

Contents



폐수집수조 내 인화성가스 폭발사고

I. 사고개요	4
II. 사업장 현황	6
III. 사고분석	10
IV. 사고발생 원인	22
V. 동종사고 예방대책	24
VI. 사고로부터 얻은 교훈	27
VII. 유사 사고사례	30

용어 설명

1

인화성 액체

표준압력(101.3 kPa) 하에서 인화점이 60 °C 이하인 액체를 말한다.

2

인화성 가스

(산업안전보건법) 수소, 아세틸렌, 에틸렌, 메탄, 에탄, 프로판, 부탄 등과 같이 인화한계 농도의 최저한도가 13 % 이하 또는 인화 최고한도와 최저한도의 차가 12 % 이상인 것으로 표준압력(101.3 kPa) 하의 20 °C에서 가스 상태인 물질을 말한다.

3

연소범위(폭발범위)

점화원에 의하여 연소(폭발)를 일으킬 수 있는 인화성가스와 공기의 혼합가스 농도의 범위로서 그 하한농도를 연소(폭발)하한농도, 상한농도를 연소(폭발)상한농도라 한다. 연소범위는 인화성가스의 종류에 따라 다르고 일반적으로 그 연소범위가 넓고 하한농도가 낮을수록 연소나 폭발 분위기를 생성하기 쉽다.

4

인화점(Flash Point)

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

5

세정탑(Scrubber)

폐가스와 흡수액을 향류(Counter Current)로 접촉시켜 폐가스 성분 중 가연성 또는 독성 성분을 흡수액에 흡수시키는 장치이다. 흡수액으로는 보통 물을 사용하지만 가스나 입자의 성질에 따라 다른 액체도 사용된다.

6

안전작업허가

위험요소가 잠재되어 있는 작업(화기, 제한공간 출입 등)이나 위험지역에서 수행되는 작업을 대상으로 사전 위험성확인, 작업시 안전조치사항 등 제반 안전요구사항의 조치확인, 현장 안전작업 실행 등을 위한 문서화된 허가 행위를 말한다.

7

폭기조(爆氣槽, Aeration Tank)

생물학적 폐수처리방법 중 활성슬러지법(Activated Sludge Method)의 핵심이 되는 탱크로서 폐수는 폭기조에서 활성슬러지(汚泥,오니)와 혼합되고 산소의 공급을 받는다. 산소를 투입하는 방법은 압축공기를 송입하는 산기식(散氣式, Air Blow System)과 오수를 뒤섞어 대기와 직접 접촉하게 하는 교반식(攪拌式)이 있다.

8

활성 슬러지(Activated Sludge, 활성오니)

폭기조에서 폐수에 섞인 유기물을 산화시키는 미생물(Microorganism)이며, 침전조에서 처리수(Treated Wastewater)와 분리된다.

I. 사고개요

2015년 7월 3일(금) 09:16분경 울산 남구 소재 ○○(주) 울산2공장 폐수처리장의 폐수 및 악취제거 환경설비 개선공사를 위하여 고농도 폐수 집수조 상부에서 폐수 이송배관 연결작업을 하던 중 폐수집수조 내부에서 폭발이 발생하여 외주 협력업체 근로자 6명이 사망하고, 인근 출하장 경비실 경비원 1명이 부상을 입은 사고이다.

※ 폐수집수조 크기 : 가로 14.8 m x 세로 12.8 m x 높이 5.8 m, 내용적 800 m³



[사진 1] 사고 발생 폐수처리장 폐수집수조

● 인명피해

- 사망 6명(환경설비 개선공사 협력업체)
- 부상 1명(경비원, 협력업체)

● 물적피해

- 폐수집수조 완파



[사진 2] 폭발사고로 완파된 폐수집수조(V-2452C1/C2)



[사진 3] 폭발사고로 완파된 폐수집수조 상부 제거 후 모습(V-2452C2)

II. 사업장 현황

사고가 발생한 회사는 1965년에 설립되어 1967년 울산2공장에 국내 최초로 PVC 공장이 준공되었다. 울산1공장에는 폴레에틸렌, VCM, CA, EDC 등 각종 산업의 기반이 되는 기초 석유화학제품을 생산하는 종합화학 공장이며, 울산2공장에는 약 340여명이 근무하고 있다.



[사진 4] 공장 전경

1 시설현황

폐수집수조

- 명칭 : WW(Waste Water) Storage Pond(고농도 폐수 집수조)
- 설치년도 : 1998년
 - 2010년 환경관련 악취 제거 등을 위하여 집수조 상부 콘크리트 덮개를 설치
 - 2015년 3월 23일부터 사고당시까지 폐수 및 악취제거 환경설비 용량증설 공사
- 용량 : 800 m³(12,800 W × 14,800 L × 5,800 H, 중앙에 콘크리트 칸막이를 설치하여 400 m³ × 2개 집수조로 분리하여 사용)
- 재질 : 철근 콘크리트 + Epoxy
- 운전 : 상온, 상압



[사진 5] 폐수집수조 덮개 설치공사 당시 사진(2010년)

2 사고발생물질

VAM(Vinyl Acetate Monomer)

폭발사고 발생 후 집수조 내 잔여 폐수의 상층부 시료를 채취하여 공단 산업안전보건연구원에서 분석한 결과 0.56 wt%의 VAM이 함유된 것으로 확인되었으며, 물성치는 사업장 MSDS를 기준으로 작성하였다.

