Contents

트리클로로실란(TCS) 누출화재사고

Ⅰ. 사고개요 ····· 5

Ⅱ. 사업장 현황 ····· 7

Ⅲ. 사고분석 ····· 14

Ⅳ. 사고발생 원인 ····· 19

Ⅴ. 동종사고 예방대책 ····· 22

Ⅵ. 사고로부터 얻은 교훈 ····· 24

Ⅶ. 유사 사고사례 ····· 26

용어 설명

① 인화점(Flash Point)

인화점이라 함은 액체 표면에서 인화성 혼합물을 형성할 정도의 충분한 증기를 발생시키는 최소온도를 말한다.

② 인화성 가스

(산업안전보건법) 수소, 아세틸렌, 에틸렌, 메탄, 에탄, 프로판, 부탄 그리고 인화한계 농도의 최저한도가 13%이하 또는 인화 최고한도와 최저한도의 차가 12% 이상인 것으로 표준압력(101.3kPa) 하의 20℃에서 가스 상태인 액체를 말한다.

③ 인화성 액체

(산업안전보건법) 표준압력(101.3kPa) 하에서 인화점이 60℃ 이하이거나 고온·고압의 공정운전조건으로 인하여 화재·폭발 위험이 있는 상태에서 취급되는 가연성 액체를 말한다.

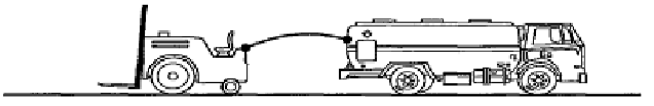
④ 자연발화온도(Auto Ignition Temperature)

어떤 물질이 충분한 산소 중에서 스스로 연소하려면 최소한의 에너지가 필요한데 이 에너지를 최소점화에너지라 하고, 이때의 온도를 발화온도 또는 자연발화온도라 한다.

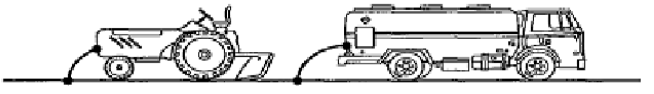
이 온도는 가열시간, 발화원의 형태, 산소의 농도 및 공기의 흐름상태 등의 측정조건에 영향을 받아 그 값이 변화된다.

⑤ 본딩(Bonding) 및 접지(Earth)

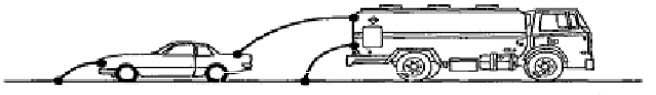
본딩(Bonding)이라 함은 둘 또는 그 이상의 도전성 물질이 같은 전위를 갖도록 도체로 접속하는 것을 말하고, 접지는 물체와 대지사이의 전위차를 같게 하는 것으로, 본딩과 접지 사이의 관계는 다음과 같다.



(a) 본 딩



(b) 접 지



(c) 본딩 및 접지

⑥ 불활성 가스(Inert Gas)

불활성 가스(Inert Gas)라 함은 비인화성 또는 비반응성 가스를 말하며, 시스템 내의 인화성 물질이 연소범위에 도달되지 않도록 주입하는 가스를 말한다.

⑦ 정전기(Static Electricity)

정전기는 전하가 정지 상태로 있어 전하의 분포가 시간적으로 변화하지 않는 전기를 말하며, 일반적으로 서로 다른 물질이 상호 운동을 할 때에 그 접촉면에서 마찰로 발생한다. 이러한 마찰로 인한 대전에는 분출대전, 충돌대전, 마찰대전 등이 있다.

⑧ 정전기 방전(Electrostatic Discharge)

