

NIOSH 인증 N95 호흡용보호구의 정량적 밀착도 검사

이 기 영[‡] · 양 원 호¹⁾

캘리포니아대학교 데이비스캠퍼스 의과대학, (주) 이앤비코리아 환경연구소¹⁾

Quantitative Fit Test of NIOSH-certified N95 Respirators

Kiyoung Lee[‡] · Wonho Yang¹⁾

Department of Epidemiology and Preventive Medicine, University of California at Davis Environmental Institute, Environmental Institute, E&B Korea Ltd.¹⁾

N95 respirator is widely used to protect workers from respiratory hazard, because it is simple to use and inexpensive. As N95 respirators are commercially available from various manufacturers, selection of appropriate respirators is an important first step for an effective respiratory protection program. A previous publication from NIOSH reported various pass rates of N95 respirators. In order to select a respirator with maximum protection, we conducted a pilot test to determine fit factors of five different N95 respirators. Forty subjects participated in quantitative fit tests of all five respirators. Based on quantitative fit tests of forty subjects, passing rates of the five N95 respirators were widely varied from 8% to 98 %.

The pass rate in the fit test was not significantly affected by test sequence and gender. This pilot test showed that not all N95 respirators performed well in quantitative fit test, even though all respirators tested were certified by NIOSH. The test outcomes suggested that some respirators had significant leakage through face seal. It can be concluded that selection of appropriate N95 respirator is important and selection of more than one kind of N95 respirator is recommended for successful respiratory protection.

Key Words : N95 respirator, Quantitative fit test, Respiratory protection

I. 서 론

호흡용보호구는 작업환경에서 근로자들이 유해물질에 노출을 감소시킬 수 있는 제어방법 중의 하나이다. 정화통(cartridge)을 포함한 반면형 마스크와 일회용(disposable) 분진마스크를 포함하여 공기정화용 보호구는 대부분 산업현장에서 이용되는 호흡용보호구에서 가장 일반

적인 형태이다(Laird 등, 1993). NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)는 42 CFR(Code of Federal Regulations) part 84에서 호흡용보호구 인증에 관한 규정을 개정하였다(Federal Register 60, 1995). 42 CFR 84 규정은 효율 정도(95, 99과 99.97%)와 사용에 따른 저항 증가의 분류(N, R과 P)에 의거하여 호흡용보호구를 9가지로 분류하였다. 효

율은 약 0.1~0.3 μm 크기의 입자를 유량 85 L/min에서 투과하는 정도로 검사된다. 분류 N은 저항이 최소 저항성, P는 최고 저항성을 나타낸다. N95 호흡용보호구로 분류된 일회용 분진마스크는 95% 효율로 최소 저항성으로 분류된다.

일회용 분진마스크는 근로자들의 분진 노출을 보호할 수 있지만, 또한 올바른 밀착도 검사, 제한점의 인식 및 적절한 착용 없이는 분진 노출로부터 제대로 보호할 수 없을 수도 있다. 호흡용보호구의 face seal leakage(안면피부와 보호구 사이로 새

접수일 : 2002년 3월 18일, 채택일 : 2002년 11월 13일

[‡] 교신저자 : 이기영(Dept. of Epidemiology and Preventive Medicine University of California, Davis, California 95616, USA
Tel : 001-1-530-752-3510, Fax : 001-1-530-752-3239, E-mail: lee@ucdavis.edu)

어 들어온 것)은 정성적인 방법(Qualitative Fit Test) 또는 정량적인 방법(Quantitative Fit Test)에 의해서 측정될 수 있다(한돈희 등, 1996). 정성적 방법은 현장에서 신속히 이루어질 수 있고 저비용이지만 착용자의 주관적인 반응에 의존하기 때문에 신뢰성이 문제가 될 수 있다. 정성적 방법에는 iso-amyl acetate(바나나오일), irritant smoke, saccharin과 Bitrex[®]이 이용된다(Federal Register 60, 1995). 바나나오일은 화학물질이 필터를 통과할 수 있는 에어로졸이 아닌 증기상태이기 때문에 분진에 대한 N95 호흡용보호구에는 적용할 수 없다. NIOSH는 irritant smoke와 saccharin이 인체위험에 미칠 수 있는 영향을 고려해서 이 두 가지 물질을 이용한 정성적 방법은 추천하지 않고 있다(NIOSH, 1995).

