

보건용 마스크의 분진포집효율, 흡기저항 및 CO₂ 농도

한돈희*† · 김일순**

*인제대학교 보건안전공학과, **(주)도부라이프텍

Dust Collection Efficiency, Inhalation Pressure, and CO₂ Concentration in Health Masks

Don-Hee Han*† and Il Soon Kim**

*Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University

**Chief Executive Officer, Dobu Life Tech Co., Ltd.

ABSTRACT

Objectives: To identify the degree of physical burden, a determination was undertaken of dust collection efficiency, inhalation pressure, and CO₂ concentration related to health masks certified by the Ministry of Food and Drug Safety (MFDS).

Methods: Twenty health masks were purchased on the market. Dust collection efficiency and inhalation pressure were determined in the same manner as in MFDS certification testing, respectively using TSI Model 8130 (TSI, U.S.) and ART Plus (Korea). CO₂ concentrations for 20 subjects using a CO₂ analyzer (G100, G150, Geotechnical Instrument Ltd., UK) were measured with a similar method as a total inward leakage test. In addition to CO₂ levels, dead space volumes in the masks was determined for predicting concentrations of CO₂ in inhalation air.

Results: Most of the dust collection efficiencies found for the 20 masks were far higher than the standard. Four KF94s met KF99 and four KF80s even met KF94. Most inhalation pressures were also much lower than the standard, with many almost one-half of the standard. The mean and standard deviation of CO₂ concentration in the mask were 2.9±0.44%. Considering dead volume, the prediction for CO₂ concentration in the inhalation air was 4,395±1,266 ppm.

Conclusions: For healthy men and women, the dust collection efficiency and inhalation pressure of health masks were not at a level that would affect their health. Although CO₂ levels in the inhalation air were predicted not to affect health, research on the physiological effects of health masks on Koreans is needed for more precise research.

Key words: Health mask, dust collection efficiency, inhalation pressure, CO₂ concentration

I. 서 론

2014년 식품의약품안전처(식약처)에서는 무분별하게 분류되어 일반인들에게 혼란을 일으켰던 황사마스크, 미세먼지 마스크, 방역용 마스크를 하나의 범주로 묶어 「보건용 마스크」로 명명하였다.¹⁾ 보건

용 마스크란 황사, 미세먼지 등 입자성 유해물질 또는 감염원으로부터 호흡기 보호를 목적으로 사용하는 제품이라고 정의하였다.

미세먼지와 황사가 많이 발생하고 있지만 이에 대한 뚜렷한 대책이 없는 우리나라에서 많은 일반인들은 보건용 마스크에 의존하고 있는 실정이다. 최근

†Corresponding author: Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University, Inje-ro 197, Gimhae-si, Gyeongnam-do, Republic of Korea, Tel: +82-55-320-3285, Fax: +82-55-325-2471, E-mail: dhan@inje.ac.kr
Received: 17 December 2019, Revised: 7 February 2020, Accepted: 7 February 2020

연구에 의하면 2019년 3월 5일 기준으로 총 543종의 보건용 마스크가 식약처의 인증을 받아 판매가 되고 있다.²⁾

이렇게 수요가 많다 보니 일부 허위/과장광고가 난무하게 되고 이로 인하여 식약처의 인증을 받은 제품까지도 그 효과가 의심을 받게 되었다. 특히, 최근 일부 마스크를 통하여 환경보건 전문가가 보건용 마스크에 대한 부정적인 기사를 연재하면서³⁾ 소비자들은 보건용 마스크 착용도 그다지 효과가 없는 것처럼 인식하게 되었다. 주요내용은 1) 분진포집효율이 생각보다 크지 않다는 점, 2) 흡기저항이 커서 신체적인 부담을 줌으로 노약자나 임산부에게 보건용 마스크를 착용하는 것이 오히려 건강에 악영향을 줄 수 있다는 것이다. 또 3) 마스크를 착용하므로 착용자가 배출하는 CO₂가 마스크 내에 저류하여 잘 배출되지 않아서 건강상 악영향을 줄 수 있다는 것이다.

Jung 등(2014)의 연구에 의하면⁴⁾ 보건용 마스크 KF94에 대한 분진포집효율은 모든 제품에서 기준치를 만족시키고 있었으나 KF80은 일부 제품에서 기준치를 만족시키지 못하는 것으로 나타나 마스크에서 제시한 내용이 전혀 타당성이 없어 보이지는 않는다. 그러나 같은 연구에서 흡기저항의 경우는 KF94나 KF80 모두 기준치를 충분히 만족시키고 있는 것으로 나타났다. 흡기저항은 특히, 노약자나 어린이에게 신체적 부담을 많이 줄 것으로 예상되지만 아직까지 어린이용 보건용 마스크에 대한 인증기준이 없어 인증기준을 위한 기초연구가 이제 겨우 시작되고 있는 실정이다.⁵⁾ 그렇지만 아직까지 한국인을 대상으로 한 마스크 내 CO₂ 농도를 측정할 연구는 찾지 못하였다.

