D (plate type) increased 1.7-4.6 times, and 2.3-6.8 times, respectively, compared to the efficiencies of the same products in a single layer. Pressure drops increased as the number of layers was increased. The filtration efficiency of cloth mask E with a liner was 1.3 times higher than that of the same mask without a liner, and the pressure drop was lower in the no-liner configuration. After a single washing, the filtration efficiencies of all the cloth mask products decreased 1.04-4.0 times compared to those of the same products intact. For the cloth masks C and E, their filtration efficiencies were significantly decreased after washing ($p < 0.05$). The pressure drops of all cloth masks were 1.2-2.0 times lower after washing.

Conclusions: The filtration efficiencies of the five cloth masks were below 30% and did not improve greatly by increasing the number of layers. After a single washing, their performances decreased. Considering the above and other issues identified with cloth masks, such as poor fit and stretched fibers through use, people should not expect protection against particulate matters from the cloth masks on the market.

Keywords: Cloth mask, Filtration efficiency, Pressure drop, Particulate matter

[†]Corresponding author: Department of Public Health, Keimyung University, 1095, Dalgubeol-Daero, Daegu, Korea, Tel: +82-53-580-5197, Fax: +82-53-580-5164, E-mail: swkim@kmu.ac.kr

Received: 13 May 2015, Revised: 15 June 2015, Accepted: 19 June 2015

I. 서 론

호흡용 보호구(respirator)는 입자상 물질을 포함한 여러 유해물질이 작업자의 인체 내에 침입하는 것을 막기 위해 가장 최후의 수단으로 사용된다. 호흡용 보호구의 기능별 분류로는 공기정화식과 공기공급식으로 나뉘며 공기정화식에는 방진마스크, 방독마스크 등이 포함되며, 공기공급식에는 송기마스크, 호스마스크 등이 포함된다. 각 마스크는 형태와 성능이 다르며 공기 중 유해물질을 차단하는 역할을 한다(Korea Occupational Safety and Health Agency 2012).

기존 시판되고 있는 마스크는 대표적으로 방한대, 의약외품 마스크(수술용 마스크, 보건용 마스크), 산업용 방진마스크 등이 있다. 이와 별개로 최근 시장에서 다양한 제품 명칭, 종류와 다기능(multi-function)의 역할을 가진 멀티 마스크, 멀티 스카프, 넥 워머, 복면, 레저 마스크 등이 상용화되어 판매되고 있다. 이러한 제품들을 본 연구에서는 '유사마스크'라 통칭한다. 유사마스크는 고시 및 규정에 따른 기준이 없어서 어떠한 규격이 없으며, 검증시험 항목과 방법이 설정되어 있지 않아 여과 효율이 해당 제품 광고나 걸 포장지에 표시되었더라도 신뢰하기 어려운 실정이다. 산업용 방진마스크와 비교하여 유사마스크는 상대적으로 편한 착용감을 가지며 세탁이 가능하여 재사용을 할 수 있으므로 경제적인 면을 가지고 있다. 여름에는 자외선 차단의 목적과 겨울에는 방한의 목적으로 사용될 수 있으며 땀 배출 및 흡수에 도움을 주는 기능을 가지고 있다. 일부 제품은 미세먼지, 황사, 매연, 꽃가루를 차단해준다는 광고를 포함하기도 하며 다양한 이름으로 판매되고 있다. 최근에는 마스크 사용에 대한 관심이 높아져 산업용 방진마스크, 의약외품 마스크와 더불어 유사마스크의 사용이 증가되고 있다. 이러한 유사마스크는 주로 일반 산업장, 건설 현장 및 용접 작업 시에 착용되거나 레저 활동인 등산, 자전거, 오토바이 주행 시에 착용된다.

근로자는 하루 8시간 이상 작업하므로 특정한 입자상 물질에 노출될 가능성이 높으며 출·퇴근 시간이나 휴무 기간에 레저 활동을 포함한 외부 활동을 하게 될 경우 산업보건과 환경보건학적으로 모두 대기 중 입자상 유해물질에 노출될 우려가 존재한다.

일반 대중을 포함한 작업장의 근로자들은 유해물질의 특성과 부적합한 유사마스크를 착용하는 경우, 제품에 포함된 '마스크'라는 이름 때문에 혹은 입자상 물질로부터 보호된다는 광고 문구를 지나치게 신뢰하여 잘못된 지각이나 의식(false sense of security/safety)을 가질 수 있다.

현재까지 국내 연구로는 방진마스크, 황사방지용 마스크, 방역용 마스크(KF94), 의료용 마스크, 일반 마스크와 손수건에 대한 여과 효율이나 흡기저항을 비교 및 평가하는 시도(Lee *et al.* 2007; Shin 2008; Hong *et al.* 2009; Jung *et al.* 2014)와 용접 흡에 대한 P100와 방진마스크 1급에 대한 흡기저항을 시험하는 연구가 이루어진 바 있다(Cho and Yoon 2012). 아직 국내 시판되고 있는 유사마스크에 관련된 여과 효율 성능을 평가한 연구는 드물다. 국외에서는 PSL spheres, DOP (dioctyl phthalate), NaCl 에어로졸(aerosol)을 사용하여 수술용 마스크(surgical mask)와 N95 여과 매체를 비롯한 안면부 여과식, 전면형, 반면형 마스크 등에 대해 비교한 연구가 있고(Checchi *et al.* 2005; Bałazy *et al.* 2006; Lee *et al.* 2008; Oberg and Brosseau 2008; Rengasamy *et al.* 2009; Medina 2010; Sanchez 2010), 디젤배출물 입자(DEP)에 대한 반면형 방진마스크의 투과율이 연구된 바 있다(Penconek *et al.* 2013). 유사마스크와 관련이 있다고 보이는 연구로는 다양한 크기(polydisperse)의 NaCl 시험 입자와 한 가지 크기(monodisperse)의 NaCl 시험 입자에 대한 천 마스크(cloth mask)와 일반 섬유 제품(common fabric materials)의 투과율을 측정하고 N95 여과 매체와 비교 평가되었다(Rengasamy *et al.* 2010).

유사마스크는 작업장이나 일반 대기 중의 입자상 물질에 대해 차단 목적으로 사용될 가능성이 있다. 본 연구에서는 성능 기준이 존재하는 안면부 여과식 방진마스크와 비교하여 유사마스크의 기본적인 여과 효율 및 흡기저항을 측정하고, 유사마스크 착용 형태(layer의 수, 내피 유무), 세탁 여부가 여과 효율 및 흡기저항에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

II. 연구 방법

여과효율 및 흡기저항 측정에 사용된 실험 장치 구성에 대한 모식도는 Fig. 1과 같다.

