

# 2022년 화학사고 사례연구

혐기성 소화조 상부에서  
교반기 보수작업 중 폭발사고 사례연구



경남권(울산) 화학사고예방센터

2호 :



2022년

# 화학사고 사례연구

## CONTENTS

- 혐기성 소화조 상부에서 교반기 보수작업 중 폭발사고 사례연구

I.	사고개요	5
II.	사업장 현황	6
III.	사고분석	7
IV.	사고발생 원인	19
V.	동종사고 예방대책	20
VI.	사고로부터 얻은 교훈	21
VII.	유사 사고사례	22
VIII.	참고자료	24





## 용어설명

### 01 혐기성 소화조

- 혐기성 세균에 의해 고농도의 유기물을 분해하고 감량화하기 위한 밀폐된 탱크로서 슬러지의 침전을 억제하기 위한 교반기, 소화효율을 높이기 위한 가온설비 등의 부속시설을 갖추고 있는 설비를 말한다.

### 02 소화조 교반기

- 혐기성 소화조 내 고형물의 침강방지 및 표면의 스크럼 제거를 위하여 설치하며, 투입유입수와 미생물과의 충분한 접촉 및 소화조 내의 물리적·화학적·생물학적인 반응이 균일하게 일어나게 하기 위한 기계식 교반기를 말한다.

### 03 소화가스

- 혐기성 소화조에서 발생하는 가스로, 메탄, 이산화탄소, 황화수소로 구성되며, 황화수소는 탈황장치에서 제거된 후 저장조에 보관된다.

### 04 스크(Scum)

- 끓이거나 발효시에 발생하는 부유성 찌꺼기를 말한다.





## I. 사고개요

- 2021년 6월 29일(화) ○○○○ 내 혐기성 소화조(D조) 상부에서 도급업체 작업자 3명이 소화조의 교반기(유압식 횡축프로펠러 자동이동형) 인양용 와이어로프 교체작업(하차보수)을 하던 중 원인미상의 폭발이 발생하여 도급업체 근로자 3명이 부상당한 사고이다.



그림 1 폭발 이후 소화조 D 현장



그림 2 소화조 상부가 떨어진 상태

### 01

#### 인명피해

- 도급업체 근로자 3명 부상

### 02

#### 물적피해

- 소화조 1기 파손



## II. 사업장 현황

### 01

#### 사업장 개요

- ○○○○은 ○○시에서 발생하는 하수를 처리하기 위한 시설로, 일일 190,000톤의 하수를 처리할 수 있으며, 1994년부터 가동중이다.

### 02

#### 공정 설명

공정명	공정사진	공정설명
농축		1차 침전지에서 압송된 슬러지를 농축 (탈수처리 전 슬러지 부피를 감소)
소화		혐기성 미생물을 이용하여 슬러지 중의 유기물을 분해시켜 슬러지 감량화 및 소화과정에서 발생된 메탄가스를 포집
탈황		메탄가스내 황화수소를 산화철과 반응하여 제거
저장		생산된 소화가스를 저장 ※ 소화조의 가운설비에 공급하는 온수가열기의 연료로 사용



## Ⅲ. 사고분석

### 01

### 사고 발생 과정

#### 1) 작업 상황

- 금번 소화조 교반기 와이어 교체작업은 2020년 소화조 교반기 수선공사 계약의 하자보수 공사로서, 별도의 공사계약 없이 진행된 작업으로
- 소화조D의 교반기D호기의 원치(인양기)와 교반기를 연결하는 인양용 와이어로프가 파단되어 이를 교체하는 작업이다.

일시	작업 현황
6/28(월) 09:15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소화조D의 슬러지 공급밸브 차단 및 소화가스 배출밸브 차단</li> </ul>
09:30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도급업체 작업자 3명은 작업 수행을 위해 환기팬 2기, 와이어로프와 기타 공구를 가지고 소화조 상부로 이동</li> </ul>
10:00	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소화조의 사각맨홀(800×800)을 개방하고, 소화가스 냄새제거를 위하여 이동식 송풍기 2기를 이용하여 내부로 Air를 불어넣는 등 준비작업 수행</li> </ul>
16:00	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유압교반기 가이드장치 상부의 원치(인양기)에 레버블록 2기를 연결하여 맨홀 내에 연결된 유압교반기의 유압호스를 잡고 끌어올려 교반기를 맨홀 밖으로 끄집어 냄</li> </ul>

일시	작업 현황
6/29(화) 09:30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유압교반기의 기존 와이어로프를 해체하고 신제품으로 교체하는 작업을 진행함</li> </ul>
16:30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소화조 상부 맨홀 옆에서 작업자1은 레버블록을 사용하여 교반기를 소화조 내부로 내리는 작업중이었고</li> <li>• 작업자2는 주변 정리 중이었으며</li> <li>• 작업자3은 개방된 맨홀 옆에서 전동 임팩트 드라이버를 이용하여 인양기 지지대의 워터트랩 덮개 볼트체결 작업 중 불이 빨려 들어가는 소리와 함께 뜨거운 것을 느껴 작업자1과 슬러지 유입밸브 갤러리쪽으로 피신하고, 작업자2는 건물쪽으로 피신함.</li> <li>• 이후 소화조 폭발과 함께 소화조 상부가 폭발 과압으로 날아가고 작업자 세명은 콘크리트 파편에 두부와 뒤통미 등을 맞아 가벼운 찰과상을 입음.</li> </ul>

※ 폭발 당시 인근에서 근무하던 직원들의 진술에 의하면 폭발하기 전 “슌~” 하는 소리가 상당히 긴 시간 진행되다가 폭발음이 났다고 함.

