

방독면

○ 장 경 진 | 국민대학교 열환경연구실
박사
E-mail : kjang62@empas.com

1. 서론

방독면이란 독가스의 침투를 막기 위해 얼굴에 덮어쓰는 것으로 특수한 필터가 있는 정화통에서 공기를 여과, 정화하여 마스크 내부로 깨끗한 공기만 들어가게 하는 개인보호 장구이다. 방독면은 1차 세계대전 당시 독일군이 영국군의 독가스공격을 막기 위하여 처음으로 생겨나서 발전적인 형태로 나아가고 있다. 하지만 고무재질의 개선과 착용감 및 방호력 증대뿐만 아니라 일반 전투원용과 전차 및 항공 승무원의 통합된 형태의 신형 방독면 개발이 요구되고 있다. 방독면은 주로 군사용으로 제조하기 때문에 대중에게는 일반적인 기능 외에 알려지지 않은 것이 대부분이다. 여기에서는 방독면의 개발동향과 화학작용제에 대한 방독면의 기능에 대하여 간략하게 소개하고자 한다.

2. 방독면의 발전

화학전은 고대로부터 현대에 이르기까지 전쟁의 한 수단으로 많이 운용되어 왔다. 최초의 화학전은 B.C. 428년 펠로폰네소스 전쟁에서 스파르타군이 송진, 유황 등을 포함한 생나무를 연소하여 적을 질식시키거나 무능화시킨 것으로 기록되고 있다.

이후 계속해서 유황이나 생나무의 연소과정에서 발생하는 이산화황이나 일산화탄소로 눈물을 흘리게 하여 시야를 가리는 형태로 사용되었으며, 근대적 의미의 화학전은 1914년 8월 제1차 세계대전 중 프랑스에서 최루가스를 사용한 것이 그 효시이다.

최초의 방독면은 화학가스가 사용되기 시작한 제1차 세계대전 중 가죽으로 만들어졌다. 그 이후 고무재질로 발전하여 최근에는 천연고무와 합성고무를 혼합한 재질을 사용함으로써 작용제의 침투 방지 효과와 착용감을 증대시켰다.

CBW(Cheical and Biological Warfare)작용제는 조잡한 모루채(sledge)에서 세월이 지나면서 효과적이고 정밀한 살인 수단으로 변화하였다. 작용제는 각각의 인체기관을 표적으로 삼을 뿐만 아니라 알려진 보호 체계를 효과적으로 제거하기 위하여 쓰일 수도 있다. CBW 작용제는 무방비상태의 집단에 가장 효과적으로 쓸 수 있었으며, 앞으로도 그렇게 사용될 것이다. NBC(Nuclear, Biological and Chemical) 보호 체계를 설계하는 사람들은 테러리즘보다 한 발 앞서 나가야 한다. 그러나 최근 도심에서 발생한 CBRN(Cheical, Biological, Radiological and Nuclear) 테러리즘은 든든한 자금 지원을 받으며, 전문적인 기술을 가진 범죄자가 혁신적인 방법으로 독소(작용제)를 선택하여 대응책을 매우 까



그림 1. 17C 페스트 발병지역에서 방독면을 착용한 의사와 1900년대 방독면

다롭게 만든다.

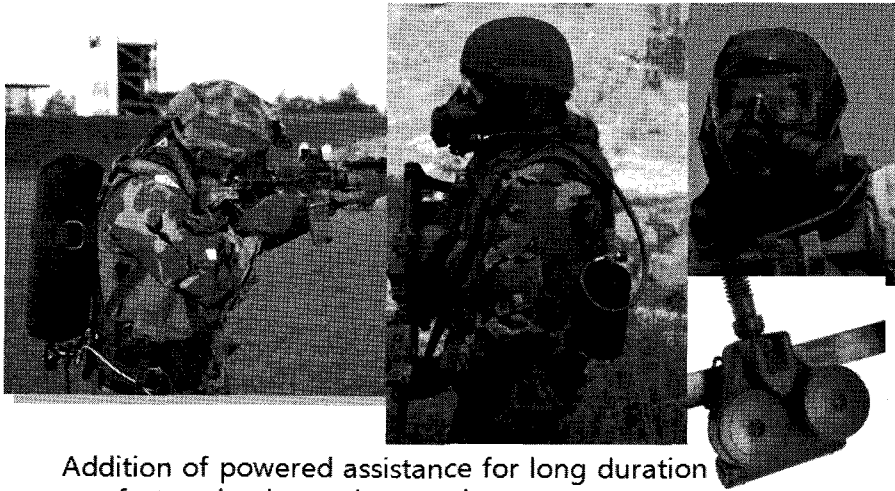
따라서 복잡한 현대 사회가 의존할 수밖에 없는 도로, 철도 및 수로 등의 운용에 일상적으로 쓰이는 종류가 거의 무한정한 TIM(Toxic Industrial Materials)이 포함되기 때문에 독소 선택의 폭은 엄청나게 넓어진다. 여기에는 고분자 산업, 인쇄, 의료계 및 방위 산업 부문에서 쓰는 화학 물질이 포함된다. 이 중 많은 것이 전통적인 CW(Chemical Warfare) 작용제의 전구물질(Precursor)로 쓰인다. 예를 들면 불화수소와 삼염화비소 등이다. 그리고 포스겐(Phosgene CG: Carbonyl Chloride)이나 PFIB(perfluoroisobutene)과 같은 것들은 그 자체가 독소이다.

사건이 일어난 다음에 정화 작업을 하는 사람들은 상당 기간 완벽하게 보호되어야 하며, 이에 대응하여 산업계에서는 많은 종류의 매우 효과적인 폐회로 호흡 장치 (Closed-circuit breathing apparatus)와 냉각 장치가 달린 불침투성 보호의를 제시하고 있다. 그러나 군과 대 테러리즘 분야의 과학자들은

사람들이 독성 환경에서 임무를 완수하고 간단하게 빠져 나올 수 있도록 단기간 보호 장치의 개발 요구에 직면하고 있다.