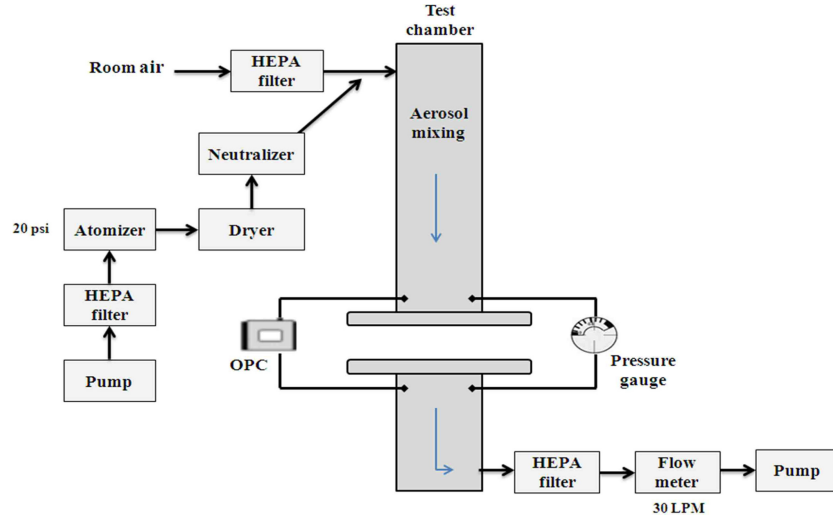


Fig. 1. Diagram of experimental setup for filtration efficiency and pressure drop measurement.

Table 1. Feature of sample

Product	Classification	Shape	Material	Thickness
A	Cloth mask	Plate type	Nylon 50% Polypropylene 40% Polyurethane 10%	1.22 mm
B	Cloth mask	Plate type	Nylon 84% Polyester 12% Spandex 4%	0.62 mm
C	Cloth mask	Plate type	Polyester 100% (cool comfort fabrics)	0.29 mm
D	Cloth mask	Plate type	Polyester 100% (microfibre)	0.30 mm
E	Cloth mask	Cup type	Polyester 100% (microfibre)	2.77 mm
R	Class 1 disposable respirator	Cup type	Non woven fabrics	1.81 mm

1. 챔버

챔버는 Oberg와 Brosseau(2008)가 사용한 챔버를 모델로 제작하였다. 에어로졸과 깨끗한 공기가 지속적으로 공급되어 농도를 유지하는 동적 챔버(dynamic chamber)로 제작되었으며, 상부는 프레임에 고정되어 있고 하부는 마스크 장착을 위하여 수직운동이 가능하도록 설계되었다(Oberg and Brosseau 2008). 챔버 내로 유입되는 NaCl 입자가 정전기 영향 받는 것을 줄이기 위해 플라스틱(plastic)이 아닌 알루미늄(aluminum) 재질을 선택하였으며, 유입된 NaCl 입

자가 상부 챔버에서 깨끗한 공기와 충분한 혼합(mixing)이 이루어지도록 상부 챔버 높이를 설정하였다.

2. 시료

유사마스크는 ‘멀티 마스크’, ‘멀티 스카프’, ‘넥 워머’, ‘복면’, ‘레저 마스크’의 제품명을 포함하고 있는 제품을 선택하였다. 본 연구에서 사용된 유사마스크는 총 5가지 모델(A, B, C, D, E)이며 안면부 여과식 방진마스크 1급은 1가지 모델(R)이다. 유사마스크 4가지 모델(A, B, C, D)은 원통형으로 펴서

안면부에 착용 가능한 plate type 제품이고, 1가지 모델(E)은 내피가 있고 귀걸이 끈과 벨크로(velcro)를 사용하여 착용 가능한 cup type 제품이다. 안면부 여과식 방진마스크(R)는 인장 끈과 콧쇠로 안면부에 착용 가능한 cup type의 방진마스크 1급이다. 선정된 제품의 재질, 혼방에 대한 정보는 판매처나 제품 포장지로부터 확인하였으며 제품의 두께는 digital vernier calipers (PK-1012SU, Mitutoyo, Japan)를 이용하여 직접 측정하였다(Table 1). 본 연구에서는 유사마스크가 분진이 많이 발생하는 일반 산업장 및 건설 현장뿐만 아니라 용접 흡이 발생하는 용접 작업 시에도 착용이 이루어지고 있기 때문에 용접 및 금속가공 등으로 인한 금속 흡, 기타 분진 발생 시 착용을 권장하는 안면부 여과식 방진마스크 1급을 선택하여 참고 기준(reference respirator)으로 삼아 비교 및 평가하였다.

3. 측정 및 평가

유사마스크는 호흡용 보호구로 지정되거나 승인된 것이 아니지만 호흡용 보호구의 목적으로 사용되는 것을 감안하였다. 챔버의 유량을 제외하고는 Test agent가 NaCl인 것, NaCl의 농도, Agent size 등 고용노동부(MOEL)와 식품의약품안전처(MFDS)의 시험 방법에 기반을 두어 조건이 최대한 같도록 설정하였다. 또한, 에어로졸 챔버 내에서 발생된 NaCl 입자가 가지고 있는 전하로 인해 챔버 내벽에 입자가 끌려가거나 수직적으로 고루 낙하되지 않을 것을 방지하여 입자를 중화시켜 챔버 내로 유입하였다. 중화시킨 다양한 크기(neutralized polydisperse)의 NaCl 입자를 사용하는 것은 미국 NIOSH의 시험 방법(42 CFR 84)을 접목시킨 것이다. 본 연구에서 여과 효율 측정 시 유량은 평상시 호흡하는 조건인 30 LPM으로 설정하였다. 국내에서는 95 LPM을 권장하며 미국 NIOSH에서는 85±4 LPM (high work rate)을 권장한다. 이러한 권장 값의 최악의 상황(worst case conditions)으로 맞춰 방진마스크의 최대 투과율(penetration)을 보기 위함이다. 본 연구의 유사마스크는 최악의 상황에서 사용됨이 적으리라 사료되었기 때문에 기존에 이루어진 타 연구를 참고하여 30 LPM으로 설정하였다.

여과 효율 측정은 1% NaCl 용액을 사용하여 에어로졸을 atomizer (Atomizer 9302, TSI, USA)로 발

생시켜 dryer (Hammond drierite, USA)와 입자중화기(aerosol neutralizer soft x-ray charger 4530, HCT, Korea)를 지나 에어로졸 챔버(aerosol chamber)로 유입시켰다. 챔버 내 NaCl 에어로졸 농도를 입경 0.3-0.5, 0.5-1, 1-2, 2-5, 5-10 μm (5 channels)에 대해 마스크 전후로 optical particle counter (3330, TSI, USA)로 측정하여 여과 효율을 산출하였다(식 1). 흡기저항 측정은 챔버 상·하부 결합부 사이에 시료 실험체 판(mounting plate)을 고정된 후 펌프를 유량 30 LPM로 공기 흡입하여 NaCl 에어로졸 발생 시점 1분 후에 챔버의 상·하부 내 압력을 차압계(pressure transmitter)로 시료마다 1분 간격으로 3회 반복 측정하였다.

$$P(\%) = \frac{(C_1 - C_{1,bg}) - (C_2 - C_{2,bg})}{C_1 - C_{1,bg}} \times 100 \quad (\text{식 1})$$

P: 여과 효율(filtration efficiency, %)

C₁: 여과제 통과 전의 염화나트륨(NaCl) 에어로졸의 농도(#/cm³)

C_{1,bg}: 여과제 통과 전의 배경 입자 농도(#/cm³)

C₂: 여과제 통과 후의 염화나트륨(NaCl) 에어로졸의 농도(#/cm³)

C_{2,bg}: 여과제 통과 후의 배경 입자 농도(#/cm³)

4. 통계 분석

SPSS 21.0 for Windows (SPSS Inc., USA) 통계 프로그램을 이용하여 일원배치 분산분석법(one-way ANOVA)을 실시하였다. 각 그룹 간의 차이를 검정하기 위하여 Duncan's multiple range test를 이용하여 사후분석을 실시하였다. 모든 제품(A, B, C, D, E)의 세탁 전처리 전·후에 대한 여과 효율의 비교와 제품 E의 내피 유무에 대한 여과 효율 비교(제품 E만 내피가 있는 cup type 임)를 위해 Student's *t*-test를 실시하였다. 본 연구의 통계학적인 유의성 검증은 p<0.05로 하였다.

