

## 호흡기 보호구 착용시 움직임과 매일 착용에 따른 Fit Factors의 변화

인제대학교 산업안전보건학과  
신시내티대학 환경보건학과\*

한 돈 희 · Klaus Willeke\*

— Abstract —

### Day-to-Day and Movement-Dependent Variations of Quantitative Fit Tests for an Individual Wearing a Respirator

Don-Hee Han, Klaus Willeke\*

*Department of Occupational Safety and Health, Inje University  
Department of Environmental Health, University of Cincinnati\*, USA*

The fit of a respirator to the face of an individual can be determined by a qualitative fit test (QLFT) or a quantitative fit test (QNFT). The pass/fail decision from a QLFT or QNFT for the same respirator on the same individual may vary from one wearing to the next, because the human facial features are complex and the respirator may not fit to the face in the same way every time it is worn. This study reports how the fit factors (FF) resulting from a QNFT on an individual vary from day to day and depend on the movements in the six fit test exercises. The reported FFs provide an objective and numerical basis (FF) which does not depend on the subject's voluntary or involuntary response. Four half-mask (H1-H4) and four full-facepiece respirators (F1-F4) were fit tested on one wearer 10 times a day for 5 days with a PortaCount (model 8010, TSI). The FFs obtained for each set of 10 fit tests on a specific day and 50 fit tests on five days involving one of the six exercise regimes have been recorded as log-normal distributions. All of the geometric standard deviations (GSD) of the overall FFs varied widely among every wearing and day except for H1 and F3, and the variability of the half-mask respirators was larger than that of the full-facepiece respirators. Among the six exercise regimes, reading or talking (RT) had markedly the lowest exercise FFs on the tested individual. Generally, there were significant differences between the first normal breathing (NB1) FFs and the remaining exercise FFs.

**Key Words :** Respirator, Fit Test, Qualitative Fit Test (QLFT), Quantitative Fit Test (QNFT), Fit Test Exercise

## I. 서 론

인체내 유해물질을 배출하는 작업장은 근본적으로 공학적인 수단을 사용하여 유해물질의 인체 침투를 막을 수 있지만 공학적인 수단을 사용해도 유해물질의 인체 침투를 제어하지 못할 경우에는 최종적인 수단으로 호흡기보호구를 착용하게 된다(NIOSH, 1987). 그러나 아무리 고효율의 제거율을 가진 cartridge나 canister의 좋은 호흡기보호구를 착용하였다고 하더라도 안면피부와 호흡기보호구가 적합하게 밀착되지 않으면 호흡으로 인한 압력차이로 유해물질의 보호구내 침투가 가능하여 진다. 이렇게 호흡기보호구가 착용자의 안면과 얼마나 적합하게 밀착되는지 (fit) 그 정도를 측정하는 것을 fit test라고 하며 그 목적은 작업자가 작업장에 들어가기전 최소의 적합도 (a minimum of fit)를 만족시켜 주고 어떻게 착용했을 때 가장 적합한지를 작업자에게 확인하여 작업자의 건강을 보호하기 위함이다 (Colton 등, 1991).

미국, 캐나다에서 규정하고 있는 fit test는 유럽, 호주, 뉴질랜드에서 규정하여 fit test와 비슷하게 사용하고 있는 TIL (Total Inward Leakage)과는 약간 다르다(European Standards, 1987; Australian and New Zealand Standards, 1994). Fit test나 TIL 모두 호흡기보호구내로 얼마 만큼의 유해물질이 새어 들어 오는지를 측정하는 것이지만 fit test는 필터를 통해 들어오는 유해물질을 최소화 하기 위해 non-HEPA filter를 사용하는 보호구라도 fit test를 실시할 때는 HEPA 필터로 대체하여 필터를 통한 유해물질의 통과는 없는 것으로 무시한다. 따라서 보호구내 유해물질의 존재는 안면피부와 보호구 사이로 새어 들어온 것(face seal leakage)으로만 인정하여 단지 밀착의 적합정도만을 측정하는 것이다. 반면에 TIL은 보호구가 갖고 있는 본래의 필터를 사용하기 때문에 측정시 아주 미세한 에어로졸을 사용할 경우 dust/mist 혹은 dust/ fume/mist 제거용 보호구인 경우 상당부분의 유입이 필터를 통해 들어 올 수 있어서 순전히 안면과 보호구간의 적합도만을 나타내 주지는 못하며 대신 face seal leakage와 필터를 통한 침투(filter penetration)까지 종합적인 침투정도를 알아 보는 것이다.

Fit test는 정성적인 방법(QLFT: Qualitative Fit Test)과 정량적인 방법(QNFT: Quantitative Fit Test)으로 나누어 측정할 수 있는데 QLFT는 착용자가 화학물질에 대한 수의 혹은 불수의적인 반응, 즉, 맛, 냄새, 자극 등을 통하여 측정하는 것이고 QNFT는 보호구의 안과 밖의 농도차이나 압력차이를 이용하여 객관적인 수치로 나타내는 방법을 말한다. 두 방법 모두 각각의 장단점을 갖고 있어 어느 것이 더 정확한 적합정도를 측정할 수 있는지 단적으로 말 할 수는 없기 때문에 현재 미국에서는 일반적인 작업장에서 두 방법중 어느 한 방법으로 1년 1회 이상 fit test를 하도록 규정하고 있으나 객관적인 수치를 갖는다는 의미에서 인체에 보다 유독한 물질, 예를 들면, 석면, 유기비소, 납, 카드뮴, acrylonitrile 등을 취급하는 작업장에서는 다른 조건과 더불어 반드시 QNFT방법을 사용하도록 규정하고 있다(29 CFR 1910, 29 CFR 1926, 1994).

