



# 화학사고 사례연구 구동밸브 오조작으로 인한 혼합C4 누출사고





# 목 차 Contents

화학사고 사례연구



|                       |    |
|-----------------------|----|
| I. 사고개요 .....         | 3  |
| II. 사업장 현황 .....      | 4  |
| III. 사고분석 .....       | 12 |
| IV. 사고발생 원인 .....     | 19 |
| V. 동종사고 예방대책 .....    | 20 |
| VI. 사고로부터 얻은 교훈 ..... | 21 |
| VII. 유사 사고사례 .....    | 23 |
| VIII. 참고자료 .....      | 25 |
| IX. 부록 .....          | 26 |

## 용어설명



### 01 공기구동밸브(AOV ; Air Operated Valve)

- 공기 압력에 의하여 구동되는 밸브를 총칭한다. 사고가 발생한 공기구동밸브는 일반적인 게이트 밸브에 부착하여 인력을 이용하지 않고 공기압력을 이용하여 작동하는 방식의 밸브이다.

### 02 열교환기(Heat Exchanger)

- 2개의 유체(고온액체와 저온액체) 사이에서 열의 이동을 실시하는 장치를 말한다. 화학공업이나 일반 빌딩의 난방, 급탕용 등 폭넓게 사용되고 있는 압력용기를 말한다.

### 03 증류탑(Distillation Tower)

- 탑 내부가 여러 단으로 구성되어 있으며, 내부의 각 단마다 온도와 압력이 조금씩 달라 각 성분에 대한 기·액평형이 이루어져 분리가 이루어지는 구조이다. 즉, 저비점 화합물은 낮은 온도에서 끓어 기체로 되어 윗단에 더 많이 분포되고, 반대로 고비점 화합물은 더 높은 온도에서 끓기 때문에 기체로 증발되지 않고 액상으로 많이 존재하여 아랫단에 더 많이 분포하게 되는 원리를 가진다.

# I. 사고개요

2018년 8월 17일(금) OO사 1,3-부타디엔 공장에서 열교환기 세척 후 크레인으로 열교환기 덮개(channel)를 설치하던 중 증류탑의 구동밸브 조작기 오조작으로 밸브가 열려 증류탑 내부의 혼합C4 및 추출용매(DMF)가 누출된 사고이다.



[그림 1] 사고 물질이 누출되는 모습

## 1) 인명피해

- 부상 1명(사고 발생 시 대피 중 늑골골절)

## 2) 물적피해

- 생산손실 및 인근 주차차량 도장비용 : 약 100억



## II. 사업장 현황



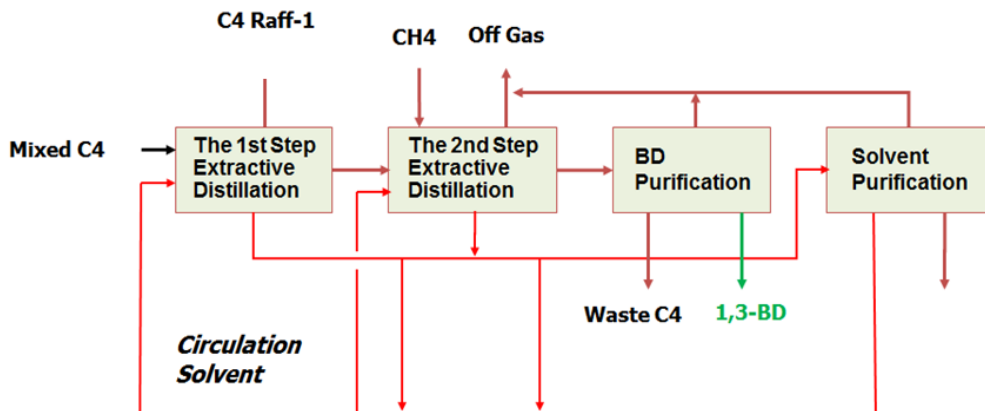
○○사는 혼합C4를 원료로 사용하여 1,3-부타디엔 유기화학 제품을 생산하는 사업장이다.

### 01 시설현황

#### 1) 1,3-부타디엔 제조공정

1,3-부타디엔 제조공정은 에틸렌 공장에서 생산된 혼합C4 중 1,3-부타디엔을 제품으로 분리하는 공정으로 1차 추출증류 공정, 2차 추출증류 공정, 1,3-부타디엔 정제 공정, 용매 정제 공정으로 구성되어 있다.