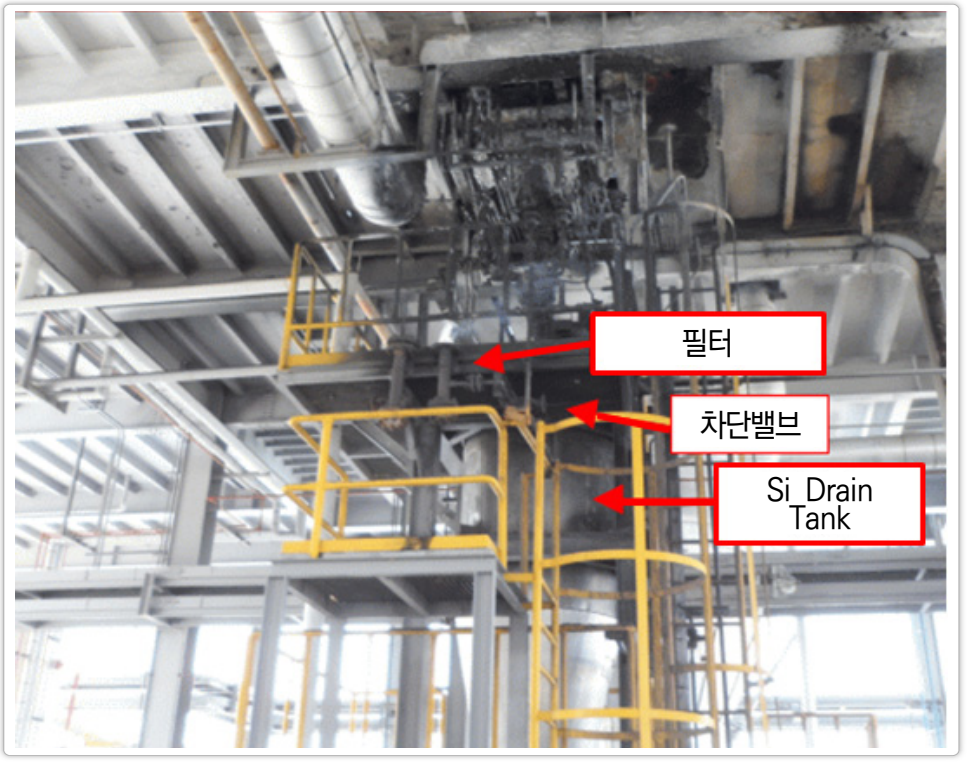
정전기 방전(Electrostatic Discharge)이라 함은 인화성 혼합물을 점화시킬 수 있는 불꽃방전, 코로나방전, 브러시방전 등의 형태로 정전기를 방출하는 것을 말한다.

⑨ 실란

실란(SiH_4)은 반도체, LCD 공정에서 다결정막을 성장시키는 원료로 산화공정과 화학기상증착 공정 등에서 필수적으로 이용되는 산업용 특수가스로서, 반도체나 태양전지의 웨이퍼의 원재료인 폴리실리콘을 제조하는 공정에서 중간재로도 사용된다.

Ⅰ. 사고개요

2013년 5월 21일(화) 10:41분경 경북 OO시 소재 SiH_4 등 무기화학제품 생산업체인 OOO(주)의 원료 합성공장에서 당 공장 소속 근로자 2명과 감독자 1명이 반응기 후단 필터 정비 작업을 하던 중 필터 플랜지를 분리하고 필터 카트리지를 꺼내는 과정에서 화재가 발생하여, 수 분간 연소 후 자연 소멸되었으며, 케이블 트레이에 옮겨 붙은 잔불은 회사와 소방서에 의해 11:20 분경 진화 완료된 사고이다.



[사진 1] 화재사고가 발생한 필터 모습

- 사고가 발생한 회사는 1988년에 설립되었으며 2005년부터 산업용가스인 실란(SiH_4)등을 생산하여 국내 반도체 제조 회사에 공급하여왔다.
- 회사에서는 이 사고를 통해서 트리클로로실란(TCS)의 누출 시 발화 위험성에 대하여 재인식하게 되었고, 퍼지작업 과정에서의 화재예방 조치에 대해서도 많은 문제점을 인식하게 되었다.
- 이러한 문제점 인식과 개선의 필요성에 따라 필터의 교체로 인한 위험을 근원적으로 개선하기 위한 TF를 구성하여 설비개선을 추진하였으며 이 결과, 많은 보완이 이루어져서 향후에는 해당 공정이 보다 안전한 상태로 운전될 예정이다.

인명피해

- 없음

물적피해

- 케이블트레이 및 상부 탱크 보온재 일부 소손
- 인근지역 피해 없음

Ⅱ. 사업장 현황

사고 발생 사업장은 실란(SiH_4), 삼불화질소(NF_3) 등의 산업용특수가스를 생산하는 공장으로 경북 OO시에 소재하고 있으며 약 300여명이 근무하고 있다.

화재사고는 산업용특수가스인 실란(SiH_4) 제조공정 중 반응기 후단의 필터를 세정하기 위하여 필터 카트리지를 꺼내는 과정에서 배관내부에 잔류해있던 트리클로로실란(TCS) 등 가연물질이 누출되면서 원인 미상의 점화원에 의해 점화되어 화재가 발생하였다.

[사진 2] 실란(SiH_4) 제조공정 전경

① 공 정

1) 실란(SiH_4) 제조공정

실란제조공정은 실리콘 메탈과 사염화실란($SiCl_4$: STC) 및 수소(H_2)를 반응시켜 모노실란(SiH_4)을 생산하는 공정이다.