QNFT의 기술적인 방법으로는 크게 두가지로 나누어서 생각할 수 있는데 하나는 측정물질(challenge agent)인 에어로졸을 이용하여 보호구의 안과 밖의 농도를 비교하는 것이고, 다른 하나는 호흡시 발생하는 압력차이를 비교하는 것으로 이들 모두 미국 OSHA가 인정하고 있는 방법들이다. 이중 에어로졸을 이용하는 방법이 고전적인 방법으로서 다시 두가지로 나눌 수 있는데 한가지 방법은 일정한 챔버내에 측정물질로서 옥수수기름 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 측정물질 자체를 공기중에 비산되어 있는 에어로졸을 사용하는 것이다. 후자가 현재 가장 보편화되어 있는 방법이며 이 방법을 CNC (condensation nuclei counting)법이라고 하고 측정 기구로는 미국 TSI사의 PortaCount™을 사용한다(한돈희 등, 1996). 에어로졸 방법을 이용하면 호흡기보호구의 안과 밖에서 그 농도를 측정하여 비(ratio)로 나타 낼 수가 있는데 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 안전과 보호구간의 적합도가 우수하다고 할 수 있다. 미국에서는 FF가 일정 이상의 값을 갖도록 권고 또는 규정하고 있는데 ANSI에서는 공기정화형 보호구의 half mask인 경우 100, full facepiece인 경우 1000으로 하고 있으며 OSHA proposed standard에 의하면 몇몇 극독물질, 즉, 석면, 납, 카드뮴, 벤젠, 포름알데히드, methylenedianiline를 제외한 일반적인 작업장에서는 quarter, half mask는 100, full facepiece는 500으로 규정하고 있다(ANSI Z88, 1992; OSHA proposed 29 CFR 1910, 1994).

한편, fit test를 할 때는 유해물질의 종류에 따라 다르기는 하지만 일반적으로 여섯가지 fit test exercise regime을 수행하여 각 운동에 따른 각각의 FF를 구한 다음, 이들 값을 다음 식에 의거하여 overall FF 값을 구하게 되는데 이것을 보통 fit factor (FF) 라고 말한다.

$$\text{Overall FF} = \frac{n}{1/\text{FF}_1 + 1/\text{FF}_2 + \dots + 1/\text{FF}_n}$$

FF = 각 exercise 수행시 fit factor  
n = Exercise의 수

여섯가지 exercise regime에는 정상호흡 1(NB1), 깊은호흡(DB), 머리움직임(HM), 말하기나 읽기(RT), 조깅(J) 그리고 다시 정상호흡(NB2)으로 나누어 각 60초씩 수행하도록 되어 있다(ANSI Z88.2, 1992). Exercise regime은 유해물질의 종류에 따라서 9개까지 수행하도록 되어 있는데, 예를 들면, 석면의 경우 이때에는 머리움직임이 좌우운동(SS)와 상하운동(UD)으로 나누어져 있고 추가적으로 웃기(G)와 굽히기(B)를 더 수행하도록 되어 있다(29 CFR 1910.1001, 1994).

Fit test exercises나 매 착용에 따른 FF의 변화에 대한 연구들은 몇가지가 수행되어 왔는데 da Roza 등은 측정물질로 DOP (dioctylphthalate)를 사용하여 매일 착용에 따른 FF가 대수정규분포를 하며 개인간, 보호구 종류간 많은 변화를 한다고 보고하였다(da Roza 등, 1983). Oestenstad 등은 FF가 half mask와 full facepiece 보호구간 많은 차이를 보이고 있으며 여섯가지나 아홉가지 exer-

cises를 세가지로 줄일 수 있을 것이라고 하였다(Oestenstad 등, 1995). 그러나 다른 연구에서는 exercise에 따른 변화가 그다지 심하지 않아서 NB1 하나가 overall FF를 대표할 수도 있을 것이라고 하여 상반된 결과를 보이고 있다(Crutchfield 등, 1993).

지금까지의 연구들은 여러사람을 대상으로 측정하였으나 각 사람들에 대한 측정회수가 적었기 때문에 각 사람에 대한 fit test exercises와 매 착용에 따른 변화를 보다 정확하게 설명하지 못하고 전체적인 변화만을 설명하고 있다. 각 사람마다 fit test exercises와 보호구 착용행태가 조금씩 다르기 때문에 많은 사람을 대상으로 하더라도 각 사람들에 대한 측정회수가 적으면 많은 inter-personal bias가 발생하였을 것이다. 만약 한 사람이 거의 동일한 행태의 fit test exercises와 착용행태를 하면서 많은 회수의 fit test를 수행할 경우 단지 intra-personal bias만 생길 것이므로 보다 정확한 fit factor의 변화를 설명할 수 있을 것이다.

따라서 한 사람이 매 호흡기보호구 착용시 fit factor의 변화 정도와 fit test exercise regime에 따른 FF의 변화정도를 알아보기 위하여 본 연구를 수행하게 되었다.

## II. 연구 방법

### 1. 피검자

피검자는 38세의 신장 168 cm, 체중 60 kg의 건강한 한국인 남자로서 비흡연자이며 인체 실험전 fit test시 신체에 아무런 이상이 없다는 의사의 진단을 받았다. 피검자의 얼굴피부는 fit test에 영향을 줄 만한 상처나 치아배열 이상으로 인한 기형을 갖고 있지 않았으며 매일 수면을 깎아 수면으로 인한 영향을 배제시켰다. 피검자는 실험전 작업장에서 호흡기보호구를 착용하고 근무한 적은 없으나 호흡기보호구 착용시 fit check 등 착용에 따른 주의사항과 fit test exercises를 수행하는 방법을 교육받았다.

