

## 시중에 판매되는 다양한 비인증 마스크의 분진 포집효율과 안면부 흡기저항 평가

강소현\*  · 김수민\*  · 윤충식\*\*\*  · 이기영\*\*\*† 

\*서울대학교 보건대학원 환경보건학과, \*\*서울대학교 보건환경연구소

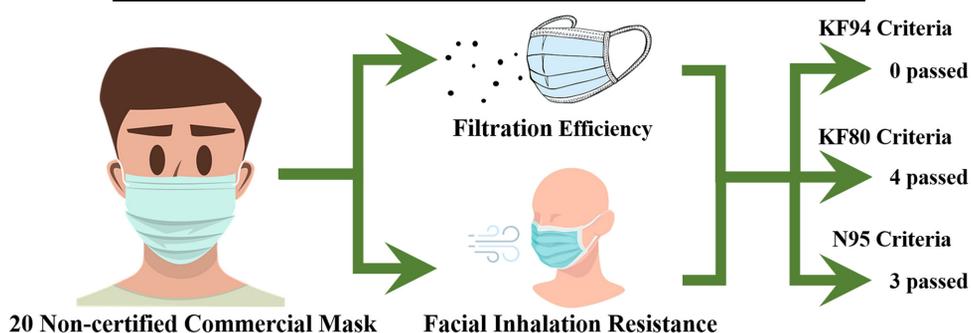
### Evaluation of the Filtration Efficiency and Facial Inhalation Resistance of Various Commercial Masks

Sohyun Kang\*, Soomin Kim\*, Chung Sik Yoon\*\*\*, and Kiyoung Lee\*\*\*†

\*Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Public Health, Seoul National University

\*\*Institute of Health and Environment, Seoul National University

#### GRAPHICAL ABSTRACT



#### ABSTRACT

**Objectives:** Wearing medical masks has been recommended since the declaration of coronavirus disease-19 (COVID-19) as a pandemic disease. Certified medical masks are evaluated according to filtration efficiency and facial inhalation resistance. However, some people use non-certified common masks. This study aimed to evaluate various non-certified commercial masks based on the certification criteria for medical masks.

**Methods:** Twenty mask products (three anti-droplet, three disposable dental, eight fashion, three cotton, and three children's masks) were selected. For performance evaluation, filtration efficiency and facial inhalation resistance tests were conducted. The evaluation method followed the certification method for KF-certified masks of the Ministry of Food and Drug Safety (MFDS) and the N95 respirator of the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

**Results:** None of the 20 masks met the KF94 certification standard set by the MFDS. Four and three masks respectively met the KF80 certification standard and the N95 standard of NIOSH. Filtration efficiency was significantly higher in three-layer masks than in single layer masks. Pleated-type masks had higher filtration

†Corresponding author: Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Public Health, Seoul National University, 1, Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea, Tel: +82-2-880-2735, Fax: +82-2-762-2888, E-mail: cleanair@snu.ac.kr

Received: 24 May 2021, Revised: 15 June 2021, Accepted: 18 June 2021

efficiency than cone-type masks. There was no correlation between the structure of masks and facial inhalation resistance.

**Conclusion:** While no masks complied with the KF94 certification standard, a few masks met the KF80 and the N95 certification standards of NIOSH. Although some people wear non-certified commercial masks, protection from aerosols is not guaranteed by such masks. Evaluation of the protection efficiency of non-certified mask against microbiological infection is needed for the prevention of infectious disease.

**Key words:** Commercial mask, filtration efficiency, facial inhalation resistance, KF-certified mask, N95 respirator, COVID-19

## I. 서 론

코로나바이러스감염증-19 (코로나19)가 전세계적으로 유행하고 있는 상황에서 비약물적 예방효과를 위해 마스크의 사용은 일반적으로 권장되고 있다. 마스크의 사용은 비말의 확산을 막아 바이러스의 전염을 방지하는 데 효과가 있다고 알려져 있다.<sup>1,2)</sup> 비말을 통해 전염이 되는 것을 막기 위해 대한민국 정부에서는 식품의약품안전처(식약처)에서 인증한 보건용 마스크를 사용할 것을 권고하고 있다. 2021년 미국 질병통제예방센터와 세계보건기구는 코로나19의 공기 중 전파가 가능하다고 인정하였고<sup>3,4)</sup> 공기 중 감염을 예방하기 위한 환기와 마스크의 사용이 더욱 중요하게 되었다. 하지만 사람들은 착용 편의성 등을 이유로 보건용 마스크 외에도 다양한 비인증 마스크를 사용하기도 한다.<sup>5)</sup> 이에 식약처에서는 기존의 보건용 마스크보다 통기성이 좋은 KF-AD등급의 비말차단용 마스크 등급을 추가하기도 하였다.