사람의 호흡기는 병원체, 독소 또는 방사성 물질 등 작용제의 종류에 관계없이 가장 동적이며 공격에 취약한 부분이다. 화학 작용제는 매우 빨리 흡수되며 VX(화학작용제 중에서 가장 독성이 강하며 수포작용제와 함께 화학전에서의 운용 가능성이 가장 높은 물질. O-ethyl-S-(2-isopropylaminoethyl), methylphosphonothiolate)와 같은 신경 작용제는 수초 안에 폐에 작용한다. 따라서 대량 파괴 무기(WMD: Weapons of Mass Destruction)에 대항하는 기본적인 장비는 송풍 장치가 달린 호흡기이다. 그리고 호흡 장치의 가장 중요한 구성품은 정화통이며 정화통 설계자들이 극복하여야 하는 가장 큰 장애물은 호흡 저항이 늘어나지 않고 성능(정화능력과 지속성)을 향상시키는 것이다.

정화통 설계와 더불어 보호 능력을 좋게 하는 요소에는 여러 가지 다른 요소가 있다. 호흡 장치



Addition of powered assistance for long duration comfort and enhanced protection

그림 2. 방독면과 연결된 폐회로 호흡 장치



영국군 (Scott 사)



미군(AVON Rubber사)

그림 3. 미군과 영국군의 방독면

의 안면부는 누출이 없도록 얼굴에 완벽하게 맞아야 한다. 착용자가 아무리 격렬한 임무를 수행하더라도 안전하게 제자리에 있어야 하며, 무기나 센서를 사용하거나 비행 중일 때 또는 제독 장비를 쓰는 작전을 할 때 양호한 시야가 확보되어야 한다. 그리고 방독면을 쓰고 있는 동안 얼굴을 마주 보고 있거나 무전기를 쓸 때 지휘자의 명령을 알아들을

수 있어야 한다.

미국정부는 방독면 설계자인 Wayne Davis의해 JSGPM(Joint Service General Purpose Mask)을 보급하고 있으며, 미국의 Scott사는 영국의 RGSR (Replacement General Service Respirator)로 확정하여 이런 중요한 개선점을 포함하고 있는 대표적인 모델을 제작하였다.

개선된 방독면은 일반/항공/전차방독면을 하나의 통합모델로 하고 있으며, 중량을 최소화 하고 시야각을 넓게하여 피로감을 최소화하고 있다. 프랑스, 독일, 벨기에 및 유럽의 방독면도 1안렌즈를 사용하여 시야각을 확장하였고, 정화통을 전면에 부착하여 조준사격과 좌우의 균형을 맞추고 있는 것이 특징이다.

방독면의 개발은 많은 비용이 소요되므로 상업적인 요소도 고려하여야 한다. 일반 목적용 방독면의 개선과 대체를 할 수 있도록 100,000개 이상 생산되어야 하며, 시제품은 매우 조심스럽게 설계되어 성공적인 임무를 수행할 수 있도록 하여야 한다. 사람의 얼굴은 표준 크기나 모양과 다르기 때문에 새로운 설계는 이런 모든 조건을 충족시켜야 한다.

3. 국내 방독면개발의 현황

미군의 M17계열 방독면의 장점과 장비의 국산화 시책의 일환으로 국내에서 생산 보급한 KM9A1 방독면의 문제점을 보완하여 한국형 방독면인 K-1방독면을 1983년부터 보급하여 운용 중에 있다.

지금까지 화학전에 사용된 개인장비인 방독면은 연막이나 중독성이 있는 화학작용제, 생물학작용제,

방사능작용제 등이 흡입되거나 부착되지 않도록 얼굴을 보호하는 것으로 제작하였다. 그리고 특수 필터가 있는 정화통에서 공기를 여과, 정화하여 방독면 속으로 깨끗한 공기만 들어가도록 하는 단순한 형태를 생각할 수 있었다. 북한을 기준으로 만든 현재의 임무형방호태세(Mission Oriented Protection Posture : MOPP)를 갖춘 보병에 대한 방독면의 모습은 너무 덩고 무거우며, 숨 쉬고 뛰기가 힘들어서 작전행동에 엄청난 제약이 따른다.

앞으로는 21세기의 변화된 작전 환경에 맞추어서 IT기술을 이용한 음성전달장치 및 네트워크를 이용한 소형 전투와 위성장비를 이용할 수 있는 미래형 전투헬멧과 보완이 될 수 있도록 개발되어야 한다. 안경렌즈는 넓은 시야를 확보할 수 있는 일안렌즈로써 기밀성을 유지하고 온도 차이에 의한 습기제거를 위해서 방독면렌즈에 공기유동이 될 수 있도록 설계되어야 한다. 또, 얇은 고무소재를 사용하여 착용감을 풍부하게하고 열이나 산화제에 강하며, 기체투과성이 매우 작은 소재를 개발하여 지금보다 훨씬 가볍고, 재빨리 입고 벗을 수 있는 새로운 개념의 방독면 개발이 진행되어야 한다.

4. 방독면의 기능

방독면은 크게 정화통과 안면부로 나눌 수 있다.

