

1

불산

불화수소를 물에 녹여 만든 수용액으로 급성독성물질이자 부식성물질이다. 물의 함량이 높을수록 증기압과 대기 중의 증기농도도 낮아지므로 인체에 대한 흡입 위험성은 상대적으로 낮아지나, 흡이나 미스트상태로 누출될 경우 피부를 통한 흡수 위험성이 높아진다. 피부 접촉 시 화상을 유발하며, 피부 하층의 혈관계에 흡수되어 뼈와 근육의 칼슘결핍을 초래하고, 칼슘을 많이 필요로 하는 심장근육에도 이상을 초래할 수 있다. 작은 면적의 피부노출에도 쇼크로 인하여 사망할 수 있다.

NFPA 물질지수는 유해성(3), 인화성(0), 반응성(2)로서 유해성이 높다.

2

급성독성물질

인체에 유입될 경우 치료에도 불구하고 회복할 수 없는 질병(직업병)이나 사망의 위험이 높은 물질을 말하며 산업안전보건법에 다음과 같이 규정되어 있다.

(1) 쥐에 대한 경구투입실험에 의하여 50퍼센트를 사망시킬 수 있는 물질의 양, 즉 LD₅₀(경구, 쥐)이 300 mg/kg(체중) 이하인 화학물질

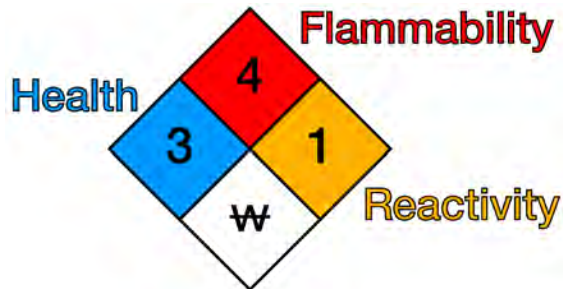
(2) 쥐 또는 토끼에 대한 경피흡수실험에 의하여 50퍼센트를 사망시킬 수 있는 물질의 양, 즉 LD₅₀(경피, 토끼 또는 쥐)이 1000 mg/kg(체중) 이하인 화학물질

(3) 쥐에 대한 4시간 동안의 흡입실험에 의하여 50퍼센트를 사망시킬 수 있는 물질의 농도, 즉 가스 LC_{50} (쥐, 4시간 흡입)이 2500 ppm 이하인 화학물질, 증기 LC_{50} (쥐, 4시간 흡입)이 10 mg/ℓ 이하인 화학물질, 분진 또는 미스트 1 mg/ℓ 이하인 화학물질

3

NFPA(미국방화협회)물질지수

비상상황에서 위험 물질에 대한 신속한 대응을 하기 위하여 미국방화협회에서 만든 지수로서 유해성, 인화성, 반응성, 기타특성의 4가지로 구성된 다이아몬드 모양에 표시한다. 0~4단계까지 나뉘었으며 숫자가 높을수록 위험하다.



4

증기압

증기가 고체 또는 액체와 평형상태에 있을 때의 포화증기압을 말한다. 액체 표면에서는 끊임없이 기체가 증발하는데, 밀폐된 용기의 경우 어느 한도에 이르면 증발이 일어나지 않고, 안에 있는 용액은 그 이상 줄어들지 않는다. 이 상태에 있을 때 기체를 그 액체의 포화증기, 그 압력을 증기압(포화증기압)이라 한다.

5

TWA(시간가중 평균노출기준)

시간의 개념으로 정한 작업환경노출 기준 중 1일 8시간 작업을 기준으로 하여 유해 요인의 측정치에 발생시간을 곱하여 8시간으로 나눈 값을 말하며 단위물질로도 기준치가 정해져 있다.

6

C(Ceiling : 최고노출기준)

근로자가 1일 작업시간동안 잠시라도 노출되어서는 아니 되는 기준을 말하며, 노출기준 앞에 "C"를 붙여 표시하며, 독성이 높은 물질에 적용된다.

7

LC₅₀(Lethal Concentration 50% : 반수치사농도)

흡입독성실험에서 실험대상 생물의 50%를 죽이는 농도를 말하며, 보통 mg/ℓ 또는 ppm으로 표시한다. 이때 독성에 노출된 시간에 따라 50 %가 죽는 농도도 달라지므로 LD₅₀ 4 hr 등으로 시간을 같이 표시한다.

8

ERPG(Emergency Response Planning Guideline)

비상대응과 관련하여 미국에서 정한 독성물질 누출 시 대피 권장농도

- Level 1 : 1시간 노출 시 건강상 영향이 없는 최대농도
- Level 2 : 1시간 노출 시 심각한 건강 영향이 없는 최대농도
- Level 3 : 1시간 노출 시 생명위험이 없는 최대농도

※ 1시간 이상, 해당농도이상에 폭로되면 언급된 위험이 초래될 수 있음.

9

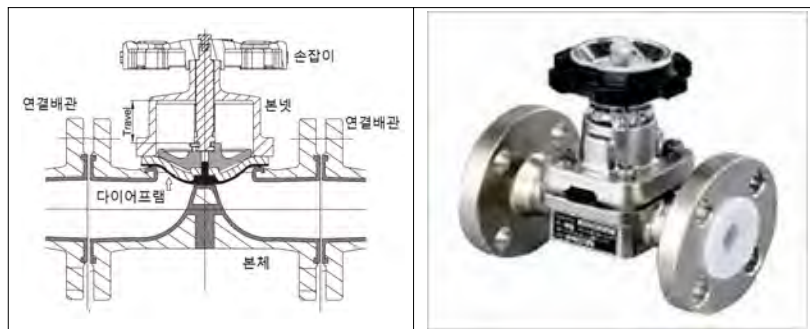
IDLH(Immediately Dangerous to Life and Health)

노출 시 인간의 생명과 건강에 즉각적인 영향을 받을 수 있는 농도

10

Lined Diaphragm Valve

산성유체에 사용하기 위한 밸브로서, 밸브내부를 내산 재질로 라이닝하고 탄력성이 있는 다이어프램을 사용하여 유체를 개폐하는 밸브



I. 사고개요

2013. 01. 28(월) 7:50분경 경기도 화성소재 00전자(주)의 케미컬 공급실에서 50% 불산탱크 하부 밸브에 대한 누출 방지조치 작업을 하던 ○○○서비스(주) 소속 야간작업자 4명과 누출방지조치를 위해 긴급 투입된 작업자 1명이 누출된 불산흠에 노출되어 그 중 1명이 치료 중 사망하고, 4명이 경상을 입은 사고가 발생하였다.