현재 시중에 판매되고 있는 분진 포집효율, 안면부 흡기저항 인증을 받지 않는 마스크(비인증 마스크)는 식약처에서 관리하는 의약외품 마스크와 산업통상자원부에서 관리하는 방한대가 있다. 의약외품 마스크 중 비말차단용 마스크, 수술용 마스크는 성상, 형상, 순도 및 액체저항성 시험 외의 성능시험은 필수적이지 않으며,<sup>6)</sup> 방한대, 면 마스크, 일회용 마스크 등은 안전기준 준수대상으로 유해물질 시험 기준만 존재한다.<sup>7)</sup> 그렇기 때문에 이러한 마스크들은 마스크의 분진 포집효율, 안면부 흡기저항에 관한 인증 없이 시장에 유통되고 있는 실정이다. 또한 실제로 착용했을 때 입자 차단 효율이 검증된 보건용 마스크를 대신해서 사용할 수 있을 만큼 예방차원의 효과가 나타나는지 알려져 있지 않다. 이전 연구 결과, 수술용 마스크, 직접 만든 마스크 등은 모

두 호흡 시 발생하는 에어로졸을 차단하는 효과가 있었으나, 보건용 마스크에 비해 차단 효과가 떨어지는 것으로 나타났다.<sup>8,9)</sup>

시판되는 비인증 마스크들은 재질, 구조가 다양하다. 비인증 마스크의 재료로는 폴리프로필렌 부직포, 폴리에스터, 면 등이 이용된다. 폴리프로필렌 부직포는 주로 정전기를 인가하여 필터 재료로서 사용되고, 폴리에스터는 낮은 흡습성으로 천연 섬유에 비해 많은 정전기를 유지할 수 있다.<sup>10)</sup> 정전기의 증가는 분진 포집효율을 향상시킬 수 있음이 알려져 있다.<sup>11)</sup> 이전 연구에서는 직물 종류와 구조에 따라 입자의 여과효율이 달라짐을 실험적으로 증명하였다.<sup>12)</sup> 또한, 시중에 판매하는 마스크 중에서는 구리 섬유 등을 포함시켜 바이러스 차단 효과가 있음을 광고하기도 한다.

우리나라의 경우 시중에서 어린이를 위한 마스크를 판매하고 있지만 어린이 마스크에 대한 공식적인 기준은 따로 존재하지 않는다. 식약처의 보건용 마스크 인증은 성인 기준으로만 설정되어 있어 어린이에게 적용하기에 어려움이 있다. 대형 보건용 마스크를 어린이들이 사용했을 때 밀착도가 낮고 누설률이 높아 어린이용으로 사용하기 부적합한 것으로 밝혀졌다.<sup>13)</sup> 보건용 마스크를 소형으로 제작하여 대체하고 있는 실정이지만 시험 유량이 성인 기준으로 설정되어 있어 어린이가 착용하기에 답답함을 느낄 수 있기 때문에 기존 시험 유량의 60~70%로 시험해야 한다는 연구 결과도 있다.<sup>14)</sup> 이처럼 어린이의 신체 특성에 맞는 마스크의 인증이 이루어져야 할 필요가 있다.

이번 연구를 통해 보건용 마스크가 아닌 인증되지 않은 마스크의 성능을 보건용 마스크의 인증 기준 중 분진 포집효율, 안면부 흡기저항 기준과 비교하여 방역 효과와 사용 시 호흡의 편의성을 간접적으

로 파악하고자 한다. 시중에 판매하는 20종의 비인 증 마스크를 선정하여 입자가 걸러지는 효율을 알 수 있는 분진 포집효율 평가와 마스크 착용 시 호흡의 편안함에 영향을 주는 안면부 흡기저항 테스트를 실시하였다. 식약처의 보건용 마스크 인증 기준과 미국 국립 산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 N95 호흡보호구 인증 기준의 두 가지 테스트 결과를 비교하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구 대상

연구 대상 마스크로 가정용 섬유제품으로 분류되는 방한대, 일회용 덴탈마스크, 식약처 인증 비말차

단용 마스크를 고려하였다. 비말차단용 마스크 3종, 일회용 덴탈마스크 3종, 패션마스크 8종, 면마스크 3종, 어린이용 마스크 3종으로 총 20종을 연구 대상으로 선정하였다. 이 중 비말차단용 마스크는 의약외품으로 분류되어 있고 나머지는 공산품으로 분류되어 관리되고 있다. 20종의 마스크 중 7가지는 약국에서 판매하는 제품, 6가지는 인터넷에서 판매하는 제품, 나머지 7가지는 접근성이 좋은 소매점(편의점, 드럭스토어, 대형마트)에서 판매하는 제품을 선택하였다. 이 중 인터넷에서 판매하는 제품은 검색 엔진에 검색하였을 때 상위 노출되는 제품을 선정하였고, 약국과 소매점은 직접 방문하여 판매되고 있는 제품을 선정하였다. 선택한 마스크의 재질은 면, 폴리에스터, 폴리우레탄, 폴리프로필렌, 비스코스 등으로 만들어졌으며 한 겹에서 세 겹 이내로 구성되

