

# 2급 방진 마스크 밀착도 평가의 중요성



천지영

대한산업보건협회  
산업보건환경연구원  
직업건강연구팀

## 서론

2020년 우리나라 산업재해 현황 중 직업병으로 인한 업무상 질병자 수는 4,784명으로 나타났고, 이 중에서 진폐로 인한 질병자 수는 1,288명, 기타 화학물질중독 104명, 금속 및 중금속 중독 16명, 유기화학물질 중독 15명으로 집계되었다. 전반적으로 호흡보호구와 관련된 업무상 질병자 수가 29.77%로 나타나고 있다<sup>1)</sup>. 이와 관련하여 산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 작업현장에서 발생하는 유해 물질 등을 취급하는 작업이나 산소 결핍시 호흡용 보호구를 지급하도록 규정하고 있다<sup>2)</sup>. 하지만 성능이 좋은 마스크를 착용할지라도 사용자에게 알맞게 제작되지 않았거나 잘못 착용을 할 때에는 마스크의 효율이 현저히 저하될 수 있기 때문에 마스크 사이즈 선택과 올바른 착용 방법이 중요하다.

한편, 호흡보호구 선정·사용 및 관리에 관한 지침(KOSHA GUIDE, H-82-2020)에서는 방진 마스크 밀착도 검사의 정량적 방법으로 공기 중 에어로졸 측정법을 권고하고 있다<sup>3)</sup>. 일회용 마스크의 경우 1급 이상의 여과 효율이 있는 마스크를 이용하여 실시하여야 하고, 밀착도 검사(Fit test)는 밀착성능을 검사하는 것으로 검사 시 여과효율이 99.5%인 특급방진필터로 교체해야 한다.

국내에서는 주로 1급과 2급 방진 마스크를 많이 사용하고 있어 2급 마스크에 대한 밀착도 검사가 필요하며, 영국안전보건청(Health and Safety Executive, HSE)에서도 국내 2급 방진 마스크에 해당하는 FFP1(Filtering Face Piece 1)의 밀착도 검사에 대한 밀착계수(Fit Factor, FF)를 100 이상으로 권고하고 있다<sup>4)</sup>. 2급 방진 마스크는 대부분 일회성 마스크이기 때문에 특급방진필터로 교체하여 밀착도 검사를 실시하는 것은 불가능하지만 잘 착용하고 있는지에 대한 검사는 필요하다. 따라서 본 연구는 2급 방진 마스크를 이용한 밀착도 검사를 실시하여 적합하게 착용하고 있는지 확인할 수 있는 평가 요소를 조사하였다.

## 대상 및 방법

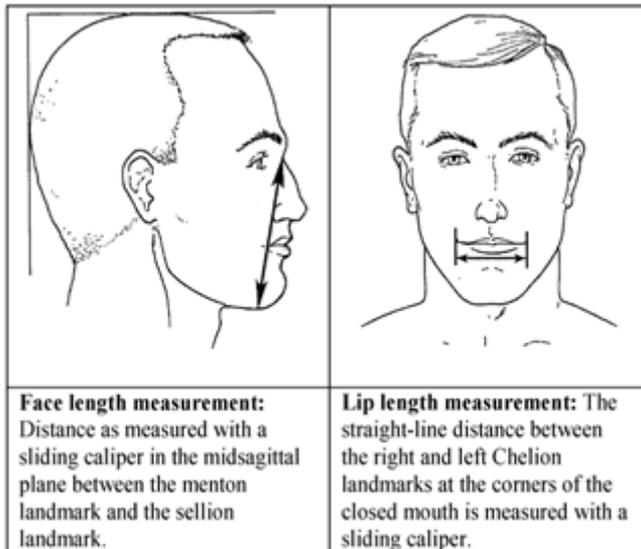
### 1. 연구 대상

본 연구는 모집공고문을 통하여 신체 건강한 성인 남·여(만 19세 이상)를 모집하여 34명을 대상으로 연구를 수행하였다. 연구를 수행하기 전 설명서와 동의서를 통해 연구에 대해 충분히 설명하였고, 검사 전 설문지와 시험참여 신청서를 받은 후 실험을 진행하였다.