정량적 방법은 목적 물질에 대해 참여자의 자발적 또는 비자발적 반응에 의존하지 않기 때문에 face seal leakage를 정확하게 측정할 수 있다. 정량적 밀착도 검사는 face seal leakage의 양을 정량화할 수 있는 기구를 필요로 한다. 일반적 방법은 호흡용보호구의 안과 밖에서 동시에 에어로졸(aerosol)을 측정하여 비(ratio)로 나타낼 수 있으며 이것을 밀착계수(fit factor)라고 한다. 이 방법은 곡물오일, 염화나트륨, 또는 대기 에어로졸을 주로 이용한다.

호흡용보호구는 유해물질에 대한 최대한의 통제를 제공하도록 제작되었다. NIOSH는 비록 상업용 호흡용보호구를 인증할 수 있지만, 평가는 침투효율과 필터 저급화의 저항성만을 기준으로 한다(Federal Register 60, 1995). 인증된 호흡용보호구는 작업환경에서 최악의 경우를 고려하여 시험된 모든 인증을 통과하여야 하지만, 인증 검사는 face seal leakage를 포함하고 있지는 않다. NIOSH는 20종류의 일회용 호흡용보호구의 정량적 밀착도 검사에서 몇몇 종류에 대해서 유의하게 낮은 pass rates를 보고하였다(Coffey 등, 1999).

본 연구진은 적절한 일회용 호흡용보

호구의 선택을 위해서 미국인을 대상으로 5종류의 상업용 N95 호흡용보호구에 대해 안면크기와 pass rate를 측정하여 밀착계수를 측정하였다. 본 연구의 주된 목적은 일회용 호흡용보호구의 외국산이 국내산보다 우수한 밀착정도를 나타내고 있는 있다는 국내 일부 연구자의 논문을 참고하여, 미국인을 대상으로 NIOSH 인증 호흡용보호구의 정량적 밀착도 검사를 측정하여 국내의 밀착도 검사에 비교 분석할 수 있도록 기초자료를 제공하기 위함이다.

II. 연구방법

N95 호흡용보호구는 상업적으로 많은 종류가 이용 가능하다. 본 연구에서는 소요될 시간과 제한된 자원을 고려하여 5종류의 호흡용보호구 선택하여 밀착도 검사를 측정하였다. 호흡용보호구 선택은 NIOSH의 보고서를 이용하였다(Coffey 등, 1995). 본 연구진은 호흡용보호구의 선택에 있어서 밀착도 검사에서 높은 pass rate를 나타낸 것과 가격을 고려하였다. 가격이 미화 1\$보다 적은 가격의 베기벨브가 없는 N95 호흡용보호구를 선택하였다. 그리고 본 연구진은 추가적 정보를 얻기 위하여 제조업자들과 접촉을 시도했지만, 대부분의 제조업자들은 내부적인 정보는 제공하지 않았다. 그러므로 제조업자들의 정보는 2차적 정보로 처리하였다.

본 연구에서 미국인 40명이 참여하였고, 5종류 호흡용보호구에 대한 정량적 밀착도 검사를 수행하였다. 각 참여자는 호흡용보호구의 착용에 매우 친숙했으며, sliding caliper를 이용하여 얼굴길이(face length)와 입술 폭(lip width)을 측정하였다. 이 결과는 각 참여자를 Los Alamos National Laboratory(LANL) panel에 적용할 수 있도록 하였다. LANL 호흡용보호구 test panel은 근로집단을 대표할 수 있도록 검사에 참여하는 사람의 얼굴형을 제공하도록 발전되었다(Hack와 McConville, 1978). LANL test는 각 panel에 대한 특정 참여자

를 요구하지만 본 연구에서는 따르지 않았다. 하지만 얼굴길이와 얼굴폭 측정결과는 각 panel에 대한 적어도 한 명의 참여자를 포함할 수 있도록 하였다.