※ 폭발물의 잔해(콘크리트 파편)가 인근 약 50 m 이상에서 발견될 정도로 폭발과압이 상당했던 것으로 판단됨.

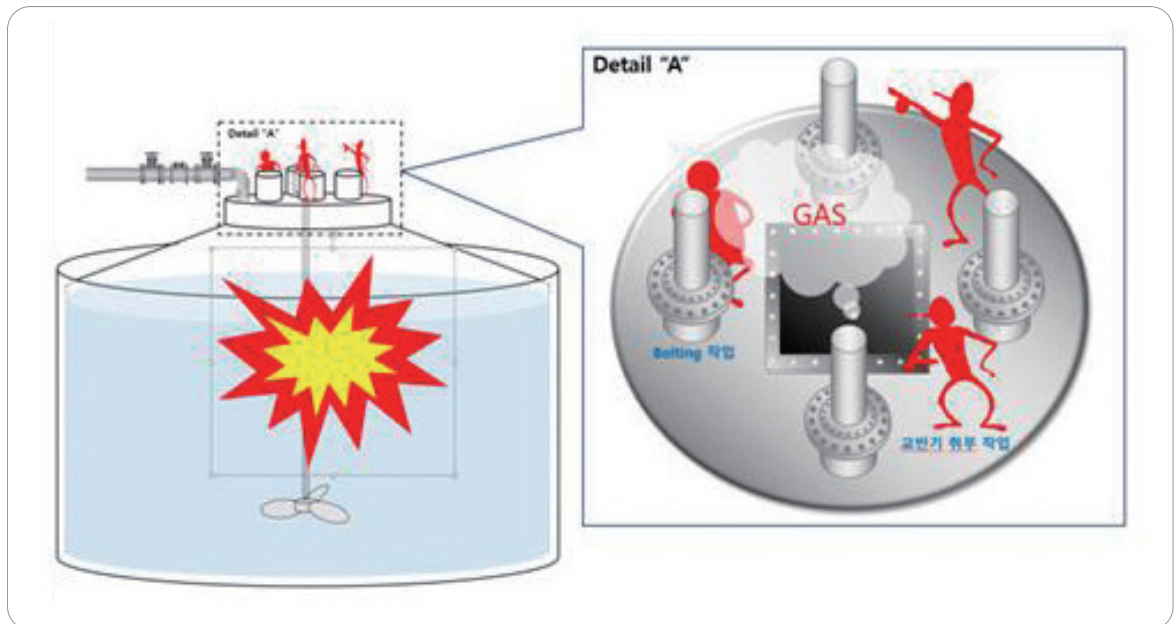


그림 3 사고발생 상황 개략도





02

사고 발생 물질

1) 소화가스

명칭	소화가스		분자식	- 혼합물
상태	기체		성상	기체
그림문자			제조사	OOOO
반응성	극산화성 가스 (격렬하게 중합반응하여 화재 및 폭발을 일으킬 수 있음)		안정성	극산화성 (열, 스파크, 화염에 의해 점화할 수 있음)
주요 포함 물질	물질명	CAS No.	유해성 · 위험성	중량비(%)
	메탄 (Methane)	74-82-8	극산화성, 가열폭발	50.3~76.3 (평균67.6)
	이산화탄소	124-38-9	가열폭발, 현기증	32미만
	황화수소	7783-06-4	극산화성, 가열폭발, 급성독성	1미만

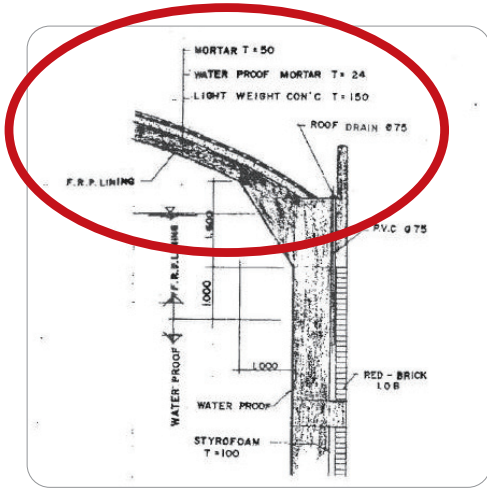
※ 사업장 비치 MSDS 및 공단 MSDS를 바탕으로 작성함.

