한국산업위생학회지 제9권 제1호
Korean Ind. Hyg. Assoc. J
Vol. 9, No. 1, May, 1999

호흡기보호구의 밀착도 검사와 안면규격 Panel의 개발

인제대학교 산업안전시스템 공학부

한 돈 희

- Abstract -

Fit Testing for Respirators and Development of Fit Test Panels for Koreans

Don-Hee Han

Department of Industrial Safety & System Engineering,
Inje University

Even though there is no fit test regulations in Korea, in many developed countries, respirator fit testing is required before entering specific work environment to ensure that the respirator worn satisfies a minimum of fit and that the user knows when the respirator fits properly. Due to no regulation for fit test, a lot of Korean workers wearing respirators may be potentially exposed to hazards. Anthropometric test panels for testing the fit of respirators are very important to develop respirators fitted properly for Korean workers.

To evaluate the fitting performance, 304 workers (272 males, 32 females) and 536 students (268 male, 268 females) were fit tested for 4 full-facepieces (2 domestic-made S, C, and 2 foreign-made T, N), 2 half masks (1 domestic-made S, and 1 foreign-made T) and 3 quarter masks (2 domestic-made S, C, and 1 foreign-made T) with PortaCount 8020. Fit factors of foreign-made masks were higher than those of domestic-made masks in all types. Males were fitted more properly than females.

* 이 연구는 1997년도 산학협동연구재단 및 보건복지부의 보건의료기술연구개발(과제번호: HMP-97-E-5-0016) 연구비로 연구되었습니다.

A facial dimension survey of 364 workers (339 males, 25 females) and 158 students (69 males, 89 females) was conducted to develop test panels for fit testing. Subjects were selected on the basis of face length and face width to wear full-facepiece masks in test. For testing half- and quarter masks, face length and lip length were used. Test panels containing 25 male-and-female subjects and 16 male subjects were respectively developed for full-facepiece, and half-and quarter masks to represent a majority of population surveyed.

Key Words : Respirator, Fit Test, Fit Factor, Fit Test Panel

I. 서 론

우리 나라의 산업보건분야에서 건강진단과 분석 분야에서는 괄목할 만한 진보를 거듭하고 있으나 오히려 보다 기초단계라고 할 수 있는 호흡기보호구에 대한 연구는 매우 부족한 편이다. 특히, 호흡기보호구에 대한 안전성 평가라고 할 수 있는 밀착도 검사(Fit Test)에 대한 개념은 이제 겨우 소개된 상태이다(한돈희 등, 1996). 지금까지 실제 사업장 근로자들을 피검 대상으로 한 호흡기보호구에 대한 밀착도 검사는 아직까지 한 번도 실시되어 보고된 적이 없으며 밀착도 검사가 법적으로 규정되어 있지 않기 때문에 정부 관계자나 생산업자들이 그 중요성을 인식하지 못하고 있음은 당연한 일인지도 모른다.

그러나 밀착도 검사나 Total Inward Leakage Test (European Standards, 1989)의 중요도는 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 단지 우리가 아직까지 밀착도 검사나 TIL에 대한 지식이 부족하고 정보가 없기 때문에 그 중요도를 인식하지 못할 뿐이다. 산업보건분야의 선진국인 미국, 캐나다, 호주, 뉴질랜드 그리고 EC 여러 나라가 법으로 규정하여 반드시 실시하도록 한 것만 보아도 그 중요도를 인식할 수 있을 것이다(European Standards, 1989; 29 CFR 1910.134, 1998; Canadian Standards Association, 1993; Standards Australia and Standards New Zealand, 1994).

현재 국내에서 사용 중인 호흡기보호구들의 밀착 정도는 과연 어느 수준일까? 실제 작업장의 근로자가 아닌 한정된 일부 자원자들과 대학생들을 피검 대상자로 연구한 박은주와 김현욱(1995)과 한돈희 등(1997)에 의한 연구에 의하면 국산제품이 외국산 제품보다 현격히 떨어짐이 확인되었다. 그러나 지금까지의 연구들은 작업 현장에서 일하는 근로자들이 아니고 일부 자원자와 대학생을 피검 대상자로 선정하였다는 한계점이 있기 때문에 보다 정확한 정보를 얻기 위해서는 현장에서 근무하는 작업자들을 피검 대상으로 한 fit test가 필요하다.

한편, 착용자의 안면에 맞는 호흡기보호구를 개발하기 위해서는 어떻게 해야 하는가? 우선, 착용할 사람의 얼굴형을 측정하여 보호구를 만든 후 그 다음 이 제품을 다시 착용자를 피검 대상으로 밀착도 검사를 실시하면 된다. 그러나 각 사람의 안면을 측정하여 착용자의 얼굴에 맞는 보호구를 생산한다는 것은 불가능한 일이며 밀착도 검사가 제도화되어 있지 않은 나라에서 밀착도 검사를 강요한다는 것 역시 현실적이지 못한 일이다.

그렇다면 어떻게 할 것인가? 이때에는 test panel을 만들어 밀착도 검사를 실시하는 것이다. 미국에서는 호흡기보호구를 개발하거나 개발 후 시판하기 위해서는 밀착도 검사를 받아야 하는데 test panel이란 밀착도 검사를 받을 때 필요한 대표 피검 인구집단을 말하며 이미 미국에서는 20여년 전에 개발되어 사용되고 있다(Hack 등, 1974). 호흡기보호구는 일정한 안면구조를 가진 test panelist 들에게 착용하게 하여 QNFT(Quantitative fit test)를 통과하도록 규

정하고 있다. Test panel을 구성할 때에는 전면형 마스크에 대해서는 얼굴 길이(face length)와 얼굴 폭(face width)을 이용하고 반면형 및 1/4형 마스크인 경우에는 얼굴 길이와 입술 길이(lip length, 입술 폭; lip width라고도 함)를 parameter로 이용한다(Hack와 McConville, 1978).

