



불산 노출에 따른 건강장해와 대책

김용규 • 대전 유성선병원 직업환경의학센터 소장

1. 머리말

최근 불산, 염산 등의 누출로 인한 사고가 심심치 않게 보고됩니다. 2012년 9월 구미에서의 불산 누출로 인한 근로자 및 지역사회에 건강에 중대한 영향을 미칠만한 사고가 발생하기도 하였고, 이제는 ‘관리가 잘되겠지’라고 안심하러던 순간 또 다시 염산 누출에 의한 사고가 발생하여 두려움을 안겨주었습니다.

우리가 ‘불산’이라고 부르는 바로 그 불산(또는 정확하게 명칭하면, 불화수소산인 hydrofluoric acid)은 불화수소(hydrogen fluoride)를 물에 녹인 액체입니다. 지난 9월 구미에서 누출된 건 엄밀히 말하면 불산 가스가 아니라 불화수소가스입니다. 그런데, 고등학교 시절 화학을 공부한 사람도, 아니면 화학과는 담을 쌓은 사람도 더욱 혼란시키는 화학명이 있으니, ‘불소 (fluorine)’입니다. ‘불소와 불산은 무슨 관계가 있는 것인가?’라는 의문을 품게 되는데, 불산(불화수소)은 불소와 수소가 결합된 형태의 물질입니다. fluorine이라 명명된 불소의 어원은 fluorite라 불리는 형석(CaF₂)에서 유래했다고 합니다. 불산은 형석을 황산에 녹여 얻게 되는 물질입니다. 그러니 역사적으로는 형석→불산→불소의 순서로 발견된 것입니다.

우리에게 잘 알려진 약품명인 우울증치료제 ‘프로작’, 전신마취제 ‘이소플루란’, 항암제 ‘5-FU’ 및 주방 용기를 만드는 테팔로 알려진 회사가 유명해진 ‘테플

론(Teflon)’이라는 제품이 모두 불소라는 화학성분을 원료로 만들어졌다는 사실을 알면, 그리 불소가 생소하거나 무섭지 않게 느껴질 수도 있겠지요?

불산에 대한 화학자들의 노력과 관련된 역사를 이해하면 불소와 불산을 이해하는데 도움이 되겠지만, 이번 글에서는 그러한 내용을 장황하게 기술하기보다는 사업장에서 알고 있어야 할 불산에 대한 상식 및 보건관리자로서의 추가적인 지식을 정리해 드리고자 합니다.

2. 불산의 특성

최근 사업장에서 화학물질에 의한 화상이 빈번하게 발생합니다. 주로 ‘산’종류에 의한 화상이 많은데, 대개 황산이나 염산 등의 강산에 대한 두려움이 크지만 약산으로 분류되기도 하는 불산, 질산, 인산, 초산 등에 대해서는 무시하기도 합니다. 전자산업 및 화학계통의 연구소 등에서 많이 사용하는 불산에 대한 화학적인 특성 및 주의사항과, 화상치료 방법 등을 알아 보기로 합니다. 결론적으로, 불산화상은 다른 화상과는 다르게 ‘칼슘 글루코네이트’라는 약품을 치료제로 사용해야하는데, 그 이유 또한 불산의 특성과 관련이 있습니다. 이러한 점을 이해하고 기억하기 위해서는 불산의 특성을 아는 것이 중요합니다.

불화수소(HF)는 무색의 가스 또는 섭씨 19.4도 이

표 1. 불소 및 불산의 특징

한글명	불소	불화수소	불산(불화수소산)
영어명	Fluorine	Hydrogen fluoride	Hydrofluoric acid
CAS 번호	7782-41-4	7664-39-3	7664-39-3
물리적 성상	기체(황록색)	기체(무색)	액체(무색)

하에서는 무색의 연무 형태로 존재합니다. 불화수소(HF)가 물과 결합하면, 불산이라 불리는 무색의 액체가 되는데, 낮은 농도에서는 물과 눈으로 쉽게 구별되지 않습니다. 불화수소가 40% 이상인 불산은 공기 중에 흡 형태를 발생시킵니다. 참고적으로, 유해물질관리법의 적용범위는 불화수소[Hydrogen fluoride; 7664-39-3] 및 이를 1% 이상 함유한 혼합물질을 유독물로 취급하고 있습니다(표 1).

