

화학전과 화생방 대피시설

○ 심우섭 | 국방과학연구소 제5기술연구본부 4부
책임연구원
E-mail : woosup@add.re.kr

1. 머리말

범세계적으로 정치, 군사적 화해 분위기 및 전쟁억제 수단 때문에 재래식 대량살상무기(WMD)를 비롯한 화생방 무기의 위협이 점점 감소되고 있다고 하나, 알카이다의 9·11 테러, 오움진리교의 동경지하철 사린살포, 최근 북한에 의해 자행된 천안함 폭침, 연평도 포격도발 등과 같은 각종 사건에서 보아왔듯이 테러, 국지전은 언제든 일어날 수 있으며 재래식무기는 물론 화생방무기의 사용 가능성을 완전히 배제할 수는 없다고 할 수 있다.

세계적으로 1997년의 화학무기 금지협정(Chemical Weapons Convention), 1972년의 생물학무기 금지협정(Biological Weapons Convention) 등과 같은 국제협약이 존재함에도 불구하고 여전히 북한은 협약 가입에 미온적이고 냉담한 반응을 보이고 있으므로, 화생방 무기의 생산, 저장 및 사용 위협에 늘 노출되고 있다고 해도 과장된 주장은 아닐 것이다. 또한 2006년 10월 9일 북한의 1차 핵실험을 시작으로 2차 핵실험이 있었고, 국방부의 2010년 국방백서에 의하면 북한은 40kg 정도의 플루토늄 및 핵탄두 1~10기 보유한 것으로 추정된다고 발표하였다.

전쟁의 역사를 살펴볼 때 화생방무기의 사용은 국지적이고 선택적이며 제한적으로 사용되었지만 한 가지 사실만은 명확하다. 화생방 방어 체계가 전혀 준비 안 되었거나 불충분하게 준비되어 있다면 전쟁 시 화생방 무기는 매번 사용될 것이고 가장 성공적인 무력수단이 될 것을 쉽게 예상할 수 있다. 따라서 이에 따른 민간 및 군사적 대응조치가 필요하며 이에 대한 대비책의 일환으로 지휘, 통신, 통제 및 정보 등과 같은 주요 기능을 수행하는 군 시설물, 민방위 지휘 및 대피시설 등에는 화생방 보호시설이 구축되고 있다. 이러한 대피시설은 재래식 및 핵탄 폭발 시 발생하는 파편 및 폭풍은 물론 화생방 작용제에 방호되며 방독면, 보호의 등과 같은 개인보호장구 착용없이 수일부터 수주간을 외부지원 없이 임무수행이 가능하며 휴식을 취할 수 있는 시설물을 말한다. 일반적으로 전시가 아닌 평시의 활용도를 높이기 위해 민방위용 대피시설은 수영장, 주차장, 지하철역사 등으로 사용하고 있으며 핀란드의 암반구조 대피시설을 그림 1에 나타내었다.

본 글에서는 화학전과 이를 방호하기 위한 화생방 대피시설의 개요, 방호도 및 화생방설비 분야를 간략히 기술하여 화생방전의 이해의 폭을 넓히고자 한다.



그림 1. 핀란드 화생방 대피시설의 입구(암반 구조물)

2. 북한의 화학전 능력

2.1 북한의 화학무기

북한은 오래 전부터 미국과 러시아 다음으로 세계 3위의 화학무기 최대 강국으로 꼽혀왔다. 휴전 후 구 소련의 지원에 의존해 오다가 1960년대부터 일본의 도움으로 화학 산업을 팽창시켜 왔으며 화생방 장비 및 물자를 개발하여 독자적인 화학전 능력배양에 노력을 집중해 왔다. 1970년대 초반에는 구 소련으로 부터 화학전 훈련과 화학작용제 제조 기술지원을 받았으며, 후반에는 일본과 무역협정을 체결하고 농업용 화학제의 수입량을 확대하였다. 1976~1979년 기간 동안 일본으로부터 수입한 화학약품은 총 850만 톤에 이르며, 장비 및 물자의 자체 생산과 화학작용제의 일부 국내생산을 달성하여 독자적인 화학능력을 확보하기에 이르렀다. 1980년대 초반에는 살충제를 포함한 대량의 농업용 화학물질을 수입하였으며, 각종 화학작용제를 자체 생산하여 비축하고 화학무기 투발수단을 발

전시했으며, 화학무기의 대규모 살상능력을 보유하였다. 현재 북한은 겨자가스(HD), 사린(GB), V 계열 신경작용제 생산에 치중하여 평양이남 7개소에 약 수백 톤에서 수천 톤 비축한 것으로 알려져 있으며 연간 5천여 톤 생산능력이 가능한 것으로 추정된다.

2.2 화학작용제 투발수단

재래식 무기들과는 다르게 화학무기는 생물체들에게 영향을 주는데 주로 사용되며 화학무기 사용의 장점은 군인 및 민간인의 능률을 저하시키거나 살상시키고 넓은 지역에 작용제를 살포함으로써 그 지역을 못 쓰게 함에 있다. 북한은 전쟁 초기단계에 중요한 장비나 시설물, 지형을 오랫동안 사용하지 못하게 하려고 지속성 작용제로 지휘소, 해군기지, 비행장 같은 군사 활동의 심장부를 공격할 것이다. 또한 비지속성 작용제로 여러 번 반복 공격하여 공격 교두보를 확보할 것이며, 후방 대도시 에 민간인을 대상으로 미사일 또는 다연장로켓 등

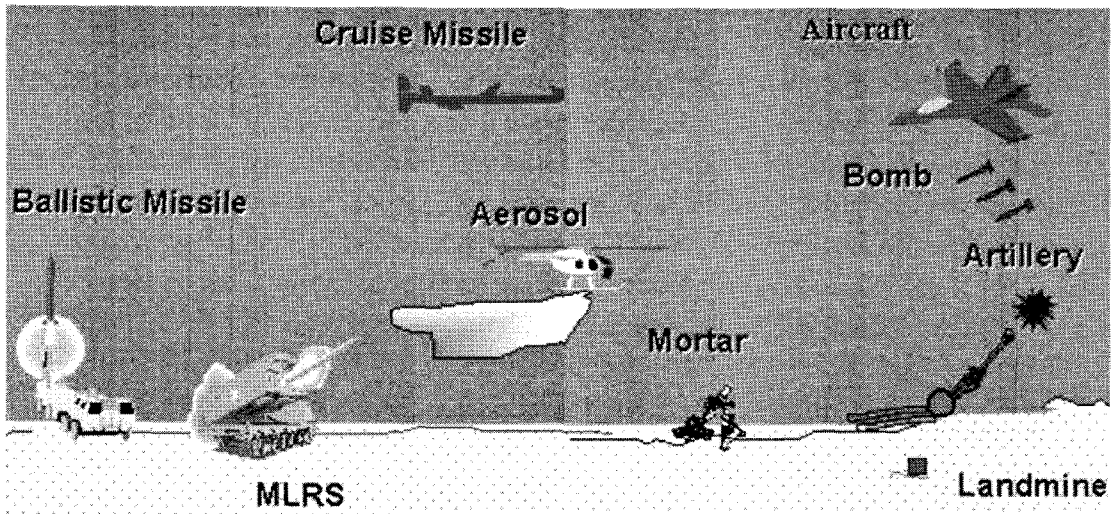


그림 2. 화학작용제 투발수단

으로 지속성 작용제를 공격하여 대량 살상, 민심 교란 및 심리적, 육체적 긴장을 유발할 것이다.