본 연구는 한국인의 안면체형에 알맞은 호흡기보호구를 개발하기 위한 전(前)단계로서 현재 작업현장에서 근무하는 작업자들을 대상으로 ① 호흡기보호구에 대한 밀착도 검사를 실시하였고 아울러 이들의 안면을 측정하여 피검 대상자들을 대표할 수 있는 ② test panel을 개발하였다.

II. 연구방법

1. 밀착도 검사

1) 피검 호흡기보호구와 피검자의 선정

전면형 마스크와 반면형 및 1/4형(quarter)으로 구분하였으며 모든 마스크는 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 제품들로 선정하였다. 마스크의 종류별로 국내산과 외국산으로 나누어 선정하였다. 피검 호흡기보호구의 사양은 Table 1과 같다.

2) 피검 대상자의 선정

피검 대상자들과 이때 사용한 피검 호흡기보호구는 Table 2와 같다. 피검 대상자는 현재 사업장에서 근무하고 있는 근로자들과 대학생들로 나누어서 측정하였다. 현장 근로자들의 소속은 충남 천안에 있는 A사와 울산광역시의 B사이다. A사의 피검 대상 근로자들은 모두가 상시 호흡기보호구를 착용하고 근무하지는 않지만 이 회사는 미국인 투자회사로서 매년 본 사로부터 industrial hygiene audit을 받아야 하기 때문에 반드시 밀착도 검사를 실시해야하는 회사이다. B사는 내국인 투자회사로 거의 모든 피검 대상 근로자들이 호흡기보호구를 착용하고 근무하고 있다. 밀착도 검사를 실시한 피검 대상자는 연인원으로 남자 540명, 여자 300명, 총 840명이었다. 이 중에서 작업 현장의 근로자는 연인원으로 남자 272명, 여자 32명,총 304명이었으며 대학생들은 연인원으로 남자 268명, 여자 268명, 총 536명이었다.

3) 밀착도 검사 방법

밀착도 검사 측정을 위한 측정기기는 미국 TSI의 PortaCount 8020을 휴대용 IBM PC에 연결하여 사용하였다. Test exercise regime으로는 ① 정상호흡(NB1), ② 깊은 호흡(DB), ③ 머리움직임(HM), ④ 읽기(RT), ⑤ 조깅(J), ⑥ 정상호흡(NB2)으로 여섯 가지를 실시하였다.

2. Test Panel의 개발

1) 피검자의 선정

안면크기를 측정하기 위해 선정한 피검자의 수와 연령분포는 Table 3과 같다. 밀착도 검사와 마찬가지로 안면크기를 산출하고자 피검 대상자는 현재 사업장에서 근무하고 있는 근로자들과 대학생들로 나누어서 측정하였다. 현장 작업자들과 대학생들을 합친 피검 대상자들은 남자 408명, 여자 114명 총 522이었다.

현장 작업자들과 대학생들을 합친 전체 피검 대상자들의 연령분포를 보면 남자들의 경우 20대 32.8%, 30대 22.5%, 40대 30.1%, 50대 이상 14.5%로 비교적 고른 분포양상을 보였다. 그러나 여자의 경우 현장 작업자들의 인원이 극히 적기 때문에 거의 대부분이 대학생들로 구성되어 20대가 87.7%를 차지하였다.

특수한 목적 없이 일반적인 안면크기만을 보기 위해서는 한국 전체 성인의 성별 및 연령분포에 맞추어 안면크기를 측정하는 것이 타당하겠으나 본 연구의 목적은 궁극적으로 작업장에서 호흡기보호구를 착용하는 작업자들을 대상으로 이들의 얼굴구조에 적합한 호흡기보호구의 개발에 초점을 맞추었기 때문에 산업현장에서 호흡기보호구를 착용하고 작업하는 작업자들의 연령별, 성별 인구 구성비가 중요하다고 하겠다. 그러나 현실적으로 호흡기보호구를 착용

Table 1. Respirators fit tested

Type of Respirator	Brand	Domestic or Foreign	Model	Body Material	Size
Full-facepiece	S	Domestic	GM-125K	Silicon rubber	L
	C	Domestic	SCA-410	〃	L
	T	Foreign	7800 series	〃	L
	N	Foreign	7600 series	〃	L
Half Mask	S	Domestic	GM-24S	〃	L
	T	Foreign	7500 series	〃	L, M, S
Quarter	Z	Domestic	SK-6	〃	-
	Y	Domestic	YS-1010	〃	-
	T	Foreign	7500 series	〃	-

Table 2. Subjects fit tested

Type of Respirator	Brand	No. of Subjects			Subject's Position
		Male	Female	Subtotal	
Full-facepiece	S	53	50	103	student
	C	86	11	97	A company employee
	T	53	50	103	student
	N	86	11	97	A company employee
Half Mask	S	50	5	55	B company employee
	T	50	5	55	B company employee
Quarter	Z	54	56	110	student
	Y	54	56	110	student
	T	54	56	110	student
No. of Subjects		540	300	840	

Table 3. Distribution of subjects for measuring facial dimension

Sex	Age	Workers				Students	Total
		A Co.	B Co.	C Co.	Subtotal		
Male	20~29	44	5	16	65	69	134(32.8%)
	30~39	42	20	30	92	0	92(22.5%)
	40~49	0	23	100	123	0	123(30.1)
	50≤	0	2	57	59	0	59(14.5%)
	Subtotal	86	50	203	339	69	408(100.0%)
Female	20~29	11	0	0	11	89	100(87.7%)
	30~39	0	3	3	6	0	6(5.3%)
	40~49	0	2	4	6	0	6(5.3%)
	50≤	0	0	2	2	0	2(1.8%)
	Subtotal	11	5	9	25	89	114(100.0%)
Total		97	55	212	364	158	522

