

방진마스크의 안면부 누설률에 관한 연구

한돈희[†]

인제대학교 보건안전공학과

Inward Leakage Test for Particulate Filtering Respirators in Korea

Don-Hee Han[†]

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University

(Received Oct. 14, 2004/Accepted Dec. 1, 2004)

ABSTRACT

Korean certification regulation for particulate filtering respirators requires inward leakage (IL) test as European Standards (EN) and the standard levels of regulation are the same as those of EN. This study was conducted to evaluate particulate filtering respirators being commercially used in the market by using IL and assess the characteristics of IL. The study began with discussing the concept of IL, comparison of IL with fit test, and IL measurement method. Three brands of half masks and 10 brands of filtering facepieces (two top class, four 1st class and four 2nd class), total 13 brands respirators, and 10 test panels (subjects) who were classified in 9 facial grids in accordance with face length and lip length, were selected for IL test. IL tests were conducted in the laboratory of 3M Innovation Center which was established by EN standard. As expected ILs of half masks were lower than those of filtering facepiece mask. ILs of half masks and some filtering facepieces were significantly different in manufacturers. ILs of 1st class filtering facepieces were found to be much more than those of 2nd class and thus the result would cause wearers to get confused to select a mask. Four of six brands being no compliance with standards were thought that they should be tested again for certification because of a lot of differences from standards. There were no significant differences among ILs of five exercises. In 6 out of 13 brands lognormal distribution of ILs may be a better fit distribution and in 7 brands both lognormal and normal distributions were rejected. The result indicates that geometric mean may be better than arithmetic mean to establish standard.

Keywords: inward leakage test, respirator, test panel, half mask, filtering facepieces

I. 서 론

호흡기보호구의 일종인 음압 마스크를 착용하였다고 하여 오염물질의 인체 침투가 완전히 차단된 것은 아니다. 만약 착용자의 얼굴과 마스크가 잘 맞지 않으면 그 틈 사이로 적지 않은 오염물질이 새어 들어오게 된다. 착용자의 얼굴은 천태만상인데 형태가 비슷한 몇 가지 마스크가 모든 사람에게 맞을 리가 없다. 이는 마치 기성복의 한 두 사이즈가 모든 사람에게 맞지 않는 이치와 동일하다.

얼굴과 마스크 사이로 오염물질이 새어들어 오는 것

을 측정하는 방법은 두 가지가 있는데 하나는 제작회사가 방진마스크를 개발한 후 판매허가를 받기 위하여 산업안전공단에서 실시하는 안면부 누설률 테스트(Inward Leakage Test)이고 다른 하나는 밀착도 검사(Fit Test)이다.

밀착도 검사는 마스크를 착용하는 사람이 어떤 마스크가 자신의 얼굴에 가장 잘 맞는지를 선별해 줄 수 있는 검사방법으로서 현재 미국, 캐나다, 호주, 뉴질랜드에서는 산업안전보건법으로 정해져 있어서 1년에 반드시 1회 이상 건강검진 하듯이 측정하는 방법이다.^{1,4)} 최근 연구에 의하면 우리나라에서 제작한 마스크가 외국에서 제작한 마스크보다 밀착계수(Fit Factor: FF)가 적게 나와 우리나라 제품이 한국인의 얼굴에 오히려 더 잘 맞지 않는 것으로 밝혀졌다.⁵⁾

우리나라에서는 밀착도 검사를 실시하지 않고 있다.

[†]Corresponding author : Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University
Tel: 82-55-320-3285, Fax: 82-55-325-2471
E-mail : dhan@inje.ac.kr

그 대신 총 누설률(TIL: total inward leakage) 또는 누설률(inward leakage) 테스트를 실시해야 한다.^{6,8)} 밀착도 검사와는 달리 누설률 테스트는 제작회사가 마스크 제작 후 판매허가를 받기 위해 단 한번만 받으므로 매년 실시하는 밀착도 검사와는 달리 착용자에 따라서는 심각한 누설 가능성을 배제할 수 없다.

우리나라의 호흡기보호구 검정규정은 2000년부터 유럽 방식으로 바뀌면서 마스크제작 후 판매허가를 얻기 위해서는 반드시 안면부 누설률 실험을 통과해야 한다.⁸⁾ 안면부 누설률은 2000년부터 법적으로 실시해 오고 있으나 아직까지 이에 대한 연구가 공식적으로 발표된 적이 없어 이에 대한 연구가 필요하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 1) 안면부 누설률과 밀착도 검사의 차이점을 상세하게 비교 분석하여 보고, 2) 현재 우리나라에서 시판되고 있는 방진마스크에 대한 안면부 누설률 실태를 분석하여 보고하는 바이다.

II. 연구방법

1. 안면부 누설률과 밀착도 검사의 차이점에 대한 고찰

안면부 누설률과 밀착도 검사에 대한 차이점을 개념, 측정방법 그리고 제도상의 차이로 구분하여 고찰하였다.