[사진 1] 누출이 발생한 불산탱크 하부 모습

- ○○전자(주)는 각종 산(Acid), 알칼리, 유기용제, 인화성·독성 특수가스 등을 사용하여 웨이퍼를 가공, 반도체를 대규모로 생산하는 사업장으로서, 불산은 50% 용액을 외부로부터 반입하여 옥외원료탱크에 저장한 후 각 제조공장의 산 공급실에 설치된 서비스탱크를 거쳐 각 FAB내 생산라인에 공급하고 있다.
- 불산은 부식능력이 우수하여 웨이퍼의 가공에 필수적으로 사용되지만, 독성이 높아 불산에 노출되면 세포의 괴사 등으로 아주 높은 위해가 가해질 수 있기 때문에 급성독성물질로 분류되어 있다.
- 이 사고에서는 서비스탱크로 부터 반도체 생산공정으로 연결되는 밸브에서 불산이 누출되고 있는 상황 중, 불산을 차단하기 위한 보수작업이 무리하게 장시간 이루어져 작업자가 불산노출로 사망에 이르게 되었으며, 누출예방관리, 보수작업안전관리, 비상대응조치에 대해 많은 문제점이 도출되었다. 이 사고로 인하여 많은 국민과 근로자들이 불산의 위험성을 다시 한번 인식하게 되었다.

II. 사업장 현황

○○전자(주)는 근로자수 약 12,000명의 대규모 사업장으로 사고가 발생한 공장은 2003년부터 메모리 반도체를 생산해 왔으며, 사고가 발생한 공정인 케미컬 원료공급업무는 ○○○서비스(주)에서 하청받아 주야간 3교대로 업무를 수행하고 있다.



[사진 2] 사고발생 케미컬 공급실

1 시설현황

케미컬 공급 공정

사고가 발생한 케미컬 공급실에는 화학물질을 공급하기 위한 공급 유니트(Unit)가 물질별로 설치되어 있으며, 옥외의 물질별 저장탱크로부터 각 물질별 공급 유니트의 서비스탱크(A/B)로 물질이 회분식 형식으로 이송되고, 공급 유니트에서는 이를 반도체 제조공정에 연속적으로 공급하는 방식으로 운영되고 있다.

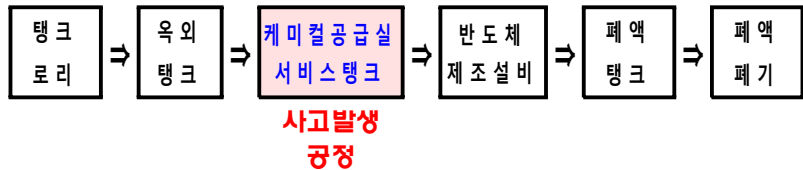


[사진 3] 불산탱크 (공급유니트 뒤쪽)

2 사고과정

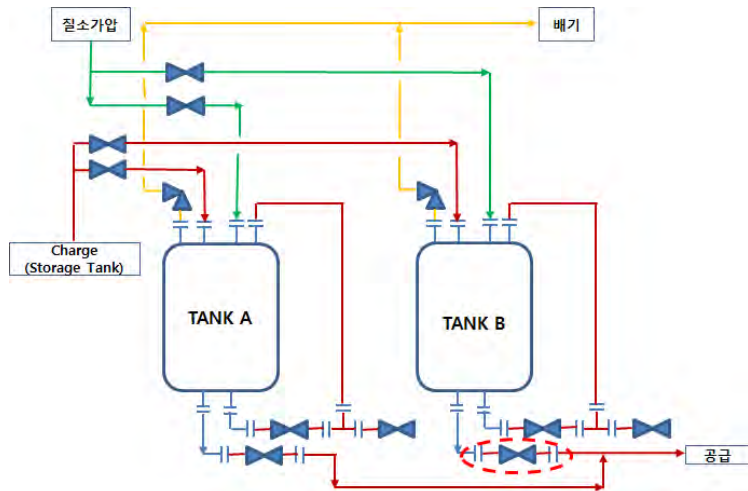
불산의 공급 및 사용

누출이 발생한 불산은 반도체용 웨이퍼의 에칭공정 등에 주로 사용되는 물질로서 다음 과정을 거쳐 반입 및 사용된다.



1) 불산입고 및 공급

불산공급업체에서 공급되는 불산 희석액을 탱크로리로 반입하여 옥외저장탱크에 저장한다. 옥외저장탱크에 저장된 불산은 이송펌프를 사용하여 케미컬 공급실의 소형 불산저장탱크에 저장된 후 다시 질소압력(5kg/cm²)을 사용하여 반도체 생산설비에 공급된다.



