

검정실험 TIL(누설률)에 의한 방진마스크의 평가와 TIL의 적합성에 관한 연구

한 돈 희[†] · 우 상 식 · 정 회 명¹⁾

인제대학교 의생명공학대학 보건안전공학과 · 3M 기술연구소¹⁾

Evaluation of Particulate Respirators by Total Inward Leakage (TIL) and Validity of the Certification Regulation for TIL

Don-Hee Han[†] · Sang Sik Woo · Hoi-Myung Jung¹⁾

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University · 3M Korea Innovation Center¹⁾

Korean certification regulation for particulate respirator requires total inward leakage (TIL) 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 respirator being commercially used in the market by TIL and to evaluate validity of the certification test in Korea. Two full face masks, three half masks and 10 filtering facepieces (two top-class, four 1st-class and four 2nd-class), total 15 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 test. TIL tests were conducted in the laboratory of 3M Innovation Center which was established by EN standard. As expected TILs of full face masks were the lowest in three types and TILs of half masks and filtering facepieces showed statistically significant difference in manufacturers.

It was found that TIL test methodology used in this study seemed to be the lack of sensitivity for full face masks. TILs of 1st class filtering facepieces were found to be much more than those of 2nd class and thus the result would cause a wearer to get confused when selecting a mask. Main causes of leakage for filtering facepieces may be not filter media, but face seal leakage since minimal TILs of individual arithmetic averages were so much lower than standard levels. Therefore it is necessary to develop well-fitting filtering facepieces for Korean. Because TILs were significantly different among facial dimensions, test panel for TIL test should be developed and certification regulations may be thought to be revised.

Key Words: Total inward leakage(TIL), Particulate respirator, Test panel, Facial dimensions, Mask

I. 서 론

오염 물질이 호흡기 보호구 안으로 누

설되는 경로는 다음의 4가지이다(Kolesar 등, 1982) : (1) 필터나 카트리지를 통한 침투 (2) 배기 밸브를 통한 침투 (3) 파손된

부분으로 침투 (4) 마스크가 얼굴과 접촉된 부분으로의 누설, 즉 안면부 누설(face seal leakage)이다.

이중에서 네 번째인 얼굴과 접촉된 부분을 통한 누설 여부를 검사하는 것을 밀착도 검사(Fit Test)라고 하며 이미 미국을 포함한 선진국에서는 이를 법으로 제도화

* 본 연구는 2003년도 산학협동재단의 연구비 지원으로 이루어졌음.

접수일 : 2004년 5월 24일, 채택일 : 2004년 12월 16일

† 교신저자 : 한돈희(경남 김해시 어방동 607 인제대학교 보건안전공학과

Tel : 055-320-3285, E-mail : dhan@inje.ac.kr)

하여 호흡기 보호구를 착용하는 모든 작업자들은 1년에 1회 이상 반드시 밀착도 검사를 받아야 한다(NIOSH, 1987; Canadian Standards Association, 1993; Standards Australia and Standards New Zealand, 1994). 미국의 밀착도 검사에 관한 제도는 이미 20년 전부터 법제화하여 사용되고 있기 때문에 이에 관한 연구가 매우 많으나 그럼에도 불구하고 아직도 연구는 계속되고 있다. Coffey 등(1998, 1999(1))은 3개의 연구논문에서 미국에서 사용 중인 밀착도 방법을 비교 분석하였으며 Coffey 등(2002)은 그 동안 실시하지 않았던 안면부 여과식 방진마스크 조차도 밀착도 검사를 실시해야 한다고 주장하였다. 최근에는 Janssen 등(2002)이 가장 많이 사용되는 3개 밀착도 검사방법을 새로 개정된 ANSI standard에 맞추어 비교 분석하였다.

유럽에서는 밀착도 검사와 유사하지만 측정 방법에서 약간의 차이가 있는 총 누설을 즉, TIL(Total Inward Leakage Test)이라는 방법을 사용하고 있다. 호흡기 보호구를 개발한 후 판매허가를 받기 위해서는 반드시 검정시험인 TIL을 통과해야 한다(European Standards, 1989). TIL과 밀착도 검사의 근본적인 차이는 보호구 내 누설정도를 밀착도 검사는 단지 안면부 누설(face seal leakage)만 보는 것이고 TIL은 안면부 누설뿐만 아니라 모든 경로의 침투 즉, (1) 필터나 카트리지를 통한 침투 (2) 배기 밸브를 통한 침투, (3) 파손된 부분으로 침투 (4) 마스크가 얼굴과 접촉된 부분으로의 누설 등 모두를 포함시킨다는 것이다. TIL은 주로 유럽에서 적용하다 보니 이에 대한 연구는 밀착도 검사에 관한 연구만큼 이루어지지는 않았지만 이것 역시 최근까지 연구가 진행되고 있다. Collins(1995)는 밀착도 검사와 TIL의 장단점과 한계성에 관하여 비교 분석하였으며 Wallaart(1997)는 TIL 실험 시 분당 공기 흡입량을 treadmill을 이용하여 보정할 수 있다고 하였다.