화학작용제는 그림 2에서 보는 바와 같이 지뢰, 항공분무탱크, 박격포, 야포, 순항미사일, 탄도미사

일, 방사포로 불리는 다연장로켓(MLRS) 및 항공기 폭탄 등으로 투발되며 표 1에 무기별 사거리와 화학작용제 충전량을 표시하였다.

대부분의 재래식탄은 비교적 쉽게 화학작용제를 투발할 수 있도록 개조가 가능하고 효율과 비용 때문에 특수 목적의 화학탄을 별도로 개발할 가능성은 낮다.

전략표적이 상당히 먼 거리에 있을 때는 주로 다양한 크기의 폭탄이나 분무탱크를 탑재한 항공기를 이용하는데 분무탱크의 경우 공격자가 작용제 살포시 저고도로 느리게 비행하여야 하는 위험 때문에 오늘날 유용한 투발 수단으로는 생각되어 지지는 않지만 방공망이 무너졌을 경우는 공격이 가능할 것으로 생각된다.

화학 탄두를 탑재한 SCUD B 지대지 미사일은 인구가 집중된 도시지역은 물론 군사시설에 심각한 위협을 줄 수 있는 공격수단이다. 북한은 탄도 미사일과 화학탄두를 보유하고 있으며 사거리 증대, 정확도 증진, 탑재량 증가 등에 집중적인 투자를 하고 있고 우리와 같이 방공망이 철저한 경우에는 공격수단으로 매우 효과적이다. 또한 화학탄두

표 1. 무기별 사거리와 화학작용제 충전량

무 기	사거리(km)	화학작용제 충전량(kg)
박 격 포	5~10	2~3
자 주 포	10~30	1~7
다연장 로켓	20~35	2-20*
미 사 일	FROG 7	70
	SCUD B	300
	Al Hussein	600
항 공 기	폭탄	50~300
	분무탱크	160~630
지뢰		5
수류탄		0.1~0.5

*로켓 1개당

표 2. 화학작용제 종류

화학 작용제	질식 작용제	혈액 작용제		수포 작용제		신경 작용제				
	CG	AC	CK	HD	L	GA	GB	GD	VX	
구분	포스젠	시아나화 수소	염화 시아노젠	유황계 머스타드	루이사이트	타분	사린	소만		
분자량	99	27	61	159	207	162	140	182	267	
빙점 [°C]	-118	-15	-6.5	14.5	-18	-49	-57	-42	-39	
비등점 [°C]	8.2	26	15.5	217	190	240	151	190	298	
증기압 _{20°C} [mbar]	1.565	816	1.002	0.092	0.525	0.084	1.97	0.35	1.4×10 ⁻⁴	
휘발도 _{20°C} [mg/m ³]	6.37×10 ⁶	0.89×10 ⁶	2.6×10 ⁶	625	4.500	560	2.25×10 ⁴	2.060	1.6	
증기 밀도[공기=1]	3.5	0.95	2.1	5.4	7.2	5.6	4.86	6.35	9.25	
액체 밀도[g/cm ³]	1.42	0.69	1.22	1.27	1.89	1.07	1.09	1.01	1.026	
지속성	맑음, 15°C	수분	수분	수분	2-7일	3-6시간	1-4일	15분-4시간	2.5일-5일	3일-3주
비탈 및 강우 10°C	수분	수분	수분	12시간-2일	12시간-1일	30분-6시간	15분-1시간	3시간-1.5일	1-12시간	
무풍, 맑음, 눈 -10°C	15분-1시간	1-4시간	15분-1시간	2-8주	2일-1주	1일-2주	1-2일	1-6주	1-16주	
독성 주요효과	사망	사망	사망	사망	사망	사망	사망	사망	사망	
LD ₅₀ [mg/kg]	-	-	-	0.7	0.4	0.6	0.05	0.14	0.008	
LC _{t50} [mg min/m ³]	3.3 ×10 ³	4.5 ×10 ³	11 ×10 ³	1.5×10 ³	1.5 ×10 ³	300	100-200	40-70	35-40	
IC _{t50} [mg min/m ³]	1.6 ×10 ³	2 ×10 ³	7 ×10 ³	1 ×10 ³	0.3 ×10 ³	100	75	25	5	
피부 침투 속도 [min]				3-5분			10-15분	10-15분	5-7분	
냄새	건초 또는 풀	쓴 아몬드	자극적이라 냄새인식불가	무취(약간의 겨자 또는 마늘냄새)	자극적	약한과일향(거의무취)	순수성분은 거의무취	과일향(강취)	무취	
색깔	무색	무색	무색	무색	무색	무색(노란-갈색)	무색	무색	무색(노란색)	
물의 용해도 [%]	0.9	∞	6.4	0.8	0.05	12	∞	1.5	1-4	
증상	폐수종, 산소결핍	산소가 세포로 전달되는 것을 방해하여 산소결핍으로 사망		피부 또는 안구에 조직 파괴, 폐 손상	수포 혹은	신경전달장애, 호흡곤란, 동공수축, 침들리기, 발한, 근육경련			시력장애,	

를 탑재한 순항미사일은 매우 효과적이며 다량의 작용제를 광범위하게 높은 정밀도로 투발할 수 있으므로 공격 최대 효과를 모두 달성할 수 있다.

야포와 다연장로켓은 짧은 거리의 화학공격에 사용될 수 있으며, 특히 다연장로켓은 집중적으로 매우 빠르게 화학작용제 살포가 가능하다. 다연장로켓 1개 대대는 720발의 로켓포로 30초 내에 1 km² 지역을 공격할 수 있다. 또한 지뢰나 수류탄에도 화학작용제를 충전시킬 수 있으나 수류탄에는 주로 최루가스가 충전된다.

2.3 화학작용제 종류

화학작용제는 일반적으로 증기, 에어로졸, 액체 형태의 신경, 혈액, 질식 그리고 수포작용제로 분류하며 표 2에 표시하였다. 또한 휘발도에 따라 화학작용제는 지속적인 것과 비지속적인 것으로 분류할 수 있다. 보통 4시간을 기준으로 작용제의 지

속성과 비지속성을 구분하는데 비지속성 작용제는 비교적 낮은 비등점과 높은 휘발성을 가지고 있다. 비지속성인 사린가스(GB)와 지속제 작용제인 VX를 비교하면 증기압이 약 14,000배로 GB가 VX보다 14,000배 빠르게 액체가 가스(증기)로 변한다. 현재 비지속성 작용제에는 AC, GB, CK, CG가 있다. 이러한 비지속성 작용제는 호흡계통을 통하여 인간을 살상시킨다. 출고 한랭한 기후에서는 GB같은 작용제도 지속성이 될 수 있다.

2.4 화학작용제 오염 확산

화학탄 공격시 화학 작용제는 액상의 방울과 가스가 생성된다. 그림 3의 좌측그림에서 보는 바와 같이 직경이 큰 액상방울은 중력에 의해 침강하여 지면을 오염시키는데 반하여 크기가 작은 액상방울은 대기 중에 부유하여 에어로졸로 존재한다. 이러한 에어로졸과 가스는 1차 작용제운을 형성하고

바람에 따라 확산된다. 지면에 떨어진 액상방울은 지표면 열에 의해 증발하여 2차 작용제운을 만들며 또한 이것도 바람에 따라 이동 및 확산한다. 작용제 살포 순간에는 액상작용제 농도가 짙어 1차 작용제운을 육안으로 관측할 수 있으나 그 이후의 1차 및 2차 작용제운은 액상작용제의 대부분이 증발하여 가스로 변하고 대류에 의해 이동 및 확산되므로 육안으로 볼 수 없다. 지면에 떨어지는 액상방울은 이슬비와 같다고 생각하면 되나 대기 중에서 관측하기는 매우 어렵다. 다만 사람 피부로 떨어지면 감각으로 알 수 있을 정도이다.