하고 근무하는 작업자들의 성별 연령별 인구 구성비를 파악한다는 것은 불가능한 것이다. 다만, 분명한 사실은 호흡기보호구를 착용하고 근무하는 작업자들은 대부분이 남자라는 사실이다. 따라서 test panel 개발을 위해서는 남자들의 구성비가 훨씬 많아야하지만 과연 얼마만큼 더 많아야 하는지는 그 정도를 정확하게 파악한다는 것은 불가능한 일이다. 따라서 실제 작업장에서 호흡기보호구를 착용하고 근무하는 여성인력이 남성인력보다 훨씬 적다는 점을 고려한다면 test panel의 panelist 인구 구성비는 당연히 남자들의 인구 구성비에 영향을 받을 것이기 때문에 남자 피검 대상자가 여자 피검 대상자보다 많은 것이 오히려 본 연구 목적에 부합된다고 사료된다. 그러나 여자 피검 대상자의 수가 너무 적으면 심한 선택오차가 생길 것이므로 이 같은 오차를 최소화하면서 가능하면 남자 피검 대상자에게 많은 영향을 줄 수 있도록 하기 위하여 남자는 400명이 넘고 여자는 100명이 넘도록 선정하였다.

2) 안면 크기의 측정

안면의 측정부위는 Fig 1에 있는 것과 같이 12개 항목이었으며 각 측정부위에 대한 정확한 측정이 필요하였으므로 인체측정 관한 전문기관인 미국 Anthropology Research Project, Inc.(Yellow Springs, OH 45387)에서 1주일간 연수를 받은 후 귀국하여 실측하였다. 측정도구는 sliding caliper(스위스 Siber Hegner; No. 104), spreading caliper(스위스 Siber Hegner; No. 106) 그리고 줄자를 이용하였다.

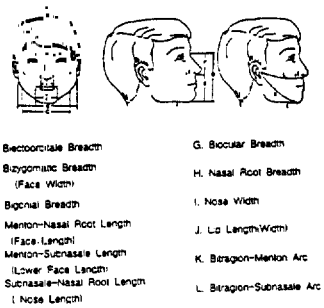


Fig. 1. Definitions of facial dimension.

III. 연구결과 및 고찰

1. 밀착정도

1) 형태, Brand, 성별 차이

밀착정도는 밀착계수(Fit Factor)의 크기로 비교하였다. 분포의 분석 결과 da Roza 등(1983)의 연구와 같이 대수정규분포를 하고 있었기 때문에 기하평균(GM)과 기하표준편차(GSD)를 산출하였고 (ACGIH, 1995) 아울러 최대값(Max.)과 최소값(Min.)을 찾아냈다. 유의성 검증은 변량을 $\log_{10}$으로 변환한 다음 z-test와 ANOVA test로 검증하였다.

호흡기보호구의 brand와 성별에 따른 밀착계수의 값들은 Table 4와 같다. 우선, 성별에 관계없이 전체 피검 대상자를 상대로 한 brand 별 밀착계수를 보면 전면형 마스크는 외국산인 T와 N 제품이 각각 10,092, 13,860으로 국내산 제품인 S, C의 1,378, 3,772보다 월등히 우수하였다($P<0.001$). 반면형 마스크에서도 외국산인 T 제품이 3,131로 S 제품의 47보다 훨씬 우수하였다($P<0.001$). 1/4형에서도 외국산인 T 제품이 1,217로 국내산인 Z, Y의 47, 233보다 훨씬 우수하였다($P<0.001$). 한편, 호흡기보호구의 유형별로 밀착계수를 보면 예측했던 대로 전반적으로 1/4형, 반면형, 전면형 순으로 밀착계수가 높았으나 전면형인 S는 반면형인 T 보다, 그리고 반면형인 S는 1/4형인 Y 및 T 보다도 오히려 밀착도가 불량하여 S사 제품은 앞으로 밀착성을 높이기 위한 기술의 개발이 시급한 것으로 드러났다.

이렇게 외국산이 국내산보다 훨씬 우수한 밀착정도를 보이고 있는 이유는 상대적으로 국내의 호흡기보호구 산업이 매우 낙후되어 있고 작업자의 얼굴에 맞는 보호구를 개발하려는 노력이 부족했기 때문으로 사료된다. 또 국내산인 S 제품과 외국산인 T 제품은 외형적으로 매우 유사한 모양을 가지고 있었으나 밀착도에서 현저한 차이를 보이고 있는 이유로는 몸체를 이루고 있는 화학재질에 차이가 있는 것으로 판단된다. 왜냐하면 두 제품 모두 실리콘 고무라고는

Table 4. Distribution of fit factors in accordance with brands and sex

Type of Respirator	Brand	No. of Subjects	Statistical Values	Male	Female	Total
Full-facepiece	S	103	GM[a]	2,782	692	1,378
			GSD[b]	5.2	8.2	7.4
			Min.	131	2	2
			Max.	353,000	23,700	353,000
	C	97	GM[a]	4,756	1,250	3,772
			GSD[b]	1.8	2.2	1.9
			Min.	1,120	103	103
			Max.	18,000	11,200	18,800
	T	103	GM[a]	5,692	1,720	10,092
			GSD[b]	12.1	17.2	8.3
			Min.	5	20	5
			Max.	534,000	128,000	534,000
	N	97	GM[a]	15,670	9,700	13,860
			GSD[b]	1.9	2.8	2.3
			Min.	1,980	235	235
			Max.	363,000	24,700	363,000
Half mask	S	55	GM[a]	86	32	47
			GSD[b]	6.4	4.8	5.4
			Min.	2	2	2
			Max.	763	153	763
	T	55	GM[a]	3,564	2,745	3,131
			GSD[b]	15.6	12.8	15.1
			Min.	35	5	5
			Max.	209,000	124,000	209,000
Quarter	Z	110	GM[a]	65	16	47
			GSD[b]	3.0	4.3	4.2
			Min.	1	1	1
			Max.	242	135	300
	Y	110	GM[a]	487	64	233
			GSD[b]	18.7	14.0	19.7
			Min.	2	1	1
			Max.	36,400	13,800	3,640
	T	110	GM[a]	2,636	279	1,217
			GSD[b]	19.8	15.4	4.0
			Min.	2	4	2
			Max.	999,000	999,000	999,000

[a]GM : Geometric mean
[b]GSD : Geometric standard deviation

하지만 두 재질의 질감과 촉감은 현저한 차이가 있으며 T 제품이 S 제품보다 훨씬 부드러워 착용감이 우수하였다. 따라서 앞으로 밀착도를 높이기 위해서는 몸체의 재질을 보다 부드러운 재질로 바꾸어야 할 것으로 사료된다.