N95 호흡용보호구의 밀착계수를 측정하기 위해 정량적 밀착도 검사 기구(TSI Portacount Plus Model 8020 with N95-Companion Model 8095)를 이용하였다. TSI Portacount Plus는 호흡용보호구 안쪽과 바깥쪽의 에어로졸 농도를 동시에 측정할 수 있는 정량적 밀착도 검사 기구이다. TSI Portacount Plus는 정전기적 입자 구분기를 가지고 있는 N95-Companion가 필요하며, 입자 구분기는 미리 결정된 입자크기 범위를 계수(counting)하기 위하여 Portacount로 보낸다. 밀착계수는 호흡용보호구 밖의 입자수를 호흡용보호구 안의 입자수로 나누어 계산하였다. 작업환경의 근로 형태를 모의(simulation)하는 방법으로 호흡 운동을 실행하는 동안 측정하였다.

밀착도 검사 동안 각 참여자들은 컴퓨터 스크린에 나타난 6단계를 수행하였다. 6단계는 1) 정상호흡(normal breathing), 2) 심호흡(deep breathing), 3) 머리 좌·우 움직임(head side to side), 4) 머리 상·하 움직임(head up and down), 5) 말하기(talking)와 6) 정상호흡(normal breathing)이었다. 말하기 단계에서는 "Rainbow passage"가 이용되었고, 밀착도 검사 후에 각 참여자는 호흡용보호구의 폐적성 여부를 질문 받았다.

각 참여자는 모두 5종류 호흡용보호구의 밀착도 검사를 수행하였다. 호흡용보호구는 다양한 크기(size)가 이용 가능하였다. 따라서, 본 연구진은 첫 번째 시도로서 중간 크기를 제공하였다. 만약 첫 번째 밀착도 검사가 실패한다면, 다른 크기의 것을 가지고 두 번째 밀착도 검사를 수행하였다. 참여자들이 밀착도 검사에 익숙해짐으로써 다른 pass rate를 가질 수 있기 때문에 밀착도 검사에 대한 호흡용보호구의 순서는 무작위로 할당되었고 공평히 분배되었다.

III. 연구결과

1. 안면규격

5가지 종류의 N95 호흡용보호구의 정량적 밀착도 검사는 모두 40명이 참여하였다. 40명 중에서 22명은 남성이었고 18명은 여성이었다. 입술폭과 얼굴길이의 안면규격(facial dimension)은 LANL panel과 비교하였다. Fig. 1은 LANL panel에서 참여자들의 수를 나타내었다. 참여자의 선택을 LANL panel과 조화되도록 하는 것은 본 연구진의 의도가 아니었으며, 참여자들은 각 panel에 대해 적어도 한 참여자가 포함되었다. 한 참여자만이 LANL panels 포함되지 않은 안면 규격을 가졌다. 얼굴길이 113.5~123.5mm(116.5±5.9)와 입술폭 43.5~52.5mm(47.8±4.1)에 속한 참여자가 40명 중 11명인 27.5%로 가장 많은 비율을 차지하여, 한국에서 대학생을 대상으로 측정한 얼굴길이 116.5~125.5mm와 입술폭 44.5~52.5mm와 비교할 때 얼굴 길이는 다소 작았고, 입술폭은 비슷한 값을 보였다(한돈희와 정윤석, 1999).

2. Pass rate

5가지 N95 호흡용보호구의 pass rates는 Table 1에 나타난 것과 같이 다양하게 변

Table 1. Passing rates of respirators in this study

(n= 40)

Respirator	Passing rate of first trial (%)	Passing rate after two trials (%)	Comfortable wearing (%A)
Manufacture A	92.5	97.5	76.9
Manufacture B	75.0	90.0	71.8
Manufacture C	65.0	80.0	68.4
Manufacture D	45.0	62.5	66.7
Manufacture E	7.5	NAB	38.5

