조심조심 코리아

불화수소 누출사고 사례연구

KEY POINT
- 작업안전수칙
- 조작밸브
- 보호구 착용
- 비상조치계획

산업재해예방
안전보건공단
인천광역시 부평구 무네미로 478(구산동)
대표전화 : 032-5100-500 www.kosha.or.kr

산업재해예방
안전보건공단

Contents

Ⅰ. 사고개요 02

Ⅱ. 사업장 현황 05

Ⅲ. 사고발생 원인추정 10

Ⅳ. 사고발생 원인 18

Ⅴ. 동종사고 예방대책 20

Ⅵ. 사고로부터 얻는 교훈 25

Ⅶ. 참고자료 27

본 사고사례 연구는 안전보건 관계자 교육용으로 제작된 자료로 사고발생원인 및 원인추정 과정이 사실과 다를 수 있으며, 사고와 관련한 민형사상 판단근거로 삼을 수 없음을 알려드립니다.

I 사고개요

본 사고사례 연구는 2012년 9월 27일 오후 3시 35분경 경북 구미시 소재 (주)○○글로벌 구미공장에서 불화수소가 누출되어 5명이 사망하고 인근 지역의 환경에 심각한 영향을 끼친 사고를 대상으로 하였다.

(주)○○글로벌 구미공장은 공정안전관리 대상에서 제외되어 있던 사업장으로 중국에서 생산된 불화수소(100%)를 탱크 컨테이너(Tank Container)에 저장시켜 국내에 반입한 후 물과 희석시켜 불산을 생산 · 공급하는 중소기업이다.

탱크 컨테이너에서 생산설비로 불화수소를 이송하기 위하여 밸브를 연결하는 작업 중 불화수소가 누출되었고, 그로 인하여 현장에서 작업 중이던 4명의 근로자와 펌프수리업체 직원 1명이 사망하였다. 탱크 컨테이너에서 계속 누출된 불화수소는 인근 사업장과 지역주민, 사고를 수습하던 관계자들에게도 영향을 주어 사망 5명, 입원치료 12명, 건강검진 7,162명, 농작물 237.9ha, 가축 3,209두, 차량 1,138대 등의 막대한 피해를 입혔다.

이 사고를 통해서 불화수소 및 불산의 위험성에 대하여 많은 근로자들이 인식하게 되었고, 비상시 대응 및 조치에 대해 많은 문제점이 도출되어 개선이 필요하게 되었다.

용어의 설명 ▶

본 사례집에서 사용하는 용어 및 용어의 정의는 다음과 같습니다.

❶ 불화수소

불화수소(HF, Hydrogen Fluoride)는 상온, 상압에서 기체상태의 급성독성물질로 무색이지만 강하고 자극적인 냄새가 나며 기체상태의 불화수소를 가압 · 냉각시키면 액화되어 다량으로 운반 · 보관이 가능함

❷ 불산

불화수소를 물에 녹여 만든 수용액으로 부식성물질이며 물의 함량이 높을수록 증기압은 낮아지고 끓는점은 높아지므로 확산 위험성은 상대적으로 낮아짐

❸ 공정안전관리(Process Safety Management)

산업안전보건법 제49조의2의 규정에 의거 중대산업사고를 야기할 가능성이 큰 유해 · 위험설비를 보유한 사업장이 공정안전자료, 공정위험성평가, 안전운전계획 및 비상조치계획 수립 등에 관한 사항을 기록한 공정안전보고서를 안전보건공단에 제출하여 심사 · 확인을 받는 제도로서 적용대상은 석유정제업 등 7개 업종과 불화수소 등 21개 물질을 규정량 이상 취급하는 사업장임

❹ 맹판(Blind Flange)

배관이나 노즐의 끝단을 폐쇄하기 위하여 사용되는 둥근판을 말하며 일반적으로 플랜지는 파이프를 용접이나 볼트 · 너트 등으로 체결하기 위하여 구멍이 뚫려 있으나 맹판은 막혀있음

❺ 급성독성물질

산업안전보건법에 다음과 같은 물질을 급성독성물질로 규정하고 있다.

1. 쥐에 대한 경구투입실험에 의하여 실험동물의 50퍼센트를 사망시킬 수 있는 물질의 양, 즉 LD_{50}(경구, 쥐)이 킬로그램당 300밀리그램–(체중) 이하인 화학물질
2. 쥐 또는 토끼에 대한 경피흡수실험에 의하여 실험동물의 50퍼센트를 사망시킬 수 있는 물질의 양, 즉 LD_{50}(경피, 토끼 또는 쥐)이 킬로그램당 1000밀리그램 – (체중) 이하인 화학물질
3. 쥐에 대한 4시간 동안의 흡입실험에 의하여 실험동물의 50퍼센트를 사망시킬 수 있는 물질의 농도, 즉 가스 LD_{50}(쥐, 4시간 흡입)이 2500ppm 이하인 화학물질, 증기 LD_{50}(쥐, 4시간 흡입)이 10mg/ℓ 이하인 화학물질, 분진 또는 미스트 1mg/ℓ 이하인 화학물질

❻ 압력조정기(Pressure Regulator)

압력 용기 또는 압축기에 의하여 얻어진 고압의 1차 압력을 2차 압력(사용압력)으로 조정하는 기기

❼ 국제해상위험물규칙(IMDG Code)

제2차 세계대전 후 화학공업의 급속한 발전과 함께 화학제품의 해상수송량이 급격히 늘어나게 됨에 따라 국제해사기구(IMO)가 UN권고(위험물의 적용, 분류, 품목, 표시 및 운송서류 등에 관한 보고서)를 기초로 해서 위험물해상운송의 안전기준에 대한 상세한 규정을 개발하여 1965년 제정한 Code로서 위험물의 해상운송에 관한 국제규칙으로 55개국에서 국내법으로 수용하고 있음

Ⅱ 사업장 현황

1998년 서울에서 설립된 사업장으로 구미공장은 2008년도에 4,060㎡의 부지에 건축면적 830㎡으로 건축되었다. 최초에는 4명의 근로자가 근무하였지만 사고가 발생한 2012년도에는 7명의 근로자가 근무하고 있었다.