1차 작용제운과 지면에 떨어진 액상방울의 비율은 살포된 작용제에 따라 다르다. 경화제의 첨가, 살포방법 그리고 폭발높이도 또한 오염원의 질량 분포에 영향을 미친다. 휘발성이 강한 물질은 1차

작용제운의 대부분을 차지하는데 반해 지속성이 강한 물질은 대부분 지표면에 떨어져 지역을 오염시킬 것이다. 폭발물을 동반한 살포는 스프레이로 작용제를 살포한 경우보다 1차 작용제운의 많은 비율을 차지할 것이다. 그림 3의 우측 그림은 동일한 화학탄과 기상조건에서도 지형에 따라 오염확산 범위가 다른 예를 나타낸 것으로 맨 위로부터 아래쪽으로 평지, 산악, 도시지형의 경우로 평지와 도심지를 비교하면 평지의 경우 지면의 장애물이 없어 난류가 발생되지 않아 확산폭이 작으며 오염 농도가 높은 반면 도시의 경우 건물로 인한 난류발생으로 오염 확산폭은 커지나 이에 따른 오염농도가 낮은 경향을 보인다.

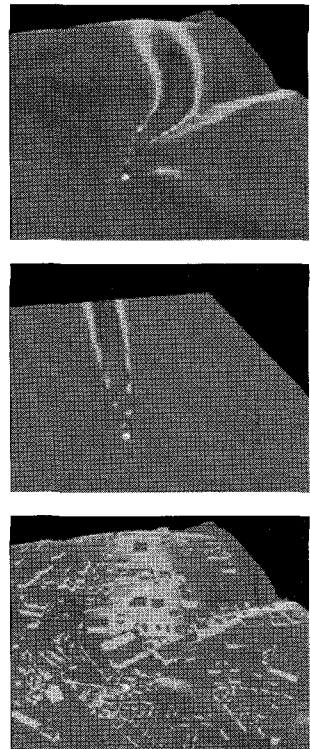
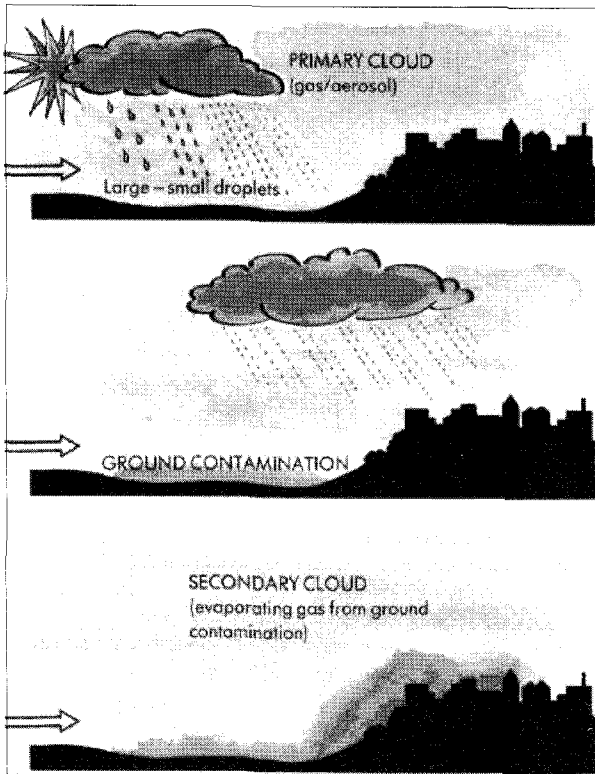


그림 3. 화학작용제 확산 및 지형(평지, 산악, 도시)에 따른 오염범위

2.4.1. 날씨의 영향

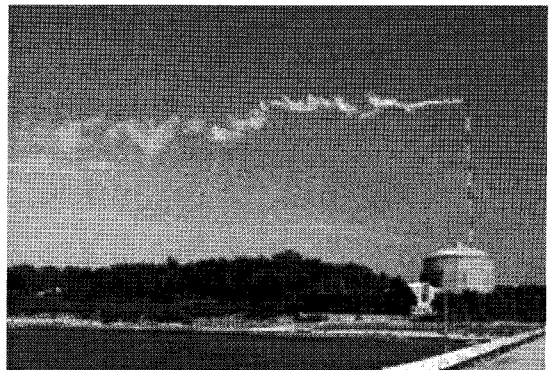
화학탄의 공격은 목표지점 또는 원점 근처에 화학방 보호장구(방독면 및 보호의)를 갖추지 않은 사람을 살상시킨다. 강풍, 강한 비 또는 0℃ 이하의 기온은 화학무기 효과를 감소시킨다. 공격 후의 날씨는 목표지점에서 멀리 떨어진 장소에 거주하는 사람의 호흡기 위험 뿐만 아니라 지표면 오염에 지대한 영향을 끼친다. 1차 작용제운은 바람에 따라 이동 및 확산하므로 풍속은 1차 작용제운이 특정 장소를 통과하는데 필요한 소요시간 계산에 결정적인 역할을 한다. 강풍은 작용제의 체류시간을 짧게함으로써 비보호 인원이 훨씬 적게 피해를 볼

것이고 약풍은 사상자를 많이 낼 것이다. 결과적으로 약풍은 강풍보다 먼 거리까지 영향을 미칠 것이다. 풍속은 또한 1차 작용제운이 얼마나 빨리 이동하여 특정장소에 도착하는 시간에 영향을 미친다. 만약 바람이 약풍이면 사람들에게 화학전 경고를 할 시간적 여유가 있다. 그러나 미풍정도의 매우 약한 바람은 1차 작용제운이 멀리 이동하지 못하고 풍향이 자주 바뀌므로 폭발지점으로부터 원을 그려 그 지역을 오염 예상 지역으로 경고하는 이유가 여기에 있다.

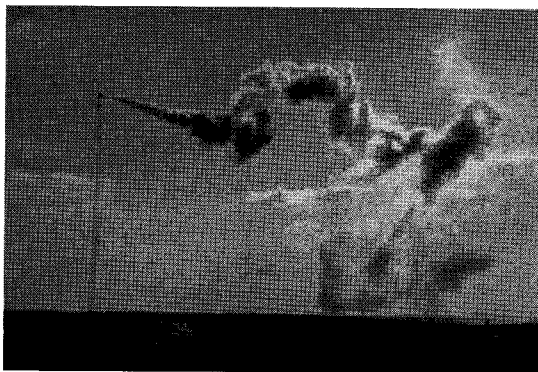
1차 작용제운의 가스/에어로졸 농도는 대기의 순환 또는 난류의 영향을 많이 받는다. 그림 4(a)처



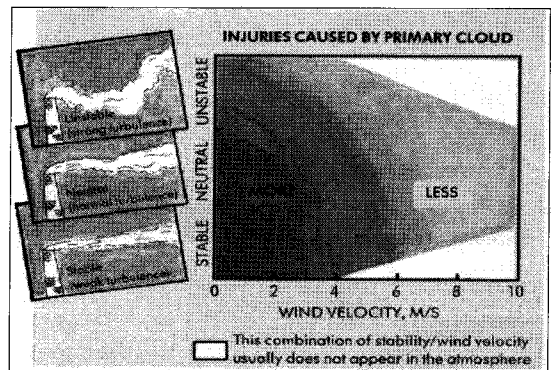
(a) 대기 안정도(안정)



(b) 대기안정도(중립)



(c) 대기 안정도(불안정)



(d) 대기안정도(안정, 중립, 불안정)와 풍속에 따른 1차 작용제운 피해 정도

그림 4. 대기안정도와 풍속에 따른 1차 작용제운 피해

럼 청명한날 밤에는 지표면 온도가 냉각되어 대기 역전(즉 지표면 온도가 기온보다 낮아 지표면 오염 물질이 하늘 높이 올라가지 못하고 지표면 근처에 머무는 안정 대기조건)이 형성된다(안정 대기층 형성). 대기 역전은 약한 난류를 이끌어 고농도 1차 작용제운이 형성되고 이에 따라 최대의 공격효과를 얻을 수 있다. 그림 4(c)처럼 여름철 햇빛이 비치는 낮에는 지표면이 뜨거워져 그 결과로 난류도가 커진다(불안정 대기층 형성). 따라서 1차 작용제운의 효과는 매우 감소되고 특히 폭발지점으로부터 먼 거리에서는 더욱 더 공격효과가 감소된다.