물질명	폭발범위 (vol.%)	인화점 (℃)	끓는점 (℃)	증기압 (kPa @ 20℃)
VAM	2.6 ~ 13	-8	72	11

3 공정설명

폐수처리공정 흐름도

폭발사고가 발생한 폐수 집수조는 2010년 제작된 콘크리트 구조물로서 ○○(주) 울산2공장의 생산공정 중 접착제와 관련된 제품을 생산하는 SPVC 공정으로부터 배출되는 VAM 등의 고농도 복합폐수를 상온·상압 하에 저장한 후 생물학적 폐수처리 설비로 이송하는 폐수처리 집수조이다.

III. 사고분석

1 사고발생과

사고발생과정

2015. 3. 20.(금) ○○(주) 울산2공장의 고부가 제품 생산을 위한 폐수 및 악취제거 환경설비 용량증설 공사를 외주 협력업체와 3월 17일 계약을 체결하고 3월 20일부터 공사를 시작하였다.

2015. 5. 8.(금)부터 5. 13.(수)까지 폐수집수조 상부의 폐수 이송 배관 신설 및 교체작업을 실시하였다.

2015. 5. 28.(목)부터 5. 29.(금)까지 폐수집수조 상부의 집수조 폐수 이송펌프 P-2452C1/C2 철거 후 1차로 용량이 증대된 펌프 P-2452C2만 우선 설치하였으며, 설치한 펌프 P-2452C2는 기존 배관을 통하여 V-2452C2의 폐수 이송용으로 운전하였다.

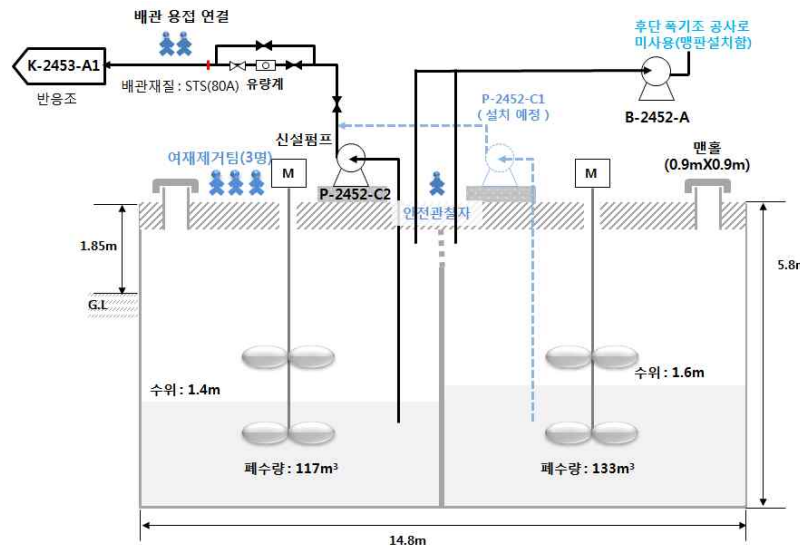
2015. 6. 18.(목) 사고발생 폐수집수조 내부의 악취를 포함한 공기를 흡입하여 폭기조로 공급하는 배풍기 B-2452-A(집수조 상부 위치)의 가동을 폭기조 개조작업을 위해 정지하였다.

2015. 7. 2.(목) 사고발생 폐수집수조와 후단의 생물학적 처리설비 반응기와 연결되는 폐수 이송 배관 Header 각 라인에 유량계 설치작업을 실시하였다.

2015. 7. 3.(금) 01:00경 SPVC 중합공정 폐수조에서 배출되는 폐수를 사고발생 집수조로의 이송을 중지하고, 다른 폐수처리장으로 우회 연결(By-pass)하고 P-2452C2의 펌프 가동을 정지하였다.

08:00경부터 응집제 반응조 K-2453A1/C2/D1로 연결되는 펌프 P-2452C2 토출측 배관과 Pipe Rack에 설치된 배관의 연결 및 주변 청소작업을 시작하였다.

09:12경 출하장 후문에 설치된 CC-TV의 폐수집수조 측면을 비추는 화면에서 폭염 확인시간인 09:12:56에 폐수집수조 내부 폭발사고가 발생하였고, 12:43경에 사망자 6명을 최종 확인하고 시신 수습을 완료하였다.



[그림 2] 폐수집수조 입면도

2 사고발생 원인추정

1) 가연물 및 폭발분위기 조성 추정

사고발생 물질인 Vinyl Acetate Monomer(이하 VAM)는 SPVC 중합공정의 PVC 생산을 위한 공중합체 반응 원료이다.