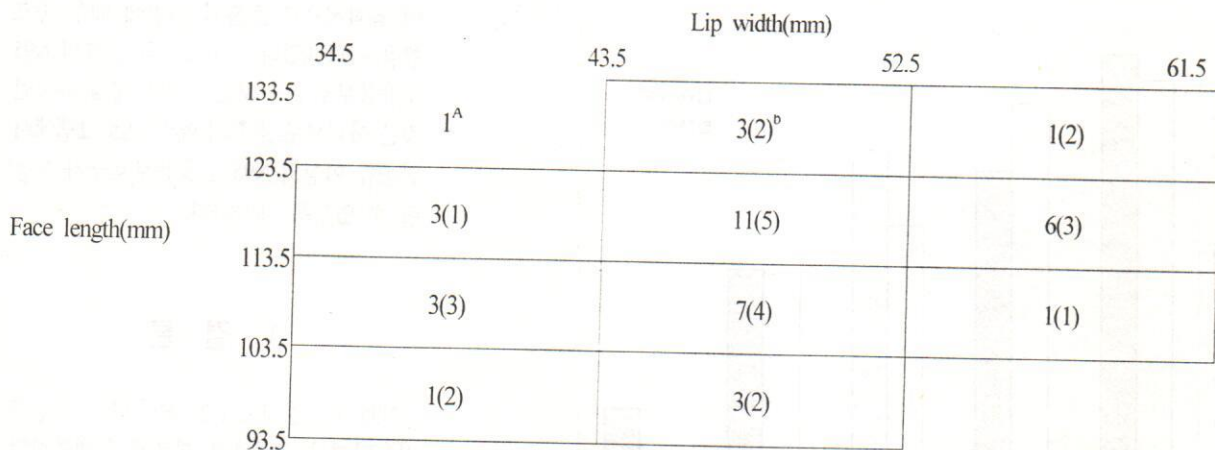
^A: One subject did not answer this question.

^B: Due to low pass rate, we tried only one fit test for this respirator.

화되었다. 호흡용보호구 A는 한 참여자만이 두 번의 시도에서 정량적 밀착도 검사에 실패했듯이 매우 좋은 pass rate를 보였다. 다른 두 호흡용보호구 B와 C는 두 번의 시도에서 80% 이상의 pass rate을 나타내었다. 그러나, 호흡용보호구 E는 3명의 참여자만이 첫 번째 시도에서 통과되었듯이 매우 낮은 pass rate를 나타내었다. 호흡용보호구 E는 첫 번째 시도에서 매우 낮은 pass rate을 나타냈기 때문에 두 번째 시도는 수행하지 않았다. 호흡용보호구의 쾌적성 여부는 비록 참여자의 주관적일 수 있지만 밀착성 검사 후 질문하였다. 참여자들의 약 67 ~ 77%가 호흡용보호구 A, B, C와 D에 대해 긍정적으로 대답하였다. 호흡용보호구 E에 대해서는 40% 이하의 참여자들이 긍정적으로 대답하였다. 정량적 밀착도 검사의 통과(pass)와 실패(fail)는 밀착계수 100을 기준으로 하였

다. 밀착계수 100은 밀착도 검사의 6단계 동안 호흡용보호구 안쪽의 개수 농도가 바깥쪽 개수농도의 1% 이하를 의미한다. 정량적 밀착도 검사에서 Portacount 소프트웨어는 밀착계수를 0~200+의 범위에서 계산하였다. 100 이상의 fit factor 값을 나타낸 것은 법률적 규정을 만족하지만 200+의 밀착계수(fit factor)는 고도의 방어 효율을 의미한다. 본 연구진이 호흡용보호구 A, B, C와 D의 fit factor을 평가했을 때, 200+의 밀착계수를 나타낸 참여자는 검사를 통과한 모든 참여자에서 각각 67%, 53%, 69%와 46%이었다.

밀착도 검사에 대한 호흡용보호구의 순서는 무작위로 배열하였고, 5종류 호흡용보호구 사이의 순서는 공평히 분배하였다. 5종류 호흡용보호구 밀착도 검사의 pass rates는 각각 60%, 50%, 55%, 68%와 60%이었다. 순서에 대한 pass rates에서 유



^A: One subject was not within the LANL panel

^B: Numbers in parenthesis are numbers of subjects in the Los Alamo National Laboratory panel

Figure 1. Arrangement of facial dimension of tested subjects in the Los Alamo National Laboratory panel.

의한 차이점을 보이진 않았다. Pass rate는 각 호흡용보호구에 대한 첫 번째 시도를 기본으로 하였다. 성(性)에 따른 호흡용보호구의 pass rate는 Fig. 2에 나타내었다. 3 종류의 호흡용보호구(B, C와 E)는 10% pass rate 이상의 차이를 보였고, 반면에 2 종류의 호흡용보호구(A와 D)는 성별에 따른 차이를 나타내지 않았다.