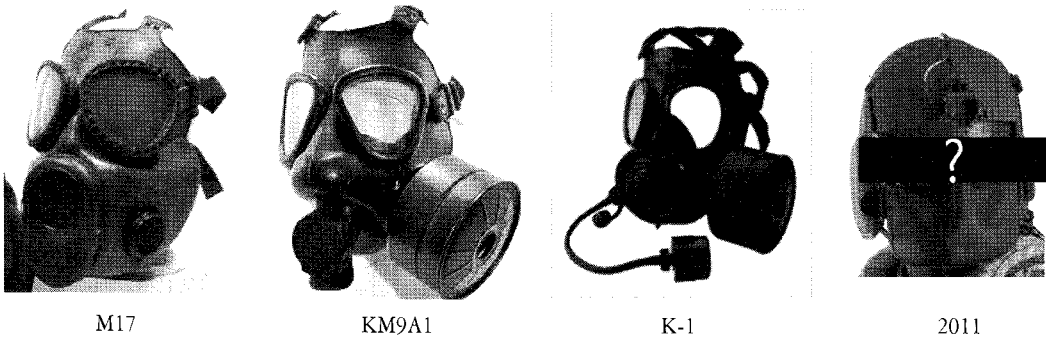


그림 4. 한국군의 방독면

정화통은 고도의 전투능력이 떨어지지 않고 호흡 저항을 최소화 하여 작용제가 정화되어야 하고, 안면부는 부착 시 압박감을 감소시키고 밀착성을 증대시켜 방호성능이 높아야 한다. 시야는 눈 사이의 사각을 없애고 넓은 시야가 확보되고, 안전한 음료 취수가 되도록 해야 한다. 그리고 방독면을 착용한 후 의사전달을 위한 수단이 구비되어야 한다. 이러한 방독면에 몇 가지 중요부분에 대한 기능에 대해서 언급하기로 한다.

외부의 독성물질로부터 호흡기나 눈 등을 보호하기 위하여 얼굴에 쓰는 마스크로서, 최근에는 마스크의 재질로 할로겐화 부틸 고무(Halogenated butyl rubber)를 재질로 한 방독면이 사용되고 있다.

방독면 착용 시에는 공기의 흐름이 저항을 받므로 호흡이 답답하다는 것과 시야, 통신 및 음료 취수제한 등의 문제점이 있다. 초기에는 흡입구와 배기구가 구분되지 않았으나 방독면의 발달과 함께 정화통 통과 시 공기의 저항 감소와 배기구로 다량의 공기가 흐를 수 있도록 배출 밸브를 부착하여 배출 시 저항을 감소시켰다. 그리고 안면부에 투명 합성수지를 이용한 안경부를 만들어 시야를 확대하고, 음성 확실장치를 장착하여 의사소통을 용이하게 하였으며, 장기간의 작전에 대비하여 물과 같은 음료를 취수할 수 있도록 음료취수장치를 준비하였다. 공기정화를 위한 정화통은 입자(에어로졸) 여과기와 가스여과기로 구성되어 있다.

에어로졸 여과기는 유리섬유로 구성되어 있어 유리섬유 간에 공간이 형성되어 공기가 통과하게 되어 있다. 이 공간은 작용제의 입자보다 크기 때문에 작용제를 차단하거나 여과하지는 못하지만 작용제 입자가 유리섬유와 충돌하여 흡착되게 함으로써 에어로졸 형태의 작용제를 제거할 수 있다. 그러나 가스형태의 작용제는 그대로 통과하기 때문에 이를 위하여 가스여과기에 특수 처리된 활성탄을 포함시켜 가스를 흡착토록 설계되어 있다.



그림 5. 방독면의 공기흐름

방독면이 모든 화학작용제를 차단하는 것은 아니다. 다른 화학작용제에 비하여 분자의 크기가 아주 미세한 혈액작용제는 가스여과기에 포함되어 있는 활성탄의 구멍보다 작으므로 여과기에 흡착되지 않는다. 이러한 혈액작용제를 제거하기 위하여 표면의 구멍이 작은 구리, 크롬, 은과 같은 금속염이나 TEDA(Triethylenediamine)와 같은 유기물질을 첨가하여 혈액작용제를 흡착하도록 하고 있다. 그러나 이러한 금속염이나 유기물질을 다량 첨가할수록 미세한 구멍으로 인하여 공기의 흐름이 저항을 받게 되어 호흡이 곤란해지는 단점이 있고, 반면에 금속염이나 유기물질을 소량만을 넣을 때는 혈액작용제로부터 보호받는 시간이 오히려 제한되는 문제점이 있다.

5. 정화통

정화통은 방독면의 구성품 중에서 가장 중요한 것이다. 국가나 테러리스트 그룹이 만드는 CW 작용제의 종류는 매우 다양해서 정화통 개발자를 어렵게 만든다. 여과하려는 작용제의 형태와 실제 작용제로 공격받았을 때의 내구성은 정화통의 크기와 호흡 저항에 영향을 준다. 어떤 경우에든지 정

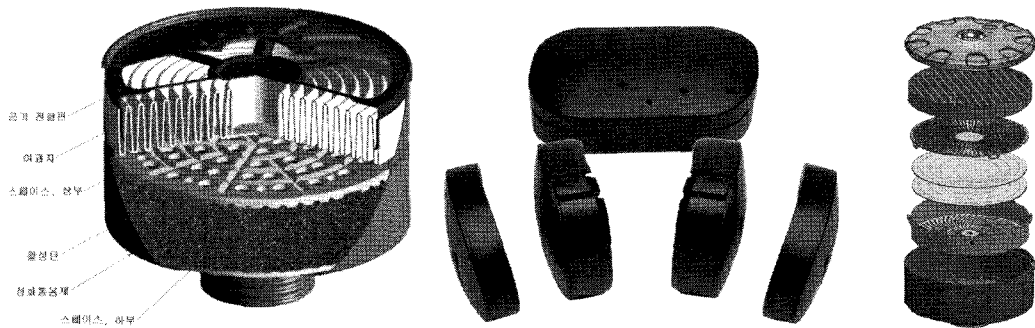


그림 6. K-1정화통과 M50 정화통의 단면

화통은 증기 작용제와 마찬가지로 입자를 제거할 수 있어야 한다.