한편, 현재까지 우리나라 사람들을 대상으로 한 보건용 마스크에 대한 임상적인 실험결과가 발표되지 않아 이 같은 마스크의 주장들은 사실처럼 믿어짐으로 보건용 마스크에 대한 부정적인 이미지가 더욱 커지게 되었다. 따라서 임상적인 연구결과가 발표되기 전에 우선적으로 보건용 마스크가 갖는 객관적인 시험데이터를 발표하는 것은 불필요한 논란을 어느 정도 해소할 것으로 사료된다.

연구의 목적은 식약처에서 인증을 받아 시판되고 있는 보건용 마스크(KF94, KF80)를 수거하여 인증시험과 동일한 방법으로 분진포집효율, 흡기저항과 인증시험항목에는 없는 마스크 내 CO₂ 농도를 측정

하여 신체적 부담에 대한 객관적인 기초자료를 제공하고자 함이다.

II. 연구 방법

1. 대상 보건용 마스크

인증시험을 통과하여 현재 가장 많이 유통되고 있는 보건용 마스크 KF94 10개, KF80 10개를 임의로 구입하였다. KF99는 인증 받아 시중에 유통되는 제품이 거의 1% 수준에 머물고 있기 때문에 이번 연구에서 제외하였다.

2. 분진포집효율

식약처에서 실시하고 있는 인증시험과 고용노동부의 산업용 방진마스크에 대한 인증시험 방법은 동일하므로 이 방법대로 분진포집효율을 측정하였다.^{6,7)} 이번 시험에서는 보건용 마스크를 착용하고 오일 미스트가 있는 작업장에 들어가는 일은 거의 없기 때문에 Paraffin Oil 에어로졸 방법은 생략하고 NaCl 에어로졸방법만 사용하였다. 본 품 6개를 가지고 3개는 제품 그대로, 나머지 3개는 미리 온도 38±2.5°C, 습도 85±5%RH에서 24±1시간 동안 방치한 것을 시험용 검체로 사용하였다. 이때 NaCl 에어로졸의 입경분포는 0.04~1.0 μm이며, 평균입경은 약 0.6 μm이다. 에어로졸의 유량은 분당 95 L이며, 농도는 8±4 mg/m³이다. 판정기준은 6개 측정값 중 하나라도 기준치에 미달하면 부적합으로 판정한다. 측정은 경북테크노파크(경북 경산 소재)에 있는 분진포집효율 측정장비 모델 TSI 8130 (TSI, USA)을 사용하였다.

3. 안면부 흡기저항

현재 식약처에서 실시하고 있는 인증시험과 동일한 방법으로 안면부 흡기저항을 측정하였다.⁸⁾ 본 품 6개를 가지고 3개는 제품 그대로, 나머지 3개는 미리 온도 38±2.5°C, 습도 85±5%RH에서 24±1시간 동안 방치한 것을 시험용 검체로 사용하였다. 시험인두에 착용시킨 다음 공기를 분당 30 L의 연속유량으로 통과시켰을 때의 차압(Pa)을 측정하였다. 판정기준은 6개 측정값 중 하나라도 기준치에 미달하면 부적합으로 판정한다. 측정은 경북테크노파크에 있는 안면부 흡기저항 측정장치(Artplus Co., Ltd., Korea)를 사용하였다.

4. 마스크 내 CO₂

마스크 내 CO₂ 측정은 보건용 마스크 인증시험항목이 아니므로 고용노동부 「보호구 안전인증 고시」의 누설률 시험법을⁷⁾ 응용한 방법으로 시행하였다.

4.1. 대상 시험자 및 검체 마스크

인증시험의 누설률 시험에서는 시험대상자를 선정할 남녀의 인원수 구분이 없으며 얼굴의 크기(Facial dimension) 구분도 없다. 따라서 남녀의 인원수 구분 없이 경북테크노파크에 있는 자원자를 대상으로 여성 또는 남성(깨끗하게 면도하여 턱수염이나 구레나룻이 없는) 10명을 선정하였다. 검체 마스크는 구입 후 포장 제거 직후 그리고 상온 상압에서 1일 방치한 후 전처리 없이 사용하였다.

4.2. 시험방법

러닝머신의 운동조건은 누설률 시험과 같이 6 km/h를 채택하였으며 누설률 시험방법과 달리 여러 가지 운동(Exercises)을 생략하고 정면만 보고 달리도록 하였다. 마스크를 착용하고 운동을 시작한 후, 2분 간격으로 5회 총 10분간 마스크의 안과 밖(챔버 내)의 농도를 동시에 측정하였다. 이때 측정기기로 흡입되는 공기 유량은 100 cc/min이다. 챔버 내 CO₂ 측정에는 측정범위가 0~10,000 ppm인 CO₂ Analyzer(모델 G150, Geotechnical Instrument Ltd., UK), 마스크 내에서는 CO₂ 측정범위가 0~20%인 동일 제조사의 모델 G100을 사용하였다. 기기의 교정은 2019년 3월에 실시하였다. 마스크에 탐침(Probe) 장착은 TSI Portacount(8038, TSI, USA)를 이용하여 밀착도 검사(Fit test)를 실시하는 것과 같이 하였으며 탐침의 위치는 코와 입의 정중앙에 위치하도록 하였다.