IV. 고 찰

NIOSH 인증 N95 호흡용보호구가 좋은 밀착도를 가지고 있다면 입자상 물질에 대해 효과적으로 방어가 가능할 것이다. N95 호흡용보호구는 미생물 및 관성력 입자상 물질에 높은 여과 효율을 가지고 있다. 염화나트륨 입자에 대한 여과 효율은 적어도 95%이다. 또한 *Mycobacterium tuberculosis*와 비슷한 크기와 형태를 가진 입자상 물질에 대해 99.5% 또는 그 이상의 여과 효율이 관찰되었다(Qian 등, 1998). 그러나, 효율적 여과작용은 적절한 facial seal이 없다면 호흡용보호구의 착용은 문제가 될 수 있다. 안면 밀착도는 인증 과정의 부분이 아니다. 정량적 밀착도 검사를 이용하면서 N95 호흡용보

호구의 모의된 작업환경 실행은 적당한 밀착도를 보여주지 못했다(Coffey 등, 1999). 20개의 N95 호흡용보호구에서 정량적 밀착도 검사의 평균 pass rate는 단지 28%이었고, pass rates는 0%와 80% 사이였다. 그러므로, 본 연구진은 결핵 방어에 대한 호흡기 방어 프로그램을 진행시키기 전에 상업용 N95 호흡용보호구들의 정량적 밀착도 검사를 수행하였다. 적절한 호흡용보호구의 선택은 호흡기 질병 예방에 매우 중요하다.

본 결과는 대체적으로 Coffey et al. (1999)에서의 결과보다 더 높은 pass rate을 나타내었다. 이것은 높은 pass rate를 가진 호흡용보호구가 선택되었기 때문이다. 1종류의 호흡용보호구는 매우 좋은 pass rate을 나타내었고, 반면에 다른 3종류는 중간 정도의 pass rate을 보였다. 다른 1종류 호흡용보호구는 낮은 pass rate를 나타내었다. 본 연구에서는 검사 순서의 영향을 고려하여 검사가 호흡용보호구 사이에 공평히 분배되도록 하였다. 더 많은 밀착도 검사 경험에 의한 증가된 pass rate를 예상했지만 그런 경향은 관찰되지 않았다. 단지 두 번째 시도에서 근소하게 증가된 pass rate가 관찰되었다. 이런 증가는 두 번째 시도에서 다른 크기의 선택 때

문 일 것으로 생각한다. 본 연구에서 N95 호흡용보호구의 밀착도 검사의 성공과 실패는 밀착계수 100을 기준으로 하였다. 밀착계수가 100 이상이면 성공으로, 100 이하이면 실패이다. N95 호흡용보호구의 최대 밀착계수는 200이다. 이것이 cartridge를 포함한 반면형 마스크 또는 전면형 같은 호흡용보호구는 밀착계수 1000 이상으로 나타날 수 있기 때문에 유용하게 이용될 수 있지만, N95 호흡용보호구와는 다른 면이다. 따라서 밀착계수 값보다는 밀착계수 값 100을 기준으로 밀착도 검사의 성공 또는 실패가 중요하다.

본 연구의 결과는 호흡용보호구 밀착도 검사의 중요성을 나타내었다. 호흡용보호구의 밀착도 검사가 없다면 N95 호흡용보호구는 오히려 근로자들이 유해환경의 고노출(high exposure)을 야기할 가능성이 있다. 여과 효율과 달리 정량적 밀착도 검사의 결과는 근로집단의 안면규격에 의해 영향을 받을 수 있다. 근로집단의 안면규격은 산업장마다 차이가 있을 수 있기 때문에 목적집단과 연관된 밀착도 검사가 유용할 수 있다. 국내에서는 호흡용보호구의 밀착도 평가를 중요성을 인식하여 일부 연구진에 의해 안면규격 panel을 개발하기도 하였다(한돈희, 1999). 5종류의 N95 호흡용보호구들 사이의 다양한 pass rate는 적절한 N95 호흡용보호구의 선택이 효과적으로 호흡기 예방에 매우 중요함을 나타내었다. 그리고, 한 종류의 N95 호흡용보호구가 모든 사람들에게 적절한 것은 아니므로 호흡기 예방 프로그램에서 한종류 이상의 N95 호흡용보호구가 이용될 수 있도록 제안한다.

