

하이슈_불산에 대한 이해

불산 누출사고를 경험하며...

신원보원 / 하이슈 / 아너원

2012년 9월 27일, 오후 3시 43분경 구미시 4공단 소재 (주)○○글로벌에서 탱크로리로 이송해 온 99% 무수불산 용액을 공장 내부에 있는 저장탱크로 옮기는 작업을 위해 호스를 연결시키는 과정에서 부주의로 약 8톤 정도의 불산이 유출되는 사고가 발생하였다.

작업 중이던 근로자 5명 전원이 현장 또는 이송 중 사망하였으며, 19.5℃ 이상의 상온 하에서 기화하는 특성에 의해 공기 중으로 확산되어 지역주민들이 악취와 함께 호흡기, 눈, 피부 등에 자극증상을 시달렸고, 심한 경우에는 3개 병원 응급실을 찾는 등 급박한 상황이 전개되었다. 긴급대피명령이 내려졌으며 벼를 위시하여 멜론, 포도, 대추 등 각종 과일들과 나무들이 황백화 현상으로 고사되는 광경을 바라보면서 주민들의 불안은 커져갔다.

우리나라에서는 처음 경험하는 불산 누출사건이라 전문가 그룹이 제대로 형성되어 있지 않았으며, 매스컴이 가세하여 불산과담(?) 수준의 각종 루머들이 떠돌았고 세 분의 대선후보자들이 직접 현장을 방문하는 등 정치적인 요소가 함께 어우러져 복잡 미묘한 많은 문제들이 야기되었다.

이 사건 발생 후 여러 곳에서 불산 등 각종 화학물질 누출사고들이 끊이지 않고 발생하고 있는 이때에 각 분야 사업장 근로자들의 건강보호와 작업환경관리를 담당하고 있는 보건관리자들과 근로자들이 불산에 대한 올바른 이해를 돕기 위해 건강영향조사를 책임지고 맡아서 수행하면서 얻은 교훈들을 함께 나누고자 한다.

불산이 인체에 미치는 영향

불화수소는 불산이라고도 불리며 분자식은 HF이고, 상온에서 자극취가 있는 무색의 발연성 액체로 물과 알코올에 잘 녹는다. 강한 부식성이 있어 백금, 금 이외의 금속을 침식하고 이때 수소를 발생시키며 또한 유리를 부식한다.

불화수소는 탄화불소의 합성, 휘발유 생산, 금속주물 공정과 용접, 로켓 원료, 금속도금 그리고 표면 고열처리 작업에 사용되고 있다.

1. 불화수소의 작용기전

가스형태 또는 입자형태의 불소는 모세기관지 이상의 부위에 축적되면 섬모작용으로 인하여 상부로 배출되어 소화관으로 들어가 결국 위장관에 흡수되며, 폐포에 축적되면 쉽게 흡수된다. 흡수된 불화수소는 소변으로 주로 배설되며 24시간 내에 60% 정도가 배설된다. 체내에 축적된 소량의 불소는 99%가 fluorapatite 형태로 뼈에서 발견된다.

2. 노출 평가

1) 환경 평가: 개인 시료채취기로 공기를 포집한다.

2) 생물학적 평가: 근무 중 불소 노출의 평가는 3~5일 근무 후 작업종료 시 소변에서 불소를 측정하면 좋다. 체내에 축적된 불소는 최소 2일간은 불소의 노출을 피한 후 소변에서 측정하여야 한다.

3. 불화수소에 의한 건강장애

불화수소는 증기의 흡입, 용액의 섭취, 용액과 증기에 의한 피부와 점막 접촉으로 장애를 일으킨다.

1) 급성 중독

19.5°C 이상의 상온 하에서 기화된 불화수소가 공기 중의 수증기와 결합하여 흰 연기상태의 불산 미스트를 형성하게 되는데, 이것이 눈과 호흡기를 광범위하게 자극하여 많은 양의 눈물과 목통증, 기침, 허부기도 염증, 폐부종 등을 일으킬 수 있다. 이러한 증상들은 몇 시간 안에 발현될 수 있으며, 초기 노출 후 대부분 24시간 내에 나타난다.

불산은 피부에 침투하여 피하 조직에 손상을 주며 깊게 침투하여 고통스러운 궤양을 일으킨다. 피부의 병변은 불화수소의 농도와 작용시간에 따라 홍반성 부식, 수포성 부식, 괴사성 부식을 유발하며 계속되는 극심한 동통이 특징적이다.