**Table 1.** Characteristics of subject masks

| Subject ID | Type                   | Legal classification     | Features                      |             |          |          |                    |
|------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------|----------|----------|--------------------|
|            |                        |                          | Material*                     | # of layers | Shape    | Size*    | Price <sup>†</sup> |
| AD1        | Anti-droplet mask      | Non-pharmaceutical items | non-woven polypropylene       | 3           | Pleated  | Large    | Low                |
| AD2        |                        |                          | non-woven polypropylene       | 3           | Tri-fold | Large    | Low                |
| AD3        |                        |                          | non-woven polypropylene       | 2           | Tri-fold | Large    | Low                |
| DI1        | Disposable dental mask |                          | non-woven                     | 3           | Pleated  | Small    | Low                |
| DI2        |                        |                          | non-woven                     | 3           | Pleated  | One size | Low                |
| DI3        |                        |                          | non-woven                     | 3           | Pleated  | Small    | Low                |
| FA1        | Fashion mask           | Industrial products      | polyurethane, polyamide       | 1           | Cone     | One size | Middle             |
| FA2        |                        |                          | viscose                       | 1           | Cone     | One size | Middle             |
| FA3        |                        |                          | polyester, modal <sup>‡</sup> | 2           | Cone     | One size | High               |
| FA4        |                        |                          | polyurethane                  | 1           | Cone     | One size | High               |
| FA5        |                        |                          | polyester                     | 1           | Cone     | One size | High               |
| FA6        |                        |                          | cotton                        | 2           | Cone     | Large    | High               |
| FA7        |                        |                          | polyester <sup>‡</sup>        | 1           | Cone     | Large    | High               |
| FA8        |                        |                          | polyester                     | 2           | Cone     | One size | High               |
| CO1        | Cotton mask            |                          | cotton                        | 2           | Flat     | One size | Middle             |
| CO2        |                        |                          | cotton, viscose               | 2           | Flat     | One size | Middle             |
| CO3        |                        |                          | cotton, polypropylene         | 3           | Flat     | One size | Middle             |
| CH1        | Children's mask        |                          | cotton                        | 2           | Flat     | One size | Middle             |
| CH2        |                        |                          | non-woven polypropylene       | 3           | Pleated  | Small    | Low                |
| CH3        |                        |                          | polyester                     | 3           | Cone     | Small    | High               |

\*The materials and sizes listed are stated on the packaging label.

<sup>†</sup>Price means the price per product. Low means less than 1,000 KRW, middle means between 1,000 KRW and 4,000 KRW, and high means more than 4,000 KRW.

<sup>‡</sup>Copper yarn contained fabric is used for antibacterial effect.



Fig. 1. Example of the shape of the subject masks

어 있었다. 모양은 크게 새부리형(Cone), 주름형(Pleated), 입체형(Tri-fold), 평면형(Flat)으로 나누었다. 이러한 마스크 모양의 예는 Fig. 1로 보였으며, 선정된 연구 대상 마스크의 특징은 Table 1에 요약하였다.

## 2. 분진 포집효율 평가

분진 포집효율 평가는 자동필터 검사장비 Automated filter tester 8130 (TSI)를 이용하여 진행되었다. 시험 방법은 한국 식약처의 보건용 마스크 인증방법(식약처, 보건용 마스크 기준 규격에 대한 안내서(2019))<sup>15)</sup>과 미국 NIOSH의 N95 호흡보호구 인증방법(NIOSH, 42 CFR 84)<sup>16)</sup>을 따랐다. 식약처의 KF94 인증 방법은 NaCl 에어로졸과 파라핀 오일에 대해 시험하도록 되어있으며, NIOSH의 N95 인증 방법은 정전기 중화 처리된 NaCl 에어로졸에 대해 테스트하도록 명시하고 있다.

식약처의 보건용 마스크 분진 포집효율 평가 인증 방법을 고려하여 마스크 본 제품 3개와 온도 38±2.5°C, 습도 85±5 RH%에서 24±1시간 동안 전처리한 마스크 3개를 검체로 사용하였다. 자동필터 검사장비에

서 NaCl 용액을 이용해 에어로졸을 발생시켰다. 발생된 에어로졸의 유량은 95 L/min, 농도는 8±4 mg/m<sup>3</sup>으로 설정하였다. 에어로졸을 발생시킨 후 필터 전후로 에어로졸의 농도를 측정하여 분진 포집효율을 측정하였다. 계산식은 다음과 같다.

$$F(\%) = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100$$

F: 분진 포집효율

C<sub>1</sub>: 마스크 통과 전의 농도

C<sub>2</sub>: 마스크 통과 후의 농도

NaCl 용액을 이용한 방법과 마찬가지로 파라핀 오일을 이용하여 마스크 본품 3개, 전처리한 제품 3개를 평가하였다. 파라핀 오일 에어로졸의 유량은 95 L/min, 농도는 20±5 mg/m<sup>3</sup>로 조절하였다.

NIOSH의 N95 호흡보호구 인증방법을 고려하여 자동필터 검사장비에서 NaCl 용액 에어로졸을 발생시켰다. 발생된 에어로졸의 유량은 85±4 L/min, 농도는 200 mg/m<sup>3</sup>를 초과하지 않도록 설정한 뒤 마스크의 분진 포집효율을 측정하였다.

### 3. 안면부 흡기저항 평가

안면부 흡기저항 평가는 Mask Inhalation Resistance Tester ARE-1651 (ARTPlus)를 이용하여 시행되었다. 시험 방법은 식약처의 보건용 마스크 인증방법(식약처, 보건용 마스크 기준 규격에 대한 안내서(2019))과 NIOSH의 N95 호흡보호구 인증방법(NIOSH, 42 CFR 84)을 따랐다. 식약처의 안면부 흡기저항 평가는 시험용 인두에 착용시켜 공기를 통과시켜 차압을 측정하도록 되어있고, NIOSH의 경우 연속적인 공기 유량을 제공할 수 있는 시험기구에 완전히 밀착시켜 차압을 측정하도록 되어있다.

본 제품 6개를 가지고 3개는 제품 그대로, 나머지 3개는 온도 38±2.5°C, 습도 85±5 RH%에서 24±1 시간동안 전처리한 것을 검체로 사용하였다. 검체의 안면부를 시험용 인두에 착용시켜 식약처, NIOSH의 방법에 따라 공기의 유량을 각각 30 L/min, 85±2 L/min로 설정하였다. 이때 공기가 통과할 때의 차압을 1분간 측정하여 1분 동안 측정된 평균값을 각 검체의 측정 결과값으로 하였다.