밀착정도에서 특히 중요한 것은 낮은 밀착계수를 갖는 호흡기보호구를 착용했을 경우 작업자가 호흡기보호구를 착용하지 않은 것 보다 더 위험하다는 점이다. 왜냐하면, 비록 밀착이 잘 이루어지지 않은 보호구를 착용했을지라도 작업자는 보호구를 착용했기 때문에 안심하고 유해 오염물질에 접근하여 더 많은 오염물질에 노출될 수 있기 때문이다. 따라서

Table 5. Distribution of subjects in accordance with ranges of fit factors and pass or fail (%)

Type of Respirator	Brand	Range of Fit Factors						
		Fail				Pass		
		1~9	10~99	100~499	Total	500~999	1,000≤	Total
Full-facepiece	S	1(1.0)	8(7.8)	18(17.5)	27(26.2)	13(12.6)	63(61.2)	76(73.8)
	C	-	-	1(1.2)	1(1.2)	10(12.2)	71(86.6)	81(98.8)
	T	1(1.0)	1(1.0)	13(12.6)	15(14.6)	1(1.0)	87(84.5)	88(85.4)
	N	-	-	2(2.4)	2(2.4)	2(2.4)	78(95.1)	80(97.6)
		Fail			Pass			
		1~9	10~99	Total	100~499	500~999	1,000≤	Total
Half mask	S	15(15.5)	30(30.9)	45(46.4)	30(30.9)	8(8.2)	14(14.4)	52(53.6)
	T	1(1.0)	14(14.4)	15(15.5)	8(8.2)	10(10.3)	64(66.0)	82(84.6)
Quarter	Z	15(13.6)	61(55.5)	76(69.1)	34(30.9)	-	-	34(30.9)
	Y	17(15.5)	31(28.2)	48(43.6)	16(14.5)	7(6.4)	39(35.5)	62(56.4)
	T	6(5.5)	19(17.3)	25(22.7)	18(16.4)	3(2.7)	64(58.2)	85(77.3)

우리는 밀착계수가 낮은 호흡기보호구에 관심을 가져야 하는데 본 연구에서 밀착도가 좋은 T 마스크를 비롯하여 모든 마스크에서 밀착계수가 1, 2 정도로 착용자에 따라서는 극히 불량하게 나타날 수도 있다는 점이다. 예를 들어, 밀착계수가 1이라면 호흡기보호구의 안과 밖에서 에어로졸 농도가 동일하다는 의미로서 작업자에게 보호구를 착용하지 않은 경우 보다 더 위험하다고 할 수 있다. 따라서 밀착도 검사가 얼마나 중요한지를 다시 한번 일깨워 주는 결과라고 할 수 있다.

밀착계수를 성별로 비교하여 보면 모든 마스크에서 남자의 밀착계수가 여자의 그것보다 월등히 높은 것을 알 수 있다($P<0.001$). 이 같은 연구 결과는 Oestenstad 등(1990)의 연구와 동일한 결과이다. 왜 이러한 현상이 일어나는지는 명확히 알 수 없으나 호흡기보호구를 개발하는 과정에서 여자보다는 남자들이 많이 착용한다는 점을 고려하여 여자보다는 남자들의 얼굴구조에 적합하게 금형을 만들었기 때문이라고 생각된다.

2) Pass와 Fail

밀착도 검사를 법으로 정한 나라에서는 호흡기보호구별로 최소밀착계수를 규정하여 최소밀착계수 이상을 통과한 보호구에 대해서는 밀착도 적합 판정 즉, pass 판정을 하여 착용을 허용하지만 이 값 미만인 경우에는 밀착도 부적합 판정 즉, fail로 판정하여 착용을 불허하고 있다. 미국의 산업안전보건법(29 CFR 1910.134)에서는 전면형은 500이상, 반면형과 1/4형은 100이상을 Pass로 판정하며(OSHA regulation, 1998), 미국의 ANSI 규정에서는 전면형 1,000 이상, 반면형 및 1/4형은 100이상을 Pass로 판정하고 있다(ANSI, 1992).

Table 5는 미국의 산업안전보건법에 맞추어 본 연구에 사용되었던 호흡기보호구의 밀착정도를 적합과 부적합 즉, pass/fail로 판정한 것이다. 전면형 마스크의 경우 국산인 S 제품은 73.8%만이 pass 판정을 받아 가장 낮은 pass 비를 보였으며 역시 국산인 C 제품은 98.8%가 pass 판정을 받아 가장 높은 pass 비를 보였다. 국산의 전면형 마스크는 비교적 높은 pass 판정 비를 보였으나 반면형과 1/4형 마스크는 극히 낮은 pass 비를 보였다. 반면형 마스크인 S 마스크는 53.6%, 1/4형인 Z와 Y 마스크는 각각 30.9%, 56.4%만 pass 판정을 보여 극히 낮은 pass 비를 보인 반면 외국산인 반면형의 T 마스크는 84.6%, 1/4형인 T 마스크는 77.3%의 pass 비를 보여 국산제품보다 우수한 밀착정도를 보여주고 있다.