III. 결 과

1. 여과 효율

A 유사마스크 겹의 수에 따른 입자 크기 별 여과 효율은 Fig. 2와 같다. 1, 2, 4겹으로 늘어날수록 여과 효율이 입경 0.3-0.5 μm에서 27.97, 57.92,

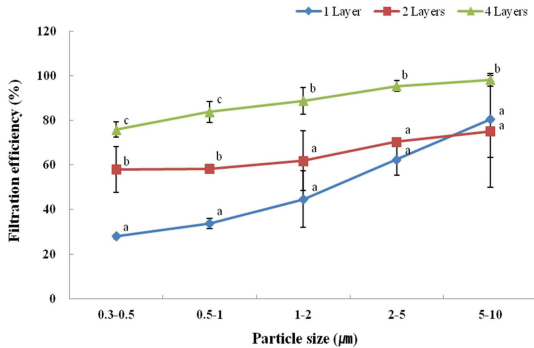


Fig. 2. Changes in filtration efficiency of cloth mask A by the number of layers. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3–10 μm) for different layers. Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences (p<0.05), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

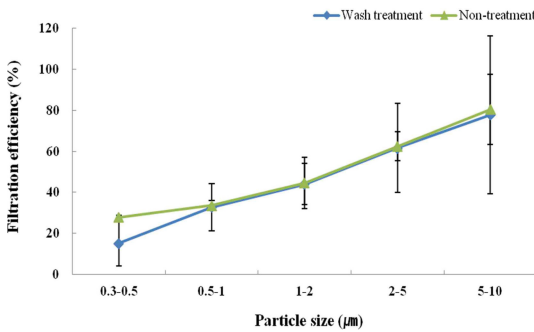


Fig. 3. Filtration efficiency of cloth mask A between wash treatment and non-treatment. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3–10 μm) by wash treatment. Values represent mean ± SD of three independent measurements. There was no significant difference in filtration efficiency between wash treatment and non-treatment.

75.82%로 높아졌으며, 다른 입경 범위에 비해 낮은 여과 효율을 보였다. 입경 0.5–1 μm에서 여과 효율은 33.72, 58.32, 83.79%로 높아졌으며, 나머지 입경 범위 1–2, 2–5, 5–10 μm에서도 겹의 수가 늘어날수록 여과 효율도 대체적으로 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 세탁 처리에 따른 입자 크기 별 여과 효율은 Fig. 3과 같다. 세탁 처리를 하였을 시

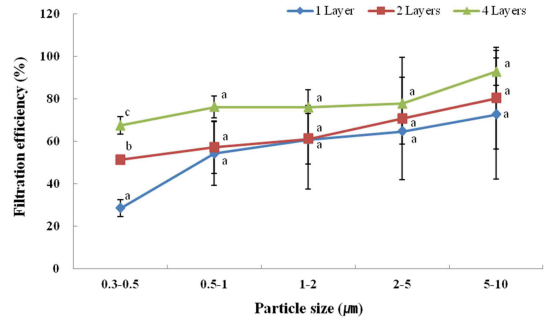


Fig. 4. Changes in filtration efficiency of cloth mask B by the number of layers. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3–10 μm) for different layers. Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences (p<0.05), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

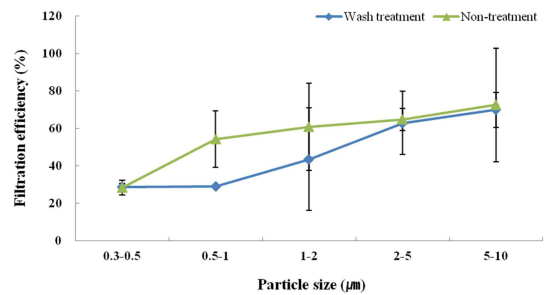


Fig. 5. Filtration efficiency of cloth mask B between wash treatment and non-treatment. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3–10 μm) by wash treatment. Values represent mean ± SD of three independent measurements. There was no significant difference in filtration efficiency between wash treatment and non-treatment.

여과 효율은 입경 0.3–0.5 μm에서 15.29%로 세탁 처리를 하지 않았을 경우(27.97%)보다 낮게 나타났으나, 나머지 입경 범위에서 여과 효율은 수치상 큰 차이를 보이지 않았다.

B 유사마스크 겹의 수에 따른 입자 크기 별 여과 효율은 Fig. 4와 같다. 1, 2, 4겹으로 늘어날수록 여과 효율이 입경 0.3–0.5 μm에서 28.47, 51.31, 67.48%로 높아졌으며, 다른 입경 범위에 비해 낮은 여과 효율을 보였다. 나머지 입경 범위에서도 겹의

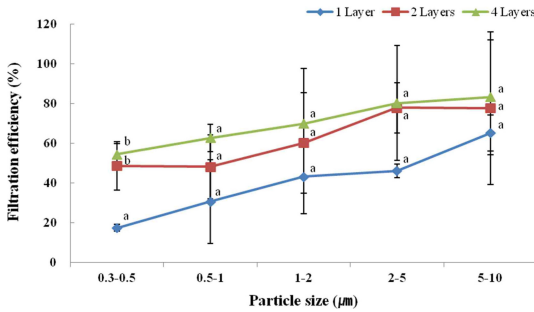


Fig. 6. Changes in filtration efficiency of cloth mask C by the number of layers. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3 – 10 μm) for different layers. Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences (p<0.05), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

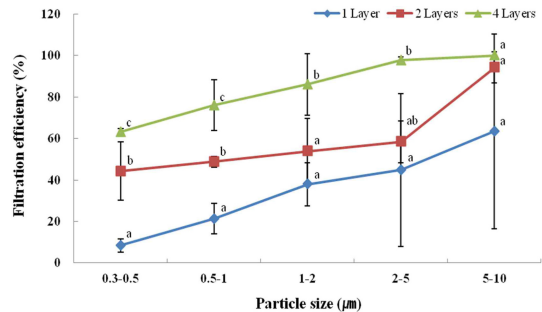


Fig. 8. Changes in filtration efficiency of cloth mask D by the number of layers. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3 – 10 μm) for different layers. Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences (p<0.05), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

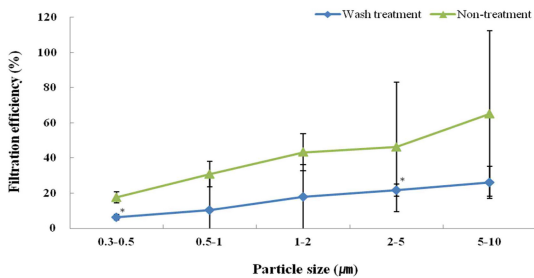


Fig. 7. Filtration efficiency of cloth mask C between wash treatment and non-treatment. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3 – 10 μm) by wash treatment. Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences from the non-treatment group, as determined by *t*-test (*; p<0.05).