[그림 1] 불산공급설비 공정도

2) 불산공급 서비스탱크(사고발생 공정)

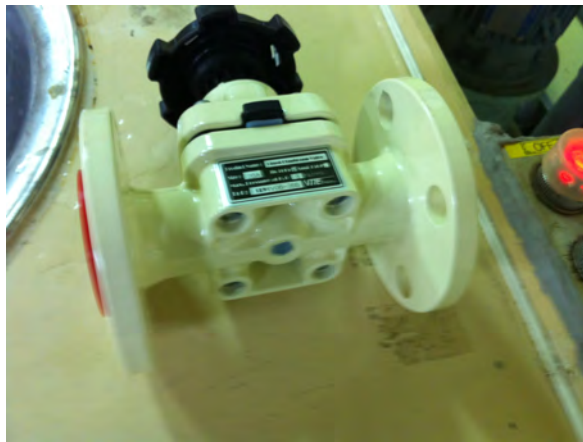
- 용도 : 불산을 생산설비에 공급하기 위한 중간저장용기
- 용량 : 0.5 m³
- 내경 : 800 mm
- 재질 : 스테인레스(내부라이닝)
- 제작년도 : 2000년 11월
- 안전장치
 - 레벨경보기
 - 안전밸브
 - 외부누출감지기(바닥에 설치)



[사진 4] 불산공급 서비스 탱크

3) 차단밸브(Block Valve)

- 형 식 : Lined Diaphragm Valve
- 크 기 : 20A
- 설치위치 : 서비스탱크로 부터의 불산 배출배관 첫부분
- 용 도 : 서비스탱크로 부터의 불산공급차단 및 설비 보수 시 배관과 저장탱크의 분리



[사진 5] 불산공급 차단밸브

4) 불산공급방식

서비스탱크의 level low시 외부 저장탱크로 부터의 이송 펌프가 가동되어 level high까지 공급탱크를 채운다.

서비스탱크에 질소를 가압, 가압된 힘으로 탱크하단에 연결된 배관을 통하여 상부층 반도체 제조공정으로 공급한다.

서비스탱크는 2기가 설치되어 한 탱크가 불산을 제조공정에 공급 시, 다른 한 탱크는 불산을 저장탱크로부터 공급받아 교대로 사용하는 dual control 개념으로 문제 발생 시 서비스 탱크를 교체할 수 있다.

III. 사고분석



1) 사고발생 전(차단밸브 교체단계)

사고발생 전일 13:00경 케미컬 공급유닛 내 50% 불산 수용액 공급 서비스탱크 토출측 배관에 부착된 밸브의 본체와 상부 본넷(Bonnet)사이 시트가 파손되어 소량씩(방울형태) 누출되는 것이 목격되었으며, 현장작업자가 밸브본체 조립 나사를 조임.

사고발생 전일 14:10경 밸브본체와 상부 본넷(Bonnet) 사이의 나사조임작업을 재차 실시하였으나, 지속적으로 누출됨. (작업자는 내산용 가운, 방독면, 내산장갑 착용)

조임 작업에도 누출이 지속되어 사고전일 23:00분경에 밸브 교체 작업 준비를 위해 새로운 밸브를 가지고 들어감.

작업자 3명이 밸브교체작업에 투입되어, 사고당일 00:38분 경까지 밸브교체 작업을 완료한 후, 교체된 밸브를 가지고 나옴.(작업자는 내산가운, 방독면, 내산장갑 착용)

2) 사고발생 시점(배관/밸브 플랜지에서 대량누출)

밸브교체 후 반도체 제조공정으로 불산을 공급하기 위해 서비스탱크에 가압을 하자 밸브플랜지로부터 불산누출이 시작되어 03:45경에는 CC-TV 화면상 흰색 흠이 보일 정도의 농도로 불산흠이 실내에 채류하게 되었음.

작업자들이 비닐봉지, 흡착포 등을 사용하여 밸브를 둘러싸는 방법으로 누출 및 비산방지작업을 지속함.

밸브와 플랜지 연결부위에서의 누출이 지속되자 사고당일 04:30분경부터 05:00경까지 작업자 3명이 재투입되어 누출 및 비산방지 작업을 실시함.(1명은 일반 복장 및 신발에 방독면, 1명은 내산복 및 방독면, 1명은 내산복 및 송기마스크 착용)



[사진 6] 불산수용액 누출부위

3) 사고발생 후(불산증기 배출 및 환자이송)

- 06:00시 경 : 소형 이동식 송풍기를 설치하여 흡을 실 밖으로 송풍을 함.
- 07:00시 경 : 대형 송풍기를 설치하여 흡을 배출
- 07:30시 경 : 작업에 참여한 직원 5명이 흡 노출로 인한 통증을 호소하여 인근병원 후송
- 10:00시 경 : 후송자중 중상자는 서울소재 병원으로 이송
- 13:00시 경 : 사망자 발생

2 사고발생 원인추정

1) 50% 불산의 독성 및 급성독성물질 여부

불산(50%)의 독성은 인체 유입되는 경로가 다르기는 하나 불화수소와 유사한 독성을 가진다.

- 흡상태로 누출될 경우 호흡기 흡입은 물론 피부를 통한 흡수 위험성이 높아진다.
- 피부에 흡수되면 빠르게 이온화되어 혈관계를 통하여 퍼짐으로 인체에 전반적인 장애를 초래하며, 작은 면적의 피부노출에도 사망할 수 있는 것으로 MSDS 및 연구 자료에 조사되었다.

산안법의 화학물질분류 중 물질자체의 독성이 높은 물질은 급성독성물질로 분류하고 있으며, 사고사업장에 불산을 공급한 제조자의 MSDS 기준에 따르면 공급물질의 LC₅₀(쥐, 4시간 흡입)은 0.1975 mg/ℓ에 해당되어 급성독성물질로 분류된다.

급성독성물질

산업안전보건법 안전보건규칙 별표1 위험물질의 종류

7. 급성독성물질

- 가스 LC₅₀(쥐, 4시간 흡입)이 2,500 ppm이하인 화학물질
- 증기 LC₅₀(쥐, 4시간 흡입)이 10 mg/ℓ 이하인 화학물질
- 분진 또는 미스트 LC₅₀(쥐, 4시간 흡입)이 1 mg/ℓ 이하인 화학물질

2) 사고발생시 추정 불산농도 및 Toxic Load

사업장 관계자 진술과 CC-TV 화면상으로 판단할 때 밸브 및 플랜지 부위에서 누출이 지속됨에도 불구하고, 서비스 탱크와 불산배관에 고압(5 kg/cm²)을 유지하였으며, 누출부위가 지속적으로 확대되고 육안으로도 흡을 확인할 수 있을 정도로 누출이 확대되어 실내에 확산되었다.

