

독성 산업 화학물 누출 및 화학/생물학 재난 상황시 응급 처리반의 건강 보호

한국쓰리엠 기술연구소 정 회명

작년 하반기부터 우리나라에서 연이어 일어나고 있는 다양한 유출 사고로 인해 유독 화학 물질이 유출된 경우, 또는 전세계 유일한 분단국가로서 최근 남북한 관계가 긴장되어 감에 따라, 또는 사회적 불만이 고조됨에 따라 특정 목적을 가진 테러집단/개인에 의해 불특정 다수를 대상으로 유독 물질 및 화학/생물학 작용제를 살포해 오염이 된 경우가 있을 수 있다.

이 때 사고현장에 투입되는 재난 응급처리반 요원들, 노출될 수 있는 현장 주변의 근로자들, 인근 지역 주민들의 건강과 생명을 위협하는 화학물질 및 기타 화학/생물학 작용제의 종류에 대해 살펴보고 그들의 건강을 보호하기 위한 보호구들의 종류에 대해 기술하고자 한다.

용어의 정의

1. TIC(Toxic Industrial Chemicals)란 ‘독성 산업 화학물’로 번역되는데, 각종 산업장에서 취급되고 있는 물질들로서 작업환경중의 저농도 노출을 통해서, 또는 각종 누출 사고시 고농도 노출을 통해서 인간이나 동물의 생명 및 건강 등에 독성 효과를 발휘하게 되는 물질들을 의미한다.
2. CBRN이란 Chemical(화학적), Biological(생물학적), Radiological(방사능적), Nuclear(핵의)라는 영어단어를 합축하여 부르는 말로서 통상적으로 우리 말로 ‘화생방’이라고 번역이 되는데, 이미 산업장에서 사용되고 있는 각종 독성 산업 화학물을 포함하여 살상용으로 인류가 고의적으로 개발하여 전쟁 및 테러 용도로 많이 사용하는 화학/생물학/방사능 작용제 자체(화생방 작용제: CBRN agents)를 지칭하기도 하고 그러한 물질들이 누출되거나 살포된 재난 및 전쟁 형태(화생방전: CBRN warfare)를 지칭하기도 한다.
3. First Responder (초기대응반 또는 응급처리반)란 위와 같은 화생방 재난 상황이 발생되었을 때 직접 오염 현장에 출동하여 인명 구조, 피해복구, 환경 오염 처리 등의 활동을 직접 수행하게 되는 특수 요원들을 지칭한다. 이 요원들은 소방대, 경찰, 응급 의료 서비스팀, 병원 근무자, 민방위, 군대, 기타 관련된 각 사업장별 응급처리팀(피해복구, 환경처리, 시체 취급) 등으로 구성될 수 있다.

최근의 화학/생물학 재난 및 테러 사례와 위기 의식 증가

아래의 내용은 그동안 발생했었던 독성 화학물 누출 사고에 대한 기사이다.

기사 1. ‘00시 00동 모 화학회사에서 다량의 불산 가스가 누출됐습니다.

가스의 악취가 진동해 주민들이 고통을 겪었고 낮은 기압 때문에 가스가 날아가지 않고 시야를 가려 주변 도로의 차량 통행이 1시간 가량 통제되기도 했습니다. 오늘 사고는 이 회사의 제조공장에서 설비 시운전을 하기 위해 불산 가스를 저장탱크에서 반응기로 유입하던 중간 밸브가 고장나 발생한 것으로 알려졌습니다.’

기사 2. ‘00항구에 정박 중이던 한국 선박에서 선박내 냉동시설을 위한 액체 암모니아 가스통이 폭발했다. 폭발로 누출된 가스에 질식한 한국인 1명을 포함해 선원 63명이 입원 치료를 받고 있다. 이날 사고는 어선들이 주로 정박하는 00부두에서 00수산 소속 오징어잡이 채낚기 어선의 1t 용량 액체 암모니아 가스통이 폭발하면서 발생했다. 누출된 암모니아 가스가 반경 5km까지 급격히 확산하면서 인근에 정박해 있던 5척의 한국어선 선원들도 가스에 질식했다.’

