

반도체 공장에서 발생한 불산에 의한 화학화상 1예

성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 산업의학과

이지은 · 서병성 · 조찬호 · 이원철

— Abstract —

Hydrofluoric Acid Burns: A Case Report

Jieun Lee, Byung Seong Suh, Chanho Jo, Won-Cheol Lee

*Department of Occupational Medicine,
Kangbuk Samsung Hospital, Sungkyunkwan University School of Medicine*

Background: Hydrofluoric acid (HF) is widely used in many industrial and domestic settings such as etching glass, and polishing metals. HF is one of the most corrosive inorganic acids and can produce progressive and serious tissue necrosis with severe pain. Since HF chemical burns can be asymptomatic for the first few hours, it is crucial to understand its toxicity and the early use of antidote.

Case: A 37-year-old man presented with erythematous lesion and pain on his face, anterior neck, both forearms, both thighs, and left ankle after injury resulting from a chemical burn caused by HF. He showed normal vital signs and dyspnea, but complained of a sore throat. Liquid form of HF had splashed on his face and anterior neck first and run down his forearms and thighs while working at HF supply tanks. Some of the HF was splashed into his mouth. He immediately removed his clothes and showered with abundant water. A 4.5% calcium gluconate gel was applied to the involved area. He was given subcutaneous injection of 10% calcium gluconate solution. During 17 days of admission he didn't show any signs of systemic intoxication or deep tissue defects.

Conclusions: Immediate cleansing of the affected area with running cold water is the first critical treatment for a chemical burn due to HF. Applying calcium gluconate gel within one hour was very effective for preventing further damage to the injured area as well as systemic injury. In order to reduce the risk of accident and perform first-aid treatment quickly, it is imperative to provide workers with safety education and establish safety facilities.

Key Words: Hydrofluoric acid, Chemical burns, Calcium gluconate

서 론

각종 산업체에서 유해화학물질의 이용이 늘어남에 따라 근로자들의 화학 약품에 노출 및 그에 따른 화학적 손상의 사례가 늘어나고 있다. 화학화상은 직업적으로 발생하는 경우가 많고 고온 화상에 비하여 조직 파괴가 더 심하

며 상흔과 색소 침착을 남기기 쉽다^{1,2)}. 화학화상을 일으키는 물질은 25,000가지 이상으로 알려져 있으며, 불산 (Hydrofluoric Acid, HF)은 에틸렌옥사이드, 페놀, 습한 시멘트 등과 함께 국내 화학화상의 대표적인 원인물질이다³⁾. 최근의 산업의 발달과 더불어 불산은 점차 그 사용범위가 넓어지고 있으며 따라서 불산 화상의 빈도도 점

점 증가할 것으로 예상된다²⁾.

국내에서는 개별적인 불산에 대한 화학화상 증례 보고 이외에 발생현황에 대해서는 체계적으로 정리된 연구는 거의 없는 실정이다. 이 등¹⁾은 1989년부터 1993년에 관찰한 화학화상 100건 중 불산에 의한 화상이 41건(41%)으로 가장 높았고 노 등³⁾은 1989-1994년에 관찰한 화학화상 84건 중 불산 기인성이 2건으로 4.6%를 보고하였다. 두 사례에서 전체 화학화상 중 불산이 차지하는 비율이 다른 이유는 이 등¹⁾이 관찰한 병원은 해당 병원과 지역 불산 제조업체와 연계하여 응급환자를 후송체계를 갖고 있기 때문에 불산 화상 환자들이 많은 반면, 노 등³⁾이 관찰한 병원에서는 다양한 화학화상 환자들이 오기 때문으로 분석하였다. 직업별로는 국내 불산 화학화상의 대부분이 반도체 공장에서 제조공정에 종사하는 근로자나 불산을 운반하는 근로자에서 발생하였다²⁾.

불산은 강한 자극성이 있는 무색의 가스 혹은 투명한 액상의 모습으로 존재하는 무기산으로 부식성이 크고, 실리콘을 녹이는 특성이 있다^{4,5)}. 불산은 르네상스 시대에 미술가들이 유리를 식각하기 위해 불산의 증기를 이용하여 시작하면서 처음 사용하기 시작하여 오늘날 전자제품의 세척, 유리가공, 금속의 식각, 세라믹의 연마, 반도체의 생산 등 여러 산업에서 광범위하게 사용된다^{5,6,7)}.

불산에 노출되면 눈, 코, 목안을 강하게 자극하고 흡입

하면 폐렴, 폐수종, 기관지염을 일으키는 물질로서, 노동부 노출기준(노동부고시 제 2002-8호, 화학물질 및 물리적 인자 노출기준)은 최고노출 농도(Ceiling)로 3 ppm이다⁸⁾. 불산이 피부에 노출되어 생기는 화학 화상은 임상 경과가 특이하고 심각한 전신적 독성이 나타날 수 있어 빠르고 적절한 대응이 필요하다⁹⁾. 안티도트가 준비되어 있지 않거나 안티도트를 이용한 치료가 친속하지 않으면 치료가 지연되어 작은 노출에도 사망에 이를 수 있다⁹⁾.

본 사례는 반도체 공장의 불산 공급 장치에서 일하던 37세 남자의 불산에 의한 화학화상 1예의 보고이다. 환자는 2010년 9월 13일 오전 10시 경 반도체 공장 내 불산 공급 장치 설비 중에 취급 부주의로 49% 불산에 의하여 1°~표재성 2° 화상(화상 범위 15%)을 입었다. 반도체 제조 공정에서 불산을 다루는 근로자가 불산에 화상을 입은 사례들은 기존에 보고된 바 있지만²⁾ 비교적 고농도의 불산이 입안과 얼굴, 목 부위에 튀어서 발생한 불산은 보고된 것이 많지 않다. 국내에서 보고된 화학 화상의 대부분이 손, 발, 안구 등에 흔히 발생하고 체표면적 10% 미만의 제한된 범위로 많이 발생하였다^{1,2,3)}. 불산화상은 체표면적 2.5~5%의 손상으로도 사망에 이를 수 있다고 하며^{4,6)} 특히 안면이나 목에 튄 불산을 그 범위에 관계없이 심각한 화상으로 간주된다⁹⁾. 본 증례는 체표면적의 15%를 광범위한 화상으로 임상적으로 치명적일 수 있는



Fig. 1. Face and neck (2 hours after the exposure) : superficial 2nd degree burn, BSA 2%. severe erythematous lesion along with splash marks as hydrofluoric acid spattered. 2cm sized bulla appeared on the face the day after the accident and ruptured spontaneously two days after its formation.