이 같은 연구 결과는 한국인의 체형에 알맞은 호흡기보호구의 개발이 시급함을 보여주는 것이며 또 비록 T 마스크가 다른 마스크에 비해 높은 pass 비를 보여 준다고는 하나 전면형에서 14.6%, 반면형에서 15.5%, 1/4형에서 22.7%나 되는 피검 대상자에게는 fail 판정이 나왔으므로 밀착도 검사의 제도화가 매우 중요함을 단적으로 보여 주는 것이라고 판단된다.

2. Test Panel의 개발

1) 안면크기

12가지 안면크기를 측정한 값들 중에서 test panel을 만드는데 필요한 얼굴 길이, 얼굴 너비 그리고 입술 길이는 Table 6과 같다.

이중에서 오직 입술 길이만이 1997년 한국표준과학연구원(1997)에서 조사한 조사 값과 비교할 수 있었고 나머지는 측정부위의 definition이 서로 달라 비교할 수 없었다. 한국표준과학원에서 조사한 남자들의 입술너비의 값들은 20대에 48mm, 30대에 48mm, 40대에 49mm, 50대에 50mm이었으나 본 조사에서는 연령군 별로 1~2mm의 차이를 보이고 있다. 여자의 경우는 본 조사값 들과 거의 동일하였다. 이 같은 약간의 차이는 측정요원 간의 측정오차로 해석되지만 큰 차이라고 사료되지는 않는다. 특이할 만한 사항은 남녀 모두에서 연령이 증가함에 따라 입술너비가 커지고 있다는 점이며 이 같은 결과는 한국표준과학연구원에서도 동일한 경향을 보이고 있다. 그러나, 본 연구의 결과 값들에 대한 연령별 차이는 남녀 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

얼굴 너비 역시 남자들에게서 연령이 증가함에 따라 일정하게 감소하는 경향을 보이고 있다. 즉, 20대에서 가장 커 평균값이 147.3mm에서 50대에서는 가장 작은 142.9mm까지 일정하게 감소하는 경향을 보이고 있으나 이들 차이 역시 통계적으로는 유의한 차이가 없었다. 그러나 입술너비와 얼굴 폭에 대해서는 앞으로 더 많은 표본을 추출하여 연구가 진행되어져야 할 것으로 사료된다.

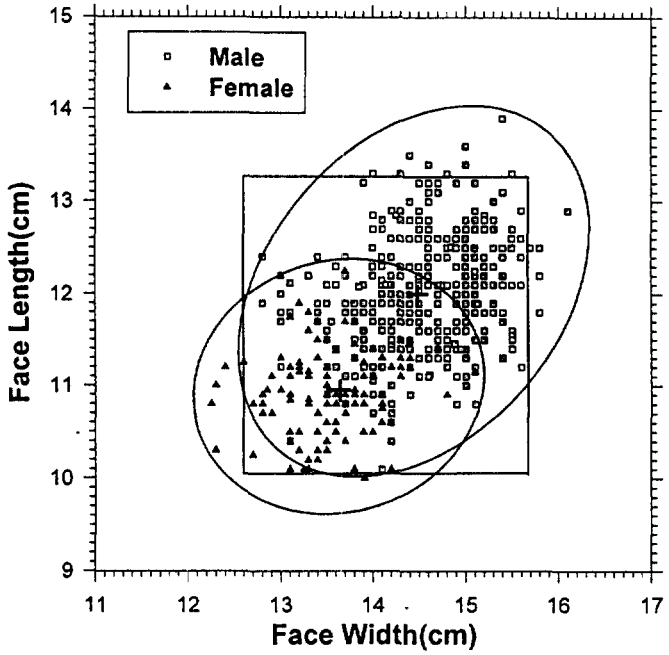
한편, 다른 나라 사람들의 측정값과 비교할 경우 특이한 사항은 한국인이 서양 백인들보다 비교적 얼굴 폭이 크다는 점이다. 1973년 미 공군 소속 남자의 얼굴 너비의 평균값(Hack et al, 1974)은 142.3mm, 1974년 미국 LASL연구소에서 조사한 백인 남자에 대한 얼굴 너비의 평균값(McConville와 Milton, 1975)은 142.9mm인데 반해 본 연구에서 남자의 경우 평균값은 145.1mm인 것으로 나타나 비록 통계적인 검증은 거치지 않았으나 한국인의 얼굴 폭이 큰 것으로 사료된다. 또 1971년 호주에서 조사한 백인 남자들의 얼굴 폭 역시 평균값(Hughes와 Lomaev, 1972)이 141.1mm, 또 다른 조사인 1982년 미국 백인 남자의 얼굴 폭 평균값(Liau et al, 1982)은 136.6mm로 나타나 역시 한국 남자의 얼굴 폭이 더 큰 것으로 사료된다. 그러나 얼굴길이의 경우 미국의 백인 남자와 거의 비슷한 평균 120.2mm를 보이고 있다. 또 입술 길이도 미국 백인들과 거의 비슷한 평균 50.4mm로 나타났다.

2) 전면형 마스크를 위한 test panel

(1) 남녀 25인 Test Panel

모든 피검 대상자들의 얼굴 길이와 얼굴 너비를 합성하여 얼굴 너비를 횡축에 얼굴 길이는 종축으로 그린 그림이 Fig 2이다. Fig 2에서 한 심볼 마크는 동일한 얼굴 크기의 많은 심볼들이 여러 개 겹쳐 있을 수 있으므로 그림에 나타난 심볼 마크는 전체 피검인원보다 훨씬 적은 수로 그려져 있다. 전체적인 분포양상은 미국인의 얼굴크기 분포정도(Hack과 McConville, 1978)와 비교하여 본 연구조사에서 나타난 한국인의 얼굴 너비가 미국인의 그것보다 크다는 점이며 이는 한국인의 안면구조가 미국인의 안면구조와는 다르다는 것을 증명하고 있다.