작용제의 제거는 보통 두 단계로 진행되는데, 첫째 단계에서는 입자를 제거하도록 설계된다. 유리 섬유로 된 종이는 의도된 최소 크기까지의 모든 형태의 입자를 걸러 낸다. 크기가 0.5~1 μ m 범위의 바이러스나 세균은 허파 깊숙이 들어가기 때문에 이 크기까지 효과적으로 여과할 수 있어야 한다.

NATO와 미군 등의 대부분의 국방 당국은 군용 정화통의 최소 성능 표준을 정하고 있으며 정화통은 일반적으로 0.6 μ m 크기의 입자를 99.97%까지 효과적으로 여과할 수 있어야 한다.

여과의 두 번째 단계는 매우 오래된 재료이긴 하지만 훌륭한 특성을 지니고 있는 활성 탄소 층으로 이루어진다. 활성탄은 화학적 물리적으로 독특하여 작용제를 물리적으로 흡착할 뿐만 아니라 화학적으로도 잘 흡착할 수 있다. 단위 무게에 대한 표면적은 엄청나서 1,500 m^2/g 까지 이른다.

쉽게 설명하면, 군용 정화통에 평균적으로 들어 있는 활성탄의 표면적은 축구장만 하다. 활성탄은 무리 없이 겨자나 VX 작용제와 같은 끓는점이 높은 작용제를 잘 흡착한다.

그러나 모든 종류의 독성 제품 즉, 청산과 같은 끓는점이 낮은 화합물은 상대적으로 흡착되지 않아

서 활성탄에 몇 가지 다른 화합물을 첨가하여 제조한다. 이런 활성탄은 구리(A), 은(S) 및 크롬(C)이 첨가되어 있어서 ASC/TEDA(Copper-Silver-Chromium) 활성탄이라고 한다. TEDA(Triethyl Diamine)는 염화시안(CNCl : Cyanogen Chloride)의 흡착에 중요한 역할을 하기 때문에 네 번째 구성 요소를 이룬다. 현재는 크롬에 대한 규제가 있어 구리(A), 은(S), 아연(Z), 몰리브덴(M)이 첨가된 ASZM (Copper-Silver-Zinc-Molybdenum) / TEDA를 사용하도록 권장하고 있다.

군용정화통의 성능은 연기 미립자(Dioctyl Phthalate : DOP) 또는 동등한 액체 미립자의 투과시켜서 측정된다. 25 \pm 5 $^{\circ}$ C에서 에어로졸 등을 탐지할 수 있는 이동입자선별기 또는 비슷한 장치를 사용하여 중심직경(count median diameter : CMD)이 25 \pm 0.02 μ m와 기하평균 편차가 1.60을 초과하지 않는 입자크기를 가지고, 50L/min의 유량에서 농도가 200mg/m³을 초과하지 않는 범위에서 정부에서 승인한 전방 광산란 광도계 또는 동등한 것을 사용하여 측정한다. 최소 200 \pm 5mg의 에어로졸을 분사하여 필터를 통해 침투되는 효율이 최소 0.01%를 초과하지 말아야 한다.

산업용 정화통의 성능은 대한 국제 표준에 따라 성능을 나타내는 특정 범위의 작용제를 정화통에

표 1. 화학전에 사용한 독성물질과 산업체 독성물질

Chemical name	Chemical class	Formula/molecular weight	Vapor pressure* (mmHg) at ambient temperature
Sulfur Mustard(HD)	Mustard Agent	C ₄ H ₈ Cl ₂ S 159.1	0.11
Sarin (GB)	Nerve Agent	C ₄ H ₁₀ O ₂ PF 140.1	2.9
Soman (GD)	Nerve Agent	C ₇ H ₁₆ O ₂ PF 182.2	0.3
Tabun (GA)	Nerve Agent	C ₅ H ₁₁ O ₂ N ₂ P 162.1	0.07
Hydrogen Cyanide (AC)	Blood Agent	HCN 27	Gas
Dinitrotoulene	Explosive	C ₇ H ₆ N ₂ O ₄ /182.12	1.1 × 10 ⁻⁴
Carbaryl	Pesticide	C ₁₂ H ₁₁ NO ₂ /201.2	1.2 × 10 ⁻⁶
Nitrobenzene*	Nitro	C ₆ H ₅ NO ₂ /123.11	1.5 × 10 ⁻¹
DIMP*	Phosphonate	C ₇ H ₁₇ O ₃ P/180.21	5.9 × 10 ⁻¹
DMMP	Phosphonate	C ₃ H ₉ O ₃ /P124.08	8.4 × 10 ⁻¹
Ammonium Hydroxide	Inorganic Base	NH ₄ OH/35.04	42.91
Nitric Acid	Inorganic Acid	HNO ₃ /63.01	2.7 × 10 ⁻¹
Allyl Alcohol	TIC	C ₃ H ₆ O/58.08	21.47
Carbon Disulphide	TIC	CS ₂ /76.14	297.57
Phenol	VOC	C ₆ H ₆ O/94.11	2.2 × 10 ⁻¹
Methyl Benzoate	VOC	C ₈ H ₈ O ₂ /136.15	4.1 × 10 ⁻¹
Styrene Oxide	VOC	C ₈ H ₈ O/120.15	3 × 10 ⁻¹

NIST(National Institute of Standards and Technology)의 사용방법에 의해 계산된 증기압

표시하게 되어 있다. 대량 파괴 무기 테러리즘 영역에서의 대응 무기 분야에서 TIM을 취급하는데 추가적인 수단이 요구되고 있다. 즉 여과기 성능을 향상시키기 위하여 새로운 기술의 연구가 필요한데 나노 기술이 활성탄을 기반으로 한 정화통의 구조를 더 공식화하고 효율을 향상시키게 될 것으로 예상된다.

