

호흡기보호구에 대한 Saccharin QLFT와 CNC QNFT간 상관성에 관한 연구

인제대학교 산업안전보건학과, 한국 3M 기술연구소*

한돈희 · 나명채* · 이상곤

— Abstract —

A Study on Correlation of Saccharin QLFT and CNC QNFT for Respirators

Don-Hee Han · Myung Chai Na* · Sang-Gon Lee

*Department of Occupational Safety and Health, Inje University
Technical Department, 3M Korea**

A quantitative fit test, condensation nuclei counting(Portacount 8025, TSI), was performed concurrently with a qualitative fit test, sodium saccharin(FT-10, 3M) to evaluate FF values and to determine the correlation between two methods. Two brands of full facepieces, T, S and two brands of half masks, T, S, were fit tested, respectively, on 103 wearers one time. The FF values obtained by CNC QNFT were lognormally distributed. The FF values for T brand of respirators were statistically very much higher than those for S brand of respirators. For a full facepiece wearer combination having a $FF \leq 100$, as determined by CNC QNFT, the point estimate of the probability of that combination not being rejected by the saccharin QLFT was found to be 0.09 with 90% confidence that this statistic is not expected to exceed 0.25. For a half mask wearer combination having a $FF \leq 10$, as determined by CNC QNFT, the point estimate of the probability of that combination not being rejected by the saccharin QLFT was found to be 0.10 with 90% confidence that this statistic is not expected to exceed 0.23. The uncertainty associated with each estimate, however, is large due to the small number of study subjects with inadequately fitting respirators. This result indicates that saccharin QLFT may be more suitable for adequately fitting respirators than inadequately fitting respirators.

Key Words : Respirator, Fit Test, Fit Factor(FF), QLFT, QNFT

이 논문은 1996년도 "산학협동재단"의 연구비로 연구되었음.

I. 서 론

유해물질이 배출되는 작업장에서 작업자의 호흡기를 보호하기 위한 일차적인 조치로는 공학적인 수단인 환기 등을 이용하여 유해물질의 인체 접근을 차단하는 것이라고 할 수 있다. 그러나 공학적인 수단을 사용하고도 유해물질의 인체 침투를 제어하지 못할 경우에는 최후의 수단으로 호흡기보호구를 착용하게 된다(NIOSH, 1987). 그렇다면 호흡기보호구를 착용하기만 하면 유해물질의 인체 침투를 완전하게 차단할 수 있는가? 이 질문에 대해 한마디로 "Yes"라고 말하기는 힘들다. 그 이유는 첫째, 유해물질의 종류에 따라 올바른 보호구를 착용하지 못했을 경우, 예를 들면 가스 발생장소에서 Dust/Mist/Fume 제거용 보호구를 착용하였을 경우에는 전혀 효과가 없을 것이다. 둘째, 유해물질의 종류에 따라 올바르게 선정하였다고 하더라도 필터나 정화재질의 질이 떨어지는 경우와 세째, 그 보호구가 착용자의 안면에 잘 밀착되지 않는 경우, 이런 경우에는 충분한 보호를 기대하기란 힘들 것이다. 이 중에서 세번째의 경우는 호흡시 발생하는 보호구의 안과 밖의 압력차이로 인한 공기의 유입(leakage)이 공기중에 존재하는 유해물질의 인체침투를 완전하게 차단해 주지 못하기 때문이다. 이렇게 착용자의 안면과 호흡기보호구의 밀착정도를 fit performance라고 하며 그 밀착여부를 정성적으로 혹은 밀착정도를 정량적으로 측정하는 것을 "Fit Test"라고 한다.

비록 우리나라에서는 Fit Test에 관한 법적인 규제가 없기 때문에 실시하고 있지는 않지만 산업위생적인 중요성은 아무리 강조하여도 지나치지 않는다(한돈희 등(1), 1996). 그 중요성 때문에 미국, 캐나다, 호주, 뉴질랜드에서는 호흡기보호구를 처음 선정할 때, fitting에 문제가 생길 수 있는 조건이 발생하였을 경우, 그리고 년 1회 이상 모든 착용자가 Fit Test를 받아야 한다(29 CFR 1910.134, ANSI Z88.2-1992, Canadian Standards Association, 1993; Australia and New Zealand Standards, 1994). 유럽에서는 Fit Test와 유사한 방법인 TIL (Total Inward

Leakage)이라는 방법을 사용하게 되는데 호흡기보호구를 개발한 후 판매허가를 할 때 반드시 TIL을 시행해야 한다(European Standards, 1989). TIL과 Fit Test의 근본적인 차이는 보호구내 leakage정도를 Fit Test는 단지 faceseal leakage만 보는 것이고 TIL은 faceseal leakage 뿐만 아니라 필터나 카트리지로 새어들어오는 정도까지를 종합적으로 측정하는 것이다.

Fit Test의 방식에는 정성적인 방법(QLFT: Qualitative Fit Test)과 정량적인 방법(QNFT: Quantitative Fit Test)으로 나누어 측정할 수 있다. QLFT는 착용자가 화학물질에 대한 수의 혹은 불수의적인 반응, 즉, 맛, 냄새, 자극 등을 통하여 측정하는 것이고 QNFT는 보호구의 안과 밖의 농도차이나 압력차이를 이용하여 색관적인 수치로 나타내는 방법을 말한다.

QLFT를 수행할 때에는 착용자의 보호구 주위에 가스, 증기 혹은 에어로졸 같은 측정물질(challenge agent)를 비산시켜 주어야 한다. Fitting정도는 냄새, 맛, 자극 등 주로 착용자의 주관적인 반응을 통한 측정물질의 존재여부를 확인하여 결정되어진다. 만약 존재가 감지되면 fitting은 부적절한 것으로 판정된다. 현재 주로 사용되어지고 있는 QLFT방식으로는 3가지 방법이 있는데 isoamyl acetate (banana oil), sodium saccharin 그리고 irritant fume(SnCl_4)이 그것들이다(NIOSH, 1987; OSHA 29 CFR 1910.1001, 1994). QLFT방식은 값이 싸고 측정이 간편하고 신속하여 현장에서 수행이 용이한 장점을 갖고 있다. 그러나 주된 단점은 측정물질의 존재 여부가 주로 착용자의 주관적인 반응에 의존하기 때문에 착용자가 어떤 반응에 대해 불감각적인 기능상 이상이 있을 경우에는 그 결과는 무용하게 된다. 국내에서는 현재 한국 3M에서 sodium saccharin을 이용하는 방법이 소개되고 있다.