공정설명(반응식)

$Si + 3SiCl_4(STC) + 2H_2 \rightarrow 4SiHCl_3(TCS)$

$2SiHCl_3(TCS) \rightarrow SiCl_4(STC) + SiH_2Cl_2(DCS)$

$3SiH2Cl_2(DCS) \rightarrow 2SiHCl_3(TCS) + SiH_4(MS)$

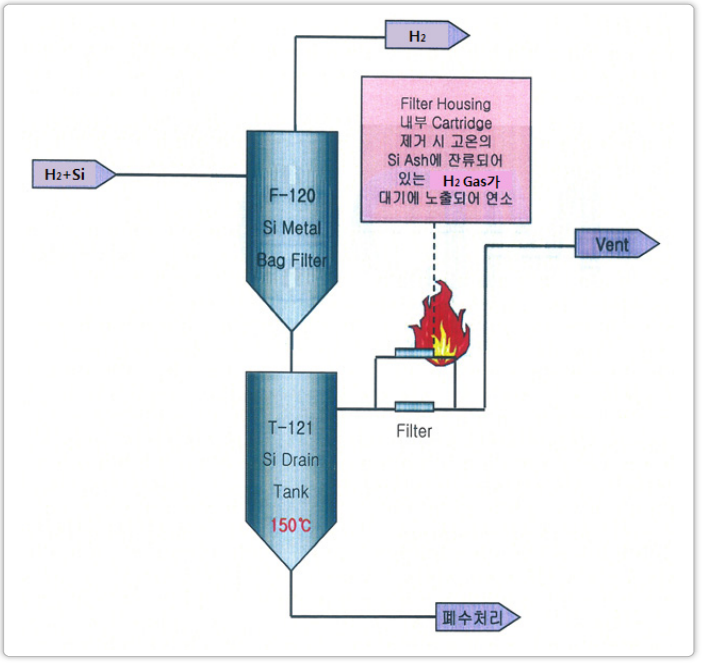
실리콘분말(Si), 사염화실란($SiCl_4$), 수소(H_2)를 가열하여 유동층 반응기안에서 반응시켜 삼염화실란($SiHCl_3$)을 생성한다. 이때 미반응 규소금속 분진은 미분제거 공정으로 이송되어 백필터와 드레인 탱크를 통해서 슬러지는 폐기물 처리된다.

삼염화실란을 증류에 의해 분리하고, 촉매 존재 하에 불균화 반응시켜 이염화실란(SiH_2Cl_2)을 얻는다. 이때 생성되는 이염화실란에는 사염화실란와 삼염화실란의 혼합물도 혼합되어 있기 때문에, 증류정제해서 순수한 이염화실란으로 만든다.

제조된 이염화실란은 불균화반응 촉매를 사용하여 삼염화실란과 모노실란(SiH_4)을 얻게 되며 혼합물은 한 번 더 증류탑을 거쳐 모노실란을 삼염화실란과 이염화실란에서 분리하여 고순도의 모노실란을 제조한다.

※ 사고발생 설비인 필터는 삼염화실란을 제조하는 공정에서 발생한 미반응 규소분진을 처리하기 위한 Si Drain Tank(T-121)의 기능상 내부 압력(2.5MPa)을 제거하기 위한 탈압 과정에서 벤트라인으로 배출될 수 있는 규소 메탈 분진을 필터링하기 위한 설비임.

2) 사고발생 공정



[그림 1] 미분제거공정도

2 위험물질목록

1) 삼염화실란(Trichloro Silane : TCS, $SiHCl_3$)

CAS No.	10025-78-2	분자량	135.45
유해성, 위험성	인화성, 급성독성물질	그림문자	
NFPA 등급	**보건: 3, 화재 : 4, 반응성 : 2**	증기밀도	4.7(공기=1)
점화에너지	0.017mJ	자연발화 온도	185℃ (문헌에 따라 104℃)
인화점	-27℃	증기압	594mmHg (25℃)
연소범위	1.2 ~ 90.5 %	화학적 안전성	- 원거리 점화가능성 있음 - 중합하지 않음 - 쉽게 점화됨
개인보호구	호흡용보호구, 보안경, 보안면, 내화학성 보호의, 보호장갑 등	독성	LD_{50} 1,030mg/kg (경구, 쥐)
이상반응유무	물 및 수분과 접촉시 SiO_2, H_2, HCl이 발생		

2) 수소(H_2)

CAS No.	1333-74-0	분자량	2.0
유해성, 위험성	폭발성 물질, 고압가스	그림문자	
NFPA 등급	보건: 0, 화재: 4, 반응성: 0	증기밀도	0.07(공기=1)
점화에너지	0.02mJ	자연발화 온도	571.2℃
인화점	-	증기압	1,240,000mmHg (25℃)
연소범위	4 ~ 76 %	화학적 안전성	- 극인화성 - 쉽게 점화됨 - 중합되지 않음
이상반응유무	상온, 상압에서 안정		

3) 규소금속(Si Metal)

CAS No.	7440-21-3	분자량	28.09
유해성, 위험성	자료없음	증기압	-
NFPA 등급	보건:0, 화재:0, 반응성:0	증기밀도	해당안됨
비중	2.33	비점	2355℃
연소범위	-	화학적 안전성	- 상온 상압에서 안정 - 분진과 공기혼합물은 발화 할 수 있음.
이상반응유무	상온, 상압에서 안정		