위와 같이 각종 독성 화학물은 이미 우리 주변의 공장이나 각종 시설물 등에서 많이 사용되고 있으며, 누출이 되었을 때 그 누구도 독성 위협으로부터 자유롭다고 볼 수 없는 시대이다.

또한 이외에도 1990년대 이후 발생하고 있는 화생방 및 폭탄 테러 사례를 몇 가지만 보면, 뉴욕 세계무역센터 폭탄테러로 세계 초강국인 미국내 테러가능성에 대한 인식이 생겼으며, 옴 진리교 요원들이 일본 동경 지하철에 사린 신경가스를 살포하여 사상자가 발생함으로써 대량살상 무기에 대한 인식이 생겼다. 또한 워싱턴 DC에 탄저병 공포가 발생하였을 때 초기대응반의 준비상태 미흡에 대한 지적 및 향후 대책에 대한 논의가 발생하기도 하였다. 그리고 미국 911 테러로 인해 사상 초유의 사상자가 발생함으로써 전세계가 경악하였고, 결국 그 당시 부시 행정부에 의해 전세계 테러 집단에 대한 전쟁이 선포되기도 하였다.

독성 산업 화학물 및 화학/생물학 작용제의 분류

위와 같이 실제로 각종 산업현장에서의 독성 화학물질 누출이나 테러에 의해 사용될 가능성이 있는 물질들은 그 기준에 따라 다음과 같이 분류된다.

분류 기준	분류	비고
물리적 성상	고체 또는 액체류	보호를 위해서는 부직포 재질의 방진 필터 필요
	가스/증기류	보호를 위해서는 활성탄 재질의 방독 정화통 필요

지속성	비지속성	누출이나 살포 즉시 빨리 확산되거나 일정 시간 후 독성이 비활성화됨, 가벼운 가스/증기류가 많음
	지속성	계속 활성화되어 독성을 발휘하고 한 지역에 장시간 머무름, 무겁거나 끈적끈적한 고체/액체류가 많음
노출 기전	오염된 음식물의 섭취, 호흡을 통한 흡입, 주사기를 통한 투여, 피부/눈 접촉을 통한 침투	
건강 효과	급성, 만성 또는 지연 효과	

위의 일반적 분류 외에 각 물질별로 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

독성 산업 화학물의 종류 및 영향

분류	예	노출 경로	건강효과	비고
유기물 및 용제류	Ketones, Acetates, Alcohols, Acrylates, Isocyanates	호흡기를 통한 흡입, 피부/눈을 통한 흡수, 오염된 음식물 섭취	물질별로 매우 다양함 → 호흡기, 신경계, 조직 등 다양한 신체 조직에 영향을 줌	시중에서도 쉽게 구할 수 있음
산 및 부식제	HCl, Cl ₂ , H ₂ SO ₄ Ammonia, NaOH			
농약	Malathion, Phosphine			

용제류의 정의 및 특성

산업장에서 흔히 사용되는 유기용제는 용매, 솔벤트 또는 신너(thinner)라고도 흔히 불리고 있는데 사전적인 정의만 보면 작업하기 바로 전에 페인트의 점성을 감소시키기 위해 첨가되는 탄화수소 또는 함유 수지성 용매라고 되어 있다. 이러한 의미에서 일반적으로 용제라는 것은 탁월한 용해력을 가지고 있는 액체 희석제라고 볼 수 있다. 그 용도를 보면 주로 희석제와 세척제, 또는 화학반응 원료 등으로 쓰이며 대표적으로 많이 쓰이고 있는 곳은 도장작업으로서 페인트와 신너를 적절한 비율로 섞어 사용하고 있다. 이런 용제들은 보통 벤젠류, 케톤류, 알코올류, 아세테이트류 화합물 등으로 구성되어 있으나 사용목적에 따라 성분과 조성비가 매우 다양하며 인체에 유해한 물질들, 특히 발암성 물질인 벤젠이 들어있는 경우도 있으나 간혹 산업장에서뿐만 아니라 일상생활 주변에서도 별다른 주의없이 사용되고 있는 경우가 있어 심각한 문제를 초래하기도 한다.