연구대상자의 얼굴 치수는 디지털 캘리퍼(SHAHE, Wenzhou Sanhe Measuring Instrument사, China)와 3D 스캐너(EVA, Artec사)를 이용하여 입술 너비(Lip length)와 얼굴 길이(Face length)를 측정하였다. 얼굴에는 다양한 측정 포인트가 존재하지만, 마스크 제품의 크기를 구분하는 입장에서 입술 너비의 기준 양쪽 입아귀 점 사이의 수평거리를 측정하였고, 얼굴 길이는 콧부리 점에서 턱 끝 점까지의 거리를 측정하였다(그림 1). 본 연구에서 두 가지 측정 기구를 사용한 이유는 간단한 측정 포인트의 경우, 접촉식과 비접촉식의 측정 에러가 미치는 영향의 존재를 확인하기 위함이다.

성능이 좋은 마스크를 착용할지라도 사용자에게 알맞게 제작되지 않았거나 잘못 착용을 할 때에는 마스크의 효율이 현저히 저하될 수 있기 때문에 마스크 사이즈 선택과 올바른 착용 방법이 중요하다.

〈그림 1〉 얼굴길이와 입술길이 기준점



### 2. 검사에 사용된 마스크

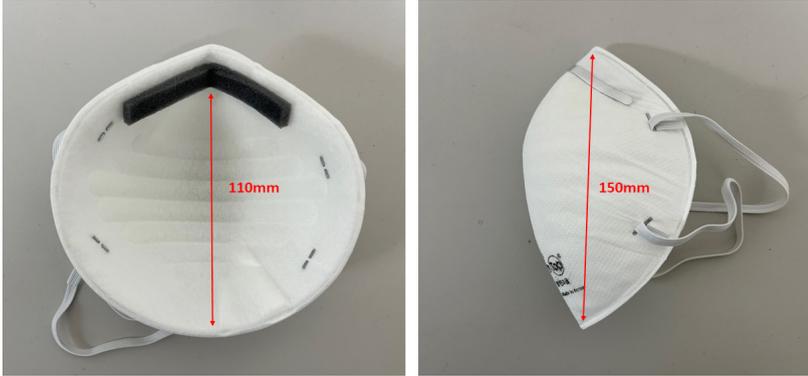
밀착도 검사에 사용한 마스크는 국가통합인증마크(Korea Certification Mark, KC Mark)를 받은 2급 반면형 여과식 마스크 1개의 종류를 사용하였다.

## 널리 보기

: 산업보건학회 우수논문 ②

마스크의 세로 길이는 150 mm이고, 실제 얼굴 면과 닿는 부위의 세로 길이는 110 mm이다<그림 2>.

<그림 2> 마스크 길이



밀착도 검사를 수행하는 장소는 약 33m<sup>2</sup> 의 공간으로 검사 시에는 연구 참여성과 검사자 2명만 있도록 하였으며, 입자발생기는 염화나트륨을 이용하여 초음파를 발생시키는 기기를 사용하였다.

### 3. 검사 환경

밀착도 검사는 MT-05U(Sibata Scientific Technologies Ltd., Nakane Soka-City, Saitama, Japan) 장비를 사용하였다. MT-05U 장비는 기기 내부에 히터가 내장되어 있어 수분이 제거된 건조한 상태의 입자를 광산란 계수 방식(Optical particle counting, OPC)으로 측정하는 장비로 본 연구에서는 95 mode로 입자크기가 0.5  $\mu\text{m}$  이상 입자를 계수할 수 있도록 설정하였다. 또한, 밀착도 검사를 수행하는 장소는 약 33m<sup>2</sup> 의 공간으로 검사 시에는 연구 참여성과 검사자 2명만 있도록 하였으며, 입자발생기는 염화나트륨(Sodium chloride)을 이용하여 초음파를 발생시키는 기기(MONECO, WSISS)를 사용하였다.

### 4. 밀착도 검사

연구 참여성은 착용한 마스크를 바꾸지 않고 연속하여 4회에 걸쳐 밀착도 검사를 실시하였다. 밀착도 검사 방법은 KOSHA GUIDE와 미국직업안전보건청(Occupational Safety & Health Administration, OSHA)에서 제시하는 4단계 방법을 이용하였다. 이 검사방법은 4단계로 나누어져 있으며, 1단계 허리 굽혔다 펴기, 2단계 말하기, 3단계 머리 좌우로 움직이기, 4단계 머리 상하로 움직이기로 1회 검사 소요 시간은 2분 29초다. 연구 참여성은 1회 검사를 마치면 마스크를 착용한 상태에서 약 1분 정도 휴식을 취한 후 다시 검사를 시작하였다.