4) 사염화실란(Silicon Tetrachloride : STC, $SiCl_4$)

CAS No.	10026-04-7	분자량	169.89
유해성, 위험성	피부 부식성/자극성	증기압	236mmHg(25℃)
NFPA 등급	보건:3, 화재:0, 반응성:2	증기밀도	5.9(공기=1)
비중	1.5	비점	56℃
연소범위	-	화학적 안전성	- 화재위험은 무시할 수 있음 - 중합하지 않음
이상반응유무	상온, 상압에서 안정		

③ 설비목록

1) 규소배출 탱크(Si Drain Tank, T-121)

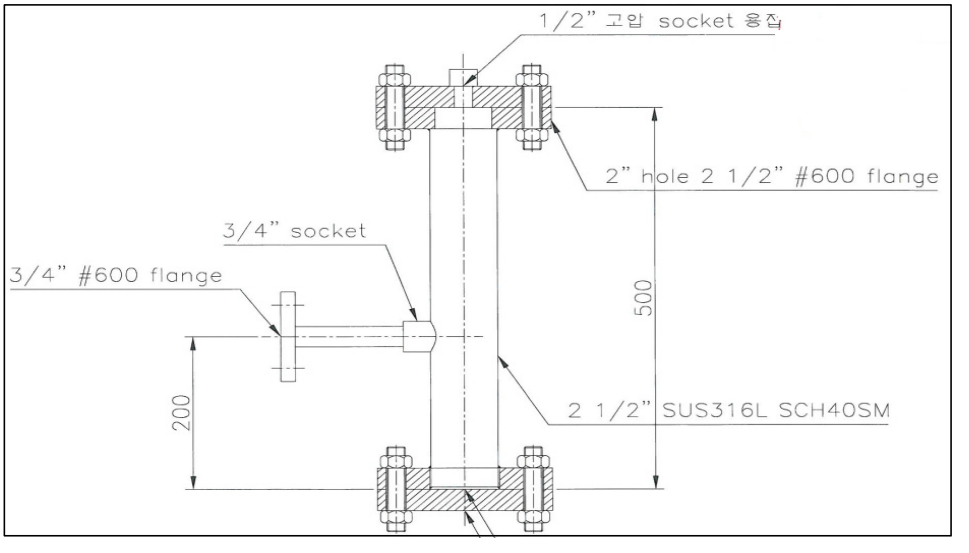
원료반응공정에서 백필터에 의해 걸러진 미반응 규소분진을 저장하여 STC 및 TCS를 제거한 뒤 폐수처리장으로 보내 Si를 처리하기 위한 탱크이다.

명칭	크기	운전/설계온도	운전/설계압력	재질
배출탱크	0.8m(D) x 3.5m(L)	200℃/400℃	2.5MP/3.5MP	A240-316L

2) 필터(FLT-121A)사양

외형	사용재질	내용적	저장물질	플랜지등급	스케쥴No
ID6.35cm × L50cm	SUS316L	1,538.9cm^3	Si/STC/ TCS	600ℓb	40

▶ **Filter Housing(FLT-121) 도면**



Si Drain Tank(T-121) 중상부에 연결되어 있는 필터는 T-121에 포함된 기상물질을 스크러버로 보내는 배관에 설치되어 기상물질에 섞여 들어가는 규소분진을 제거하기 위한 것으로서 정기적인 청소가 필요하다.

필터는 A/B 2개가 있어 교대로 사용하고 청소하며 청소시 필터 전단 밸브를 차단하고 필터 상부의 1/2″ 배관을 개방하여 내부기체를 배출한 뒤 분해하여 청소한다.

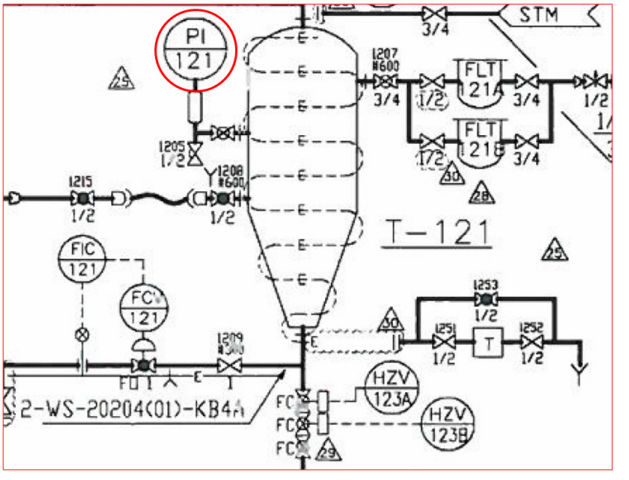
Ⅲ. 사고분석

① 작업현황

작업현황 및 사고발생경위

사고당일 08:30분경 T-121의 규소분진을 T-121탱크 하단의 규소처리탱크(T-122)로 이송하기 위하여 Board Man이 Field Man에게 T-121 탈압을 지시하여 필터 전단의 밸브 2기를 오픈하고, 탈압 작업을 약 1시간 진행하였다.