[사진 1] 사업장 전경

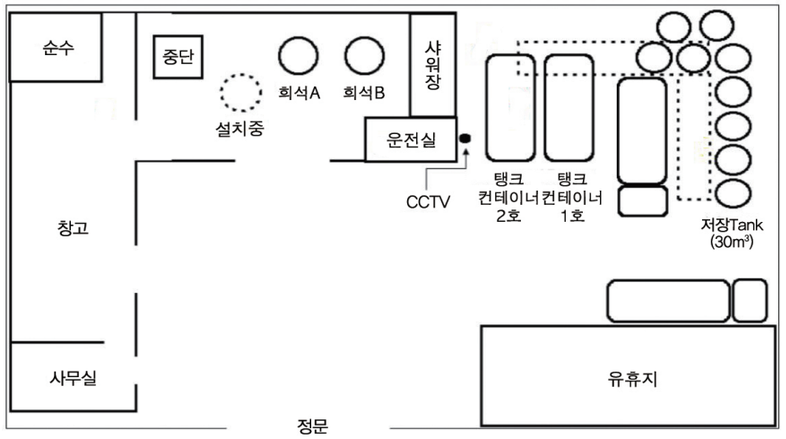
1. 시설현황 ▶

1) 옥외저장탱크 : 불산 저장탱크 9기(저장능력 30㎥)

2) 희석설비 : 2기(A line, B line)

3) 탱크 컨테이너(Tank Container) : 현장 여건에 따라 보유 수량이 다름

- 저 장 량 : 18ton
- 소유관계 : 중국 불화수소 생산회사
- 허용압력 : 7kg/㎠
- 운전압력 : 3.5kg/㎠(공기압축기에 의한 압축공기 압력)



[그림 1] 사업장 배치도

2. 생산제품 ▶

화학약품 또는 LCD 생산공정 원료로 사용되는 50~55% 불산

3. 공 정 ▶

공정은 다음과 같은 순서에 따라 진행된다.

1) 재료입고

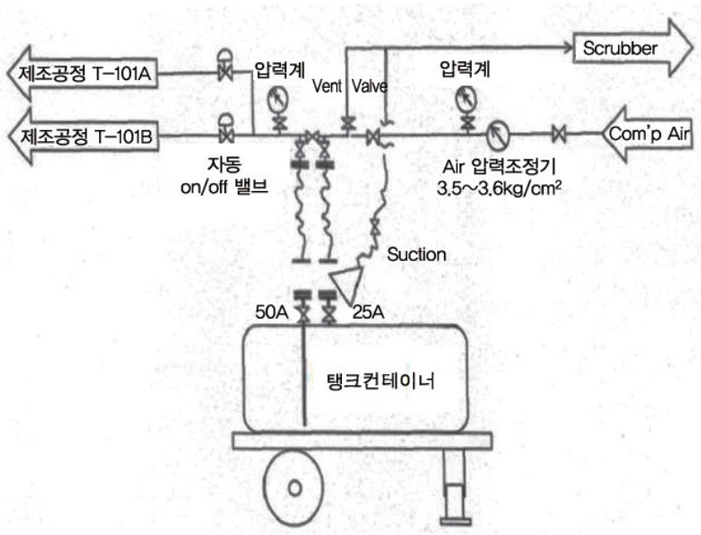
중국에서 수입한 액체상태의 불화수소를 차량으로 운반하여 공장 야적장에 입고시킨다.

[사진 2] 입출하를 위한 옥외 대기중인 탱크 컨테이너(Tank Container)

2) 사고발생 공정

배관을 이용하여 탱크 컨테이너와 희석설비를 연결한 후 공기압축기의 압력을 이용하여 탱크 컨테이너 내부의 불화수소를 희석설비로 공급한다. 공급된 불화수소를 순수한 물과 섞어 불산을 생산한다.

탱크 컨테이너의 불화수소가 모두 이송되면 연결된 배관을 해체하여 기존의 저장탱크 배관을 마감처리 후 새로운 탱크 컨테이너에 연결하여 생산을 시작한다.



[그림 2] 불화수소 이송작업 배관 흐름도

불화수소 탱크 컨테이너 배관 연결순서

① 탱크 컨테이너 배관(25A)의 맹판(Blind Flange)을 제거한 후 압축공기 공급라인을 체결한다. 이때 국소배기장치 후드를 근접시켜 유해가스를 빨아들인다.

② 탱크 컨테이너의 배관(50A) 밸브가 잠긴 상태에서 맹판을 제거한 후 불화수소 라인에 연결한다.

③ 탱크 컨테이너의 배관(50A) 밸브를 서서히 개방한다.

④ 압축공기 공급밸브를 열고 압력조정기의 적정압력(3.5kg/㎠)을 확인 후 압축공기를 공급한다.

⑤ 압축공기의 공급압력이 3.5kg/㎠에 도달 시 운전실에 연락하여 불화수소 자동밸브를 열고 불산을 제조한다.

불화수소 이송완료 시 배관 분리순서

① 불화수소 자동밸브를 잠근다.

② 압축공기 공급밸브를 잠근다.

③ 탱크 컨테이너의 잔여 압력을 제거하기 위해 국소배기장치 후드를 접근시켜 빨아들인다.

④ 연결 시와 반대로 압축공기 공급라인과 불화수소 라인을 분리시키고 맹판을 체결한다. 이때, 국소배기장치 후드를 접근시켜 잔여가스를 빨아들인다.

⑤ 체결상태를 확인 후 안전덮개를 덮어 반출한다.

[사진 3] 탱크 컨테이너(Tank Container)에 호스가 연결된 상태

3) 희석설비

불화수소와 순수(純水)를 섞어서 50~55% 불산을 생산함

Ⅲ 사고발생 원인추정

1. 사고발생 과정 ▶

1) 사고발생 전

사고발생 전날인 9월 26일 불화수소 탱크 컨테이너(18ton) 1호를 희석설비에 연결하여 불산 생산을 시작하였고, 사고발생일인 9월 27일 오후 2시 30분경 생산이 완료되었다. 4명의 작업자가 탱크 컨테이너 1호에 연결된 배관을 해체하기 위하여 잔류 불화수소를 제거하는 등 마감처리를 위한 준비를 하였다.