Test panel 은 가능하면 모든 피검 대상자가 배제됨이 없이 포함되어야 한다. Fig 2에서 각 타원형은 모든 피검 대상자들을 포함시킨다. 이들 범위를 참고로 하여 적어도 전체 피검 대상인구의 95%가 포함되도록 얼굴 너비과 얼굴 길이의 상한치과 하한치을



* A symbol may be overlapped with many same sized symbols.
* Total number of subjects : 522
  - Male : 408
  - Female : 114
* Test panel limits superimposed on at least 95% population rectangle.

Fig. 2. Distribution of combination of face width and face length on total population surveyed.

Table 6. Mean values and standard deviations of facial dimensions with sex and age(unit : mm)

	Male					Female				
	20~29	30~39	40~49	50≤	Total	20~29	30~39	40~49	50≤	Total
Bizygomatic breadth (Face width)	147.3 (5.2)	146.1 (4.9)	144.8 (6.3)	142.9 (5.8)	145.1 (5.9)	136.5 (4.7)	137.0 (5.9)	141.0 (6.1)	137.0 (2.8)	136.7 (5.4)
Menton-Nasal root length (Face length)	120.0 (5.9)	120.2 (6.0)	120.4 (6.1)	120.6 (6.3)	120.2 (6.2)	109.5 (4.2)	110.3 (4.7)	111.7 (4.6)	111.5 (4.9)	109.7 (4.5)
Lip width (Lip length)	49.3 (4.0)	50.2 (3.4)	51.7 (3.9)	52.8 (4.2)	50.4 (4.2)	44.6 (3.3)	46.7 (4.5)	50.0 (3.6)	56.0 (5.6)	45.2 (4.2)

설정하였다. 전체의 대략 95%에 해당하는 인구를 포함시키기 위한 상한치의 설정은 남자의 얼굴 너비와 길이의 평균치에 2배의 표준편차를 더하여 줌으로서 산출하였으며 하한치의 설정은 여자의 얼굴 너비과

길이의 평균치에 2배의 표준편차를 빼 줌으로서 산출하였다. Fig 2의 사각형은 이런 방식으로 구한 범위를 나타낸 것으로서 얼굴 길이의 상한치는 131.2mm, 얼굴 폭의상한치는 156.7mm이고 얼굴 길이의 하한치는 101.5mm, 얼굴 폭의 하한치는 126.8mm이며 이 사각형 안에는 전체 피검 대상 인구의 약 95%가 포함된다.

이 사각형으로 정의한 전체 인구집단을 대표할 수 있는 피검 대상자들을 선정하기 위해서는 얼굴 길이와 폭을 결합시킨 모든 피검자들을 선정해야 할 것이다. 이 같은 기준을 성취하기 위한 가장 실질적인 방법은 이들 사각형을 4 × 4 즉, 16개의 작은 box로 나누고 여기에 속한 피검 대상자들을 선정하는 것이다. 편의상 얼굴 길이와 폭을 각각 9mm로 나누어 16개의 box를 만들었다.

Fig 3은 16개의 box를 만든 다음 여기에 속한 피검 대상자수를 헤아리고 이들의 수를 전체 피검 대상자의 백분율과 각각 자신이 속한 성별 백분율로 나타낸 것이다. 남자의 전체 피검 대상자는 408명이고 여자의 총 피검 대상자수는 114명이었으나 실제 test panel을 구성하는데 사용된 인구수는 남녀 각각 95%, 97%에 해당하는 388명과 109명이다. 그런데 panelist의 수를 남자 13명, 여자 12명 총 25명으로 구성하기 위해서는 인구구성비를 조절할 필요가 있다. 남자 388명을 13명 기준으로 잡을 때 여자는 358명이 되어야 하기 때문에 여자들의 각 box 인구수는 실제 값에 3.28배로 계산한 것이다. 물론 실제 값을 3.28배로 계산하면 여자의 산포도에 약간의 차이가 있을 수도 있겠으나 각 box에 속한 panelist의 수가 절대적으로 엄격한 인구수와 구성비를 바탕으로 산출하는 것이 아니고 대략적인 인구구성비를 바탕으로 만들기 때문에 큰 오차가 발생할 것으로 사료되지는 않는다.

Box의 왼쪽 상단 즉, 얼굴의 길이가 길고 얼굴 폭이 매우 좁은 집단과 box의 오른 쪽 하단 즉, 얼굴의 길이는 짧지만 얼굴 폭은 넓은 집단의 인구수는 극히 적었다. 왼쪽 상단의 3개 box와 오른쪽 하단의 3개 box 모두 6개의 box에 차지하는 인구 구성비는 모두 합하여 4.9%에 불과하였다. 따라서 이들 box에 적합한 피검 대상자를 구하기는 대단히 어려울 것이며 실제 이런 안면구조를 가진 작업자는 극히 적을 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 미국인의 test panel 카테고리와 수치만 다를 뿐이지 양상은 동일하게 나타났다(Hack et al, 1974).

남아 있는 10개의 box는 가장 작은 것이 2.8%이고 4.4%에서 많게는 전체인구의 22%를 차지하는 box들이다. 따라서 6개의 box는 버리고 10개의 box를 이용하여 인구 구성비에 맞추어 남자 13명 여자 12명 모두 25명으로 구성된 test panel을 구성한 것이 Fig 4이다. 예를 들어, 얼굴의 길이가 116.5~107.5mm이고 얼굴 폭이 141.5~132.5mm인 피검 대상 인구수는 남자 2명, 여자 4명 총 6명이 필요하다.

Panelist의 수를 25명으로 맞춘 이유는 25명이 적합한 통계치를 산출하는데 충분한 수치이고 미국내에서 허가 받기 위해 제출한 모든 기구들에 대해 검사해야 할 필요한 수로 인정하는 수치이기 때문이다(McConville et al, 1973; Hack과 McConville, 1978). 물론 국내에서 몇 명으로 정해야 하는지 검사 수의 규정이 없기 때문에 미국 기준에 준한 것이다.