2. 연구대상

1) 방진마스크

제작사에 따라 ① 반면형 외국산 A, 국내산 B, 국내산 C, ② 안면부여과식 특급 외국산 A, 국내산 D, 1급 외국산 A, 국내산 D, 국내산 E, 국내산 F, 2급 외국산 A, 국내산 D, 국내산 E, 국내산 F로 반면형 3개, 안면부여과식 특급 2개, 안면부여과식 1급 4개, 그리고 안면부여과식 2급 4개, 총 13개 제품을 시중에서 구입하였다.

2) 테스트 패널(피검자)

누설률 시험에는 테스트 패널에 대한 특별한 얼굴치

		Lip Length (mm)			
		41.5	47.5	53.5	59.5
Face Length (mm)	133.5	① 1	② 1	③ 1	
	124.5	④ 1	⑤ 2	⑥ 1	
	115.5	⑦ 1	⑧ 1	⑨ 1	
	106.5				

Fig. 1. Ten-test panel (subjects) for this study.

수가 정해져 있지 않으나⁸⁾ 본 연구에서는 연구의 목적상 테스트 패널을 구성하였다. 테스트 패널을 구성하기에 앞서 검정시험에 명시된 대로 Fig. 2와 같이 4개의 얼굴치수를 측정하였다. 이때 측정 도구는 sliding caliper와 spreading caliper 및 줄자를 이용하였다. 측정된 4개의 얼굴치수 중 입술 길이와 얼굴 길이를 이용하여 테스트 패널을 구성하였다. 테스트 패널은 한⁹⁾의 반면형 마스크를 위한 테스트 패널을 기초로 하였다. 반면형 마스크의 경우 테스트 패널에는 남자 16명이 필요하지만 검정시험에는 얼굴치수 및 남녀 구분 없이 10명을 선정하도록 되어 있기 때문에⁸⁾ 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 가운데에 위치한 얼굴치수(grid) ⑤에만 2명으로 배치하고 나머지 얼굴치수에는 모두 각 1명씩 배치하여 총 테스트 패널의 인원은 10명이다. 테스트 패널은 인제대학교 보건안전공학과 남학생들로 구성되었는데 모두 얼굴의 이상 혹은 기형이나 상처 및 수염이 없었다.

3. 안면부 누설률 측정방법

1) 피검자의 얼굴계측

안면부 누설률을 측정하기에 앞서 얼굴 및 두상을 계

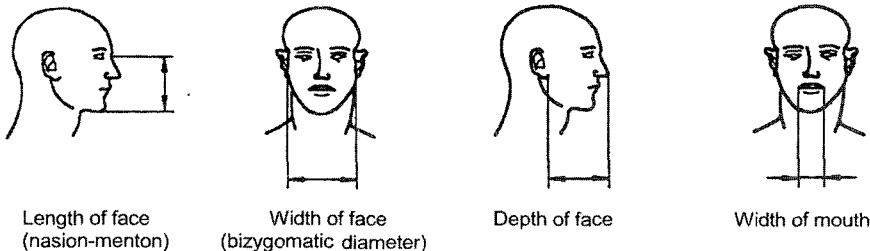
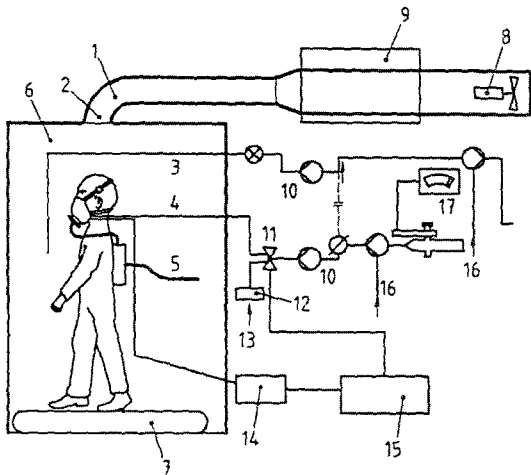


Fig. 2. Four facial dimensions for inward leakage test.

측해야 하는데 측정하는 부위는 Fig. 2와 같다. 이렇게 측정된 데이터를 구체적으로 어떻게 사용하라는 명확한 설명이 없다. 안면이나 두상이 비정상적인 모양을 하는 경우에는 피검자로 선정될 수 없다. 제작자는 측정된 피검자의 얼굴치수 범위를 명시해야 한다.