불산이 체내에 흡수되면 H⁺이온과 F⁻이온으로 분해되는데, 불소 음이온이 불안정하여 혈중 칼슘, 마그네슘, 칼륨 등과 결합하며, 그 농도의 변화 때문에 일어나는 현상으로 메스꺼움, 구토, 위 통증, 심부정맥 등의 전신증상을 유발할 수 있다. 심한 경우, 전해질 이상에 의한 대사적 후유증으로 저칼슘 & 저마그네슘혈증으로 인해 경련, 심근수축력 저하, 심혈관 기능저하가 올 수 있으며 고칼륨혈증 때문에 심실세동이 와서 사망에 이를 수도 있다. 20% 이하의 희석된 불산 용액에 의해서는 며칠 정도 지연되어 증상이 나타날 수도 있다.

2) 만성 중독

불소에 장기간 노출 되었을 경우, 골격계와 그 관련조직에 변화를 초래한다. 1단계는 골불화증, 2단계에 걸쳐 3단계에서는 불구성 불화증으로 인한 운동장애가 올 수 있다. 그러나 고농도의 불소에 노출되어도 감지할 만한 초기의 뼈의 변화는 약 10년이 걸린다는 보고가 있을 정도로 오랜 기간이 걸린다. 불화화합물은 태반을 통과하지만 적은 양은 태아의 성장에 필요하며, 모유로는 거의 배출되지 않는다. 생식과 관련하여서는 지금까지 보고된 문헌은 없으며, 장기간 노출되면, 간과 신장 기능에 장애가 올 수 있다.

4. 불산화상에 대한 응급처치

1) 피부화상(눈 제외)에 대한 응급처치

- ① 화상부위의 이물을 제거하고 즉시 화상부위를 흐르는 깨끗한 물에 철저히 씻는다.
- ② 물로 씻으면서 오염된 옷을 벗는다.
- ③ 샤워는 15~20분간 충분한 많은 양의 찬물로 씻는다.
- ④ 샤워 중 동료는 의료인에게 연락을 취한다.
- ⑤ 적어도 5분 이상 씻은 후부터 언 0.13% Zephiran 용액에 담그거나 깨끗한 수건에 용액을 적셔서 화상부위에 2~4분 간격으로 통증이 경감될 때까지 압박하며 누른다. 이때 용액을 눈에는 사용해서는 안 되며 사용되는 용액의 총량은 10~15 리터 가량이다.
- ⑥ 다른 응급처치 방법은 2.5% calcium gluconate gel을 화상부위에 즉각적이고 15분마다 지속적으로 글로브를 착용한 손으로 바르면서 통증이 경감될 때까지 마사지할 수도 있다. 그러나 의사의 즉각적인 치료가 불가능할 때는 계속해서 물로 씻는다.
- ⑦ 화상부위가 넓거나 고농도의 불산에 의한 화상일 경우 또는 위의 두 가지 방법으로 통증의 경감이 없을 경우에는 의사로 하여금 5% calcium gluconate 용액을 화상부위와 그 주위의 피하에 직접 주사한다. 주사량은 1 cm²의 넓이에 0.5 cc 이상을 넘지 않도록 하고 피부모양이 변형되지 않도록 하는 범위 내에서 가능하다. 통증이 완전히 없어지지 않으면 추가적인 주사의 적응증이 된다.

⑧ 가능한 한 모든 화상부위에 상기의 의학적 치료를 하도록 한다.

2) 눈 부위의 화상에 대한 응급처치

- ① 충분한 양의 깨끗한 물로 적어도 15분 이상 눈을 씻어낸다.
- ② 의학적 치료가 가능하도록 안과전문의에게 연락을 취하고, 후송되는 동안 얼음으로 눈을 압박한다.
- ③ 의사의 치료가 즉각적으로 가능하지 않을 경우에는 15분 이상 눈을 씻은 뒤 0.5% Pontocaine Hydrochloride 용액 1~2 방울을 눈에 떨어뜨린다. 눈을 문지르면 안 된다.
- ④ 각막의 손상 방지 또는 경감하기 위해 1% calcium gluconate 용액으로 1~2시간 눈을 씻는다.