5. 마스크 내 사적(Dead space) 부피

사적(死積) 부피란 마스크 착용 후 마스크와 안면 사이 공간의 부피를 말한다. 사적은 착용자의 들숨 공기 중 CO₂ 양을 계산하는데 매우 중요하다. 왜냐하면 사적 안에서 착용자의 날숨 공기 중 CO₂ 양과 마스크 밖에서 마스크 안 즉, 사적 안으로 들어오는 공기 중 CO₂ 양이 혼합되면서 최종적으로 착용자의 들숨 공기 중 CO₂ 양이 결정되기 때문이다. 사적의 측정은 인증시험용 인두에 마스크를 씌운 다음 테이프로 물이 새어나가지 못하도록 철저히 부착한다.



Fig. 1. Photograph to measure dead space

Fig. 1과 같이 인두의 뒷면 튜브에 호스로 수도꼭지와 연결하고 물을 넣은 다음 물이 차면 이 물의 부피를 메스플라스크에 부어 측정하였다.⁸⁾

6. 들숨 공기 중 CO₂ 농도 예측치

보통 성인의 Tidal Volume은 500 mL이다.⁹⁾ 또 사적부피가 크면 들숨 중 CO₂의 농도가 증가한다.^{10,11)} 따라서 마스크 밖 공기 중 CO₂의 농도를 0.03%로 가정하고 사적 안에서 착용자의 날숨 공기와 흡입시 들어가는 마스크 밖 공기가 완전히 혼합된다고 가정하면 착용자의 폐로 유입되는 들숨 공기 중 CO₂의 농도는 대략적으로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{폐로 유입되는 들숨 공기 중 CO}_2\text{의 농도} = \frac{(\text{사적 부피} \times \text{사적 내 CO}_2\text{ 농도}) + (500 - \text{사적 부피}) \times 0.03}{500} (\%)$$

7. 측정기관

마스크 내 사적을 제외한 모든 항목의 측정은 (재) 경북테크노파크에서 실시하였다. 이 기관은 2017년 식품의약품안전처로부터 의약품 등 시험·검사기관 지정을 받았으며 약사법 제2조7호 가목의 의약품에 대한 시험·검사를 할 수 있다.¹²⁾ 가목의 의약품에는 보건용 마스크가 포함되며 보건용 마스크 누설률 시험을 할 때 사람이 피험자가 되므로 기관연 구윤리위원회(IRB)의 심의가 필요하지만 이미 식품의약품안전처로부터 지정기관을 받았기 때문에 지정 기간 안에는 따로 IRB 심의를 받지 아니하여도 된다.

Table 1. Dust collection efficiency by health mask classification (%)

KF Class	No.	Without treatment		Left for one day		Mean±SD			
						Each	All		
KF94	1	99	99	99	99	99	99	99.0	98.0*±1.16
	2	100	99	99	100	100	100	99.7±0.52	
	3	99	99	99	99	99	99	99.0	
	4	97	97	97	96	96	96	96.5±0.55	
	5	99	99	99	99	99	99	99.0	
	6	98	98	98	98	98	98	98.0	
	7	98	98	98	98	98	98	98.0	
	8	96	96	96	96	96	99	96.5±1.22	
	9	97	97	97	97	97	97	97.0	
	10	98	97	97	98	98	98	97.7±0.52	
KF80	11	90	90	90	85	85	84	87.3±2.94	92.8*±4.97
	12	95	95	95	82	82	82	88.5±7.12	
	13	97	97	97	96	96	96	96.5±0.55	
	14	86	86	86	86	86	86	86.0	
	15	99	99	99	99	99	99	99.0	
	16	93	93	94	94	94	94	93.7±0.52	
	17	89	90	90	90	90	91	90.0±0.63	
	18	96	96	96	96	96	96	96.0	
	19	98	98	98	98	98	98	98.0	
	20	93	93	93	93	93	93	93.0	

*Test guideline: KF94; 94%, KF80; 80%

†Test aerosol: NaCl

III. 연구 결과

1. 분진포집효율

분진포집효율은 Table 1과 같다.

분진포집효율의 기준치는 KF94는 94%, KF80은 80%이며 이는 산업용 안면부여과식 마스크의 1급, 2급과 동일하다.^{6,7)}

No 11, 12 특히, No 12는 포장 제거 후 곧바로 시험한 3회 포집효율은 95%인데 1일 방치 후 측정 한 포집효율은 82%로 급격히 떨어졌다. 이는 아마도 습기에 의해 정전기력이 급격히 떨어진 것으로 사료된다. No 11, 12를 제외한 나머지는 마스크에 대한 포집효율은 처리 전 후 큰 차이를 보이지 않았다.

KF94의 경우 개별 마스크에 대한 최저치는 No 4의 96.5±0.55%, No 8의 96.5±1.22%이었고 최고는 No 2의 99.7±0.52%이었다. 4개의 마스크(No 1, 2, 3, 5)는 99.0%이상의 분진포집효율을 갖고 있었으며

검체 10개 대한 총 60회의 검사결과 분진포집효율을 98.0±1.16%이었다. 또 KF80의 경우 개별 마스크에 대한 최저치는 No 14의 86.0%이었고 최고치는 No 15의 99.0%이었다. 10개 검체 중 4개 마스크(No 13, 15, 18, 19)는 KF94의 기준을 만족시키고 있었다. 검체 10개 대한 총 60회의 검사결과 분진포집효율을 92.8±4.97%이었다. 이번 연구에 사용되었던 보건용 마스크는 매우 우수한 분진포집효율을 갖고 있는 것으로 확인되었다.