복합유기용제의 주요성분

아래의 목록은 본인의 보건대학원 재학시절인 1995년에 한국에서 사용되고 있는 서로 다른 신너 샘플 69개를 구입하여 GC/FID, GC/MS로 분석한 결과로서 자동차 스프레이 공정, 목재가구 스프레이 공정 등의 다양한 공정에서 희석제 또는 세척제로 사용되고 있거나 실제 신너 생산업체에서 생산하는 제품, 시중 판매점에서 구입한 것들의 성분 목록이다. 지면관

계상 용도별 성분비는 언급하지 않고 이름만 나열한다.

벤젠류: Benzene, Toluene, Ethyl benzene, *o,m,p*-Xylene

케톤류: MIBK, Acetone,

셀로솔브류: Cellosolve Acetate, Butyl Cellosolve,

고리형 포화탄화수소류: Methyl cyclohexane, Cyclohexane

사슬형 포화탄화수소류: n-Hexane, Heptane, Octane, Nonane

용제의 건강 유해성

위와 같은 유기용제 성분에 의해 나타날 수 있는 유해성을 보면 눈에 적열(redness), 종기(swelling), 통증, 눈물, 흐릿한 시야를 유발하며 피부 알레르기 반응으로서 적열, 종기, 물집, 가려움을 일으킨다고 한다. 중추신경계 저하로는 두통, 현기증, 졸음, 느린 반응시간, 불분명한 발음, 무의식, 불안 등의 증상이 있다. 또 호흡기 알레르기 반응으로서는 호흡곤란, 숨가쁨, 가슴 답답함, 호흡정지 등의 증상이 나타난다. 이런 증상들은 보통의 단일 유기용제에서도 나타나지만, 대부분 복합 유기용제 형태로 사용하므로 독성의 상승/상가 작용이 있어 화합물들이 단독으로 존재할 때보다 훨씬 더 유해한 효과를 나타내므로 문제가 더 심각할 수 있다.

실제로 신너 남용으로 인한 중독 사례를 살펴보면 단백뇨, 혈뇨, 요로 결석증, 자궁내 태아 성장지연, 조산, 선천적 기형, 생후 성장지연, 시력상실, 흥미상실, 현기증, 불면증, 허약, 체중감소 등의 증상이 인간에게서 관찰되었으며 쥐들을 이용한 동물실험에서는 태내 성장지연, 체중감소, 뇌기능 저하, 학습능력 저하, 신경기질의 발달 방해, 단백질 합성 변화 등의 증상들이 관찰되었다.

산성 물질의 종류와 용도

산이란 화학 반응 중 양성자(H^+)를 내놓는 분자 또는 이온을 말하는데, 산업장에서 흔히 사용되는 산성 물질의 종류와 기본 특징은 다음과 같다.

1) 이산화황(SO_2): 황의 공기 중 연소물

특징: 무색, 자극성, 유독한 기체, 물에 녹아 아황산(H_2SO_3)이 되어 약산성, 표백작용 (탈색, 살균)

2) 황산(H_2SO_4):

특징: 무색, 점성, 비휘발성 액체

진한 황산: 95% 이상, 건조제(탈수작용), 산성 없음

묽은 황산: 강산성

용도: 산/의약품/비누제조, 석유정제, 방직, 제지, 납 축전지

3) 황화수소(H_2S)

특징: 무색, 유독 기체, 달걀 썩는 냄새, 물에 녹아 약산성

4) 질산(HNO_3)

특징: 무색, 자극성 냄새, 발연성 액체, 휘발성

용도: 화학, 염료, 비료의 원료

암모니아류 물질의 종류와 용도

1) 암모니아(NH_3):

특징: 자극성 냄새, 무색 기체, 공기보다 가벼움, 물에 쉽게 녹아(1000mL/mL water @ 1atm , 0°) 염기성을 나타냄, 압축하면 쉽게 액화