### 4. 통계 분석

각 마스크의 종류별로 분진 포집효율 평가와 안면부 흡기저항 평가 결과는 6회씩 측정되었고, 이는 산술평균 값으로 정리되었다. 또한 인증 기준과의 비교를 위해 분진 포집효율 평가 결과 중 가장 작은 값을 대표값으로 정하였고, 안면부 흡기저항 평가결과 중 가장 큰 값을 대표값으로 정하였다. 식약처와 NIOSH 시험방법을 이용한 분진 포집효율 평가 결과의 차이를 확인하기 위해 대응표본 t검정을 시행하였다. 그리고 마스크의 특징 별 결과값의 비교를 위해 일원분산분석 및 사후검정으로 Tukey 검정을 시행하였다. 결과 값의 모든 분석과 그래프 작성은 R 소프트웨어 4.0.5 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)와 Excel 윈도우용 2019 (Microsoft, Washington, USA)을 이용하였다.

## III. 결 과

총 20종의 마스크에 대하여 분진 포집효율, 안면부 흡기저항 평가를 식약처의 보건용 마스크 인증방법과 NIOSH의 N95 인증 방법에 따라 시행하였고, 이 결과를 Table 2에 제시하였다. NaCl 에어로졸을

이용한 식약처 인증 방법에 따른 분진 포집효율 테스트 결과 분진 포집효율의 평균값은 12.5%부터 99.5%까지의 범위로 나타났다. 파라핀 오일 미스트를 이용한 식약처 인증 방법에 따른 분진 포집효율 테스트 결과, 마스크 종류에 따른 분진 포집효율의 평균은 12.8%부터 98.2% 범위로 나타났다. NIOSH의 인증 방법에 따른 분진 포집효율 테스트 결과 14.5%에서 99.7%의 범위로 나타났다. 식약처의 NaCl 에어로졸을 이용한 인증방법과 NIOSH 인증방법을 통해 측정된 분진 포집효율 결과는 대응표본 t검정 결과 p-value가 0.7912로 두 결과 간 유의한 차이는 없었다. 안면부 흡기저항의 경우 측정된 차압이 식약처 인증 방법에서 2.8 Pa에서 87.2 Pa까지, NIOSH 인증 방법에서 9.1 Pa에서 299.5 Pa까지의 넓은 범위로 나타났다.

마스크 종류에 따른 마스크의 분진 포집효율과 안면부 흡기저항의 관계를 Fig. 2로 나타냈다. 마스크의 분진 포집효율(x축)과 안면부 흡기저항(y축)에 KF94와 KF80, N95 마스크 인증 기준을 중심으로 두고 마스크의 종류별로 해당하는 값을 점으로 표시하였다. 제4사분면에 해당하는 마스크의 종류는 분진 포집효율과 안면부 흡기저항 모두 인증 기준을 만족한다. 한국 식약처의 KF94 인증 기준을 만족하는 마스크는 없었고, 미국 NIOSH N95 인증 기준을 만족하는 마스크는 CO3, CH1, CH2가 있었다. 제3사분면은 분진 포집효율과 안면부 흡기저항이 낮은 경우를 의미하며, 본 연구의 조사대상 마스크들은 대부분 이 항목에 해당하였다. 제2사분면은 분진 포집효율과 안면부 흡기저항 모두 기준을 충족시키지 못한 경우인데, 식약처의 KF94 기준으로 FA6과 CH3이 해당 사분면에 포함되었다.

식약처의 KF94 인증 기준은 NaCl 용액 및 파라핀 오일 에어로졸의 분진 포집효율이 94% 이상이며, 안면부 흡기저항이 70 Pa를 넘지 않는 것이다. CO3과 CH1을 제외한 다른 마스크들이 분진 포집효율 기준 94%에 미치지 못하였다. 안면부 흡기저항 항목에서는 대부분 기준을 초과하지 않았지만 FA6, CO3, CH1, CH3은 인증 기준을 초과하였다. 따라서 조사 대상 마스크 중 식약처의 KF94 인증 기준을 충족한 마스크는 없었다. 식약처의 KF80 인증 기준은 NaCl 용액 에어로졸의 분진 포집효율이 80% 이상이며, 안면부 흡기저항이 60 Pa를 넘지 않는 것이

**Table 2.** Filtration efficiency and inhalation airflow resistance using MFDS protocol and NIOSH protocol by mask types