사고발생 폐수집수조는 SPVC 공정 등에서 발생하는 물과 VAM을 분리하기 위

한 분리기 T-311A(VAM Separating Vessel)의 하부에서 분리되지 않은 물과 VAM(정상운전 시 폐수에 약 1.5 % 포함 : SPVC 공정 PFD 확인) 및 Decanter CF-457A1/A2에서 탈수된 폐수를 SPVC 중합공정의 1차 폐수집수조로 집수한 후, 사고발생 폐수집수조로 이송되므로 정상운전 중에도 폐수에는 VAM이 용해되어 있으며, 폭발사고 후 채취한 폐수집수조 폐수 분석결과 VAM은 0.56 wt% 포함되었으며 이를 근거로 집수조 상부 공간의 증기량을 추정하면,

(1) 사고 발생 후 폐수집수조 상부 폐수의 VAM 잔존량

→ 시료분석 결과 폐수에서 0.56 wt% Vinyl Acetate 검출
(직업환경연구실 분석 결과)

○ 폐수집수조(V-2452C1/C2) 내부 폐수량 : 250 m³

$$250 \text{ m}^3 \times \frac{1,000 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{0.56}{100} = 1,400 \text{ kg VAM}$$

※ VAM이 폐수 내부에 균일하게 분포되었다고 가정하면 사고 발생 후에도 폐수집수조 내 약 1,400 kg의 VAM이 폐수에 용해되어 있었을 것으로 추정된다.

(2) 시료 분석치를 이용한 폐수집수조 내부 증기 공간의 VAM 함량 추정

→ 사고 발생 14일 전인 6월 18일 폐수집수조 배풍기 (Blower, B-2452-C1)의 가동을 정지시켰고, VAM의 증기 밀도 3(공기보다 3배 무거움)을 고려하면 집수조 상부 개구부로 VAM 증기가 배출되지 못하였을 것으로 추정되며, 환기설비가 정지된 후 약 2주간 폐수에 용해된 VAM이 집수조 내부 공간으로 증발하여 집수조 내부의 증기공간에는 VAM이 기·액평형상태에 도달한 것으로 가정하였다.

○ Henry's Law 적용

$P = k \cdot C$ P : 부분압 (atm)

k : 헨리상수 ($4.81 \times 10^{-4} \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$)

C : 용해도 (0.56 g / 100 ml)

$$= \frac{4.81 \times 10^{-4} \text{ atm} \cdot \text{m}^3}{\text{mol}} \times \frac{\text{mol}}{86.09 \text{ g}} \times \frac{0.56 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 10^6$$

$$= 0.0313 \text{ atm}$$

$$\Rightarrow \frac{0.0313 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} \times 100 = 3.13 \% \quad (\text{압력분율} = \text{부피분율})$$

폐수집수조 V-2452C1/C2의 내부 증기체류 공간(Vapor Zone)에 3.13 %의 VAM 증기가 체류할 수 있을 것으로 추정할 수 있으며, 이를 폐수 집수조 내부 폐수를 제외한 체적(560 m^3)에 대한 중량으로 환산하면

$$w_{VAM(g)} = 560 \text{ m}^3 \times \frac{3.13}{100} \times \frac{\text{kmol}}{22.4 \text{ m}^3} \times \frac{86.09 \text{ kg VAM}}{\text{kmol}}$$

$$= 67.37 \text{ kg VAM}$$

폭발사고로부터 약 2시간 경과 후 집수조의 잔여 폐수 중 상층부에서 채취한 시료는 폭발에 의하여 폐수 내부 VAM이 상당량 연소되었을 것으로 추정되고, 또한 폭발 후 집수조 상부가 대기로 개방된 상태에서 채취한 시료이므로 사고 발생 당시에는 3.13 vol% (67.37 kg) 이상의 VAM 증기가 존재하였을 것으로 추정된다.

(3) VAM의 폭발하한계 2.6 %를 만족하기 위한 Vapor Zone의 VAM 함량

→ 폐수집수조 내부의 폐수공간을 제외한 체적

$V_V = 283 + 267 = 560 \text{ m}^3$ 에서 VAM 폭발하한계 (LEL) 2.6 %를 구성하기 위한 VAM의 필요량은

$$\begin{aligned} w_{VAM(g)} &= 560 \text{ m}^3 \times \frac{2.6}{100} \times \frac{\text{kmol}}{22.4 \text{ m}^3} \times \frac{86.09 \text{ kg VAM}}{\text{kmol}} \\ &= 54.96 \text{ kg VAM} \end{aligned}$$

(결론) 폐수집수조 Vapor Zone에 54.96 kg의 VAM이 존재 시 폭발하한계(LEL)인 2.6 %의 폭발 위험분위기 조성이 가능하며, 공기와 점화원이 있을 경우 폭발이 발생할 수 있다. 또한, (2)에서 추정된 67.37 kg은 폭발하한계(LEL) 2.6 %를 초과하는 3.13 % 이므로 사고 당시에는 집수조 내부 공간에 폭발 위험 분위기가 형성되었을 것으로 추정된다.