이와 같이 만든 10개의 box로 정의된 test panel은 전체 피검 대상자의 약 90% 정도를 대표한다고 할 수 있다.

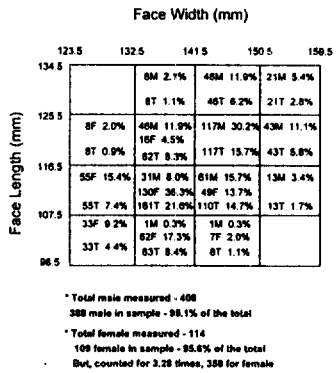


Fig. 3. Sixteen size categories of male and female panel for testing of full-facepiece respirators.

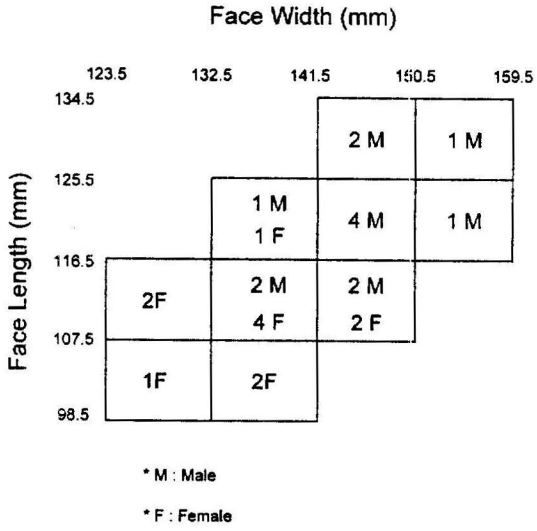


Fig. 4. Male-and-female, 25-member panel for testing of full-facepiece respirator.

(2) 남자 16인 Test Panel

실제 작업현장에서 호흡기보호구를 착용하고 근무하는 여성 작업자들은 극히 드물다. 따라서 현실적인 면을 고려해 볼 때 실질적으로 더 중요한 것은 25인의 남녀 test panel보다 16인의 남자만을 위한 test panel이라고 할 수 있다. 남녀 25인의 test panel과 단지 다른 점이 있다면 남녀 인구 구성비를 이용하지 않고 오직 남자 피검자 들만을 이용하여 개발하였다는 점이다.

전체 피검 대상자의 95%에 해당하는 인구 구성비를 9개의 box로 분류하였다. Box의 폭과 길이가 그림 3에서 남자들의 box의 그것들 보다 1mm 낮게 설정되었는데 이것은 당연히 남자들만의 분포를 기초로 했기 때문이며 편의상 각 box당 9mm인 등간격으로 맞추었기 때문이다. 좌측 상단의 1개 box와 우측 하단의 1개 box 모두 2개 box에 속한 인구집단은 모두 5.9%에 불과하지만 test panel에 가능하면 피검 대상자를 많이 포함시키는 것이 바람직하기 때문에 test panel 구성에서 배제시키지 않기로 하였다. 16인 남자들만 대상으로 한 test panel은 Fig 5이다. 남자만을 위한 16인의 test panel을 Fig 5에 있는 대로 구성한다면 피검 대상자의 약 95%가 이 범위에 속할 것으로 기대된다.

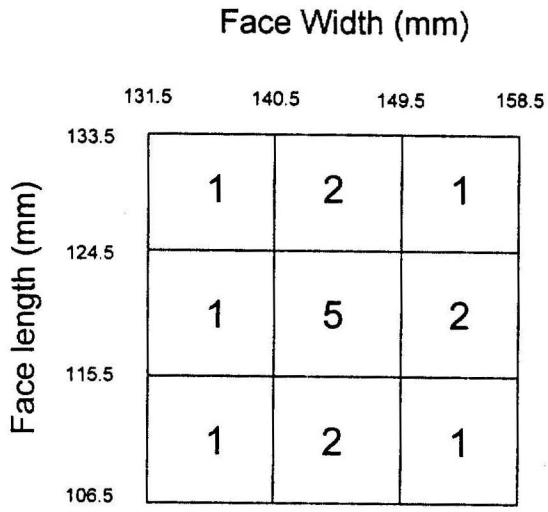


Fig. 5. Sixteen-male test panel for testing of full-facepiece respirator.

3) 반면형 및 1/4형 마스크를 위한 test panel

전면형 마스크와 동일한 방법으로 개발하였다. 이때 사용한 얼굴 크기의 parameter로는 얼굴 길이와 입술 길이이다. 남녀 25인 test panel의 상한치와 하한치는 전면형 마스크의 경우와 마찬가지로 각 성별 인구집단의 평균치와 표준편차를 이용하여 구하였다. 즉, 상한치는 남자의 평균치에 2SD를 더하였고 하한치는 여자의 평균치에 2SD를 빼줌으로서 구하였다. 얼굴 길이의 상한치는 132.6mm, 입술 길이의 상한치는 50.4mm이고 얼굴 길이의 하한치는 100.7mm, 입술 길이의 하한치는 36.8mm이다. 이들 상한치와 하한치를 이용하여 만든 직사사각형 안에는 전체 피검인원의 대략 95%가 포함된다.

이렇게 만든 직사각형을 전면형 마스크에서는 16개의 카테고리로 분류하였으나 반면형 및 1/4형 마스크에서는 12개의 카테고리로 분류하였다. Fig 6은 남녀 25인의 반면형 및 1/4형 호흡기보호구의 test panel이다. 만약 Fig 6과 같은 인구 구성비로 test panel을 구성한다면 피검 대상자의 약 95%가 test panel 영역에 포함될 것이다.