국내에서는 밀착도 검사에 관한 법적인 제도는 없으나 2000년 7월 1일부터 새로 개정된 호흡기보호구 검정시험이 유럽 규

격을 그대로 준용하면서 유럽과 같은 안면부 누설률 실험을 실시하여 실험을 통과한 마스크만 판매를 허가하고 있다(노동부, 2000).

TIL을 안면부 누설률로 번역하여 안면부 누설률이 마치 밀착도 검사로 착각할 수 있다. 그러나 국내 산업안전보건법의 안면부 누설률은 분명 밀착도 검사가 아니다. 왜냐하면 국내의 안면부 누설률 실험 시 필터를 교환하지도 않아(밀착도 검사에서는 필터를 통한 침투를 완전 배제하기 위하여 포집효율이 가장 낮은 입경 $0.3\mu\text{m}$ 의 에어로졸 포집효율이 99.97% 이상 필터로 교환) 필터를 통한 침투도 포함시키기 때문이다. 따라서 이와 같은 혼동을 주지 않기 위하여 국내 산업안전보건법에서 언급한 안면부 누설률을 본 연구에서는 “안면부”를 빼고 원문대로 “검정시험 TIL” 혹은 “총 누설률(누설률)”로 사용하기로 하였다.

밀착도 검사와는 달리 검정규정에 안면부 누설률 실험을 시행하도록 만들어 놓았음에도 불구하고 아직까지 국내에서는 검정시험 TIL에 의한 방진마스크의 평가에 관한 어떠한 연구도 발표된 적이 없다. 특히, 검정시험을 통과한 마스크들이 과연 이 시험을 제대로 실시하였는지도 의문이다. 왜냐하면 아직까지 안면부 누설률 실험 결과가 발표된 적도 없고 실험을 실시하였다고 하더라도 영업상 비밀로 하기 때문이다. 따라서 이 제도가 본격적으로 실시된 지 2년이 지난 이 시점에서 이 제도가 본래의 목적과 취지에 알맞게 시행되고 있는지 그 타당성에 대한 연구

가 필요하게 되었다.

본 연구의 목적은 첫째, 검정시험 TIL을 실시한 후 새로 허가 받아 판매되고 있는 방진마스크들에 대한 실험 통과 실태를 파악하고자 한다. 둘째, 얼굴치수와 누설정도를 통계적으로 분석하여 특정 얼굴치수의 피검자로 구성된 테스트 패널(test panel)이 필요한지 그 타당성을 분석하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

1) 방진마스크

① 전면형 방진마스크 외국산 A, 국내산 B, ② 반면형 외국산 A, 국내산 B, 국내산 C, ③ 안면부여과식 특급 외국산 A, 국내산 D, 1급 외국산 A, 국내산 D, 국내산 E, 국내산 F, 2급 외국산 A, 국내산 D, 국내산 E, 국내산 F로 전면형 2개, 반면형 3개, 안면부여과식 특급 2개, 안면부여과식 1급 4개, 그리고 안면부여과식 2급 4개, 총 15개 제품을 시중에서 구입하였다. 안면부여과식 마스크는 모두 컵 모양이었다. 이들은 모두 한국산업안전공단에서 실시하는 총 누설율 테스트를 통과하여 시중에 유통되는 제품들이다.

2) 테스트 패널(피검자)

국내 호흡기보호구 검정시험(노동부, 2000)에는 테스트 패널에 대한 특별한 얼굴치수가 정해져 있지 않으나 본 연구에

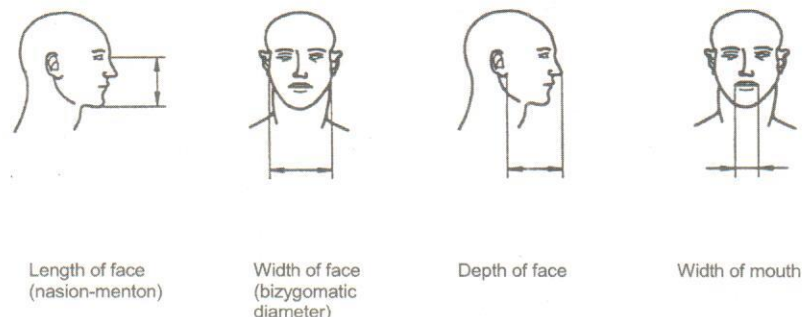


Fig 1. Four facial dimensions measured

서는 연구의 목적 상 테스트 패넌을 구성하였다. 테스트 패넌을 구성하기에 앞서 검정시험에 명시된 대로 그림 1과 같이 4개의 얼굴치수를 측정하였다. 이때 측정 도구는 sliding caliper와 spreading caliper 및 줄자를 이용하였다.