FEED인 혼합C4는 1,2 단계 추출증류 및 1,3-부타디엔 정제 공정을 통해 연속 처리되며, 추출용 매로서 DMF(Dimethyl Formamide)를 사용한다.



[그림 2] 1,3-부타디엔 제조공정 Process 개략도



## 2) 제1단계 추출증류 공정(1st Extractive Distillation Section)

- 1,3-부타디엔보다 DMF에 잘 용해되지 않는 성분인 부탄 및 부텐류를 함유한 C4 Raff- I 과 DMF에 잘 용해되는 아세틸렌류와 1,3-부타디엔 등을 함유한 H.C으로 분리된다. 분리된 BD와 아세틸렌류 등은 가스 압축기를 통해 제 2단계 추출증류공정으로 공급된다.

## 3) 제2단계 추출증류 공정(2nd Extractive Distillation Section)

- DMF에 잘 용해되는 성분들을 Off Gas System으로 완전히 제거함으로써 가장 경제적으로 운전할 수 있으며 2단계 추출증류 공정에서 제거되지 않은 나머지 성분들은 1,3-부타디엔 정제 공정으로 보낸다.

## 4) 1,3-부타디엔 정제 공정(Butadiene Fractionation Section)

- 혼합C4 중 대부분의 불순물들은 1,2단계 추출증류 공정을 거치면서 제거되지만 용매 존재 하에 1,3-부타디엔에 대한 상대휘발도가 거의 1.0에 가까운 약간의 불순물들은 아직도 남아있다. Crude 1,3-부타디엔에 포함된 물은 1st 정류탑에서 제거된다.

## 5) 용매 정제 공정(Solvent Purification Section)

- 1,2단계 추출증류 공정에서 연속적으로 순환하는 용매의 일부를 본 공정으로 공급하여 정제한 뒤 용매 펌프의 Seal Fluid로 공급하거나 다시 용매 순환라인으로 보낸다. 도입되는 용매는 용매에 포함되어 있는 불순물에 따라서 Tar 등의 고비점 물질 제거 설비를 거치거나, 물, Carbonyl 및 Dimer 등의 저비점물질 제거 설비를 거치게 된다.

## 02 사고 발생 물질

### 1) 1,3-부타디엔(혼합C4 중 대표 물질로 명시)

| 물질명                    | 폭발범위       | 인화점   | 발화점   | 증기압                  | 비중  |
|------------------------|------------|-------|-------|----------------------|-----|
| 1,3-부타디엔<br>(106-99-0) | 1.1~16.3 % | -76 ℃ | 414 ℃ | 2,110 mmHg<br>(25 ℃) | 0.6 |

※ 경고표지 그림문자 ※



인화성 가스



고압가스



발암성·변이원성·호흡기 과민성 물질

- 반응성이 강하고 산화되기 쉬운 극인화성 기체

### 2) DMF(N,N-Dimethyl Formamide)

| 물질명              | 폭발범위       | 인화점  | 발화점   | 증기압                 | 비중   |
|------------------|------------|------|-------|---------------------|------|
| DMF<br>(68-12-2) | 2.2~15.2 % | 58 ℃ | 445 ℃ | 3.87 mmHg<br>(25 ℃) | 0.95 |