사고 후 물청소가 이루어지고 나서도 상당한 시간이 지난 19시경 실시된 환경청의 현장주위 불산농도측정결과 누출원으로부터 10 cm 거리에서 작업 중 절대 넘지 않아야 하는 Ceiling 농도값과 동일한 수치인 3 ppm의 불산이 검지되었다.

따라서 누출 당시 현장에는 상당히 높은 농도가 형성되었고, 총 3시간 가까운 작업자의 작업시간을 고려할 때 작업자가 사망에 이를 수 있는 독성에 노출되었을 것으로 추정할 수 있다.

불산비상대응 관련 허용농도

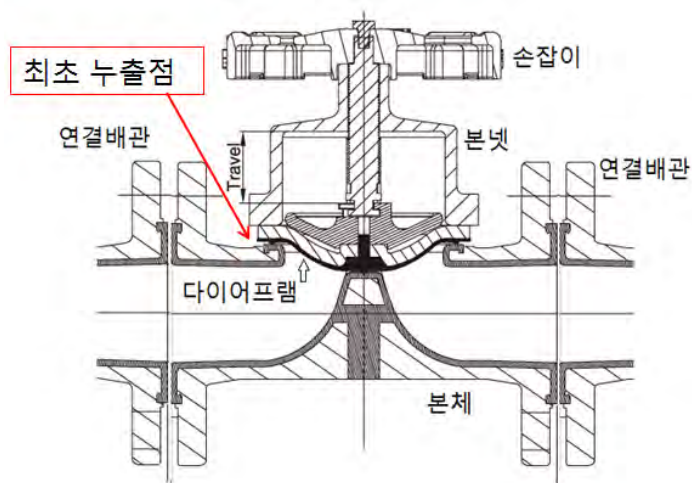
- TLV-TWA(8시간 작업중 평균 허용치) : 3 ppm
- LC₅₀ 1시간 rat(1시간 노출시 50%의 사망확률) : 1278 ppm
- ※ 참고 : 불화수소의 비상대응 관련수치
- ERPG 1(1시간 노출에도 건강상 영향이 없는 최고치) : 2 ppm
- ERPG 2(1시간 노출에도 심각한 건강영향이 없는 최고치) : 20 ppm
- ERPG 3(1시간 노출에도 생명위험이 없는 최고치) : 50 ppm

3) 설비적인 측면

(1) 밸브몸체에서의 누출발생(최초 누출)

사고의 단초가 된 차단밸브는 배관에 설치되어 불산의 공급을 차단하는 역할을 하는 밸브로서 구조상, 상부 본넷(Bonnet)과 하부 몸체가 결합되는 부분에 취급물질의 누출 방지를 위한 가스켓이 설치되어 있으며, 가스켓의 불량 또는 노후화 등의 이유로 밸브로부터 누출이 발생하였다.

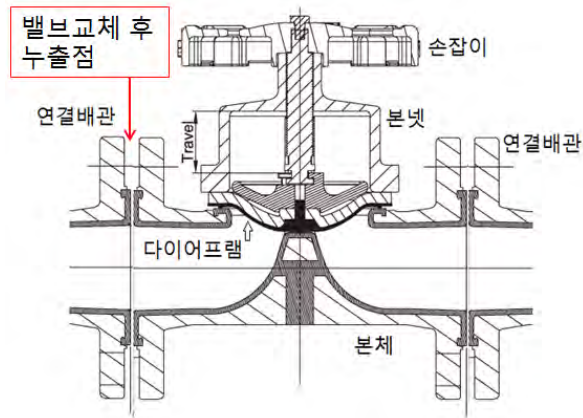
회사의 차단밸브에 대한 유지관리는 고장이 발생하면 교체하는 방식을 사용하고 있으며, 밸브의 신뢰성을 바탕으로 수명을 예측하여 사전 정비하거나 교체하는 프로그램은 적용하지 않고 있었다.



[그림 2] 밸브의 최초 누출지점

(2) 차단밸브와 배관 연결부위에서의 누출발생

차단밸브의 불량에 따라 신규 차단밸브로 교체함에 있어 차단밸브와 배관을 연결하기 위한 플랜지에 가스켓이 설치되나 이 가스켓의 누출방지 기능이 충분하지 않았으며, 교체 후 불산공급을 위한 압력이 배관에 가해짐에 따라 플랜지 사이의 틈을 통하여 고압상태의 불산이 실내로 누출되게 되었다.



[그림 3] 밸브의 2차 누출지점

(3) 차단밸브와 배관 연결부위 사이의 가스켓 문제

밸브와 배관사이를 연결하는 플랜지 가스켓으로부터의 누출방지를 위해서는 적정 재질의 가스켓선정, 가스켓 재사용의 금지, 플랜지 조임 시 적정한 규정토크의 조임력 적용, 배관-밸브-배관간 축정렬 확보 등이 필요하나, 이러한 적정성을 파악하기 위한 내부절차나 실시여부의 파악이 곤란하였다.

이러한 누출방지관리상의 불확실성이 플랜지 가스켓으로부터의 누출을 충분히 방지하지 못한 요인으로 사료된다.

4) 인적인 측면

(1) 급박한 위험에 있어 작업과 공정 중단조치 미 실시

급성독성물질인 불산의 누출 및 실내농도증가로 실내에 산업재해가 발생할 급박한 위험이 발생하였으나, 불산의 공급을 지속할 목적으로 서비스탱크에 대한 가압을 중단하지 않은 상태에서 보수작업이 장시간 계속되었다.

(2) 누출 사고 시 근로자를 대피시키지 않았다.