QNFT의 기술적인 방법으로는 크게 두가지로 나누어서 생각할 수 있는데 하나는 측정물질(challenge agent)인 에어로졸을 이용하여 보호구의 안과 밖의 농도를 비교하는 것이고, 다른 하나는 호흡

시 발생하는 압력차이로 인한 공기 흐름의 차이를 비교하는 것으로 이들 모두 미국 OSHA가 인정하고 있는 방법들이다. 이 중 에어로졸을 이용하는 방법이 고전적인 방법으로서 다시 두가지로 나눌 수 있는데 한가지 방법은 일정한 챔버내에 측정물질로서 옥수수 기름 등 에어로졸을 분사하여 균질의 농도로 만든 다음 보호구를 착용한 뒤 보호구의 안과 밖에서 그 농도를 측정하는 방법과 또 다른 방법은 에어로졸 발생기, 챔버가 따로 필요 없이 측정물질로 공기중에 비산되어 있는 에어로졸을 사용하는 것이다. 후자가 현재 가장 보편화되어 있는 방법으로 이 방법은 공기중에 비산되어 있는 에어로졸 핵에 알코올 증기를 가하여 응결이 일어나면서 에어로졸 입자의 크기가 커지면 laser beam을 이용하여 입자의 수를 계산하는 것이다. 이 방법을 CNC (Condensation Nuclei Counting)법이라고 하고 측정 기구로는 미국 TSI사의 PortaCountTM을 사용한다. 국내에서는 TSI의 수입선인 종로정밀을 통하여 구입할 수 있다.

에어로졸 방법을 이용하면 호흡기보호구의 안과 밖에서 그 농도를 측정하여 비(ratio)로 나타 낼 수가 있으며 이것을 fit factor(FF)라고 한다(NIOSH, 1987).

$$\text{Fit Factor} = C_o/C_i$$

C_o : 호흡기보호구 밖의 aerosol 농도

C_i : 호흡기보호구 안의 aerosol 농도

따라서 FF 값은 높을 수록 안면과 보호구간의 Fitting 정도가 우수하다고 할 수 있다. 이 에어로졸 방법은 Exercises Regime을 완벽하게 수행할 수 있다는 장점이 있으나 보호구내에서 에어로졸의 혼합이 완벽하게 이루어지지 않기 때문에 sampling위치에 따라 에어로졸의 수가 변할 수 있다는 단점을 안고 있다(한돈희(1), 1996). 어쨌든 현재 Fit Test를 시행하는 나라에서 가장 널리 사용하는 방법이다.

그러면 QLFT와 QNFT 중 어느 방법을 이용해야 하는가? 불행히도 어느 한 방법이 다른 방법보다 더 좋은 방법이라는 것을 아직까지는 보여주지 못하고 있다. QLFT와 QNFT는 서로 다른 장단점을 갖고 있

고 제조회사의 이권이 달려 있는 문제이므로 쉽게 어느 것을 사용해야 한다고 규정 짓지 못한 상태이다. ANSI Z 88.2와 대부분의 OSHA 규정에서는 tightfitting 보호구에 대해서 QLFT나 QNFT 중 어느 것을 사용해도 무방한 것으로 규정하여 놓았다(ANSI Z 88.2-1992: 29 CFR 1910: 29 CFR 1926: 29 CFR 1910.134: Federal Register 59). 그렇지만 일부 OSHA의 특수물질(substance-specific) 규정에 의하면 어떤 상황에서는 QNFT만을 사용하도록 요구하고 있다. 예를 들면, 석면, 카드뮴, 납에 대해 fullfacepiece 보호구를 테스트할 때 오직 QNFT를 사용토록 정하였으나 허용기준 10배까지는 QLFT를 사용해도 되는 것으로 만들어 놓았다(OSHA CD-ROM A95-3 (1), (2)). Half mask 보호구에 대한 WPF(Workplace Protection Factor)의 연구들은 ANSI에서 요구하는 것처럼 Fit Test가 매우 유용한 것임이 밝혀졌으나 어느 한 방법이 더 좋은 보호정도를 밝혀 주는지는 확실치 않다(Colton, 1994). 호주, 캐나다 그리고 뉴질랜드의 기준들도 QLFT와 QNFT의 사용을 모두 "밀접한" 관계로 사용하도록 정해 놓았다. 그러므로 아직까지는 두 방법 모두 허용하는 단계라고 할 수 있다.

그렇다면 이들 두 방법간에는 어떤 상관관계가 있는가? QLFT와 QNFT간 상관성에 관한 최초의 연구는 1983년 Hardis(1983) 등에 의해 이루어졌는데 QLFT 방법으로는 isoamyl acetate 방법과 irritant smoke 방법을 이용하였고 QNFT 방법으로는 dioctylphthalate(DOP) 방법을 이용하였다. 이들 연구에서 반면마스크인 경우에는 상관성이 높은 것으로 나타났으나 전면 마스크인 경우에는 그다지 높지 않은 것으로 밝혀 졌다. Marsh(1984)의 연구에 의하면 saccharin QLFT, irritant smoke QLFT와 di-2-ethylhexyl sebacate를 이용한 QNFT간의 상관성 연구에서도 이방법들 간에 상당히 높은 상관성을 보였다. 그러나 QNFT 방법으로 현실적으로 가장 많이 사용하고 있는 CNC 방법과 우리나라에서 막 소개되고 있는 saccharin QLFT 간의 상관성에 관한 연구는 아직까지 수행되지 못하였다.

본 연구의 궁극적인 목적은 아직까지 잘 알려지지 않은 한국인의 호흡기보호구에 대한 fitting 정도를 측정하여 QLFT 방법과 QNFT 방법을 소개함으로써 Fit Test의 중요성을 관련 정부기관, 학계, 산업 위생 담당자, 호흡기보호구 제조업자들에게 알려 Fit Test 제도의 도입을 앞당기려는 데 있다. 구체적인 목적으로는 현재 국내에서 소개되고 있는 sacchrin을 이용한 QLFT 방법과 CNC 방법을 이용한 QNFT 방법간에 어떠한 상관관계가 있는지 알아보고 차후 Fit Test 제도의 도입시 참고자료로 사용하고자 한다.

II. 연구방법

1. 피검자의 선정

피검자는 103명(남자 53명, 여자 50명)의 만 19에서 26세 사이의 인제대학교 학생들로 이들 모두는 Fit Test에 영향을 줄 만큼 안전피부에 상처가 나 있거나 안면골격이나 치아배열이상으로 인한 기형을 갖고 있지 않은 자들이었다.