위험한 경우였다. 하지만 사업장에서 빠른 대처와 후송된 병원에서의 적절한 치료로 전신적 합병증 없이 완치된 점에 의의가 있다. 환자의 진술과 사업장 부속 의원의 의사 면담, 입원 기록지를 바탕으로 하여 사고 현장에서의

응급조치, 부속의원에서의 치료, 3차 의료기관 응급실로 후송, 17일간 입원 치료과정 및 퇴원 후 화상 30일 째에 추적관찰을 실시하였다.

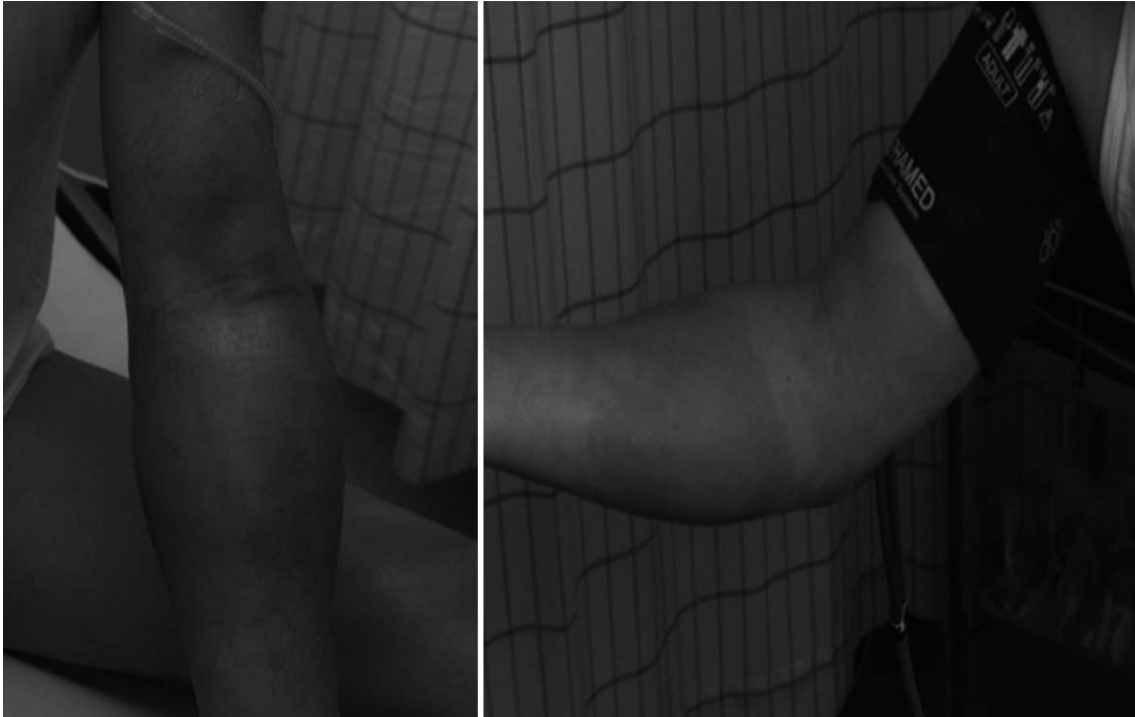


Fig. 2. Ventral surfaces of both arms (2 hours after the exposure): superficial 2nd degree burn, BSA 3%. erythematous lesion without bulla formation. There was no hand or nail involvement.



Fig. 3. Anterior surfaces of both thighs (2 hours after the exposure): 1st degree burn, reddish wound with little elevation followed by 3cm sized bulla formation on right thigh 4 days after the accident. The bulla disappeared spontaneously 3 days after its development.

증례

환자: 37세 남자(2010년 9월 발생 당시)

주소: 얼굴, 목 앞면, 양쪽 팔 배면, 양쪽 허벅지 앞면, 왼쪽 발목의 발적과 통증, 화학화상

현병력: 사고 당일 오전 열시 경 그는 불산 공급하는 도관 설비 중에 도관의 파손 여부를 확인하기 위해 도관 내 질소 투입 검사를 시행하였다. 도관 내에는 약액 탱크로 흘러 들어가고 남은 49%불산이 남아있었고, 환자가 질소를 투입한 순간 도관의 깨진 부위로 잔류 불산이 환자의 얼굴과 목에 빠른 속도로 튀었다. 액체 상태의 불산은 환자의 얼굴과 목에 튀고 동시에 양쪽 팔 배면, 양측 허벅지 앞면, 좌측 발목 부위로 순식간에 흘러내리며 극심한 통증을 유발하였다(Fig. 1, 2, 3). 입 안에도 소량의 불산이 튀어 들어갔다. 사고 직후 차가운 물로 10분가량 세척한 후 사업장내 부속의원으로 이동하여 응급치료 시행 받았고 사고 두 시간 만인 열두 시경 본원 응급실로 전원 되었다.

과거병력 및 개인력: 1년 전 고혈압 진단 받은 후 약 복용 중이었고 그 외 입원이나 수술의 과거력은 없었다. 흡연력은 지난 15년간 매일 15개피 씩 피웠고, 알코올은 주2회 이내로 소주 5잔 정도 마신다고 하였다.