## 5. 밀착계수 계산 및 평가

운동검사 단계를 나타내는 밀착계수는 마스크 밖의 입자농도와 마스크 안의 입자농도의 비로 계산하였고, 전체 밀착계수(FFA, overall fit factor)는 다음과 같이 계산하였다.

$$1) \quad \text{Fit Factor} = \frac{CO}{CI}$$

CO : 마스크 밖에 입자농도  
CI : 마스크 안에 입자농도

$$2) \quad FF_A = \frac{4}{FF_1 + FF_2 + FF_3 + FF_4}$$

$FF_A$  : 전체밀착계수  
 $FF$  : 운동단계별밀착계수

미국국가표준협회(American National Standards Institute, ANSI) 기준에 따라 밀착계수 값이 100 이상이면 합격으로 판단하였다.

## 6. 자료 분석

자료의 분석은 SPSS system ver.18을 이용하였다. 참여대상자의 일반적 특성에 대해 빈도분석을 실시하였으며, 연구 참여성의 얼굴 치수 비교는 paired t-test 분석을 통해 평균과 표준편차로 나타내었다. 또한, 밀착계수가 Shapiro-wilk test에서 대수정규분포를 하고 있어 기하평균(Geometric mean, GM)과 기하표준편차(Geometric standard deviation, GSD)를 계산하였다. 성별, 운동단계별 밀착계수는 비교를 위해 Kruskal Wallis 검정을 실시하였고, 성별에 따른 밀착도 평가와 얼굴 길이별 밀착도 평가는 카이제곱 검정을 실시하였다.

자료의 분석은 SPSS system ver.18을 이용하였다. 참여대상자의 일반적 특성에 대해 빈도분석을 실시하였으며, 연구 참여성의 얼굴 치수 비교는 paired t-test 분석을 통해 평균과 표준편차로 나타내었다.

## 널리 보기

: 산업보건학회 우수논문 ②

## 결과

### 1. 연구참여성의 일반적 특성

연구에 참여한 총대상자는 34명으로, 남성 23명(68%), 여성 11명(32%)이 참여하였다. 남성 참여성의 평균연령은 33세, 여성 참여성의 평균연령은 29세, 전체 평균연령은 32세로 나타났다.

### 2. 3D 스캐너와 디지털 캘리퍼를 이용한 얼굴 치수 비교

3D 스캐너로 측정한 입술 너비 평균±표준편차는 51.17±5.79, 얼굴 길이의 평균은 126.43±4.25로 나타났다. 디지털 캘리퍼의 입술 너비 평균은 47.89±3.28, 얼굴 길이는 117.03±5.49로 나타났다. 3D 스캐너와 디지털 캘리퍼를 연속하여 측정한 12명의 결과는 <표 1>과 같다.

<표 1> 두 장비 간의 얼굴 치수 비교

(mm)

Classification	n	3D Scanner		Digital Caliper		p-value*
		AM	SD	AM	SD	
Lip length	12	51.17	5.79	47.89	3.28	0.072
Face length	12	126.43	4.25	117.03	5.49	0.000

Abbreviation : AM, arithmetic; SD, Standard deviation

\* : P-value was calculated by paired t-test

### 3. 성별에 따른 운동단계별

밀착계수전체 밀착계수의 기하평균(기하표준편차)은 88.51(2.98)이었으며 남성 74.26(3.08), 여성 128.36(2.54)로 여성의 전체 밀착계수가 통계적으로 유의하게 높았다(p=0.002). 또한, 운동단계별 밀착계수는 Step 3(머리 좌우로 움직이기)가 124.54(2.90)로 가장 높았고, Step 1(허리 굽혔다 펴기)이 73.75(3.51)로 가장 낮은 걸 볼 수 있었다<표 2>.