2. 보호구 선정 및 Fit Testing 준비

Fit Test를 시행하기 위해서는 반드시 호흡기보호구의 필터를 HEPA 카트리지로 교체해야 한다. Fit Test에 대한 제도가 없는 국내에서는 HEPA 필터를 장착한 카트리지를 생산하지 않고 있는 실정이므로 미국의 HEPA 필터와 잘 맞는 호흡기보호구의 선정이 우선 과제이다. 다행히 국내 호흡기보호구 생산업체중 S사의 제품들이 미국 T사 제품과 동일한 크기의 카트리지 접합부를 가지고 있어서 T사의 HEPA 필터가 S사 제품에 잘 맞았다. 따라서 국산 보호구로는 S사의 전면형(모델: GM-125K, 실리콘 고무)과 반면형(모델: GM-24S, 실리콘 고무) 보호구를 택하였고 외산으로는 T사의 전면형(모델: 7800시리즈, 실리콘고무)과 반면형(모델: 7500시리즈, 실리콘고무) 보호구를 실험대상으로 선정하였다. 미국에서는 Fit Test를 위해 probe가 달린 Fit Test용 호흡기보호구를 따로 만들기 때문에 T사 제품은 이것을 구입하여 그대로 사용하

였고 S사 제품은 probe가 장착된 제품이 없기 때문에 현장에서 사용하는 보호구에 T사 제품과 동일한 위치에 Fit Test를 위한 probe를 만들어 실험에 사용하였다. Probe에는 테프론관으로 Fit Test 측정기기인 Portacount 8025와 연결하였다.

3. 측정기기

QLFT방법에는 현재 미국을 비롯하여 다른 여러 국가에서 가장 많이 사용 중인 saccharin를 이용한 3M의 FT-10 키트를 사용하였고 QNFT는 TSI의 최신 기기인 PortaCount 8025를 휴대용 IBM PC에 연결하여 사용하였다. QNFT 측정시 공기중 aerosol 농도가 2×10^3 개/cc 이하인 경우에는 알코올을 재주입하여 사용하였다.

안면계측을 위한 도구로는 스위스 Siber Hegner & Co. Ltd사의 sliding caliper(No. 104)와 spreading caliper(No. 107)를 사용하였다.

4. 피검자 교육

피검자에게 측정하기전 본 연구의 취지를 명확하게 알려주어 selection bias를 최소화하려고 하였다. 피검자는 측정전 수업을 꼭게 하고 측정 한시간 전부터 금연을 시켜 금연 후 호기에서 발생한 에어로졸의 영향으로 부터 측정의 오차를 최소화 시켰다(Crosby, 1995). 호흡기보호구 착용시 fit check 등 착용에 따른 주의사항과 exercise regime을 수행하는 방법을 교육시킨 후 측정에 들어갔다.

5. Fit test exercise regime

미국 OSHA에서 시행토록하는 6~9가지의 exercise regime 중 일반적으로 가장 많이 사용하고 있는 6가지의 regime을 수행토록 하였다. QLFT나 QNFT 모두 동일한 방식으로 수행하도록 하였다. 각 regime의 동작은 다음과 같다.

- 1) 정상호흡(Normal Breathing 1; NB1) : 선 자세에서 60초간 정상적인 호흡을 한다.
- 2) 깊은 호흡(Deep Breathing; DB) : 선 자세에서 60초간 깊은 호흡을 한다.

- 3) 머리 움직임(Head Movement; HM) : 선 자세에서 정면에서 좌우측으로 약 70-80도 정도 머리만 돌리고 한 방향에서 약 5-6초간 있으면 2회씩 정상적인 호흡을 실시한 다음 상하방으로 지면과 약 70-80도 돌려 역시 한 방향에 약 5-6초간 있으면서 2회씩 정상 호흡을 실시하며 이를 반복적으로 60초간 실시한다.
- 4) 읽기(Reading or Talking; RT) : 선 자세에서 안면 근육이 많이 움직일 수 있도록 크고 천천히 60초간 정해진 문장을 읽는다.
- 5) 조깅(Jogging; J) : 제자리에서 60초간 150-180회 정도의 조깅을 실시한다.
- 6) 정상호흡(Normal Breathing 2; NB2) : NB1과 동일하다.

6. 측정방법

- 1) 안면계측 : 전면형 보호구를 위해서는 안면길이(face length)와 안면폭(face width)을 측정하였고 반면형 보호구를 위해서는 안면길이(face length)와 입술폭(lip width, 입술길이 lip length라고도 함)을 계측하였다(Hack와 McConville, 1978). 계측방법은 미국 Anthropology Research Project, Inc.(1984)에서 안면 및 두부채형 계측법을 사용하였다.
- 2) Fit Test 준비 : Fit Test를 시행하기에 앞서 보호구를 착용할 때 착용자가 통증을 느끼지 않고 편안한 상태를 유지하도록 주의하였다. 보호구를 착용한 후 좌우로 세차게 흔들어 보호구가 흔들리는지 확인하였고 착용 후 5분이 경과한 후 테스트를 시행하였다. 또 반드시 negative fit check를 실시하였고 최적의 상태를 유지하지 못하였을 경우에는 벗어나서 다시 착용토록 하였다.
- 3) QLFT : FT-10/FT-10S(3M)의 manual에 따라 시행하였다. Fit Test를 시행하기 앞서 민감도 검사(sensitivity test)를 실시해야 하는데 후드를 씌운 다음 묶은 sacchrin용액(#1)을 nebulizer에 넣고 10회에 걸쳐 후드안으로 주입

한 다음 맛을 느끼는지 확인하였다. 맛을 느끼는 사람에 한하여 Fit Test를 시행하였다. Fit Test는 피검 호흡기보호구를 쓴 피검자에게 후드를 씌운 다음 진한 sacchrin용액(#2)를 배 30초마다 후드안으로 주입하여 후드안의 에어로졸 농도를 충만시키고 피검자는 후드를 쓴 채로 6가지 exercise regime을 실행하게 하였다. Test를 하는 동안 맛을 느끼면 곧바로 중지하고 이 보호구에 대한 Fit Test 결과는 fail로 처리하였다.

- 4) QNFT : QLFT를 끝낸 피검자는 후드를 벗고 곧바로 보호구의 probe에 테프론관으로 Portacount 와 연결한 후 QNFT를 시행하였다.

7. 자료분석

모든 QNFT의 FF값은 6가지 regime별 그리고 overall FF값들이 대수정규분포를 하고 있었으므로 통계값으로 기하평균치(GM)와 기하표준편차(GSD)를 구하였다. GM과 GSD는 모든 FF를 우선 log10 값으로 환산하고 이들 값들로 부터 산술평균과 산술표준편차를 구한 다음 이 값들에 대해 다시 10 exponential 을 취하므로써 쉽게 구하였다.

유의성 검정에 있어서는 log10으로 환산한 FF값을 가지고 Z분포에 의해 검증하였다. 통계에 사용한 프로그램은 excel 7.0을 사용하였다.