불산은 급성독성물질이자, 관리대상유해물질로서 불산이 지속적으로 누출되고, 이로 인한 중독의 우려가 있는데도 작업 근로자를 대피시키지 않았다.

(3) 안전작업절차를 지키지 않았다.

불산 서비스탱크 2대 중 1대는 공급하고 1대는 대기하는 방식이므로, 누출되는 탱크측의 불산을 모두 제거하고 안전한 상태에서 수리 작업을 할 수 있었으나 그렇게 하지 않았다.

불산 탱크 수리 시 탱크내부 잔류 불산 제거를 할 수 있도록 별도의 밸브가 하부에 설치되어 있음에도 이를 사용하지 않았고, 탱크 내 불산이 공정에서 소진될 때까지 탱크를 가압하였다.

밸브교체작업 후 재사용하기 전에 배관과 밸브의 이상 유무를 확인하기 위한 누설시험을 실시하지 않았다.

불산누출감지 및 경보설비가 설치되어 있음에도 경보가 무시되고 그 기능이 활용되지 않았다.

5) 관리적인 측면

(1) 도급작업에 대한 원청업체의 관리감독 소홀

원청업체에서는 급성독성물질인 50%불산의 공급업무를 별도 분리하여 사고발생업체에 도급을 준 상태로 운영하고 있었으며, 다량의 불산이 누출되고 있음에도 불구하고 관리감독을 통한 작업 및 운전의 중지, 근로자 대피, 출입통제, 보호구 착용 등의 안전보건조치를 충분히 하지 않아 하청업체의 근로자가 상당기간 위협에 노출되게 되었다.

(2) 화학설비 개조·수리 작업 시 작업책임자 미지정

불산 공급탱크 등 화학설비의 개조·수리 작업 시에는 작업지휘자를 지정하여 해당 작업을 지휘하도록 하여야 하나, 작업지휘자를 지정하지 않아 누출개소의 보수작업, 적정 보호구 착용 등이 체계적으로 이루어지지 않았다.

(3) 관리대상 유해물질의 신속한 누출방지조치 미실시

불산 등 관리대상 유해물질 취급설비의 뚜껑·플랜지(flange)·밸브 및 콕(cock) 등의 접합부에서 유해물질의 누출을 방지하기 위한 밸브교체 및 적정 가스켓의 사용 등 필요한 조치를 신속하게 실시하지 않아 누출량이 많아지고, 위험한 상황이 지속되게 되었다.

(4) 불산 취급 근로자에 대한 보호장구 미지급 및 미착용

관리대상물질 중 산류인 불산을 취급하는 경우 내산성의 적합한 불침투성 보호복, 보호장갑 및 보호장화를 갖추고 착용하여야 하나 적정한 보호장구를 지급 및 착용하지 않은 상태에서 불산이 누출되는 작업장소에 출입하였다.

수거보호복 적합성검토결과(안전보건연구원)

- 보호복 및 안전장갑(보호장갑)은 유기화합물에 대한 보호복 및 안전장갑으로 안전인증을 받았지만 산성에 대한 부가성능시험을 받지 않은 것으로서 “적합하지 않은 보호구 사용”으로 조사됨.
- 방독마스크는 안전인증 받은 제품으로 정화통에 대한 파과시험결과 정화통은 사용하지 않은 것과 동일한 성능이 유지되는 것으로 판명되었으나 정화통 외부측면에 복합용으로 색상표시를 미준수한 상태였음.

(5) 불산 실내누출에 대비한 정량적 위험성평가 미 실시

고압이 인가된 불산배관에서의 플랜지 가스켓 손상으로 누출이 발생하는 경우에서의 실내체류농도 예측을 위한 정량적인 위험성평가가 사전에 실시되지 않아, 실제 누출상황에서의 정확한 위험성을 제대로 인식할 수 없었으며, 위험이 높은 상태에서 불안정한 작업을 추진하게 되었다.

(6) 비상조치계획 미작동

불산의 누출에 따른 정량적 위험성평가가 실시되지 않음에 따라 누출 상황별 위험성, 공정중단 필요여부, 비상정지절차, 비상대피 등 적절한 비상조치계획이 불비되어 사고발생시 작동되지 않았다.

IV. 사고발생 원인

원인 1

공정이 가동되는 상태에서 유지보수가 실시되었다.

급성독성물질을 취급하는 공정이 가동되는 상태에서 밸브의 유지·보수가 실시되어 독성물질의 누출과 이로 인한 작업자들의 중독 위험성을 근본적으로 통제할 수 없었다.

원인 2

가스켓이 불량한 상태의 밸브가 사용되었다.

불산 등 부식성 물질을 취급하는 설비에 사용되는 차단밸브의 가스켓이 불량한 상태에서 사용되어 밸브 몸체로부터 누출이 발생하였다.

원인 3

차단밸브와 배관연결을 위한 플랜지가스켓이 불량하였다.

차단밸브의 교체 시 밸브와 배관사이에 설치된 가스켓이 불량한 상태로 설치되어 완벽한 실링이 이루어지지 않음에 따라 고압의 불산이 실내로 누출되게 되었다.

원인 4

보수교체 작업 시 안전작업절차를 준수하지 않았다.

불산누출감지기의 경보기능이 무시되었으며, 탱크 내에 있는 불산을 사전에 완전히 비우지 않은 상태에서 보수작업을 실시하고, 밸브교체 후 누설시험을 실시하지 않는 등 안전작업절차가 불완전하거나 지켜지지 않았다. 또한 Dual 탱크 시스템으로서 안전하게 작업할 수 있었음에도 원료의 절감 등의 이유로 시도되지 않았다.

원인 5

유해물질 누출 사고 시 근로자를 대피시키지 않았다.

관리대상 유해물질인 불산의 취급에 있어 중독이 발생할 우려가 있었으나 근로자를 그 장소에서 대피시키지 않았다.