약 한 시간 정도 탈압을 진행 시 T-121의 압력이 정상적으로 감압되어야 하나, 현장에서 PI-121을 확인한 결과 1.5MPa임을 확인하였다.



09:25분경 Board Man이 교대조장에게 안전작업허가 발행을 요청하였다. 이후 09:30분경 교대조장이 Field Man들에게 작업내용 지시 및 안전교육을 실시하였다(안전작업허가 시간은 10:10분경).

09:40분경 Board Man이 T-121의 탈압 중 압력계의 오지시(1.5MPa Holding)가 의심되어 교대조장에게 보고하였다.

※ 교대조장과 Field Man은 현장에 압력게이지(PG)를 PI-121 하부 Drain 노즐에 임시로 설치하여 탈압된 상태(0.3MPa)를 확인함.

09:47분경 교대조장과 Field Man은 T-121 내부를 질소로 감압(0.3MPa => 0.1MPa)하여 압력 퍼지를 2회 실시하였으나, 3회째 실시에 0.3MPa로 가압후 필터가 완전히 막혀 감압이 진행되지 않았다.

10:00분경 Field Man이 T-121 필터 플랜지의 너트를 1~2바퀴 풀어 Flange 덮개를 조금 이격시킨 후 가스검지기로 가연성 가스의 누출여부를 확인한 결과 가스검지기에서 감지 징후가 없어 작업허가서 발행을 요청하였다.

10:30분경 T-121 Filter 교체 작업 시작하고 잠시 후 분진이 조금 날리기 시작하였고 곧 화염이 분출되었다.

※ 분출된 화염은 곧 소멸하였고 전기케이블에 옮겨 붙은 불이 일부 진행되고 있었으나 주수 소화시 전기적 위험 및 물과의 접촉으로 인한 수소발생 위험으로 소화를 진행하지 않고 현장에서 상황을 파악함.

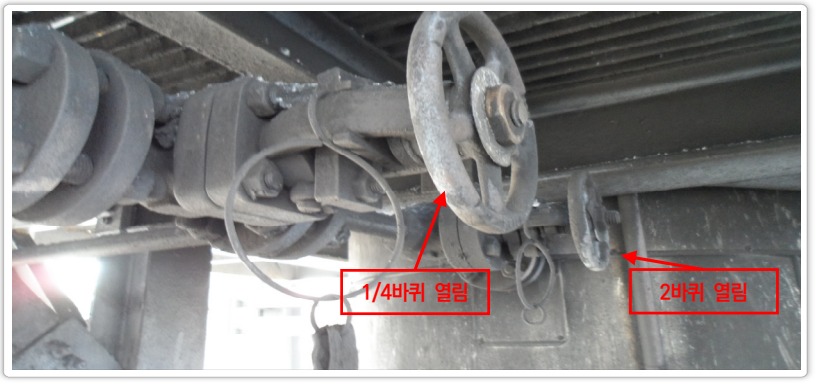
이후 10:41분경 합성공정을 Shut-down 하고, 10:46분경 대외기관에(소방서, 경찰서) 신고하였다.

10:48분경 T-121 주위의 화재가 거의 소멸되고 덕트 내의 케이블에 붙은 불이 일부 관찰되었으나, 10:59분경 소방차가 현장에 도착하여 케이블에 일부 진행되고 있던 잔불에 대한 소화를 시작하여, 11:04분경 화재가 진행되고 있던 케이블 트레이에 대한 1차 소화를 완료하였고, 11:20분경 전기 케이블 트레이 잔불 정리 및 진화를 완료하였다.

② 사고발생 원인추정

1) T-121내부로부터 가압된 가연성 혼합기체의 누출

T-121 탱크내부의 압력이 완전히 감압되지 않은 상태에서 T-121과 연결된 필터(FLT-121A) 전단에 설치된 두 개의 차단 밸브가 실리콘 분말 등에 의해 완전히 닫히지 않은 상태로서 탱크내부의 압력이 필터에 미칠 수 있는 상태에서 필터 청소 작업이 진행되어 가연성기체가 방출될 수 있었다.



[사진 3] 필터(FLT-121A) 전단 차단밸브

2) 가연성 물질 및 폭발분위기 형성

T-121 탱크 내부에는 인화성물질인 수소와 TCS가 있었으며 탱크내 온도와 해당온도에서의 증기압, 기체 분압을 감안하였을 때 사고직전의 2회 감압퍼지(0.3MPa→0.1MPa) 후 탱크 내부의 가스의 농도는 다음과 같이 파악되었다.