2) 사고발생

탱크 컨테이너 1호에 연결된 플렉시블 배관을 해체하여 탱크 컨테이너 2호에 연결하여야 하므로 작업자 중 일부는 저장탱크 1호의 압축공기 공급라인을 제거하는 작업을 실시하였고, 나머지 작업자는 저장탱크 2호의 밸브 후단에 체결되어 있는 맹판을 제거하는 작업을 하고 있었다.

이때, 고장 난 펌프를 수리하는 수리업체 직원이 방문하였고, 저장탱크 2호 위에 있던 작업자 중 한명이 저장탱크 옆으로 내려와 수리업체 직원과 수리에 관해서 이야기를 나누었다.

탱크 컨테이너 2호에서 “픽”소리와 함께 앞을 볼 수 없을 정도로 운무가 발생하였다.

3) 사고발생 후

사고 탱크 컨테이너에서 조금 떨어진 곳에서 원료저장조를 점검하고 있던 작업자가 사무실 직원에게 불화수소의 누출사실을 알리고 119에 신고하였다.

불화수소에 노출된 작업자들 중 3명은 화장실에서 급히 몸을 씻고 대피하였고 나머지 직원들도 공장에서 외부로 대피하였다. 하지만, 공장 내에 있던 8명 중 5명이 사망하였다.

2. 사고발생 원인추정 ▶

1) 설비적 측면

(1) 손잡이를 쉽게 조작하는 형식의 밸브로 설치

사고가 발생한 불화수소 이송용 탱크 컨테이너는 불화수소를 공정으로 공급하기 위해 조작하는 50A 밸브 및 25A 밸브 2개가 장착되어 있다.

불화수소 이송용 50A 밸브와 불화수소를 같이 압송하기 위한 공기용 25A 밸브는 볼밸브이며 조작 핸들은 레버(Lever)로서 작업자가 한손으로 레버를 젖히면 쉽게 열리는 구조로 되어 있어 작업자의 오작동에 의한 밸브 열림/닫힘 조작을 쉽게 할 수 있는 문제가 있다.

[사진 4] 탱크 컨테이너(Tank Container)에 설치된 50A밸브 및 25A밸브

(2) 탱크 컨테이너 조작밸브 보호용 박스가 좁고 탱크 상부에서 작업자가 배관 연결 작업 시 박스의 턱에 발을 올려놓고 연결작업을 할 수 밖에 없는 구조로 설계되어 작업자가 미끄러져 밸브를 오작동 시킴

작업자가 작업 중 탱크 컨테이너에 부착되어 있는 불화수소 조작밸브를 조작하기 위해서는 밸브 보호용 박스의 턱을 밟은 상태에서 쪼그려 조작하는 구조로서 턱의 폭이 3~4cm로 발로서 턱을 밟고 작업하는 동안 작업자 자신의 몸의 불균형으로 앞으로 미끄러지면서 레버로 된 밸브 손잡이를 젖히면서 밸브가 개방되었고 이로 인해 다량의 불화수소가 누출되기 시작한 것으로 추정된다.

[사진 5] 불화수소 이송밸브 및 Air 공급밸브를 둘러싸고 있는 밸브박스

[사진 6] 작업자가 미끄러지면서 밸브를 작동시키는 듯한 자세(CC-TV 화면)

(3) 불화수소와 같은 독성물질을 옥외에서 입 · 출하 작업 실시

불화수소와 같은 독성물질을 취급하는 입출하설비가 생태계에 심각한 영향을 미쳤다.

사고 피해현황('12.10.11. 소방방재청 재난관리 종합상황)

- 인적피해 : 사망 5명(○○글로벌 4, 타사 1), 입원치료 12명, 건강검진 7,162명
- 물적피해 : 농작물 237.9ha, 가축 3,209두, 차량 1,138대, 기타 215건 등

환경오염 조사결과('12.10.09. 환경부 보도자료)

■ **대기 분야**

• 사고당시(9.28) : 사고지점 1ppm(09:30)→불검출(14:40 이후)
주거지역 불검출(01:40 이후)

• 사고이후(10.6) : 사고지점 및 주거지역 불검출(7개 지점)

■ **수질 분야**

• 하천수(10.1) : 수돗물 수질기준(1.5mg/L) 이하(4개 지점)

• 지하수(10.2) : 음용지하수 기준(1.5mg/L) 이하(3개 지점)

• 해평 · 구미광역 취 · 정수장(10.4) : 수돗물 수질기준(1.5mg/L) 이하

• 봉산리 마을 도랑 수질(10.5) : 수돗물 수질기준(1.5mg/L) 이하

■ **토양 분야**

• 토양조사(10.2) : 토양오염 우려기준(400mg/kg) 이하(7개 지점)

2) 인적인 측면

(1) 작업안전수칙의 미준수

앞에서 설명된 "불화수소 탱크 컨테이너 배관 연결순서"에서 탱크 컨테이너와 희석설비를 안전하게 연결하는 순서가 정해져 있으나 순서를 무시하고 불화수소 및 공기배관의 맹판을 모두 개방함으로서 사고로 이어지는 잘못이 있었다.

(2) 개인보호구를 착용하지 않은 상태에서 입 · 출하 작업 실시

불화수소 및 불산을 취급하는 작업 시 보호복 및 호흡용 보호구, 내산성 안전장갑 등 취급 물질에 맞게 적절한 보호구를 착용하고 작업하여야 함에도 불구하고 탱크 상부에서 밸브조작을 하던 2명의 작업자 모두가 보호구를 착용하지 않은 채 작업을 함으로서 누출된 불화수소에 중독되는 사고를 당한 것이다.

3) 관리적인 측면

(1) 재발방지 대책의 부재 – 동일사고의 반복

2009년 6월 30일 동사업장 출하탱크에서 Loading Tank Lorry와 고압 호스를 체결한 후 Loading 도중 Flange 접속부의 Packing부위가 펌프압력에 의해 순간적으로 불산이 분출하면서 작업자의 얼굴과 가슴에 화상을 입는 사고가 발생하였음에도 동일한 장소에서의 사고가 재발하였다.