수가 늘어날수록 여과 효율이 높아지는 것을 확인할 수 있었지만 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 세탁 처리에 따른 입자 크기 별 여과 효율은 Fig. 5와 같다. 세탁 처리를 하였을 시 여과 효율은 세탁 처리를 하지 않았을 경우보다 대체적으로 낮은 여과 효율을 보였다. 특히, 입경 0.3–0.5 μm가 다른 입경 범위보다 낮은 여과 효율을 보였으며, 입경 0.5–1 μm에서 세탁 처리를 한 경우의 여과 효율이 28.89%로 세탁 처리를 하지 않았을 경우

(54.29%)와 큰 차이를 보였다.

C 유사마스크 겹의 수에 따른 입자 크기 별 여과 효율은 Fig. 6과 같다. 1, 2, 4겹으로 늘어날수록 여과 효율이 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 입경 0.3–0.5 μm에서는 17.57, 48.73, 54.52%로 높아졌으며, 다른 입경 범위에 비해 낮은 여과 효율을 보였다. 세탁 처리에 따른 입자 크기 별 여과 효율은 Fig. 7과 같다. 세탁 처리를 하였을 시 여과 효율은 세탁 처리를 하지 않았을 경우보다 낮은 여과 효율을 보였다. 특히, 입경 0.3–0.5 μm가 세탁 처리를 하였을 시 6.21%로 세탁 처리를 하지 않았을 경우 (17.57%)보다 현저히 낮게 나타났으며, 다른 입경 범위보다 낮은 여과 효율을 보였다.

D 유사마스크 겹의 수에 따른 입자 크기 별 여과 효율은 Fig. 8과 같다. 1, 2, 4겹으로 늘어날수록 여과 효율이 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 입경 0.3–0.5 μm에서는 8.45, 44.27, 63.26%로 높아졌으며, 다른 입경 범위에 비해 낮은 여과 효율을 보였다. 세탁 처리에 따른 입자 크기 별 여과 효율은 Fig. 9와 같다. 세탁 처리를 하였을 시 여과 효율은 세탁 처리를 하지 않았을 경우보다 낮은 여과 효율을 보였다. 입경 0.3–0.5 μm에서 세탁 처리를 하였을 시 여과 효율은 6.20%, 세탁 처리를 하지 않았을 시 여과 효율은 6.33%로 큰 차이는 없었지만, 다른 입경 범위와 비교하면 낮은 여과 효율을 보였다.

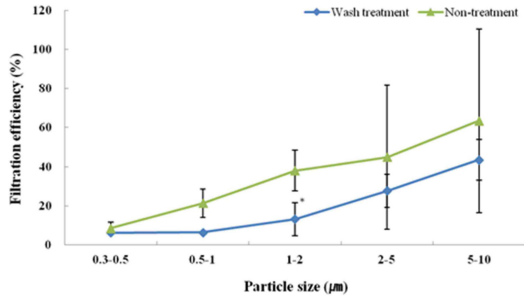


Fig. 9. Filtration efficiency of cloth mask D between wash treatment and non-treatment. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3–10 μm) by wash treatment. Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences from the non-treatment group, as determined by *t*-test (*; $p < 0.05$).

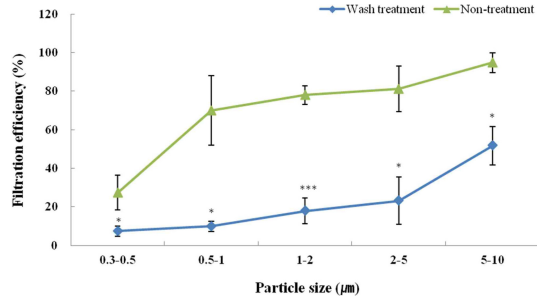


Fig. 11. Filtration efficiency of cloth mask E between wash treatment and non-treatment. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3–10 μm) by wash treatment. Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences from the non-treatment group, as determined by *t*-test (*; $p < 0.05$, ***; $p < 0.001$).

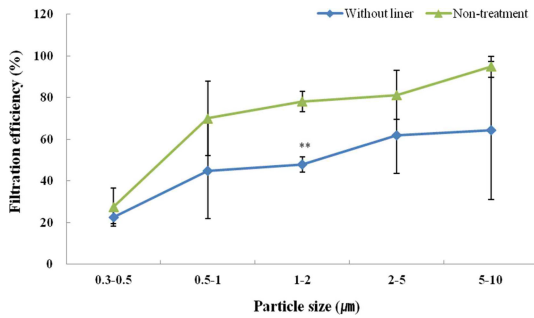


Fig. 10. Filtration efficiency of cloth mask E between without liner and non-treatment. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3–10 μm) for different layers. Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences from the non-treatment group, as determined by *t*-test (**; $p < 0.01$).

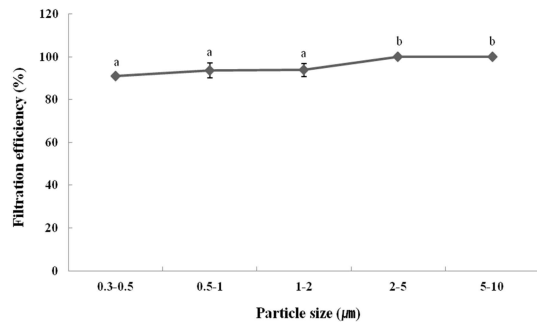


Fig. 12. Filtration efficiency of class 1 disposable respirator by aerosol size. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3–10 μm). Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences ($p < 0.05$), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

E 유사마스크 겹의 수에 따른 입자 크기 별 여과 효율은 Fig. 10과 같다. 내피 탈착을 하였을 시 여과 효율은 내피 탈착하지 않았을 경우보다 낮게 나타났다. 입경 0.3–0.5 μm에서 내피를 탈착하였을 시 여과 효율은 22.51%로 내피 탈착하지 않았을 경우 (27.38%)와 큰 차이는 없지만, 다른 입경에 비해 가장 낮은 여과 효율을 보였다. 세탁 처리에 따른 입자 크기 별 여과 효율은 Fig. 11과 같다. 다른 유사 마스크와 마찬가지로 세탁 처리를 하였을 시 여과

효율은 세탁 처리를 하지 않았을 경우보다 낮은 여과 효율을 보였다. 특히, 입경 0.3–0.5 μm에서 세탁 처리를 하였을 시 여과 효율은 7.35%로 세탁 처리를 하지 않았을 경우(27.38%)보다 낮게 나타났으며, 다른 입경 범위보다 낮은 여과 효율을 보였다. 입경 0.5–10 μm 범위별로 세탁 처리를 하였을 시 여과 효율은 세탁을 하지 않았을 시 여과 효율과 비교하여 큰 차이를 보였다.