측정한 4개의 얼굴치수 중 입술 길이와 얼굴 길이를 이용하여 테스트 패넌을 구성하였다. 테스트 패넌은 한돈희(1999)의 반면형 마스크를 위한 테스트 패넌을 기초로 하였다. 반면형 마스크의 경우 테스트 패넌에는 남자 16명이 필요하지만 검정시험(노동부, 2000)에는 얼굴치수 및 남녀 구분 없이 10명을 선정하도록 되어 있기 때문에 본 연구에서는 그림 2와 같이 가운데에 위치한 얼굴치수(grid) ⑤에만 2명으로 배치하고 나머지 얼굴치수에는 모두 각 1명씩 배치하여 총 테스트 패넌의 인원은 10명이다. 테스트 패넌로는 얼굴의 기형이나 상처 및 수염이 없는 인제대학교 보건안전공학과 남학생 10명으로 하였다.

2. 실험방법

1) 실험장치 및 시설

그림 3은 한국 3M 기술연구소에 있는

TIL 실험을 위한 장치와 설비이다. 이것은 유럽에서 실시하고 있는 TIL 검정시험 장치(EN 13274-1, 2001)와 동일한 것으로 유럽 3M 기술자문을 받아 설치한 것이며 현재 한국산업안전공단의 안면부 누설률 검정시험장치와 대동소이한 장치와 시설들이다. 이들 장치와 시설들은 다음과 같은 특성을 가진다.

① 실험환경 : 염화나트륨 에어로졸이 챔버의 꼭대기로 들어가도록 하고, 그 속도는 최소한 0.12m/sec의 속도로 피시험자의 머리 위로 직접 흘러내리도록 한다. 염화나트륨 에어로졸의 농도는 균일해야 하고, 속도는 피시험자 머리의 가까운 위치에서 측정되어야 한다.

② 수동 런닝머신 : 6km/h에서 작동해야 한다.

③ 여과재 시뮬레이터 : 안면부와 여과재의 연결 부분에는 시뮬레이터가 사용되며 초경량 연결호스에 의하여 청정공기가 공급되도록 하여야 한다. 안면부에 부착되는 청정공기 호스는 안면부 장착 후에 영향을 주지 않아야 하며, 필요하다면 호스를 고정시켜야 한다. 여과재 시뮬레이터는 그 무게가 500g이어야 하고, 호스의 압력강하는 분당 95 l의 유량에서 100 mmH₂O이어야 하며, 이 때 압력강하는 호

스의 부위에 관계없이 균일하게 분포되어야 한다.

2) 피검자 실험과정

① 피 시험자를 챔버 내로 들어가도록 하고 안면부 내부의 염화나트륨 에어로졸 농도를 측정할 수 있도록 연결관을 연결하였다. 피시험자를 6km/hr의 속도로 2분 동안 걷게 하였다. 보정값을 얻기 위하여 안면부 내부의 염화나트륨 에어로졸 농도를 측정하였다.

② 다음 5개의 운동을 피시험자가 계속 걸으면서 실시하였으며 각 운동마다 총 누설률을 자동적으로 측정하였다.

㉠ 머리를 움직이거나 말하지 않고 2분 동안 걷는다.

㉡ 터널의 벽면을 조사하는 것처럼 머리를 좌우로 약 2분 동안 15회 정도 움직인다

㉢ 지붕과 바닥을 조사하는 것처럼 머리를 위 아래로 약 2분 동안 15회 정도 움직인다

㉣ 2분 동안 "가나다라마" 문장을 큰소리로 말한다.

㉤ 머리를 움직이거나 말하지 않고 2분 동안 걷는다.

3) 염화나트륨 에어로졸을 이용한 측정방법

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 $8 \pm 4 \text{ mg/m}^3$ 로 조정하였다. 한편 이 기기가 만들어 내는 에어로졸의 입경 분포는 $0.02 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$ 이며, 평균 입경은 약 $0.6 \mu\text{m}$ 이다.

③ 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.