합(EU Directive 67/548/EEC)의 위험성 문구를 확인하면, R-phrases(위험성 문구)는 R26/27/28, R35이며, S-phrases(안전상의 조치문구)는 S7/9, S26, S36/37, S45로 기재되어 있습니다. 아래에 해당하는 내용을 설명한 것으로, 불산은 흡입, 피부접촉 및 섭취시 매우 독성이 강하며 심각한 화상을 유발하므로, 건강보호를 위해 환기가 잘되는 장소에 밀폐상태를 잘 유지하여 보관하고, 작업시 보호장비를 적정한 것으로 착용하며, 접촉한 경우 즉각적인 응급조치 및 병원 방문이 필요함을 나타내고 있습니다(표 2).

3. 불산 노출에 의한 건강장해

1) 불산의 유해성 분류

불산의 유해성을 정확하게 이해하기 위해 유럽연

2) 불산 노출에 의한 건강영향의 기전

아주 고농도가 아니면 불산은 강산이 아니기 때문에 노출이 된다 해도, 하루 이틀 정도는 별 이상을 못 느낍니다. 그러나 피부 속으로 침투한 뒤 해리된 불소

표 2. 불산의 위험성 구분 및 안전상의 조치

구분	코드	문장(영어)	문장(한글)
R-phrases	R26	Very toxic by inhalation	흡입 시 매우 위험
	R27	Very toxic in contact with skin	피부접촉 시 매우 위험
	R28	Very toxic if swallowed	섭취 시 매우 위험
	R35	Causes severe burns	심각한 화상 유발
S-phrases	S7	Keep container tightly closed	용기에 밀폐상태로 보관
	S9	Keep container in a well-ventilated place	환기장소에 보관
	S26	In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water & seek medical advice	눈접촉 시, 즉시 많은 물로 세척 후, 병원방문
	S36	Wear suitable protective clothing	적정 보호의복 착용
	S37	Wear suitable gloves	적정 보호장갑 착용
	S45	In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately	사고 및 불편감 발생 시, 즉시 병원방문

이온이 체내 칼슘이온과 결합해 염을 만들면서 칼슘 결핍이 발생하고 조직파괴가 일어납니다. 앞에서도 언급한 바와 같이 이번 사건으로 인해 불산을 강산으로 오해하는 경우도 있으나, 불산은 황산이나 염산처럼 강산이 아니지만 칼슘과 결합하는 특성이 건강에 중대한 영향을 미칩니다.

특히, 불산 농도가 높아질수록 급속도로 산성이 커지는데, 불산이 위험한 건 오히려 산성이 크지 않아 불화수소(HF) 대부분이 불소이온(F-)으로 해리되지 않아 조직에 침투하기 쉽기 때문입니다. 세포막은 지질이 기 때문에 이온은 잘 통과하지 못하므로, 불산 농도가 아주 높지 않다면 처음 접했을 때는 증상이 그렇게 심하지 않지만, 하루 이틀 지나면서 불산이 혈액과 조직으로 침투하면 건강영향이 중대해지기 시작합니다. 불산이 체내에서 칼슘과 마그네슘과 결합하는데, 이 때 칼슘이온과 마그네슘이온 농도가 떨어지면서 몸에 이상이 생기며, 칼슘이온이 결핍되면 심각한 결과로 이어집니다.

3) 불산 노출에 의한 건강영향

불산 노출 시 증상으로는 기체를 흡입 시에는 호흡기관과 식도를 심하게 자극하고 자각증상 없이 1-2일 후에 고열, 오한 등 몸살을 겪는 듯한 증상으로 시작하여 흉곽압박감, 수포음, 청색증 등의 증상을 유발합니다. 눈과 눈썹에 매우 자극적이고, 접촉하면 화상과 각막괴사를 일으켜 실명할 수 있으며, 또한 피부에 접촉되면, 화상 및 각종 피부염을 유발합니다. 단시간 노출에 의해서도 심한 증상의 발생이 가능하므로 더욱 주의가 필요합니다. 시간 경과에 따른 노출 영향은, 노출 경로와 상관없이, 가장 심각한 건강영향은 주로 노출 당시의 불산(불화수소) 농도 및 노출시간에 달려 있습니다.