그림 4(d)에서 보는 바와 같이 풍속이 낮고 대기가 안정할 때 작용제는 고농도를 형성하여 사상자수가 늘어나며 최대의 공격효과를 얻을 수 있다. 이에 반해 풍속이 높고 대기가 불안정한 경우 작용제는 치사농도 형성이 어려워 화학탄 공격효과가 미미하다.

1차 작용제운의 농도는 추운 날씨에는 감소되고 특히 영하 -20℃이하 일 때는 치사 농도 형성이 어렵다. 이것은 화학작용제 살포시 살포량의 미소량만이 증발된다는 것을 의미하고 지표면 오염이 대부분을 차지한다. 또한 경우는 대부분의 가스화 에어로졸이 씻어 내려가기 때문에 오염농도가 줄어든다. 저온은 지표면 오염을 지속하게 함으로 장기간 접촉위험을 유발한다. 그러나 매우 낮은 온도에서는 작용제가 얼기 때문에 살상 효과는 중지된다(AC의 빙점은 -15℃, VX는 -39℃, L은 -18℃, GD는 -42℃). 겨울의 두꺼운 옷은 여름의 얇은 옷보다 보다 나은 화학방 보호기능을 제공할 것이다. 겨울에 일어나는 주요 문제는 오염된 신발이나 의복을 텐트, 자동차 또는 건물 안으로 갖고 들어와 실내가 따뜻해짐에 따라 작용제가 증발하여 고농도의 독가스가 발생하는데 있다.

강우의 경우를 살펴보면 이슬비는 빗물이 흡속의 기공을 막아 작용제가 흡속으로 흡수하지 못하게 함으로써 지표면 오염을 더욱 증가시킨다. 그러나 호우는 지표면 오염물질을 쓸어버릴 것이고 눈

은 작용제를 덮어버린다. 두 경우 모두 접촉위험은 감소된다. 1차 작용제운 형성 및 지표면 오염에 영향을 미치는 날씨 요소를 표 3, 4에 각각 표시하였다.

표 3. 1차 작용제운 형성에 영향을 주는 날씨 요소

요 소	덜 위험한 1차 작용제운 형성	위험한 1차 작용제운 형성
풍 향	가변적임	일 정 함
풍 속	> 6 m/s	≤ 3 m/s
대기안정도	불안정	안정(대기역전)
온도	< 0℃	> 20℃
습도	-	다습은 수포작용제의 효과가 증대됨
강우	있음	없음

표 4. 지표면 오염에 영향을 주는 날씨 요소

요 소	덜 위험한 지표면 오염	위험한 지표면 오염
기 온	높은 지표면 온도 (그러나 가벼운 옷차림은 화학방 보호도가 떨어짐)	작용제의 빙점과 0℃ 사이 (그러나 두꺼운 옷차림은 화학방 보호도를 증가시킴)
풍 속	고속	저속
대 기 안정도	불안정	안정(대기역전)
습 도	-	다습은 수포작용제를 더 효과적으로 만듦
강 우	폭우	이슬비

2.4.2 지형과 건물

삼림지대와 기복이 심한 산악지형은 바람의 난류도가 커져 1차 작용제운의 위험도가 낮아지며 삼림지대에서는 어느 정도의 가스와 에어로졸 작용제를 흡착한다. 그러나 공격 목표지역 및 인근 삼림지대에서의 움푹한 지형 및 분지 그리고 좁은

계곡은 작용제가 확산되지 않고 축적되어 공격효과가 지속된다. 특히 약풍과 대기안정도가 안정조건인 날씨일 경우 이러한 지형에서의 작용제 효과가 증대된다. 만약 작용제운이 평야, 호수 또는 계곡의 등고선을 따라 이동 한다면 먼 거리까지 화학탄 위험이 지속될 것이다. 텐트, 건물, 자동차 등의 내부에서는 낮은 공기교환을 때문에 작용제 침투 시간이 오래 걸려 가스/에어로졸 운의 독성 작용이 지연될 것이다. 작용제운이 건물을 통과하는 경우 작용제의 일부가 관성충돌이나 확산에 의해 벽이나 다른 표면에 달라 붙어있어 통과 작용제운의 농도는 감소 할 것이다. 일반 건물의 경우 문과 창문을 닫고 환기시설을 끄며, 틈새를 테이프로 밀봉하면 화생방 보호수준이 증진될 것이다. 일반적으로 주택에 독가스가 침투하는데 시간이 걸리는 것과 마찬가지로 빠져나가는 데도 시간이 많이 소요되므로 설령 주택 외부에 작용제운이 바람에 의해 통과된 후에도 실내에 독가스는 길게 남아 있다. 즉 외부보다 내부에 오염농도가 커지므로 환기시설을 재가동 하기 위해서는 외부 오염농도를 아는 것이 매우 중요하다. 지표면 오염의 경우 토지피복종류가 접촉 위험 측면에서 매우 중요하다. 아스팔트나 콘크리트의 경우처럼 건조하고, 딱딱하거나 다공성 표면일 경우 접촉위험은 훨씬 줄어든다. 잔디, 이끼, 모래 또는 눈처럼 부드러운 지형의 경우 화학작용제의 접촉위험은 상당히 커진다. 울창한 삼림지대의 경우 낙하하는 액상방울이 나무 정수리 부근에서 어느 정도 걸리기 때문에 지표면 오염은 감소되나 일정하지는 않고, 반면에 덤불숲은 접촉 위험이 가장 큰 곳이다.

2.5 화학작용제 위험 예측

대도시 또는 인근에 화학탄 공격으로 상당한 양의 작용제가 살포되거나 사고로 독성화학약품이 누출되면 민간인에게는 심각한 위험을 줄 수 있다. 예를 들면 화학탄 폭발 후 형성된 작용제운은 폭발

지점에서부터 5~10 km 까지 확산될 수 있다. 이와 같은 독성약품 누출 또는 화학탄 공격에 적절한 대응을 하기 위해서는 화학작용제의 오염 확산범위를 신속하고 정확하게 예측하여 미리 오염지역을 벗어나야 한다. 이런 오염 확산에 대한 위험을 예측하기 위해서는 국내지형 및 기상에 맞는 대기 확산모델을 개발하고 모델에 대한 정확도를 검증하기 위해서 인도 버팔에서 발생한 독성 물질 누출 같은 사고를 대입하여 예측치와 실측치의 일치 정도를 분석해야한다.