2) 실험장치 및 시설

안면부 누설을 실험장치 및 시설은 Fig. 3과 같다. 발생장치에서 발생한 염화나트륨 에어로졸이 챔버의 꼭대기로 들어가도록 하고, 그 속도는 최소한 0.12 m/sec의 속도로 피시험자의 머리 위로 직접 흘러내리도록 한다. 염화나트륨 에어로졸의 농도는 균일해야 하고, 속도는 피시험자 머리의 가까운 위치에서 측정되어야 한다. 수동 트레드 밀(tread mill)은 6 km/h에서 작동해야 한다. 안면부와 여과재의 연결 부분에는 시뮬레이터가 사용되며 초정량 연질호스에 의하여 청정공기가 공급되도록 하여야 한다. 안면부에 부착되는 청정공기 호스는 안면부 장착 후에 영향을 주지 않아야 하며, 필요하다면 호스를 고정시켜야 한다. 여과재 시뮬레이터는 그 무게가 500 g이어야 하고, 호스의 압력강하는 분당 95 l의 유량에서 100 mmH₂O이어야 하며, 이 때 압력강하는 호스의 부위에 관계없이 균일하게 분포되어야 한다.



- Key**
- 1 Duct
 - 2 Baffle
 - 3 Enclosure sample
 - 4 Breathing zone sample
 - 5 Breathable air
 - 6 Enclosure
 - 7 Treadmill
 - 8 Fan
 - 9 Atomizer
 - 10 Pump
 - 11 Change-over valve
 - 12 Filter
 - 13 Fresh air
 - 14 Manometer
 - 15 Pulsed sampling interface
 - 16 Additional air (if required)
 - 17 Photometer

Fig. 3. Test arrangement for determination of inward leakage by the sodium chloride method (pulsed sampling method).

3) 피검자 실험과정

㉔ 피검자를 챔버 내로 들어가도록 하고 안면부 내부의 염화나트륨 에어로졸 농도를 측정할 수 있도록 연결관을 연결시킨다. 피시험자는 각 운동별로 6 km/hr의 속도로 2분 동안 걷는다. 보정값을 얻기 위하여 안면부 내부의 염화나트륨 에어로졸 농도를 측정한다.

㉕ 다음 5개의 운동을 피시험자가 계속 걸으면서 실시하며 각 운동마다 누설률은 자동적으로 측정된다.

- ㉖ 머리를 움직이거나 말하지 않고 2분 동안 걷는다.
- ㉗ 터널의 벽면을 조사하는 것처럼 머리를 좌우로 약 2분 동안 15회 정도 움직인다.
- ㉘ 지붕과 바닥을 조사하는 것처럼 머리를 위 아래로 약 2분 동안 15회 정도 움직인다.
- ㉙ 2분 동안 “가나다라마” 문장을 큰 소리로 말한다.
- ㉚ 머리를 움직이거나 말하지 않고 2분 동안 걷는다.

4. 실험방법

한국 3M 기술연구소에 있는 누설률 실험장치와 설비를 이용하였다. 이것은 한국산업안전공단의 안면부 누설률 검정시험장치와 대동소이한 장치와 시설들이다. 이들 장치와 시설들을 다음과 같이 조절하여 실험하였다.

- ① 염화나트륨 시약을 증류수에 용해시켜 2% 염화나트륨 용액을 만든 후 atomizer(SFP services, 영국)를 이용하여 염화나트륨 에어로졸을 발생시킨다. 챔버 내에 들어가는 평균 염화나트륨 에어로졸의 농도는 8±4 mg/m³로 조정하였다. 한편 이 기기가 만들어 내는 에어로졸의 입경 분포는 0.02 μm~2 μm이며, 평균 입경은 약 0.6 μm이다.
- ② 마스크에는 마스크 안과 밖에서 에어로졸의 농도를 동시에 측정할 수 있도록 튜브가 연결되어 있으며 에어로졸은 자동 검사 장비인 photometer (Electron Tubes Limited, 모델 QL30F/RFI, 영국)를 이용하여 측정하였다. 또 호흡량에 따른 에어로졸의 양을 보정하기 위하여 pulsed sampling unit(SFP services, 영국)을 사용하였다.
- ③ 나머지 실험방법은 앞서 언급한 안면부 누설률 실험방법을 그대로 따랐다.

5. 누설률 합격기준

안면부 누설률은 피검자 1명 당 5개의 운동을 실행

Table 1. Standards for inward leakage for half and filtering facepiece masks in Korea

	Half mask	Filtering facepiece mask		
		Top class	1st class	2nd class
Standard (1) : Each of the exercise periods (EEP) (at least 46 out of 50)	≤ 5%	≤ 5%	≤ 11%	≤ 25%
Standard (2) : Individual wearer arithmetic means (IWAM) (at least 8 out of 10)	< 2%	≤ 2%	< 8%	< 22%

Korean standard requires standard (1) and standard (2) simultaneously.

하면서 측정되는데 1개 운동 당 1개의 측정값이 산출되어 1명당 총 5개의 측정값이 산출된다. 이렇게 산출한 것을 개별 운동값(each of the exercise periods: EEP)이라고 하며 10명이 피검자가 되기 때문에 개별 운동값은 총 50개가 만들어 진다. 또 각 피검자의 5개 개별 운동값에 대한 산술평균값을 만들어야 하는데 이것을 개인별 평균값(individual wearer arithmetic mean: IWAM)이라고 한다. 안면부 누설률의 합격기준은 개별 운동값과 개인별 평균값이 따로 정해져 있어서 두 가지를 모두 만족시켜야 한다.