### 2. 호흡기보호구와 측정기구

실험대상 호흡기보호구로는 우선적으로 피검자의 안전에 적합한 크기를 택한 다음 사전 fit test를 실

시하여 가능한 한 높은 FF와 낮은 FF를 갖는 보호구를 선정하였으며 half mask 4개, full facepiece 4개를 선정하였다. Half mask로는 North의 모델 7700-30S small (H1), 3M의 7200S small/medium (H2), Survivair의 2100 small (H3) 그리고 Willson의 1200 small (H4)를 선정하였으며 full facepiece로는 North의 7600 8A small (F1), MSA의 Ultra-Twin black small (F2), Scott의 65 small (F3) 그리고 MSA의 Ultra-Twin black medium (F4)를 사용하였다. 모든 보호구는 작업장에 사용하는 것과 동일하게 제작된 것이나 단지 fit test만을 할 수 있도록 특수 제작된 것으로써 측정기기와 보호구 내 공기가 연결될 수 있도록 작은 테프론관이 부착되어 있고 cartridges의 필터는 HEPA 필터로 교체하여 사용하였다.

측정기구로는 TSI의 Porta-Count model 8010을 IBM PC에 연결하여 사용하였다. 공기중 aerosol 농도가  $2 \times 10^3/\text{cc}$  이하일 경우에는 알코올을 재주입하여 사용하였다.

### 3. Fit test exercise regime

- 1) 정상호흡(Normal Breathing 1; NB1) : 선 자세에서 80초간 정상적인 호흡을 하였다.
- 2) 깊은호흡(Deep Breathing; DB) : 선 자세에서 80초간 깊은 호흡을 하였다.
- 3) 머리움직임(Head Movement; HM) : 선 자세에서 정면에서 좌우측으로 약 70-80도 정도 머리만 돌리고 한방향에서 약 5-6초간 있으면 2회씩 정상적인 호흡을 실시한 다음 상하방으로 치면과 약 70-80도 돌려 역시 한방향에 약 5-6초간 있으면서 2회씩 정상 호흡을 실시하며 이를 반복적으로 80초간 실시하였다.
- 4) 읽기(Reading or Talking ; RT) : 선 자세에서 fit test exercise시 사용하도록 되어 있는 "Rainbow Passage" 문장을 가능한 한 안면 근육이 많이 움직일 수 있도록 크고 천천히 80초간 읽었다.
- 5) 조깅(Jogging; J) : 제자리에서 80초간 200-210회 정도의 조깅을 실시하였다.
- 6) 정상호흡(Normal Breathing 2; NB2) : 선 자세에서 80초간 정상적인 호흡을 하였다.

### 4. 실험방법

실험에 사용된 공기중 에어로졸은 작업장이 아닌 Cincinnati대학 Aerosol Research and Respiratory Protection Laboratory의 실험실내 공기중 에어로졸이 사용되었다. 측정시 에어로졸의 농도는 최고  $1.5 \times 10^4/\text{cc}$ 에서 최소  $2.0 \times 10^3/\text{cc}$ 를 유지하였다.

피검자는 매일 오전중에는 한 half mask를, 오후에는 한 full facepiece를 착용하고 한 보호구에 대하여 1일 10회씩, 5일 연속적으로 실시하였으며 매일 가능한 한 동일한 시간대에 동일한 보호구에 대한 fit test가 이루어 졌다. 각 테스트와 테스트 간에는 약 10분정도의 휴식을 두어 보호구 착용 압박으로 인한 안면피부의 굴곡을 최소화하였다.

보호구 착용시 보호구를 너무 조여 통증을 유발하지 않도록 하고 최대한 편안한 상태를 유지하도록 주의하였다. 착용 후 좌우 상하로 세차게 흔들어 보호구가 흔들리는지 확인하였으며 착용 후 대략 5분이 경과한 후 테스트를 실시하였다. 또 반드시 negative 및 positive fit check를 하였고 positive fit check를 못할 경우에는 negative fit check만 실시하였으며 피검자가 느끼기에 최적의 fit가 유지되었다고 판단되었을 경우만 fit test를 실시하였다. 피검자가 느끼기에 최적의 fit 상태가 유지되지 못했을 경우에는 보호구를 벗어서 다시 착용하였다.

### 5. 자료분석

매일매일의 overall FF간에 변동을 알아보기 위하여 우선 각 보호구에 대해 1일 10회씩 5일 동안 50회의 fit test를 실시하여 50회의 overall FF값을 구한 다음 이들이 어떤 분포를 하고 있는지를 확인하였다. 이들이 대수정규분포를 하고 있었으므로 1일 10회의 overall FF로부터 기하평균값을 구하고 5일동안 이들 5회의 기하평균값들간에 매일매일 변동에 유의한 차이가 있는지 검증하였다. Fit test exercise regime 사이의 변동을 알아보기 위해서 각 exercise의 FF값이 대수정규분포를 하고 있는지 확인한 다음 각 exercise FF 값 총 50회로 부터 기하평균값을 구하고 이들 각 exercise regime의 기하평균 FF값이 NB1의 기하평균 FF와 유의한 차이가 있는지를 검증하였다. 유의성 검증은 모든 FF

값에 상용대수를 취하면 정규분포를 하므로 이들 값들을 검증에서 용하였다. 모든 통계처리는 excel 5.0을 이용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 매 착용시와 일간 overall FF의 변화

각 보호구당 5일 동안 총 50회의 fit test를 실시하여 50회의 FF를 구한 결과 이들은 모두 대수정규분포를 하고 있어서 da Roza 등(1983)의 연구 결과와 잘 일치하였다. 표 1과 그림 1은 1일 10회의 overall FF 값과 전체 5일동안 50회의 overall FF 값에서 기하평균(GM)과 기하표준편차(GSD)를 계산한 표와 그래프이다.