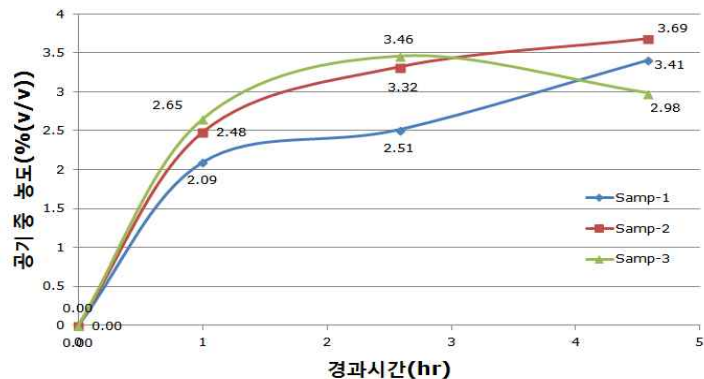
■ 공정집수조 및 사고발생 집수조의 시료분석

- 채취한 시료는 여과지를 이용하여 1차 필터링 후 가스 크로마토그래프/질량분석기(GC/MSSD)에 액체상태로 주입하여 크로마토그램의 피크에 해당하는 물질을 정량적으로 확인

연번	시료명	pH	주요 성분 및 함량(μg/중량비))		
			Vinyl acetate	Acetic acid	기타
1	폐수집수조	4.43	0.56	0.08	-
2	V1375	8.31	-	-	-
3	V2401B	6.86	-	-	-
4	V2451A	5.47	0.02	0.02	Vinyl chloride(미량)
5	V2451B	4.32	0.06	0.11	-

■ 시험용기를 통한 사고발생 폐수의 공기 중 농도

- 시험용기(21.6 mL 유리관)에 사고발생 집수조의 30~ 36 % 폐수 수위를 고려하여 7 mL를 넣고 밀봉하여 상온에 일정 시간 경과 후 상부 기상에서 시료를 채취하여 GC 분석



시간 (hr)	시료수	평균농도 (%v/v)	표준편차 (%v/v)	비고
1.0	3	2.41	0.23	상온 (약 25℃)
2.6		3.10	0.42	
4.6		3.36	0.29	
40.0		4.32	0.04	

2) 점화원 추정

추정 1) 아르곤 AC/DC TIG 용접작업에 의한 불티

사고조사 시 현장에서 아르곤 AC/DC TIG 용접기가 발견되었고, 안전작업허가서에 기재된 “V-2452C 상부 펌프 Head 배관 설치 및 청소” 지역에 해당하는 P-2452C2 펌프 토출측 배관 Header 부분에 플랜지와 배관 연결을 위한 TIG 용접 흔적이 [사진 6]과 같이 발견된 것으로 보아 TIG 용접 작업이 실시된 것으로 추정되며,



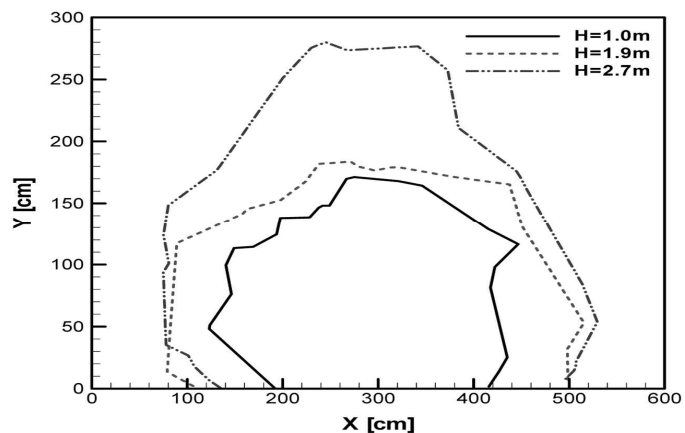
[사진 6] 배관연결 TIG 용접작업 추정 부위

[그림 3]과 같이 중앙소방학교 소방과학연구실에서 실험한 AC/DC TIG 용접실험 결과 2.7 m 높이에서 작업 시 길이방향 최대 2.8 m, 폭방향 2 m까지 불티가 비산될 수도 있음을 제시하고 있으나, 관련 실험은 강재(탄소강)에 대한 실험결과이며, 일반적으로 스테인레스 스틸(STS)에 대한 TIG 용접 작업에는 불티가 거의 비산되지 않는 것으로 알려져 있으며, 현장에서 스테인레스 스틸(STS 304) 배관에 대한 TIG 용접 실험결과 육안으로 불티발생을 확인하기 어려웠다.



[사진 7] 스테인레스 스틸 배관 TIG 용접 실험

이를 근거로 추정하면 스테인레스 스틸 배관연결을 위한 TIG 용접작업 중 발생한 불티는 약 4 m 거리의 폐수집수조 상부 교반기 아래의 개구부로 비산되기는 불가능할 것으로 판단되며, 당일 용접작업장 아래의 기존 펌프를 가동하지 않았고, 인입배관 또는 드레인 배관의 콘크리트 상부 개구부로 불티가 인입될 가능성은 있으나 사고당일 작업자 진술에 따라 끝막음 조치가 완벽하였다고 가정하면, 점화원 유입경로 역할을 하기에는 어려운 것으로 추정된다.



[그림 3] 용접·절단 작업시 화재위험성에 관한 실험적 연구
(출처 : 중앙소방학교 소방과학연구실, 2012)

※ 사고발생 폐수집수조 V-2452C2 측면에서 발견된 DC 아크용접기를 이용한 Pipe Rack 브라켓 용접 등이 있었을 경우 약 4 m 거리의 교반기 개구부까지 비산은 가능하나, 당일 작업자들이 아크용접기를 사용하지는 않았다는 진술을 하고 있으며, 현장에서 발견된 아크 용접기의 용접봉 홀더에서도 용접봉이 없는 상태로 발견되었다.