03

사고 발생 설비

1) 혐기성 소화조

- 혐기성 소화조는 소화가스를 생산하는 설비로서 슬러지의 침전을 억제하기 위한 교반장치와 소화 효율을 높이기 위한 가온설비 등 부속시설을 갖추고 있는 설비이다.
  - ※ 가온설비 : 온수를 이용한 열교환기로서 소화조 하부의 슬러지를 순환시켜 슬러지의 적정온도(약 37 °C 이상)를 유지하는 설비
- V : 3,140m<sup>3</sup>, d : 20,000 mm, H : 10,000mm
- 상부슬라브(Slab) 두께 : 300mm



- 상부슬라브 세부설명
  - Mortar T = 50mm
  - Water Proof Mortar T = 24mm
  - Light Weight Con'c T = 150mm
  - F.R.P Lining T = 75mm
  - 콘크리트 내부 강재, 철근

## 2) 소화조 교반기

- 유압식 교반기는 혐기성 소화조내 고형물의 침강방지 및 표면의 스크럼 제거를 위하여 설치하며 투입 유입수와 미생물과의 충분한 접촉 및 소화조내의 물리적·화학적·생물학적인 반응이 균일하게 하기 위한 기계식 교반기이다.

표 1 | 프로펠러 교반기 설계조건

교반기	형식	수중 횡형 유압 프로펠러형	유속	0.1 m/s
	회전수	875 RPM	수량	4기/소화조
	재질	CASING ; STS 316 IMPELLER ; STS 316 SHAFT ; STS 316	회전날개	3개/기
가이드장치	규격	40S 150A STS 304 PIPE AND ㄷ형강75×40×5×7		
인양장치	원치	HYDRAULIC	재질	STS 304
인양케이블	규격	10 mm	재질	STS 316



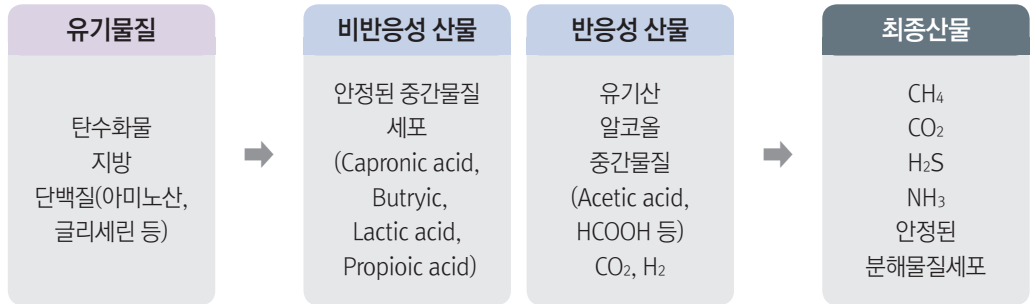
그림 4 유압교반기 가이드장치(4기)



04

사고 발생 공정(소화가스 생산공정)

- 농축된 슬러지를 일정온도(약 37°C)이상 유지하면서 교반하여 소화가스(메탄)를 생산하고, 생산된 가스를 탈황(H<sub>2</sub>S 200ppm이하)설비를 통하여 탈황한 후 저장조에 저장한다.