예상했던 대로 대체로 half mask보다는 full facepiece의 overall FF 값이 높아 일반적으로 full facepiece 보호구가 half mask 보호구 보다 더 좋은 fit 정도를 보여 주었다.

매 착용시마다 변화를 알아보았다. 매 1일동안 10회씩 overall FF의 변화를 GSD를 통하여 알아 보면 거의 대부분의 half mask보호구가 full facepiece보호구 보다 높은 GSD를 보이고 있으며 전체 5일동안 총 50회의 변화는 모든 half mask가 full facepiece보다 높은 GSD를 보이고 있다. 특히, 보호구 H2의 경우가 가장 심한 차이를 보이고

있는데, 예를 들면, 5일동안 측정한 전체 50회 overall FF의 GSD가 2.20이어서 GM은 1064이지만 95 % 신뢰구간을 계산하면 5150과 220이 되므로 상당히 많은 변화가 있음을 알 수 있다. 이상에서 full facepiece 보호구의 fit의 변화가 half

Table 1. Day to Day Variations Overall Fit Factors.

Respirator Type	Statistical Classification	Day Tested					
		1st	2nd	3rd	4th	5th	Average
Half Mask	GM*	157	134	172	148	182	157
	GSD*	1.35	1.55	1.45	1.27	1.66	1.47
	H1	Max.	229	235	284	302	459
		Min.	79	62	119	87	79
	H2	GM*	2371	1224	987	692	692
		GSD*	1.62	1.70	2.20	1.70	2.47
		Max.	4269	2475	3291	1312	2530
		Min.	876	693	162	279	147
	H3	GM*	1903	1320	1239	792	2212
		GSD*	1.80	1.89	2.03	1.59	1.37
		Max.	5224	4824	2644	1554	3849
		Min.	752	437	448	375	1656
	H4	GM*	2621	1161	1191	1985	2272
		GSD*	1.80	1.89	2.03	1.59	1.37
		Max.	3654	2006	2101	3146	3554
		Min.	1195	546	421	724	1399
Full Facepiece	GM*	539	559	510	730	956	649
	GSD*	1.33	1.33	1.14	1.13	1.80	1.36
	F1	Max.	2055	1567	1511	3377	2005
		Min.	412	322	438	597	750
	F2	GM*	1450	1286	1203	2376	1703
		GSD*	1.25	1.11	1.17	1.20	1.13
		Max.	2055	1567	1511	3377	2005
		Min.	1039	1122	1065	1728	1328
	F3	GM*	4894	4044	5326	4625	5159
		GSD*	1.32	1.52	1.12	1.46	1.20
		Max.	7142	6693	6803	6682	7002
		Min.	2997	1462	4468	1825	3851
	F4	GM*	5503	5036	7456	7497	7345
		GSD*	1.23	1.41	1.29	1.25	1.19
		Max.	8642	8978	10547	9520	9990
		Min.	4286	2803	4259	5241	6114

\* Geometric means and geometric standard deviations were calculated for 10 fit factor measurements for each condition

mask의 fit의 변화보다 적음을 알 수 있었는데 이는 full facepiece는 안면 전체를 감싸고 있어서 fit test exercises시 보다 적은 안면피부의 변화를 초래하기 때문일 것이다.