[사진 8] 폐수집수조 측면에서 발견된 아크용접기 홀더

추정 2) 고속절단기 및 핸드 그라인드

당일 작업 대상인 배관연결 작업을 위해 배관의 고정 철물 절단, 배관연결부 길이 조정 등을 위한 스푼(Spool) 절단작업, 절단면의 그라인딩 작업, 용접 전·후면처리 작업 등이 수행 되었을 것으로 추정되며, 고속절단기 및 핸드 그라인더 작업을 재현한 실험에서 발생된 불티는 4 m 이상 비산되는 경우도 확인되었다.

이를 근거로 추정하면 고속절단기 절단작업 또는 핸드 그라인더 작업 중 발생한 불티가 폐수집수조 교반기의 샤프트 연결 플랜지 아래의 개구부 또는 철거된 배관의 콘크리트 상부 개구부 막음조치가 불량한 지점의 개구부로 인입될 경우에는 점화원으로 작용하였을 것으로 추정된다.

※ 생존 작업자가 사고발생 전 절단작업을 하였다고 진술하였으며, 14" 고속절단기와 4" 핸드그라인더는 각각 폐수집수조 측면 Walkway와 집수조 내부에서 발견되었다.



[사진 9] 사고당시 사용된 동일한 고속절단기 및 핸드 그라인드 작업 실험

추정 3) 비방폭형 Level Transmitter 등 전기적 점화원

폐수집수조 상부에 설치된 전가·기계가구는 교반기(A-2452C1/C2), 펌프(P-2452C2), 배풍기(B-2452-C1) 모터 및 Level Transmitter가 있으나, 폐수처리장 운전자에 의하면 교반기는 1년 이상 사용한 적이 없고, 펌프는 당일 새벽 01:30경 가동을 정지하였다고 진술함에 따라 점화원에서 제외하였다.

반면에 집수조 액위를 측정하는 액위측정기의 Transmitter (Floating type)는 확인결과 비방폭형으로 설치되어 사고당시까지 액위측정이 이루어지고 있었으나, 현장에서 발견된 Level Transmitter의 본체 하부 플로트 라인 연결부 플라스틱 마개의 변형이 없는 것으로 보아 본체 내부에서 전기적 점화원에 의한 폭발로 보기에는 가능성이 낮은 것으로 판단된다.

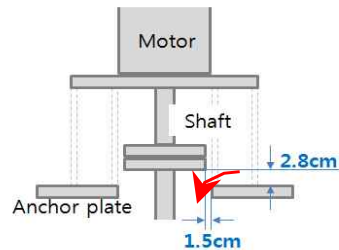


[사진 10] 폐수집수조 비방폭형 Level Transmitter

3) 점화원(용접불티 또는 고속절단기 불티) 유입구 추정

추정 1) 폐수집수조 상부 교반기(A-2452-C1/C2)의 Anchor Plate 구멍(샤프트 인입부 유격 : 1.5 cm)

- 고속절단기 사용 예상지점과 교반기 개구부까지의 거리 : 약 2 m
- 용접 예상지점과 교반기 개구부까지 거리 : 약 4 m





[사진 11] 폐수집수조 교반기 샤프트 인입부
(교반기를 상부 슬라브에 고정하기 위한 철판의 개구부)

추정 2) 기존 펌프 흡입배관 구멍(Hole)

기존 펌프 P-2452C1/C2를 철거하고, 신규 P-2452C2만 설치 공사를 한 후, 사용하지 않게 된 기존 펌프 흡입배관의 콘크리트 상판 구멍(Hole)

※ 작업자는 [사진 12]와 같이 구멍에 플라스틱 덮개를 설치한 후 몰타르 작업을 실시하였다고 진술하고, 사고현장에서 사용된 덮개가 발견된 것으로 추정해 볼 때 사고당시 관련 구멍은 막혀 있었을 것으로 판단된다.



[사진 12] 펌프의 기존 흡입배관 개구부 및 현장 발견된 덮개

IV. 사고발생 원인

원인 1

폐수집수조 배풍기(V-2452-A) 미가동

사고발생 폐수집수조는 공정에서 방출되는 고농도 폐수를 모으는 집수조로 상부에 B-2452-A 배풍기가 설치되어 있었으나, 배풍기 후단에 연결되는 폭기조의 공사로 인하여 2015년 6월 18일부터 가동을 정지하여 폐수집수조 내부에 생성된 인화성 증기를 원활하게 배출하지 못하였고, 집수조에 유입된 폐수에 포함된 VAM에서 발생된 증기는 공기보다 무거워(비중 3, Air=1) 집수조 내부 공간에 체류하여 폭발 위험분위기를 형성하였다.

원인 2

변경요소관리 시 위험성평가 미흡

VAM이 공중합체로 사용되는 고부가 제품의 생산량 증대 계획에 따른 폐수처리장 환경설비 구축공사와 관련한 "변경요소관리 공정변경 요구서"에 공정변경에 따른 위험성평가서(4M 기법)를 협력업체 부장이 작성하여 첨부하였으나, SPVC 생산팀 엔지니어 등 관련 분야 전문가는 참석하지 않아 위험성평가가 제대로 실시되지 않았다.