(2) 감지, 경보설비 설치 등 비상조치 계획 및 대응 부재

독성물질이 외부로 누출될 경우 신속히 대피하거나 조치할 수 있도록 감지설비 및 경보설비를 설치하고 주기적인 훈련을 통한 비상대응이 가능하도록 하여야 하지만 이러한 비상조치계획이 마련되지 않은 채 입 · 출하 작업이 평상시와 같이 이루어지고 있었음을 알 수 있다.

작업자의 보호구 착용, 외부확산에 대비한 훈련 실시, 비상조치계획에 의한 관련기관과의 비상연락체계 구축, 작업자의 불화수소 노출에 대비한 응급조치 약품 비치, SCBA 등의 전면보호형 보호구 비치 등 기본적인 비상 대비 · 대응 수준은 취급하는 물질의 유해 · 위험성에 비해 매우 취약하였다고 판단된다.

(3) 작업자에 대한 교육 실시 미흡

사고발생 당일의 CC-TV에 포착된 내용에서 작업자들이 보호복, 안전모, 방독면 등의 보호구를 착용하지 않고 작업하는 모습에서 결국, 안전의 확보는 최종적으로 근로자의 판단과 그 행동에 지배된다는 관점에서 보면 작업자들의 안전의식을 향상시키기 위한 안전보건교육이 미흡하였음을 알 수 있다.

또한, 2012년 9월 27일 사고발생 이후 경찰이 수사를 목적으로 사업장내의 안전관련 자료를 압수하여 사고발생일 전후의 근로자에 대한 안전보건교육에 대한 실시여부를 구체적으로 확인하기가 어려워 2012년 12월 27일 및 28일 양일간 실시된 사업장내의 잔여 불화수소 처리를 위한 대한산업안전협회의 안전진단 시에 지적한 다음의 내용을 참고로 하여 분석하면 사업장의 작업자들에 대한 안전보건교육이 매우 미흡하였다는 것을 알 수 있다.

※ 안전보건 진단시 지적한 내용

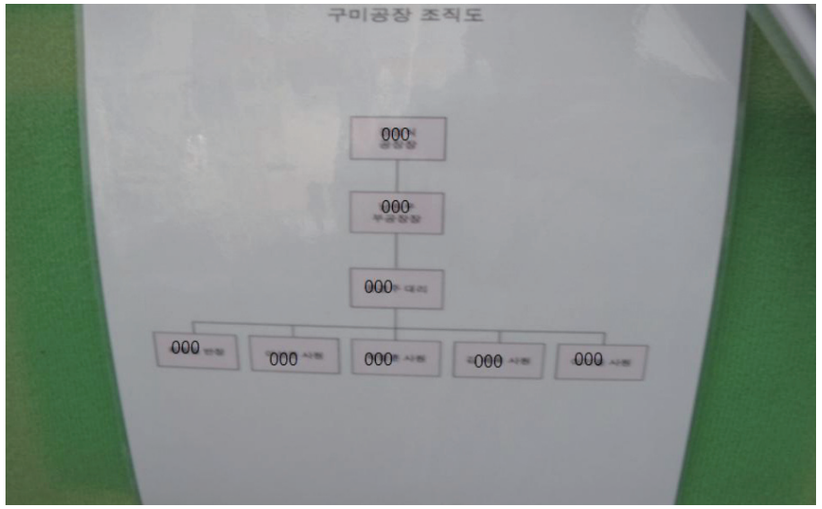
01

공정의 근로자에게 자신이 취급하는 화학물질의 유해 · 위험성 등을 알려줌으로써 화학물질 취급 시 발생될 수 있는 재해나 직업병을 사전에 예방하고 불의의 사고에도 신속히 대응하도록 하기 위해 화학물질의 명칭 · 성분 · 함유량 · 안전보건상의 취급 주의사항 등을 적은 물질안전보건자료(MSDS)를 비치하고 작업자에게 안전교육을 실시 바라며,

02

작업범위, 작업내용, 작업순서 등에 관한 전반적인 사항을 작업자가 충분히 이해하고 작업에 임할 수 있도록 전체 작업을 총지휘 할 수 있는 관리감독자를 지정하고, 관리감독자에 의한 교육과 작업 중 지도, 감독을 바랍니다.

(4) 안전보건관리체계의 부실



[사진 7] 사고당시 공장게시판에 게시되어 있던 공장조직도

[법적 요구 기준에 의한 안전보건관리체계]

구 분	해 당 여 부
안전보건총괄책임자	해당없음
안전보건관리책임자	해당없음
안전관리자	해당없음
보건관리자	해당없음
산업보건의	해당없음
관 리 감 독 자 (산업안전보건법 제14조 제1항)	관리감독자는 법 14조 1항에서 소속직원을 직접 지휘, 감독하는 부서의 장 또는 그 직위를 담당하는 자로 하여금 업무를 수행하도록 하고 있으며, 해당사는 담당 대리를 지정
산업안전보건위원회	해당없음
안전보건관리규정	해당없음

근로자가 사업장의 유해 · 위험요인 등 안전보건에 관한 지식을 습득하고, 이에 적절히 대응할 수 있는 능력을 배양케 함으로써 근로자 스스로 산업재해를 사전에 예방토록 하기 위하여 사업주에게 근로자에 대한 각종 안전 · 보건교육 의무를 부여하고 있으나, 해당 사업장은 공정의 특성이나 취급물질의 성상을 고려하지 않은 허술한 안전보건관리조직체계를 구성유지하고 있는 것으로 파악되었다.

그 결과 작업자에게 공정의 특성이나 취급물질의 유해위험성에 입각한 적절한 교육이 이루어지지 않았고, 작업자는 통상적인 입 · 출하작업 시 보호구를 착용하지 않은 채 일상적인 작업을 하고 있었던 것으로 파악된다.