상관성 분석은 QNFT가 불충분한 fit인데도 QLFT에서 pass할 확률인 β -error와 QNFT는 충분한데 QLFT에서 fail할 확률인 α -error를 상위 90% 신뢰구간을 적용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 피검자들의 안면크기

호흡기보호구를 착용하는 착용자들에 대한 안면크기는 보호구를 개발하거나 개발 후 적절하게 개발되었는지 검증하는 과정에서 매우 중요하다(AIHA-ACGIH, 1963). 특히, 안면크기를 계측한 후 이것을 이용하여 한국인의 표준 안면규격 panel(anthropo-

metric test panel)을 만드는 것은 앞으로 호흡기보호구를 한국인의 안면체형에 맞추어 개발하는데 있어 필수불가결한 선결과제이다. 현재까지 우리나라에서는 호흡기보호구를 위한 안면규격 panel이 없고 따라서 보호구를 개발한 후 그 보호구가 한국인의 체형에 잘 맞는지 검사할 수조차 없었다.

호흡기보호구를 위한 안면계측 parameter는 보호구의 형태에 따라 달라지게 되는데 전면형인 경우에는 안면길이(face length)와 안면폭(face width)을 측정해야 하며 반면형인 경우에는 안면길이(face length)와 입술폭(lip width, 입술폭을 입술길이(lip length)라고도 함)을 측정하는 것으로 되어 있다. (Hack 와 McConville, 1978)

본 실험에 참여했던 피검자들의 안면계측치의 통계값들은 Table 1과 같다. 이들 값들 중에서 안면길이와 입술폭의 평균값들은 1992년 한국표준과학연구원(1992)에서 조사한 조사치와 비교하여 남녀 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 그러나 안면의 폭은 당시 측정하지 않았기 때문에 비교할 수가 없었다.

한편, 호흡기보호구를 개발하기 위해서는 평균값도 중요하지만 그것보다 훨씬 중요한 것은 안면규격 panel을 구성하는 일이다. 안면규격 panel이란 호흡기보호구별로 필요한 parameter를 가지고 측정

수치에 따라 grid를 긋으면 grid가 겹치면서 각 cell이 생성된다. 그 다음 각 cell에 속한 인구비를 가지고 필요한 panel의 수를 결정하게 된다. 이 안면규격 panel은 호흡기보호구를 개발하는데 절대적으로 필요한 것이며 특히, 보호구를 개발한 후 일정한 panel에 대해 TIL검사를 수행하는데 사용되어진다 (European Standards, 1989). 현재 우리나라에서는 이에 대한 연구가 전혀 없기 때문에 앞으로 연구가 이루어져야 하는 부분이다.

Fig 1은 안면크기를 parameter별로 나누어서 그 분포를 본 것이다. 아직 우리나라의 안면규격 panel이 만들어지지 않았기 때문에 실선인 미국인의 grid (Hack와 McConville, 1978)와 점선인 일본인의 grid(JIS, 1995)를 본 연구의 피검자 grid와 비교해 본 것이다. 일본인의 grid는 전면형 마스크에 관한 것은 아직 입수하지 못하여 반면형 마스크만 비교하였다. 반면형인 경우 미국인의 grid와 비교하면 대체로 잘 맞는 편이지만 피검자의 grid가 약간 좌측 상단으로 치우쳐져 있고 일본인의 grid와 비교하면 좌측 하단으로 상당히 많이 쳐져 있는 것을 알 수 있다. 전면형인 경우에는 미국인 grid와 대체로 잘 맞는 편이지만 우측 하단으로 약간 치우쳐져 있다.

비록 피검자 수가 제한 적이고 20대에 한정되어 있어서 selection bias가 있다고 하더라도 호흡기보

Table 1. Statistical summary of anthropometric parameter of subjects

(unit : cm)

Statistical values	Gender	Face width	Face length	Lip width
Mean	M	14.32	11.92	4.79
	F	13.41	10.95	4.45
SD	M	0.64	0.60	0.44
	F	0.59	0.52	0.37
Max	M	15.50	13.20	5.70
	F	15.10	12.25	5.30
Min	M	13.00	10.40	3.95
	F	12.25	10.00	3.80

* All values were calculated for 101 subjects.

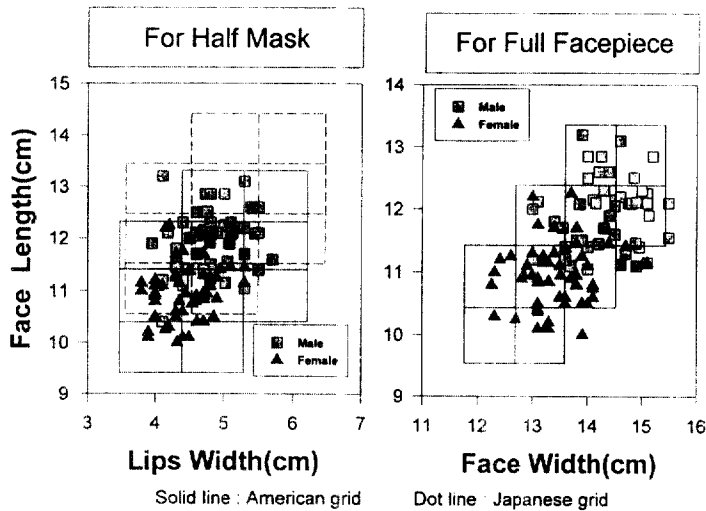


Fig. 1. Distribution of facial sizes of test subjects on the fit test panel

호구 개발에 필요한 한국인의 안면규격과 일본인의 안면규격은 다르다는 가설을 세울 수 있고 오히려 한국인 안면규격은 미국인의 안면규격에 더 가까울 수 있다는 가설을 세울 수 있다. 이 부분에 대해서는 앞으로 보다 많은 연구가 이루어져 한국인의 안면규격에 대한 명확한 해석과 안면규격 panel이 만들어져야 할 것이다.

2. FF값의 비교

QNFT를 이용하여 만들어진 FF값들을 전면형, 반면형 마스크 그리고 T사와 S사간 비교하여 보았다. Table 2와 Fig 2는 이들에 대한 통계값들을 정리한 것이다. 전면형 마스크의 overall FF값의 기하평균치가 T사의 경우 10.092인 반면 S사인 경우

1378로 나타나 두 제품간 FF의 차이는 비교할 수 없을 정도로 T사가 높았다($p < 0.0001$). 반면형 마스크에 있어서도 overall FF값의 기하평균치는 T사는 3131이었으나 S사는 47에 불과하여 역시 비교할 수 없을 정도로 T사가 높았다($p < 0.0001$). 더구나 T사의 반면형 마스크의 FF가 S사의 전면형 마스크의 FF보다 오히려 더 높은 것으로 나타났다.