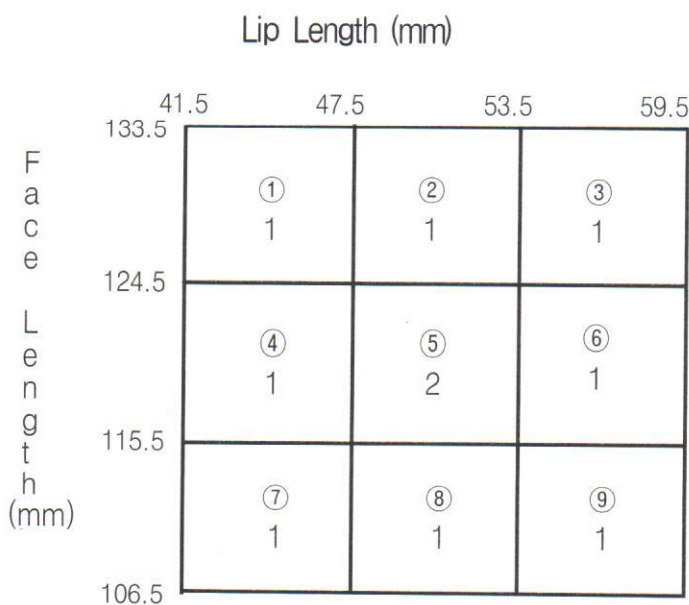
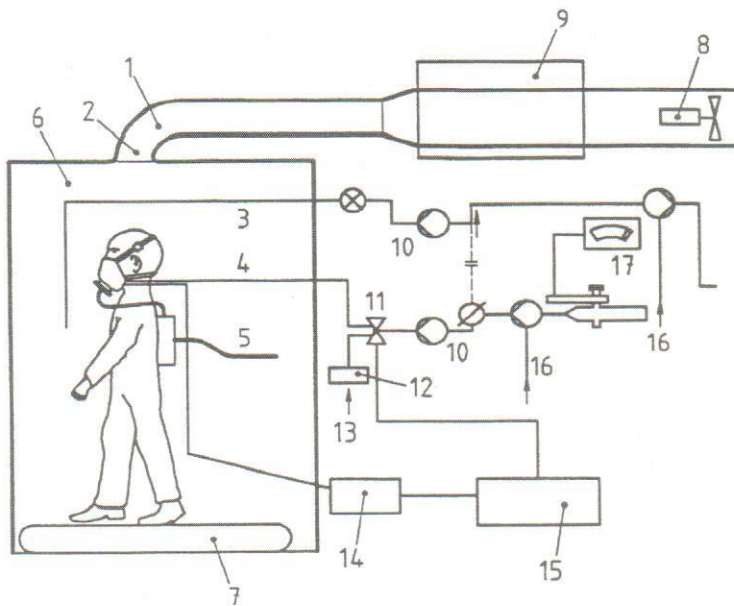


Fig 2. Ten-test panel (subjects) for this study



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. 통계처리방법

누설률에 대한 통계치는 산술평균을 쓰도록 되어있어(EN 136, 1998; EN 140, 1998) 모든 데이터는 이에 맞도록 처리하였다. 예를 들어, 두 제품 간 누설률 차이는 통계량을 변형시키지 않고 student-t 테스트를 실시하였으며 3개 이상 제품 간 누설률 차이는 ANOVA 테스트를 사용하여 검증하였다.

4. 누설률 합격기준

1) 전면형 마스크

피검자는 5개의 운동을 걸으면서 실시하는데 각 운동마다 총 누설률이 측정된다. 각 피검자의 평균 누설률이 10명 모두 0.05%이하이어야 한다(노동부, 2000; EN 136, 1998).

2) 반면형 마스크

피검자 한 사람이 5개의 누설률 실험을 하여 10명의 피검자에게서 총 50개의 누설률 값을 얻게 되는데 총 50개 시험 값 중에서 46개가 5%이하이어야 하며 피검자 10명 중 8명 이상의 평균 누설률이 2% 이하이어야 한다(노동부, 2000; EN 140, 1998).

3) 안면부여과식 마스크

각 피검자에게서 5개씩 10명에서 얻은 총 누설률 값 50개 중 46개 이상의 누설률 값이 특급 5%이하, 1급 11%, 2급 25%이하이어야 하며 피검자 10명 중 8명 이상에서 평균 누설률이 특급 2%, 1급 8%, 2급 22%이하이어야 한다.

III. 결과 및 고찰

1. 형태별 및 각 제품 간 총 누설률 비교

표 1은 마스크 형태별 및 각 제품 간 누설률의 차이를 비교한 것이며 아울러 현재 안면부누설률 검정시험 기준과 만족 여부를 나타낸 것이다.