Ⅳ 사고발생 원인

1. 작업안전수칙이 준수되지 않았다

탱크 컨테이너와 희석설비를 안전하게 연결하는 순서가 정해져 있으나 순서를 무시하고 불화수소 및 공기배관의 맹판을 모두 개방하였다.

2. 인적인 오류를 유도하기 쉬운 밸브가 설치되었다

탱크 컨테이너에 부착되어 있는 불화수소 이송용 밸브가 볼밸브이고 조작 손잡이가 Lever형태로 설치되어 작업자가 작업 중 작업자의 무게에 의하여 손잡이가 젖혀지면서 밸브가 개방되고 대량의 불화수소가 누출되었다.

3. 밸브조작 박스가 작업자로 하여금 미끄러지는 구조로 설치되었다

작업자가 통상적인 탱크 컨테이너위에서 작업을 하기 위해서는 조작밸브 박스의 벽상부에 발을 딛고서 입 · 출하 작업을 할 수 밖에 없는 구조로 설치되어 있어 작업자의 몸무게에 의해 미끄러지면서 실수로 밸브를 조작하게 된 것으로 판단된다.

4. 개인보호구를 착용하지 않았다

불화수소 및 불산을 취급하는 작업 시 보호복 및 호흡용 보호구, 내산성 안전장갑 등 취급 물질에 맞게 적절한 보호구를 착용하고 작업하여야 함에도 불구하고 보호구를 착용하지 않아 사고로 다수의 근로자가 사망하였다.

5. 누출확산 방지를 위한 재해설비가 설치되지 않았다

불화수소와 같은 독성물질이 외부로 방출될 경우를 대비하여 저장이나 포집시설 및 처리설비를 설치하여야 하지만 이러한 확산을 방지하는 시설이 설치되어 있지 않았다.

6. 감지, 경보설비가 설치되지 않았다

급성독성물질이 외부로 누출될 경우 사업장내부 및 인근사업장의 근로자, 지역사회 주민들이 신속히 대피하거나 조치할 수 있도록 감지설비 및 경보설비를 설치하여야 하지만 설치되어 있지 않았다.

7. 지역의 비상대응을 위한 커뮤니케이션이 없었다

사업장내부에서 발생한 사고가 인근 사업장 또는 지역에 영향을 미칠 수 있는 유해위험물질을 취급하는 경우에는 비상 시 지역에서의 대응을 위한 비상연락망 구축, 지역과의 커뮤니케이션 강화를 위한 사업장 정보제공 등이 상시 운영되도록 비상조치계획이 수립되어야 하나 이러한 부분에 대한 계획이나 지역과의 커뮤니케이션이 없어 누출사고로 인한 2차 재해가 확대된 원인이 있는 것으로 판단된다.

8. 작업자에게 안전보건교육이 미흡하였다

사고발생 동영상을 분석한 결과 작업자 3명이 입 · 출하작업을 수행하면서 3명 모두 작업에 적합한 보호복을 착용하지 않았을 뿐만 아니라 2명이 착용한 마스크도 분진용이었다. 이러한 형태의 작업방식을 일상적으로 수행한 것으로 볼 때 안전보건교육이 적절하게 이루어지지 않았음을 알 수 있다.

V 동종사고 예방대책

1. 기술적 대책

1) 독성물질 이송 탱크의 입 · 출하방법 개선

불화수소와 같은 독성물질을 취급 · 저장하는 시설에 대한 입 · 출하방법을 근본적으로 개선하기 위해서는 입 · 출하 시설을 옥내에 설치하고 입 · 출하 방법을 자동화하도록 개선하는 것이 필요하다.

또한 입 · 출하 시 발생가능한 누출사고에 대비하여 누출된 불화수소를 포집하여 중화처리할 수 있는 시설을 기본적으로 갖추어야 한다.

(1) 모든 입 · 출하작업은 옥내에서 실시한다.

(2) 옥내 작업장에서 입 · 출하를 위한 밸브조작은 수작업을 최소화하도록 한다.

(3) 비상시를 대비한 SCBA를 비롯한 전면보호용 보호구와 공기호흡장치를 구비한다.

(4) 옥내 작업장은 누출사고를 대비하여 자동으로 포집하는 설비와 중화설비를 설치한다.

(5) 누출사고 발생 시 경보설비를 설치하고 비상조치계획에 의한 비상연락망을 가동하도록 한다.

(6) 작업자에게는 주기적으로 비상대비훈련을 실시하고, 사용물질에 대한 위험성을 인식시키도록 교육하여야 하며, 보호구 사용 및 착용 방법을 주기적으로 교육하여야 한다.

2) 조작밸브형식 개선

작업자가 밸브의 손잡이를 밟더라도 개방되지 않도록 밸브의 종류를 개선한다면 사고발생 위험이 낮아질 것이다.

(1) 볼 밸브(Ball Valve)를 글로브 밸브(Globe Valve) 또는 게이트 밸브(Gate Valve)로 교체 (사진 8,9 참고)

(2) 이중잠금밸브 구조로 개선

필요하다면 이송중의 오작동을 방지하기 위해 밸브 손잡이에 자물쇠 설치를 통한 임의 조작을 방지하는 것도 필요하다고 판단된다.

[사진 8] 사고발생 탱크 컨테이너 (Tank Container)에 설치된 볼 밸브

[사진 9] 누출위험이 적은 게이트 밸브

2. 관리적 대책

1) 해당 작업에 적합한 개인보호구의 착용

사고 발생과정을 알 수 있는 CC-TV를 분석하는 과정에서 작업자들이 방진마스크를 착용하고 작업하는 모습이 보였다. 이는 사업장에서의 독성물질에 관한 무지와 인식능력이 얼마나 저하되어있는가를 여실히 나타내는 모습이라고 판단된다.

따라서 이러한 독성물질을 취급하는 작업을 할 때는 반드시 작업방법과 취급물질의 성상을 파악하여 전면형 보호마스크와 보호의, 보호장갑 등을 작업장에 구비하여 사용하고, 주기적으로 교육을 실시하여 작업자의 인식능력 저하를 방지하고 적응성을 높이도록 하여야 한다.