직업력: 이전에 볼트 제조 공장에서 생산직에 종사하고 있다가 6년 전부터 근로자 2만명 규모의 반도체 제조업체에 하청으로 불산을 공급하는 회사에 소속되어 배관 시설에서 근무하였다. 반도체 wafer 제조공정의 엔지니어로 공급탱크에서 약액탱크로 불산의 공급과 교체 및 설비유지를 담당하였다. 하루 8시간씩 주 5일 근무였으며 연장근무 등 피로를 일으키는 장시간 노동은 없었다. 불산 이외에 노출되는 유해화학물질은 없었다. 불산을 취급할 때에는 작업복 위에 고무장갑 및 고무 소재 앞치마를 착용하도록 교육 받았으며 사고 당일에도 고무장갑 및 앞치마를 착용하고 있는 상태였다.

이학적 소견: 내원 당시 얼굴과 목, 양쪽 팔 배면 부위에 표재성 2° 화상의 심한 발적, 양쪽 허벅지 앞면, 왼쪽 발목에도 1° 화상 정도의 발적을 보였다. 특히 얼굴과 목 부위에 가장 많은 양의 불산이 노출된 부위에 띠 모양으로 불산이 튄 자국이 선명하게 관찰되었다. 통증은 사고 당시보다 조금 가라앉은 양상이었다. 목이 따갑고 호흡이 가쁘다고 호소하였다. 화상부위는 얼굴과 목 앞면 2%, 양쪽 팔 배면 3%, 양쪽 허벅지 앞면 9%, 왼쪽 발목 1%로 총 체표면적(body surface area) 15%로 평가되었다. 입원 2일째부터는 호흡곤란 없었다.

임상검사: 내원 직후 호흡곤란을 호소했을 당시 호흡산소 포화도 93.5%였으며 동맥가스포화도 검사 상 pO₂ 70.2 mmHg, pCO₂ 46.9 mmHg로 저산소증을 보였

다. 생체활력징후는 혈압 130/80 mmHg, 맥박 72회/분, 호흡 18회/분, 체온 36.9℃였고 흉부 엑스선 검사상 이상 없었다. 혈중 칼슘 9.6 mg/dL, 인 3.3 mg/dL, 마그네슘 1.9 mg/dL로 정상범위였다. 응급실에서 실시한 심전도에서 정상동성리듬을 보였다. 수 시간 후에 호흡곤란 증상이 가라앉은 후 산소포화도는 99%로 유지 되었다. 이후 17일간의 입원 기간 동안 생체징후와 일반혈액검사, 생화학검사, 요검사, 흉부 엑스선 검사는 모두 정상이었다.

임상경과: 사고 직후 작업장에 설치된 수도를 이용하여 본인이 직접 불산에 노출된 부위를 차가운 물로 10분가량 세척하였다. 환자는 불산에 의한 화상에 중화제 치료가 중요하다는 것을 알고 있었으므로 다음 응급조치를 위해 사업체 부속 의원으로 이동하여 수상 부위에 칼슘 글루코네이트 2.5%겔 25 g×8 tube(총 200 g)을 도포하였다. 사고 두 시간 후에 본원 응급실에 후송된 당시 통증은 조금 가라앉은 상태였으며 목 따가움과 호흡곤란을 호소하였다. 내원 당일 오후 한 시와 입원 다음날 오전 열 시경에 5% 칼슘 글루코네이트 용액을 상처부위에 0.1~0.2cc씩 5 mm 간격으로 피하 주사하였다. 내원 당시 호흡곤란 증상을 보였기 때문에 즉시 100% O₂ 공급하고 증류수에 칼슘 글루코네이트 2.5 gm를 희석한 2.5% 칼슘 글루코네이트 용액 3.5cc를 분무기로 흡입하였다.

수상부위의 통증은 점차 가라앉았으며 호흡곤란 증상도 사라졌다. 수상 24시간 경과 후 환자의 상태가 안정된 것으로 판단되어 응급실에서 일반 병동으로 옮겨졌고 화상 상처는 개방하여 지연성 괴사 여부를 주의 깊게 관찰하였다(Table 1).

입원 2일째에 얼굴에 직경 2 cm 크기의 수포가 발생하여 그 이틀 뒤에 자연적으로 수포가 터졌다. 입원 4일째에 우측 대퇴부에 직경 3 cm 크기의 새로운 수포가 발생하여 그 사흘 뒤에 터짐 없이 자연 소멸되었다. 불산에 의한 전신적 피해를 우려하였으나 입원기간 동안 호흡곤란 증상 호전되고 98~99%의 산소 포화도 유지되었다. 혈액 검사 상 전해질 이상 소견 없었으며 정상 심전도 소견, 정상 흉부 X선 검사 소견을 보였다. 입원 4일째에는 이비인후과 협진, 안과 협진 결과 불산에 의한 손상으로 보이는 이상소견은 없었다. 17일간의 입원기간 동안 전신적 영향이나 상처부위의 지연성 손상이나 괴사는 관찰 되지 않았다. 환자가 퇴원한 후 화상 30일째에 다시 만나 화상 부위 관찰하여 괴사나 염증 없음을 확인하였고, 흉부 X선 검사 실시한 결과 특별한 이상 관찰되지 않았다.

고 찰

Table 1. Emergency treatment flow chart of our patient

Elapsed time from the accident	Treatments given to our patient	Effect of treatment
Within 1 min.	Patient cleansed himself vigorously with running water for 10 min at the work site.	Burning sensation & severe pain on the wound continued.
20 min. later	2.5% Calcium gluconate gel 200 g was applied on the wound by doctor at the clinic located in work place.	Dyspnea developed.
2 hrs later	5% calcium gluconate was injected subcutaneously at the emergency room. 2.5 gm calcium gluconate mixed with water was nebulized. Oxygen was given by cannula.	Moderate pain remained on the wound.
Hospital day 2	Patient moved to the general ward to be under observation. 5% calcium gluconate subcutaneous injection was done again. Oxygen was supplied by cannula.	Mild to moderate pain on the wound. No sign of respiratory distress.
Hospital day 2~17	Burn wound was open and carefully observed. Patient was encouraged to wear oxygen cannula.	Pain relieved. No sign of respiratory distress. No sign of necrosis of deep tissue or systemic intoxication.