S사의 반면형 마스크는 1995년 박 등(박은주 등, 1995)의 연구에서 사용했던 모델과 동일한 모델로서 본 연구의 47이 박 등의 연구에서 나타난 17보다 높은 값으로 나타났으나 여전히 낮은 값으로 밝혀졌다. 또 본 연구에서 사용했던 T사의 반면형 마스크 모델이 박 등의 연구에서 사용했던 모델과 다르기는 하지만 박 등의 연구에서는 45.251로 나타났으나 본 연구

Table 2. Statistical summary of fit factors with respirator type, brand and test exercises

Type	Brand	No. Tested	Statistical Values	Test Exercise						OVERALL
				NB1	DB	HM	T	J	NB2	
Full Facepiece	T	101	GM ^A	14677	19195	20868	5733	17965	29661	10092
			GSD ^B	10.5	11.9	10.4	5.1	9.5	13.7	8.3
			MEDIAN	21800	39100	36300	8040	29200	67600	15300
			MIN	3	3	41	58	41		6
			MAX	999000	999000	575000	184000	999000	999000	534000
	S	101	GM ^A	2086	2407	1847	2165	1354	2325	1378
			GSD ^B	10.5	11.9	11.9	6.9	9.3	11.6	7.4
			MEDIAN	3040	2620	2500	2540	1400	2970	2020
			MIN	2	1	2	3	9	3	2
			MAX	999000	898000	343000	567000	877000	567000	353000
Half Mask	T	99	GM ^A	13089	15347	5886	3678	6024	11827	3131
			GSD ^B	13.2	14.9	27.9	9.8	18.7	21.2	15.1
			MEDIAN	19300	25000	13900	6610	11600	22200	6810
			MIN	2	4	2	5	3	2	5
			MAX	728000	999000	633000	166000	400000	999000	209000
	S	97	GM ^A	57	61	51	101	67	72	47
			GSD ^B	9.6	10.4	13.4	7.0	7.7	7.8	5.4
			MEDIAN	99	94	40	144	85	88	53
			MIN	1	1	1	1	1	1	2
			MAX	890000	991000	999000	4960	897000	789000	763

^AGM = Geometric mean^BGSD = Geometric standard deviation

GM and GSD of full facepieces were calculated for n=101 each in T and S. But GM and GSD of half mask were calculated for n=99 in T, n=97 in S.

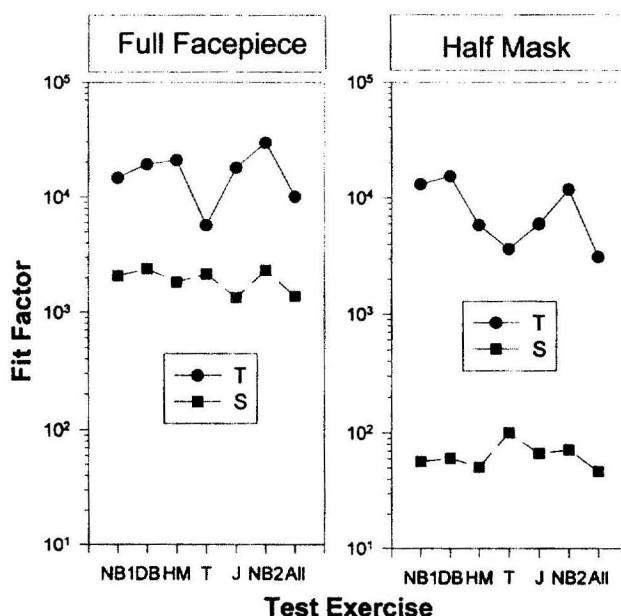


Fig. 2. Geometric mean values of fit factors with test exercises

Note: Number tested ; T=101, S=101 in full facepiece
T= 99, S=97 in half mask

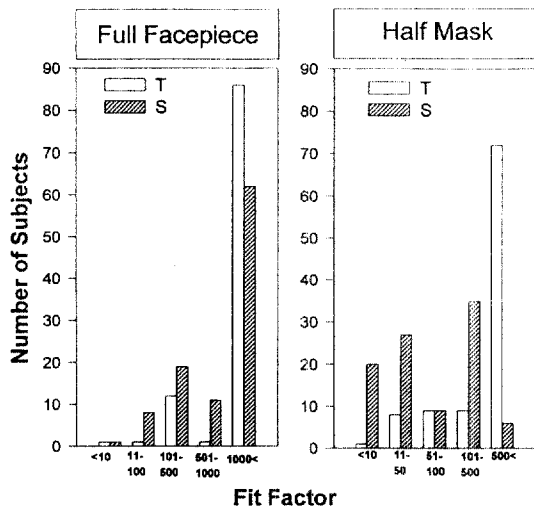


Fig. 3. Number of subjects with fit factors

에서는 3131로 훨씬 낮게 나타났다. 어쨌든 국내제품인 S사의 제품이 외국산인 T사의 제품보다 훨씬 낮은 FF값을 나타냈다는 점은 국내생산 호흡기보호구가 오히려 외국산 보호구보다 한국인의 얼굴에 잘 맞지 않는다는 점을 주목해야 할 것이다.

Fig 3은 FF값을 구간별로 나누고 각 구간에 속한 피검자들의 수를 도표한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 전면형 마스크의 경우 S사 보다는 T사 제품이 FF가 높은 쪽으로 치우쳐져 있다($p < 0.001$). 반면형인 경우에는 이러한 경향이 더욱 뚜렷하여 T사의 FF가 S사의 FF보다 훨씬 높은 쪽으로 치우쳐서 분포되어 있는 것을 알 수 있다($p < 0.0001$). 한 마디로 T사의 FF값이 S사의 FF값보다 훨씬 뛰어나다고 할 수 있다.

외형적으로 모양이 똑 같음에도 불구하고 이렇게 T사의 FF가 S사의 그것에 비해 월등히 높은 이유는 무엇일까? 그것은 바로 몸체를 이루고 있는 재질 때문일 것이다. T사나 S사 모두 재질이 실리콘 고무로 되어 있으나 T사의 재질이 S사의 그것보다 훨씬 부드러워 안면에 대한 밀착감이 좋은 것이 결국 밀착도에 차이가 있는 것으로 판단된다.

또 한 개인의 반복적인 착용에 대한 FF값의 변화

를 연구한 한 등(2)(1996)의 연구에서 6가지 exercise regime 중 말하기(T: talking) 즉, T부분에서 나머지 다섯가지 exercise regime보다 현격하게 낮은 FF값을 보였었는데 본 연구에서도 외국제품인 T사의 경우에는 동일한 연구결과를 보였으므로 T사의 제품은 말하기할 때 가장 낮은 밀착도를 나타내는 것을 알 수 있었다. 이것은 또한 Fit Testing을 위해 압력방식을 이용하여 새로 개발된 FitTest 3000TM의 사용에 대해 앞으로 많은 과제를 제기하는 연구결과이기도 하다(Crutchfield 등, 1995).