미국은 Military Standards and Handbooks에서 전쟁용 정화통과 별도의 TIC(Toxic Industrial Compound)정화통을 지급하여 산업독성물질에 따른 별

도의 정화통을 갖출 수 있도록 하였으며, 현대전에서는 기존 정화통과 동시에 체결하여 특수 활동지역에서도 원활한 전투수행이 이루어질 수 있도록 하였다.

TIC(Toxic Industrial Compound)의 독성물질은 크게 산화에틸렌(Ethylene oxide), 암모니아(Ammonia), 이황화탄소(Carbon Disulfide) 등과 더불어 기존에 고위험분류로 지정된 독성화학물질 21종을 제독할 수 있는 정화통이 되어야 한다. 표 1.은 참고로 화학무기로 쓰는 독성물질과 산업체 독성물질에 대

표 2. M50의 공기량에 따른 마스크와 필터의 호흡저항력

구분	공기량	마스크	마스크 & 필터
흡기	30L/min	2mmWG	10mmWG
	95L/min	8mmWG	30mmWG
	160L/min	12mmWG	64mmWG
배기	85L/min	7mmWG	-
	160L/min	12mmWG	-

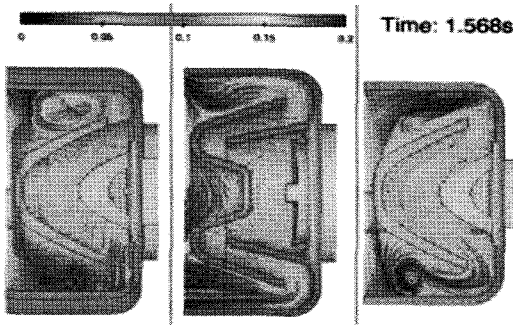


그림 7. M50 정화통의 호흡 시 기류 분포

한 증기압은 다음과 같다.

이밖에도 이온 교환 기술은 모체 활성탄에 함침제(Impregnant)를 더 고르게 분포시킬 수 있게 될 것이다. 다른 공정으로는 입자와 증기 여과기를 결합시켜 여과기의 노화 과정을 늦추고 수증기로 인하여 성능이 감소되는 것을 줄이는 방법이 있다. 기본 물질인 활성탄을 대체하기 위하여 실리카, 지올라이트 및 유동성 결정 재료가 포함되는 다른 물질에 대한 연구는 장기적으로 이루어지고 있다.

정화통의 낮은 호흡 저항과 탁월한 공기흐름 유지하는 사용 시 육체적, 정신적 부담감을 덜어주는 매우 중요한 사항이다. 호흡저항을 최소화하기 위하여 최소높이에서 정화통 내부 공간의 공기를 최대한 확보할 수 있도록 여과지의 절곡간격을 일정

하게 제작된 필터를 사용한다. 그리고 활성탄을 효율적으로 사용하기 위해 파과시간(Breakthrough)이 길어지도록 내부로 들어오는 공기가 일정한 유선(Streamline)으로 형성되어 유입되도록 하고 있다.

표 2. M50의 흡기와 배기시의 저항력을 나타낸 것이다. 산업독성물질 정화통을 동시에 장착하고 활동하는데 지장이 없도록 하려면 더욱 호흡저항력을 낮추도록 기술개발을 해야 한다. 정화통은 한번 실 작용제의 공격을 받으면 성능이 떨어지기 시작하여 마침내 작용제에 대한 방호 성능이 없어지므로 유의해서 사용해야 한다.

6. 안면부

CW 작용제는 일반적으로 합성 재료를 공격하는 휘발성 유기 용매이다. 따라서 방독면 안면부용으로 선정되는 재료는 작용제에 저항성이 강해야 한다. 일부 산업용 방독면에서 비용을 효과적으로 하기위해 선택되는 실리콘 고무와 같은 재료는 더 공격적인 작용제에는 나쁜 영향을 받을 수 있다. 군용 방독면 재료로 선택되는 클로로부틸 고무는 알려진 모든 CW 작용제의 공격을 막아낼 수 있음이 증명되었다.

얼굴에 효과적으로 밀착되게 하기 위해서 방독면은 일반적으로 조절할 수 있는 머리끈 문치를 쓴다. 조임쇠는 조절하기 쉬어야 하고 끈, 머리털 또는 얼굴이 땀에 젖어 미끄러지는 것을 막을 수 있어야 한다. 현재 미군과 영국군에서 쓰고 있는 M50과 MoD방독면은 얼굴 윤곽에 맞추기 위하여 공기가 차 있는 공간이 있다. 이 방독면들은 CAD(Computer-Aided Design)기술을 활용하여 비용 문제를 해결하였고 정비가 필요없이 매우 효과적으로 제작하였다.

방독면은 착용하고 얼굴을 심하게 흔들 때라도 편안하지만 잘 맞아야 한다. 사람들의 얼굴은 크기

와 모양이 천태만상이며, 나이에 따라 변하기 때문에 만드는 사람들은 여러 크기의 방독면을 제조하여야 한다. 나이 분포가 훨씬 적은 군대에서는 일반 시민용에 비하여 이 문제가 매우 간단하다. 하지만 다국적군과 여성들의 얼굴형태도 고려해야하기 때문에 일반목적용 방독면도 여러 크기의 방독면과 보호의를 제작하고 있다.