V. 결 론

N95 호흡용보호구는 사용의 간편성과 비용면에서 저렴하기 때문에 유해물질의 차단이 공학적인 수단으로 불가능하거나 설치가 곤란한 경우에는 호흡기계통의 위험으로부터 근로자를 보호하도록 산업현장에 폭 넓게 이용되어왔다. N95 호흡용

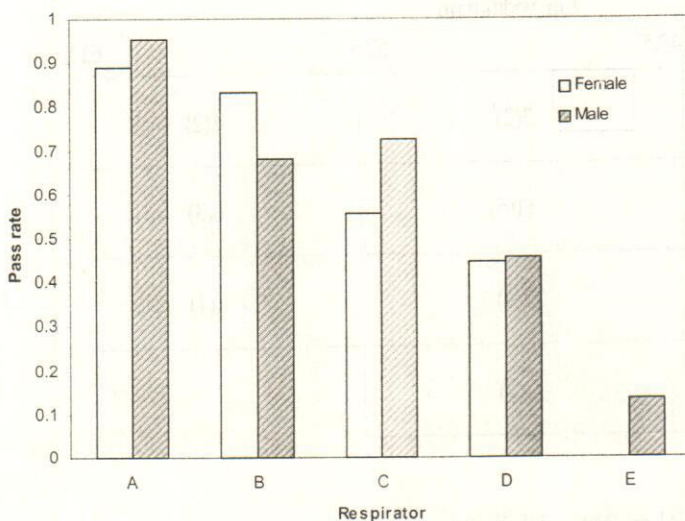


Figure 2. Pass rate of N95 respirators by gender based on the first trial.

보호구는 다양한 제조업자로부터 상업적으로 이용 가능하므로, 적절한 호흡용보호구의 선택은 효과적인 호흡기 예방 프로그램에서 중요한 첫 번째 과정이다. 최 대한의 근로자 보호할 수 있는 호흡용보호구를 선택하기 위해서 본 연구진은 미국인 40명을 대상으로 5종류의 N95 호흡용보호구 밀착도 검사를 수행하였다.

5종류의 N95 호흡용보호구의 pass rate는 8~98% 범위로 다양하게 변화하였으며, 밀착도 검사에서 pass rate는 검사 순서와 성별에 유의하게 영향을 받지 않았다. 본 연구에서 이용된 모든 호흡용보호구는 NIOSH에 의해 인증을 받았지만, 모든 N95 호흡용보호구가 정량적 밀착도 검사에서 성공적이진 못했다. 이것은 face seal을 통하여 틈(leakage)이 있기 때문이다. 결론적으로 적절한 N95 호흡용보호구의 선택은 중요하며 또한 호흡기 질병 예방을 위하여 1종류 이상의 호흡용보호구가 선택되어야 함을 나타내었다.

REFERENCES

- 한돈희 : 호흡기보호구의 밀착도 검사와 안면규격 Panel의 개발. 한국산업위생학회지 1999; 9(1): 1-13.
- 한돈희, 정윤석 : 1/4형 마스크에 대한 Banana Oil 밀착도 검사(QLFT)의 신뢰성. 한국산업위생학회지 1999; 9(2): 79-89.
- 한돈희, Willeke K, Colton CE : 호흡용보호구의 Fit Test 방법과 규정에 관한 고찰. 한국산업위생학회지 1996; 6(1): 38-54.
- Coffey CC, Campbell DL, Zhuang ZQ : Simulated Workplace Performance of N95 Respirators. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1999; 60(5): 618-624.
- Federal Register 60 : Respiratory Protective Devices; Final Rules and Notice : 110 (8 June 1995) pp. 30336-30398.
- Hack AL, McConville JT : Respirator Protection Factors: 1. Development of an Anthropometric Test Panel. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1978; 39(12): 970-975.
- Laird IS, Pack RJ, Carr DH : A Survey on the Use and Nonuse of Respiratory Protective Equipment in Workplace in a Provincial New Zealand City. Ann. Occup. Hyg. 1993; 37(4): 367-375.
- National Institute for Occupational Safety and Health: Comments of the National Institute for Occupational Safety and Health on the Occupational Safety and Health Administration Proposed Rule on Respiratory Protection, 29 CFR Parts 1910, 1915 and 1926. 1995.
- Qian YG, Willeke K, Grinshpun SA, et.al.: Performance of N95 Respirators: Filtration Efficiency for Airborne Microbial and Inert Particles. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1998; 59(2): 128-132.