한편 본 연구에서 또 한가지 주목해야 하는 사실은 FF값이 0 혹은 1이 나온 점이다. 이것은 호흡기보호구가 착용자의 안면에 맞지 않아 밀착이 전혀 이루어지지 않았다는 의미로서 호흡기보호구를 착용하지 않은 것이나 다름 바가 없다는 의미이다. 본 연구에서는 이러한 피검자는 자료분석에 포함시키지 않았으나 전면형 마스크의 경우 T사, S사 각각 2명씩이었고 반면형 마스크인 경우에는 T사 4명, S사 6명으로 나타났다. 이것은 우리에게 호흡기보호구의 밀착도가 얼마나 중요한지를 다시 한 번 일깨워 주는 증거이며 호흡기보호구를 착용하기만 하면 유해물질들을 잘 차단시켜주리라는 생각에 많은 경종을 울려주고 있다.

3. QLFT와 QNFT의 관계

이 연구의 목적은 saccharin QLFT가 CNC QNFT와 얼마나 밀접한 관계를 가지고 있는지를 확인하기 위함이다. 물론 CNC QNFT가 fitting의 정도를 완벽하게 설명해 주지는 못한다. 그 이유는 이 방법이 가지고 있는 최대의 단점인 보호구내에서 에어로졸이 완전하게 혼합되지 못하여 probe의 위치, 길이 등에 의해 FF값이 많은 영향을 받기 때문이다(한돈희 등(1), 1996). 그러나 현재 미국을 비롯한 여러 나라에서 가장 많이 사용하고 있고 많은 연구를 거쳐서 OSHA에서 인정하고 있는 방법이기 때문에 두 방법을 비교하는 것은 장차 우리나라에 Fit Test 방법을 도입하는데 여러가지 면에서 의의가 있다고 생각된다.

먼저 호흡기보호구를 착용하였을 때 어느 정도의 보호를 받을 것으로 기대되는가? 착용 후 필터나 카트리지와 그리고 face seal leakage를 통하여 유해물질의 침투를 모두 고려하고도 보호받을 수 있는 정도를 "assigned protection factor(APF)"이라고 한다 (AIHA's respiratory protection committee, 1985). 다시 말하면 만약 어떤 보호구의 APF가 10이라면 유해물질의 허용농도가 10배 이내로 존재하는 작업장에서 사용이 가능하게 된다. ANSI(1992)에서 APF를 1/4 mask를 포함한 반면형 마스크의 APF를 10, 전면형 마스크를 100으로 잡고 있다. 만약 유해물질이 필터나 카트리를 전혀 통과하지 않는다고 가정하면 적어도 FF는 반면형은 10, 전면형은 100이상을 유지할 때 충분한 fitting (adequate fit)을 유지하였다고 볼 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서 반면형인 경우에는 FF가 10, 전면형은 100을 기점으로 fitting 정도를 충분 · 불충분(adequate · Inadequate)으로 구분하였다. Table 3은 CNC QNFT에 의해 얻어진 FF값에 따라 saccharin QLFT의 pass · fail을 도

표화 한 것이다.

CNC QNFT 방법이 완벽하지는 않지만 saccharin QLFT 방법처럼 주관적인 감각에 의해 만들어지지 않고 객관적인 수치에 의해 나온다는 점을 감안하여 CNC QNFT 방법을 true값으로 보고 saccharin QLFT 방법을 여기에 비교하여 보았다. 분석에 있어서 두가지의 error를 생각할 수 있다. 첫째는 위음성(false negative)로서 QNFT에서는 불충분한 fit인데 QLFT에서는 맞을 느끼지 못하여 통과(pass)한 경우이고 둘째는 위양성(false positive)로서 QNFT에서는 충분한 fit를 유지하였으나 QLFT에서는 맞을 느껴서 불충분한 fit로 fail한 경우이다. 작업자들의 건강을 보호한다는 측면에서 QLFT의 보다 효과적인 평가는 첫 번째 error인 위음성이 될 것이며 이러한 통계의 확률치를 β -error라고 부른다. 만약 우리가 QNFT방법을 통하여 충분한 fit정도를 정확하게 결정할 수만 있다면 위음성으로 관찰된 수를 QNFT에 의한 불충분한 fit로 관찰된 수로 나눔으로서 β -error를 구할 수 있다.

Table 3. Results of saccharin qualitative and CNC quantitative fit tests

Full facepiece		Fit factor determined from CNC quantitative fit test					Total
		≤ 10	11-100	101-500	501-1000	>1000	
T	Number passing CNC QLFT	0	0	11	1	83	95
	Number failing QLFT	1	1	1	0	3	6
S	Number passing QLFT	0	1	14	10	57	81
	Number failing QLFT	1	7	5	1	5	20
Total		2	9	31	12	148	202
Half mask		Fit factor determined from CNC quantitative fit test					Total
		≤ 10	11-50	51-100	101-500	>500	
T	Number passing QLFT	0	2	7	7	67	83
	Number failing QLFT	1	6	2	2	5	16
S	Number passing QLFT	2	10	5	30	5	52
	Number failing QLFT	18	17	4	5	1	45
Total		21	35	18	44	78	196

Table 4. Estimate of beta error for saccharin qualitative fit test

Full facepiece	Beta error (90% upper confidence interval)			
	Inadequate fit defined as FF ≤ 10	Basis for β^A calculation	Inadequate fit defined as FF ≤ 100	Basis for β^A calculation
T	0.00 (0.0 $\leq \beta \leq 0.90$)	0/1	0.00 (0.0 $\leq \beta \leq 0.68$)	0/2
S	0.00 (0.0 $\leq \beta \leq 0.90$)	0/1	0.11 (0.0 $\leq \beta \leq 0.32$)	1/9
Total	0.00 (0.0 $\leq \beta \leq 0.68$)	0/2	0.09 (0.0 $\leq \beta \leq 0.25$)	1/11
Half mask	Beta error (90% upper confidence interval)			
	Inadequate fit defined as FF ≤ 10	Basis for β^A calculation	Inadequate fit defined as FF ≤ 50	Basis for β^A calculation
T	0.00 (0.0 $\leq \beta \leq 0.90$)	0/1	0.22 (0.0 $\leq \beta \leq 0.49$)	2/9
S	0.10 (0.0 $\leq \beta \leq 0.25$)	2/20	0.26 (0.0 $\leq \beta \leq 0.36$)	12/47
Total	0.10 (0.0 $\leq \beta \leq 0.23$)	2/21	0.25 (0.0 $\leq \beta \leq 0.34$)	14/56

^ANumber passing QLFT/number failing QNFT(from Table 3).