| Subject mask ID | Filtration efficiency (%) |                    |           | Inhalation airflow resistance (Pa) |             |
|-----------------|---------------------------|--------------------|-----------|------------------------------------|-------------|
|                 | MFDS: NaCl †              | MFDS: paraffin oil | NIOSH †   | KFDA                               | NIOSH       |
|                 | mean±SD                   | mean±SD            | mean±SD   | mean±SD                            | mean±SD     |
| AD1             | 87.6±4.3                  | 73.5±7.5           | 84.8±7.4  | 19.1±2.0                           | 72.2±18.4   |
| AD2             | 83.6±2.5                  | 65.9±2.0           | 84.8±1.2  | 13.2±2.3                           | 35.7±1.3    |
| AD3             | 76.7±6.3                  | 60.8±5.3           | 79.9±3.8  | 14.9±3.1                           | 55.8±17.1   |
| DI1             | 92.9±2.2                  | 71.7±9.2           | 87.2±8.9  | 23.2±3.2                           | 101.5±24.8  |
| DI2             | 80.5±6.9                  | 77.0±2.9           | 84.6±7.5  | 26.2±2.1                           | 110.8±82.5  |
| DI3             | 81.9±1.4                  | 72.3±2.2           | 85.1±4.3  | 28.3±5.5                           | 133.0±40.2  |
| FA1             | 24.4±7.5                  | 33.8±10.3          | 28.0±11.0 | 57.9±8.0                           | 176.8±38.8  |
| FA2             | 24.4±5.3                  | 21.9±5.2           | 27.4±7.3  | 45.7±7.5                           | 154.2±65.4  |
| FA3             | 39.9±5.3                  | 33.5±2.5           | 41.4±2.3  | 25.6±7.3                           | 81.9±20.2   |
| FA4             | 12.5±2.0                  | 12.8±1.9           | 14.5±1.6  | 2.8±0.3                            | 9.1±1.0     |
| FA5             | 39.2±1.8                  | 37.0±1.8           | 42.7±3.3  | 63.0±8.6                           | 245.9±44.6  |
| FA6             | 65.4±2.0                  | 57.7±1.7           | 63.3±3.2  | 76.6±20.3                          | 225.2±60.9  |
| FA7             | 25.8±1.1                  | 25.7±1.9           | 25.9±1.3  | 30.5±5.4                           | 168.6±31.5  |
| FA8             | 49.1±4.2                  | 40.7±3.7           | 46.6±2.1  | 16.6±1.2                           | 57.5±7.6    |
| CO1             | 60.3±17.1                 | 43.9±8.4           | 50.0±8.4  | 24.8±8.3                           | 79.3±22.0   |
| CO2             | 62.7±14.3                 | 47.5±12.7          | 45.8±7.3  | 17.7±2.3                           | 68.0±26.9   |
| CO3             | 99.5±0.3                  | 98.2±1.4           | 99.7±0.1  | 84.4±23.9                          | 294.9±110.8 |
| CH1             | 98.3±1.1                  | 97.1±1.2           | 97.1±1.5  | 79.8±34.9                          | 264.7±84.7  |
| CH2             | 94.3±5.1                  | 86.7±7.0           | 96.6±1.2  | 43.9±7.8                           | 112.5±45.8  |
| CH3             | 84.0±4.6                  | 80.5±5.8           | 86.7±5.8  | 87.2±40.4                          | 299.5±87.2  |

\*MFDS means results using the Ministry of Food and Drug Safety test protocol and NIOSH means results using the National Institute for Occupational Safety and Health test protocol.

†P-value between filtration efficiency from MFDS protocol using NaCl and NIOSH protocol was 0.7912.

**Table 3.** The correlation between the number of mask layers and filtration efficiency

| Compared # of mask layers | KFDA |                |              |        | NIOSH |        |
|---------------------------|------|----------------|--------------|--------|-------|--------|
|                           | NaCl |                | Paraffin oil |        | NaCl  |        |
|                           | dF*  | p <sup>†</sup> | dF           | p      | dF    | p      |
| 1 vs. 2                   | 38.9 | 0.0420         | 34.0         | 0.0135 | 40.1  | 0.0025 |
| 1 vs. 3                   | 59.7 | 0.0001         | 49.2         | 0.0008 | 58.4  | 0.0001 |
| 2 vs. 3                   | 20.8 | 0.0975         | 15.2         | 0.2810 | 18.3  | 0.1373 |