일간 변화를 비교하기 위하여 1일 overall FF의

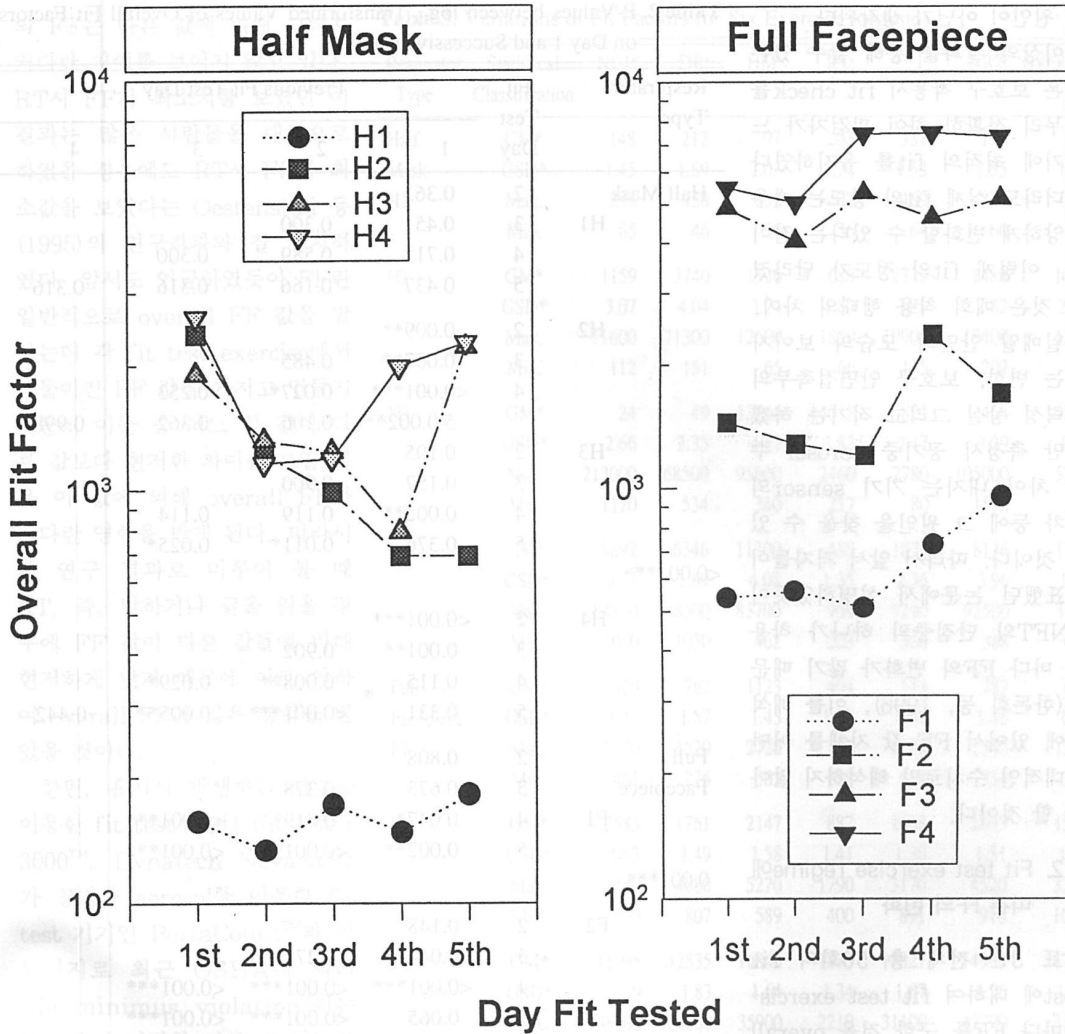


Fig. 1. Day to Day Variations of Geometric Means of the Overall Fit Factors.

GM을 다른날의 overall FF의 GM과 비교하여 보았다. 보호구 H2를 제외하고 모든 보호구에서 어떤 일정성을 보이지 않고 있으며 모든 보호구에서 많은 변화가 있음을 알 수 있다(Figure 1 참조). 표 2는 overall FF 값을 상용대수로 변화시킨 다음 1일의 overall FF 상용대수 변환값과 다른 날의 값 간에 유의한 차이가 있는지를 T-test통하여 알아 본 것이다. 보호구 H1과 보호구 F3를 제외하고는 모든 보호구에서 일간 overall FF 값의 변화가 심하므로 일부 보호구를 제외한 대부분의 보호구에서 일간 fit가 일정하지 않음을 알 수 있다. 한 보호구의 반복

적인 착용은 그 보호구 착용에 대해 상당히 익숙하여져 있으므로 시간이 지남에 따라 더 좋은 fit가 유지될 수 있다고 하였는데(Johanson과 Morgan, 1984), 본 연구 결과에서도 half mask에서는 H1, 대부분의 full facepiece는 대체로 시간이 지나면서 좋은 fit 정도를 보이고 있으나 실험기간이 5일에 불과하였던 고로 명확한 차이를 볼 수 없었던 것 같다. 이와는 반대로 보호구 H2는 일정하게 overall FF 값이 낮아지며 통계적으로 유의한 차이가 있었던 것에 대하여 여러 원인으로 설명할 수 있겠으나 무엇보다도 보호구의 안면접촉부 탄력성 상실이 주

된 원인이 아난가 생각된다.

이상의 결과를 통해 알수 있는 것은 보호구 착용시 fit check를 아무리 정확히 하여 피검자가 느끼기에 최적의 fit를 유지하였다 하더라도 실제 fit의 정도는 매우 다양하게 변화할 수 있다는 점이다. 이렇게 fit의 정도가 달라졌던 것은 매회 착용 행태의 차이, 매일매일 안면의 모습의 보이지 않는 변화, 보호구 안면접촉부의 탄력성 상실 그리고 적기는 하겠지만 측정시 공기중 aerosol 수의 차이 내지는 기기 sensor의 오차 등에 그 원인을 찾을 수 있을 것이다. 따라서 앞서 저자들이 발표했던 논문에서 설명하였듯이 QNFT의 단점중의 하나가 착용시 마다 FF의 변화가 많기 때문에(한돈희 등, 1996), 이를 해석함에 있어서 FF 값 자체를 어떤 절대적인 수치로만 해석하지 말아야 할 것이다.

## 2. Fit test exercise regime에 따른 FF의 변화

표 3은 전체 총 50회의 fit test에 대하여 fit test exercises마다 FF를 구한 것을 overall FF와 더불어 GM과 GSD로 나타낸 것이며 그림 2는 이를 그래프한 것이다. Half mask인 경우 보호구 H1은 HM, 보호구 H3는 J, 그리고 H2와 H4는 RT에서 FF가 최소치를 나타내고 있으며 특히 H2와 H4의 RT 값과 H3의 J 및 RT 값은 다른 어떤 값들에 비해 현격한 차이를 보이고 있다. Full facepiece 보호구인 경우에는 모든 보호구에서

fit test exercise FF 값의 변화가 일정성을 보이고 보이면서 다른 값에 비해 현격한 차이를 보이고 있다. 즉, 모든 보호구는 RT의 FF 값이 최소값을 고 J에서 두번째로 낮은 값을 보이고 있으나 J에서

**Table 2.** P-Values between  $\log_{10}$  Transformed Values of Overall Fit Factors on Day 1 and Successive Days.

Respirator Type	Fit Test Day	Previous Fit Test Day			
		1	2	3	4
Half Mask	H1	2	0.363		
		3	0.451	0.300	
		4	0.712	0.589	0.300
		5	0.437	0.166	0.316
	H2	2	0.009**		
		3	0.007**	0.485	
		4	<0.001***	0.027*	0.253
		5	0.002**	0.106	0.362
	H3	2	0.105		
		3	0.157	0.900	
		4	0.002**	0.119	0.114
		5	0.376	0.011*	0.025*
	H4	2	<0.001***		
		3	0.001**	0.902	
		4	0.115	0.008**	0.029*
		5	0.331	<0.001***	0.005**
Full Facepiece	F1	2	0.808		
		3	0.673	0.378	
		4	0.047*	0.019*	<0.001***
		5	0.002**	<0.001***	<0.001***
	F2	2	0.148		
		3	0.044*	0.278	
		4	<0.001***	<0.001***	<0.001***
		5	0.065	<0.001***	<0.001***
	F3	2	0.285		
		3	0.392	0.100	
		4	0.706	0.488	0.300
		5	0.625	0.151	0.648
	F4	2	0.493		
		3	0.010*	0.009**	
		4	0.004**	0.007**	0.960
		5	0.003**	0.008**	0.880

\*significant level at 0.05 \*\*significant level at 0.01

\*\*\* significant level at 0.001.