앞서 언급하였듯이 음압 전면형마스크의 경우 APF를 100을 기점으로 그 이하를 불충분한 fit로 규정하였을 때 Table 3에서 T사의 제품은 2명중 pass된 사람이 하나도 없으므로 $\beta = 0/2 = 0.0$ 이 된다. S사는 9명중 QLFT에서 pass한 사람이 한 명이므로 $\beta = 1/9 = 0.11$ 이 되고 두 제품을 모두 합쳤을 때는 $\beta = 1/11 = 0.09$ 가 된다. 통계처리의 한 방법인 binomial이론을 적용하였을 때 β 에 대한 상위 90% 신뢰구간에서 두 제품을 모두 합친 값은 $\beta \leq 0.25$ 이다(Table 4 참조). 다시 말해서 FF가 100이하인 피검자들에게 saccharin QLFT를 실시하였을 경우 pass할 확률은 25%이하로 되는 것을 90% 신뢰하게 된다는 의미이다. 이 말은 다시 90%의 신뢰도를 가지고 FF<100인 호흡기보호구를 saccharin QLFT로 적어도 75%이상은 fit정도의 판정이 가능하다는 의미이다.

또 만약 우리가 반면마스크의 불충분한 fit를 APF ≤ 10 이하로 잡았을 경우 T사와 S사를 합한 총 피검자수는 21명이 되고 이 중에서 2명은 QLFT에서 pass가 이루어져 $\beta = 2/21 = 0.10$ 이다. 이것 역시 β 에 대한 상위 90% 신뢰구간에서 $\beta \leq 0.23$ 이므로 FF ≤ 10 이하인 피검자들에게 saccharin QLFT를 실시하였을 경우 pass할 확률은 23%이하로 될 가

능성이 90% 신뢰한다는 의미이다.

본 연구결과는 이와 유사한 Marsh(1984)의 연구결과보다 낮은 상관성을 보이고 있다. Marsh는 에어로졸 광도측정법(aerosol photometric QNFT)과 saccharin QLFT를 비교하여 본 결과 상위 95% 신뢰구간에서 FF ≤ 10 인 보호구는 $\beta = 0/56 = 0.0$ 이 되어 β -error값이 5%를 넘지 않고 FF ≤ 100 인 보호구에서는 $\beta = 3/92 = 0.03$ 으로 β -error가 8%를 넘지 않은 것으로 나타났다. 본 연구결과가 Marsh와 차이를 보이는 이유로는 QNFT법과 sample수의 차이에서 온 결과로 생각되어진다. 에어로졸 광도측정법은 측정기가 너무 크고 번잡하다는 단점이 있으나 새로 개발되는 Fit Testing기기들의 benchmark로 자주 사용되어져 왔다(한돈희 등(1), 1996). 특히, Willeke 등(1990)은 CNC에 의한 FF값이 에어로졸 광도법에 의한 FF값보다 높게 나타난다고 하였는데 이는 다시 말해 CNC가 실제보다 fitting이 잘된다고 잘못 판단할 수도 있다는 의미이기 때문에 본 연구에서 두 방법 간에 상관성이 떨어지는 것은 당연한 일인지도 모른다. 또 중요한 것 중의 하나는 sample수가 적었다는 점이다. Marsh는 순수하게 에어로졸 광도법 QNFT와 saccharin QLFT의 관계만을 알아보기 위하여 일부러 불충분한 fitting을 많이 만들었으나 본 연구에

Table 5. Estimate of alpha error for saccharin qualitative fit test

Full facepiece	Alpha error (90% upper confidence interval)	
	Adequate fit defined as FF>100	Basis for α^A calculation
T	0.04 ($0.0 \leq \alpha \leq 0.08$)	4/99
S	0.12 ($0.0 \leq \alpha \leq 0.18$)	11/99
Total	0.08 ($0.0 \leq \alpha \leq 0.11$)	15/191
Half mask	Alpha error (90% upper confidence interval)	
	Adequate fit defined as FF>50	Basis for α^A calculation
T	0.10 ($0.0 \leq \alpha \leq 0.15$)	9/90
S	0.20 ($0.0 \leq \alpha \leq 0.29$)	10/50
Total	0.14 ($0.0 \leq \alpha \leq 0.18$)	19/140

^ANumber passing QLFT/number failing QNFT(from Table 3).

서는 호흡기보호구에 대한 FF이 어느 정도인지 파악하는 것도 연구의 한 목적이었으므로 불충분한 fitting의 수가 훨씬 적었기 때문에 이와 같은 차이가 생긴 것으로 생각되어진다.

다음으로는 CNC QNFT에서는 충분한 fitting을 가지고 있으면서 saccharin QLFT에서는 fail할 수 있는 확률 즉, α -error를 알아보았다. (Table 5 참조) 만약 미국과 같이 법제화되어 있어서 반드시 Fit Test를 받아야 하는 나라에서는 fail이 되었으므로 다시 Fit Test를 받아야 하기 때문에 사업주에게 경제적인 손실을 유발시키는 확률값이다. 전면형 마스크인 경우 FF>100을 충분한 fitting을 유지하는 것으로 하였을 때 상위 90% 신뢰구간에서 T사와 S사 모두 합한 $\alpha = 15/191 = 0.08$ 이다. 이는 충분한 fit을 가진 보호구를 QLFT에서 fail시킬 확률이 11%이하로 되는 것을 90%신뢰한다는 의미이다. 반면형 마스크에서는 $\alpha \leq 0.18$ 으로 나타났다. 이들 값들은 Marsh의 연구결과인 FF>100에서 $\alpha \leq 0.60$, FF>10에서 $\alpha \leq 0.73$ 에 비하면 훨씬 낮은 값으로 나타났다. 이러한 차이도 결국 β -error와 마찬가지로 CNC 방법이 에어로졸 광도법보다 FF값이 높게 나타나고 sample 수에 있어서 훨씬 많았기 때문인 것으로 해석되어진다.

따라서 본 연구결과로 미루어 볼 때 saccharin QLFT는 밀착도가 낮은 호흡기보호구보다는 밀착도

가 높은 호흡기보호구에 대한 Fit Testing에 더욱 적합한 Fit Test방법인 것으로 판단된다.