먼저 인도 버팔 사고를 살펴보면 1984년 12월 2일 밤 인도 버팔에 있는 Union Carbide 사 공장에서 대량의 화학약품이 누출되었다. 사고는 살충제 carbaryl 제조의 원료로 쓰이며 극도로 반응성이 좋은 화학약품 MIC(methylisocyanate) 저장탱크의 누출로 시작되었다. 이 사고는 산업 재해 사상 최대 인명피해를 준 사례로 기록되어 졌다. 그 도시의 총인구 800,000의 약 1/3이 피해를 보았다. 대략 100,000명이 병원치료를 받았으며 50,000명이 입원하였고 2,500명이 치명적인 상처를 입었다. 또한 대략 7,000 마리의 가축이 다쳤고 그중 1,000마리가 죽었다. MIC(CH₃NCO)는 비점이 40℃로 휘발성이 강한 유체다. 반응성이 아주 강한 물질이며 흡입했을 때 인체에 강한 자극성을 준다. 인체에 영향을 주는 농도는 5 mg/m³(2 ppm)이며 50 mg/m³이 되면 참을 수 없을 정도로 기침이 나며 눈물이 흐르고 눈을 뜨기가 곤란하다. 증상이 최루가스 와 비슷하다. 고농도가 될수록 호흡이 곤란하고 가슴을 압박하며 호흡시 고통이 수반된다. 사고 3개월 후 40,000 명에게서 폐활량 감소 현상이 나타났다고 보고되었다. 또한 이 물질은 축축한 피부 및 눈에 매우 자극적이라고 알려져 있다. 사고원인은 MIC가 저장된 40 m³ 탱크에 물이 들어가 혼합 반응하면서 고온의 반응열이 발생하고 이에 따라 MIC가 증발하였다. 이 결과로 탱크내의 압력이 급격히 증가하고 안전밸브가 폭발되었고 방출량이 워낙 거세서 주위의 보호 콘크리트 방벽이 파괴되

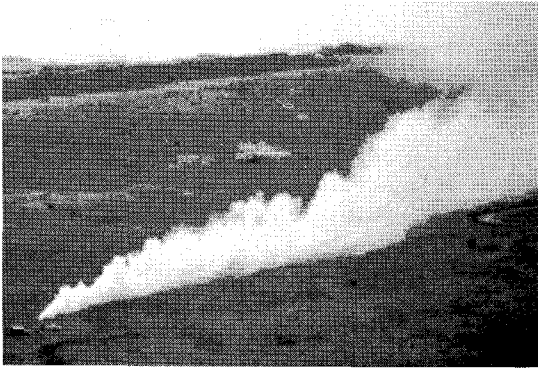


그림 5. 연속 방출(plume)

었다. 대략 20에서 30톤이 1시간 동안 방출되었다. 방출은 주로 30m 굴뚝을 통해서 이루어 졌는데 이 정도의 굴뚝 높이로는 최상층의 고속 바람으로 인한 오염물질 확산 효과가 미미하여 오염농도 감소가 이루어지지 않았다. 방출된 에어로졸은 증기압이 높으므로 빠르게 기화하여 무거운 가스로 변했으며 급격히 지면으로 침강하였다.

기상조건은 대기안정도가 안정조건 이었고 풍속은 2~3m로 약하게 불었으며 풍향은 수시로 변화하는 전형적인 청명한 밤이었다. 그림 5와 같이 연속적으로 발생하는 플룸(plume) 형태에서 이러한 기상조건은 최대의 참사를 낼 수 있는 날씨조건이었다.

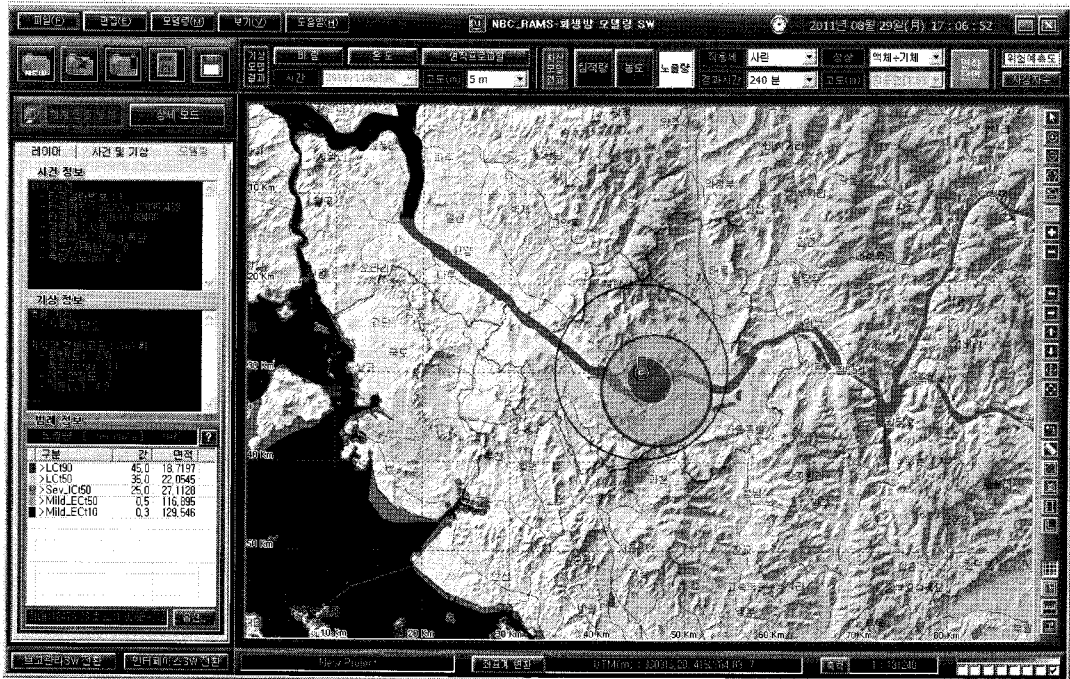
약한 바람과 수직방향의 약한 난류도는 독가스가 대기와의 혼합속도가 지연되었으며 높은 가스 농도가 유지되었고 이것이 상당한 거리까지 심각한 영향을 미쳤다. 또한 풍향의 좌우 요동은 가스 플룸의 측면 이동을 촉진시켜 1시간의 배출로 많은 면적이 오염되었다. 폭발지점으로부터 좌우 150~180°길이 방향으로 2.5 km 내의 거주자는 치명적인 상처를 입었고, 대략 4 km까지의 사람도 치명적인 아니지만 깊은 상처를 입었다. 이러한 사고를 컴퓨터 시뮬레이션 한 결과 실제 사고결과와 거의 근접하였다. 이와 같은 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 한반도에 화학탄이 투하하였을 때를 가정하여 모사해 보자.

서울 한북관 용산 국방부에 적 항공기로 부터 화학탄 8발이 2010년 11월 18일 새벽4시에 떨어 졌다고 가정하자. 날씨는 청명하였고 풍향은 북서풍으로 풍속은 0.1 m/s의 미풍으로 바람은 거의 불지 않았으며 대기안정도는 매우 안정조건이었다. 지면은 건조하였고 기온은 약 4 °C로 쌀쌀하였다. 500 kg 항공 폭탄에는 사린(GB) 가스가 100 kg 실려 있고 지상 2 m에서 폭발하고 4시간이 경과했을 때의 오염지도를 그림 6에 나타내었다. 그림 6(a)에서 보듯이 대기가 안정하고 약한 바람과 수직방향의 난류도가 거의 없으므로 가스는 사방으로 퍼져 나가고 대류 확산 속도가 늦어 최대의 피해를 예상할 수 있다. 공격원점에서 남동쪽으로 약 4 km에 거주하는 인원이 방독면 같은 보호장구를 갖추지 않았다면 90%는 사망에 이르고 10 km에서는 50%이상 이 특저증상이 나타날 것으로 예상된다. 그림 6(b)에 시간별 사상자수를 나타내었는데 폭발 후 4시간 경과시 사상자수는 약 12 만명으로 예상된다.