의 FF는 다른 값에 비해 그다지 커다란 차이를 보이지 않고 있다. RT시 FF가 최소치를 보였던 이 결과는 많은 사람들을 대상으로 하였을 경우에도 RT시 FF가 최소값을 보였다는 Oestenstad 등 (1995)의 연구결과와 잘 일치하였다. 앞서도 언급하였듯이 FF란 일반적으로 overall FF 값을 말하는데 각 fit test exercise에서 만들어진 FF 값을 가지고 만들기 때문에 이들 중 어느 한 값이 다른 값보다 현저한 차이를 보일 경우 이 값에 의해 overall FF가 커다란 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구 결과로 미루어 볼 때 RT, 즉, 말하거나 글을 읽을 경우에 FF 값이 다른 값들에 비해 현저하게 낮기 때문에 이로 인하여 overall FF가 많은 영향을 받았을 것이다.

한편, 흡기시 발생하는 압력을 이용한 fit test 기기 (FitTester 3000™, Dynatech Nevada사)가 공기중 aerosol를 이용한 fit test 기기인 PortaCount™와 마찬가지로 최근 OSHA에 의해 "de minimus violation(이는 OSHA가 지적한 바로 그 방법은 아니지만 그와 동일한 효과를 나타내는 대체 방법으로 인정한다는 의미임)"으로 인정되어 시판되고 있다 (US Department of Labor, 1994). 이 기기는 PortaCount가 아직까지 해결하지 못했던 많은 단점들을 보완하였으나 이 기기가 가지고 있는 최대의 단점은 ANSI와 OSHA에서 요구하고 있는 fit test exercises를 완전하게 수행할 수 없다는 점이다. 이 기기는 흡기시 발생하는 압력차이를 이용하여 fit의 정도를 측정하기 때문에 fit test 수행시 반드시 호흡을

**Table 3.** Variations of Fit Factors for Six Exercise Regimes.

Respirator Type	Statistical Classification	NB1 <sup>a</sup>	DB <sup>a</sup>	HM <sup>a</sup>	RT <sup>a</sup>	J <sup>a</sup>	NB2 <sup>a</sup>	OVERALL
Half Mask	GM*	148	212	97	203	331	199	157
	GSD*	1.45	1.69	2.03	1.74	1.53	1.55	1.47
	Max.	298	450	653	402	459	376	302
	Min.	65	46	26	36	64	60	62
H1	GM*	1159	3740	1536	688	2739	1486	1065
	GSD*	3.07	4.04	3.74	1.80	3.88	2.82	2.20
	Max.	11600	71300	12600	1810	19900	10400	4269
	Min.	112	151	65	66	135	207	147
H2	GM*	24	49	13066	14018	821	464	14320
	GSD*	2.66	2.35	4.41	1.83	2.47	2.29	1.93
	Max.	213000	68500	95900	2460	2780	105000	5224
	Min.	1120	534	380	217	80	1570	375
H3	GM*	9892	6346	11300	489	1875	8136	1748
	GSD*	3.32	2.69	4.08	1.35	2.36	3.96	1.67
	Max.	84100	48300	83700	904	9290	92500	3654
	Min.	1080	1030	462	203	366	388	421
H4	GM*	929	762	1123	404	523	787	649
	GSD*	1.42	1.57	1.43	1.39	1.61	1.46	1.36
	Max.	2170	1520	2720	767	1080	1740	1247
	Min.	461	276	503	198	114	354	322
Full Facepiece	GM*	2583	1761	2147	887	1665	1693	1554
	GSD*	1.63	1.49	1.58	1.41	1.30	1.51	1.34
	Max.	7180	4880	5270	1790	3170	4520	3377
	Min.	839	807	589	400	891	918	1039
F1	GM*	11095	12535	16840	1235	11827	14932	4788
	GSD*	1.89	1.83	1.64	1.34	1.67	1.96	1.37
	Max.	38500	27600	35900	2210	31100	42700	7142
	Min.	866	1150	1530	586	1880	1110	1462
F2	GM*	24502	23186	27070	1602	8721	25922	6474
	GSD*	1.76	1.67	1.55	1.47	1.85	1.71	1.34
	Max.	67500	78400	60300	4770	18700	135000	10547
	Min.	2700	6140	9950	549	1100	7900	2803

\* Geometric means and geometric standard deviations were calculated for 50 fit test measurements for each condition

<sup>a</sup> NB1: Normal Breathing 1, DB : Deep Breathing, HM : Head Movement, RT : Reading or Talking, J: Jogging, NB2: Normal Breathing2

멈추어야 한다. FitTester 3000™으로 fit test를 수행할 경우에는 aerosol을 이용할 때와 유사한 fit test exercises를 수행하도록 제작자 측에서 별도로