(1) 피부 노출

50% 이상 농도의 불산 용액에 노출된 경우, 즉각적인 통

증과 조직 파괴가 발생합니다. 20~50 %의 불산 용액에 의한 화상은 노출 후 1~8시간 내에 뚜렷하게 나타납니다. 20% 미만 농도의 불산 용액에 노출된 경우에는 홍반과 통증이 수 시간 후(최대 24시간)까지 지연되어 나타날 수도 있습니다. 희석된 불산 용액도, 치료하지 않으면, 심각한 화상(홍반은 발생하지 않는 경우도 있음)의 통증을 유발하기도 합니다.

(2) 호흡기 노출(흡입)

불산 가스를 흡입한 경우 즉시 호흡기 자극 증상이 발생할 수도 있지만, 약 1~3일정도 늦게 증상이 출현할 수도 있습니다.

(3) 안구 노출

농축된 불산 용액 및 불산 증기에 안구가 노출되면, 수 시간 후 심각한 부작용이 발생합니다. 희석된(농도가 높지 않은) 용액이라고 할지라도, 노출 후 약 4 일까지는 지연된 반응이 나타납니다.

(4) 위장관 노출(섭취)

불산용액의 농도가 증가할수록 위장관의 부식성은 증가합니다. 불산이 함유된 녹 제거제를 흡입한 후, 90분 이내에 대사성 산증 및 저혈압으로 사망한 경우도 있습니다.

4) 불산 노출에 의한 건강영향 중 고려사항

(1) 노출 후 지연된 건강 영향

심각한 흡입 손상 후, 생존자들 중에는 만성 폐질환으로 고통 받을 수도 있습니다. 피부 노출 시, 피부 화상의 치유가 지연되어 흉터가 다양하게 발생할 수 있습니다. 손가락의 불산 노출 시 지속적인 통증, 뼈 손실, 그리고 손톱부위의 손상으로 이어집니다. 안구 노출 시의 지연 효과는 실명 또는 안구의 파괴로 나타날 수 있습니다.

(2) 만성 또는 반복적인 노출의 건강영향

현재까지 불산은 발암 물질로 분류되어 있지 않으며, 생식독성 또는 변이원성 여부는 확인되지 않았습니다. 만성적으로 또는 반복적인 노출은 빈혈 및 백혈구감소, 치아의 변색,

골격계의 변화, 간 및 신장의 손상과 관련될 수 있다는 보고가 있습니다.

4. 불산 취급 사업장에서의 준수사항

불산을 취급하는 사업장에서 지켜야 할 안전보건상의 기술에 대해서 [불산 취급공정의 안전에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE P-21-2010)]을 참고로 하여, 사업장 보건관리자들이 확인하고 지켜야 할 내용을 중심으로 재정리하면, 다음과 같습니다.

1) 불산 취급 사업장에서의 보호구 관리

(1) 보호의 및 보호구 등의 등급 선정

작업복 및 개인보호구 등을 선정하는 경우 작업환경과 취급조건을 고려하여 적절한 등급의 보호구를 선정하여야 한다. 작업환경과 취급조건이 변하는 경우에는 보호구의 보호등급을 변경할 수 있다. 보호구의 보호등급은 A, B, C, D 4등급으로 구분하며 A등급이 가장 높은 보호등급을 의미하고, D등급의 보호등급이 가장 낮다(등급에 대한 자세한 내용은 기술지침 확인).

(2) 사용 후 개인보호구 관리

사용한 개인보호구를 중화시키고 세척할 수 있는 설비를 갖추어야 한다. 불산 등에 노출된 개인보호구는 사용 후 즉시 중화하고 세척하여야 한다. 또한 중화 및 세척 시 불산 등에 노출될 잠재적 위험성을 고려하여 중화 및 세척에 관한 절차를 문서화하여야 한다.

2) 불산 취급 근로자에 대한 교육 및 훈련

(1) 불산은 누출 시 인체에 미치는 잠재적 위험성이 매우 크므로 취급공정에 배치하는 작업자에 대하여 불산의 물리·화학적 특성, 개인보호구, 안전한 취급방법, 응급

조치 요령 등 정기적으로 교육·훈련을 실시하여야 한다.

(2) 불산 취급설비를 점검·정비하는 작업자의 경우에도 불산의 물리·화학적 특성, 개인보호구, 안전한 취급방법, 응급조치 요령 및 기계장치의 특성, 사용금지 재질, 안전정비 절차 등을 반드시 사전에 확인토록 하여야 한다.

(3) 비상조치 훈련은 불산을 직접 취급하는 작업자뿐만 아니라 인근의 지원부서 작업자도 포함하여 실시하여야 한다.