안면부 여과식 방진마스크 1급의 여과 효율은 입

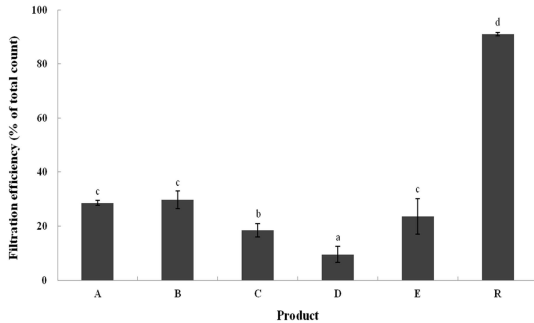


Fig. 13. Filtration efficiency of cloth masks and class 1 disposable respirator. A, B, C, D: plate type cloth mask, E: cup type cloth mask, R: class 1 disposable respirator. Each filtration efficiency was evaluated on NaCl aerosol polydisperse size (0.3–10 μm). Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences (p<0.05), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

경 0.3–0.5 μm에서 91.10%로 가장 낮게 나타났고, 입경 2–5, 5–10 μm에서 100.0%로 가장 높은 효율을 보였다(Fig. 12).

2. 여과 효율 종합 비교

유사마스크 총 5가지 제품 A, B, C, D, E와 안면부 여과식 방진마스크 1급 1가지 제품(reference respirator)의 NaCl 에어로졸 입경 0.3–10 μm에 대한 총 여과 효율을 비교 및 평가하였다(Fig. 13). 낮은 여과 효율 순으로 제품 D(9.52%), 제품 C(18.53%), 제품 E(23.62%), 제품 A(28.55%), 제품 B(29.71%), 안면부 여과식 방진마스크 1급(91.10%)으로 나타났다. 모든 제품의 여과 효율은 고용노동부고시 제 2014-46호 「보호구 안전인증 고시」의 방진마스크 성능기준 ‘여과재 분진 등 포집효율’ 1급 기준(≥ 94.0%)에 미치지 못하였다(고용노동부고시 제 2014-46호).

3. 흡기 저항

A, B, C, D, E 유사마스크가 1겹, 2겹, 4겹일 때와 세탁 처리에 따른 흡기 저항을 측정하였다(Fig. 14, 15, 16, 17, 18). A는 세탁 처리(35.79 Pa), 1겹(42.69 Pa), 2겹(50.23 Pa), 4겹(62.78 Pa) 순으로 높

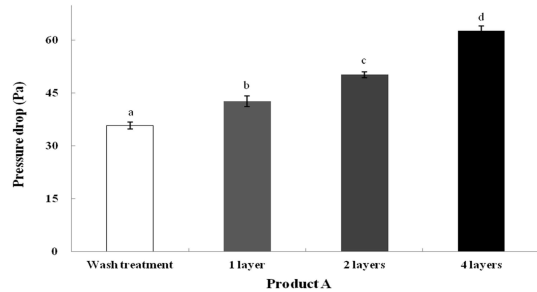


Fig. 14. Pressure drop of cloth mask A at various conditions. Product A: plate type cloth mask. Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences (p<0.05), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

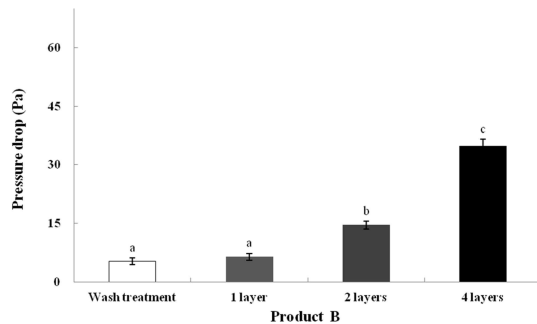


Fig. 15. Pressure drop of cloth mask B at various conditions. Product B: plate type cloth mask. Values represent mean ± SD of three independent measurements. Statistically significant differences (p<0.05), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다 (p<0.05). B는 세탁 처리(5.21 Pa), 1겹(6.38 Pa), 2겹(14.55 Pa), 4겹(34.90 Pa) 순으로 높게 나타났으며 세탁 처리와 1겹 간을 제외하고 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05). C는 세탁 처리(0.57Pa), 1겹(0.83 Pa), 2겹(1.50 Pa), 4겹(7.50 Pa) 순으로 높게 나타났으며 4겹의 경우 나머지 군과 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 보였으며(p<0.05), 세탁 처리 시, 1겹과 2겹 간에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. D는 세탁 처리(0.61 Pa), 1겹(0.79

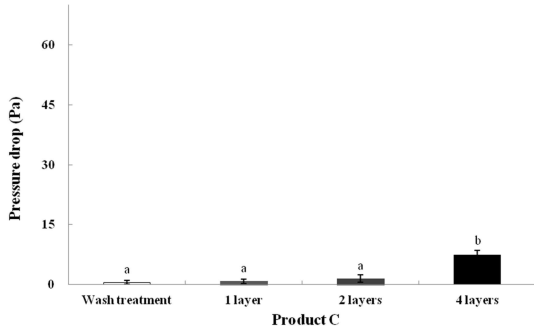


Fig. 16. Pressure drop of cloth mask C at various conditions. Product C: plate type cloth mask. Values represent mean \pm SD of three independent measurements. Statistically significant differences ($p < 0.05$), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

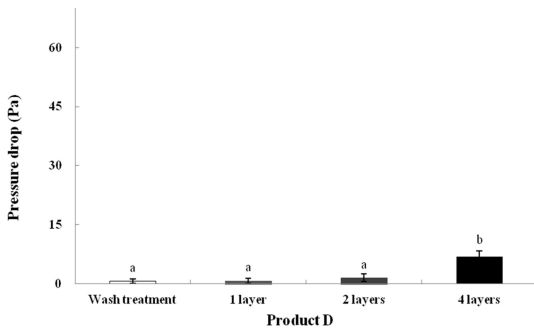


Fig. 17. Pressure drop of cloth mask D at various conditions. Product D: plate type cloth mask. Values represent mean \pm SD of three independent measurements. Statistically significant differences ($p < 0.05$), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

Pa), 2겹(1.53 Pa), 4겹(6.87 Pa) 순으로 높게 나타났으며, 4겹의 경우 나머지 군과 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). E는 세탁 처리(0.86 Pa), 내피 탈착(1.42 Pa), 1겹(1.69 Pa) 순으로 높게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다.

4. 흡기 저항 종합 비교

유사마스크 총 5가지와 안면부 여과식 방진마스크 1급 1가지 제품(reference respirator)의 흡기 저항은

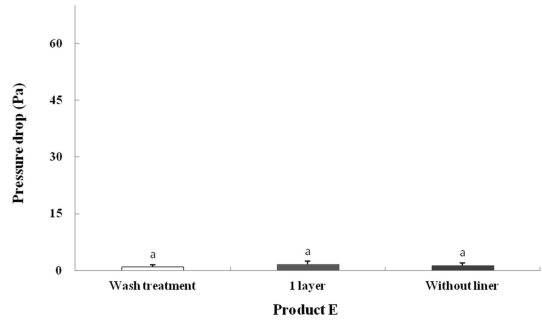


Fig. 18. Pressure drop of cloth mask E at various conditions. Product E: cup type cloth mask. Values represent mean \pm SD of three independent measurements. Statistically significant differences ($p < 0.05$), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