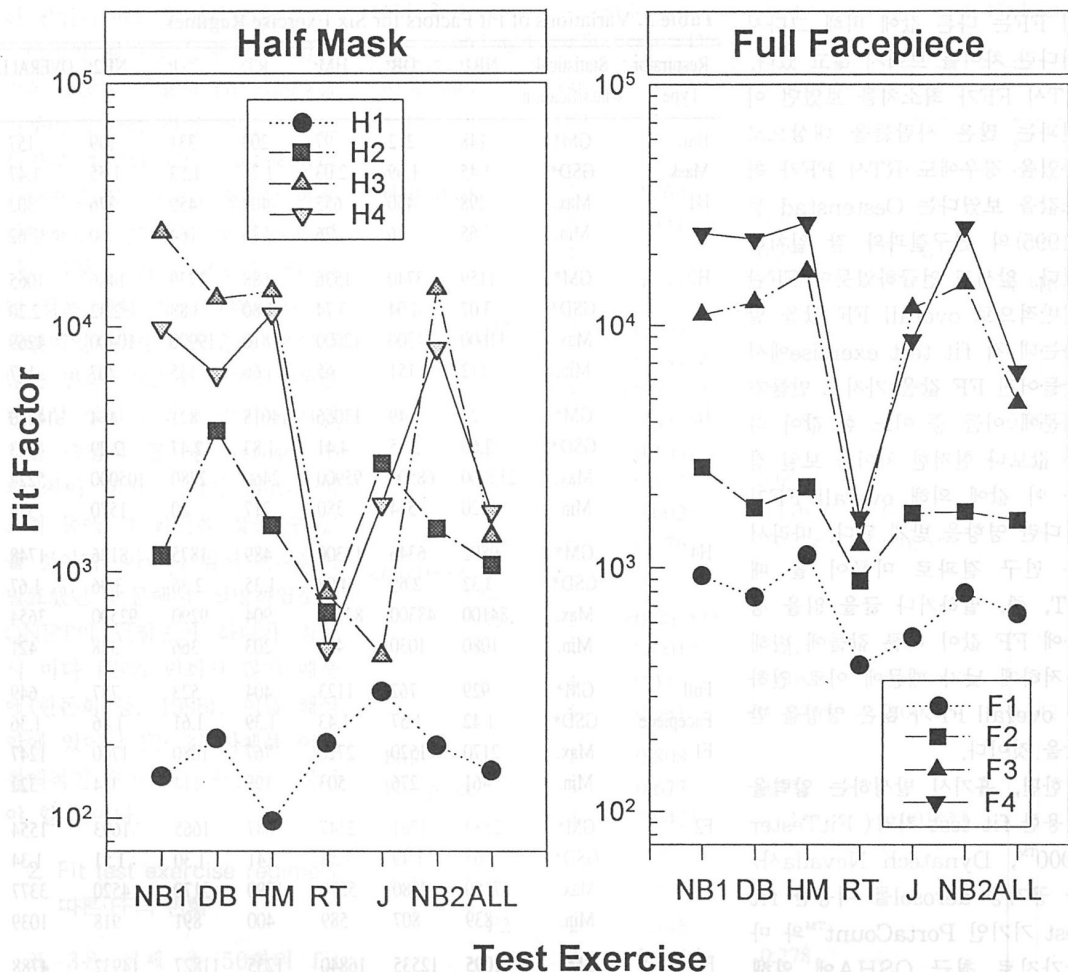


Fig. 2. Fit Test Exercise Variations of the Geometric Means of the Fit Factor.

Note : NB1=Normal Breathing1, DB=Deep Breathing, HM=Head Movement

RT=Reading or Talking, J=Jogging, NB2=Normal Breathing2

정하여 놓았으나 다른 fit test exercise와는 달리 호흡을 멈춘 상태에서 RT와 J를 자연스럽게 수행할 수 없는 단점을 안고 있다. 그러나 만약 NB1의 FF가 다른 fit test exercises의 FF와 별다른 차이가 없다면 비록 RT와 J를 완벽하게 수행하지 못하여도 NB1의 FF로 대체하면 되기 때문에 그다지 큰 문제가 될 수 없을 것이다. FitTest 3000™을 개발한 Crutchfield와 Van Ert(1993)는 aerosol을 이용한 측정법에서 NB1의 FF 값과 기타 다른 fit test exercises의 FF 값들 사이에 유의한 차이가 없다고 하였다. 표 4는 모든 FF 값들을 상용대수값

으로 변환시킨 다음 NB1과 기타 다른 fit test exercises의 FF 값들 간에 유의한 차이가 있는지를 알아 보았다. 전체적으로 보았을 때 일부 보호구에서 NB1의 FF와 HM, NB2의 FF간에 유의한 차이가 없었다. 즉, 보호구 H2, H4, F4는 NB1과 HM간 FF 값과 NB1과 NB2 간 FF 값 사이에 유의한 차이가 없었다. 예상대로 일부 보호구(H2, H4, F4)에서 NB1과 NB2의 FF 간에 유의한 차이가 없었으나 나머지 보호구에서 유의한 차이가 있었던 것은 NB1은 가장 먼저 수행하고 NB2는 가장 나중에 수행하기 때문에 NB2 수행전 여러가지 다른

Table 4. P-Values between log<sub>10</sub> Transformed Values of NB1 Fit Factors and The Remaining Other Exercises Fit Factors.