3) 불산 가스를 흡입했을 경우의 응급처치

- ① 신선한 공기가 있는 곳으로 이동한 후 조용하고 따뜻한 곳에 눕힌다.
- ② 즉시 의사에게 연락을 취한다.
- ③ 환자의 호흡이 멎었을 경우는 즉시 인공호흡을 실시한다.
- ④ 되도록 빨리 산소를 공급해 주어야 한다.
- ⑤ 2.5% calcium gluconate의 분무용액을 공급해 주고 자극제는 의사의 처방이 없으면 해서는 안 된다.
- ⑥ 환자는 24시간 이상은 의사의 관찰 하에 있어야 한다.

4) 불산을 삼켰을 경우

- ① 많은 양의 물을 먹도록 한다. 이때 일부러 토하게 하지는 않도록 한다.
- ② 우유를 여러 컵 먹도록 하며 미란타를 우유와 함께 마시도록 한다.
- ③ 의사에게 간다.

5) 불산 노출 시 추구관리 지침(불산 노출 환자에게 제공하는 정보자료지 내용)

불산 노출 24시간 이내에 특히 평소와 다른 어떤 증상이나 징후가 있을 때, 응급실이나 담당의사에게 연락하라(특히 아래 증상이 있을 때)

- 호흡곤란, 호흡이 짧아지거나 호흡음 이상
- 목이 쉬거나 목소리 톤이 올라감
- 말하기 힘들어짐. 가슴 통증 또는 가슴 조임
- 피부 변화(진물, 화상에 의한 통증)
- 위 통증, 구토, 설사
- 눈 통증이 심해지거나 분비물이 있을 때

(* 위 증상이 없다면 급성반응에 대한 추구관리는 필요 없다.)

5. 건강관리

1) 채용 시 건강진단

골반에 대한 기본적인 방사선 촬영을 시행하고 그 필름을 보관하여야 하며 요중 불소농도를 측정하여야 한다.

2) 정기 건강진단

골분화증 1단계에서 작업 전환을 하면 정상적인 생활을 영위한다.

3) 환경 관리

증기나 분진을 발생시키는 작업을 밀폐시키는 것이 효과적이며, 작업장 내에 분진이 흩어지는 것을 막기 위해 진공청소기와 같은 장비가 필요하다. 개인위생을 양호하게 유지하기 위한 시설을 갖추고, 음식물은 오염되지 않은 곳에 저장하고 식사 전에 반드시 손을 씻는다. 식당에는 양압의 환기시설을 갖추고, 작업장 내에서 식사와 흡연은 금지시키며 담배와 식료품은 오염된 곳에 넣지 않도록 한다. 필요시 안전보호구는 당연히 착용하여야 한다.

불산 유출사고 건강영향조사

1987년 10월 30일, 텍사스 시티에 있는 Marathon제련회사에서 불화수소 가압탱크의 가압을 조절하는 상단 배관에 오버 헤드 크레인이 떨어져 파손되어 30톤 정도의 불화수소가 유출된 사고가 발생했다. 독성 구름이 길이 2~3마일(약 4km), 폭 0.5~1마일로 퍼졌으며 바람은 5~10 mph로 남동쪽으로 불고 있어 52블록의 3000명 이상이 대피하는 소동이 벌어졌다.

바람이 불어 가는 쪽을 향하게 하여 방출 후 1시간째 채집한 표본의 농도는 10 ppm이었다. 유출 두 시간째 채집한 표본은 minimal trace였다. 하루 지나고 공장 북서쪽 3.2km 피해지역의 식물과 외벽구조물은 피해를 입었다. 식물은 갈색으로 변했고 차의 유리는 부식됐으며, 차 도색도 벗겨졌다.

불산 노출 사고가 이 집단에 미치는 영향은 H. Dayal 등이 쓴 '불산에 노출된 집단의 건강 장애 역학 연구'라는 제목으로 역학연회보에 발표되었다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 노출평가 : 10,811명을, 가정방문조사를 통해 다면적인 접근법에 의해 노출평가를 실시
- 노출평가조사 데이터베이스에서 연령, 성별, 노출 정도 등을 고려하여 층화 임의추출방법으로 연구대상을 선정
- 결과 : 노출정도와 보고된 증상이 강한 연관성을 보였으며, 2년 후 추구관리했을 때, 호흡기 증상과 안 증상을 호소 하지만 노출 정도에 관계없이 증상들이 점차 좋아지고 있다고 보고