<혐기성 반응>

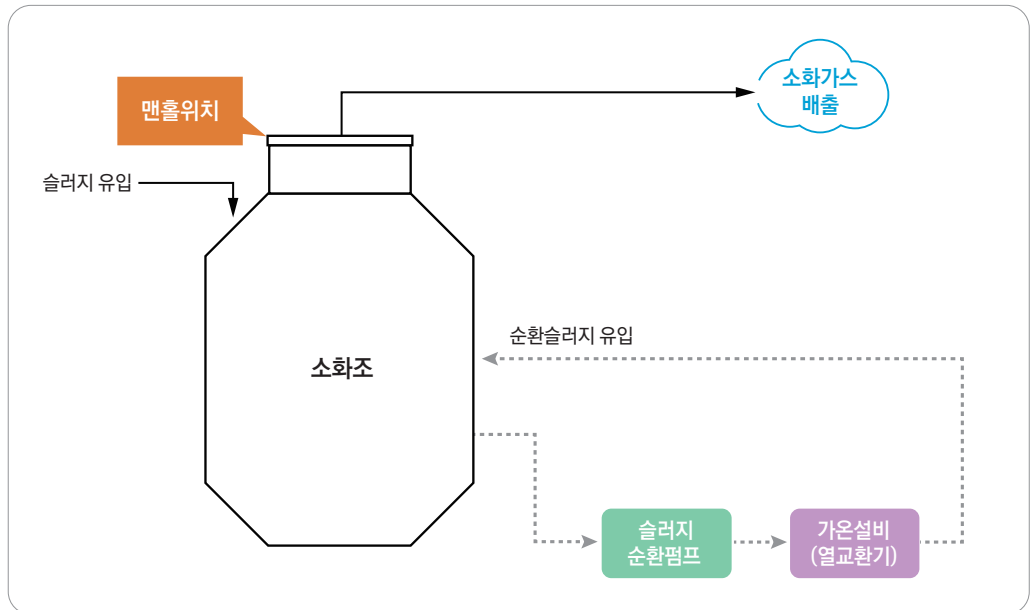


그림 5 소화가스 발생 공정배관 · 계장도

## 05

## 사고 원인 분석

## 1) 소화조 운전 상황 및 폭발분위기 형성

- 사고 전날인 6월 28일 하수운영과 시설팀 직원A는 소화조 슬러지 유입밸브(수동밸브)를 차단하고, 소화가스 배출밸브(수동밸브), 가온설비(열교환기) 연결밸브(수동밸브)를 차단하였다고 진술하였다.
- 6월 28일 09:15분 탈황설비로 연결된 소화가스 배출밸브는 차단되었다. (밸브 후단에 부착된 압력계의 지시값 “0” \_ 그림 7 참고)
- 슬러지 유입밸브 차단(소화조 액위 약 73% 유지 \_ 그림 10 참고)
- 직원A는 사고 전날(6월28일) 가온설비로 순환하는 슬러지 순환밸브를 차단하였다고 진술하였으나 소화조D 내부온도(상부: 41℃, 하부: 42℃)가 유지되고 있어 정상운전 중이던 소화조C(38℃)와 비교할 때 가온설비(열교환기)연결밸브는 차단되지 않은 것으로 판단된다. (그림 8, 9, 10 참고)
  - ※ 소화조의 중온 소화 반응시 적정온도는 35~39℃이나 시설팀 직원A 및 운전실 근무자의 진술에 의하면 제어상의 문제로 소화조간 정상 운전온도의 오차가 발생한다고 함.
- 이상의 결과로 소화조D의 슬러지 유입밸브 차단 및 소화가스 배출밸브를 차단한 상태에서 소화조내의 미생물의 번식과 동시에 메탄가스가 지속적으로 발생하여 소화조 내부에 체류한 것으로 판단된다.
  - ※ 하수운영과 직원B의 진술에 의하면 그림 11와 같이 약 20mm의 PVC호스를 사용하여 소화조 내부압력으로 소화가스를 배출하였다고 하나, 소화조 내 소화가스를 제거하기엔 충분하지 못한 것으로 판단된다.
- 따라서 소화조 내부의 슬러지 및 소화가스 배출작업을 실시하지 않은 상태에서 소화조 상부 맨홀(800×800mm)을 개방하였고, 개방된 맨홀을 통해 소화가스(메탄 주성분)가 누출되어 폭발분위기가 형성된 것으로 판단된다.

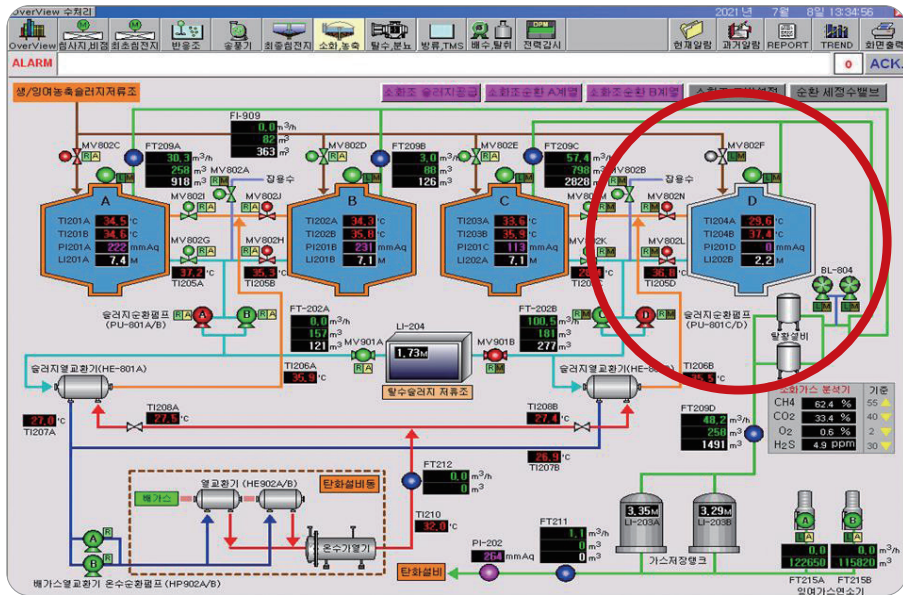


그림 6 소화조 공정 제어실 화면(사고조사일 기준)