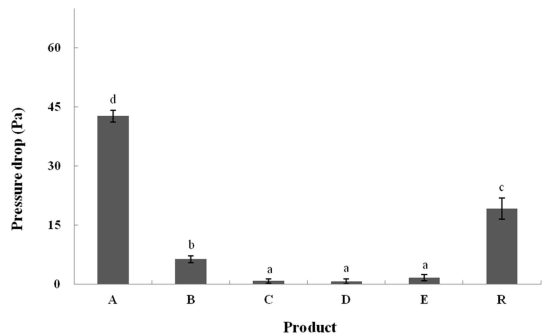


Fig. 19. Pressure drop of cloth masks and class 1 disposable respirator. A, B, C, D: plate type cloth mask, E: cup type cloth mask, R: class 1 disposable respirator. Each pressure drop was evaluated on 30 LPM. Values represent mean \pm SD of three independent measurements. Statistically significant differences ($p < 0.05$), as determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

유량 30 LPM에 대해 낮은 순으로 제품 D(0.79 Pa), 제품 C(0.83 Pa), 제품 E(1.69 Pa), 제품 B(6.38 Pa), 안면부 여과식 방진마스크 1급(19.29 Pa), 제품 A(42.69 Pa)로 나타났다(Fig. 19). 제품 C, D, E 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 나머지 그룹 간에는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 모든 제품은 1겹일 때, 고용노동부고시 제 2014-46호 「보호구 안전인증 고시」 방진마스크의

성능기준 및 시험방법에서 안면부 여과식 1급의 유량 30 LPM에 대한 ‘안면부 흡기저항’ 기준(≤ 70 Pa)에 부합하는 흡기저항을 확인 할 수 있었다.

IV. 고 찰

유사마스크는 시중에서 쉽게 구입하여 착용할 수 있는 것으로 먼지, 미세먼지, 매연과 꽃가루 등의 입자상 물질 흡입에 대한 보호, 방한, 땀 배출 및 흡수 도움 등의 목적으로 사용된다.

입자차단 성능이 있는 산업용 방진마스크(특급, 1급, 2급), 보건용 마스크(KF80, KF94, KF99)는 고용노동부고시와 식품의약품안전처고시에 성능기준 및 시험방법이 규정되어 있지만(고용노동부고시 제2014-46호 보호구 의무안전인증 고시, 식품의약품안전처고시 제2014-177호 의약외품 품목허가·신고·심사 규정), 현재 유사마스크에 대한 성능기준 및 시험방법은 규정되어 있지 않으며 입자상 물질의 여과 효율과 흡기저항에 대한 연구는 드물다.

본 연구에서 유사마스크는 분진 발생이 많이 되는 일반 산업장 및 건설 현장뿐만 아니라 용접 흠이 발생하는 용접 작업 시에도 착용이 이루어지고 있기 때문에 용접 및 금속가공 등으로 인한 금속 흡, 기타 분진 발생 시 착용을 권장하고 성능 기준이 존재하는 안면부 여과식 방진마스크 1급을 참고 기준(reference respirator)으로 선택하였다. 유사마스크는 총 5가지 모델(4가지: plate type, 1가지: cup type), 안면부 여과식 방진마스크는 1가지 모델(cup type)에 대해 여과 효율과 흡기저항을 평가했으며, 유사마스크의 착용 형태(layer의 수, 내피 탈착), 세탁 여부가 여과 효율과 흡기저항에 미치는 영향도 비교 및 평가하였다.

국내 마스크 시험방법 규정에 따라 같은 제품번호를 가지는 것으로 전처리 그룹마다 제품 3개씩 사용하였고 에어로졸 챔버에 1% NaCl 용액을 사용하여 중화시킨 NaCl 에어로졸 입자 크기 범위 0.3–10 μm 를 유량 30 LPM으로 투과하였다. 유사마스크 다섯 제품은 약 10–30%의 여과 효율(70–90% 투과율)을 보였고, 안면부 여과식 방진마스크 1급은 91%의 여과 효율(9% 투과율)을 보여 고용노동부고시와 식품의약품안전처고시 규정 분진포집효율 기준($\geq 94\%$)에 미치지 못하였다(고용노동부고시 제2014-

46호 보호구 의무안전인증 고시, 식품의약품안전처고시 제2014-177호 의약외품 품목허가·신고·심사 규정).

Rengasamy 등(2010)은 천 마스크(cloth mask)와 일반 섬유 제품(common fabric materials)의 분류로 스웨터, 티셔츠, 수건, 스카프에 대해 입자 범위 20–1000 nm를 면속도 5.5 cm/s와 16.5 cm/s로 투과시켰다. 천 마스크는 10–25%의 여과 효율(75–90% 투과율)을 보였으며 그 외 스웨터는 20–60%, 티셔츠는 10%, 수건은 30–40%, 스카프는 10%의 여과 효율을 보였다고 보고하였다. Jung 등(2014)은 황사방지용 마스크, 방역용 마스크(KF94), 의료용(surgical/dental mask) 마스크, 일반 보건용 마스크(general mask), 손수건에 대해 식품의약품안전처(MFDS) 시험방법과 미국 NIOSH 42 CFR 84 시험방법으로 투과율(penetration)을 보았다. 어린이용 황사마스크는 각 방법에 대해 각각 23.7, 37.0%로 보였고 의료용 마스크(surgical/dental mask)는 각각 44.7, 43.6%, 일반 보건용 마스크(general mask)는 각각 62.4, 63.1%, 손수건은 각각 97.6, 97.0%를 보여 두 방법 간에 유의한 차이는 없었으며 일반 보건용 마스크와 손수건은 보호 효과가 전혀 없는 것으로 보고하였다. Hong 등(2009)은 시중 유통되는 황사방지용 마스크, 방역용 마스크(KF94), 보건용 마스크(hygiene mask)에 대해 1% NaCl 용액으로 평균 입경 0.6 μm 에어로졸을 발생하여 95 LPM의 유량으로 분진포집효율을 측정한 결과 평균값을 기준으로 황사방지용 마스크 88.17%, 방역용 마스크(KF94) 98.89%, 보건용 마스크 17.54%로 보고하였다. 타 연구와 비교하면 본 연구의 유사마스크 여과효율은 천 마스크(cloth mask), 일부 스웨터, 티셔츠, 손수건, 보건용 마스크(general/hygiene mask)와 유사한 여과 효율을 가지며 보호 효과가 낮은 것으로 확인되었다. 보건용 마스크(general/hygiene mask)는 기존의 입자차단 성능이 없는 보건용 마스크에 대한 것이며 현재는 보건용 마스크의 범위가 조정되어 입자 차단 성능이 있는 황사방지용 마스크(KF80)와 방역용 마스크(KF94, KF99)를 포괄하는 ‘보건용 마스크(KF80, KF94, KF99)’와 다른 것이다.

본 연구에서 유사마스크 A, B, C, D는 plate type으로 겹의 수에 따른 여과 효율을 보았는데 1겹일 때 보다 2겹의 경우 1.7–4.6배 높아졌고(제품 A: 2

배, B: 1.7배, C: 2.6배, D: 4.6배), 1겹일 때 보다 4 겹의 경우 2.3-6.8배 높아졌다(제품 A: 2.3배, B: 2.5배, C: 3배, D: 6.8배). 반면에 2겹일 때 보다 4 겹의 경우 1.1-1.5배 높아져(제품 A, B: 1.3배, C: 1.1배, D: 1.5배) 큰 여과 효율 변화를 보이지 않았다. 제품 E는 cup type으로 내피 탈착이 가능한 것으로 내피가 없는 경우, 내피가 있는 경우 보다 1.3 배 낮은 여과 효율을 보였다. Jung 등(2014)은 면과 거즈 재질의 손수건 겹의 수에 따른 투과율 (penetration)을 보았다. 1겹일 때 보다 2겹의 경우 약 2.0-2.5배, 4겹의 경우 약 6배로 여과 효율이 높아졌고, 2겹일 때 보다 4겹의 경우 약 2.6-3.0배 여과 효율이 높아졌다. 이러한 결과를 보면, 본 연구의 유사마스크는 겹의 수에 따른 여과 효율이 Jung 등(2014)의 손수건 여과효율에 비해 넓은 편차를 보였고, 2겹일 때 보다 4겹의 경우 유사마스크는 손수건에 비해 여과 효율 변화가 적었다.