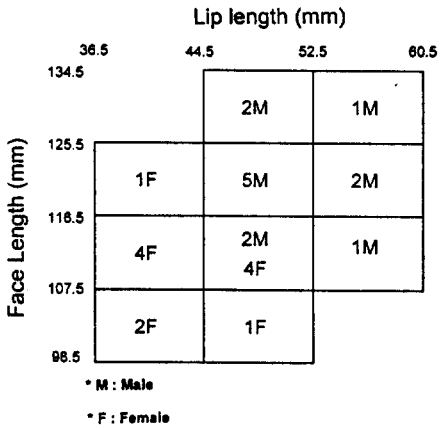


Fig. 6. Male-and female, 25 member panel for testing of half and quarter mask.

같은 방식으로 개발한 남자 16인의 반면형 및 1/4형의 test panel은 Fig 7과 같다. Fig 7에 나타난 인구수대로 test panel을 구성한다면 피검 대상인구수의 적어도 95%이상을 포함시킬 수 있을 것이다.

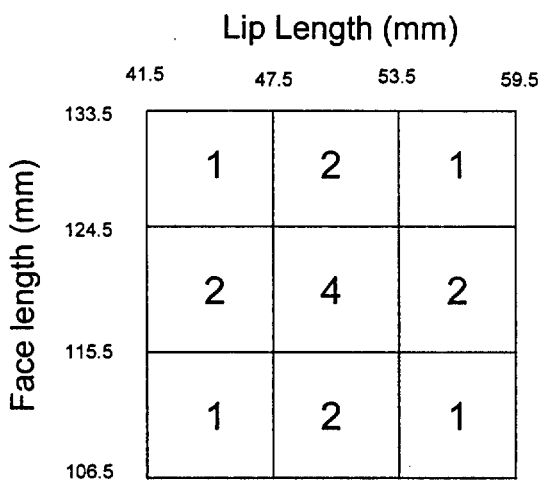


Fig. 7. Sixteen-male test panel for testing of half-mask and quarter mask.

IV. 결 론

밀착도 검사가 제도화되어 있지 않은 우리나라에서 호흡기보호구를 착용하고 있는 작업자들이 밀착이 제대로 이루어지지 않는 호흡기보호구를 착용함으로서 잠재적으로 유해환경에 얼마나 노출되는지를 확인하기 위하여 현장 작업자 남자 272명, 여자 32명 그리고 대학생 남자 268명, 여자 268명을 대상으로 전면형 마스크 S, C, T 그리고 N, 반면형 마스크 S와 T, 1/4형 마스크 Z, Y 그리고 T에 대해 Portcount Plus (TSI, 미국)를 이용한 정량적인 밀착도 검사(QNFT)를 실시하였다. 또 앞으로 한국인의 안면에 적합한 호흡기보호구의 개발을 위해 현장 작업자와 대학생을 포함하여 남자 408명, 여자 114명의 안면크기를 계측하고 이를 이용하여 안면규격 패널(fit test panel)을 개발하였다.

밀착도 검사결과 외국산인 마스크 T와 N이 국내산 마스크인 S, C, Z 그리고 Y보다 훨씬 우수한 밀착정도를 보여주었다. 비록 T와 N이 우수한 밀착정도를 보여주고 있다고 하지만 일부 피검자들에게는 부적합하게 밀착되어 유해환경에 잠재적으로 노출될 수 있으므로 밀착도 검사의 국내 도입 필요성이 증명되었다.

안면규격 panel은 전면형 마스크를 위하여 얼굴 길이와 얼굴 폭을 변수로 25인 남녀 panel과 16인 남자 panel을 개발하였다. 반면형 및 1/4형 마스크를 위해서는 얼굴 길이와 입술 폭을 변수로 활용하였으며 역시 25인 남녀 panel과 16인 남자 panel을 개발하였다. 이들 안면규격 panel은 장차 한국인의 안면에 밀착이 잘 되는 호흡기보호구의 개발과 개발 후 밀착도의 평가에 활용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

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

한국표준과학연구원: 산업제품의 표준치 설정을 위한 국민표준체위조사 보고서, 서울, 국립기술품질원, 1997,

한돈희, 나명채, 이상곤: 호흡기보호구에 대한 Saccharin QLFT와 CNC QLFT 간 상관성에 관한 연구, 한국산업위생학회지 1997; 7(1): 99-112

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

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): Air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants, Cincinnati, ACGIH, 1995, pp. 32-40

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

CFR (Code of Federal Regulations) : "Respiratory Protection" Title 29, Part 1910.134, 1998

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

da Roza, RA, Cadena-Fix CA, Carlson GJ, and Hardis KE, et al.: Reproducibility of respirator fit as measured by quantitative fitting tests, Am Ind Hyg Assoc J 1983; 44: 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

Hack AL, Hyatt EC, Held BJ, Moore TO, Richards CP, McConville TJ : Selection of respirator test panels representative of U.S. adult facial sizes, Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California, New Mexico 87544, March 1974

Hack AL, McConville TJ: Respirator protection factors: Part I - Development of an anthropometric test panel, Am Ind Hyg Assoc J 1978; 39: 970-975

Hughes JG and Lomaev O : An anthropometric survey of Australian male facial sizes, Am Ind Hyg Assoc J 1972; 33(2): 71-78

McConville TJ, Churchill E, Alan LH: Recommended subject selection and test procedure for quantitative respirator testing, Webb Associates, Inc., Los Alamos Scientific Laboratory, 1973

McConville TJ, Milton A: Anthropometric sizing program for oral-nasal oxygen masks based on 1967 U.S. air force survey data, Aviation, Space, and Environmental Medicine November 1975: 1383-1389

Liau YH, Amit B, Howard A, Carl M: Determination of critical anthropometric parameters for design of respirators, Am Ind Hyg Assoc J 1982; 43(12): 897-899

Oestenstad RK, Perkin LL: An assessment of critical anthropometric dimensions for predicting the fit of a half-mask respirator, Am Ind Hyg Assoc J 1992; 53(10): 639-644

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