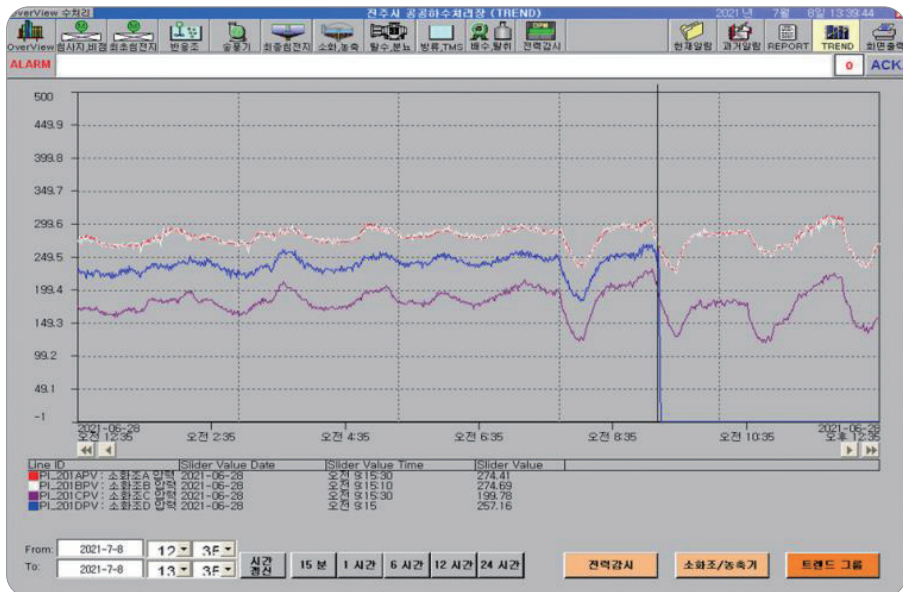


그림 7 압력TREND : 9:15분 소화가스 배출밸브 차단으로 압력 떨어짐

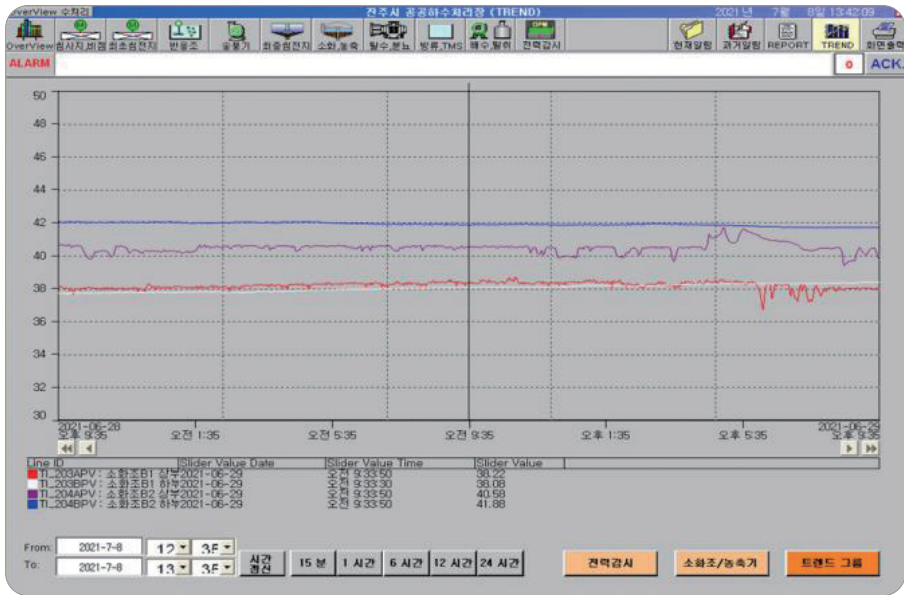


그림 8 내부온도 : 9:33분 상부 : 40.58 °C, 하부 : 41.88 °C

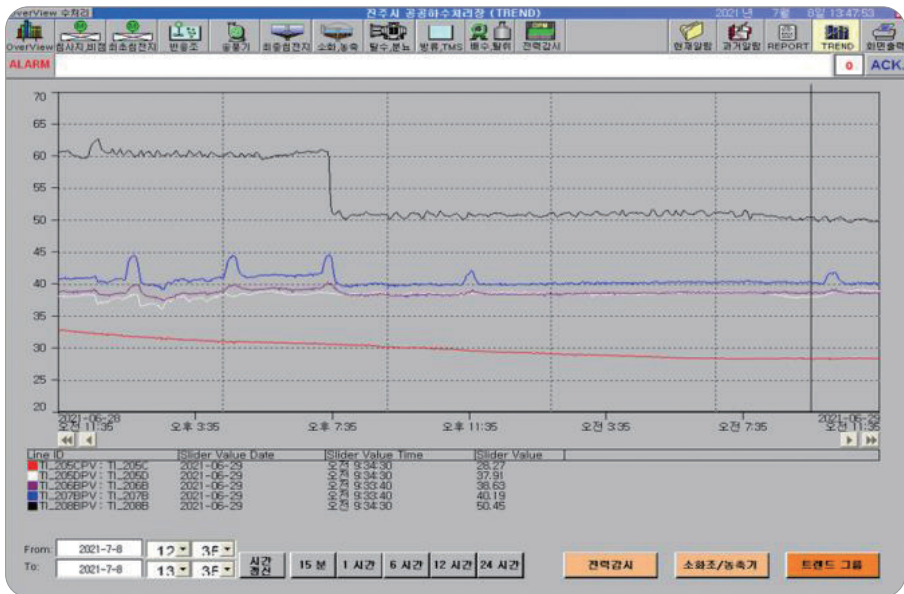


그림 9 열교환기 순환 온도 : 9:34분 37.91°C



구분	소화조 번호	소화 가스 발생 량	가스사용량			소화조 온도(상부)				소화조 압력				소화조 수위				가스저장 탱크수위	
			소화조			A계열		B계열		A계열		B계열		A계열		B계열		LI- 203A	LI- 203B
			FI- 209	FI- 210	FI- 211	TI- 201A	TI- 202A	TI- 203A	TI- 204A	PI- 201A	PI- 201B	PI- 201C	PI- 201D	LI- 201A	LI- 201B	LI- 202A	LI- 202B		
			m³/h	m³/h	m³/h	℃	℃	℃	℃	mmAq	mmAq	mmAq	mmAq	H	H	H	H	H	H
9:00	0	184	0	280	37.0	38.8	36.0	39.7	302	300	222	266	7.5	7.5	7.4	7.6	5.1	5.9	
10:00	0	206	0	373	38.0	39.1	36.0	39.5	286	287	179	0	7.4	7.5	7.4	7.3	5.3	6.0	
11:00	0	192	0	370	37.1	39.5	37.3	39.5	261	265	152	0	7.3	7.5	7.3	7.3	5.2	5.9	
12:00	0	309	0	380	37.2	39.9	38.2	39.5	313	315	221	0	7.4	7.5	7.4	7.3	5.3	6.1	
13:00	0	290	0	375	38.0	40.7	38.2	39.7	306	309	208	0	7.4	7.4	7.5	7.3	5.2	6.0	
14:00	0	222	0	372	37.7	40.7	37.7	39.6	266	272	171	0	7.3	7.4	7.4	7.3	5.4	6.3	
15:00	47	245	0	377	38.3	40.4	38.1	39.6	283	287	214	0	7.3	7.4	7.5	7.3	5.4	6.4	
16:00	0	247	0	378	38.1	40.7	38.1	39.7	282	281	185	0	7.3	7.2	7.5	7.3	5.3	6.2	
17:00	0	242	0	374	38.0	40.7	38.0	39.4	289	297	181	0	7.4	7.3	7.4	7.3	5.4	6.1	
18:00	0	191	0	378	38.2	40.3	38.1	40.2	258	262	173	0	7.4	7.2	7.4	7.3	5.4	6.2	
19:00	0	194	0	376	38.0	41.1	38.1	40.7	321	328	230	0	7.4	7.3	7.5	7.3	5.4	6.0	

그림 10 소화가스 사용공정 운전일지