불산은 다른 산에 비해 높은 투과계수를 갖고 있어 쉽게 피부 속으로 침투할 수 있다⁹⁾. 일단 진피 속으로 들어가면 불소 음이온과 수소 양이온으로 분리되며, 분리된 불소 음이온은 빠르게 흡수되어 개체 내에 퍼져 나가며 여러 세포 효소들의 기능을 방해하여 세포 탈수 및 저산소증을 일으킨다^{5,10)}. 불소 분자는 비 이온 화산을 통하여 세포막을 통과하여 칼슘, 마그네슘과 같은 양이온과 결합하여 불용성 염류를 생성하므로 각각 저칼슘혈증, 저마그네슘혈증을 일으킨다^{4,5,9)}. 이렇게 생성된 불용성 염류들은 또 다른 양이온과 결합과 분리를 거듭하면서 더 심한 조직 손상을 일으킨다. 또한 분리된 수소 이온이 세포 내로 들어가면서 포타슘 이온이 세포 밖으로 이동하므로 고칼륨혈증이 나타날 수 있다⁵⁾. 다른 산들과 다르게 이러한 중화과정과 조직손상이 수일에 걸쳐 일어날 수 있다¹¹⁾.

불산은 두 가지 다른 기전으로 조직에 손상을 일으킨다^{6,7,12)}. 첫 번째로, 불산에서 분리된 수소이온이 다른 산에 의한 화상과 유사한 부식성 화상을 일으킨다. 이 손상은 즉시 일어나며 타는 듯한 통증과 함께 발적, 부종으로 나타나는 표재성 조직 손상을 초래한다¹²⁾. 두 번째는 조직 괴사를 통해 심재성 손상을 일으키는 기전이다. 지방 친화성이 있는 불소이온이 빠르게 조직 내로 침투하여 세포 대사 과정을 바꿔놓는다. 이 기전에 의한 손상은 훨씬 심각하여 겉으로 보이는 손상보다 더욱 심한 통증을 동반할 수 있다. 조직 내 흡수된 불소 이온의 양은 급성 전신독성과 심재성 조직 손상을 결정하는 가장 중요한 인자로서 노출된 불소의 농도와 노출 시간, 노출된 면적으로 결정된다^{12,13)}. 표면을 충분히 세척을 하더라도 심재 조직의 괴사는 계속 진행될 수 있으므로 칼슘이나 마그네슘 염류로 중화하여 예방하는 것이 좋다.

불산에 의한 손상 과정은 농도에 따라 다르게 나타날 수 있다. 농도 20% 이상의 불산 노출은 즉각적인 표재성 피부 화상을 일으킬 수 있지만, 희석된 상태의 불산의 경우 표재성 화상이 바로 나타나지 않고 증상이 12~36시간 정도 지연되어 나타날 수 있어 각별한 주의 관찰이 필요하다^{4,9,14)}. 특히 5~15%의 희석된 불산에 노출된 경우에 더욱 지연되어 나타날 수 있어 초기 중등도 평가에 혼란을 줄 수 있다^{4,9)}. 산업에서 이용되는 불산의 농도는 20%이상일 경우가 많고 종종 50%가 넘기도 한다⁶⁾. 본 증례의 경우 49%의 고농도 불산에 노출된 데다가 30분 내에 칼슘 글루코네이트 겔을 도포하였기 때문에 지연성 손상의 특징은 나타나지 않은 것으로 판단된다.

불산에 의한 피부 노출 시 화상 중등도는 화상 부위, 화상 체표면적(body surface area), 노출된 불산의 농도, 노출된 시간 등으로 평가 한다^{4,9,14)}. 특히 화상으로

인한 사망률은 임상적으로 불산의 농도와 노출된 시간에 비례한다⁶⁾. 불산에 노출된 피부 병변은 불산의 농도에 따라 홍반, 부종, 수포, 미란, 괴사 및 3° 화상까지 다양하게 나타날 수 있는데²⁾, 본 증례에서는 홍반, 부종, 수포의 형태를 보이는 1° 화상 내지 표재성 2° 화상이었다. 비교적 고농도의 불산이었지만 사고 발생 즉시 세척이 이루어진 덕분에 심한 화상은 막을 수 있었던 것으로 보인다.

불소 이온은 칼슘이 풍부한 조직인 뼈에 친화력이 있어서 광범위한 탈염 현상을 일으키고 심하면 뼈의 부식이 가능하다^{7,15)}. 만성적으로 불산에 노출될 경우 골밀도 감소, 골불화증이 생길 수 있다¹⁶⁾. 본 증례에서는 현재까지 골다공증이나 골불화증이 의심되는 소견은 나타나지 않았으며, 앞으로도 추적관찰을 통하여 불산에 의한 만성적 영향을 지켜볼 예정이다.

한국 산업안전보건공단은 불산에 의한 피부 노출의 응급조치로 네 가지를 권고하고 있다. 첫째, 오염된 피복을 벗고 흐르는 물 또는 식염수로 노출된 피부, 머리 등을 최소 30분 이상 씻어낸다. 둘째, 칼슘이 함유된 슬러리 또는 겔(2.5 g calcium gluconate in 100 mL of water-soluble lubricant)을 신속하게 노출된 피부에 바른다. 셋째, 청소년 및 노약자가 불산에 노출된 경우 저체온증에 유의하여야 하며 필요한 경우 담요 또는 이불 등으로 보온을 유지한 후 관찰하여야 한다. 넷째, 피부화상의 경우 염화칼슘제를 도포하거나 주사하여서는 안되며, 화상을 입은 부위에 칼슘글루코네이트겔을 바르는 경우 2차 오염을 방지하기 위하여 고무 또는 라텍스 장갑을 착용하여야 한다⁸⁾.