원인 6**급박한 위험에도 작업중지가 이루어지지 않았다.**

독성물질인 불산의 누출로 불산공급실내에 산업재해가 발생할 급박한 위험이 있었으나 불산 서비스탱크의 압력 해소와 공정중단을 실시하지 않았다.

원인 7**도급사업자에 대한 안전보건 조치가 소홀하였다.**

급성독성물질(HF 50%)의 공급업무를 도급에 있어 위험 상황 시 작업중지, 근로자대피, 출입통제, 적정보호구 착용 등의 안전보건 관리감독조치를 적절히 취하지 않았다.

원인 8**화학설비 수리시의 작업책임자를 지정하지 않았다.**

불산 공급탱크 등 화학설비의 개조·수리 작업에 있어 작업 지휘자를 지정하지 않아 누출개소의 보수작업, 적정 보호구 착용 등이 체계적으로 이루어지지 않았다.

원인 9**적합한 보호구 및 보호복을 착용하지 않았다.**

불산에 적합한 보호복, 보호장갑 및 보호장화를 착용하지 않고 작업장소에 출입하였다.

원인 10**불산누출에 대한 정량적 위험성평가를 실시하지 않았다.**

불산누출에 대한 피해예측 위험성평가가 이루어지지 않아 실제 누출상황에서의 위험을 제대로 인식하기 어려웠다.

원인 11**구체적인 비상조치계획이 가동되지 않았다.**

불산 누출 상황에서의 예상 누출농도를 근거로 하여 필요한 공정중단 필요여부, 비상정지절차, 비상대피 등 적절한 비상 조치계획이 사전에 준비되지 않았다.

V. 중중사고 예방대책

대책 1

공정 가동상태에서의 유자보수 작업금지

화학공정의 가동상태에서는 에너지와 물질로 인한 사고의 위험이 상존하기 때문에 공정이 중단되고, 에너지 및 위험 물질이 배출된 안전한 상태에서만 유지·보수가 이루어져야 한다. 또한 더 안전한 작업방법이 있을 경우 이를 선택하여야 하며, 위험을 인식하고, 이러한 판단을 할 수 있는 전문기술이 필요하다.

대책 2

화학설비의 예방정비 실시

독성물질을 취급하는 화학설비에 부착된 밸브 등 부품을 다량으로 사용할 경우, 예방정비를 통한 설비의 신뢰성을 확보하여 누출사고가 발생하지 않도록 하여야 한다.

대책 3

화학설비 가스켓 교체 시 안전작업절차 준수

화학설비용 가스켓은 물질과 공정에 적합한 사양으로 선정하되, 사용 후 교체 시 폐기, 적절한 조임력 사용, 교체 후 누설시험, 작업 시 착용할 보호구 등 안전보건에 필요한 내용의 절차가 마련되고, 교육되어 준수되어야 한다.

대책 4

누출감지 경보설비 설치 및 기능유지

불산 등 독성물질을 취급할 경우 누출을 감지하고 경보하는 설비를 설치하되 그 기능은 상시 유지되도록 관리하여야 하며, 가능한 이송펌프 및 차단밸브와 연동되어 누출 시 자동으로 공급과 누출이 차단되도록 하여야 한다.

대책 5**원청 및 협력업체간 비상 시 신속한 비상조치를 위한 체계 확립**

위험물질을 제조하거나 취급하는 장소의 시설 보수·유지·관리과정에서 이상이 발생하거나 급박한 산재발생위험이 있을 경우에 대비하여 원청 및 협력업체간 비상조치체계가 구성 되어 운영되어야 한다.

대책 6**급박한 산재발생위험시 작업중단 및 예방조치**

독성물질 누출 등 중대한 위험이 있을 경우 즉시 작업을 중지하고 관계근로자를 안전한 곳으로 대피시키는 한편, 추가 누출방지 등의 피해 확대 방지대책을 신속히 이행하여야 한다.

대책 7**화학설비의 개조·수리 작업 시의 작업책임자 지정**

불산 공급탱크 등 화학설비의 개조·수리 작업 시 작업 지휘자를 지정하여 안전한 작업조치가 체계적으로 이루어지도록 하여야 한다.

대책 8**불산 취급에 적절한 보호구, 보호복 착용**

화학물질 취급 시 물질과 작업특성을 고려하여 적합한 보호구 및 보호복을 착용하고 작업을 하도록 한다.

불산취급 작업별 적정 보호구 적용(예)

작업형태	보호구							
	보안경	안전화	화학 장갑	화학 장화	화학 앞치마	전면 마스크	전면 방호복	공기 호흡기
탱크로딩			○	○	○	○		
제어반 조작	○	○	(○)					
용기 교체 및 배관조작			○	○	○	○		
설비정비			○	○	○	○	(○)	
비상차단 및 사고대응			○	○			○	○

※ 상황에 따라 관리감독자 책임 하에 조정할 수 있다.

대책 9

불산누출에 따른 실내농도 위험성평가 실시

불산과 같은 독성물질 취급 사업장은 누출로 인한 예상 농도를 어느 정도 미리 예측하고 그 위험성을 정확히 이해하여 대응하는 것이 바람직하다.

누출사고 시나리오는 가장 위험한 조건으로 누출될 수 있는 최악의 사고시나리오 및 발생가능성이 높은 사고 시나리오로 구분하여 누출량과 실내농도를 평가한다.

평가된 예상실내 농도는 TWA, STEL, C 값 등 관련된 법적 규제치나 IDLH, ERPG, LC₅₀ 등 비상대응과 관련된 값과 비교 검토하여 누출로 인한 실제 위험을 인식하도록 하고 적정 대피시간의 설정 등을 비상조치계획에 반영하여야 한다.

대책 10

구체적인 비상조치계획 수립 및 대응능력 강화

누출농도평가 결과에 따라 누출 상황별로 작업자 보호조치, 공정중단 필요여부, 비상정지절차, 비상대피 등 적절한 비상조치계획을 수립하고 정기적으로 훈련하여야 한다.