Respirator Type		DB <sup>a</sup>	HM <sup>a</sup>	RT <sup>a</sup>	J <sup>a</sup>	NB2 <sup>a</sup>	OVERALL
Half Mask	H1	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	0.179
	H2	<0.001***	0.124***	<0.001***	<0.001***	0.051***	0.385
	H3	<0.001***	0.016*	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***
	H4	<0.001***	0.223	<0.001***	<0.001***	0.141	<0.001***
Full	F1	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***
Facepiece	F2	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***
	F3	0.147	<0.001***	<0.001***	0.408	0.016*	<0.001***
	F4	0.511	0.196	<0.001***	<0.001***	0.501	<0.001***

\*significant level at 0.05

\*\*significant level at 0.01

\*\*\*significant level at 0.001

<sup>a</sup>DB : Deep Breathing, HM : Head Movement, RT : Reading or Talking, J : Jogging, NB2 : Normal Brething 2

exercises의 수행으로 안면과 보호구간의 접촉면이 NB1 수행시와는 많은 변화를 가져왔기 때문일 것이다. 각 보호구별로 보았을 경우 보호구 F4는 RT와 J를 제외하고는 NB1의 FF가 다른 FF와 차이를 보이지 않았으나 보호구 F4를 제외한 나머지 대부분의 보호구들은 NB1의 FF가 다른 FF들과 상당한 차이를 보이고 있고 특히, 모든 보호구들은 RT에서 예외없이 NB1의 FF와 상당한 차이를 보였다.

이러한 결과들은 Crutchfield와 Van Ert(1993)의 연구와는 상당히 다르기 때문에 앞으로 이에 관한 연구들이 더 이루어져야 할 것이며 만약 앞으로의 연구에서도 NB1과 다른 기타의 fit test exercises, 특히, RT와 J 간의 FF가 상당히 다른 경우에는 비록 현재 OSHA에서 FitTester 3000™을 "de minimus violation"으로 인정한다고 하더라도 이에 대한 보완방법이 따로 마련되어야 할 것이다.

#### IV. 결 론

Fit test는 호흡기보호구착용자의 안면과 보호구간에 밀착정도(fit)가 얼마나 잘 이루어져 있는지를 그 정도를 알아보는 것이다. Fit test에는 정성적인 방법(QLFT)과 정량적인 방법(QNFT)으로 나누어 측정할 수 있으며 현재 사용되고 있는 QNFT방법에는 크게 에어로졸을 이용하는 방법과 흡기중 압력을 이용하는 방법으로 나눌 수 있는데 아직까지는 에어로졸을 이용하는 방법을 가장 많이 사용하고 있다. 피검자가 일정한 실험실내에서 보호구를 착용한 다

음 에어로졸을 이용하여 보호구의 안과 밖에서 그 농도차이를 비(ratio)로 나타 낸 것을 fit factor (FF)라고 한다. FF는 일반적으로 overall FF를 말하는데 overall FF를 산출하기 위해서는 여섯가지 아홉가지의 fit test exercises를 수행하면서 얻어진 각각의 FF에서 그 값을 산출할 수 있다.

본 연구는 QNFT방법의 단점이라고 할 수 있는 착용시마다 FF 값의 변화정도와 fit test exercises 수행시 산출된 각각의 FF 간에 얼마만큼의 변화가 발생하는지를 알아보기 위하여 수행하였다. 본 연구는 inter-personal bias를 줄이고 오직 intra-personal bias만 발생케하기 위하여 한 피검자를 대상으로 동일한 착용행태와 동일한 fit test exercises로 많은 회수의 fit test를 수행하였다. 피검자는 half mask 4개(H1-H4), full facepiece 4개(F1-F4)를 선정한 다음 하루에 half mask 1개, full facepiece 1개씩을 오전, 오후로 나누어 착용하였고 각 보호구마다 10회씩 연속적으로 5일동안 총 50회씩의 fit test를 수행하였으며 이때 사용한 기기로는 TSI의 PortaCount 8010을 사용하였다.

Overall FF를 포함한 모든 fit test exercise FF 값들은 대수정규분포를 하고 있었다. 매 착용시마다 각 overall FF에서 산출한 GSD변화는 full facepiece보다 half mask가 더 심하였으며 일간 변화는 보호구 H1, F3, 2개 보호구를 제외하고 나머지 모든 보호구가 매우 심하게 변화였다. 보호구 H1과 H3를 제외한 모든 보호구에서 fit test exercise의 FF중 RT 즉, 말하거나 읽을때의 FF

값이 다른 나머지 값들에 비해 현저하게 낮은 최소치를 나타내었다. NBI의 FF 값은 일부 보호구들의 일부 fit test exercise를 제외하고는 대부분 보호구의 fit test exercise의 FF와 많은 차이를 보였다.

## 참 고 문 헌

한돈희, K. Willeke, C. E. Colton : 호흡기보호구의 Fit Test 방법과 규정에 관한 고찰. 한국산업 위생학회지 1996; 6(1): 38-54

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

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

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

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

Colton CE, Birkner LR, Brosseau LM (eds) : Respiratory Protection: A Manual and Guideline, 2nd ed., Fairfax, VA, American Industrial Hygiene Association, 1991

Crutchfield CD, Van Ert MD: An examination of issues affecting the current state of quantitative respirator fit testing, J Int Soc Res Pro 1993; 11(2): 5-18

da Roza RA, Cadena-Fix CA, Carlson GJ, Hardis KE, Held BJ : Reproducibility of respirator fit as measured by quantitative fitting tests, Am Ind Hyg Assoc J 1983; 44(11): 788-794

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

Johanson RE, Morgan MS : Some observations on frequency of respirator fit tests, Am Ind Hyg Assoc J 1984; 45(2): 134-135

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

Oestenstad RK, Hollenbeck SM, Sherill JL: Variation of respirator fit among the exercises of a quantitative fit test as measured in a respiratory protection program, Paper presented at the American Industrial Hygiene Conference & Exposition, Kansas City, Missouri, May 1995

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

US Department of Labor : Memorandum "Quantitative Respirator Fit Testing Requirements and Compliance", Washington D.C. 20210, June 24, 1994