* 불산 노출 관련 진료 받은 939명의 의무자료 분석

- 94명 입원, 845명 외래진료
- 흔한 증상으로 눈 자극증상, 목불편감, 두통, 짧아진 호흡, 목통증
- 입원군이 비입원군에 비해 더 많은 두통, 짧아진 호흡, 기침, 마스크움, 구토, 어지럼증, 피부자열감을 호소함
- Physical examination 49%의 경우가 정상
- 결막 및 인후두 자극, 호흡기 검사소견(즉, rhonchi, rales, wheezing, stridor)
- 피부자극(물집 및 발진) 소견, 발적 소견이 비교적 자주 보임
- 구진, 기관지 궤양, 심각한 화상은 피부 궤양 및 조직 괴사를 유발
- FEV1이 80% 이하로 감소된 경우는 입원군에서 53.7%, 비입원군에서 30.2%, 응급실을 방문한 비입원 환자의 40%정도는 어떠한 증상도 호소하지 않았다. 비입원환자의 병원 방문 시간은 두개의 분포를 가진다. 이는 불산 노출이 걱정되어 즉각적으로 방문한(첫째날)군과 이상이 없는지 확인을 하기 위해 대피 후 4일째 방문한 군으로 해석됨
- 입원하지 않은 환자의 많은 수가 사고 후 4, 6일 째(6.29%, 5.24%) 피부 발진을 호소함

1. 구미 불산 유출사고 관련 건강영향조사 계획 및 진행상황

불산(HF) 가스유출사고 당시, 풍향(서북서) 및 작물 등 피해가 확인된 지역을 중심으로 반경 1.5km이내에 거주하는 주민 및 산업체 근로자 등 약 1,500명을 대상으로 환경부(국립환경과학원)와 경상북도가 주관하고, 지역 전문기관 및 분야별 전문가들과 주민대표 및 환경단체들이 참여하는 조사단과 자문위원회를 구성하여 주민건강피해 확인과 예방·관리 및 추적관찰을 위한 초기 자료 확보하기 위하여 2012년 10월 11일부터 2013년 7월 31일까지 2단계에 걸쳐 건강영향조사를 실시하기로 함

- **1단계** : 대상자 등록, 건강영향 설문조사, 검진 및 진료자료 분석
 - 등록 및 설문조사 : 노출력(식이 및 환경) 및 건강상태(불안척도 및 충격척도 포함) 등
 - 검진 및 노출평가: 구강검사(치아부식증 등), 요 및 손톱 중 불화화합물 농도 조사, 골밀도 검사 등
 - 사고 후 병원진료 자료 분석
- **2단계** : 1단계 참여자 및 경찰관, 소방관, 공무원, 기자 등 고노출군 희망자를 대상으로 호흡기내과, 안과, 이비인후과 등 정밀 검진 실시중이며 입원환자 중심의 case series 연구도 병행하고 있음
- **3단계** : 7월 말에 연구용역 결과를 발표하고 텍사스 연구결과에 의거, 사고 후 2년 후를 추적관리하고 관리매뉴얼을 만들 예정임

2. 불화수소 관련 노출기준

- 미국 산업안전보건청(OSHA)에서는 근로자의 건강보호를 위한 공기 중 노출기준으로 8시간 평균(TWA) 3 ppm을 권고하고 있음

※ 미국 ATSDR 단기간 노출(14일) 최소위해수준(MRL)은 상기도 염증을 일으킬 수 있는 최소 농도 0.5 ppm, 안전계수 30 적용, 0.02 ppm 제시(이하에서는 위해가능성 없음을 의미)

- 미국 산업위생협회(ACGIH)에서는 근로자 요중 불소에 대한 생물학적노출기준(BEI)로 작업 전 3 mg/g-creatinine을 제시

※ BEI : 3 mg/g-creatinine (Prior to work shift), 10 mg/g-creatinine (end of shift)