일반 목적의 방독면에서 꼭 필요한 구성품들이 위치를 선택하는 것은 매우 세심하게 고려하여야 한다. 음성확성 장치, 정화통 연결 부위 및 물 섭취

도구는 개인 화기나 통신 장비를 쓰는데 방해가 되어서는 안 되며 왼손잡이도 고려하여야 하고 시력 보정도 할 수 있어야 한다.

7. 방호지수(Fit Factor)

방독면의 방호지수는 방호력 향상을 위해 절대적이지만 방독면의 착용에 불편함을 유발할 수 있으므로 고무의 성능을 향상시켜 착용감을 부드럽게 하는 방법과 안면피부와 접촉부분을 이중쿠션

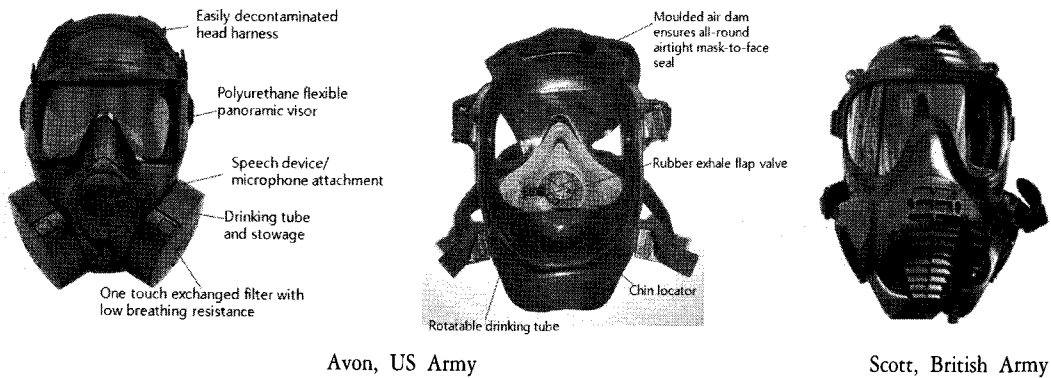
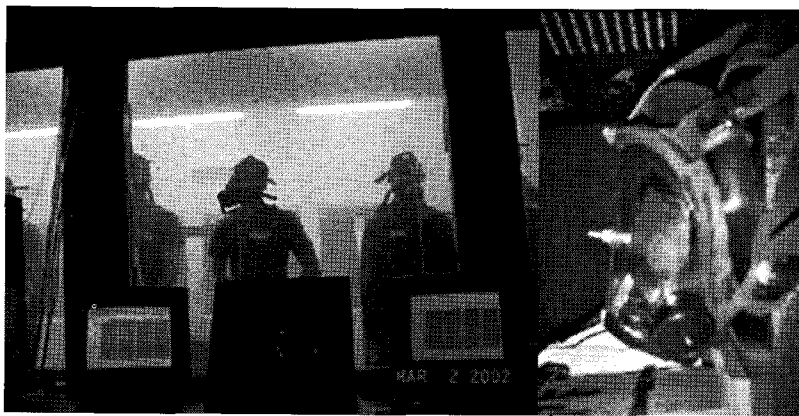


그림 8. 안면부의 구조



NPPTL(National Personal Protective Technology Laboratory)

그림 9. NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health) 프로그램에 의한 마스크 방호지수 실험

으로 채택하여 안락감을 주는 방법, 그리고 정확한 안면윤곽에 따른 인체치수에 의한 마스크의 설계에 의해 방호력과 착용감을 향상시키는 방법을 추구하고 있다.

마스크투과력(Penetration)은 마스크를 덮고 있는 투입(Challenge)농도와 마스크 내부의 농도비로 정의할 수 있다. 이것의 역수는 방호지수 또는 밀착지수라고 한다. 두 항 모두 아래의 식으로 정의할 수 있다.

$$PF = \frac{C_{challenge}}{C_{mask}} \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{PF} \quad (2)$$

여기에서

PF=방호지수

P=투과력

CChallenge = 투입약품의 평균농도(mg/m³)

Cmask = 마스크내부의 투입약품의 평균농도(mg/m³)

평균운동투과력(Average Exercise Penetration)

운동에 대한 평균투과력은 다음과 같다.

$$FF_1 = \frac{C_0}{C_1} \quad (3)$$

FF=각각의 운동에 대한 밀착지수

FF1=첫 번째 운동에 대한 밀착지수

C0= 투입약품의 농도(mg/m³)

C1= 마스크 내의 투입약품의 농도(mg/m³)

그리고 방독면의 총 방호지수(Overall Protection Factor)는 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$PF_{overall} = \frac{n}{(1/FF_1 + 1/FF_2 + 1/FF_3 + \dots + 1/FF_n)} \quad (4)$$

PFoverall= 총 방호지수

FF1=운동 당 밀착지수

n= 완벽한 시험에서 운동 수

방독면의 방호지수는 미국의 JSJPM 프로그램에 따르면 10,000이상으로 유지한다고 되어있다.

8. 시야

명확한 시야는 지극히 중요하며 정면이나 주변의 물체가 찌그러지지 않게 보이도록 방독면 렌즈 부위의 설계가 이루어져야 한다. 시력 교정을 할 수 있는 렌즈가 준비되어야 하는데 어떤 설계에서는 안경을 끼고 방독면을 착용하며, 다른 설계에서는 렌즈를 안이나 바깥에 끼우도록 되어 있다.

내쉬는 숨에는 수분 함량이 많아서 렌즈에 이슬이 맺히게 되는데, 이것은 설계자에게 가장 골치 아픈 일 중의 하나이다. 컴퓨터 모델링으로 복잡한 공기 흐름을 시뮬레이션할 수 있고 공기 흐름 방향을 많이 개선할 수 있어서 현대의 방독면에서는 이 문제가 많이 줄어들었다.