1) 반면형 마스크

개별 운동값 50개 중 46개가 5% 이하이어야 하며 개인별 평균값은 피검자 10명 중 적어도 8명이 2% 이하이어야 한다.^{7,8)}

2) 안면부여과식 마스크

개별 운동값이 50개 중 46개가 특급 5%이하, 1급 11%, 2급 25%이하이어야 하며 개인별 평균값은 피검자 10명 중 적어도 8명이 특급 2%, 1급 8%, 2급 22% 이하이어야 한다.^{7,8)}

이들을 정리하면 Table 1과 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 안면부 누설률 검사와 밀착도 검사의 차이

1) 마스크 내 에어로졸 침투경로에 의한 개념의 차이
우리나라에서는 IL을 안면부 누설률로 번역하여 안면부 누설률이 마치 밀착도 검사로 잘못 인식될 수 있다. 그러나 국내 산업안전보건법의 안면부 누설률은 분명 밀착도 검사와는 다른 것이다. 밀착도 검사에서는 마스크 내 존재하는 에어로졸(오염물질)은 오로지 얼굴과 마스크 접촉면 사이 즉, face seal leakage에 의해 침투한 것으로 가정한다. 이 같은 가정은 역으로 말하면 방진필터를 통과하는 에어로졸은 전혀 없는 것으로 보는 것이다. 이는 밀착도 검사를 할 때 방진필터의 포

집효율이 매우 우수하지 않으면 불가능할 것이다. 따라서 밀착도 검사를 실시할 때는 현재 사용하는 필터의 포집효율이 거의 100%에 가깝다는 증거가 없는 한 고효율필터인 HEPA필터(입경 0.3 μm의 에어로졸 포집효율이 99.97% 이상인 필터)로 교체해야 한다.⁹⁾ 아직 우리나라에서 생산되는 필터는 이 기준을 만족시키는 필터는 없으며 현재 미국의 필터 기준인 N100, R100 그리고 P100이 여기에 해당한다.

반면 안면부 누설률은 마스크 내에 존재하는 에어로졸의 침투 경로가 얼굴과 마스크 접촉면 사이에 의한 것으로만 보는 것이 아니라 모든 경로를 통한 침투로 보는 것이다. 즉, 배기밸브, 방진필터를 통한 침투 및 손상된 부분으로의 침투 등 모두를 포함시킨다. 물론 이중에서 가장 큰 비중은 당연히 얼굴과 마스크 접촉면 사이가 될 것이다. 그러나 배기밸브가 부실하거나 필터의 포집효율이 떨어지면 이들 경로를 통한 에어로졸의 침투도 무시할 수 없을 것이다.

Fig. 4는 안면부 누설률 테스트와 밀착도 검사의 차이를 마스크 내에 침투하는 에어로졸의 침투경로를 통하여 비교한 것이다.

2) 측정방법의 차이

현재 미국 등에서 사용 중인 밀착도 검사의 측정 방

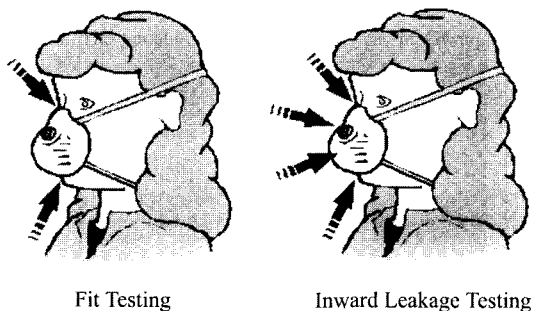


Fig. 4. Difference between inward leakage(IL) test and fit test by routes of aerosol penetration.

법은 크게 정성적인 방법(QLFT: Qualitative Fit Test)과 정량적인 방법(Quantitative Fit Test)으로 나눈다.⁴⁾ QLFT 다시 네 가지가 있는데 1) 방독마스크에 사용되는 냄새를 이용하는 Isoamyl Acetate(바나나 오일) 방법, 2) 방진마스크에 사용하는 단맛을 이용하는 Saccharin 방법과 3) 쓴맛을 이용하는 Bitrex™(Denatonium Benzoate) 방법, 그리고 4) 자극을 이용한 Irritant Smoke(Stannic Chloride)이 그것이다. QLFT는 마스크의 누설여부만 확인하는 것이지 얼마나 많이 누설되는지를 정량적으로 설명하지는 못한다. QNFT는 누설정도를 정량적으로 설명하는 밀착계수(FF)를 산출할 수 있는데 FF가 클수록 밀착이 잘되어 착용자의 얼굴에 잘 맞는 마스크라고 할 수 있다. QNFT는 현재 세 가지 방법이 사용되고 있는데 1) 챔버 내에 에어로졸과 마스크 내의 에어로졸 농도를 비교하는 Generated Aerosol 방법, 2) 공기 중 에어로졸을 이용하는 Ambient Aerosol Condensation Nuclei Counter(CNC) 방법, 그리고 마스크 착용 후 호흡에 의한 압력을 이용하는 Controlled Negative Pressure(CNP) 방법이 그것이다. 밀착도 검사 방법은 Generated Aerosol 방법을 제외하고는 비교적 간단하여 작업현장에서도 사용 가능한 장점을 가지고 있다.