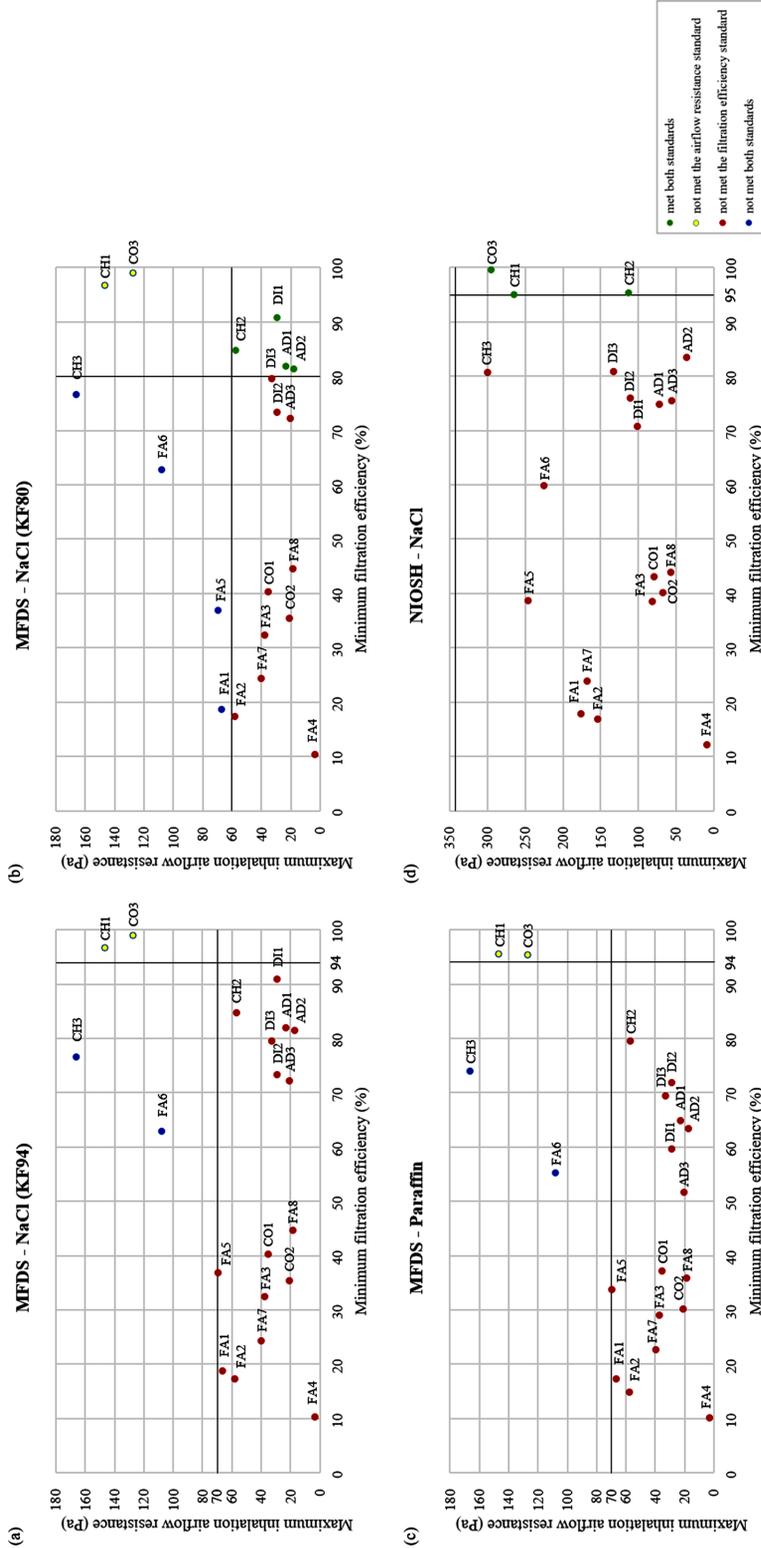
\*dF means the difference in mean of the filtration efficiency

†p means p-value for the multiple comparison

다. AD1, AD2, DI1, CO3, CH1, CH2가 분진 포집 효율 기준을 만족하였다. 안면부 흡기저항 항목에서는 FA1, FA5, FA6, CO3, CH1, CH3를 제외한 나머지 제품들이 인증 기준을 만족하였다. 따라서 조사 대상 마스크 중 AD1, AD2, DI1, CH2가 식약처

의 KF80 기준을 충족한다.

NIOSH의 N95 인증 기준은 분진 포집효율이 95%를 넘어야 하며, CO3, CH1, CH2만 이 기준을 충족시켰다. NIOSH의 안면부 흡기저항 인증 기준은 차압이 35 mmH<sub>2</sub>O (약 343 Pa)를 넘지 않는 것이



**Fig. 2.** Comparisons of filtration efficiency and inhalation airflow resistance limit for each protocol by mask types. (a) Penetration efficiency test results using MFDS NaCl protocol and comparison with KF94 standards. (b) Penetration efficiency test results using MFDS NaCl protocol and comparison with KF80 standards. (c) Results of penetration efficiency test using MFDS paraffin oil protocol. (d) Results of penetration efficiency test using NIOSH protocol.

며, 모든 마스크가 이 기준을 충족하였다. 따라서 CO3, CH1, CH2가 NIOSH의 N95 인증 기준을 충족하였다.

마스크의 층 수에 따른 일원분산분석 결과(Table 3), 마스크의 층 수가 1겹일 때보다 2겹일 때( $p<0.05$ ), 1겹일 때 보다 3겹( $p<0.001$ )일 때 분진 포집효율이 유의하게 증가하였으나, 2겹인 마스크와 3겹인 마스크에는 차이가 유의하지 않았다. 마스크의 모양에 따른 결과는 주름형 마스크가 새부리형 마스크에 비해 분진 포집효율이 유의하게 증가하였고( $p<0.05$ ) 나머지 결과에는 유의한 차이가 없었다. FA3, FA7 은 구리 섬유가 포함되어 있는 마스크였으나 두 제품 다 인증 기준에는 미치지 못하였다. 안면부 흡기저항의 경우 마스크의 특징에 따른 유의한 차이는 보이지 않았다.

#### IV. 고 찰

시중에 유통되고 있는 보건용 마스크 인증을 받지 않은 마스크 들은 대부분 입자차단 성능이 보건용 마스크 KF94 기준에 미치지 못하는 것으로 나타났다. Jang and Kim(2015)은 유사한 분진 포집효율 인증 기준을 공유하는 방진마스크 1급과 유사 마스크 제품(면 및 일회용 마스크)에 대하여 식약처 시험방법을 기반으로 분진 포집효율을 비교하였다. 이 연구에서 유사 마스크 제품은 분진 포집효율이 30% 아래로 나타나는 것으로 보고하였다.<sup>17)</sup> Jung 등(2014)은 황사 차단용으로 사용되는 마스크에 대해 식약처 시험방법과 NIOSH 시험방법을 이용하여 분진 포집효율을 테스트하였고, 입자차단 효율을 인증 받지 않은 의료용 마스크, 일반 마스크, 손수건 등은 식약처 시험방법에 따른 분진 포집효율이 각각 평균 55.3, 37.6, 2.4%로 인증 받은 마스크에 비해 성능이 매우 떨어짐을 보고하였다.<sup>18)</sup>