사고당일 “작업 전 위험성평가”도 협력업체에서 작성함에 따라 해당 폐수집수조에 유입되는 물질에 대한 정확한 성분을 몰라 취급물질 “폐수”, 위험성 “없음”으로 작성하는 등 위험성평가를 충실하게 실시하지 않았다.

※ 당일 사용된 이동식 가스감지기(GASALERT MICRO5, T2A-7X9, 관리 번호 00-1802)의 저장 메모리를 고용부 울산지청에서 확인한 결과, 사고당일 08시 52분 25초 ~ 30초 사이 10~12 % LEL이 감지된 것으로 확인되었으나, 감지기 작동시간, 알람 설정치, 기타 외란 등에 따른 변동 등으로 순간적으로 나타난 값을 인지하지 못하였거나, 폐수에 위험물이 없다는 인식 때문에 추가적인 확인이 이루어지지 못한 것으로 추정

또한 환경설비 구축공사는 2015년 3월 20일부터 9월 30일까지 시행되는 대형 폐수처리장 개선 공사이지만 변경관리를 1건으로 처리하여 세부적인 검토가 이루어지지 못하였다.

V. 동종사고 예방대책

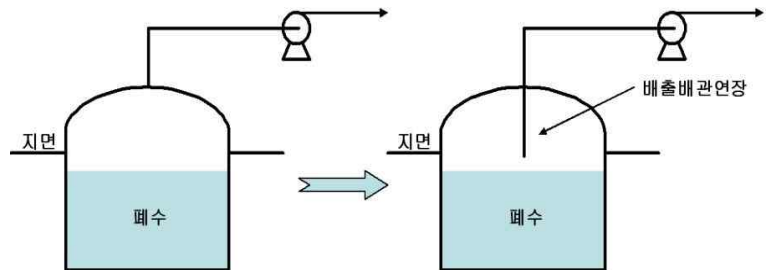
대책 1

폐수집수조 내부 폭발분위기 생성방지를 위한 환기

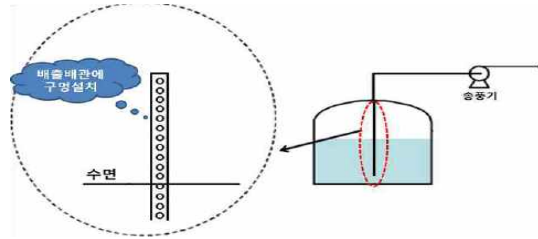
폐수집수조의 배풍기는 항상 정상 가동될 수 있도록 하고, 공사 등으로 배풍기 가동이 정지될 경우 폐수집수조 관련 작업은 폭발위험분위기 생성 가능성에 대한 위험성평가 등을 수행한 후 작업허가서를 발행하여야 한다.

폐수집수조 내부에 인화성 액체의 증기 또는 인화성 가스의 축적이 예상되거나 독성가스가 채류될 위험이 있는 경우 시간당 환기횟수(ACH, Air Change per Hour) 12회* 이상을 환기할 수 있는 배풍기를 설치하여 폭발분위기 생성을 방지하여야 한다.

※ 미국화재보험협회(NFPA) 820 : Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collection Facilities



[그림 4] 공기보다 무거운 증기가 발생할 수 있는 폐수처리장 배풍기 인입배관 설치방법



[그림 5] 송풍기 인입배관에 구멍을 파공하여 무거운 증기와 가벼운 증기 동시 방출

대책 2

변경관리절차에 따라 위험성평가 실시 철저

변경관리절차에 따라 실시하는 위험성평가는 작업 시 발생 가능한 모든 위험성에 대해 사전 평가가 이루어 질 수 있도록 공정전문가, 공정운전원, 안전전문가 등 분야별 전문가가 참여 하여야 하고, 대형 공사의 경우에는 작업구간별 또는 설비별로 구분하여 변경관리절차를 적용하여 배풍기 가동중단 등 공정 운전 변경사항 등에 대한 기술적인 검토가 상세히 이루어질 수 있도록 하여야 한다.

대책 3

환경처리설비 등 부대설비에 대한 안전작업허가 절차 강화

공정지역에 비해 상대적으로 위험이 낮다고 인식되고 있는 폐수처리설비 등 Off-Site 부대설비 등에서의 화기작업허가 시에도 작업현장의 위험물 제거상태, 점화원 차단 등 사전 안전조치를 반드시 현장에서 확인하고, 작업장소를 포함한 인접 위험장소에서의 인화성 물질 농도측정 등 안전한 상태를 확인 후 작업허가서를 발행하여야 한다.

※ 안전작업허가서에 대한 생산팀 등의 최종 허가자 허가 전에 원청의 안전전문가(발행자, 허가자, 안전관찰자 등)가 작업안전성 확보 여부를 최종 확인하는 등 원청업체의 안전관리 강화

대책 4

폐수집수조 폭발위험장소 관리 철저

PVC 중합반응 공정에서 폐수집수조에 인화성 액체 등이 혼합된 폐수가 이송되어 폭발한계를 구성할 수 있는 경우 관련 지역 또는 설비에 대하여 폭발위험장소로 설정하여 관리하여야 한다.

또한, 필요시 집수조 내부에 인화성 가스 감지기를 설치하여 경보(탄화수소 폭발하한농도의 10 %) 발생 시 자동으로 저압스팀 등이 투입되도록 연동조치하고, 폭기조로 향하는 배풍기(Blower)의 풍량을 증대시켜 집수조 내부에 폭발위험 분위기가 형성되지 않도록 관리할 필요가 있다.