밀착도 검사에 비해 안면부 누설률 측정법은 복잡한 장치가 필요하기 때문에 실험실이 아니면 불가능하다. 측정 장비도 크고 고가인 것이 특징이다(Fig. 3 참조).¹⁰⁾ 안면부 누설률 측정은 밀착도 검사의 Generated Aerosol 방법과 유사하다. 우선 에어로졸이(NaCl)나 가스(SF₆)를 발생시키는 장치가 필요하다. 발생한 에어로졸이나 가스는 챔버 안으로 들어간다. 피검

자는 일정하게 장치된 피검 마스크를 착용하고 챔버 안으로 들어가서 여기서 6 km/h의 속도로 걸게 된다. 걷는 동안에는 작업하는 모양처럼 보통 호흡, 상하좌우 머리 돌리기 등 5개 운동을 실시하는데 이는 밀착도 검사와 매우 유사한 운동이다. 그러는 사이에 챔버 내의 에어로졸 혹은 가스 농도와 마스크 내의 농도를 동시에 측정하여 농도의 비를 산출하게 된다. 특히, 호흡할 때 흡기율(inhalation rate)이 %로 계산되어 흡입할 때 공기량이 보정되므로 동시에 마스크 안과 밖의 에어로졸 농도도 보정되어진다.

3) 제도상의 차이

밀착도 검사는 일정하게 마스크를 착용하고 일하는 근로자는 매년 1회 이상 밀착도 검사를 측정해야 한다. 이는 근로자의 얼굴에 현재의 마스크가 잘 맞는지를 확인하는 것으로 만약 잘 맞지 않는 경우에는 다른 마스크로 교체해야 한다. 그러나 안면부 누설률은 매년 하는 것이 아니고 마스크나 기타 호흡기보호구를 개발하면 판매 허가를 얻기 위한 검정시험을 통과해야 하는데 이때 단 1회만 실시한다.

2. 측정 결과 및 고찰

1) 형태별, 제품별 누설률 비교

Table 2는 마스크 형태별, 제품별 누설율의 차이를 비교한 것이며 아울러 현재 안면부누설률 검정시험 기준 만족 여부를 나타낸 것이다.

예상했던 것처럼 누설률은 반면형 마스크가 안면부 여과식 마스크보다 적게 나타났다. 반면형 마스크의 경우 세 제품 간에 유의한 차이가 있었다(P<0.05). 또

Table 2. Comparison of 10 individual arithmetic means of inward leakages by brands and types

	Half mask	Filtering facepieces		
		Top class	1st class	2nd class
Standard (1)	5%	5%	11%	25%
Standard (2)	2%	2%	8%	22%
A	0.47 ± 1.00(Y)	2.73 ± 7.32(Y)	4.59 ± 10.42(N)	9.53 ± 14.70(Y)
B	1.85 ± 4.73(Y)	-	-	-
C	0.48 ± 0.64(Y)	-	-	-
D	-	7.27 ± 10.34(N)	10.75 ± 15.36(N)	9.80 ± 15.07(Y)
E	-	-	12.10 ± 15.13(N)	4.73 ± 5.54(Y)
F	-	-	12.00 ± 11.68(N)	10.92 ± 18.08(N)
Total	0.93 ± 2.88	5.00 ± 9.20	9.86 ± 13.58	8.75 ± 14.24
P-values	.021*	.013*	.021*	.135

Mean ± Standard Deviation.

Each value was calculated for 50 samples.

"Y" means compliance with Korean certification standards.

"N" means no compliance with Korean certification standards.

안면부여과식 마스크의 경우 특급과 1급에서는 제품 간 유의한 차이가 있었으나($P<0.05$) 2급에서는 유의한 차이가 발견되지 않았다. 제품 A는 50개의 개별 운동에 대한 누설률 평균값이 동일한 형태의 제품과 비교하여 가장 낮게 나타나 가장 우수한 제품임을 알 수 있었다.