<표 2> 운동단계별 밀착계수 평가

Classification	GM(GSD)		Total(n=134)	p-value
	Male(n=91)	Female(n=43)		
Overall(FFA)	74.26(3.08)	128.36(2.54)	88.51(2.98)	0.002
Step 1*	63.67(3.79)	100.66(2.77)	73.75(3.51)	0.060
Step 2 †	83.52(2.54)	150.23(2.31)	100.84(2.56)	0.000
Step 3 ‡	102.62(2.79)	187.58(2.81)	124.54(2.90)	0.001
Step 4 §	87.33(3.18)	138.71(2.66)	101.31(3.06)	0.029

Abbreviation : GM, Geometric Mean; GSD, Geometric Standard Deviation

\* : Step 1 : Bending over(50 seconds)

† : Step 2 : Talking(30 seconds)

‡ : Step 3 : Turning head side to side(30 seconds)

§ : Step 4 : Moving head up and down(39 seconds)

|| : P-value was Calculated by Kruskal Wallis

밀착계수전체 밀착계수의 기하평균(기하표준편차)은 88.51(2.98)이었으며 남성 74.26(3.08), 여성 128.36(2.54)로 여성의 전체 밀착계수가 통계적으로 유의하게 높았다(p=0.002).



#### 4. 성별에 따른 밀착계수 합격률 비교

전체 합격은 55.22%, 불합격은 44.78%이었으며, 남성의 합격은 49.45%, 여성의 합격은 67.44%로 여성의 합격률이 높았다<표 3>.

<표 3> 성별에 따른 밀착계수 합격률 비교

Classification	n	Pass(FFA≥100)	Fail(FFA<100)	p-value*
Male	91	45(49.45%)	46(50.55%)	0.038
Female	43	29(67.44%)	14(32.56%)	
total	134	74(55.22%)	60(44.78%)	

Abbreviation : FFA , Overall fit factor  
\* : P-value was chi-squared test

#### 5. 얼굴 길이에 따른 밀착계수 합격률 비교

마스크의 안쪽 얼굴 면과 닿는 부위의 길이를 기준을 얼굴 길이를 110 mm 미만, 110 mm 이상으로 구분하였을 때 얼굴 길이가 110 mm 미만의 합격률이 91.67%, 110 mm 이상의 합격률이 47.27%로 조사되었다<표 4>.

<표 4> 얼굴길이에 따른 합격률 비교

Classification	n	Pass(FFA≥100)	Fail(FFA<100)	p-value*
< 110 mm	24	22(91.67%)	2(8.33%)	0.000
≥110 mm	110	52(47.27%)	58(52.73%)	

\* : P-value was chi-squared test

## 고찰 및 결론

마스크 누설률(Leakage)은 마스크 내부로 오염물질이 침투하는 경로를 말하며, 안면 밀착 부위, 필터, 배기밸브 및 마스크와 끈을 연결한 스테플 부분에서 일어난다. 그중에서 안면 밀착 부위(face seal)가 누설률의 주원인으로 지목되고 있다<sup>5)</sup>. 미국에서는 마스크의 밀착도 검사를 의무화하고 있으며 안면부 여과식 마스크에 대해서 정량적 밀착도 100 이상을 합격 기준으로 규정하고 있다<sup>6)</sup>.

공기 중 에어로졸 측정법에 사용하는 밀착도 검사기기는 이소프로필 알코올 증기가 입자를 응축하여 계수하는 방식(Condensation Nuclei Counter, CNC)의 PotaCount(8048, TSI Inc., Shoreview, MN, USA)와 히터로 수분을 건조한 상태에서 입자를 계수하는 OPC 방식이 있으며 본 연구에서는 OPC 방식의 밀착도 검사기기를 사용하였다. Eoh & Shin(2020) 연구는 이소프로필 알코올 증기가 입자에 응축되는 방식으로 진행이 되어 본 연구를 진행하는 연구 방법과는 차이가 있었다<sup>7)</sup>. 한편, 한국인의 머리 사이즈에 맞는



마스크의 안쪽 얼굴 면과 닿는 부위의 길이를 기준을 얼굴 길이를 110 mm 미만, 110 mm 이상으로 구분하였을 때 얼굴 길이가 110 mm 미만의 합격률이 91.67%, 110 mm 이상의 합격률이 47.27%로 조사되었다.