4. 연구의 제한점

본 연구는 보호구의 선정에 있어 많은 제한점을 안고 있다. 그 이유는 Fit Test 란 반드시 HEPA 필터를 사용해야 하는데 HEPA를 장착한 카트리지가 국내에서 생산되지 않고 있으므로 국내산 보호구는 외국산 HEPA 카트리지와 맞는 보호구를 선정해야만 하는 제한점이 있었다. 피검자의 선정에 있어서 가능하면 많은 피검자를 선정하였으면 좋았겠으나 연구의 어려움으로 일부 젊은 연령층을 대상으로 한 점이 제한점이었다. 또한 saccharin QLFT의 β -error의 정확도를 명확하게 판정하기 위해서는 불충분한 fitting을 가진 피검자수가 더 많았어야 했으나 전체적인 FF값을 구하는 것도 중요한 목적 중의 하나였기 때문에 따로 불충분한 fitting을 가진 많은 수의 이들 피검자들만 선정하여 실험할 수 없었다. 앞으로 이와 같은 연구는 CNC QNFT보다는 에어로졸의 크기가 일정하고 균일한 chamber안에서 에어로졸 광도법을 사용하는 것이 더 좋은 결과를 산출할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 현재 많이 사용되고 있는 호흡기보호구에 대한 FF를 구하여 밀착도의 실태를 파악하고 이제 국내에서 막 소개되고 있는 CNC QNFT와 saccharin QLFT간에 어떠한 상관관계가 있는지를 비교하고자 한 것이다. 103명으로 구성된 일부 대학생들을 대상으로 제품의 외형이 동일한 T사 제품과 S사 제품을 각각 전면형과 반면형으로 나누어 QLFT를 먼저 실시하고 곧바로 QNFT를 실시하여 상관관계를 알아보고 있다.

FF값은 전면형과 반면형 모두에서 T사 제품이 S사 제품보다 훨씬 우수하였는데 외형적인 모양이 동일하였기 때문에 이 같은 차이는 제품의 몸체 재질에서 오는 차이로 판단된다. CNC QNFT를 기준으로 $FF \leq 100$ 인 전면형 호흡기보호구는 saccharin QLFT를 이용하여 fit정도를 75%이상을 판정할 수 있으며 이를 90% 신뢰할 수 있는 것으로 기대된다. 또 $FF \leq 10$ 인 반면형 호흡기보호구는 90% 신뢰도를 가지고 saccharin QLFT를 이용하여 fit정도를 77%이상을 판정할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구의 통계처리를 위해 수고해 주신 인제대학교 통계학과 최국렬 교수에게 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

박은주, 김현욱 : 반면형 방진마스크의 밀착계수에 영향을 미치는 요인. 한국의 산업의학 1995; 34(4): 133-143

한국표준과학연구원 : 산업제품의 표준치 설정을 위한 국민표준체위조사 보고서. 서울, 공업진흥청, 1992, 76-77

한돈희(1), K. Willeke, C. E. Colton : 호흡기보호구의 Fit Test 방법과 규정에 관한 연구. 한국산업위생

학회지 1996; 6(1): 38-54

한돈희(2), K. Willeke : 호흡기 보호구의 착용시 움직임과 매일 착용에 따른 Fit Factors의 변화. 한국산업위생학회지 1996; 6(2): 176-186

AIHA's Respiratory Protection Committee : Respirator Performance Terminology : Letter to the editor, Am Ind Hyg Assoc J 1985; 46(5): B22-B24

ANSI (American National Standards Institute) : American National Standard for Respiratory Protection (ANSI Z88.2-1992), New York, American National Standards Institute, 1992

Anthropology Research Project, Inc. : A Teaching Manual for an Anthropometric Survey of Head and Face Dimensions, Yellow Springs, Ohio 45387, 1984

American Industrial Hygiene Association-American Conference of Governmental Industrial Hygienist : Respiratory Protective Devices committee: Facepieces. In Respiratory Protective Devices Manual. p 9, Ann Arbor, MI, 1963

Australian and New Zealand Standards : AS/NZS 1716: 1994, Respiratory Protective Devices, Homebush, NSW 2140 Australia: Standards Australia, 1994

Canadian Standards Association : Z94.4-93, Selection, Use, and Care of Respirators, Rexdale, Ontario, Canada, Canadian Standards Association, 1993

CFR (Code of Federal Regulations) : "Asbestos" Title 29, Part 1910.1001, 1994

CFR (Code of Federal Regulations) : "Respiratory Protection" Title 29, Part 1910.134, 1994

CFR (Code of Federal Regulations) : "Safety and Health Regulations for Construction" Title 29, Part 1926, 1994

Colton CE : Qualitative fit testing or Quantitative Fit Testing: Which one should you use? 3M JobHealth Highlights, Vol 12(2), St. Paul, MN, 3M, 1994, 3-4

Crosby DW : Quantitative respirator fit testing- Which technology to use? (A News Letter: Respiratory

Protection Update, 6(1), Jefferson, Maryland, Respirator Support Services, 1995

Crutchfield CD, Park DL, Hensel JK, Kvesic MK, Flack MD : Determination of known respirator leakage using controlled negative pressure and ambient aerosol QNFT systems, Am Ind Hyg Assoc J 1995; 56(1): 16-23

Federal Register 59: "Respiratory Protection; Proposed Rule," 219(15 November 1994), 58884-58956

JIS : 반면형 호흡기보호구 개발을 위한 일본인의 안면 grid, 1995

Hack AL, McConville JT: Respirator Protection Factors: Part I - Development of an Anthropometric Test Panel. Am Ind Hyg Assoc J 1983; 39: 970-975

Hardis KE, Cadena CA, Carlson GJ, da Roza RA, Held BJ : Correlation of Qualitative and Quantitative Results from Testing Respirator Fit. Am Ind Hyg Assoc J 1983; 44(2): 78-87

Marsh JL : Evaluation of Irritant Smoke Qualitative Fitting Test for Respirators. Am Ind Hyg Assoc J 1984; 45(4): 245-249

Marsh JL : Evaluation of Saccharin Qualitative Fitting Test for Respirators. Am Ind Hyg Assoc J 1984; 45(6): 371-376

National Institute for Occupational Safety and Health : *Guide to Industrial Respiratory Protection* (DHHS/NIOSH Pub. No. 87-116), Washington, D.C., Government Printing Office, 1987, 3-123

OSHA (Occupational Safety and Health Administration) : " Respiratory Protection Proposed Rule (29CFR1910), Federal Register 59: 219(15 November 1994), 1994

OSHA CD-ROM (1): Miles JB to Sekulic T, 25 September 1986, Occupational Safety and Health CD-ROM (QSHA 95-3) through June 1995, Washington, D.C., 1995

OSHA CD-ROM (2): Shepich TJ to Boggs RF, 8 February 1988, Occupational Safety and Health CD-ROM (QSHA 95-3) through June 1995, Washington, D.C., 1995

European Standards: EN 136, 140: *Respiratory Protective Devices: Half-masks, Quarter-masks, Full-face Masks, Requirements, Testing, Marking*. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization, 1989

Willeke K, Krishnan U : Present issues in quantitative fit testing: problems and potential solutions. Appl Occup Environ Hyg 1990; 5(11): 762-765