2. 안면부 흡기저항

안면부 흡기저항은 Table 2와 같다.

검체 No 1의 흡기저항은 1일 방치한 후 시험한 3회 값이 아무처리 없이 포장 제거 후 곧바로 시험한 3회 값보다 유의하게 적게 나왔으나(p<0.05) 나머지는 큰 차이가 없어 6회 값들을 함께 통계처리 하였다. KF94의 경우 기준치는 70 Pa인데 개별 마

Table 2. Inhalation pressure (Pa)

KF Class	No.	Without treatment		Left for one day			Mean±SD		
							Each	All	
KF94	1	28	28	28	15	14	19	22.0±6.78	32.8*±12.43
	2	35	35	38	34	35	35	35.3±1.36	
	3	31	30	29	32	33	33	31.3±1.63	
	4	33	33	33	36	36	35	34.3±1.50	
	5	23	27	28	23	26	29	26.0±2.53	
	6	18	17	14	15	18	13	15.8±2.14	
	7	21	20	20	25	27	26	23.2±3.19	
	8	50	51	61	45	53	60	53.3±6.16	
	9	28	29	32	40	31	42	33.7±5.89	
	10	52	45	60	52	53	55	52.8±4.88	
KF80	11	14	15	15	15	15	15	14.8±0.41	27.2*±10.56
	12	15	15	15	12	12	12	13.5±1.64	
	13	19	26	27	30	29	29	26.7±4.03	
	14	16	19	17	18	19	17	17.7±1.21	
	15	32	34	32	41	33	32	34.0±3.52	
	16	19	22	20	19	21	20	20.2±1.17	
	17	21	23	39	35	36	35	31.5±7.53	
	18	33	27	26	34	35	34	31.5±3.94	
	19	51	38	29	40	34	34	37.7±7.56	
	20	43	43	47	49	40	41	43.8±3.49	

*Test guideline: KF94; 70 Pa, KF80; 60 Pa

스크에 대한 최저치는 No 6의 15.8±2.14 Pa이었고 최고치는 No 10의 52.8±4.88 Pa이었다. 검체 10개에 대한 60회의 흡기저항은 32.8±12.43 Pa이었으며 기준치의 약 1/2 수준이었다. 모든 마스크가 KF94은 물론이고 KF80의 흡기저항까지도 만족시키는 것으로 나타났다. KF80의 경우 기준치는 60 Pa인데 개별 마스크에 대한 최저치는 No 12의 13.5±1.64 Pa이었고 최고치는 No 20의 43.8±3.49 Pa이었다. 검체 10개에 대한 60회의 흡기저항은 27.2±10.56 Pa이었으며 기준치의 약 1/2 수준에도 미치지 아니하였다.

3. 마스크 내 CO₂농도

3.1. 피험자 특성

마스크 내 CO₂ 농도 측정에 참여한 피험자는 Table 3과 같다.

누설물에 준용하는 피험자를 선정하다보니 연령, 나이, 성별의 제한이 없었으며 마스크 한 개당 한 명씩 총 20명이었다. 남자는 15명이었고 나이는

36.5±2.4세, 신장 175.3±3.5 cm, 체중 77.5±5.9 kg이었다. 2015년(7차)에 조사한 한국인 남자 35~39세의 신장 171.9±11.0 cm, 체중 75.1±10.6 kg과 비교했을 때¹³⁾ 피험자의 신장은 약 4.5 cm, 체중은 약 2 kg 큰 편이었다. 여자는 5명이었고 나이는 29.8±0.8세, 신장 166.4±2.4 cm, 체중 56.6±2.1 kg이었다. 2015년(7차)에 조사한 한국인 여자 25~29세의 신장 160.8±4.9 cm, 체중 55.7±7.4 kg과 비교했을 때¹³⁾ 피험자의 신장은 약 5 cm, 체중은 약 1 kg이 큰 편이었다.

3.2. 마스크 내 CO₂ 농도

마스크 내 CO₂ 농도는 Table 4와 같다.

측정 챔버 내 CO₂ 농도는 피험자가 만들어내는 CO₂의 양, 출입 시 희석되는 양 등으로 인하여 변동이 심하였으며 평균±표준편차 1,422±519 ppm이었다. 최종 마스크 내 CO₂ 양은 동 시간대에 측정된 챔버 내 CO₂ 양을 빼서 산출하였다. 또 운동을 시작한 후 2분 동안의 값은 챔버 내 값을 유지하거나 아직 본

Table 3. Characteristics of subjects and masks

No.	Sex	Age	Height (cm)	Weight (kg)	KF Classification
1	Male	37	176	68	
2	Male	34	174	74	
3	Male	34	178	75	
4	Male	35	180	88	
5	Male	33	180	84	
6	Male	34	170	80	KF94
7	Male	35	173	85	
8	Female	30	169	59	
9	Female	29	167	57	
10	Male	37	180	81	
11	Male	39	176	78	
12	Male	40	172	70	
13	Male	41	175	76	
14	Male	38	172	81	
15	Male	37	171	77	
16	Male	36	173	69	KF80
17	Male	37	179	77	
18	Female	29	165	58	
19	Female	30	163	55	
20	Female	31	168	54	
Male	Mean±SD	36.5±2.4	175.3±3.5	77.5±5.9	
Female	Mean±SD	29.8±0.8	166.4±2.4	56.6±2.1	

격적인 CO₂ 배출이 이루어지지 않은 것으로 판단되어 제외하였다.