용도: 질소비료/요소/질산의 원료, 냉동제의 원료

2) 아민(amine, R-NH_2): 암모니아에서 알킬기가 수소를 치환한 것

특징: 극성, 수소결합, 높은 끓는점, 수용성

예: 메틸 아민($\text{CH}_3\text{-NH}_2$), 에틸 아민, 프로필 아민, 페닐 아민

알데히드류 물질의 종류와 용도

특징: 독특한 향과 특이한 맛, 약한 극성, 수소결합을 하지 않음

용도: 음식과 사탕의 맛, 향료

예: 포름알데히드, 아세트알데히드, 벤즈알데히드

1) 포름알데히드(formaldehyde, HCHO):

수용액(= 포르말린)의 용도: 보존액, 방부액

수은과 염소의 특징 및 용도

1) 수은(Mercury)

특징: 상온에서 액체로 존재하는 금속, 고밀도, 작은 반응성

용도: 온도계, 기압계, 수은등

독성: 중추신경에 치명적 피해, 지능저하, 뇌성 소아마비, 시력감퇴, 언어 및 청각장애

2) 염소(Chlorine)

특징: 공기보다 무거운 황록색의 자극성 유독 기체, 물에 녹아 HClO 생성; 강한 산화력으로 표백, 살균, 소독작용

화생방 전쟁용 화학 작용제의 분류 및 영향

분류	예	노출 경로	건강효과	비고
신경 작용 제	GA(tabun), GB(sarin), GD(soman), VX	흡입, 피부	신경신호 전달을 차단하는 효소와 작용하여 방분, 방 노, 동공축소(pin eye) 현상 유발	GB: 마스크 시험물질 이며 가장 휘발성이 높음. VX: 더 치명적이지만 휘발성 거의 없음
수포 작용 제	Sulphur Mustard (H), Distilled sulphur mustard (HD), Lewisite (L)	피부, 흡입, 섭취	피부, 눈, 호흡기관에 수포 형성, 일반적으로 지연 된 반응	비휘발성, 강한 부식성의 액체 또는 젤(gel)
혈액 작용 제	Hydrogen Cyanide (AC), Cyanogen Chloride (CK), Arsine (SA)	흡입	혈액에서 체세포 로의 산소 전달을 방해	휘발성, 무기화의 어려움, 산업장에서도 사용
질식 및 구토 작용 제	질식: Phosgene (CG) Diphosgene (CX), Chlorine (CL) 구토: Chloropicrin (PS), Diphenylchloroarsine (DA), Adamsite (DM), Diphenylcyanoarsine (DC)	흡입	호흡기관의 자극	전쟁 및 산업용으로 사용
무능 화 작용 제	Mace® (CN) :alpha- chloroacetophenone. CS:alpha- chlorobenzylidene malononitrile. Pepper spray, (OC): Oleoresin Capsicum	흡입 눈	호흡기관 점막 자극	폭동 진압, 경찰, 교도소, 군대 훈련 주로 자국민에게 사 용. 살상 효과 없음.

생물학 작용제의 분류 및 영향

생물학 작용제는 입자상 물질로 존재해서 방진 필터로 차단하는데 일반적으로 즉각적인 건강 효과는 유발하지 않고, 수일 또는 수주 후 발병하며 집단 발병되기 전까지는 공격의 징후를 감지 못하는 경우가 많다. 물론 사람간에 전파되는 경우도 있으며, 종종 백신이

개발된 경우도 있고 음료와 식품이 주 공격 대상이다. 아래의 경우가 대표적인 생물학 작용제이다.