필요하다면, 접장을 포함한 마스크는 차폐되지 않고 일그러짐이 없는 전방시야를 확보해야 한다.

방독면 렌즈의 조건으로 90%이상의 광투과율과 3% 이하의 탁도가 유지되어야 한다. 분광 편차(Prismatic Deviation)는 수직 분광 편차가 디옵터±0.18과 중앙 점 두 개 사이의 수평 편차의 대수합이 0.18(기준 안) 또는 ±0.50(기준 밖)를 초과하지 않아야 하고, 최소 굴절(Distortion)이 되어야 한다.

작전 시야는 전쟁터에서 전체 작전 시야가 80% 이상 표면이 드러내야 하며, 부러지거나 물체의 충격으로부터 침식의 당하지 않는 마모와 파손저항을 가지고 있어야 한다.

시력보정 시스템은 -10디옵터에서 +8 디옵터의 범위가 되어야 하고 난시는 2.5이상 알맞게 보정되는 능력을 가져야 한다. 또, 최소 렌즈 크기는 표준 군용규범렌즈는 수평46mm, 수직 37mm 그리고



그림 10. 방독면과 시력교정기와 전시기 및 바이저의 착용모습

50mm 직경(코의 윗부분에서 관자놀이 아래)을 가지고 있어야 한다.

방독면렌즈의 접장은 레이저, 섬광 방탄을 착용할 수 있도록 하여 전장에서 일어날 수 있는 눈의 피해를 최소화해야 한다.

섬광의 위험($20 \pm 3\%$ 빛 투과율)에 대하여 눈을 보호해야 하고, 파장, 광학밀도, 어둡적응투과율, 광투과율과 주변환경을 포함하여 군용안경보호시스템(Military Eyewear Protection System : MEPS, MIL-PRF)에 부합하는 레이저 광선에 대해서도 눈을 보호 하여야 한다.

렌즈는 중량 5.8grain(1grain=50mg), 구경 0.15를 640-660ft/s의 속도를 발사하였을 때 방탄 저항이 되어야 한다.

9. 음료취수와 통신

기온차가 심한 중동에서는 낮에 기온이 40°C까지 올라가서 음료를 마시는 것이 엄청나게 중요하다. NBC 방독면을 착용하는 사람은 오염되지 않는 상태여서 정기적이고 안전하게 음료수를 마실 수 있어야 한다.

기온이 온화하더라도 인원이나 장비 제독과 같은 매우 격렬한 임무를 수행하게 되면 심한 신체적인 부담을 안게 되며, 이렇게 되면 음료수가 필요하게 된다. 물을 마시는 장치는 요즘의 모든 군용 방독면에서는 표준이 되었고 응급 구조원용 방독면의 설계에서도 채택되고 있다.



그림 11. 카멜백과 수통에 결합된 방독면

중동 전쟁 당시 특파원들이 보내 온 자료에 따르면 CW 경보 초기에 방독면을 착용하고 있으면서 효과적으로 통신하는 방법에 어려움이 있었다. 방독면을 착용하고 말을 하면 소리가 약해지고 왜곡되어서 소리전달이 안되므로 정교하게 향상된

통신 장치의 설계가 요구하고 있다. 프랑스, 영국 및 미국의 연구소에서는 부피가 매우 작으면서도 최적으로 통신할 수 있는 음성 전달 장치의 모양에 초점을 맞추고 있다. 다른 해결 방법은 전지 동력의 음성 확대 장치를 적용하는 것이다. 원거리 통신 도구는 종류가 엄청나게 많으므로 음성 전달 장치 제조자들은 많은 고려가 있어야 할 것이다.

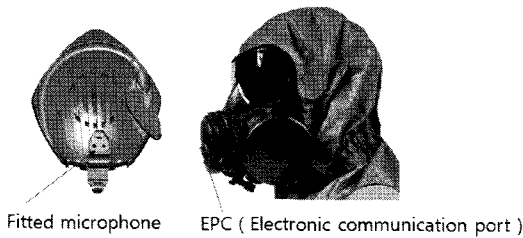


그림 12. M50의 음성전달 장치

10. 맺음말

전자 정보통신의 급속한 발전이 개인의 무기체계를 급속히 향상시켰다. 앞으로의 전쟁은 인명피해를 극소화 시키고 제한적인 전투에 효과가 확실하게 나타는 비 살상 무기개발이 전 세계적으로 일반화되고 이 비살상(Anti-Personal)무기에 대응하는 보호 장치와 재래식 화학, 생물, 방사능에 대비한 보호장비가 필수품이 될 것이다. 이 중 화생방의 보호체계는 매우 더디게 발전되어오고 있는 것이 현실이다. 기존 화생방 보호장구의 기본방향은 적의 화생방공격에 완벽한 임무형방호태세를 갖추는 수동형에서 보다 더 적극적인 능동형태도로 전략적 방향이 바뀌어지고 있다. 능동적인 전략 전환에는 한국의 지형적인 측면도 고려하여 개발되어야 한다. 한국군의 신형방독면을 개발하기위하여 다음과 같은 몇 가지를 고려해야 할 것이다.

첫 번째, 병사의 전투능력을 최대한 증대시킬 수 있어야 한다.

화생방전의 특성상 밀착성과 착용감이 뛰어나야 작전수행 시 활동력을 증대시키며, 피로감을 최소화 할 것이며 조준사격보다는 전투방향이 지향 사격으로 발전하고 있고 이에 맞게 개인전투화력도 레이저 조준기(Laser-Guided Target)와 텍티컬 서치라이트(Tactical Searchlight)를 장착하므로 우선 시야확보가 방독면의 중요한 수단이 되었으며 당연히 정화통이 슬림화되고 무게를 줄이면서 호흡시 공기저항을 최소화하여야 하고, 빠른 시간에 정화통을 교환할 수 있도록 사용자 편의 사항을 강화하여 전투력의 효율을 높이는 연구가 되어야 한다.