예상했던 것처럼 누설률은 전면형 마스크가 가장 적게 나타났으며 다음은 반면형 마스크, 안면부여과식 순이었다. 전면형 마스크의 경우 누설률이 두 제품 간에 유의한 차이가 없었으나 반면형 마스크는 세 제품 간에 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$). 또 안면부여과식 마스크의 경우 특급과 1급에서는 제품 간 유의한 차이가 있었으나($P < 0.05$) 2급에서는 유의한 차이가 발견되지 않았다. 제품 A는 모든 형태의 마스크를 생산하고 있었으며 50개 누설률의 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 높아지겠지만 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

Table 1. Comparisons of 10 individual arithmetic means of total inward leakages by brands and types

	Full face mask	Half mask	Filtering facepieces		
			Top class	1st class	2nd class
Standard value(1)*	0.05%	2%	2%	8%	22%
Standardvalue(2)†	-	5%	5%	11%	25%
A	0.25±0.51	0.47±1.00(Y)	2.73±7.32(Y)	4.59±10.42(N)	9.53±14.70(Y)
B	0.37±0.39	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	-	-	-	13.63±15.37(N)	10.92±18.08(N)
P-values	.179	.021*	.013*	.015*	.135

* Standard value(1): All of 10 individual wearer arithmetic means for full mask. At least 8 out of the 10 individual wearer arithmetic means for half mask and filtering facepiece.

† Standard value(2): At least 46 out of the 50 individual results (10 subject × 5 exercise periods) for half mask and filtering facepiece.

‡ ± Standard Deviation.

§ Each value was calculated for 50 samples.

|| "Y" means compliance with Korean certification standards.

¶ "N" means non-compliance with Korean certification standards.

모두 국내산 마스크라는 점에서 더욱 심각하다고 하겠다.

누설률 검정시험 기준 만족 여부를 비교해 보았다. 전면형 마스크에 대한 누설률 만족 여부는 유보하였다. 그 이유는 본 실험장치의 민감도(sensitivity)가 기준치 0.05%이하 값을 충분히 반영하지 못하는 것으로 판단되었기 때문이다. 실험 데이터 분석한 결과 누설률 값이 0.05%이하 값은 0.03%, 0.02% 그리고 다음은 0.00%가 되어 소수점 이하 두 자리까지 밖에 얻을 수 없었다. 0.05%를 만족시키기 위해서는 민감도가 적어도 소수점 이하 세 자리까지의 값을 얻어야 신뢰할 수 있을 것이다. 따라서 본 실험장치는 유럽 EN기준(EN 13274-1, 2001)에 맞추어 설치한 장비임에도 불구하고 전면형 마스크에 대한 평균 누설률 기준치 0.05%이하를 만족시키기에는 충분하지 않은 것으로 사료된다.

한편, 누설률 기준치 만족 여부에서 반면형 마스크는 3개 모두 만족하였으나 안면부여과식 1급은 4개 모두 불만족스러웠다. 또 안면부여과식 특급은 2개 중 1개, 2급은 4개 중 3개만 만족하였다(표 1 참조). 이는 누설률을 통과하여 시판되는 총

13개 마스크 중 절반에 가까운 6개 즉, 46%가 불만족 판정을 받은 결과이다.

이 같은 결과에 대해서 산업안전공단의 검정시험이 부정확한 지 본 연구 실험이 부정확한지 또 테스트 패널 선정에 문제가 있는지 단정 지을 수는 없으나 하나의 대상에 대해 거의 동일한 실험장치를 사용했음에도 불구하고 이 같은 차이는 일단 실험방법의 신뢰성(reliability)에 상당한 문제가 있다고 판단된다. 만약 본 연구 실험이 잘못되었다면 비교적 문제의 소지가 경미하다고 하겠으나 반대로 본 연구 실험이 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 검정 시험에는 문제가 없는데 현재 검정규정이 다양한 얼굴치수를 가진 피검자를 선정해

야 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 의미할 수 있다.

2. 누설에 대한 고찰

밀착도 검사(fit test)는 누설의 경로를 오로지 마스크와 얼굴 피부부를 통한 누설만을 검사하는 것이지만 이외는 달리 총 누설률은 누설의 경로를 필터 자체를 통한 투과, 배기밸브를 통한 누설 및 마스크와 얼굴 피부부를 통한 누설의 3가지 경우를 모두 포함한다.