분류	작용제	형태	노출원	잠복기	증상	노출 가능 인구
Anthrax	Bacillus Anthracis	박테리아 /포자 1-1.5µm의 크기	가축의 피부 및 털. 원래 중남미, 유럽, 아시아, 아프리카 토양의 풍토병임. 사람간 전파 없음.	2-60일	1 단계 - 감기와 비슷. 2단계 - 급성적인 숨가쁨, 혈떡거림, 신체에 산소 부족으로 안면 청색화.	가축 취급자, 양모 분류자, 독성량은 불확실/다양함.
Small pox	Variola Major	바이러스	사람의 재채기나 기침의 비말 중에 있는 바이러스.	10 - 14일	1 단계 - 열, 근육통, 구토. 2단계 - 고름이 찬구진과 발진	보건의료인, 세탁 작업자

초기 대응반 및 응급처리반의 일반적 장비/보호구 및 보호수준별 종류

위와 같은 각종 재난 사고시에 초기 대응반 및 응급처리반 요원이 일반적으로 사용하는 장비 및 보호구는 화학/열/방사선 보호복, 장갑 및 장화, 머리/눈/귀 보호구, 감지 장비, 유출물 처리기구, 제독 장비 등이며 이 중 그들의 생명 및 건강을 보호하기 위한 개인보호구들은 다시 각 사용조건에 따라 아래와 같이 세가지로 분류된다.(미국 정부의 지침에 근거)

아래 그림 참조.

보호 수준	사용 조건	보호구 종류	비고
Level A	독성물질의 종류나 농도를 알 수 없는 경우, 농도가 IDLH 이상이거나, 산소결핍이거나 적합한 필터/정화통이 없을 때	30 분 또는 그 이상 사용가능한 전면형 양압식 SCBA 나 조합형 송기마스크/SCBA , SCBA 장비를 완전히 뒤덮는 전신 캡슐형 방호복 착용, 장화, 장갑	높은 수준의 후방지원 필요, 제한된 작업 시간과 높은 생리적 부하, 상대적으로 고가, 상당수준의 유지보수 및 교육훈련 필요
Level B	상동	30 분 또는 그 이상 사용가능한 외부에 노출된 전면형 양압식 SCBA 나 조합형 송기마스크/SCBA, 보호복, 장화, 장갑	상동
Level C	독성물질의 농도와 종류를 알고 있고 그 농도가 IDLH 미만이며 적절한 산소 농도, 적합한 필터/정화통이 있을 때	필터/정화통이 장착된 전면형 음압식 공기정화식 호흡보호구, 장화, 장갑, 보호복	낮은 수준의 후방지원, 긴 작업시간, 낮은 생리적 부하, 저가, 일반수준의 유지 보수 및 교육훈련, 밀착의 중요성

- IDLH: Immediately Dangerous to Life or Health- 노출즉시 생명이나 건강에 유해한 수준
- SCBA: Self Contained Breathing Apparatus- 공기통식 호흡보호구



그림 1. Level A



그림 2. Level B



그림 3. Level C

독성 산업 화학물 누출 및 화학/생물학 재난 상황시 호흡 보호구 관련 주의 사항

초기 대응반 및 응급 처리반의 생명 및 건강 보호를 위한 호흡보호구가 각 상황별로 정확하게 선정되고, 적절히 그들의 얼굴에 밀착되었으며, 또한 적절히 사용된다면, 적절한 필터/정화통을 장착한 호흡보호구는 노출을 감소시켜 심각한 신체 손상이나 사망의 가능성을 감소시킨다.

아직까지 생물학적 유해인자에 대해 설정된 안전 수준이나 직업적 노출한계는 없다. 따라서, 호흡보호구는 화학/생물학 작용제에 대한 초기대응반 및 응급처리반의 노출을 감소시킬 수는 있지만 질병 전파/감염의 위험을 완전히 제거하지는 않는다.

결론 및 제언

이상과 같이 각종 사고/테러 상황시 초기대응반 및 응급처리반의 건강보호라는 주제로 살펴보았는데, 최근 우리나라도 질병관리본부나 소방 방재청 등의 재난 관련 정부기관이 갈수록 그 중요성이 높아짐에 따라 조만간 위와 같은 사고 및 테러 상황에 대한 정부 차원의 대응책 마련이 있을 것으로 예상되며, 국내에서의 사고, 재난 상황 발생시 각 기관별 역할, 적절한 대응 조치 및 요령 등에 대한 구체적인 세부 지침이 작성되어야 할 것으로 판단된다.