두 번째, 유비쿼터스(Ubiquitous)의 발달과 위성통신의 비약적인 발전으로 인하여 지휘·통제 네트워크를 통해 실시간으로 정보를 공유할 수 있도록 통신 및 광학장비의 호환성을 갖출 수 있어야 하며, 팀원 간의 의사소통을 원활하기 위해서 음성 증폭기(Speech Transmitters) 및 지휘부와의 양방향 소통을 위한 음성전송장치(Communications Devices)를 설치하고, 일반/전차/항공 방독면을 일원화하는 통합형방독면을 개발되어야 한다.

세 번째, 생존능력을 더욱 향상시키기 위한 방호 지속시간을 늘릴 경우를 대비하여 산소통의 연결의 호환성과 화학산업의 특성상 지역별 집중화로 인한 산업장치의 파괴 시 산업독성 화학물질(Toxic Industrial Chemical : TIC)의 유출에 따른 보조 정화통을 개발하여야 하고, 음료취수능력(Drinking Capability)과 고도의 기밀성능을 갖추기 위하여 25년 전의 얼굴형태와 현재의 20대 한국인 표준체형의 변형을 고려하여 기밀성이 확고히 유지될 수 있도록 한다. 만약의 경우 위급한 상황을 지휘통제부에 연락할 수 있는 생체신호 전달 장치(Bio-Signal Monitoring)를 장착될 수 있는 연구도 병행되어야 한다.

네 번째, 방독면 안면부의 고무소재를 극성화합작용제에 저항성이 우수하고, 가스투과성이 낮은 부틸고무와 내열과 내한성이 강한 실리콘을 적절히 배합하여 부드럽고 밀착성이 강한 소재를 개발하여, 투과된 오염원이 일정하게 분배되고 제거할

수 있는 성능과 인체에 유해한 6가 크롬이 제거된 활성탄을 개발하여 품질을 높이고 가격을 낮추어 새로운 수출시장을 개척할 수 있도록 한다.

다섯 번째, 인체에 무해한 친환경소재와 유지관리가 편리하고 휴대가 간편하도록 하고, 렌즈로 공기흐름을 유도하여 내/외부온도차에 의해 생길 수 있는 연무현상을 근본적으로 제거할 수 있도록 연구되어야 한다.

11. 주요 화학 작용제

11.1 신경작용제(Nerve Agents)

호흡기, 소화기 또는 피부를 통하여 체내에 흡수되면 체내 콜린에스테라제 효소의 작용을 억제시켜 아세틸콜린이 축적되며 동공축소, 호흡곤란, 근육경련 등의 증상을 가져온다. 작용제의 종류는 GA(tabun), GB(sarin), GD(soman), VX가 있다. 보호방법은 방독면 및 보호의를 착용해야 하며, 치료는 신경작용제 해독제키트를 주사한다.

11.2 질식작용제(Choking Agents)

호흡기를 통하여 인체에 흡수되며 주로 폐 조직을 공격하여 폐수종(육지 익사)을 일으킨다. 이 작용제는 코로부터 폐에 이르는 호흡 경로의 조직을 자극하여 염증을 유발시켜 인원을 사망에 이르게 하는 작용제로 CG(phosgene), DP(diphosgene), PS(chloropicrin) 등이 있다. 보호방법은 방독면을 착용해야 하며, 맑은 공기를 흡입하는 것이 중요하다.

11.3 혈액작용제(Blood Agents)

호흡기를 통해 체내에 흡수되면 시토크롬 옥시다제(cytochrome oxidase)라는 효소를 무력화시켜 혈액의 산소 운반을 불가능하게 한다. 이렇게 함으로써 신체조직, 특히 중추신경계통의 기능이 급격

하게 저하되어 사망에 이르게 하는 작용제로 그 종류에는 AC(Hydrogen cyanide), CK(Cyanogen chloride), SA(arsenic trihydride)가 있다. 보호방법은 방독면을 착용해야 하며, 맑은 공기를 쏘이는 것 외에 특별한 치료제는 현재 사용되지 않고 있다. 혈액작용제는 특히 방독면의 정화통 기능을 신속하게 파괴하는 특성이 있다.

11.4 수포작용제(Blister Agents)

호흡기, 소화기 혹은 피부를 통하여 흡수되어 염증과 수포를 유발시켜 신체조직을 파괴한다. 작용제의 증기는 축축한 조직에 민감하게 반응하며, 점막, 호흡기관에 반응하고 특히 눈에 민감하다. 종류로는 H, HD, HN-1, HN-2, HN-3, HT, L(lewisite) 등이 있다. 보호방법은 방독면과 보호의를 착용해야 하며, 치료방법은 화상치료절차와 동일하다.

- 참고문헌 -

1. 국방부 “2008 국방백서” p.30
2. Sanger, David E. and T. Shanker. 2007. “U.S. Debates Deterrence on Nuclear Terrorism,” New York Times (May 7, 2007).
3. 홍성표. 2003 국방연구(안보문제연구소), 46권, 1호, pp. 63-92
4. 국방부, 2003. 참여정부의 국방정책 (서울: 국방부, 2003), p. 23.
5. T. E. Mlsna, S. Cemalovic, M. Warburton, S. T. Hobson, D. A. Mlsna, S. V. Patel, 2006. “Chemical capacitive microsensors for chemical warfare agent and toxic industrial chemical detection” Sensors and Actuators B: Chemical Volume 116, pp. 192-201
6. Military Technology, 2002. 9. pp.38~43
7. 대량살상무기(WMD) 문답백과II. 화학 생물학 무기. pp96-113