해당 작업은 급성독성물질, 부식성물질을 사용하는 공정이기에 해당 물질에 적합한 내산성 보호복 및 방독마스크, 내산성 안전장갑 등 취급 물질에 맞게 적절한 보호구를 착용하고 작업하여야 한다. 또한, 보호구 선정 시에는 안전인증 제품을 선정하여야 한다.

[그림 3] 안전인증 표시(왼쪽) 및 화학물질 보호성능 표시(오른쪽)

2) 작업안전수칙 준수

규정된 작업안전수칙을 준수하기 위해서는 작업자로 하여금 필요한 작업안전수칙이 무엇인가를 인식하도록 하는 것이 필요하다. 이러한 작업안전수칙은 기본적으로 안전작업절차로부터 시작된다. 사업장에서는 작업에 필요한 작업방법을 기술한 작업절차서를 만들어 주기적으로 문제점을 보완해 가면서 작업자들에게 교육을 실시하여야 한다.

입 · 출하작업도 매우 중요한 작업의 일환으로서 다루어져야 하고 이를 주기적으로 평가할 수 있는 위험성평가 방법을 자체적으로 개발하여 시행하여야 한다.

이러한 안전작업절차를 통하여 개발한 작업안전수칙을 작업자가 가장 잘 인식할 수 있는 장소에 게시하여 작업자의 안전의식능력을 향상시키도록 하여야 한다.

작업안전수칙에 포함하여야 할 내용은 다음과 같다.

(1) 입 · 출하 작업시 취급되는 물질 성상을 반영하여야 한다.

(2) 안전한 작업방법을 포함하여야 한다.

(3) 적합한 보호구의 착용에 관한 사항을 포함하여야 한다.

(4) 노출 시 응급조치 사항, 비상대피처 등을 명시하여 비상상황에서의 대응능력을 향상시키도록 하여야 한다.

(5) 안전작업을 유도할 수 있도록 하여야 한다.

3. 비상조치 계획수립 및 주기적인 훈련 실시 ▶

1) 비상대비 및 대응 능력강화

불화수소와 같은 독성물질을 취급하는 사업장은 무엇보다도 누출확산의 문제에 대비한 비상조치계획을 수립하여야 한다.

이러한 문제에 대한 답은 공정안전관리제도(PSM)에서 정하는 비상조치계획 수립에 관한 사항을 위주로 준비하는 것이 필요하다고 판단된다. 공정안전관리 대상 사업장의 위험도에 비해 불화수소를 취급하는 사업장의 위험도는 그 이상이며, 따라서 이에 걸 맞는 비상조치계획이 필수적이라고 판단된다.

(1) 전 근무자의 사전교육계획
(2) 비상 시 대피절차와 비상대피로의 지정
(3) 대피 전에 주요공정설비에 대한 안전조치를 취해야 할 대상과 절차
(4) 비상대피 후의 전 직원이 취해야 할 임무와 절차
(5) 피해자에 대한 구조 및 응급조치 절차
(6) 내 · 외부와의 통신 체계 및 방법
(7) 비상조치 시의 총괄부서 및 조직
(8) 사고발생 및 비상대피 시 보호구 착용지침
(9) 주민홍보계획
(10) 외부기관과의 협력체제

2) 감지, 경보설비의 설치를 통한 비상대응 능력강화

독성물질이 외부로 누출될 경우 누출을 감지하여 사내 및 인근 사업장에 신속히 알릴 수 있도록 감지설비 및 경보설비를 설치하여 작업자뿐만 아니라 인근 사업장, 인근 주민, 관계기관이 공동 대응하도록 하는 것이 필요하며 주기적인 훈련을 통한 대응능력을 키워야 한다.

4. 공정 및 물질의 특성을 반영한 안전보건관리 조직체계 구성 ▶

현행의 산업안전보건법에서는 업종이나 사업장의 규모 즉, 근로자수로 한정하여 안전보건관리조직을 구성하도록 되어 불화수소와 같은 고독성물질을 취급하는 공정을 보유한 사업장에서의 누출사고 발생시 효율적인 조치가 불가능한 것으로 판단되므로 예방, 대비, 대응, 복구 등을 위한 조직체계를 갖출 필요가 있으며 이를 통한 작업자의 안전의식 향상을 위한 교육실시도 가능할 것이다.

5. 안전보건교육 실시 ▶

공정의 근로자에게 자신이 취급하는 화학물질의 유해 · 위험성 등을 알려줌으로써 화학물질 취급 시 발생될 수 있는 재해나 직업병을 사전에 예방하고 불의의 사고에도 신속히 대응하도록 하기 위해 화학물질의 명칭 · 성분 · 함유량 · 안전보건상의 취급주의 사항 등을 적은 물질안전보건자료(MSDS)를 비치하고 작업자에게 안전교육을 실시할 필요가 있으며 작업범위, 작업내용, 작업순서 등에 관한 전반적인 사항을 작업자가 충분히 이해하고 작업에 임할 수 있도록 전체 작업을 지휘 할 수 있는 관리감독자를 지정하고, 관리감독자에 의한 교육 및 작업 중 지도 · 감독이 필요한 것으로 판단된다.

[산업안전보건법에서 정하는 관리감독자의 업무]

관리감독자의 업무
① 사업장 내 관리감독자가 지휘 · 감독하는 작업(이하 이 조에서 “당해 작업”이라 한다)과 관련되는 기계 · 기구 또는 설비의 안전 · 보건점검 및 이상유무의 확인
② 관리감독자에게 소속된 근로자의 작업복 · 보호구 및 방호장치의 점검과 그 착용 · 사용에 관한 교육 · 지도
③ 해당 작업에서 발생한 산업재해에 관한 보고 및 이에 대한 응급조치
④ 해당 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 그 밖의 해당 작업의 안전 · 보건에 관한 사항으로서 고용노동부령으로 정하는 사항

6. 기타 안전보건 조치 사항 ▶

“KOSHA Guide P–21–2010 : 불산취급 공정의 안전에 관한 기술지침” 참조

Ⅵ 사고로부터 얻는 교훈

작업자 사망 5명, 입원치료 12명, 건강검진 7,162명 등 인체 및 환경에 막대한 피해를 준 사고의 시작은 작업자의 단순한 실수에서 발생하였다. 작업자가 작업안전수칙의 순서대로 작업을 수행하지 않았고, 작업자가 실수로 밸브 손잡이를 잘못 밟아 저장되어 있던 불화수소의 누출이 시작되었다. 또한, 초기에 적절한 대응이 이루어지지 않으면서 상당한 양의 불화수소가 누출되었다.