<표 1> 각 국별 불화수소 관련 노출기준

국가	관계기관	법령	기준
우리 나라	고용노동부	산업안전보건법(제39조제2항,제42조, 시행규칙 제81조의2), 화학물질노출기준	0.5 ppm(8시간 평균) 3 ppm(ceiling)
	환경부	유해화학물질관리법 제38조 사고대비물질, 자체 방제계획 수립 및 고지	연간 제조사 용량 150톤 보관 저장 수량 1톤
		대기환경보전법 시행규칙 제15조 대기오염물질 배출허용기준	2~5 ppm
		먹는 물 관리법, 먹는 물 수질기준	1.5 mg/L (샘물/지하수 2.0mg/L)
미국	노동성 (OSHA)	산업안전보건법 노출허용기준(PEL)	3 ppm(8시간평균) 6 ppm(STEL)
	ACGIH	Threshold Limit Values	0.5 ppm(8-hr), 2 ppm(ceiling)
	ATSDR	Acute Minimum Risk Level(MRL)	20 ppb(mild respiratory effects in humans)
	OEHHA	Chronic Reference Exposure Limit (REL)	17 ppb(skeletal fluorosis)
캐나다	환경부	National Pollutant Release Inventory (NPRI) program 목표 농도(Alberta주)	6 ppb(1시간 평균)
WHO		Reference exposure level	600 ug/m ³ (1시간 평균, ~0.7 ppm)

불산 유출사고가 우리에게 남긴 교훈

우리가 사고 당시의 CCTV 동영상을 통하여 생생하게 보았듯이, 사업주와 관리자 및 근로자들이 사고에 대해 무방비 상태로 대응하여, 일어날 수도 없고 일어나서도 안 되는 대형 참사 사고가 발생하였다.

이뿐 아니라 긴급대피 시 안전수칙은 전혀 무시된 채 구경꾼들처럼 행동하여 이번 불산 유출사고는 우리 사회에 만연되어 있는 안전 불감증을 그대로 노출시킨 사건이라 보여 진다. 비록 소규모 사업장이라 하더라도 향후에는 더 이상 형식적인 안전보건관리가 이루어지지 않도록 철저히 관리하고, 안전보건교육을 생활화하며 근로자들도 보호구 착용 등 안전수칙을 철저히 지키는 것만이 노사가 다함께 상생하는 길임을 다시 한 번 생각하게 해 준, 엄청난 대가를 지불하고 교훈을 얻은 사건이다.

또한 화학물질에 의한 사고 시 구체적인 대응매뉴얼이 없고, 사고관련 주관기관이 모호하여 많은 어려움이 있었으며, 주민대피령 발동이 지연되었고 주민대피 해제 기준의 안전성 및 복귀절차가 적절하지 못했다는 지적을 받는 등 긴급 상황에 대한 지휘체계가 상당히 미흡함을 보였다.

더구나 현장감이 없는 일부 전문가들의 견해와 마스크의 지나친 호도, 그리고 정치적인 요소가 어우러져 정부에 대한 불신이 커졌으며, 근거중심의 주장이 아닌 많은 루머들이 국민들을 더 불안하게 만드는 결과를 초래하게 되었다고 생각한다.

이번 사고를 계기로 위기대응 매뉴얼을 재점검하고, 사고유형별 또는 유사한 화학물질군별 전문가 풀(Pool)을 가동하는 긴급대응체계를 통해 보다 안전한 국민보호시스템이 구축되어야 할 것으로 사료되며 발생 가능한 위험을 미리 예측하여 관리할 수 있는 방안을 강구하여야 할 것이다. 🗣️

참고문헌

1. **A community-based epidemiologic study of health sequelae of exposure to hydrofluoric acid.** Dayal HH, Brodwick M, Morris R, Baranowski T, Trieff N, Harrison JA, Lisse JR, Ansari GA. Source : University of Texas Medical Branch, Galveston 77550.
2. **Acute effect in a community after a release of hydrofluoric acid.** Jessie S Wing, M.D. Lee M. Sanderson, Ph.D. et al Office of Surveillance and Analysis, Center for Chronic Disease Prevention, Center for Disease Control, Atlanta, Georgia.
3. 김지용, 임현술, 정회경, 이현경, 강홍식. 불산 제조업체 근로자의 골밀도 변화에 관한 연구. 대한산업의학회지 1995;7(1):120~7
4. 임현술. 우리나라의 재해 발생 현황과 대책. 한국역학회지 2003;25(2):47~61
5. 임현술, 정해관, 김지용. 불산 제조업체에서 발생한 불산화상에 관한 조사연구. 예방의학회지 1993;26(4):587~98

산업보건

KOREAN INDUSTRIAL HEALTH ASSOCIATION