안면부여과식 마스크의 경우 특급은 1급과 2급에 비해 전반적으로 누설률이 적게 나왔으나 1급은 예상과는 달리 제품 A를 제외하고는 제품 D, E, F에서 1급 마스크가 2급 마스크보다 누설률이 높게 나타나는 의외의 결과가 나타났다. 어떤 이유로 이 같은 결과가 나왔는지에 대해서는 본 연구에서는 확실치 않으나 다음과 같이 추측할 수 있다. 1급의 포집효율을 2급보다 높이기 위하여 면체(필터)의 겹(layer)을 더 많이 하거나 두께를 두껍게 한다. 그러면 포집효율은 높아지겠으나 호흡할 때 압력이 높아질 것이다. 만약 마스크의 형상이 착용자의 얼굴과 잘 맞지 않을 경우 더 높은 압력 강하로 말미암아 얼굴 피부와 마스크 사이로 누설이 더 심해지게 된다. 그러나 본 연구에서는 압력 강하에 대한 실험을 하지 않았기 때문에 확실한 결론을 내릴 수는 없다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 제품 A를 제외하고 안면부여과식 1급 마스크가 2급 마스크보다 누설률이 높았다는 것은 소비자가 마스크를 선택하는데 매우 우려할 일이며 모두 국내산 마스크라는 점에서 더욱 심각하다고 하겠다.

누설률 검정시험 기준 만족 여부를 비교해 보았다. 반면형 마스크는 3개는 모두 만족시켰으나 안면부여과식 1급은 4개 모두 불만족하였다. 또 안면부여과식 특급은 2개 중 1개, 2급은 4개 중 3개만 만족하였다. 이는 누설률을 통과하여 시판되는 총 13개 마스크 중 절반에 가까운 6개 즉, 46%가 불만족 판정을 받은 결과이다.

이 같은 결과는 산업안전공단의 검정시험 결과와 많은 차이가 있었다. 만약 본 연구실험이 잘못되었다면 비교적 문제의 소지가 경미하다고 하겠으나 반대로 본 연구실험이 문제가 없다면 산업안전공단의 검정시험에 문제가 있거나 아니면 검정규정 자체에 문제가 있다고 볼 수 있다. 이럴 경우 첫 번째 가능성은 산업안전공단의 형식적인 승인이 문제가 될 수 있어 착용자의 건강을 깊이 우려해야 할 것이다. 두 번째 가능성은 아직 국내 마스크 제작 기술이 선진국 수준을 따라 가지 못했음에도 불구하고 검정규정만 선진국 수준으로 지나치게 높게 만들어 놓았을 가능성이 있어 검정규정에 대한 재검토가 이루어져야 할 것이다. 또 세 번째 가능성은 검정시험에는 문제가 없는데 현재 검정규정이 다양

Table 3. Analysis of inward leakages of brands with no compliance with standards

Brand (Filtering facepiece mask)	Standard (1) : EEP 46/50	Standard (2) : IWAM 8/10
Top class D	30/50*	5/10
1st class A	43/50	8/10
D	32/50	6/10
E	31/50	4/10
F	34/50	8/10
2nd class F	40/50	8/10

*This means the number of IL compliances with standards (inward leakage %) out of 50 IL each exercise.

한 얼굴치수를 가진 피검자를 선정해야 한다는 규정이 없기 때문에 우연히 특정한 얼굴치수의 피검자들에게 잘 맞아 합격 판정을 받았으나 금번과 같이 다양한 얼굴치수의 피검자를 대상으로 실험했을 때에는 불합격을 받을 수도 있음을 의미한다.

2) 기준 불만족 제품들에 대한 누설률 분석

Table 3은 현행 기준에 불만족한 제품들에 대해 분석한 것이다. 안면부 여과식 1급 A제품의 경우 개별 기준치는 운동값 50개 중 46개를 만족시켜야 하는데 43개만 만족시켰다. 이 제품은 개인별 평균값은 10개 중 8개를 만족시켜 기준치를 통과하였다. 따라서 이 제품은 비록 기준치를 만족시키지는 못했으나 그 정도가 매우 경미하여 다른 피검자들을 선정했을 경우에는 기준치를 만족시킬 수도 있다고 판정된다. 이보다는 못하지만 안면부 여과식 2급 F도 경미한 차이로 기준치를 만족시키지 못하였다.

그러나 이 둘을 제외한 나머지 4개 제품은 심각한 수준으로 기준치를 만족시키지 못하였다. 이들 제품들이 어떻게하여 산업안전공단의 안면부 누설률 검정시험을 통과하여 시판되고 있는지 많은 의구심이 있으며 이들 제품은 다시 검정시험을 받아야 할 것으로 사료된다. 또 이들 제품들 중에는 개별 운동의 누설률 최대치가 50%(마스크 밖의 오염물질이 100이라면 50이 마스크 안으로 들어온다는 의미)가 넘는 것도 있어 착용자의 얼굴에 잘 맞지 않음을 명확하게 보여주고 있다.