불산 화상 치료의 첫 번째 단계인 세척은 빠른 시간 내에 이루어져야 한다. 화학물질에 노출 될 경우 산은 10분 이내에, 알칼리는 수상 후 1시간 이내에 물 세척하는 것이 가장 효과적이다¹⁴⁾. 화학물질을 세척할 때에는 흐르는 차가운 물에 최소 15분 이상 시행하며⁹⁾, 화학 물질 중 산은 조직파괴가 신속하게 일어나므로 더 오랫동안 세척해야한다¹⁾. 본 증례에서 환자가 즉시 옷을 제거하고 사업장에 설치된 수도시설을 이용하여 세척한 것은 빨리 대처하였다는 점은 바람직하였으나 세척시간이 다소 충분하지 않았던 것으로 볼 수 있다. 차가운 물로 세척하면 림프와 혈액의 흐름을 떨어뜨려서 불소의 흡수를 지연시키고 부종을 진정시키는 데 도움이 된다. 천천히 흐르는 물이나 고여 있는 물에 씻을 경우 오히려 화학물질에 침범 받지 않은 부위까지 화학물질을 퍼뜨릴 수 있다¹³⁾. 손톱을 침범하였을 경우에는 즉시 제거하여야 추가적인 조직괴사를 막을 수 있다⁷⁾.

불산 화상 치료의 핵심은 안티도트의 사용이다. 겔의 오염을 씻어 낸 후에도 조직 내에서 일어나는 불소에 의

한 칼슘과 마그네슘의 침전은 계속 진행될 수 있다⁹⁾. 이런 경우에는 충분한 세척과 진통제 투여 후에도 통증이 완화되지 않을 수 있다⁹⁾. 칼슘이나 마그네슘과 같은 불산의 안티도트를 이용한 치료는 화상 부위에 불소 이온을 불활성화하고 고갈된 칼슘 이온을 공급해 주므로 조직 손상을 막음과 동시에 통증의 완화를 동시에 기대할 수 있다⁹⁾. 칼슘을 이용한 치료로는 칼슘 글루코네이트를 수상 부위에 피하 주사하는 방법, 정맥 또는 동맥으로 주사하는 방법, 칼슘 겔을 수상 부위에 직접 도포하거나 증류수에 섞어 흡입하는 방법 등이 있다¹⁵⁾.

칼슘 글루코네이트 조직 내 피하 주사는 중등도 이상의 화학화상이나 초기 치료가 지연된 경우에 적용할 수 있는 방법이다¹⁴⁾. 손상 부위로 직접 흡수되므로 상처 치유 기간을 현저하게 줄이고 조직 파괴의 진행을 늦춘다. 표피에 바르는 칼슘 글루코네이트 겔 도포보다 흡수력이 높은 것이 장점이다. 보통 30번 게이지의 주사 바늘을 사용하여 5%~10% calcium gluconate 0.1~0.2cc를 0.3~0.5 cm 간격으로 주사하게 된다¹⁴⁾. 칼슘의 피하주사 적정량은 통증의 소실되는 시점으로 조절하는 것이 좋다^{4,7,14)}. 본 증례에서는 응급실 도착 후와 입원 2일째에 총 2회에 걸쳐서 칼슘 글루코네이트 피하 주사를 시행하였고 이로 인해 급성 독성을 막을 수 있었던 것으로 보인다.

칼슘 글루코네이트 동맥 내 주사는 통증감소와 전신적 독성을 방지하는 효과가 있는데 그 효용과 적응증에 관하여 여러 가지 의견이 제시되고 있다^{4,14)}. Stuke LE 등⁶⁾은 불산에 의한 화학화상 35예를 관찰한 결과, 중경상일 경우 칼슘 글루코네이트 동맥 주사 없이 칼슘 글루코네이트 겔 도포만으로도 충분한 효과를 볼 수 있다고 하였다. 국내에서는 김 등¹⁴⁾이 칼슘 글루코네이트 국소 주사에 통증 완화가 없는 수지부 불산 화상 환자에게 5% 텍스트로즈 40~50 ml에 10% 칼슘 글루코네이트 10 ml을 포함한 용액을 동맥 내 주입하여 통증의 소실 및 조직 손상 방지 효과를 보고 하였다. Thomas D 등¹²⁾은 혈관 경련이나 레이노이드 증후군을 동반한 손가락의 불산 화상에서 칼슘 글루코네이트 동맥 내 치료가 성공적이었으며 반복하여 투여하면 혈관 상태와 치료 반응 평가에 유용하다고 하였다. 칼슘 글루코네이트 동맥 주사는 화상 부위의 심한 부종으로 피하 주사가 어렵거나 화상 면적이 작을 때 더욱 유용하여 본 증례의 경우, 화상면적이 넓은 편이어서 이 치료의 적응증이 되지 않았다. 칼슘 글루코네이트 동맥 치료 시 유의할 점은 손가락 화상과 같이 피하 공간이 충분하지 않는 곳에 피하 주사를 실시하면 혈액 공급에 지장을 주어 오히려 해로울 수 있으므로 치료의 적응증을 잘 이해하는 것이 중요하다^{7,11,12)}.

칼슘 글루코네이트 겔을 국소적으로 도포하는 것이 경도~중등도 불산에 의한 피부 화상에 가장 핵심적 치료로

사료된다^{6,17)}. 본 증례에서 물로 세척 후 30분 이내에 2.5%칼슘 글루코네이트 겔의 도포가 200 g이상 충분히 이루어졌으며, 그 후 통증은 어느 정도 가라앉은 것으로 보아 피부 속으로 흡수된 불소 이온이 어느 정도 중화되었던 것으로 생각된다. 만약 도포 후 15~30분 내에 통증이 가라앉지 않으면 치료 효과가 떨어질 가능성이 크다⁹⁾. Roblin I 등¹⁷⁾이 쥐에 동물 실험을 한 결과, 불산에 노출 후 빠른 시간 내에 도포하는 것이 중요하며 특히 매일 1회 이상 반복적으로 도포할 경우 칼슘 글루코네이트 치료를 하지 않은 경우에 비해 화상 부위의 완치율을 높였다. Wang LF 등¹⁸⁾은 쥐의 불산 화상 동물 실험에서 칼슘과 마그네슘을 포함한 드레싱이 저 칼슘혈증을 예방하고 생존율을 높인다고 보고하였다. 준비된 겔이 없는 경우 수용성 겔 150 gm과 칼슘 글루코네이트 1앰플(35 ml)을 섞으면 쉽게 10% 칼슘 글루코네이트 겔을 제조할 수 있다⁹⁾.