KF94의 경우 가장 높은 값은 No 2의 3.2±0.22%, 가장 낮은 값은 No 10의 2.4±0.21%이었으며 10명 피험자에 대한 값은 2.8±0.36%이었다. KF80의 경우 가장 높은 값은 No 13의 3.7±0.06%, 가장 낮은 값은 No 19의 2.5±0.14%이었으며 10명 피험자에 대한 값은 3.1±0.44%이었다. KF94, KF80에 대한 총 20명 피험자에 대한 평균과 표준편차는 2.9±0.44%이었다. 피험자 20명에 대한 운동 후 2, 4, 6, 10분 사이 시차별 최고치는 3.6, 3.7, 3.8, 3.8%, 최저치는 2.0, 2.4, 2.3, 2.2%이었고 평균치는 2.8, 2.9, 3.0, 3.0%이었다.

이상의 연구결과는 N95 마스크를 착용한 10명의 피험자를 트레이드 밀에서 1시간 동안 속도 1.7 mile/h (2.72 km/h)로 운동했을 때 3.0±0.2%, 속도 2.5 mile/h (4.0 km/h)로 운동했을 때 3.0±0.5%의 연구결과와 거의 동일한 수준이었다.¹⁴⁾

4. 사적(Dead space)

사적의 부피는 Table 5와 같다. 컵모양 마스크(No 3, 5, 9, 14)의 부피가 접이식모양 마스크의 부피보다 대체로 컸다. 가장 작은 부피는 30 mL, 가장 큰 부피는 107 mL이었고 평균과 표준편차는 66.7±20.6 mL이었다.

5. 들숨 공기 중 CO₂ 농도 예측치

사람의 폐포(Alveolar) 내 CO₂ 양은 5.6%이고 날숨 공기 중 CO₂ 양은 약 5%이다.⁹⁾ 연구결과 사적 안에서 CO₂ 농도가 2.9±0.44%이었다는 것은 날숨 공기 중 5%의 CO₂가 사적 안에서 순간적으로 희석되었다는 것을 알 수 있다. 사적의 부피가 클수록 그리고 사적 내 CO₂ 양이 많을수록 폐로 유입되는 들숨 공기 중 CO₂ 농도는 높을 것이다.^{10,11)} 들숨 공기 중 CO₂ 농도 예측치는 Table 6과 같다.

예상되는 CO₂ 최고치 6,870 ppm, 최저치 2,143 ppm, 평균과 표준편차는 4,395±1,266 ppm이었다. 사

Table 4. CO₂ concentrations in the masks (dead spaces)

No.	KF Class	CO ₂ in the Chamber (ppm)	CO ₂ concentration (%)*						
			Time lag after exercise start (6 km/h)					Total	Except for time lag of 2 min
			2 min	4 min	6 min	8 min	10 min		
1		688±140	0.1	3.3	2.8	3.2	3.1	2.5±1.35	3.1±0.22
2		938±275	0	2.9	3.4	3.3	3.2	2.6±1.44	3.2±0.22
3		996±324	0	2.0	3.1	3.1	3.1	2.3±0.55	2.8±0.55
4		1,159±116	0.3	2.6	2.8	2.4	2.7	2.2±1.05	2.7±0.17
5	KF94	1,777±418	0.4	2.6	2.4	2.6	2.2	2.0±0.93	2.5±0.19
6		2,483±125	0.5	2.8	2.7	2.5	2.7	2.2±0.97	2.7±0.12
7		2,100±61	0	2.3	2.4	2.6	2.6	2.0±1.11	2.5±0.15
8		1,556±114	0	3.3	2.7	2.4	2.6	2.2±1.27	2.8±0.39
9		1,304±58	0	2.9	3.2	3.0	3.0	2.4±1.35	3.0±0.13
10		1,074±128	0	2.1	2.4	2.3	2.6	1.9±1.07	2.4±0.21
11		1,487±99	0.1	2.7	2.8	2.7	2.7	2.2±1.17	2.7±0.05
12		1,418±129	0.1	3.1	3.4	3.6	3.7	2.8±1.51	3.5±0.26
13		1,392±17	0.3	3.6	3.7	3.7	3.6	3.0±1.50	3.7±0.06
14		620±195	0.1	3.0	3.3	3.6	3.2	2.6±1.44	3.3±0.25
15	KF80	1,511±263	0.7	3.4	3.5	3.8	3.8	3.0±1.31	3.6±0.21
16		1,281±61	0	3.1	3.1	3.6	3.3	2.6±1.48	3.2±0.24
17		1,284±19	0	2.8	3.1	3.5	3.0	2.5±1.41	3.1±0.29
18		1,136±95	0	2.6	2.7	2.5	2.7	2.1±1.18	2.6±0.10
19		1,523±151	0.7	2.3	2.6	2.5	2.6	2.1±0.81	2.5±0.14
20		931±79	0.5	3.5	2.8	2.5	2.6	2.4±1.12	2.9±0.45
Mean		1,422	0.2	2.8	2.9	3.0	3.0		
SD		519	0.24	0.45	0.38	0.52	0.42		
Range		539~3,153	0~0.7	2.0~3.6	2.4~3.7	2.3~3.8	2.2~3.8		

*CO₂ concentration (%) is the measurement in the mask minus measurement in the chamber.