- (1) 비상 시 대피절차와 비상대피로의 지정
- (2) 대피 전 공정설비에 대한 안전조치 절차
- (3) 비상대피 후의 전 직원이 취해야 할 임무와 절차
- (4) 피해자에 대한 구조응급조치 절차
- (5) 내·외부와의 통신 체계 및 방법
- (6) 비상조치 시의 총괄부서 및 조직
- (7) 사고발생 및 비상대피 시 보호구 착용지침
- (8) 주민홍보계획
- (9) 외부기관과의 협력체제

대책 11

관리감독자의 안전보건 역할 강화

관리감독자는 현장에 대한 책임자로서 현장 안전보건확보의 책임을 갖고 있으므로 물질의 안전보건자료(MSDS)를 토대로 정확한 위험성과 안전취급방법을 근로자가 이해하도록 하고, 이행여부를 확인하며, 만일의 사고시 안전한 대피와 조치가 이루어지도록 충분한 역할과 의무가 주어져야 한다.

산업안전보건법에서 정하는 관리감독자의 업무

- | | |
|---|---|
| | 사업장 내 관리감독자가 지휘·감독하는 작업(이하 이 조에서 |
| 1 | “당해 작업”이라 한다)과 관련되는 기계·기구 또는 설비의 안전·보건점검 및 이상유무의 확인 |
| 2 | 관리감독자에게 소속된 근로자의 작업복·보호구 및 방호 장치의 점검과 그 착용·사용에 관한 교육·지도 |
| 3 | 당해 작업에서 발생한 산업재해에 관한 보고 및 이에 대한 응급조치 |
| 4 | 당해 작업의 작업장의 정리정돈 및 통로확보의 확인·감독 |
| 5 | 당해 사업장의 산업보건의·안전관리자(법 제15조 제4항의 규정에 의하여 안전관리자의 업무를 안전관리대행기관에 위탁한 사업장의 경우에는 그 대행기관의 당해 사업장 담당자) 및 보건관리자(법 제16조 제3항의 규정에 의하여 보건관리자의 업무를 보건관리대행기관에 위탁한 사업장의 경우에는 그 대행기관의 당해 사업장 담당자)의 지도·조언에 대한 협조 |
| 6 | 기타 당해 작업의 안전·보건에 관한 사항으로서 노동부장관이 정하는 사항 |

VI. 사고로부터 얻는 교훈

작업자 사망 1명, 입원치료 4명 등 인사사고와 큰 사회적 물의를 일으킨 이 사고는 소량의 급성독성물질 누출로 부터 시작되었다. 평상시 예방정비가 소홀하였고, 정비작업근로자도 적정보호구의 착용 및 표준 안전 작업절차를 준수하지 않았다. 급성독성물질의 취급에 있어 소량의 누출에도 인적, 환경적 피해가 얼마나 크고, 기본적인 안전절차 및 수칙의 준수가 얼마나 중요한지 잘 보여주는 사례라 할 수 있다.

교훈 1

화학설비의 누출사고는 예방이 첫째다.

유해위험물질을 취급하는 화학설비는 화재, 폭발, 누출사고의 잠재위험을 항상 갖고 있다. 사고의 대응도 중요하지만 가장 좋은 방법은 사고가 나지 않도록 예방하는 것이라고 할 수 있다. 이를 위해서는 **철저한 예방정비와 점검**이 필요하며, 주요설비 및 부품에 대한 이력관리, 위험에 근거한 계획적인 점검정비를 하도록 체계적으로 관리하는 것이 필요하다.

교훈 2

위험을 볼 수 있는 기술과 좋은 안전작업절차가 필요하다.

사고 발생 불산 서비스탱크는 Dual 타입으로서, 사고 후 하나의 서비스탱크만으로 공정운전이 이루어진 것으로 보아, 사고당시에도 문제가 발생한 탱크의 인입측을 차단하고 내용물을 완전히 배출한 뒤 안전한 상태에서 작업을 할 수 있었음에도 시도되지 않았다. 원료의 손실보다 안전을 우선하는 개념뿐만 아니라, **위험과 안전을 파악할 수 있는 충분한 공정안전기술**이 필요하며, 이러한 기술이 반영된 안전 작업절차가 미리 마련되어 교육되어야 한다.

교훈 3**취급사용하고 있는 화학물질의 성상에 대한 철저한 이해가 필요하다.**

본 사고조사에 있어 불산이 그렇게 위험한지 몰랐다는 반응이 의외로 적지 않았다. 공정 내에서 취급·사용하고 있는 유해위험물질의 성상에 대한 이해부족이 여러 측면에서 소홀함을 초래했다고 사료된다. 관계자 모두에 대해 물질의 유해·위험성과 취급방법 뿐만 아니라, 물질안전자료를 이해하는 방법에 대해서도 충분한 교육이 필요하다.

교훈 4**정량적인 피해예측 평가가 필요하다.**

급성독성물질 누출과 같은 특별한 사고로 인한 위험은 실제 상황을 보고 판단할 사항이 아니라 사전에 미리 알고 있는 것이 필요하다. 사전에 정량적인 위험성평가를 통하여 공정한 운전 조건과 최악의 조건에서 어느 정도의 누출이 발생하고, 어느 정도의 위험이 초래될 수 있다는 것이 미리 파악되어야 실제 상황에서 대응이 가능해진다. 화학물질의 운전조건 및 환기조건에 따라 유해위험물질이 취급되는 공간 내에서의 위험성은 각각 다르므로 이러한 위험은 작업공간별로 검토되어야 한다.

교훈 5**구체적인 비상대응 계획이 필요하다.**

사고가 나면 조치한다는 방식의 계획으로는 실제의 다양한 상황에 대처할 수 없다. 시나리오별 정량적인 위험성평가 결과에 따른 구체적인 비상대응조치, 예를 들면, 수준별 경보발령, 공정중단범위의 결정, 개인보호 수준의 결정, 피해 감소를 위한 조치방법의 결정 등이 준비되고 훈련되어 실제 사고 시에 적용되어야 한다.