이번 사고가 발생 후 대응까지 얻은 교훈은 다음과 같다 ▶

[사진 10] 누출사고로 인해 불화수소가 인근지역으로 확산되는 모습

첫째,

작업안전수칙을 작성하여 근로자들에게 교육을 시켜야 하며 작업 시 관리감독자 등 작업지휘자를 지정하여 작업순서, 보호구 착용 등 작업에 관련된 내용을 관리하여야 하겠다.

둘째,

공장의 설계단계에서부터 설비에 대하여 전문가가 검토하고 검토내용을 반영하여 설치한다면 초기비용은 다소 증가하더라도 대량 누출 시 피해를 최소화 할 수 있을 것이다.

셋째,

화재 · 폭발 · 누출 등 중대산업사고가 발생할 수 있는 위험사업장에 대하여 산업안전보건법에서 규정한 공정안전관리의 대상을 5인 미만의 소규모 사업장까지 확대하여 중대산업사고 발생위험 사업장 관리에 대한 사각지대가 없도록 개선하여야 하겠다.

넷째,

위험물질을 취급하는 사업장은 화재 · 폭발 · 누출 등 여러 유형의 사고에 대비하여 비상 시 대응할 수 있도록 시나리오를 작성하고 그 내용을 교육하고 실제 훈련을 통하여 연습하여야 하겠다.

다섯째,

비상 시 조치를 위한 지역과의 커뮤니케이션을 강화하여 관계당국과의 비상연락망 가동, 비상 시 조치를 위한 사업장 정보 공유, 인근 주민들에게 알 권리를 보장할 수 있는 시스템 구축 등이 필요한 것으로 판단된다.

매 년 다수의 화학사고가 발생하고 있다. 화학사고의 경우 다수의 재해자가 발생할 수 있으며 그 영향이 사고 사업장뿐만 아니라 인근 지역사회까지 영향을 미치므로 이번 사고를 거울삼아 재발방지를 위한 교훈으로 삼아야 할 것이며 동종의 사고가 발생하지 않도록 더욱 더 노력하여야 할 것이다.

Ⅶ 참고자료

1. 불화수소 누출 사고 사례 ▶

- 발생일시 : 2008. 6. 1(일) 22:30
- 발생장소 : 울산시 남구 ○○화학공장
- 사고내용 : 생산팀 야간조 근무자 2명이 냉매 및 불화수소 취급 공정에서 스트레이너 가스켓 점검 및 청소를 하던 중에 플러그 밸브의 손잡이를 조작하던 중 밸브 바디에서 불화수소가 누출되면서 피해자가 흡입한 사고
- 피해내용 : 작업자 1명 사망

- 발생일시 : 2004. 5. 30(일) 14:30
- 발생장소 : 울산시 남구 ○○화학공장
- 사고내용 : 불화수소 3kg 가량 누출(추산)
  설비 시 운전을 위해 불화수소를 저장탱크에서 반응기 탱크로 유입하던 중 중간밸브 고장으로 발생
- 피해내용 : 사고지역 주변 가로수 고사(2004. 6. 17 확인)

- 발생일시 : 2009. 7. 19(일)
- 발생장소 : 미국 텍사스 주의 CITGO's Corpus Christi Refinery
- 사고내용 : 불화수소 알킬화 공정에서 탄화수소와 불화수소가 누출되면서 화재가 발생하여 수일간 연소
  공정 내 콘트롤 밸브의 손상으로 액체의 흐름이 차단되면서 공정 회수 배관이 심하게 흔들리면서 누출이 발생하였고, 이로 인해 공정 설비에서 약 42,000 파운드의 불화수소가 누출되었으며 화염이 인근 공정으로 옮겨가서 여러 공정이 전소된 사고임
- 피해내용 : 1명 중화상, 1명 불화수소 흡입으로 입원치료, 공정소손

2. 국내기준 ▶

1) 산업안전보건법

(1) 산업안전보건법 제49조의 2(공정안전보고서의 제출 등)

대통령령으로 정하는 유해 · 위험설비를 보유한 사업장의 사업주는 그 설비로부터의 위험물질 누출, 화재, 폭발 등으로 인하여 사업장 내의 근로자에게 즉시 피해를 주거나 사업장 인근지역에 피해를 줄 수 있는 사고로서 대통령령으로 정하는 사고(이하 이 조에서 "중대산업사고"라 한다)를 예방하기 위하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 공정안전보고서를 작성하여 고용노동부장관에게 제출하여 심사를 받아야 한다.

① 업종별 대상사업장

- 원유 정제처리업
- 기타 석유정제물 재처리업
- 석유화학계 기초화학물 제조업 또는 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업. 다만, 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업은 별표 10의 제1호 또는 제2호에 해당하는 경우로 한정한다.
- 질소, 인산 및 칼리질 비료 제조업(인산 및 칼리질 비료 제조업에 해당하는 경우는 제외한다)
- 복합비료 제조업(단순혼합 또는 배합에 의한 경우는 제외한다)
- 농약 제조업(원제 제조만 해당한다)
- 화약 및 불꽃제품 제조업

② 유해 · 위험물질 규정수량 이상 제조 · 취급 · 저장하는 사업장

[유해 · 위험물질 규정량(제33조의6제1항 관련)]