3) 개별 운동 간 누설률 차이

개별 운동값들 즉, 한 피검자가 5개 운동을 수행동안 측정된 누설률 간에 차이가 있는지를 알아보았다. Table 4는 각 마스크의 형태별 5개 운동에 따른 누설률의 차이를 비교한 것이다. 마스크 형태별 그리고 마스크를 구분하지 않고 종합하여 5개 운동에 대한 누설률을

Table 4. Comparison of inward leakages among five exercises by mask type

	Half mask	Filtering facepiece mask			Overall	
		Top class	1st class	2nd class		
No. of total exercises	150	100	200	200	650	
No. of each exercise	30	20	40	40	130	
Exercise	W1*	1.00 ± 3.06	4.01 ± 7.21	13.36 ± 16.02	8.73 ± 13.93	7.64 ± 13.00
	SS*	1.37 ± 5.14	5.98 ± 10.49	10.00 ± 12.45	8.36 ± 14.67	6.88 ± 12.04
	UD*	0.50 ± 0.94	7.19 ± 13.27	8.84 ± 12.74	9.67 ± 15.24	6.92 ± 12.59
	R*	0.98 ± 1.62	4.76 ± 8.44	8.68 ± 14.43	9.05 ± 15.69	6.41 ± 12.63
	W2*	0.81 ± 1.68	3.07 ± 4.57	8.43 ± 11.88	7.92 ± 12.06	5.69 ± 10.04
Total	0.93 ± 2.88	5.00 ± 9.20	9.86 ± 13.58	8.75 ± 14.24	6.71 ± 12.09	
Statistical Significance	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	

*W1: Walking without head movements or talking.

SS: Turning head from side to side.

UD: Moving head up and down.

R: Reciting an agreed text out loud.

W2: Walking without head movements or talking.

ANOVA 테스트로 비교한 결과 통계적으로 유의하지 않았다. 한¹¹⁾의 연구에 의하면 밀착도검사에서 한 피검자가 5개 운동을 시행할 때 말하기 운동은 다른 운동에 비해 밀착이 잘 안 되는 것으로 밝혀졌다. 본 연구는 밀착도 검사는 아니지만 밀착도와 유사한 누설정도를 알아본다는 의미에서 비교해 보면 앞에서의 연구와 다른 결과를 얻었다. 이 같은 결과는 이번 연구에서는 여러 피검자를 대상으로 실시하였기 때문에 앞에서 연구한 1명 피검자의 결과치와 반대의 결과를 얻은 것으로 사료된다. 두 결과를 종합해 볼 때 결국 말하기 특성이나 머리운동에 따라 누설의 정도는 사람마다 다를 수 있다는 것을 알 수 있었다.

통계적으로 유의하지는 않아도 처음 보통호흡을 하면서 걷는 W1과 나중에 운동을 마무리하는 보통호흡의 W2(W1과 동일한 운동)의 평균값을 비교한 결과 W2가 모든 형태의 마스크 및 전체 통합한 overall 값에서 낮게 나와 누설이 적은 것으로 밝혀졌다. 5개 운동을 비교하지 않고 W1과 W2만 비교한 결과에서도 통계적으로 유의하지는 않았다. 그러나 일정하게 모든 마스크에서 처음의 W1보다 나중의 W2 값이 적게 나온 것은 우연히 일치일 수도 있으나 마스크가 시간이 지나 얼굴의 움직임에 따라 얼굴에 달라붙어 밀착이 더 잘 되는 것이 아닌지 추측할 수 있다.

4) 누설률의 분포에 대한 적합도 검증

EN 136,⁶⁾ EN 140⁷⁾ 그리고 노동부의⁸⁾ 안면부누설률 기준은 10명 피검자에 대해 한 피검자 당 5개 운동별 누설률 값(EEP)(총 50개 누설률 값: 10명×5개=50

개)과 5개 운동에 대한 피검자 개인별 산술평균값(TWAM) 총 10개를 가지고 설정한 것이다. 산술평균은 통계량이 정규분포를 한다는 가정하에 만들어진다. 누설률들이 어떤 분포를 하는지 적합도 검증(goodness of fit)을 실시하였다. 피검자 한 사람의 5개 운동별 누설률 값을 가지고 적합도 검정을 실시하여 어떤 분포에 적합하다는 것은 변량이 너무 적어서 큰 의미가 없을 뿐만 아니라 통계 패키지가 적어도 변량 6개 이상을 요구하기 때문에 마스크별 운동별 총 50개의 누설률 값을 가지고 적합도 검증을 실시하였다. 적합도 검증은 통계 패키지 안에 있는 Shapiro-Wilk W Test를 이용하였다.¹²⁾ Table 5는 각 마스크별 누설률에 대한 적합도 검증 결과이다.