교훈 6

관리감독자의 책임과 역할 강화가 필요하다.

관리감독자나 공장장은 생산뿐만 아니라 근로자의 안전보건을 위하여 존재한다는 것이 다시 한번 강조되어야 한다. 생산을 지속하기 위해 공정을 중단하지 않고 위험물 누출을 감수하는 상황은 되풀이되지 않아야 하며, 이러한 문화의 개선은 단지 구호로서 되는 것이 아니라 최고 경영자가 여러 가지 방법으로 실천할 때에 비로소 개선될 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

교훈 7

안전수칙을 준수하는 안전문화의 정착이 필요하다.

대부분 규모가 큰 공장의 경우 공장 내에 여러 회사소속의 관계자가 혼재되어 근무하는 것이 현실이다. 이러한 상황에서 사고가 발생하지 않기 위해서는 자신의 안전뿐만 아니라 타인의 안전까지 고려하고, 원청과 협력업체 관계자 모두가 안전수칙의 준수, 안전점검과 보호구착용을 생활화하는 안전문화의 정착이 절실히 필요하다.

교훈 8

사고원인의 철저한 조사는 재발방지에 필수적이다.

본 사고발생 몇 달 후 해당 작업장에서 또다시 불산배관 작업 중 유사 누출사고가 발생한 바, 화학사고가 발생하였을 때 향후의 사고재발방지를 위해서는 사업장 자체적으로 기술적인 문제는 물론 관리적인 문제점 등 전반적인 안전보건시스템에 대한 근원적이고 체계적인 조사를 통한 개선대책수립의 필요성이 인식되었다.

VII. 유사 사고사례 및 관련기준

사고사례 1

반도체 부품제조공정의 불산누출 및 화상

발생일시	2013.01.15
사고장소	청주시 ○○공장
피해상황	■ 근로자가 불산이 포함된 혼산탱크 상부에 올라가서 액면계의 오작동을 점검 후 내려오던 중 2 m 정도의 높이에서 미끄러지며 혼산배관 위로 떨어짐 ■ 배관에 충격이 가해져 혼산 약 1,500 ℓ 가 유출됨
피해상황	■ 인명 피해: 작업자 1명 안면부 일부 화상 ■ 물적 피해: 불산배관 일부 파손
사고원인	■ 안전작업 발판 미확보 ■ 배관보호조치 미흡

사고사례 2

알루미늄 용접 보조재 공장의 불산배관의 파손 및 누출

발생일시	2013.05.06
사고장소	경기도 시흥시 정왕동 (주)○○○
피해상황	■ 사업장 내 옥외저장탱크(불산 55 %, 20 톤)로부터 3층 제조실에 설치된 중간저장조(600 ℓ)로 불산을 이송하던 중 배관연결부 플랜지에서 불산이 누출(약 100 ℓ 추정)
피해상황	■ 없음
사고원인	■ 정비보수 불량

사고사례 3

미국 석유화학공장 불산배관 플랜지로 부터 누출

발생일시	2012.03.27
사고장소	미국 휴스턴 BP
피해상황	- 알킬공정에서 최초 다른 사고의 영향에 따른 충격으로 플랜지의 결함이 시작됨. - 볼트의 조임을 실시하였으나 점차 누출량이 많아짐.
피해상황	5 %의 불산이 포함된 탄화수소물 200내지 350 kg 누출
사고원인	최초 누출발생시 완전한 보수가 시도되지 않음.

사고사례 4

호주 대학실험실 실험 중 불산용기 전도 및 화상으로 사망

발생일시	1994.11.12
사고장소	호주 모 대학 실험실
피해상황	- 시험원이 실수로 70 % 불산 100 ml 저장용기를 넘어트리면서 불산에 접촉함. 사고 즉시 풀장으로 뛰어 들어 앰블런스에 구조될때까지 체류함. - 전체적으로 신체 중 10 %의 면적이 노출됨.
피해상황	구조될때에는 독성 쇼크로 의식을 잃었으며 1주일 후 다리를 절단해야 했고, 2주후 사망함
사고원인	인적오류

참고문헌

1. 산업안전보건법. 고용노동부 ; 2013
2. 불산 물질안전보건자료 : 한국산업안전보건공단 및 FECT(주)
- 3) 화학물질의 분류·표시 및 물질안전기준에 관한 기준 고시 (2013-37호). 고용노동부 ; 2013
- 4) 보호구 의무안전인증 고시(2012-83호). 고용노동부 ; 2012
- 5) KOSHA Guide P-21-2010 『불산취급공정의 안전에 관한 기술지침』 한국산업안전보건공단 ; 2010
- 6) NFPA 704 Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response

□ 작 성

- 박승규 (안전보건공단 중대산업사고예방실)
- 설문수 (안전보건공단 중대산업사고예방실)
- 마병철 (안전보건공단 중대산업사고예방실)
- 이형섭 (안전보건공단 수도권 중방센터)

□ 검 토

- 조경식 (한국기계연구원 센터장, 안전보건공단 사고조사위원)
- 김기영 (안전전문기관협의회 전문위원, 안전보건공단 사고조사위원)
- 강준구 (한국산업기술시험원 센터장, 안전보건공단 사고조사위원)
- 이신재 (안전보건공단 기술이사)
- 이충호 (안전보건공단 중대산업사고예방실 실장)

『반도체공장 불산 누출사고』 사고사례 연구

2013-중대산업-555

발 행 일 : 2013년 9월 일

발 행 인 : 한국산업안전보건공단 이사장 백 헌 기

발 행 처 : 한국산업안전보건공단 중대산업사고예방실

주 소 : 인천광역시 부평구 무네미로 478

전 화 : (032) 510-0848

F A X : (032) 512-8315

Homepage : <http://www.kosha.or.kr>

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함