※ 기업비밀 보호상 세부 적용 데이타는 생략

▸ 퍼지 후 수소 및 TCS의 가스농도(퍼지에 관한 식 적용)

수소 : $y_i = y_0 (\frac{P_L}{P_H})^n = 12.38\%$

TCS : $y_i = y_0 (\frac{P_L}{P_H})^n = 0.27\ \%$

여기서 y_i는 퍼지후 가스농도

y_o는 퍼지전 가스농도

P_L은 퍼지시 저압(게이지압)

P_H는 퍼지시 고압(게이지압)

n은 퍼지횟수

따라서 퍼지 후 탱크내 수소와 TCS는 총 12.38 + 0.27 = 12.65% 존재함

▸ 수소 및 TCS의 혼합가스 연소범위 (르샤틀리에 공식 적용)

$$LFL = \frac{100}{\frac{V_1}{L_1} + \frac{V_2}{L_2}} = \frac{100}{\frac{97.86}{4} + \frac{2.14}{1.2}} = 3.81\%$$

$$UFL = \frac{100}{\frac{V_1}{U_1} + \frac{V_2}{U_2}} = \frac{100}{\frac{97.86}{76} + \frac{2.14}{90.5}} = 76.34\%$$

따라서, 수소 및 TCS의 혼합가스가 누출되어 공기 중에 3.81% 이상 존재하고 점화원이 있는 경우에는 폭발할 수 있다.

3) 점화원 추정

(1) 자연발화

내용물에 포함된 TCS(Trichloro Silane)는 극인화성의 가연성 물질이며 자연발화온도가 사업장에서 보유한 MSDS를 기준으로 185℃로서 운전온도 보다 낮아 누출될 경우 대기중의 산소와 접촉해서 자연발화 할 수 있다.

(2) 정전기

정전기는 다양한 원인에 의해 발생할 수 있으며 축적 후 조건이 완성되면 방전하게 되고, 방전시 가연성 혼합기가 존재하면 발화원이 될 수 있다.

사고발생시 Si 분진이 함유된 가스가 분출·충돌되는 과정에서 정전기가 축적된 후 방전되어 점화원으로 작용하였을 가능성이 있으며, 필터측 플랜지에 본딩이 생략된 점, TCS와 수소의 점화에너지가 0.017mJ 및 0.02mJ로 매우 낮은 점을 고려할 때 충분한 가능성이 있다.

※ 분출대전 : 가스상의 내용물들이 밸브의 좁은 틈, 필터와 카트리지 사이의 틈으로 분출되었으므로 정전기가 발생할 수 있음.

※ 충돌대전 : 실리콘 금속 분진이 분출되는 과정에서 밸브, 필터벽 등과 충돌하여 정전기가 발생할 수 있음.

※ 마찰대전 : 작업자가 착용한 방진작업복이 비전도성으로 작업시 마찰 등에 의해 정전기가 발생할 수 있음.

4) 결론

드레인 탱크 내부에 가연성 물질이 체류하고 필터로 연결되는 배관의 차단밸브가 완전히 닫히지 않은 상태에서 필터의 분해 및 내부 카트리지 제거작업이 수행되었다.

이 과정에서 탱크 내용물이 필터를 통하여 외부로 누출되면서 공기와 가연성의 혼합가스를 형성한 후 자연발화 또는 정전기 등의 점화원에 의해 발화되었으며 탱크 내부 압력이 완전히 해소된 뒤 연소가 중지된 것으로 판단된다.

Ⅳ. 사고발생 원인

원인 1 작업계획 및 작업허가 방법 미흡

고인화성 물질이 가압된 저장탱크(화학설비)와 관련된 보수 작업을 수행함에 있어 발생할 수 있는 위험에 대비한 충분한 내용의 작업계획서가 마련되어 작업허가시 확인하지 않았다.

(1) 작업대상인 가압된 용기의 압력이 완전히 해소되지 않은 상황에서의 대책이 마련되지 않았음.

(2) 정확한 가스감지 수단이 명시되지 않았음.

원인 2 인화성가스 측정방법 부적절

(1) 탱크내부의 가스를 측정하기 위한 안전한 방법이 없어 필터 플랜지의 너트를 풀고 플랜지 덮개를 이격시킨 후 이동식으로 용기외부에서 가스를 측정했다.

(2) 인화성가스의 농도를 작업시작 30분전인 10:00경 1회만 실시하여 작업수행 중에 발생하는 가스누출에 대한 감지 수단이 없었다.

(3) 측정대상 가스인 수소, TCS 전용가스 검지기를 사용하지 않고 가연성 가스감지기를 사용하여 측정의 신뢰성이 낮았다.

[사진 4] 가연성 가스검지기

원인 3

정비보수작업 위험성평가 실시 미흡

인화성물질이 가압된 탱크와 연결된 필터의 보수작업에 있어 해당 작업과 관련된 충분한 위험성평가가 미흡하여 작업허가시 필요한 조치가 이루어지기 어려웠다.