어린이용 마스크 3개 중 1개가 KF80 기준을 만족하였고 2개가 NIOSH N95 기준을 만족하였다. 그러나 이 기준들은 성인에 대한 기준으로 현재는 어린이용 마스크에 대한 기준이 없다. 시중에 나와있는 어린이용 마스크는 성인용 제품을 축소하여 만드는 경우가 대부분인데, 성인과 어린이는 안면부의 인체 비율, 호흡 특성 등 생리적으로 차이가 있기 때문에<sup>19)</sup> 보건용 마스크 기준을 만족하는 것이 실제 작

용자의 감염 차단에 효과가 있는지는 알 수 없다. 그러므로 어린이 마스크의 국가 규정이 필요하며 어린이용 마스크를 어린이가 착용하였을 때에 역시 성인용 마스크와 같은 감염 차단효과가 있는지 연구가 필요하다.

CO3과 CH1의 경우 다른 제품보다 분진 포집효율이 높으며, 안면부 흡기저항이 큰 것으로 나타났다. 이는 CO3의 경우 면에 폴리프로필렌 필터가 결합된 구조로 이 점에서 다른 제품에 비해 여과 성능이 증가하고 압력손실이 높게 나타났을 가능성이 있다. 또한 CH1의 경우 마스크 표면에 어린이를 위한 캐릭터 프린팅이 되어 있어 같은 현상이 발생한 것으로 보인다.

#### 1. 분진 포집효율 평가

본 실험 결과 마스크의 특징에 따라 분진 포집효율이 크게 차이가 났다. Konda 등(2020)은 핸드메이드 마스크에 사용되는 직물을 대상으로 분진 포집효율 테스트를 실시하였고, 그 결과 직물 종류에 따라 분진 포집효율이 달라짐을 보였다.<sup>12)</sup> 또한 마스크의 층 수가 증가할수록 분진 포집효율이 증가하였는데, 이는 본 실험과 비슷한 경향을 보인다. 같은 마스크 종류에서도 에어로졸의 분진 포집효율 테스트 결과의 편차가 크게 나타났다. 이전 연구에서도 정전기 필터를 포함한 보건용 마스크에 대하여 분진 포집효율 테스트를 한 결과 그 편차가 크지 않게 나타났다으나, 정전기 필터가 포함되지 않은 마스크의 경우 분진 포집효율의 편차가 크게 나타났다.<sup>20)</sup> 이번 연구에서 시험에 사용한 마스크의 경우 대부분 정전기 필터를 포함하고 있지 않아 분진 포집효율 결과의 편차가 크게 나타난 것으로 보인다. 구리 섬유를 포함한 경우 특별히 입자 차단 성능과는 상관이 없었다. 구리의 경우 항균 효과가 있다고 알려져 있기 때문에, 마스크의 장시간 사용 혹은 손의 접촉 등으로 인한 마스크 표면에서의 바이러스 사멸시간을 줄이는 데에는 효과가 있을 수 있다고 예상할 수 있으나, 공기 중 입자의 물리적인 차단 효과는 기대하기 어렵다.<sup>21)</sup>

#### 2. 안면부 흡기저항 평가

안면부 흡기저항의 경우 대부분의 마스크에서 인증 기준을 만족시키는 것으로 나타났다. Jang and

Kim(2015)의 방진마스크 1급과 유사 마스크 제품에 대한 성능평가 연구에서도 안면부 흡기저항은 조사 대상이 된 유사 마스크 모두 식약처 기준을 충족시켰으며 마스크 종류에 따라 저항에 차이가 있는 것으로 보고하였다.<sup>17)</sup> 안면부 흡기저항은 착용시 숨을 들이쉴 때 느껴지는 저항으로 대부분의 비인증 마스크가 숨을 쉬는데 불편함을 느끼지 않는 수준으로 보인다. 그러나, 20개 중 4개의 마스크는 식약처의 인증 기준을 만족시키지 못하였다. 식약처의 평가 기준은 30 L/min의 유속으로 숨을 들이쉴 때에 가해지는 압력으로 일부 마스크는 평상시 호흡에 어려움을 줄 수 있는 수준의 안면부 흡기저항을 보였다.

### 3. 연구의 한계점

본 연구에서는 시중에서 판매하는 20종의 비인증 마스크(분진 포집효율 및 안면부 흡기저항을 평가하지 않는 비말차단용 마스크 3종 포함)에 대해 평가하였다. 선택된 20종의 마스크가 대중들이 사용하는 마스크를 대표한다고 하기는 어렵지만 대형마트, 편의점, 약국, 인터넷 등 사람들이 마스크를 주로 구매하는 장소를 고려하여 자주 구매되는 제품을 선정하였다. 또한 마스크의 사용 용도를 고려하여 비말차단용, 패션용, 어린이용 마스크 등을 다양하게 선정하여 대중들이 사용하는 마스크를 포괄적으로 평가하였다.

본 연구는 성능에 대한 시험기준이 존재하지 않는 비인증 마스크와 식약처의 보건용 마스크, NIOSH의 N95 마스크의 인증 기준을 비교하였다. 인증 기준 자체가 보건용 마스크를 위해 만들어진 것이기 때문에 비인증 마스크와의 비교가 부적절할 수 있다. 하지만 에어로졸 차단 효과가 있는 것으로 알려져 있는 보건용 마스크의 인증 기준과 비교함으로써 현재 유통되는 비인증 마스크의 성능에 대해 간접적인 평가를 하고자 하였다. 결과적으로 연구대상 비인증 마스크는 보건용 마스크에 대부분 미치지 못하였으며, 추후 비인증 마스크에 적합한 관리 방안이 마련될 필요가 있다.