불산 가스의 흡입은 기도 점막의 자극, 기침, 기관지 경련, 후두경련을 발생시키고 심한 경우 폐부종, 기관지 수축, 무기폐등이 발생할 수 있다¹⁴⁾. 높은 농도의 불산 일수록 증기가 강하여 저산소증과 호흡부전에 빠질 수 있고 후유증으로 만성 호흡기 질환을 일으킬 수 있다^{4,14)}. 불산의 흡입이 의심되는 경우에는 반드시 흉부 X선 검사와 동맥혈 가스 검사를 실시한다^{15,19)}. 본 증례의 경우 불산 용액의 일부가 입안으로 들어갔으므로 산소 공급과 더불어 증류수에 희석한 2.5% 칼슘 글루코네이트(2.5 gm)를 분무기로 흡입하는 치료를 시행하였다^{14,15)}.

불산이 안구에 들어갔을 경우, 불산의 농도에 따라서 가역적인 가벼운 화상에서부터 심각한 각막 실질손상, 혈관 생성, 부종과 같은 심각한 손상을 일으킬 수 있다. 안구 화상의 치료는 즉각적인 세척이다. 증류수로 외에도 1% 칼슘 글루코네이트 용액, NaCl, MgCl₂ 용액을 이용하여 세척할 수 있다^{14,20)}. 칼슘 글루코네이트를 함유한 연고는 일반적으로 눈에 사용하지 않는다¹⁴⁾.

불산 화상의 대표적인 전신적 합병증은 저칼슘혈증과 저마그네슘혈증이다. 저칼슘혈증은 갑자기 나타나며 사망에 이를 수 있기 때문에 검사결과가 나오기 전에 칼슘을 보충하는 치료를 하는 것이 좋다. 혈청 칼슘, 마그네슘 농도는 환자가 도착하자마자 측정하여야 하고 저칼슘혈증으로 치료 시 매 시간마다 모니터링하여 저칼슘혈증이 재발하는지 관찰하는 것이 좋다⁵⁾. 불소이온을 중화하는 데에 필요한 전신적 칼슘 이온의 양을 측정하는 것은 불가능하므로 혈청 칼슘 농도를 모니터 하는 것이 권장된다⁵⁾. 혈중 칼륨이온 증가가 보일 경우 고칼륨혈증에 준하여 치료하되, 전체 칼륨이 증가한 것이 아니므로 과도한 치료를 하지 않도록 한다⁹⁾. 불산의 전신 독성에 의한 고칼륨혈증 시 전해질 불균형과 함께 QT 구간 연장, 심실세동

과 같은 부정맥이 나타날 수 있으며 심수축력이 저하될 수 있다. 전해질이 교정된 후에도 부정맥이 지속될 수 있기 때문에 지속적인 모니터링이 필요하다⁵⁾. 본 증례의 경우 환자는 심전도 검사 상 정상 동성리듬을 보였고 정상 범위의 혈청 칼슘, 마그네슘, 칼륨 농도를 보였다. 본 증례에서 우려되었던 전해질 불균형이 나타나지 않은 것은 빠른 칼슘 글루코네이트의 국소도포 및 피하주사로 불소 이온이 중화되었기 때문으로 보인다.

불산에 의한 화상을 예방하기 위해서는 근로자의 불산 취급요령을 숙지와 사업장의 철저한 환경관리가 필수적이다. 고용노동부가 발표한 2009년 산업재해 현황분석에 따르면 1년 동안 유해, 위험물 취급 부주의에 의한 사망재해가 33건 보고되었고 이는 전체 1,012건 중 약 4.2%에 해당한다²¹⁾. 2009년 국내 산업재해로 인한 사망 1,012건 가운데 불안정한 상태 방치로 인한 사망은 585건(57.81%), 안전장치 기능 제거, 보호구의 잘못된 사용 등 안전장치의 미비로 인한 사망은 114건을 차지하였다²¹⁾. 불산에 의한 화상은 대부분 직업 관련성으로 사업장 안전 프로그램이 열악한 사업장에서는 발생하기 쉽다⁶⁾.

본 증례와 같은 사고를 앞으로 예방하기 위해서는 사고의 경위를 다시 살펴 볼 필요가 있다. 사고 당일 환자는 공급탱크에서 약액탱크로 불산을 공급하는 도관을 설비하는 작업을 하는 중에 도관의 파손 여부를 확인하다가 불산에 수상하게 되었다. 환자는 불산을 매일 취급하는 근로자였지만 도관 설비 작업은 주 1회 정도 있는 작업이었고, 이 작업을 할 때에는 평소보다 불산에 노출 위험이 크다고 하였다. 도관 설비를 할 때에는 질소를 투입하여 질소가 누출되는지를 보고 도관의 안전성을 판단하는데, 표준작업지침에는 도관 설비 시 도관 내 잔류 불산의 가능성에 대하여 확인 하도록 되어있다. 환자는 도관 설비의 전원이 꺼진 상태였으므로 도관 내에 불산이 남아 있을 수 있다는 가능성이 없다고 생각하여 확인 과정 없이 질소를 투입하였고, 도관의 깨진 틈새로 불산이 새어나와 화상을 입은 것이다.