유사마스크 다섯 제품에 대해 세탁 처리하였을 때, 세탁하지 않았을 때에 비해 여과 효율이 1.04-4.0 배 낮아졌으며(제품 A: 1.4배, B: 1.04배, C: 2.9배, D: 1.5배, E: 4배), 제품 C와 E의 경우 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 타 연구에 의하면 여과 효율은 여과재 표면에 정전기를 처리하면 높아지고 여과재의 정전기력을 제거하면 낮아지는데, 이는 정전 필터가 일반 기계식 필터보다 여과 효율이 높음을 뒷받침한다(Kim 2008; Hong 2013; Lee *et al.* 2005; Rengasamy *et al.* 2009; Li *et al.* 2012; Huang *et al.* 2013). 식품의약품안전처는 황사방지용 마스크를 세탁하면 모양이 변형되거나 기능을 유지할 수 없고 오히려 먼지나 세균에 오염될 수 있으므로 세탁하여 재사용하지 말아야 한다고 하였다(Ministry of Food and Drug Safety 2014). 본 연구에서 유사마스크 세탁 전의 여과 효율보다 세탁 후의 여과 효율이 더 낮은 것은 세탁에 의해 유사마스크의 정전기력이 낮아진 것으로 보이며 유사마스크의 모양이 변형되거나 섬유가 일부 손실되어 영향을 미친 것으로 보인다.

여과재 여과 효율의 작동기전에는 입자의 직경이 관여하게 된다(Han 2001). Sinclair(1976)는 투과가 가장 잘되는 입자 크기가 0.04-1 μm 라 하였으며, Lee와 Liu(1980)는 특히 입경 0.3 μm 입자의 투과가 잘되어 포집되기 어렵다고 하였다. 유량이 증가

하면 흡기저항이 높아지고 여과 효율이 낮아지는데 (Han 2000; Lee and Liu 1980), 본 연구에서 여과 효율 측정에 적용된 유량은 30 LPM이다. NIOSH 성능 시험 방법 42 CFR 84 (U.S. Department of Health and Human Services 1996)에 고시된 유량 85 ± 4 LPM과 국내 고용노동부와 식품의약품안전처 성능 시험 방법(고용노동부고시 제2014-46호 보호구 의무안전인증 고시, 식품의약품안전처고시 제2014-177호 의약외품 품목허가·신고·심사 규정)의 유량 95 LPM이 적용된다면 유사마스크에서 가장 낮은 여과 효율을 보이는 입경 0.3-0.5 μm 의 입자가 많이 투과되어 여과 효율이 더 낮아질 것으로 보인다. Lee 등(2012)에 의하면 주거지역, 도로변지역, 공업지역에서 발생하는 미세먼지(PM_{10}) 농도의 입경별 점유율이 지역에 관계없이 0.3 μm 부근이 가장 높은 구간이라 하였다. Kim(2008)은 일반적인 세균의 크기는 0.1-10 μm 이고 바이러스는 약 0.0025-0.045 μm 의 크기를 가진다고 하였으며 세균과 바이러스는 종류에 따라 크기와 모양이 다르기 때문에 호흡용 보호구 여과재가 제거하는 효율도 세균이나 바이러스의 종류에 따라 달라진다고 하였다. 이러한 점을 고려하면, 본 연구에서 유사마스크는 입경 0.3-0.5 μm 범위에 대한 여과 효율이 낮아서 미세먼지(PM_{10}) 중에서도 0.3 μm 부근의 입자상 유해물질과 감염질환을 일으킬 수 있는 세균과 바이러스에 대한 여과 효율이 현저히 낮은 것으로 보인다.

유사마스크 다섯 제품의 흡기저항은 평균 0.79-6.38 Pa (0.08-0.65 mmH_2O)의 범위로 비교적 낮은 흡기저항을 보였고, 안면부 여과식 방진마스크 1급의 흡기저항은 평균 19.29 Pa (1.97 mmH_2O)으로 고용노동부 고시 규정 유량 30 LPM에 대한 안면부 흡기저항 1급의 기준(≤ 70 Pa)에 적합하였다. 다만, 제품 A가 4겹일 때 62.78 Pa (6.4 mmH_2O)으로 비교적 높은 흡기저항을 보여 고용노동부 고시 규정 유량 30 LPM에 대한 안면부 흡기저항 2급의 기준(≤ 60 Pa)에 초과하고 1급의 기준(≤ 70 Pa)에는 적합하였다. 유사마스크 A, B, C, D는 겹의 수가 늘어날수록 흡기저항이 높아졌으며, 제품 E는 내피가 있는 경우보다 내피가 없는 경우에 흡기저항이 낮아졌고, 다섯 제품 모두 세탁 처리를 하였을 경우, 세탁 처리 전에 비해 흡기저항이 낮아졌다.

Hong 등(2009)은 시중 유통되는 황사방지용 마스크

크, 방역용 마스크(KF94), 보건용 마스크(hygiene mask)에 대해 95 LPM의 유량으로 안면부 흡기저항을 측정된 결과, 황사방지용 마스크는 1.06–2.41 mmH₂O, 방역용 마스크(KF94)는 1.23–4.35 mmH₂O, 보건용 마스크는 0.85–2.26 mmH₂O로 보고하였다. Jung 등(2014)은 황사방지용 마스크(어른용, 어린이용), 방역용 마스크(KF94), 의료용(surgical/dental mask) 마스크, 일반 보건용 마스크(general mask), 손수건에 대해 30 LPM의 유량으로 안면부 흡기저항을 측정된 결과, 황사방지용 마스크 어른용은 3.34 ± 2.20 mmH₂O, 황사방지용 마스크 어린이용은 2.88 ± 0.87 mmH₂O, 방역용 마스크(KF94)는 3.04 ± 1.31 mmH₂O, 의료용 마스크는 2.39 ± 0.81 mmH₂O, 일반 보건용 마스크(general mask)는 2.24 ± 0.79 mmH₂O, 손수건은 1.88 ± 1.85 mmH₂O로 보고하였다. 본 연구의 유사마스크 흡기저항(0.08–0.65 mmH₂O)은 안면부 여과식 방진마스크 1급 흡기저항(1.97 mmH₂O)보다 낮았으며, Jung 등(2014)의 손수건 흡기저항과 유사하거나 낮게 나타났다.