## V. 결 론

시중에서 판매하는 20가지 종류의 비인증 마스크에 대해 분진 여과효율 평가와 안면부 흡기저항을

확인한 결과, KF94 기준을 만족하는 제품은 없었고 몇몇 제품만이 KF80, N95 기준을 만족하였다. 일부 대중들이 방역을 위해 비인증 마스크를 착용하지만 이러한 마스크의 착용이 다른 방역용 마스크처럼 공기 중 에어로졸 입자의 차단 효과를 보장한다고 할 수 없다. 또한 일반적으로 비인증 마스크의 착용이 호흡이 편안할 것이라는 예상과 달리 일부 마스크는 호흡 편의성 측면에서 이점이 있다고 할 수 없었다. 그러므로 방역을 위해 사용되는 비인증 마스크에 대한 관리 방안이 도입될 필요가 있으며, 비인증 마스크의 방역 효과에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## 감사의 글

이 논문은 서울대학교 도부학술장학금, 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원(BK21 FOUR 5199990214126)을 받아 수행된 연구입니다. 또한 실험 장비 지원 및 실험실을 제공해 주신 도부라이프텍(주)에 감사드립니다.

## References

1. Chu DK, Akl EA, Duda S, Solo K, Yaacoub S, Schünemann HJ, et al. Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*. 2020; 395(10242): 1973-1987.
2. Leung NH, Chu DK, Shiu EY, Chan KH, McDevitt JJ, Hau BJ, et al. Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. *Nat Med*. 2020; 26(5): 676-680.
3. CDC. Scientific brief: SARS-CoV-2 transmission. Available: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html> [accessed 16 May 2021]
4. WHO. Coronavirus disease (COVID-19): how is it transmitted? Available: <https://who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted> [accessed 16 May 2021]
5. Kang S, Guak S, Bataa A, Kim D, Jung Y, Shin J, et al. Mask-wearing characteristics an COVID-19 in indoor and outdoor environments in Seoul in 2020. *J Environ Health Sci*. 2020; 46(6): 750-756.
6. MFDS. Regulation on pharmaceuticals approval, notification and review (MFDS Notice 2017-40).

- Ministry of Food and Drug Safety.
7. MOTIE. Enforcement decree of the electrical appliances and consumer products safety control act (KATS Notice 2018-195). Ministry of Trade, Industry and Energy.
  8. Van der Sande M, Teunis P, Sabel R. Professional and home-made face masks reduce exposure to respiratory infections among the general population. *PLoS One*. 2008; 3(7): e2618.
  9. Davies A, Thompson KA, Giri K, Kafatos G, Walker J, Bennett A. Testing the efficacy of home-made masks: would they protect in an influenza pandemic? *Dis Med Public Health Prep*. 2013; 7(4): 413-418.
  10. Perumalraj R. Characterization of electrostatic discharge properties of woven fabrics. *J Textile Sci Eng*. 2015; 6(1): 235.
  11. Zhao M, Liao L, Xiao W, Yu X, Wang H, Wang Q, et al. Household materials selection for homemade cloth face coverings and their filtration efficiency enhancement with triboelectric charging. *Nano Lett*. 2020; 20(7): 5544-5552.
  12. Konda A, Prakash A, Moss GA, Schmoltd M, Grant GD, Guha S. Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks. *ACS Nano*. 2020; 14(5): 6339-6347.
  13. Kim HW, Seo HK, Myong JP, Yoon JS, Song YK, Kim CB. Developing yellow dust and fine particulate masks for children. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*. 2016; 26(3): 350-366.
  14. Seo HK, Kim JI, Yoon JS, Shin DH, Kim HW. Analysis of 3D facial dimensions and pulmonary capacity of Korean children for designing of children's dust masks. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*. 2017; 27(4): 269-282.
  15. NIFDS. Guidelines for the Standards of Health Masks (Civilian Guide). National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. 2018.
  16. NIOSH. NIOSH Guide to the Selection and Use of Particulate Respirators Certified Under 42 CFR 84. National Institute for Occupational Safety and Health. 1996.
  17. Jang JY, Kim SW. Evaluation of filtration performance efficiency of commercial cloth masks. *J Environ Health Sci*. 2015; 41(3): 203-215.
  18. Jung H, Kim JK, Lee S, Lee J, Kim J, Tsai P, et al. 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(3): 991-1002.
  19. Kim K, Kim H, Lee J, Lee E, Kim D. Development of the new 3D test panel for half-mask respirators by 3D shape analysis for Korean faces. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*. 2003; 13(3): 217-225.
  20. Pei C, Ou Q, Kim SC, Chen SC, Pui DY. Alternative face masks made of common materials for general public: fractional filtration efficiency and breathability perspective. *Aerosol Air Qual Res*. 2020; 20(12): 2581-2501.
  21. Gabbay J, Borkow G, Mishal J, Magen E, Zatzoff R, Shemer-Avni Y. Copper oxide impregnated textiles with potent biocidal activities. *J Ind Text*. 2006; 35(4): 323-335.

#### <저자정보>

강소현(학생), 김수민(학생), 윤충식(교수), 이기영(교수)