본 연구에서는 누설이 주로 어느 경로를 통해서 이루어졌는지를 예측할 수 있었다. 표 2는 총 누설률의 최고, 최저치를 비교한 것이다. 우선, 전반적으로 누설률의 최고치와 최저치 간의 차이가 상당히 크다는 것이다. 예를 들어, 전면형 마스크 B는 최고, 최저치의 비 즉, 최고/최저치 값이 11로 가장 작았으나 안면부여과식 마스크 A는 최고/최저치 값이 292로 가장 큰 차이를 보였다. 또 전반적으로 안면부

Table 2. Maximal and minimal values of individual wearer arithmetic means for total inward leakage

Brand		Full face mask	Half mask	Filtering facepieces		
				Top class	1st class	2nd class
A	Max.	0.64	1.69	19.76	32.12	40.30
	Min.	0.02	0.06	0.15	0.11	0.21
	Max./Min.	64	28	132	292	192
B	Max.	0.95	11.69	-	-	-
	Min.	0.09	0.18			
	Max./Min.	11	65			
C	Max.	-	1.40	-	-	-
	Min.		0.07			
	Max./Min.		20			
D	Max.	-	-	23.71	47.49	48.31
	Min.			0.39	0.43	0.50
	Max./Min.			61	110	97
E	Max.	-	-	-	44.51	50.88
	Min.				0.42	0.89
	Max./Min.				106	57
F	Max.	-	-	-	27.64	14.58
	Min.				0.60	0.48
	Max./Min.				46	30

여과식 마스크의 누설률에 대한 최대/최저치 값이 다른 어떤 마스크에 비해 크다는 것을 알 수 있었다.

누설률의 최저치를 보면 필터를 통한 에어로졸의 투과가 대략 어느 정도인지 예측할 수 있다. 즉, 마스크와 얼굴의 형상이 매우 잘 밀착이 이루어지면 마스크 안의 에어로졸은 거의 필터를 통한 투과라고 할 수 있을 것이다.

표 2에서 볼 수 있듯이 누설률의 최저치는 모든 마스크에서 기준치에 비해 현저히 적은 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 다시 말해 필터를 통한 투과는 문제가 되지 않는다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 모두 불합격 판정을 받은 안면부여과식 1급 마스크의 피검자 개인별 평균 누설률에 대한 기준치가 8%인데(표 1 참조) 반해 모든 제품의 이에 대한 최저치가 0.6%이하인 것을 보면 필터 자체의 투과는 문제가 되지 않는다고 할 수 있다. 따라서 문제는 마스크와 얼굴 형상과 잘 밀착이 되지 않아 이 경로를 통한 누설이 심하여 결국 총 누설률이 크게 나왔다고

할 수 있다. 그러므로 본 연구 결과는 앞으로 안면부여과식 마스크도 한국인의 얼굴에 알맞은 형상으로 개발해야 한다는 것을 보여 준다.

3. 얼굴치수 간 총 누설률의 차이

표 3은 마스크의 형태에 따라 각 제품 내에서 9개의 얼굴치수 간 총 누설률의 차이가 있는지를 알아 본 것이다. 표 3에서 보는 바와 같이 전면형의 각 마스크와 두 개의 마스크를 합했을 경우(overall 값) 모두 총 누설률은 9개의 얼굴치수 간에 유의한 차이가 없었다. 반면형의 경우 마스크 B는 유의한 차이가 있으나 마스크 A와 마스크 C는 유의한 차이가 없었고 3개 마스크를 모두 합했을 경우 9개 얼굴치수 간 통계적으로 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$). 안면부여과식 마스크의 경우 각 마스크 뿐만 아니라 등급별로 합했을 경우에도 총 누설률이 얼굴치수 간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($P < 0.05$).

밀착도 검사나 누설률 테스트를 할 때는 항상 테스트 패널(test panel), 즉 피검자에 대한 선정 문제가 따르는데 이는 어떻게 하면 다양한 형태의 얼굴집단을 선정할 수 있는지를 결정하기 때문이다. 유럽과 마찬가지로 우리나라에서 실시하는 누설률 테스트에는 얼굴치수를 측정하여 명시하도록 되어 있으나 어떤 다양한 얼굴치수를 선택하라는 규정은 없다(노동부, 2000). 그러나 미국에서 실시하는 밀착도 검사의 경우 LASL(LASL, 1973)의 연구보고서에 의하면 일정한 얼굴규격의 테스트패널을 권고하고 있다. 그러나 이것은 법적인 강제사항은 아니며 권고사항에 불과하다. 그럼에도 불구하고 아직도 많은 연구에서는 LASL에서 개발한 테스트 패널을 그대로 사용하거나(Coffey 등 (2), 1999) 이것을 응용하고 있다(Coffey 등, 2002).

이번 연구결과는 얼굴치수 간에 누설률의 차이가 있었기 때문에 앞으로 검정실험에 다양한 얼굴치수를 가진 테스트 패널이 필요할 것이다. 따라서 안면부누설

를 검정실험에 필요한 테스트 패넬을 하
루속히 결정해야 할 것으로 사료된다.