적 안 CO₂의 농도는 큰 변화가 없기 때문에 사적의 부피에 따라 폐 유입 공기 중 예상되는 CO₂ 농도는 크게 좌우된다고 할 수 있다. No 8의 사적 부피는 30 mL에 불과하였는데 예상되는 CO₂ 농도는 2,143 ppm인데 반해 No 14는 사적의 부피가 107 mL이었고 예상되는 CO₂ 농도는 6,870 ppm이었다.

IV. 고 찰

한국인을 대상으로 보건용 마스크가 인체에 미치는 생리적인 영향에 대한 연구가 없는 현 시점에서 보건용 마스크에 대한 분진포집효율과 흡기저항을 인증기준과 비교하고 마스크 안의 CO₂ 농도를 측정 한 것은 앞으로 보건용 마스크에 대한 생리적 부담

연구에 매우 의미가 있다고 사료된다.

메스컴에서는 초미세먼지는 포집하기 어렵다고 하였는데³⁾ 시험 에어로졸의 크기가 0.04~1.0 μm이며, 평균입경은 약 0.6 μm를 사용하므로 초미세먼지 기준인 2.5 μm 이하보다 훨씬 작은 입자를 사용하므로 분진포집효율이 좋다면 초미세먼지를 포집하는데 크게 문제가 없다는 것을 알 수 있다. 실제 Rengasmy 등(2009)의 연구에 의하면¹⁵⁾ 우리나라 KF94에 해당하는 유럽 FFP2와 미국 N95 마스크에서 포집이 가장 잘 안 되는 사이즈인 20~100 nm (0.02~0.1 μm) 입자도 95% 이상의 포집효율을 갖는 것으로 밝혀졌다. 연구결과에서 보았듯이 분진포집효율은 기준치보다 높았으며 KF94의 4개의 마스크(No 1, 2, 3, 5)는 99.0% 이상의 분진포집효율을 갖고 있어 KF99

Table 5. Volume of dead spaces of masks

No.	KF Class	Shape	Dead Space (mL)
1		Folder	68
2		Folder	50
3		Cup	80
4		Folder	62
5	KF94	Cup	90
6		Folder	85
7		Folder	40
8		Folder	30
9		Cup	95
10		Folder	65
11		Folder	42
12		Folder	50
13		Folder	89
14		Cup	107
15	KF80	Folder	74
16		Folder	63
17		Folder	44
18		Folder	80
19		Folder	60
20		Folder	60
Mean±SD			66.7±20.6
Range			30~107

의 기준을 만족시키고 있었고 KF80의 4개 마스크 (No 13, 15, 18, 19)는 KF94의 기준을 만족시키고 있었다. 비록 이 연구가 시판되는 일부 마스크에 한정되었지만 현재 식약처의 인증시험을 통과한 보건용 마스크의 분진포집효율은 매우 우수하다고 추측할 수 있다.

흡기저항의 경우도 KF94의 2개(No 8, 9)와 KF80의 2개(No 19, 20)를 제외하면 기준치의 1/2 이하 정도를 만족시키고 있었다. 이는 비록 이 연구가 일부 제품만을 대상으로 하였지만 식약처 인증제품에 대한 흡기저항은 포집효율과 마찬가지로 매우 우수하다고 추측할 수 있다. 흡기저항으로 인한 생리적인 영향으로는 공기교환능력의 저하가 예측된다. KF94와 거의 동등한 N95 (미국기준) 마스크를 14명의 피검자에게 착용시킨 후 변형된 전면형 마스크 같은 장치에 비강기압계와 비강폐활량계로 들숨과 날숨의 공기량을 측정된 결과 흡기저항은 126%, 배

기저항은 124%가 증가하였고 공기교환능력은 37%가 감소하는 것으로 밝혀졌다.¹⁶⁾ 이 같은 연구결과는 보건용 마스크를 착용하면 공기교환능력이 저하될 것으로 예측된다. 보건의료인(Health care worker)에게 N95 마스크를 착용하고 5.6 km/h 트레이드 밀에서 3, 6, 9 mmH₂O (30, 60, 90 Pa)의 흡기저항을 주고 60분 동안 생리적인 영향(측정항목: 심박수, 호흡율, 분량, Tidal volume, 혈중 산소포화도, 고막온도, CO₂ 생산량, 산소섭취량, 환기량, 주관적인 신체운동능력, 흡·배기능, 전반적인 호흡 불편정도)을 측정한 결과 3개 수준의 흡기저항에 따른 주관적이면서 생리적인 영향은 없는 것으로 밝혀졌다.¹⁷⁾ 이상 이전의 연구결과들로 비추어 보건용 마스크가 공기교환능력 저하로 이어질 것은 분명하지만 이것이 곧바로 생리적인 영향으로 이어진다고 단정하기는 어렵다.