현재 시판되고 있는 유사마스크는 대부분 안면부 여과식 방진마스크와 다르게 콧쇠가 없고 원통형으로 머리부터 쓴 후 안면부에 착용되거나, 입자상 물질에 대해 보호 효과를 높이려는 내피가 있어도 착용 시 호흡기 부위에 밀착이 잘 되지 않아 누설률(leakage rate)이 비교적 높을 것으로 보인다. 유사마스크의 재질은 대부분 섬유로 이루어져 있기 때문에 착용자가 직접 착용하면 유사마스크가 늘어나는 것이 개인마다 다를 수 있으며, 이에 따라 조성된 섬유 사이의 공간이 커지게 된다. 또한, 섬유는 온·습도에 따라 상태가 변할 수 있어서 유사마스크 착용 시 체온이나 입에서 나오는 입김과 같은 수분이 작용할 수 있으며, 이러한 요인들은 여과 효율과 흡기저항에도 영향을 미칠 것으로 보인다.

V. 결 론

Han (2001), Hong (2013)에 의하면 좋은 호흡용 보호구는 높은 여과 효율과 낮은 흡기저항을 지니고 있어야 한다. 본 연구에서 평가된 유사마스크는 입경 0.3–10 μm의 범위에서 비교적 낮은 여과 효율과 낮은 흡기저항을 보였다. 유사마스크의 여과 효율은 다른 입경 범위에 비해 입경 0.3–0.5 μm에서

가장 낮은 여과 효율을 보였으며, 안면부 여과식 방진마스크 1급에 비해 현저하게 낮게 나타나 작업장 또는 대기 중의 입자상 물질에 대한 보호 효과가 낮아 보인다. 유사마스크의 낮은 흡기저항은 착용자가 호흡할 때 저항을 강하게 받지 않는 장점이 될 수 있지만, 여과 효율과 흡기저항이 유사마스크 제품마다 큰 편차를 보여 좋은 호흡용 보호구가 아닌 것으로 보인다.

본 연구는 유사마스크의 여과 효율과 흡기저항을 확인하여 향후 입자상 유해물질뿐만 아니라, 기체상 유해물질에 대한 보호 효과 연구와 제품의 성능 시험항목 및 방법을 설정하고 성능 기준을 제정하는데 기초자료가 될 수 있다. 또한, 안면부 여과식 방진마스크 1급과 비교함으로써 시중에 판매되는 유사마스크의 안전성 및 제품 규격화에 대한 제언을 통해 기능성 마스크 산업발전에 기여할 수 있다.

References

- Bałazy A, Toivola M, Reponen T, Podgórski A, Zimmer A, Grinshpun SA. Manikin-based performance evaluation of N95 filtering-facepiece respirators challenged with nanoparticles. *Ann Occup Hyg*. 2006; 50: 259-269.
- Checchi L, Montevocchi M, Moreschi A, Graziosi F, Taddei P, Violante FS. Efficacy of three face masks in preventing inhalation of airborne contaminants in dental practice. *J Am Dent Assoc*. 2005; 136: 877-882.
- Cho HW, Yoon CS. Workplace field testing of the pressure drop of particulate respirators using welding fumes. *Ann Occup Hyg*. 2012; 56: 948-958.
- Han DH. Performance of respirator filters using quality factor in Korea. *Indust Health*. 2000. 38: 380-384.
- Han DH. Protection against aerosols by particulate respirators and fit performance. *Korean Journal of Environmental Health Sciences*. 2001; 27: 30-36.
- Hong Y. Functional finishing of nonwoven filter for dust-proof/medical masks by corona discharging treatment. *Textile Coloration and Finishing*. 2013; 25: 232-239.
- Hong YJ, Lee JS, Shin JM, Lee CY, Han EJ, Lee HK *et al*. Evaluation of the quality of commercial masks. *The Report of Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment*. 2009; 45: 66-76.

8. Huang SH, Chen CW, Kuo YM, Lai CY, Mckay R, Chen CC. Factors affecting filter penetration and quality factor of particulate respirators. *Aerosol Air Qual Res.* 2013; 13: 162-171.
9. Jung H, Kim J, Lee S, Lee J, Kim J, Tsai P, Yoon C. Comparison of filtration efficiency and pressure drop in anti-yellow sand masks, quarantine masks, medical masks, general masks, and handkerchiefs. *Aerosol Air Qual Res.* 2014; 14: 991-1002.
10. Kim KR. Respirator efficiency for bacteria and viruses. *Laboratory Safety.* 2008; 1: 52-58
11. Korea Occupational Safety and Health Agency. Guide to use of particulate respirators(KOSHA GUIDE H-82-2012). Ulsan: Korea Occupational Safety and Health Agency. 2012.
12. Lee BU, Yermakov M, Grinshpun SA. Filtering efficiency of N95- and R95-type facepiece respirators, dust-mist facepiece respirator, and surgical mask operating in unipolarly ionized indoor air environments. *Aerosol Air Qual Res.* 2005; 5: 25-38.
13. Lee JB, Lee MC, Ahn GS, Heo HR, Jung G, Kim JH *et al.* Evaluation on the dust removal efficiency of mask for asian dust. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment.* 2007; 467-468.
14. Lee KW, Liu BYH. On the minimum efficiency and the most penetrating particle size for fibrous filters. *J Air Pollut Control Assoc.* 1980; 30: 377-381.
15. Lee SA, Grinshpun SA, Reponen T. Respiratory performance offered by N95 respirators and surgical masks: human subject evaluation with NaCl aerosol representing bacterial and viral particle size range. *Ann Occup Hyg.* 2008; 52: 177-185.
16. Li L, Zuo Z, Japuntich DA, Pui DYH. Evaluation of filter media for particle number, surface area and mass penetrations. *Ann Occup Hyg.* 2012; 56: 581-594.
17. Medina DE. Filtration performance of a NIOSH-approved N95 filtering facepiece respirator with stapled head straps. [Tampa]: University of South Florida; 2010.
18. Ministry of Food and Drug Safety. MFDS, Provide sectoral safety information about preparation for particulate matter. Available: <http://www.mfds.go.kr/index.do?x=0&searchkey=title:contents&mid=675&searchword=%B9%CC%BC%BC%B8%D5%C1%F6&y=0&pageNo=1&seq=22476&cmd=v> [accessed 14 May 2015].
19. Oberg T, Brosseau LM. Surgical mask filter and fit performance. *Am J Infect Control.* 2008; 36: 276-282.
20. Penconek A, Draż yk P, Moskal A. Penetration of diesel exhaust particles through commercially available dust half masks. *Ann Occup Hyg.* 2013; 57: 360-373.
21. Rengasamy S, Eimer BC, Shaffer RE. Comparison of nanoparticle filtration performance of NIOSH-approved and CE-marked particulate filtering facepiece respirators. *Ann Occup Hyg.* 2009; 53: 117-128.
22. Rengasamy S, Eimer B, Shaffer RE. Simple respiratory protection-evaluation of the filtration performance of cloth masks and common fabric materials against 20-1000 nm size particles. *Ann Occup Hyg.* 2010; 54: 789-798.
23. Sanchez E. Filtration efficiency of surgical masks. [Tampa]: University of South Florida; 2010.
24. Shin CS. Performance standards of yellow sand masks. Seoul: Korea's Ministry of Food and Drug Safety. 2008.
25. Sinclair D. Penetration of hepa filters by submicron aerosols. *J Aerosol Sci.* 1976; 7: 175-179.
26. U.S. Department of Health and Human Services. *NIOSH guide to the selection and use of particulate respirators certified under 42 CFR 84.* Rosenstock L, MD: Author. NIOSH Publication No. 96-101. 1996.