안면부여과식 마스크의 경우 특급, 1급
및 2급이라도 같은 회사에서 만든 제품
간에는 마스크의 형상 즉, 마스크가 얼굴
피부와 접촉하는 면은 동일하다. 따라서
같은 제조업체 제품이라면 특급, 1급 및 2
급 마스크의 형상이 동일하므로 3개 등급
마스크들의 누설률 값을 합하여 각 제조
업체별로 얼굴치수 간에 누설률 차이가
있는지 알아보았다. 표 4는 각 제조업체
별 안면부여과식 마스크들에 대해 얼굴치
수에 따른 평균값과 각 얼굴치수의 누설
률이 다른 얼굴치수의 누설률과 유의한
차이가 있는지를 통계 분석한 것이다. 예
를 들어, 안면부여과식 마스크 A사의 경
우 얼굴치수 ①에 해당하는 3개 등급의

누설률 평균값은 30.72%인데 이것은 다
른 8개의 얼굴치수에 비해 통계적으로 유
의하게 높은 값이기 때문에 얼굴치수 ①
에 해당하는 사람에게는 제조업체 A의
제품이 적합하지 않다고 할 수 있다.

한돈희(1999)에 의해 개발된 테스트 패
넬을 보면 얼굴치수 ①, ③, ⑦, 그리고 ⑨
에 해당하는 사람의 비율은 매우 낮으며
(그림 2 참조) 얼굴치수 ⑤에 해당하는 사
람의 비율이 가장 많았다. 따라서 얼굴치
수 ①, ③, ⑦, 그리고 ⑨에 해당하는 사람
은 각각 1명씩이지만 ⑤에 해당하는 사람
의 수는 4명으로 가장 많으며 나머지는
각각 2명으로 구성되어 있다. 따라서 얼
굴치수 ①, ③, ⑦, 그리고 ⑨에 해당하는
사람보다는 얼굴치수 ⑤에 해당하는 사람
의 누설률이 낮은 것이 일반적으로 많은

사람의 얼굴치수에 더 잘 맞는다고 추정
할 수 있다.

이러한 논리로 설명한다면 A사의 마스
크들의 경우 누설률이 얼굴치수 ①, ⑦,
⑨에서는 평균치보다 높게 나타났으나 얼
굴치수 ②, ④, ⑤, ⑥, 그리고 ⑧에서는 평
균치보다 낮게 나타났고 특히, ⑤에서는
통계적으로 유의한 차이($P<0.05$)를 보이
고 있어 많은 사람들에게 비교적 잘 맞는
제품이라고 추정할 수 있다. D사의 마스
크들은 얼굴치수 ②, ④, ⑥, 그리고 ⑧에
서 누설률이 평균치보다 낮게 나타났으나
사람의 분포 비율이 가장 많은 얼굴치수
⑤에서는 오히려 누설률이 평균치보다 높
게 나타났고 통계적으로 유의한 차이
($P<0.05$)를 보여 A 제품에 비해 많은 사
람들에게 잘 맞는 제품이라고 보기 어렵다

Table 3. P-values of total inward leakages within each brand and type by nine grids

Brand	Full face mask	Half mask	Filtering facepieces		
			Top class	1st class	2nd class
A	.835	.317	<.001	<.001	<.001
B	.007	<.001	-	-	-
C	-	.030	-	-	-
D	-	-	<.001	<.001	<.001
E	-	-	-	<.001	<.001
F	-	-	-	<.001	<.001
Overall	.132	.003	<.001	<.001	<.001

Table 4. Total inward leakages and P-values between one grid and other grids for overall filtering facepieces

Brand	Mean of TIL	Grid								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		P-value								
A	5.62	30.72 <.001***	2.85 .328	0.24 .056	0.80 .087	0.88 .011*	0.61 .076	9.22 .203	0.68 .080	9.33 .189
D	9.27	7.76 .560	0.60 .010*	3.21 .072	3.83 .107	13.81 .043*	0.93 .013*	37.83 <.001***	6.07 .344	18.77 .074
E	11.51	2.84 .082	18.10 .187	6.41 .301	4.09 .080	5.44 .225	47.69 <.001***	1.96 .055	2.33 .065	22.11 .033*
F	8.37	8.24 .966	1.62 .021*	11.61 .272	6.04 .431	9.31 .632	4.41 .179	15.74 .011*	2.46 .044*	14.94 .025*

* $P<0.05$

** $P<0.01$

고 추정할 수 있다. E와 F사의 제품도 이와 같은 방법으로 추정한다면 A사가 E와 F사 제품보다 보다 많은 사람들에게 더 잘 맞는다고 할 수 있다.