이처럼 위험물질에의 노출의 위험이 있더라도 적절한 보호 장비를 착용하면 사고의 위험을 낮출 수 있다¹⁹⁾. 불산은 라텍스 소재를 뚫을 수 있기 때문에 고무나 PVC 소재의 하지를 충분히 덮는 길이의 소매가 달린 앞치마, 팔 중간 이상을 덮는 내산성 장갑, 전면 보안면, 내산성 고무장화를 사용하는 것이 좋다^{6,8)}. 본 환자는 사고 당시 회사의 지침대로 작업복 위에 고무장갑, 고무 앞치마를 착용한 상태였지만 많은 양의 불산이 흘러내려 환자가 착용한 작업복을 적시고 양측 전완부, 양측 대퇴부, 좌측 발목까지 화상을 입었다. 본 증례에서처럼 다량의 불산에 의한 불시의 사고에 대비하기에는 보호 장비가 부족하였던 것으로 보이며 하지를 충분히 보호할 수 있는 길이의

앞치마와 전면 보안면, 고무장화를 착용했었다면 큰 사고를 막을 수 있었을 것으로 생각된다.

근로자들은 화학 물질을 다루는 동안 사고의 예방에 있어서 또한 중요한 것은 예방 교육과 훈련이다. 직원 스스로가 사용하는 물질의 독성을 잘 알고 사고 시 응급조치에 대하여 잘 알고 있어야 할 것이다. 경미한 손상의 경우 충분한 세척과 칼슘 글루코네이트 겔 치료만으로 만족스러운 결과를 볼 수 있다는 것을 잘 알면 유사시에 근로자나 사업주가 치료자에게 정보를 제공해 줄 수 있다^{4,19)}. 이번 사례에서 환자는 반도체 제조사 및 환자가 소속된 하청 업체에서 연 2회 이상의 정기 안전교육 및 수시 안전교육을 받고 있었다. 불산의 위험성과 응급조치에 대하여 인지하고 있었으므로 사고 즉시 스스로 물로 세척하고 칼슘 글루코네이트 치료를 위해서 부속의원으로 빨리 이동할 수 있었다. 김 등¹⁴⁾은 반도체, 유리공장에서 발생한 불산 화상 3예를 조사한 결과, 3예 모두 불산 화상의 심각성을 인지하지 못하여 전문병원으로의 내원이 수 시간에서 하루 정도 지연되었음을 보고하였다. 이 등¹⁾에 의한 보고에서는 화학화상이 발생한 후 응급실에 도착하는 데 걸린 시간이 24시간 이상인 경우가 100건 중 11건으로 11%를 차지하였다. 산에 의한 화상은 증상 발현이 지연될 수 있고 환자가 불산 화상의 특성과 심각성을 잘 모르는 경우가 많아 즉시 병원을 찾지 않기 때문에 전문 의사에 의한 진료가 늦어질 위험이 크다. 적절한 초기 치료가 늦어질수록 불산 화상의 심부 조직의 손상이 심해질 수 있고 전신 합병증의 위험이 높아진다.

불산은 고 침투성으로 피부를 통과해서 아래쪽의 조직에 손상을 주기 때문에 응급조치 및 초기 치료가 중요하다. 불산을 취급하는 사업장에는 반드시 접근성이 용이한 샤워 시설과 안구 세척 설비를 설치하여야 한다^{8,19)}. 물로 충분한 세척이 이뤄진 후에 즉시 칼슘이나 마그네슘을 포함한 중화제를 도포하여 손상을 최소화한다. 칼슘 글루코네이트 겔은 가장 핵심적인 치료이면서 사용 방법이 비교적 간단하여 항상 사업장에 비치해 놓을 것을 권장한다⁸⁾. 사고 현장에서 응급조치가 이뤄진 이후에는 전문 병원으로 신속히 후송하여 불산에 의한 손상에 대해 잘 알고 있는 의사에 의한 주의 깊은 평가 및 전문적인 치료가 필요하다⁸⁾.

국내 학회에 보고된 불산에 의한 화학 화상은 많지 않으나 실제적으로 훨씬 많은 화상이 여러 산업 분야에서 발생하고 있을 것으로 추정된다. 광범위하거나 깊이가 깊은 화상은 흔히 응급처치가 지연된 경우, 50%이상의 고농도 불산에 접촉된 경우에 발생하게 된다¹⁴⁾. 우리가 관찰한 불산에 의한 화학 화상 1예는 비교적 고농도의 불산이 입안과 얼굴, 목, 상하지에 튀어서 발생한 것으로 국내에서 보고되지 않은 드문 경우이다. 불산의 농도와 노

출 부위, 노출 범위로 평가해볼 때 심각한 수준의 화상으로 임상적으로 치명적일 수 있는 위험한 경우였다. 하지만 사업장에서 본인의 빠른 판단으로 인한 다량의 세척과 사업장 부속의원에 비치해 놓은 충분한 칼슘 글루코네이트 겔 도포, 전문병원으로의 빠른 후송, 병원으로 후송된 후 칼슘 글루코네이트 피하주사와 분무기 치료로 전신적 합병증 없이 완치된 점에 의의가 있다. 산에 의한 화학화상은 광범위 데브리망, 피부이식 등의 침습적 치료를 필요로 하는 경우가 많은데^{2,3)} 우리 환자는 조직괴사가 진행되지 않아 수술적 치료 없이도 화상성 반흔을 남기지 않고 치유되었다. 불산에 의한 화상은 증상 발현이 종종 지연되기도 하고 불산 화상에 대한 환자들의 인지도가 부족하기 때문에 병원에 내원하기까지 수 시간 지체되는 경우가 많다^{2,14)}. 본 증례에서는 사고 현장에서 사업장 내 의원, 본원 응급실에 이르는 시간이 두 시간이 채 걸리지 않은 것은 훌륭한 사고 대처의 일면이라 하겠다. 하지만 위험물질에 대한 보호 장비가 충분했다면 사고 자체를 막을 수 있었다는 아쉬움이 있으며 제 2의 사고를 막기 위해서는 사업장에서의 철저한 안전관리가 절실하다.