(1) 탱크내부압력이 완전히 배출되지 않았을 경우의 위험성

(2) 퍼지시 내부의 인화성분위기가 완전히 제거할 수 있는 퍼지량에 대한 평가

(3) 필터가 막혀 탱크잔압을 완전히 해소할 수 없을 경우에 대한 위험 및 대책

(4) 점화에너지가 작은 가스의 누출에 있어 점화가능성 및 정전기 관리

(5) 압력이 가해져 있는 필터의 카트리지 분리시 발생할 수 있는 물리화학적 위험

(6) 규소분진으로 인한 밸브의 잠금 불량 상황에서의 위험성

원인 4

계측장치의 설치 및 정비상태 미흡

(1) 해당 설비내부의 상태를 파악하기 위해 온도계, 압력계 등을 설치하였으나, 사고발생 당시 정상작동하지 않아 근로자가 정확한 계측값을 알지 못한 상태로 작업을 수행하는 등 정비 및 관리상태가 미흡하였다.

(2) 퍼지작업 수행시 임시압력계를 설치하였으나 지시범위가 0~5MPa까지로 작업범위인 0.1~0.3MPa에 비해 과도하게 넓고 검교정 기록도 없어, 측정오차 및 계기오차가 발생하여 정확한 계측이 어려웠다.

[사진 5] 질소 퍼지시 사용된 압력게이지

Ⅴ. 동종사고 예방대책

대책 1 작업계획서 작성 철저

인화성물질이 가압된 탱크 및 주변설비에 관한 작업은 화재 등에 의한 근로자의 위험을 방지하기 위해 아래의 내용을 포함하여 작업계획을 작성하고 그 계획에 따라 작업을 실시해야 한다.

(1) 탱크 내부 및 작업대상 설비의 압력을 해소할 수 있는 방법
(2) 잔압이 해소되지 않았을 경우의 대책
(3) 내부압력을 측정할 수 있는 수단의 확보
(4) 측정계기가 불량할 경우 선택할 수 있는 대체 수단의 확보
(5) 탱크내부의 인화성물질 제거를 위한 적정 퍼지량의 확보
(6) 퍼지 후 탱크내부 인화성물질 제거상태를 확인할 수 있는 수단의 확보
(7) 만일의 사고가 발생할 경우 필요한 비상조치의 마련

대책 2 인화성가스 측정방법 마련

(1) 탱크내부의 가스를 측정해야 할 경우 플랜지를 개방하여 누설되는 가스를 측정하지 말고, 온라인 측정을 하거나 누출량을 최소화 할 수 있는 안전한 구조의 측정구를 사용하여 내부 가스를 측정하여야 한다.
(2) 인화성가스의 변동요인이 있을 경우 또는 조건이 변동될 때마다 측정할 수 있어야 한다.
(3) 가스검지기는 측정대상 가스에 적응성이 있거나 환산치가 있는 가스감지기를 사용하여야 한다.

대책 3

정비보수작업 수행시 위험성평가 및 대책마련

위험작업으로 지정되지 않았다 하더라도 위험설비와 관련된 정비보수 작업시의 작업여건을 반영한 Job Safety Analysis와 같은 방법을 통하여 위험한 상황이 발생하지 않도록 하여야 하며, 인화성물질이 가압된 탱크와 연결된 필터의 보수작업시 아래 사항들에 대한 검토 및 대책을 작업허가에 반영해야 한다.

(1) 탱크내부압력이 완전히 배출되어야만 작업을 수행
(2) 퍼지시 내부의 인화성분위기가 완전히 배제될 수 있는 퍼지량 평가 및 적용
(3) 필터가 막혀 탱크잔압을 전혀 해소할 수 없을 경우 바이패스 배출배관 검토
(4) 점화에너지가 작은 가스가 내부압력에 의해 누출될 경우 정전기로 인한 자연발화 가능성 검토
(5) 분체로 인한 밸브의 잠금불량 상황에서의 대체수단 마련

대책 4

계측장치의 정비철저 및 추가설치

해당 설비에 설치된 온도계, 압력계 등은 정비 및 관리를 철저히 실시하고, 1기가 오작동해도 정상측정이 가능하도록 추가로 1기를 설치하고, 측정게이지는 측정대상의 값에 적합한 Full Scale의 계기를 선정해야 한다.

대책 5

필터(FLT 121A/B) 설비 개선

필터에는 전·후단에 압력계 등을 설치하여 필터가 완전히 막히기 전 적절한 시기에 청소작업을 실시할 수 있도록 하고, 필터가 막히는 등 정상작업이 곤란할 때를 대비하여 예비용 벤트배관을 설치하는 등 설비를 개선해야 한다.

Ⅵ. 사고로부터 얻은 교훈

화재위험이 높은 자연발화성물질을 취급하는 공정에서의 정비·보수 작업은 물질이 누출될 개연성을 항상 갖고 있기 때문에 작업과정에서 위험이 매우 높다고 할 수 있다. 이러한 사고의 원인을 근본적으로 해결하지 않고서는 사고재발의 위험도 높기 때문에 여러 가지 측면에서 검토가 필요하다.