사적(死積)이란 마스크와 안면 사이 공간 부피를 말하는 것으로 호흡할 때 들숨과 날숨에 들어있는 가스 농도가 순간적으로 혼합되는 공간이다. 이 부피의 크기는 혼합공기의 CO₂ 농도를 결정하기 때문에 매우 중요하다. 과거 산업용마스크 인증시험에서는 사적부피를 측정하였으나⁸⁾ 현재 산업용 마스크 인증시험에서는 CO₂ 농도를 직접 측정하기 때문에 사적을 측정하지는 않는다. 측정방법 및 기준은 인두에 인공폐를 연결하고 인공폐에 5.0±0.5% (건조기준)의 CO₂를 20분 동안 공급한 후 사적 안에서 CO₂ 농도가 1% 이하여야 한다.⁷⁾ 그렇지만 보건용 마스크에 대한 CO₂ 기준은 없기 때문에 이번 연구에서는 총 누설을 시험과 같이 사람을 대상으로 사적 안 CO₂ 농도를 측정하였고 들숨 공기 중 CO₂ 농도를 예측하였다. 다른 연구들과 마찬가지로 사적 부피가 들숨 중 CO₂의 양은 클 것으로 예상되므로 폐로 유입되는 공기의 CO₂ 농도를 줄이기 위해서는 사적의 부피를 줄여야 한다는 것을 알 수 있다.

Table 6에서 보는 바와 같이 들숨 안에서 예측되는 CO₂ 농도는 평균 약 0.44% (4,400 ppm) 정도이고 범위는 약 0.21~0.69%이었다. 고용노동부의 CO₂에 대한 노출기준은 TWA 0.5%, STEL 3.0%이고¹⁸⁾ 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 제618조에서 규정한 밀폐공간 내 적정공기는 1.5% 미만이다.¹⁹⁾ 보건용 마스크를 착용하고 작업하는 경우가 드물고 또 고용노동부 노출기준은 하루 8시간을 기준으로 만들어졌기 때문에 이들 기준과 비교하였을 때 보건용

Table 6. Expected CO₂ levels of inhalation air in the masks (dead spaces)

KF Class	No.	Dead space (mL)	Means of CO ₂ in dead spaces (%)	Expected CO ₂ level of inhalation air (ppm)
KF94	1	68	3.1	4,475
	2	50	3.2	3,370
	3	80	2.8	5,212
	4	62	2.7	4,107
	5	90	2.5	5,826
	6	85	2.7	5,519
	7	40	2.5	2,756
	8	30	2.8	2,143
	9	95	3.0	6,133
	10	65	2.4	4,291
KF80	11	42	2.7	2,879
	12	50	2.5	3,370
	13	89	3.7	5,765
	14	107	3.3	6,870
	15	74	3.6	4,844
	16	63	3.2	4,168
	17	44	3.1	3,002
	18	80	2.6	5,212
	19	60	2.5	3,984
	20	60	2.9	3,984
Mean		66.7±20.6	2.89±0.38	4,395±1,266
Range		30~107	2.4~3.7	2,143~6,870

마스크 착용으로 인한 들숨 중 CO₂ 농도는 높다고 판단하기 어렵다. 10명의 보건 의료인에게 N95 마스크를 착용하게 하고 2.72, 4 km/h의 속도로 1시간 동안 걷게 한 다음 생리적인 영향을 알아보았다. 2명에게 최고치 P_{CO₂}≥50 mmHg가 나타난 것 외에는 중요한 생리적인 영향은 없었다.²⁰⁾ P_{O₂}와 P_{CO₂}는 폐포에서 환기능을 설명하는데 사용되며 환기가 잘 되면 P_{O₂}는 증가하고 P_{CO₂} 감소하고 환기가 잘 안되면 반대로 나타난다.⁹⁾ P_{O₂}는 100 mmHg 이상, P_{CO₂}는 40 mmHg 이하를 정상으로 보는데 2명에게 최고치 P_{CO₂}≥50 mmHg가 나타난 것은 환기가 잘 안되고 있다는 의미이므로 위 연구에서 2명은 환기능이 잘 안 된다고 할 수 있다.

이상을 종합하여 보면 아직까지 한국인에게 보건용 마스크를 착용하게 하고 생리적 영향을 연구한 것이 없어 예측하기는 어렵지만 보건용 마스크로 인

한 CO₂ 농도 증가는 크게 문제될 것 같지는 않으나 일부 착용자에게서는 환기능에 약간의 지장을 줄 것으로 예상된다. 보건용 마스크에 대한 건강영향을 구체적으로 알기 위해서는 어린이, 임산부, 노약자를 포함하여 다양한 그룹의 한국인에 대한 생리적인 반응에 관한 연구가 필요하다.