그림 11 소화조 상부 소화가스 배출배관 및 배출호스(질소 퍼지 미실시)

## 2) 점화원 추정

- 폭발이 발생한 주변상황 및 작업상황 등을 고려해 점화원으로 작용될 수 있는 에너지원을 추정해 보면,

### ① 전동 임팩트 드라이버의 불꽃에 의한 점화

- 교반기 지지대는 STS304 육각볼트로 체결되어 있어 사고당시 작업자3은 맨홀 옆에서 인양지지대 워터트랩 덮개를 전동 임팩트 드라이버(비방폭형)로 볼트체결 작업을 수행하였다고 진술하였으며, 현장에서 전동 임팩트 드라이버의 배터리가 발견되었다.(그림 12 참고)
- 해당 전동 임팩트 드라이버(정격전압 DC18V)의 불꽃 또는 배터리 카트리지의 단락으로 과열에 의해 점화원으로 작용하였을 가능성이 있다.  
※ 사고현장에서 리튬이온 배터리 카트리지는 발견되었으나 드라이버는 발견되지 않음

### ② 기계적 충격에 의한 스파크 가능성

- 사고당시 교반기의 와이어를 교환하고 맨홀을 통하여 교반기를 내리는 작업 중 교반기 몸체가 맨홀 부분과 마찰, 충격 등에 의한 기계적 에너지가 점화원으로 작용하였을 가능성은 있으나,
- 교반기를 인양하는 레버블록의 인양속도가 낮고 인양기와 교반기의 후리트 각(Fleet angle)이 적어 스윙(swing)에 의한 기계적 충격에 의한 점화원의 가능성은 희박한 것으로 판단된다.

### ③ 용접 불꽃

- 사고현장에서 용접기 접지클램프가 인양기 지지대 하부에 물려진 상태로 발견되었으나 작업자의 진술 및 작업 상황 등을 고려해 볼 때 용접작업은 실시하지 않은 것으로 확인되어 점화원의 가능성은 희박한 것으로 추정된다.(그림 13 참고)

### ④ 작업자 의복 등 정전기 발생 가능성

- 사고 당일인 6월29일 ○○지역 날씨는 맑고 기온이 27℃의 덥고 습한 날씨였으며, 교반기 인양지지 장치의 베이스 플레이트는 접지상태를 유지하고 있어 정전기의 방전에 의한 점화원의 가능성은 낮은 것으로 판단된다.  
※ 기상청 관측자료 (16시 30분 사고시간 기준):  
기온 26.5℃~28℃, 습도: 65~70, 풍속: 1.5m/s, 강수량: 0

- 따라서 ① ~ ④의 점화원 추정 중 ①항의 일반 전기설비(전동 임팩트 드라이버) 사용에 따른 전기적 불꽃에 의한 점화원일 가능성이 높은 것으로 판단된다.





### 3) 결론

- 이상의 결과로부터 소화조 상부 맨홀로 소화조에서 발생한 메탄가스가 개방된 맨홀을 통하여 확산되어 폭발 분위기가 형성된 상태에서
  - 전동 임팩트 드라이버(비방폭형)의 전기적 불꽃에 의해 점화되어 소화조 내부로 화염의 전파속도가 증가되면서 순간적으로 압력이 상승하여 폭발이 발생한 것으로 추정된다.
- ※ 폭발당시 소화조 상부 맨홀(800×800mm)이 개방되어 방산구의 기능을 할 수 있으나 맨홀의 방산 면적이 작아 내부압력의 상승속도가 압력의 방출속도를 상회하고, 설비의 내압강도를 초과하게 되어 소화조의 전체적인 파괴가 야기된 것으로 판단된다.