교훈 1

근원적인 공정개선

이 사고와 관련된 공정은 공정부산물을 처리하는 과정에서 고형분진의 발생 및 처리가 불가피하여 빈번한 정비보수가 필요로 하였다. 정상적인 운전에서 빈번한 정비보수가 필요하다는 것은 그만큼 사고위험을 증가시키기 때문에 공정개선을 통하여 수작업에 의한 정비보수의 필요성을 줄이는 방안이 필요하였다.

이러한 교훈을 바탕으로 사고 발생 사업장은 회사자체 전문가와 외부전문가들로 TF팀을 구성하여 공정개선에 착수하였고, 그 결과 약 6개월 후에 기존의 문제점들을 개선한 공정을 개발하였다. 개발된 공정은 공정안전보고서 심사를 통하여 일부 미비점을 보완한 후 기존 공정보다 훨씬 더 위험이 감소되고 근원적으로 안전한 상태에서 공정운전을 할 수 있게 되었다.

교훈 2

작업전 내부 잔류가스의 철저한 확인

화학물질을 취급하는 화학설비의 정비에 있어 내부 잔류물질은 완전히 배출되고 내부물질로 인한 위험성은 없어야 한다. 이러한 내부물질의 잔류여부는 플랜지를 개방하는 방법이 아닌 작업구간의 게이지나 온라인 가스감지기를 사용하는 등 안전한 방법으로 이루어져야 한다.

교훈 3

정비보수작업에 대한 위험성평가

정비보수작업은 여러 가지 현장요인에 의해 작업상의 위험이 매우 높다고 할 수 있다. 이러한 정비보수 작업의 위험성은 작업 전에 해당 관계자들로 하여금 충분히 평가되어야 하며, 평가된 위험요인에 대해서는 사고로 이어지지 않도록 적절한 안전조치가 확보되어야 한다.

Ⅶ. 유사 사고사례

사고사례

① 자연발화성 물질 취급공정 누출

발생일시	2013년 8월 18일 10시 43분경
사고장소	경북 상주시 소재 (주)OOOO
피해내용	폭발 및 화재
사고개요	실란(SiH_4)제조 공정에서 반응기전단의 공급배관에 부착된 플랜지부분에서 삼염화실란($SiHCl_3$)과 모노실란(SiH_4)이 포함된 가스가 누출되어 개방공간 폭발 후 누출점에서 수 시간 동안 연소화재가 지속됨(삼염화실란은 수분 접촉시 염산과 수소발생)
피해상황	폭발에 의한 누출장소 주위건물 파손 및 화재에 의한 누출공정 소손
사고원인	플랜지로부터 누출된 공정물질이 수분과 접촉하여 부식성물질을 생성하고 플랜지부위와 체결볼트에 부식이 진행되었으며 어느 순간 볼트와 플랜지가 공정압력을 이기지 못하게 되어 플랜지가 일시에 파단 되고 공정상의 발화성물질 누출

사고사례

② 자연발화성 물질 저장 실린더 밸브로부터 가스누출

발생일시	2013년 5월 22일 14시경
사고장소	경기도 시흥시 정왕동 소재 OOOOOO(주)
피해내용	화재
사고개요	특수가스 제조공장의 실란 출하장에서 충전을 마친 47ℓ 실란 실린더 용기의 밸브 토출구로부터 실란 가스가 누출되면서 자연발화하고, 내용물 완전누출 후 연소 중지됨
피해상황	실린더의 밸브부위가 완전히 소손됨.
사고원인	밸브의 고장에 의한 것으로서 밸브 예방정비 부족, 수명에 따른 정기교환 미실시, 품질검사 미비 등의 복합적 원인으로 추정

참고문헌

참고문헌

1. 물질안전보건자료 (실란, TCS), 안전보건공단 및 제조사

2. 고용노동부고시 화학물질의 분류·표시 및 물질안전 보건자료에 관한 기준

3. 중대해재 조사의견서, 한국산업안전보건공단; 2013

4. 공정안전보고서, 한국산업안전보건공단; 2013

□ 작 성

- 박승규 (안전보건공단 대구지역본부 중대산업사고예방 구미기술지원팀)
- 권남호 (안전보건공단 대구지역본부 중대산업사고예방 구미기술지원팀)
- 이수희 (안전보건공단 대구지역본부 중대산업사고예방 구미기술지원팀)

□ 검 토

- 안전보건공단 전문기술총괄실 중대산업사고예방팀
- 이준원 (안전보건공단 전문기술총괄실장)

『트리클로로실란(TCS) 누출화재사고』 사례 연구

2014-전문기술총괄-602

발 행 일 : 2014년 10월 일

발 행 인 : 한국산업안전보건공단 이사장 이 영 순

발 행 처 : 한국산업안전보건공단 전문기술총괄실

주 소 : 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : (052) 703-0599

F A X : (052) 703-0312

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

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함