또한 집수조 외부에 가스감지 경보용 경광등 및 사이렌을 설치하여 작업자들이 대피할 수 있도록 조치할 필요가 있다.

VI. 사고로부터 얻은 교훈

폐수처리장의 폐수 및 악취제거 환경설비 개선공사를 위하여 고농도 폐수집수조 상부에서 폐수 이송배관 연결을 위해 용접, 그라인더 등 화기 작업을 수행하던 중 폐수집수조 내부에서 폭발이 발생하여 근로자 6명이 사망하고 인근 출하장 경비실의 경비원 1명이 부상을 당한 사고가 발생하였다.

이 사고로 인하여 폭발위험장소 관리 미흡, 안전작업절차 및 변경관리 절차의 미준수 등 여러 문제점이 도출되었다. 사고가 발생하여 지금까지 얻은 교훈은 다음과 같다.

교훈 1

폐수집수조 내부 및 주위를 폭발위험지역으로 설정

대부분의 화학공정은 공정이상 또는 공정 중 세척 등의 원인으로 인해 인화성물질이 배출될 수 있으므로 폐수집수조, 이러한 경로에 있는 배관 및 фит트를 폭발위험장소로 설정·관리하여야 한다.

교훈 2

협력업체의 안전관리 및 위험작업허가 철저

대부분 정비보수 작업에서의 대형사고와 마찬가지로 협력업체의 안전관리 및 위험작업허가에 문제가 있었다. 설비 정비·보수작업에서의 위험작업허가시에는 협력업체에게 설비 내 유입될 수 있는 화학물질의 유해·위험성, 작업 시 주의사항, 사고 발생 시 긴급조치 등에 대한 안전보건정보를 사전에 제공하고, 원청의 협력업체 근로자에 대한 보다 책임 있는 교육, 확인이 필요하다.

교훈 3

폭발위험장소에서의 안전작업어가 철저 및 준수

폭발위험장소 내부 또는 폭발위험장소와 근접한 장소에서의 정비보수 시 화기작업이 이루어질 경우 단순히 차단막을 설치하는 안전조치로는 충분하지 않으며, 위험물을 완전히 제거하고, 환기 및 치환 후 점화원이 유입될 수 있는 용기나 공간, 잠재 배출구를 차단하고 현장의 가스농도를 측정하여 위험물로 인한 폭발위험이 완전히 제거된 것을 철저히 확인 후 작업이 이루어져야 한다.

교훈 4

밀폐공간폭발의 위험성 이해

밀폐공간에서의 인화성물질 체류에 의한 제한공간폭발 (Confined area Vapor Cloud Explosion)은 내부 체류가스가 일시에 연소되기 때문에 체류한 공간의 크기에 따라 상당한 폭발력을 수반하며 두께 20 cm의 철근 콘크리트도 쉽게 전파할 수 있다는 것을 알게 되었다. 이러한 사고가 발생할 수 있는 정비보수 작업 시 위에 언급된 안전조치가 더 치밀하게 이루어져야 한다.

교훈 5

인화성 가스 측정방법 개선 및 감지 시 원인규명

인화성 가스나 증기의 체류여부를 확인하기 위해 인화성 가스 감지기를 사용함에 있어 가스농도가 단지 경보치를 하회한다고 해서 문제가 없는 것으로 인식해서는 안되며, 체류되는 공간별 농도가 불균일하고 일기조건에 따라 수시로 변할 수도 있으므로 작업시작 전부터 종료시까지 계속 측정하도록 하고, 경보치 이하의 낮은 농도라 하더라도 농도가 발생하는 원인을 규명하여 완전히 해소한 후에 작업을 실시하여야 한다.

교훈 6

밀폐구조의 폐수집수조 설치시 안전수단 확보

폐수집수조나 처리장은 환경규제 강화의 이유로 법적요구 사항은 아니지만 밀폐구조의 설치로 변경하는 경우가 많다.

그러나 밀폐구조의 적용에 있어 내부농도의 증가로 인한 폭발위험이 생성되는 큰 단점이 있으며, 실제 이로 인한 폭발 사고와 엄청난 피해가 관찰되고 있으므로 상부구조의 경량화, 배기설비 및 처리설비의 설치, 가스농도 모니터링 등을 실시하고 정상 시, 정전 시, 배기설비의 중단 시 등 각각에 대한 위험성 평가를 통하여 안전한 운전이 이루어지도록 변경, 설치 되어야 한다.