## 널리 보기

: 산업보건학회 우수논문 ②



마스크를 개발하기 위해 3D 데이터를 이용한 연구가 있다. Park et al.(2021) 연구는 기존에 사이크로리아에서 측정된 자료를 받아 45가지 머리 측정 인체측정학적 데이터를 파악하였다<sup>8)</sup>. 삼차원 머리측정 방법은 수반되는 작업량이 많기 때문에 얼굴 복원 및 처리 시간이 길다는 단점이 있다<sup>9)</sup>.

하지만, 본 연구에서는 착용 마스크의 크기를 중심으로 시험자의 얼굴 형상과의 관계를 먼저 찾는 것이 의미가 있다고 판단하여, 얼굴 측정 포인트 중에서 가장 단순한 두 곳을 접촉식과 비접촉식으로 측정하여 사용하였다.

그 결과 접촉식 기기를 사용하여도 비접촉식 기기만큼 오차가 적었다. 이는 얼굴의 점을 표시하여 정밀하게 얼굴 치수를 측정하였기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구는 처음으로 2급 방진 마스크를 이용하여 밀착도 평가를 실시하였다. 전체 밀착계수가 100 이상인 경우를 합격으로 평가하였을 때, 전체 합격은 55.22%, 남성의 합격은 49.45%, 여성의 합격은 67.44%로 기존 연구의 N95 마스크의 성공률(7.5% ~ 92.5%), 보건용 마스크의 성공률(50%)과 유사하였다.

이 연구에서 여성의 밀착도 합격률이 높았는데 검사에 사용한 마스크의 크기가 여성의 얼굴 길이에 더 적합했기 때문이라 판단된다. 얼굴 길이가 110 mm 미만의 합격률이 110 mm 이상보다 높았는데 110 mm 미만의 얼굴 길이는 남성 23명 중 1명 있고, 여성은 11명 중 3명으로 많았다.

연속하여 총 4회 실시한 밀착도 검사에서 첫 번째 실시한 합격률보다 모두

다양한 연령대로  
연구를 수행한다면  
연령대에 맞게 얼굴  
치수를 고려하여  
제작한 마스크  
제품인지 여부를  
확인할 수 있으며,  
이에 따른 마스크의  
올바른 착용 여부를  
확인할 수 있을 것으로  
본다.



합격률이 높았는데 이는 교육의 효과라고 볼 수 있으며 기존 연구에서도 두 번째 실시한 경우와 교육 후의 합격률이 높았다.

본 연구에서는 1가지 종류의 마스크를 사용하였는데, 다양한 업체의 방진 마스크를 활용한다면 산업별 그리고 현장별로 사용하는 제품에 맞는 평가가 이루어질 것으로 생각된다. 또한, 연구에 참여한 대상자들의 연령대는 주로 20~30대다. 다양한 연령대로 연구를 수행한다면 연령대에 맞게 얼굴 치수를 고려하여 제작한 마스크 제품인지 여부를 확인할 수 있으며, 이에 따른 마스크의 올바른 착용 여부를 확인할 수 있을 것으로 본다. 🐦

참고 문헌

1. 2020년 산업재해 발생 현황. 고용노동부, 2020
2. 산업안전보건기준에 관한 규칙. 고용노동부, 2021
3. Korea Occupational Safety and Health Agency(KOSHA).Guidelines for selection, use and care of respirator.URL: <https://www.kosha.or.kr/kosha/info/searchTechnicalGuidelines.do>
4. Health and Safety Executive(HSE). Guidance on respiratory protective equipment (RPE) fit testing. 2019
5. Bergman MS, Zhuang Z, Hanson D, Heimbuch BK et al. Development of an Advanced Respirator Fit-Test Headform. Journal of Occupational and Environmental Hygiene 2014;11(2):117-125
6. Occupational Health and Safety Act(OSHAct), 29CFR 1910.134, Respiratory protection. Available from : <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134AppA>. 2021
7. Eoh WS, Choi YB, Shin CS. Comparison of Effects of Mask Style and Donning Training on Fit Factors of Particulate Filtering Facepiece Respirators. Journal of the Korean Society of Safety 2016;31(5):35-41
8. Park JK, Kim SD, Cho HM. An Analysis of Three-Dimensional Head Anthropometric Data to Select Respirators for Korean Users. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2021;31(4):521-530
9. Kim Jk, Kim JM, Cho HJ. 3D Face Modeling from a Frontal Face Image by Mesh-Warping. Journal of Korea Multimedia Society 2013;16(1):108-118