3. 화학방 대피시설 방호도

3.1 방호 구조물

화학방 대피시설이 화학 공격만을 고려할 경우 방호도는 고려하지 않아도 되나 그림 7처럼 재래식 탄으로 먼저 대피시설을 파괴한 후 화학탄을 공격하는 이른바 혼합무기 공격을 쉽게 예상할 수 있으므로 방호 구조물은 적절한 방호도를 유지할 수 있도록 설계 및 시공해야 한다. 방호도는 구조적 측면과 경제적 측면에서 뿐만 아니라 전술적인 측면도 고려하여 결정해야 한다. 어떠한 방호 구조물이나 방호 체계도 그 보다 우수한 무기가 있다면 파괴될 수밖에 없다. 그러나 아무리 약한 구조물이라도 어느 정도는 나름대로의 방호력을 제공해 준다. 따라서 구조물에서 발생 가능한 제반 사항을 고려하여 적절한 방호도를 선택하기란 용이하지 않다.



(a) 4시간 후 예상 피해범위

사상자 수(노출량) - GB

부대	부대코드	시간						
		민간			군			
		총원	부상/감염	사망	총원	부상/감염	사망	
		시간	총원	부상/감염	사망	총원	부상/감염	사망
		2010/11/18 05:20	123936	4629	50210	-	-	-
		2010/11/18 05:30	166223	6023	57190	-	-	-
		2010/11/18 05:40	225272	7755	65925	-	-	-
		2010/11/18 05:50	296486	9358	73013	-	-	-
		2010/11/18 06:00	361733	10842	78359	-	-	-
		2010/11/18 06:10	432018	12540	82944	-	-	-
		2010/11/18 06:20	516052	14147	86260	-	-	-
		2010/11/18 06:30	615619	15686	88846	-	-	-
		2010/11/18 06:40	751522	17209	90858	-	-	-
		2010/11/18 06:50	907577	18738	92577	-	-	-
		2010/11/18 07:00	1052908	19948	93622	-	-	-
		2010/11/18 07:10	1207006	21027	94438	-	-	-
		2010/11/18 07:20	1379638	22069	95146	-	-	-
		2010/11/18 07:30	1543336	23038	95663	-	-	-
		2010/11/18 07:40	1679596	23797	96019	-	-	-
		2010/11/18 07:50	1812293	24486	96254	-	-	-
		2010/11/18 08:00	1923804	25014	96496	-	-	-

(b) 시간별 예상 사상자수

그림 6. GB 탑재 항공폭탄(500kg) 8발 폭발시 예상 피해 범위 및 사상자수

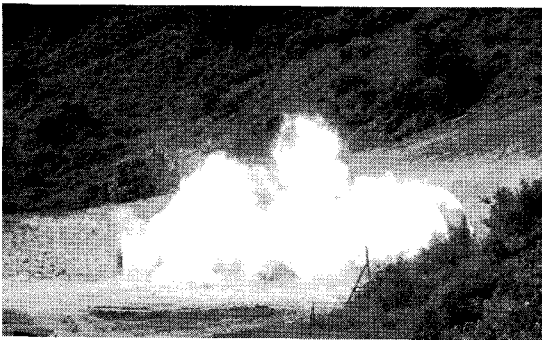


그림 7. 화생방 대피시설에 대한 재래식탄 공격

최선의 방호도는 적이 사용하고 있는 편제 화기, 예측 가능한 미래의 화기, 적의 전술 및 전략적 고려사항 등 많은 변수를 종합 검토하여 결정해야 한다. 방호시설은 사용빈도가 높은 무기에 대하여 가장 경제적인 비용과 노력으로 대피인원에 대한 최대의 방호를 제공할 수 있어야 한다. 그러나 무기 형태나 공격방법은 시대에 따라 변천되어 현재의 양호한 방호시설이 미래에선 뒤떨어진 방호시설로 변할 수도 있으므로 방호시설 개선을 위한 노력을 꾸준히 기울여야 한다.

폭탄이나 포탄이 구조물에 직접 충격하여 폭발하는 경우 방호구조물 각 저항요소의 방호는 개개 시설물의 중요도와 특수무기의 대한 시설물의 취약성 정도에 따라 가감될 수 있다. 목표물에 명중한다는 가정 하에서 설계한다면 방호측면에서는 보다 안전할지는 모르나 그만큼 벽체 두께를 두껍게 시공해야 하므로 경제적인 측면에서는 꼭 바람

표 5. 폭발거리 7.6m에서 폭발하는 폭탄파편에 대한 소요 방호 두께

폭탄크기 (kg)	방 호 두 께(cm)		
	일반 강철	철근콘크리트	모 래
250	6.4	40.6	121.9
500	7.6	45.7	-
1000	8.9	53.3	137.2

직하지만은 않다. 폭탄 크기별 7.6m 근접거리에서 폭발하는 경우의 재료별 방호 두께를 표 5에 표시하였다.

3.2 방호도의 해외 사례

모든 군사용 또는 민방위용 방호구조물은 적의 공격에 대비한 방호기능이 전제된 시설이므로 미국, 유럽 등 선진국에서는 시설의 목적, 중요도 및 작전에 미치는 영향 등을 고려하여 방호정도, 방호 대상무기, 대상무기의 위력, 표준도 작성 및 표준 방호 설비 등에 대한 규정을 제정하여 일관된 방호구조물 건설을 위한 시설 예규로 활용하고 있으며, 시설 유형별 방호정도에 관한 방호기준, 무기의 위력 및 구조물에 미치는 하중기준 산정, 구조물의 동탄성 해석 등의 사항 등이 수록되어 있으며 방호구조물 및 민방위 시설 전반에 걸쳐서 시설기준이 확립되어 있다.

표 6은 시설별로 방호 대상무기를 나타낸 것으로 지휘통신시설, 레이더 통신시설, 민방위 본부 시설 및 민방위 통신시설 등과 같이 작전 지휘요원 및 정보처리 기능의 보호를 위한 방호시설은 그 시설의 중요도에 따라서 방호도의 차이는 있으나 대체로 관통파괴, 폭풍, 화생방 및 핵전자기파(NEMP)에 방호되는 것이 일반적이다. 특히, 통신체계는 유선통신망 구축을 위해서 민간소요의 통신망 중의 일부는 전장 상황 하에서도 기능을 유지할 수 있도록 핵전자기파 방호까지를 의무화하고 있으며 고도의 보안유지가 요구되는 중요시설에는 적의 도청방지를 위한 시설도 구비되어 있다.

민방위 본부 및 지역 민방위 본부시설의 방호정도는 군의 지휘통신시설에 준하는 방호도를 요구하고 있으며 민방위 대피시설의 화생방 집단보호시설에 대한 방침은 거의 100% 채택하고 있다.

표 6. 시설별 방호 대상무기

시 설 명	재래식무기 직격탄	핵무기 직격탄	화생방	핵전자기파
◎ 지휘통신시설				
전쟁지도본부	○	△	○	○
각군본부시설	○	△	○	○
기지 및 사령부시설	○	△	○	○
야전군 본부시설	○	×	○	△
레이다 및 통신시설	○	×	○	○
◎ 병참수리시설				
격납고	△	×	△	×
탄약고	△	×	×	×
유류고	△	×	×	×
병기고	△	× (△)	×(○)	×(△)
정비 공장시설	△	×	×	×
◎ 민방위 본부시설	△ - ○	△ - ×	○	○-×
◎ 민방위 통신시설	△ - ○	×	○	○
◎ 민방위 대피시설	△	×	○	×

○ : 완벽한 방호, △ : 시설별로 차등 고려, × : 불고려

표 7. 시설형태별 구조물 형태

시 설 명	지상 시설	엄개 시설	건물 지하층	임반내 구조물
◎ 지휘통신시설				
전쟁지도본부			△	○
각군본부시설			○	○
기지 및 사령부시설		△	○	○
야전군 본부시설		○	○	○
레이다 및 통신시설		○	○	○
◎ 병참수리시설				
격납고		○		○
탄약고		○		○
유류고		○		○
병기고	○			○
정비 공장시설	○			○
◎ 민방위 본부시설			△	○
◎ 민방위 통신시설			△	○
◎ 민방위 대피시설			△	○

○ : 주로 채택하는 시설 형태, △ : 선택적으로 채택하는 시설형태

병참수리시설은 그 규모가 방대하고 분산수용이 가능하며 방호도 제고에 소요되는 투자비가 방대함으로 지근탄 방호를 채택하는 것이 일반적이다.