VII. 유사 사고사례

① 폐수집수조 폭발 · 화재 사고

발생일시	2008년 8월
사고장소	울산광역시 울주군 소재 화학공장 폐수처리장
피해내용	폐수집수조 상부 화재 및 폭발로 덮개 파손
피해상황	Oil y Sewer를 통해 유입되는 폐수 및 강우시 유입되는 우수를 저장하는 폐수집수조(유량조정조 : 폐수의 quality를 일정하게 유지하는 역할) 내부에서 폭발이 발생하여 폐수집수조 상부 알루미늄 지붕이 전파됨.
피해상황	- 인명 : 없음 - 물적 : 폐수집수조 알루미늄 지붕, 배관 등 전파
사고원인	폐수집수조 내부 액위측정계의 비방폭형 전기 · 기계 기구 사용(추정)

② 폐수집수조 폭발 · 화재 사고

발생일시	2013년 5월
사고장소	울산광역시 남구 소재 화학공장 폐수처리장
피해내용	폐수집수조 펌프실 및 집수조 건물 벽체, 유리창 파손
피해상황	공정에서 유입되는 폐수의 유량조정조 역할을 하는 폐수 집수조의 폐수 이송용 수직펌프 A, B, C 중 펌프 B의 고장으로 정비작업 중 근로자 3명이 휴식을 위하여 잠시 현장 휴게실로 간 사이 공정에서 유입된 폐수 중의 탄화수소가 폐수 이송용 수직펌프 회전축과 부상의 마찰열 또는 스파크로 추정되는 점화원에 의해 폭발 및 화재가 발생하여 집수조 내부 펌프실 및 건물 벽체, 유리창, 관련 배관 등이 파손됨.
피해상황	- 인명 : 없음 - 물적 : 펌프실 파손 및 집수조 건물 벽체, 유리창 파손
사고원인	집수조 수직펌프 베어링 파손에 의한 마찰열 및 스파크

참고문헌

참고문헌

1. 안전보건공단 홈페이지(www.kosha.or.kr)
2. 산업안전보건법. 고용노동부 ; 2014
3. 산업안전보건용어사전, 한국산업안전보건공단 ; 2006
4. 물질안전보건자료, 안전보건공단

□ 짝 성

- 양상철 (안전보건공단 전문기술총괄실 중대산업사고예방팀)
- 고종기 (안전보건공단 전문기술총괄실 중대산업사고예방팀)
- 이동욱 (안전보건공단 중대산업사고예방 울산기술지원팀)

□ 검 토

- 안전보건공단 전문기술총괄실 중대산업사고예방팀
- 이규남 (한국산업기술대학교 교수)
- 이형섭 (안전보건공단 전문기술총괄실장)

『폐수집수조 내 인화성가스 폭발사고』 사례 연구

2015-전문기술총괄-610

발 행 일 : 2015년 월 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

고객님의 소중한 평가를 기다립니다

2015-전통기술총괄-610



여러분이 보내주신 소중한 의견을 반영하여 더 좋은 안전보건자료를 만들어 나가겠습니다
아래 설문 양식을 작성하여 팩스(052-703-0322)로 보내주시면 감사하겠습니다

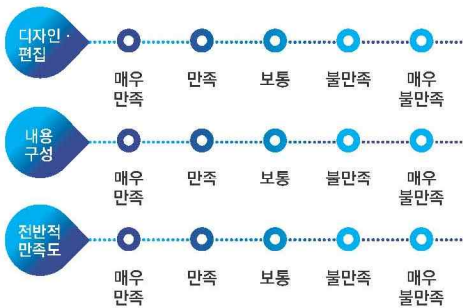
본 자료가 여러분의 재해예방활동에
기여한다고 생각하십니까?



귀하는 회사에서 어떤 직책을
맡고 계십니까?



본 자료가 만족스러우셨습니까?



귀하께서 근무하는 회사에 대해



- 제조업
- 건설업
- 전기·가스·수도업
- 운수·창고·통신업
- 임업·농업·어업
- 기타산업
- 위생 및 유사서비스업
- 보건 및 사회복지사업
- 건물종합관리업
- 음식 및 숙박업
- 도·소매업 및 수리업
- 교육·임대 및 사업서비스업



- 5인 미만
- 50~99인
- 300인 이상
- 5~49인
- 100~299인

소중한 의견을 당첨의 기쁨으로 돌려드립니다!

설문엽서를 보내주신 분께는 추첨을 통해 경품을 보내드립니다

80만원 상당
태블릿 PC
회차별 1명

50만원 상당
미니 빔
회차별 2명

소정의
기념품
회차별 600명

경품추첨

1회차: 2015년 7월 첫째주 2회차: 2015년 12월 첫째주
'15년. 6. 27 이전 도착 분 '15년. 11. 28 이전 도착 분

※ 경품 내용과 추첨 일정은 공단 사정에 따라 변경 가능합니다
※ 당첨자는 경품 추첨일 이후 안전보건공단 홈페이지(www.kosha.or.kr)에서 확인하세요

고객님의 인적사항을 적어주세요

이름	전화
회사명	
회사주소	

개인정보 수집 및 이용 안내

이용자는 해당 개인정보 수집 및 이용 동의에 대한 거부 권리가 있습니다

① 개인정보의 수집·이용 목적

안전보건 미디어 만족도 측정, 경품 추첨 및 우편발송 등 서비스 제공에 관련한 목적으로 개인정보를 수집·이용

② 수집·이용 개인정보 항목

이름, 전화번호, 회사명, 회사주소

③ 개인정보 보유 및 이용기간

개인정보 수집 당해연도 (경과 시 일괄폐기)

상기 내용을 읽고 개인정보 수집·이용에 동의 합니다 ☐ (동의 시 체크표시)

※ 개인정보 수집·이용에 동의하셔야 경품증정 등 서비스가 제공 될 수 있습니다



Fax.번호 : 052-703-0322

산업재해예방

안전보건공단