3) 응급조치 키트의 사전 확보

(1) 불산 등을 취급하는 장소에는 반드시 응급조치 키트를 갖추어야 한다.

(2) 응급조치 키트의 수량, 보관 장소, 보관품목과 교체주기를 명시한 절차를 작성하여야 한다.

(3) 의약품을 보관할 냉장설비를 갖추어야 한다.

(4) 모든 근무시간에 대하여 응급조치를 할 수 있는 교육·훈련을 받은 자가 1명 이상 상주하여야 한다.

4) 불산 노출 환자에 대한 전문병원 확보

(가) 노출 초기 응급조치가 완료되면 환자를 건강관리실로 옮긴다.

(나) 이러한 응급조치 이후 가까운 병원으로 신속히 후송하여 전문 의사의 처치를 받도록 한다.

(다) 불산을 취급하는 사업장은 사업장 인근에 불산에 의한 화상을 치료할 수 있는 전문병원을 사전에 파악하고 치료가 가능하도록 조치하여야 한다.

5) 누출 사고 시 불산 누출 또는 노출 가능성이 있는 장소에의 접근

(1) 불산의 위험성 및 비상대응훈련을 교육받지 않은 자는 구조 또는 비상대응조치를 위하여 오염장소에 출입하도록 하지 않는다.

- (2) 오염장소에 접근하는 자는 반드시 불산에 노출되지 않도록 적절한 개인보호구를 착용하여야 한다.
- (3) 사업장 관계자 이외의 자가 화재·폭발·누출 등의 사고 후속 조치 및 사고조사를 목적으로 오염장소에 출입하고자 하는 경우, 사전에 위험성 등 안전·보건 사항을 알리고 개인보호구를 반드시 착용하도록 하여야 한다.

6) 누출 사고 후 조사자 및 구조자의 보호

- (1) 사고조사관계자 또는 구조자 등이 허용농도(TWA, STEL, Ceiling 농도 등) 이상의 불산 등에 노출될 우려가 있는 경우 양압설비, 자급식 공기호흡기(SCBA, self-contained - breathing apparatus) 장치 등 호흡기를 보호할 수 있는 보호구를 반드시 착용하여야 한다.

- (2) 불산의 가스, 증기 또는 액체에 피부가 노출되지 않도록 내산성 보호의, 내산성 장갑, 내산성 장화 등 개인보호구를 착용하여야 하며 장갑은 반드시 2중으로 착용하도록 한다.
- (3) 불산에 노출된 작업자가 걸을 수 있는 경우 비오염지역으로 즉시 대피시키고, 걷지 못하는 경우에는 들것 등을 이용하여 신속히 안전지대로 대피시킨다.
- (4) 안전지대로 대피시킨 작업자에게 응급조치를 목적으로 접근하는 자 이외의 모든 자는 피해자로부터 격리시켜야 한다.

7) 불산 노출 사업장에서의 작업환경 노출 기준 및 특수 건강진단(표 3)

검사항목	불소	불화수소, 불산(불화수소산)
특수 건강 진단	1차 <ul style="list-style-type: none"> (1) 직업력 및 노출력 조사 (2) 주요 표적기관과 관련된 병력조사 (3) 임상검사 및 진찰 <ul style="list-style-type: none"> ① 간담도계: 혈청지오티, 혈청지피티, 감마지티피 ② 호흡기계: 청진, 흉부방사선(후전면) ③ 눈, 피부, 비강, 인두: 점막자극증상 문진 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 직업력 및 노출력 조사 (2) 주요 표적기관과 관련된 병력조사 (3) 임상검사 및 진찰 <ul style="list-style-type: none"> ① 눈, 피부, 비강, 인두: 점막자극증상문진 ② 악구강계: 치과 의사에 의한 치아부식증 검사
	2차 <ul style="list-style-type: none"> 임상검사 및 진찰 <ul style="list-style-type: none"> ① 간담도계: 혈청지오티, 혈청지피티, 감마지티피, 총단백, 알부민, 총빌리루빈, 직접빌리루빈, 알카리포스파타아제, 유산탈수소효소, 알파피토단백, B형간염표면항원, B형간염표면항체, C형간염항체, A형간염항체, 초음파검사 ② 호흡기계: 흉부방사선(측면), 폐활량검사 ③ 눈, 피부, 비강, 인두: 세극등현미경검사, KOH검사, 피부단자시험, 비강 및 인두 검사 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 임상검사 및 진찰 <ul style="list-style-type: none"> 눈, 피부, 비강, 인두: 세극등현미경검사, KOH검사, 피부단자시험, 비강 및 인두 검사 (2) 생물학적 노출지표 검사: 소변 중 불화물(작업 전후를 측정하여 그 차이를 비교)
작업환경 노출기준	TWA 0.1ppm(0.2mg/m ³)	TWA 0.5ppm Ceiling 3ppm(2.5mg/m ³)