방호시설은 지상구조물과 지하구조물로 나눌 수 있다. 지반의 상태에 따라 견고한 지반이나 경질의 암석층이 있는 곳에서는 아주 양호한 방호도를 갖는 지하구조물을 구축할 수 있는 반면, 습하거나 연약한 지반의 경우는 방수가 어렵고 경미한 피해에도 지하수 침투가 우려되므로 지상에 건설하는 것이 오히려 바람직할 수도 있다. 시설형태별 구조물 형태를 표 7에 표시하였다.

표 7에서 보는바와 같이 지휘통신시설, 레이더 및 통신시설, 민방위 본부시설 등과 같이 작전지휘요원 및 정보처리기능의 보호를 목적으로 하는 방호시설은 높은 정도의 방호도가 요구되며, 병참수리시설은 그 규모가 방대하기 때문에 고도의 방호도를 부여하기 곤란하여 엄격형 구조물이 일반적이다.

4. 화학방 대피시설

4.1 개요

화학방 대피시설은 재래식무기나 핵무기 공격으로 발생하는 폭풍파와 충격에 견딜 수 있는 구조를 가지며 화학방무기 공격시 오염공기를 가스입자여과기로 정화하여 집단보호시설 내부에 공급하여 대피인원의 필요 공기량 및 오염공기 침투를 방지하기 위한 외부 기압보다 내부가 높은 양압을 제공하며, 개인보호 장구 착용 없이 원활한 임무 수행을 할 수 있는 쾌적 환경을 제공하는 시설을 의미한다. 화학방 집단보호시설은 필수적으로 다음과 같은 구조를 가져야 한다.

- 1) 출입통제가 엄격한 구조
- 2) 들어오는 인원의 제독과 안전하게 나갈 수 있는 오염통제구역
- 3) 근무 및 휴식하는 주 대피실(청정구역) 내의

체류인원 호흡에 필요한 정화 공기량 및 양압을 제공할 수 있는 가스입자여과기 및 부스터팬

- 4) 개인보호 장구 착용 없이 임무수행 및 휴식이 가능하고, 오염통제구역을 통해서 안전하게 출입할 수 있으며 정화공기로 양압이 형성된 청정구역
- 5) 화장실, 샤워실, 비상급수, 전원 및 외부지원 없이 수일 또는 수주간 생존 가능한 식료품 같은 생존시설

4.2 화학방 대피시설 평면

선정된 방호도 및 오염지역 출입율에 따라 달라질 수 있겠으나 대피시설에는 그림 8에서 보는 바와 같이 출입구와 주대피실(청정구역), 오염통제구역(인체제독소), 기계실로 크게 대별할 수 있다.

1) 주대피실

주대피실은 개인보호장구 착용없이 체류 인원이 안전하게 임무수행, 휴식 및 생리적 욕구를 해결하는 곳으로 상황실, 중앙통제실, 침실, 화장실, 샤워실, 주방, 물탱크실, 응급치료실, 창고 등으로 이루어져 있으며 상황실은 경보장치시설과 외부와의 정보교환을 위한 통신시설을 갖추고 있으며 중앙통제실은 대피실의 출입인원 통제와 대피기간 중의 지휘통솔을 위하여 마이크 시설을 갖추어야 한다.

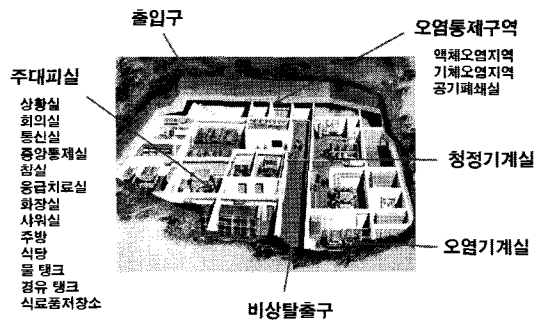


그림 8. 화학방 대피시설 평면 예

주 출입구(평시 통로)와 오염통제구역내의 주요 장소에 CCTV를 설치 운용하여 외부가 오염되었을 때 중앙통제실 안에서 안전하게 대피인원을 인도 및 긴급한 상황시 혼란을 줄여 원활한 지휘통제를 할 수 있다.

2) 오염통제구역 (Contamination Control Area)

화생방 오염 환경에서 출입하는 인원 및 장비를 제독하는 곳으로 그림 8의 액체위험지역, 기체위험지역, 공기폐쇄실을 통틀어 말한다. 이 구역은 출입으로 인한 오염원의 주대실로의 확산을 막기 위하여 출입문이 동시에 개방할 수 없도록 상호 인터록킹 장치가 되어 있어야 하며 중앙통제실에서 출입 통제를 한다.

3) 기계실

기계실은 오염기계실(Dirty Machine Room)과 청정기계실(Clean Machine Room)로 나누어야 한다. 오염기계실은 비상발전기, 보일러, 냉각탑 및 대용

량의 공기가 필요한 장비를 설치한다. 이 방의 공기는 화생방 공격시 오염되며 평시에 오염기계실은 청정기계실과 오염기계실 사이의 밀폐문을 통하여 들어갈 수 있다. 화생방 작전시 오염기계실은 옥외에서만 들어갈 수 있고 오염기계실과 청정기계실 사이의 문은 폐쇄되고 잠겨져야 한다. 청정기계실은 화생방 공격시 비오염지역으로 남아 있도록 설계해야 한다. 이 방은 가스입자여과기, 부스터 팬, 냉동기, 공기조화기(AHU), 식수 펌프, 모터 제어판, 온수히터, 기타 청정해야할 설비를 설치한다. 이곳은 청정구역에서 접근 가능하도록 출입문을 설치한다.

4.3 화생방 방호설비

그림 9에 화생방 대피시설에 사용되는 대표적인 방호설비를 나타내었다.

1) 방폭밸브 (Blast Valve)

방폭밸브는 재래식 탄 또는 핵 폭발시 발생하는



그림 9. 화생방 방호 설비

폭풍파를 차단하여 대피시설 내의 인원 및 장비를 보호하는데 사용한다. 보통 대피시설 방호도에 따라 4가지로 분류하는데 반사 폭풍압 기준 3, 10, 20, 60 bar의 방폭밸브가 사용된다. 방폭밸브는 평시에 밸브가 열려 있어 공기가 흐르다가 재래식 탄 또는 핵 폭발시 발생하는 폭풍에 의해서 기계적으로 닫힌다. 이 때 폭풍압의 일부는 방폭밸브를 통과하는데 방폭밸브 후단에 팽창실을 두어 폭풍압을 감쇄시킨다. 주요 설치장소는 신선 공기 흡입구, 화장실 배기구, 비상발전기 흡/배기구, 보일러 흡/배기구, 냉각탑 흡/배기구, 오염통제구역 최외곽, 화장실 통기관 등 대피시설 외부를 관통하는 공기 흡기구와 배기구 통로상에 설치한다.