그러나 이번 연구는 시판되고 있는 일부 보건용 마스크에 대한 연구이었기 때문에 다음의 제한점이 있다. 1) 전체 보건용 마스크에 대한 분진포집효율, 흡기저항 및 마스크 내 CO₂ 저류정도를 설명하기에는 한계가 있으며, 2) 보건용 마스크에서 총 누설율이 매우 중요하지만 총 누설율을 시험하지 못했다는 점, 3) 인증기준에 없는 CO₂ 농도를 인공폐가 아닌 실제 사람을 피험자로 선정하는 과정에서 노약자나 어린이가 아닌 젊고 건강한 사람만 선정된 점이다.

V. 결 론

20개의 식약처 인증 보건용 마스크에 대한 분진포집효율 결과는 대부분이 기준치보다 우수하였으며 4개의 KF94 인증제품은 KF99 기준을, 4개의 KF80 인증제품은 KF94 기준을 만족시켰다. 흡기저항도 매우 우수하여 거의 대부분에서 기준치의 1/2 이하 수준으로 낮았다. 총 20명 피험자에 대한 마스크 내 CO₂ 농도 평균과 표준편차는 2.9±0.44%이었다. 사적 부피를 감안한 들숨 내 CO₂ 농도 예측치는 4,395±1,266 ppm이었다. 보다 명확하게 보건용 마스크에 대한 인체영향을 알기 위해서는 한국인을 대상으로 한 생리적인 반응 연구가 필요하다.

Disclaimer

이 연구의 결과는 호흡보호구(마스크) 제조업체나 관련 국가기관 등과 이해관계가 상충되지 않습니다.

References

1. MFDS. Notice of Scope for Nonmedical Products (MFDS Notice 2019-86). Ministry of Food and Drug Safety. 2019.
2. Ham S, Choi W-J, Lee W, Kang S-K. Characteristics of health masks certified by the ministry of food and drug safety. *J Environ Health Sci*. 2019; 45(2): 134-141.
3. Yonhapnews. Fine dust: Efficacy of mask (2019. 01. 17). Available: <https://www.yna.co.kr/view/AKR20190117067600502?input=1195m> [accessed 4 July 2019].
4. Jung HJ, Kim JB, 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. *Aero Air Qual Res*. 2014; 14: 991-1002.
5. Seo H, Kim JI, Yoon J-S, Shin D, Kim H. Analysis of 3D facial dimensions and pulmonary capacity of Korean children for designing of children's dust masks. *J Kor Soc Occup Environ Hyg*. 2017; 27(4): 269-282.
6. NIFDS. Guidelines for the Standards of Health Masks (Civilian Guide). National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. 2018.
7. MOEL. Notice of Safety Certification for Personal Protective Equipment (MOEL Notice 2017-64). Ministry of Employment and Labor. 2017.
8. Institute for National Labor Science. Standard of

- Personal Protective Equipment, Particulate Respirator (Notice of Ministry of Labor 84-22). Ministry of Labor. 1984.
9. Schmidt RF, Thews G. *Human Physiology*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag; 1983. p.456-475.
 10. Mundt C, Sventitskiy A, Cehelsky JE, Patters AB, Tservistas M, Hahn MC, et al. Assessing modeled CO₂ retention and rebreathing of a facemask designed for efficient delivery of aerosols to infants. *International Scholarly Research Network ISRN Pediatrics*. 2012; Article ID 721295: 1-10.
 11. Warkander DE, Lundgren CEG. Dead space in the breathing apparatus; interaction with ventilation. *Ergonomics*. 2007; 38(9): 1745-1758.
 12. MFDS. Certificate for Testing Nonmedical Products (MFDS 2017-16). Ministry of Food and Drug Safety. 2017.
 13. KATS. Size Korea. Available: <https://sizekorea.kr/measurement-data/body>. Korean Agency for Technology and Standards [accessed 4 December 2019].
 14. Roberge RJ, Coca A, Williams WJ, Powell JB, Palmiero AJ. Physiological impact of the N95 filtering facepiece respirator on healthcare workers. *Respiratory Care*. 2010; 55(5): 569-577.
 15. Rengasamy S, Eimer BC, Shffer RE. Comparison of nanoparticle filtration performance of NIOSH-approved and CE-marked particulate filtering facepiece respirators. *Ann. Occup. Hyg*. 2009; 53(2): 117-128.
 16. Lee HP, Wang DY. Objective assessment of increase in breathing resistance of N95 respirators on human subjects. *Ann. Occup. Hyg*. 2011; 55(8): 917-921.
 17. Roberge RJ, Kim JH, Powell JB, Shaffer RE, Ylitalo CM, Sebastian JM. Impact of low filter resistances on subjective and physiological responses to filtering facepiece respirators. *PLOS ONE*. Available: www.plosone.org. 2013; 8(12), e84901: 1-7. [accessed 10 December 2019].
 18. MOEL. Notice of Occupational Exposure Limit for Chemical and Physical Factors (MOEL Notice 2018-24). Ministry of Employment and Labor. 2018.
 19. MOEL. Rules on Industrial Safety and Health Standards (MOEL Notice 263). Ministry of Employment and Labor. 2019.
 20. Roberge RJ, Coca A, Williams WJ, Powell JB, Palmiero AJ. Physiological impact of the N95 filtering facepiece respirator on healthcare workers. *Respiratory Care*. 2010; 55(5): 569-577.

<저자정보>

한돈희(교수), 김일순(대표이사)