번호	유해 · 위험물질	규정량(kg)
1	인화성 가스	제조 · 취급 : 5,000(저장 : 200,000)
2	인화성 액체	제조 · 취급 : 5,000(저장 : 200,000)
3	메틸 이소시아네이트	제조 · 취급 · 저장 : 150
4	포스겐	제조 · 취급 · 저장 : 750
5	아크릴로니트릴	제조 · 취급 · 저장 : 20,000
6	암모니아	제조 · 취급 · 저장 : 200,000
7	염소	제조 · 취급 · 저장 : 20,000
8	이산화황	제조 · 취급 · 저장 : 250,000
9	삼산화황	제조 · 취급 · 저장 : 75,000
10	이황화탄소	제조 · 취급 · 저장 : 5,000
11	시안화수소	제조 · 취급 · 저장 : 1,000
12	불화수소	제조 · 취급 · 저장 : 1,000
13	염화수소	제조 · 취급 · 저장 : 20,000
14	황화수소	제조 · 취급 · 저장 : 1,000
15	질산암모늄	제조 · 취급 · 저장 : 500,000
16	니트로글리세린	제조 · 취급 · 저장 : 10,000
17	트리니트로톨루엔	제조 · 취급 · 저장 : 50,000
18	수소	제조 · 취급 · 저장 : 50,000
19	산화에틸렌	제조 · 취급 · 저장 : 10,000
20	포스핀	제조 · 취급 · 저장 : 50
21	실란(Silane)	제조 · 취급 · 저장 : 50

(2) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제450조(호흡용 보호구의 지급 등)

사업주는 금속류, 산 · 알칼리류, 가스상태 물질류 등을 취급하는 작업장에서 근로자의 건강장해 예방에 적절한 호흡용 보호구를 근로자에게 지급하여 필요시 착용하도록 하여야 한다. 또한 호흡용 보호구를 공동으로 사용하여 근로자에게 질병이 감염될 우려가 있는 경우에는 개인 전용의 것을 지급하여야 한다.

2) 선박안전법

(1) 선박안전법 제41조(위험물의 운송)

① 선박으로 위험물을 적재 · 운송하거나 저장하고자 하는 자는 항해상의 위험방지 및 인명안전에 적합한 방법에 따라 적재 · 운송 및 저장하여야 한다.

② 제1항의 규정에 따라 위험물을 적재 · 운송하거나 저장하고자 하는 자는 그 방법의 적합 여부에 관하여 국토해양부장관의 검사를 받거나 승인을 얻어야 한다.

(2) 위험물 선박운송 및 저장규칙 제213조(위험물컨테이너 등 점검)

① 국토해양부장관은 외국으로부터 수입되는 위험물을 수납한 컨테이너 및 용기에 대하여 국제해상위험물규칙(IMDG Code)에 적합한지 점검할 수 있다.

(3) 위험물컨테이너 등의 점검에 관한 요령(국토해양부고시 제2011-557호) 제4조(위험물컨테이너점검관의 지정 등)

① 지방청장은 소속 공무원 중에서 위험물컨테이너 등의 점검업무 수행능력이 있는 자를 지정하여 위험물컨테이너에 대한 점검업무를 전담하게 하여야 한다.

② 제1항의 규정에 의하여 위험물컨테이너 등에 대한 점검업무를 전담하는 공무원(이하 "점검관"이라 한다)은 수입되는 위험물컨테이너 등이 국제해상위험물규칙(IMDG Code)에 적합한지 여부를 점검하고 필요한 조치를 하여야 한다.

3. 국외기준 ▶

1) ISO 기준

ISO 1496-3 Series 1 freight containers - Specification and testing - Part 3: Tank containers for liquids, gases and pressurized dry bulk

▶ 5.6.3.3 Any opening located below the normal level of the contents and fitted with a valve capable of being operated manually shall be provided with an additional means of closure on the outlet side of the valve.

개방구가 내용물의 보통의 액위 아래에 설치되어 있고 수동조작 밸브에 연결되어 개방될 때에는 밸브 후단의 차단에 대한 추가적인 수단이 강구되어야 한다.

▶ Such additional means of closure may be a contents–tight cap, bolted blank flange, or other suitable protection against accidental escape of the contents.

추가적인 차단조치에는 캡, 맹판 또는 내용물의 누출을 방지하는 다른 적당한 방호가 있을 수 있다.

▶ All valves, whether fitted internally or externally, shall be located as close to the tank shall as practicable.

내부 또는 외부와 상관없이 모든 밸브는 탱크 몸체에 가능하면 가까이 위치해 있어야 한다.

▶ 5.6.3.4 Stop valves with screwed spindles shall be closed by clockwise motion of the handwheel.

나사축을 가진 차단밸브는 시계방향으로 핸들을 돌려 잠궈져야 한다.

▶ 5.6.3.5 All tank connections, such as nozzles, outlet fittings and stop valves, shall be clearly marked to indicate their appropriate functions.

노즐, 피팅류, 차단밸브 등 모든 탱크 연결부는 각각의 적절한 기능을 나타내는 표시를 하여야 한다.

참고문헌

- 산업안전보건법. 고용노동부 ; 2012
- 불화수소 물질안전보건자료. 한국산업안전보건공단
- KOSHA Guide P-21-2010『불산취급공정의 안전에 관한 기술지침』. 한국산업안전보건공단 ; 2010
- 보호구 의무안전인증 고시(2012-83호). 고용노동부 ; 2012
- ISO 1496-3. the International Organization for Standardization ; 1995
- 선박안전법 : 2012
- 산업안전보건용어사전. 한국산업안전보건공단 ; 2006

작 성

· 이경성 (안전보건공단 중대산업사고예방실)
· 우종운 (안전보건공단 중대산업사고예방실)
· 표돈영 (안전보건공단 중대산업사고예방실)

검 토

· 이근오 (서울과학기술대학교 교수, 안전보건공단 사고조사위원)
· 백종배 (한국교통대학교 교수, 안전보건공단 사고조사위원)
· 이충호 (안전보건공단 중대산업사고예방실 실장)

2013-중대산업-267

불화수소 누출사고 사례연구

▶ 발 행 일 : 2013년 4월
▶ 발 행 인 : 안전보건공단 이사장 백 헌 기
▶ 발 행 처 : 안전보건공단 중대산업사고예방실
▶ 주 소 : 인천광역시 부평구 무네미로 478
▶ 전 화 : (032) 510-0849
▶ F A X : (032) 512-8315
▶ Homepage : http://www.kosha.or.kr

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함