그림 12 동 임팩트 드라이버 배터리



그림 13 인양지지대 하부 용접봉 접지클램프



## 사고근본원인분석(RCA:Root Cause Analysis)

- 사고 발생에 대한 직·간접 원인 등을 종합하면 건조 시 발생할 수 있는 슬러지의 물질 특성 검토 불충분, 공정 가동 후 슬러지 제거 미실시, 건조기의 직화방식 사용에 의한 인화성 물질의 연소실 유입 등으로 인하여 사고가 발생한 것으로 추정된다.

단계	사고원인 1	사고원인 2
1. 결함내용 분류	작업결함	기기결함
2. 관련 조직	운영과	운영과
3. 결함 종류	정비계획	장비사용
4. 결함 대분류	작업절차서	부적절한 장비
5. 결함 중분류	작업절차 미준수	부적절한 장비 사용
6. 결함 소분류	정비 전 소화조 드레인 미실시	폭발위험장소에서 비방폭형 전기·기계기구 사용
7. 비고(개선방안)	· 소화조 내 정비작업시 드레인 실시 및 잔류가스 제거 등 작업절차 준수	· 폭발위험장소 내 방폭형 전기·기계기구 사용 · 화재·폭발의 원인이 될 수 있는 점화원 제거



## IV. 사고발생 원인

원인  
1

### 화재 · 폭발 예방조치 미실시

- 교반기 인양와이어 교체작업은 소화조 내부의 교반기를 맨홀을 통하여 꺼내는 작업으로, 작업 전 반드시 소화조 내용물을 비우고 퍼지(Purge)를 실시한 후 내부에 인화성 물질을 제거하여야 하며,
- 급 · 배기 설비를 사용하여 환기를 충분히 하고, 작업지역 주변의 인화성 가스 또는 인화성 액체의 증기 농도를 수시로 측정하는 등 화재 · 폭발을 예방하기 위한 조치를 실시하여야 하나 그렇게 하지 않았다.

원인  
2

### 가연성 물질이 있는 장소에서 비방폭형 기구 사용

- 인화성물질, 가연성가스 등 가연성물질이 존재하여 화재 · 폭발이 발생할 우려가 있는 장소에서 불꽃 또는 아크가 발생할 수 있는 전동 임팩트 드라이버 등 비방폭형 전기기계 · 기구를 사용하였다.



## V. 동종사고 예방대책

### 대책 1

#### 화재·폭발 예방조치 실시 철저

- 인화성물질이 취급되는 소화조 등에서 작업하기 전에는 반드시 내용물을 비우고 퍼지(Purge)를 실시한 후 내부에 인화성 물질을 제거한 후,
- 급·배기 설비를 사용하여 환기를 충분히 하고 인화성 가스 또는 인화성 액체의 증기 농도를 수시로 측정하는 등 화재·폭발을 예방하기 위한 조치를 실시한 후 작업에 임해야 한다.

### 대책 2

#### 가연성 물질이 있는 장소에서 비방폭형 기구 사용 금지

- 인화성물질, 가연성가스 등 가연성물질이 존재하여 화재·폭발이 발생할 우려가 있는 장소서는 점화원이 될 수 있는 비방폭형 전기기계·기구를 사용하지 않아야 한다.



## Ⅵ. 사고로부터 얻은 교훈

☑ 혐기성 소화조 상부에서 교반기 보수작업 중 폭발사고로부터 얻은 교훈은 다음과 같다.

교훈  
1

작업 전 내부 위험물을 제거하는 것은 기본이다.

- 이번 사고는 소화조 상부에서 작업을 함으로써 폭발위험장소라고 인지하지 못한데서 비롯되었다.
- 사업주는 설비에 대한 작업을 수행하기 전에는 내부에 체류된 위험물을 모두 제거하여야 하며,
- 퍼지(Purge) 및 급·배기 설비를 사용하여 환기를 충분히 하고 인화성 가스 또는 인화성 증기의 농도를 수시로 측정하는 등 화재·폭발을 예방하기 위한 조치를 실시한 후 작업에 임해야 한다.

교훈  
2

점화원 관리는 열 번을 말해도 부족하다.

- 연소의 3요소 중 탈 물질과 산화제는 항상 존재할 수 있으므로 사업주는 점화원을 관리할 수 있도록 해야 한다.
- 점화원은 마찰, 충격, 단열압축 등 기계적 점화원, 반응열, 흡착열, 분해열 등 화학적 점화원, 직접화염이나 고온표면 등의 열적 점화원, 전기 스파크, 정전기 등의 전기적 점화원으로 구분될 수 있다.
- 이렇듯 다양한 점화원에 의해 화재·폭발이 발생할 수 있으므로, 사업주는 점화원을 철저히 관리하여 화재·폭발을 예방하여야 한다.