IV. 결 론

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

총 누설률에 대한 실태를 파악하고 현재의 검정규정이 국내 실정에 맞는 것인지 그리고 얼굴치수에 따라 누설률에 차이는 있는지를 알아보기 위하여 본 연구를 실시하였다.

예상했던 대로 전면형 마스크의 누설률이 가장 낮았으며 제조업체 간에 차이도 있었다. 본 실험장치를 이용한 전면형 마스크에 대한 누설률 실험은 신뢰성이 떨어지는 것으로 판단되었다.

안면부여과식 마스크의 경우 피검자 개별 평균 누설률의 최저치가 기준치보다 현저하게 낮게 나타났기 때문에 누설률이 높게 나온 원인은 필터 자체의 품질보다는 안면부를 통한 누설 때문인 것으로 판단되어 앞으로 한국인의 얼굴에 맞는 마스크 형상 개발이 시급하다고 사료된다.

안면부여과식 1급 마스크가 2급마스크보다 누설률이 높게 나타났고 4개 제품 모두 불합격된 것은 앞으로 이에 대한 연구 개발이 시급할 뿐만 아니라 마스크를 선정하는데도 혼란을 초래할 것으로 우려된다.

얼굴치수에 따른 누설률의 차이가 있는 것으로 밝혀져 앞으로 다양한 얼굴치수의 피검자가 검정 시험에 참여하도록 규정을 개정할 필요가 있다고 사료된다.

다른 제품에 비해 A사의 제품은 많은 인구 비율을 가진 얼굴치수에 잘 맞았기 때문에 누설률 면에서 우수한 제품이라고 추정할 수 있다.

REFERENCES

노동부. 보호구 성능검정 규정(방진마스크), 고시 제2000-15호, 2000

한돈희. 호흡기보호구의 밀착도 검사와 안면규격 Panel의 개발, 한국산업위생학회지 1999;9(1):1-13

한돈희, 최국렬. 한국인의 얼굴체형에 알맞은 반면형 마스크의 개발(1), 한국산업위생학회지 2002;12(1): 46-54

Canadian Standards Association. Z94.4-93: Selection, use, and care of respirators. Rexdale, Ontario, Canada, 1993

Coffey CC, DL Campbell, WR Myers, Z Zhuang, S Das. Comparison of six respirator fit-test methods with an actual measurement of exposure in simulated health care environment: Part I - protocol development. Am Ind Hyg Assoc J 1998;59:852-861

Coffey CC, DL Campbell, WR Myers, Z Zhuang. Comparison of six respirator fit-test methods with an actual measurement of exposure in simulated health care environment: Part II - method comparison testing. Am Ind Hyg Assoc J 1998;59: 862-870

Coffey CC (1), DL Campbell, WR Myers. Comparison of six respirator fit-test methods with an actual measurement of exposure in simulated health care environment: Part III - validation. Am Ind Hyg Assoc J 1999;60:363-366

Coffey CC (2), DL Campbell, Z Zhuang. Simulated workplace performance of N95 respirator. Am Ind Hyg Assoc J 1999;60:618-624

Coffey CC, RB Lawrence, Z Zhuang, DL Campbell, PA, Jensen, WR Myers. Comparison of five methods for fit-testing N95 filtering-facepiece respirator. Appl Occ Env Hyg 2002;17: 723-730

Collins M. Introduction to total inward leakage (TIL) testing. Jobhealth Highlight 1995;13(2):13-14

EN 13274-1:2001:Respiratory protective devices - methods of test - Part I: Determination of inward leakage and total inward leakage, British Standard, 2001

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

Janssen LL, MD Luinenburg, HE Mullins, TJ Nelson: Comparison of three commercially available fit-test methods: Am Ind Hyg Assoc J 2002; 63:762-767

Kolesar ES, DJ Cosgrove, De La Barre CM, Theis CF. Comparison of respirator protection factors measured by two quantitative fit test methods. Aviation, Space, and Environmental Medicine, November, 1982. p. 1116-1122

Los Alamos Scientific Laboratory. Selection of respirator test panels representative of U.S. adult facial sizes by A Hack, EC Hyatt, BJ Held, TO Moore, CP Richards, and JT McConville. Los Alamos, NM, Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California, 1973

National Institute for Occupational Safety and Health:Guide to industrial respiratory protection (DHHS/NIOSH Pub. No. 87-116), Washington, D.C.; 1987. p. 123, 1987

Standards Australia and Standards New Zealand:AS/NZS 1715, 1716, Respiratory protective devices, selection, use and maintenance of respiratory protective devices. Home- bush, NSW 2140 Australia, 1994

Wallaart JC. Calibration of test subjects, - Minute flow -. Prepared for 1997 ISRP, Safety Equipment Australia Pty Ltd, Warriewood NSW 2102, Australia, 1996