요 약

배경: 불산은 여러 산업영역에서 유리의 식각, 금속의 세척 등에 광범위하게 쓰이고 있다. 부식성이 큰 무기산인 불산에 노출되면 극심한 통증을 동반한 화학 화상과 지속적이고 심각한 조직 괴사에 빠질 수 있다. 불산에 의한 화상은 초기에 증상이 없을 수 있으므로 불산의 독성에 대한 이해와 안티도트를 이용한 빠른 치료가 필수적이다.

증례: 37세 남자가 얼굴, 목, 양쪽 팔 배면, 양쪽 허벅지 앞면, 왼쪽 발목의 통증과 발적성 병변을 주소로 응급실에 방문하였다. 생체 활력 징후는 정상이었고 목 따가움과 숨 가쁨을 호소하였다. 불산을 공급하는 장치에서 일하던 중 액체 형태의 불산이 얼굴과 목에 튄 후 양 팔과 다리로 흘렀으며 입 안에도 조금 들어갔다고 진술하였다. 사고 후 즉시 옷을 벗고 물로 세척하였으며 사업장 부속 의원에서 4.5% 칼슘 글루코네이트 겔을 도포하였다. 응급실 내원 후 10% 칼슘 글루코네이트 용액을 수상 부위에 피하 주사 하였다. 17일간의 입원 기간 동안 급성 독성이나 심부 조직 및 뼈의 손상은 관찰되지 않았다.

결론: 불산에 의한 화학화상의 첫 번째 치료는 즉각적인 세척이다. 빠른 시간 내에 칼슘 글루코네이트 겔을 수상 부위에 도포하면 추가적인 조직손상이나 전신 합병증을 막을 수 있다. 사고 위험을 줄이고 즉각적인 응급처리를 위해서는 근로자들의 안전교육 및 보다 적절한 안전장치가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) Lee JS, Chung BO, Oh MG, Lim HS, Bae SH, Park DI, Ahn WS, Suh JW. Clinical study of chemical burn. *J Korean Surg Soc* 1994;47(5):609-15. (Korean)
- 2) Cho BH, Kim KJ, Kang HJ. Clinical study of chemical burns from hydrofluoric acid (translated by Lee JE). *Korean J Dermatol* 1993;31(5):687-80. (Korean)
- 3) Roh SW, Choi WJ, Byun DJ. A clinical study of chemical burns. *J Korean Surg Soc* 1995;48(4):461-8. (Korean)
- 4) Sheridan RL, Ryan CM, Quinby WC Jr, Blair J, Tompkins RG, Burke JF. Emergency management of major hydrofluoric acid exposures. *Burns* 1995;21(1):62-4.
- 5) Dalamaga M, Karmaniolas K, Nikolaidou A, Papadavid E. Hypocalcemia, hypomagnesemia, and hypokalemia following hydrofluoric acid chemical injury. *J Burn Care Res* 2008;29(3):541-3.
- 6) Stuke LE, Arnoldo BD, Hunt JL, Purdue GF. Hydrofluoric acid burns: a 15-year experience. *J Burn Care Res* 2008;29:893-6.
- 7) Ohata U, Hara H, Suzuki H. 7 cases of hydrofluoric acid burn in which calcium gluconate was effective for relief of severe pain. *Contact Dermatitis* 2005;52(3):133-7.
- 8) Technical guidelines for safely handling of hydrofluoric acid 2010 (translated by Lee JE). Korea Occupational Safety and Health Agency. P-21-2010. (Korean)
- 9) Bartlett D, Muller A. Dermal exposure to hydrofluoric acid causing significant systemic toxicity. *J Emerg Nurs* 2004;30:371-3.
- 10) Greco RJ, Hartford CE, Haith LR Jr, Patton ML. Hydrofluoric acid-induced hypocalcemia. *J Trauma* 1988;28(11):1593-6.
- 11) Capitani EM, Hirano ES, Zuim Ide S, Bertanha L, Vieira RJ, Madureira PR, Bucartchi F. Finger burns caused by concentrated hydrofluoric acid, treated with intra-arterial calcium gluconate infusion: case report. *Sao Paulo Med J* 2009;127(6):379-81.
- 12) Thomas D, Jaeger U, Sagoschen I, Lamberti C, Wilhelm K. Intra-arterial calcium gluconate treatment after hydrofluoric acid burn of the hand. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2009;32(1):155-8.
- 13) Muriale L, Lee L, Genovese J, Trend S. Fatality due to acute fluoride poisoning following dermal contact with hydrofluoric acid in a palynology laboratory. *Ann Occup Hyg* 1996;40:705-10.
- 14) Kim DC, Lee SS, Seo SH, Jeon HS, Lee W, Lee SR, Kim DH. Clinical experiences of hydrofluoric acid burns. *Korean Burn Society* 2003;6(1):33-44. (Korean)
- 15) Ladou J. Current occupational & environmental medicine. 4th ed. McGraw-Hill. 2003. pp 282, 440-3.
- 16) JY Kim, HS Lim, HK Cheong, HK Lee, A study on the change of the bone density among workers exposed to hydrofluoric acid. *The Kor J Occup Environ Med.* 1995;7:120-7. (Korean)
- 17) Roblin I, Urban M, Flicoteau D, Martin C, Pradeau D. Topical treatment of experimental hydrofluoric acid skin burns by 2.5% calcium gluconate. *J Burn Care Res* 2006;27(6):889-94.
- 18) Wang LF, HuGL, Zhang ZJ, Ba T, Rong ZD, Wang H, Zhang J, Cao SJ, Zhang GH, The efficacy of biological dressing containing calcium and magnesium on the management of hydrofluoric acid burns. *Zhonghua Shao Shang Za Zhi* 2007;23(1):49-51.
- 19) Qureshi R, House R, Uhlig E, Genesove L, Holness DL. Hydrofluoric acid burn: a case report. *CJEM* 2002;4(4):292-5.
- 20) McCulley JP. Ocular hydrofluoric acid burns: animal model, mechanism of injury and therapy. *Trans AM Ophthalmol Soc* 1990;88:649-84.
- 21) Annual research on industrial disaster 2009(translated by Lee JE). Ministry of employment and labor. 2009. pp 608. (Korean)