## VII. 유사 사고사례

### 01 Slop oil(인화성액체) 저장탱크 폭발 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2019년 10월
사고장소	울산 소재 합성수지제조공장
피해내용	부상 3명
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slop oil*저장탱크 외벽에서 소방설비 설치를 위한 지지대 설치 용접 중 탱크 내부 폭발이 발생하여 근로자 3명이 부상을 당하는 사고가 발생하였다.</li> <li>* Slop oil : 석유 공업의 제조 혹은 정제 과정에서 부산물로 생성되거나 배출물 중에 섞이는 유류</li> </ul>

### 02 건조 선박 탱크 내 도장 작업 중 화재·폭발 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2017년 8월
사고장소	경남 창원 소재 강선건조공장
피해내용	사망 4명
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>건조중인 선박내 RO*탱크에서 도급업체 근로자 4명이 스프레이 도장 작업 중 화재·폭발이 발생하여 근로자 4명이 사망하는 사고가 발생하였다.</li> <li>* RO탱크(Retention Oil Tank) : 잔여오일탱크</li> </ul>



03

소화조 연결배관 교체작업 중 화재·폭발 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2016년 10월
사고장소	대구 소재 하수처리시설
피해내용	사망 2명
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>하수처리시설 소화조에 투입하는 음식폐기물 이송배관 부분교체 작업 중 화재·폭발 사고가 발생하여 작업자 2명이 사망하는 사고가 발생하였다.</li> </ul>



---

## VIII. 참고자료

---

- 1 산업안전보건법, 고용노동부; 2021
- 2 산업안전보건용어사전, 한국산업안전보건공단; 2006
- 3 중대산업사고 조사의견서, 한국산업안전보건공단; 2010~2017
- 4 KOSHA Guide P-151-2016 사고의 근본원인 분석기법에 관한 기술지침



# 혐기성 소화조 상부에서 교반기 보수작업 중 폭발사고



※ 본 사례는 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

## 사고개요

- 2021년 6월 29일(화) ○○○○ 내 혐기성 소화조(D조) 상부에서 도급업체 작업자 3명이 소화조의 교반기(웅바식 횡축프로펠러 자동이동형) 인양용 와이어로프 교체작업(하자보수)을 하던 중 원인미상의 폭발이 발생하여 도급업체 근로자 3명이 부상당한 사고임.



그림 1 폭발 이후 소화조 D 현장



그림 2 소화조 상부가 떨어진 상태



## 사고발생공정 및 물질

- 농축된 슬러지를 일정온도(약 37℃)이상 유지하면서 교반하여 소화가스(메탄)를 생산하고, 생산된 가스를 탈황(H<sub>2</sub>S 200ppm이하)설비를 통하여 탈황한 후 저장조에 저장함.

## 사고발생물질

물질명	반응성	안정성	주요 포함 물질(중량비)
소화가스	극인화성 가스 (격렬하게 중합반응하여 화재 및 폭발을 일으킬 수 있음)	극인화성 (열, 스파크, 화염에 의해 점화할 수 있음)	메탄(50.3~76.3) 이산화탄소(32 미만) 황화수소(1 미만)

# 협기성 소화조 상부에서 교반기 보수작업 중 폭발사고



## 사고발생원인

### • 화재·폭발 예방조치 미실시

- 교반기 인양와이어 교체작업은 소화조 내부의 교반기를 맨홀을 통하여 꺼내는 작업으로, 작업 전 반드시 소화조 내용물을 비우고 퍼지(Purge)를 실시한 후 내부에 인화성 물질을 제거하여야 하며,
- 급·배기 설비를 사용하여 환기를 충분히 하고, 작업지역 주변의 인화성 가스 또는 인화성 액체의 증기 농도를 수시로 측정하는 등 화재·폭발을 예방하기 위한 조치를 실시하여야 하나 그렇게 하지 않았다.

### • 가연성 물질이 있는 장소에서 비방폭형 기구 사용

- 인화성물질, 가연성가스 등 가연성물질이 존재하여 화재·폭발이 발생할 우려가 있는 장소에서 불꽃 또는 아크가 발생할 수 있는 전동 임팩트 드라이버 등 비방폭형 전기기계·기구를 사용하였다.



## 동종사고 예방대책

### • 화재·폭발 예방조치 실시 철저

- 인화성물질이 취급되는 소화조 등에서 작업하기 전에는 반드시 내용물을 비우고 퍼지(Purge)를 실시한 후 내부에 인화성 물질을 제거한 후,
- 급·배기 설비를 사용하여 환기를 충분히 하고 인화성 가스 또는 인화성 액체의 증기 농도를 수시로 측정하는 등 화재·폭발을 예방하기 위한 조치를 실시한 후 작업에 임해야 한다.

### • 가연성 물질이 있는 장소에서 비방폭형 기구 사용 금지

- 인화성물질, 가연성가스 등 가연성물질이 존재하여 화재·폭발이 발생할 우려가 있는 장소서는 점화원이 될 수 있는 비방폭형 전기기계·기구를 사용하지 않아야 한다.

## 작성

김 주 구(안전보건공단 울산지역본부 화학사고예방센터(울산))

김 광 무(안전보건공단 울산지역본부 화학사고예방센터(울산))

오 경 석(안전보건공단 울산지역본부 화학사고예방센터(울산))

## 검토

안전보건공단 중대산업사고예방실 공정안전부

2022-중대산업사고예방실-273

# 「협기성 소화조 상부에서 교반기 보수작업 중 폭발사고」 사례 연구

발 행 일 2022년 6월

발 행 인 한국산업안전보건공단 이사장 안종주

발 행 처 한국산업안전보건공단 중대산업사고예방실

주 소 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 (052) 703-0605

팩 스 (052) 703-0312

홈페이지 <http://www.kosha.or.kr>

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함



2022년  
**화학사고  
사례연구**

**2호** : 혐기성 소화조 상부에서  
교반기 보수작업 중 폭발사고 사례연구