13개 brands 중 6개 마스크에서 누설률 값들이 대수정규분포(lognormal distribution)에 더 적합하다는 결과가 나왔다. 나머지 7개 마스크는 대수정규분포를 하고 있지 않으나 그렇다고 정규분포(normal distribution)에 적합하지도 않았다. 이는 누설률 검사와 유사한 밀착도 검사에서 산출한 밀착계수(fit factor)가 정규분포가 아닌 대수정규분포에 가깝다는 이전의 연구들과 일치하는 결과이다.^{13,14)}

따라서 이것은 결과는 비록 운동별 5개 운동별 누설률 값에 대한 적합도 검증은 아니라고 하더라도 전체적인 분포가 주로 대수정규분포에 가깝기 때문에 합격 기준을 산출할 때 5개 운동에 대한 개인별 평균값을 산술평균이 아닌 기하평균(geometric mean)으로 바꾸는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Table 5. Results of goodness of fit for inward leakages by brand

Brand	Half mask	Filtering facepieces		
		Top class	1st class	2nd class
A	Lognormal	Lognormal	Non L Non N	Non L Non N
B	Lognormal	-	-	-
C	Lognormal	-	-	-
D	-	Non L Non N	Non L Non N	Lognormal
E	-	-	Non L Non N	Non L Non N
F	-	-	Lognormal	Non L Non N

Non L Non N: Both lognormal and normal distributions are rejected.

IV. 결 론

국내 방진마스크에 대한 검정 시험에는 안면부 누설률 실험을 하도록 규정하고 있다. 이 규정은 유럽의 EN규정을 그대로 따르고 있는 것으로 실험 후 2년이 지나고 있지만 이에 관한 연구가 전혀 없는 상태이다.

현재 판매허가를 받아서 국내 유통 중인 방진마스크들에 대한 누설률을 허가기관인 산업안전공단과 유사한 실험장치를 이용하여 실험한 후 현행 기준치와 비교하고 누설률이 갖는 여러 가지 특성들을 알아보기 위하여 본 연구를 실시하였다.

예상했던 대로 반면형 마스크의 누설률은 안면부 여과식의 누설률보다 낮았으며 제조업체의 제품간에 차이도 있었다. 안면부여과식 1급 마스크가 2급 마스크보다 누설률이 높게 나타났고 4개 제품 모두 기준치를 만족시키지 못하여 마스크를 선정하는데 혼란을 초래할 것으로 우려된다. 기준치를 만족시키지 못한 6개의 안면부 여과식 마스크 중 2개는 경미한 차이로 만족시키지 못했으나 나머지 4개 제품은 기준치와 심각한 정도로 차이가 많이 나 검정시험을 다시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

모든 마스크에서 5개 운동별 누설률 간 차이는 없었다. 누설률이 대수정규분포에 가깝기 때문에 현재 기준으로 적용하고 있는 5개 운동에 대한 개인별 평균값을 산술평균이 아닌 기하평균으로 바꾸는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2002년도 인제연구장학재단의 연구비로 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. National Institute for Occupational Safety and Health

- (NIOSH) : Guide to industrial respiratory protection (DHHS/NIOSH Pub. No. 87-116), Washington, D.C., p. 123, 1987.
- Standards Australia and Standards New Zealand : AS/NZS 1715, 1716, Respiratory protective devices, selection, use and maintenance of respiratory protective devices, Homebush, NSW 2140 Australia, 1994.
- Canadian Standards Association. Z94.4-93 : Selection, use, and care of respirators. Rexdale, Ontario, Canada, 1993.
- OSHA regulation. CFR(Code of Federal Regulations) - "Respiratory Protection" Title 29, Part 1910.134, 2003.
- 한돈희 : 호흡기보호구의 밀착도 검사와 안면규격 Panel의 개발. 한국산업위생학회, 9(1), 1-13, 1999.
- European Standards : EN 136 Respiratory Protective Devices: Full-face masks; requirements, testing, marking, European Committee for Standardization, 1998.
- European Standards. EN 140 Respiratory Protective Devices : Half-masks, quarter-masks; requirements, testing, marking, European Committee for Standardization, 1998.
- 노동부 : 보호구 성능검정 규정(방진마스크), 고시 제 2003-19호, 2003.
- Han, D. H., Willeke, K. and Colton, C. E. : Quantitative fit testing techniques and regulations for tight-fitting respirators : Current methods measuring aerosol or air leakage, and new developments. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 58(3), 219-228, 1997.
- EN 13274-1:2001: Respiratory protective devices - methods of test - Part I: Determination of inward leakage and total inward leakage, British Standard, 2001.
- 한돈희, Willeke K. : 호흡기보호구 착용시 움직임과 매일 착용에 따른 Fit Factors의 변화. 한국산업위생학회지, 6(2), 176-186, 1996.
- Vos, G. A. and Christie, J. D. : LogNorm 2TM - Statistics for exposure assessment, InTech Software Corp., Industrial Software Solution, Tulsa, OK 74136, 1997.
- Oestenstad, R. K. and Zwissler, A. M. : A comparison of fit provided by natural and silicone rubber facepieces of the same brand of half-mask respirator. *App. Occup. Env. Hyg.*, 6(9), 785-789, 1991.
- Han, D.-H. : Fit factor for quarter masks and facial size categories. *Ann. Occup. Hyg.*, 44(3), 227-234, 2000.