2) 과압밸브(Overpressure Valve)

과압 밸브는 오염통제구역, 화장실 등 각 격실을 규정된 압력 및 차압으로 유지함으로써 오염물질이 오염지역에서 청정지역으로 유입되는 것을 방지하며, 문 개폐시 공기유동 경로를 바꿈으로써 오염원 유입을 최소화시키는데 사용한다. 과압밸브는 중력식 댐퍼와 같은 역할을 하며 오염통제구역의 각 격실, 화장실 및 제습기 배기구에 설치한다.

3) 가스입자여과기

(Gas Particulate Filter Unit)

가스입자여과기는 알려진 모든 화학작용제를 제거하는 기능을 갖고 있으며 중앙 중심부에는 원통형 입자여과기가 있고 그 둘레에 원통형으로 가스여과기로 구성되어 있다. 입자여과기는 공기 중 미세입자나 에어로졸을 제거하는 고효율 여과기(HEPA Filter)로 보통 유리섬유로 만들어져 있다. 가스여과기는 활성탄을 사용하는 입자층으로 물리화학적 흡착으로 기체작용제를 제거한다.

4) 기타 기밀재료

대피시설 양압을 유지하기 위해서는 누출부위 밀폐가 가장 중요하다. 밀폐하기 가장 어려운 부분

은 전선, 통신 케이블 등이다. 고무 블럭을 조합하여 기밀을 유지하거나 wall sleeve로 밀폐한다.

5) 냉난방 조화기機(Air Handling Unit)

보일러와 냉동기에서 생산한 냉/온수를 열교환하여 냉난방된 공기를 주 송풍기를 이용하여 대피시설 내부 각 방에 분배, 재순환하여 쾌적한 실내 조건을 유지하는데 사용한다. 정전시 인력으로 작동할 수 있도록 제작된 것도 있다.

4.4 화학방 대피시설 공기흐름

그림 10에서 보는 바와 같이 평시 환기에 필요한 옥외 공기는 공조기의 주송풍기에 의해서 프리필터를 거쳐 유입되며 가스입자여과기는 우회한다. 옥외공기와 청정구역의 재순환 공기는 모터구동 유량 댐퍼에 의해 혼합된다. 보통 공기 흡기 댐퍼는 환기에 필요한 최소한의 공기만을 유입하도록 고정되어 있으며 냉각코일은 환기 및 재순환 공기의 현열 및 잠열을 제거한다. 차압고, 거의 포화된 공기가 냉각 코일을 떠나며 실내의 현열 냉방부하가 설계부하보다 낮을 때(중간기 및 겨울철) 가열코일은 청정구역 부하를 맞추는데 필요한 공기를 재열하는데 사용한다. 대부분의 환기 공기는 강제 배기 시스템을 갖고 있는 화장실을 통하여 청정구역을 빠져나가며 나머지 공기는 오염통제구역을 통하여 나간다.

이러한 경로로 빠져나가는 공기량은 압력조절 기능이 있는 댐퍼로 조절되며 댐퍼에 의해서 건물 내에 미소 양압(5~13Pa)을 유지한다. 전시에는 옥외공기가 직접 고효율 공기 여과 시스템을 통과하도록 평시운용 통로의 기밀밸브를 닫고 전시 운용 모드의 모터구동 기밀밸브를 연다. 부스타 팬은 고효율 입자여과기(HEPA Filter)와 화학 기체작용제를 제거 해 주는 활성탄층을 통하여 강제로 환기용 공기를 여과하여 공급해 주며 대피시설의 청정구역이 250 Pa의 양압을 유지하도록 한다.

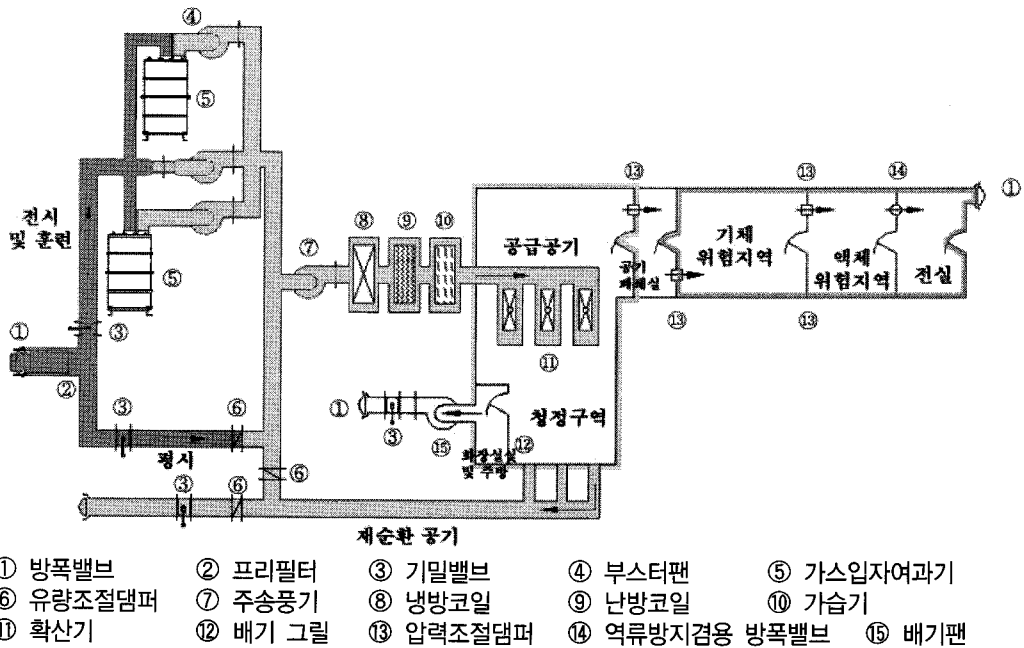


그림 10. 화생방 대피시설 공조 계통도

5. 맺음말

한반도와 주변국들은 지구상에서 군사력이 가장 밀집된 지역을 형성하고 있고 세계에서 가장 폐쇄된 집단인 북한과 무력 대치가 계속되는 한 전쟁발발 가능성이 항상 존재하며, 이러한 우리의 현실에서 장차 유사시에 대비하여 적절한 화생방 대피시설을 갖추어야 함은 당연한 일이다. 전쟁수행의 궁극적인 목표는 승리함에 있는바 직접 전투에 참여하는 인원과 장비의 보호를 위한 군사 방호시설뿐만 아니라, 완벽에 가까운 민방위 대피시설을 갖추어서 전쟁이 발발하더라도 안전하게 대피할 수 있다는 안정감과 신뢰감을 국민들에게 심어주어 현 시점에서 각자의 임무에 충실할 수 있게 되며, 전쟁 중에도 아 측 피해를 최소화하고 전투력을 보존하여 최후의 승리를 얻을 수 있을 것이다.

본고에서는 화학전과 화생방 대피시설의 개요, 방호도 및 화생방 설비 등을 개략적으로 설명하였

다. 신무기의 개발과 함께 방호조건도 변화하므로 이에 따른 방호시설의 발전은 계속되어야 한다고 생각한다.

6. 참고문헌

- 1) 심우섭 외, 1991, GSRD-507-91440, "신축 화생방 집단보호시설 설계지침 연구", 국방과학연구소
- 2) 심우섭 외, 1991, GSRD-507-91439, "기존 시설의 화생방 대피회화 연구", 국방과학연구소
- 3) Merton D. Mears, 1979, ARCSL-SP-79003, Handbook on Collective Protection, CRDEC, pp. 9-32
- 4) 김운영 외, 2000, 화생방호시설 유지관리지침 설정 연구, 국방부, pp. 197-279
- 5) 심우섭 외, 2010, ADDR-515-100312, "NBC_RAMS 사용자 지침서", 국방과학연구소
- 6) A FOA briefing book on chemical weapons, 1992, Sweden