5. 불산 노출 시의 응급조치

불산은 피부를 통과해서 피하 조직에 손상을 주기 때문에 특히 위험합니다. 앞서서도 언급한 바와 같이 불산은 심각한 전신독성이 있는데 체내의 불산농도가 증가하면 저칼슘혈증, 저마그네슘혈증, 고칼륨혈증이 발생하고, 불산은 액체 상태 혹은 증기 상태에서 모두 화상을 유발할 수 있습니다. 이러한 상황이 발생하지 않도록 사전에 예방활동이 중요하지만, 만약 신체에 노출이 된 경우 즉각적인 조치가 필요합니다.

1) 불산 노출 환자에 대한 치료 시 주의사항

응급조치를 취하는 사람도 환자의 불산에 노출될 가능성이 있으므로 반드시 보호장갑을 착용하고 환자 치료를 해야 합니다.

2) 눈이나 피부에 불산 노출 시 응급조치 방법(표 4)

(1) 피부

노출 시 우선 병원 이송을 위한 연락을 취한 후, 이송 전까지 우선 많은 양의 물을 흘려서 피부를 씻도록 합니다(15분 이상). 물로 씻으면서 사업장에 칼슘 글루코네이트 연고가 비치되어 있는 경우, 피부에 문지르거나 바르면 됩니다. 불산이 묻은 옷

은 모두 벗고, 응급실로 이송하도록 하고(응급실에서는 칼슘 글루코네이트 주사액을 화상을 입은 피하조직에 주사하고 이를 반복시행하며 치료 반응을 주시하게 됨), 이후 칼슘 글루코네이트 연고는 통증이 사라질 때까지 15분 간격으로 바른다.

(2) 눈

우선 많은 물을 흘려서 눈을 씻도록 합니다(최소 15분간 실시, 눈꺼풀을 손으로 잡고 안쪽까지 물이 들어가도록 하면 서). 이후의 조치는 병원 응급실에서 해야 하며 눈에는 피부 화상에 사용하는 연고와 같은 약을 함부로 사용하지 않도록 합니다(즉, 눈에는 피부화상 시 사용하던 칼슘 글루코네이트 연고를 바르지 않습니다). 칼슘 글루코네이트 치료도 병원에서 직접 적용하도록 합니다(2% 칼슘 글루코네이트 용액을 하루 2~4시간, 2~3일간 치료에 이용함).

참고문헌

1. 산업안전공단. 불산 취급공정의 안전에 관한 지침(KOSHA GUIDE P-21-2010). 2010
2. 식품의약품안전청. 유해물질총서 9 - 불소. 2010
3. Roohi Qureshi, MD. Hydrofluoric acid burn: a case report. CJEM 2002;4(4):292-5.
4. Honeywell. Recommended medical treatment for hydrofluoric acid exposure. 2000
5. <http://emergency.cdc.gov/agent/hydrofluoricacid>
6. 동아사이언스. 강석기의 과학카페 98(<http://news.dongascience.com>). 2012-10-07 기사

표 4. 불산 노출 시의 부위에 따른 응급조치 방법 및 약제

	피부화상		안구화상	호흡흡입		구강흡입
	고농도	희석액	모든 경우	고농도	희석액	모든 경우
응급	물 세척	물 세척	물세척	산소와	산소 후	우유 또는 물
	벤잘코늄소독	벤잘코늄소독	식염수세척	칼코스흡입제	칼코스 흡입 고려	미란타 등
	칼코네이트겔	칼코네이트겔				
병원	손상피부제거	손상피부제거	국소마취제	칼코스흡입제 지속	칼코스흡입제 지속	위세척(칼코스)
	칼코스 피하주사	칼코스 겔	1%칼코스 세척	병원입원 관찰	중대손상(-)	
		칼코스 피부주사	안과진료	스테로이드 고려		