※ 경고표지 그림문자 ※



인화성 가스



급성 독성



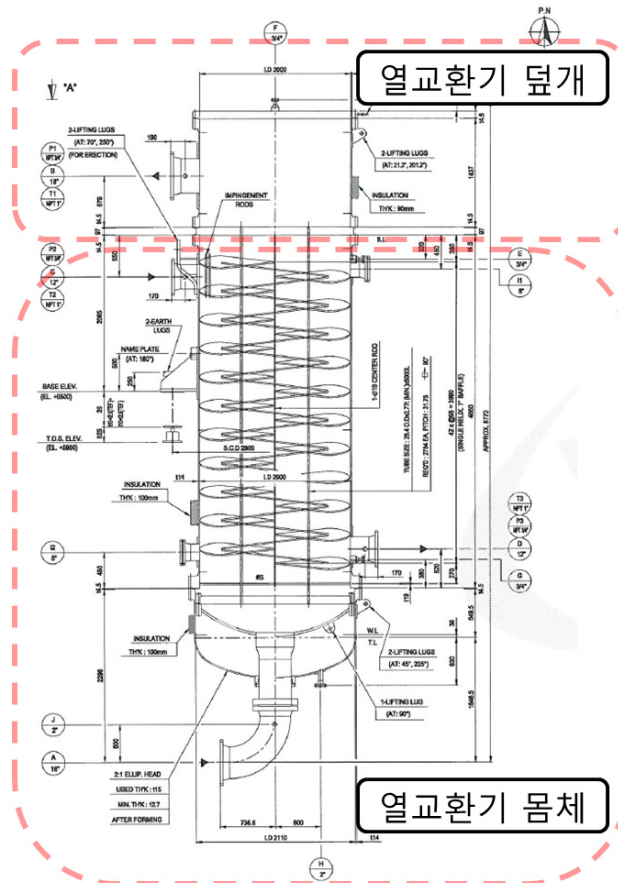
발암성·변이원성·호흡기 과민성 물질

- 흡입하면 유독함



### 03 사고 발생 설비

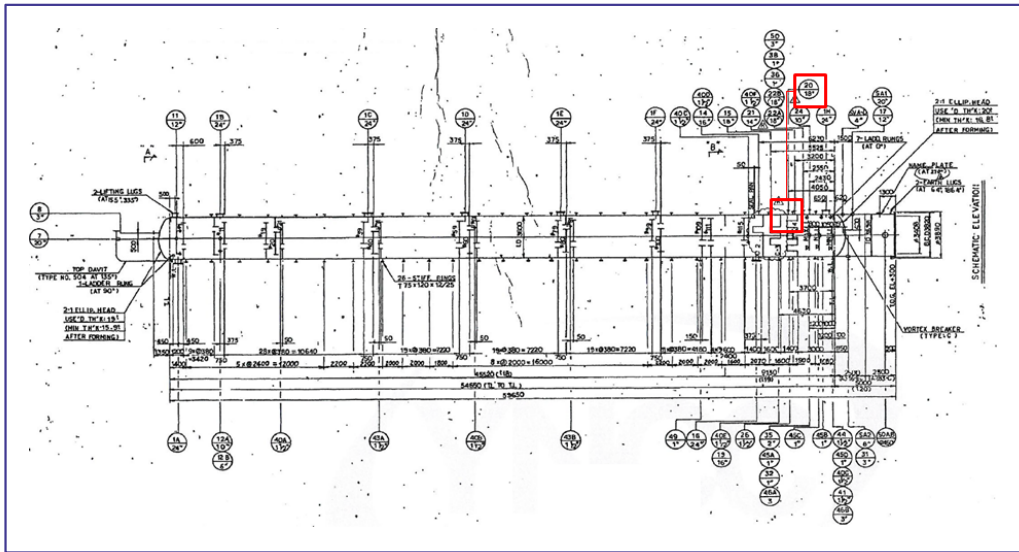
| 명칭                | 명세<br>(mm)         | 압력(kg/cm <sup>2</sup> ) |     | 온도(℃) |                 | 비고  |
|-------------------|--------------------|-------------------------|-----|-------|-----------------|-----|
|                   |                    | 운전                      | 설계  | 운전    | 설계              |     |
| 열교환기<br>(HE-100A) | D 2,000<br>H 8,770 | Shell                   | 6.8 | 9.7   | 163.0<br>/126.5 | 200 |
|                   |                    | Tube                    | 5.1 | 9.0   | 110.7<br>/90.6  | 170 |



[그림 3] 열교환기 설비 도면

## 구동밸브 오조작으로 인한 혼합C4 누출사고

| 명칭              | 명세<br>(mm)          | 압력(kg/cm <sup>2</sup> ) |         | 온도(°C) |     | 비고 |
|-----------------|---------------------|-------------------------|---------|--------|-----|----|
|                 |                     | 운전                      | 설계      | 운전     | 설계  |    |
| 증류탑<br>(DT-100) | D 3,600<br>H 54,650 | 5.5                     | 7.5/F.V | 135    | 170 | -  |



[그림 4] 증류탑 설비 도면

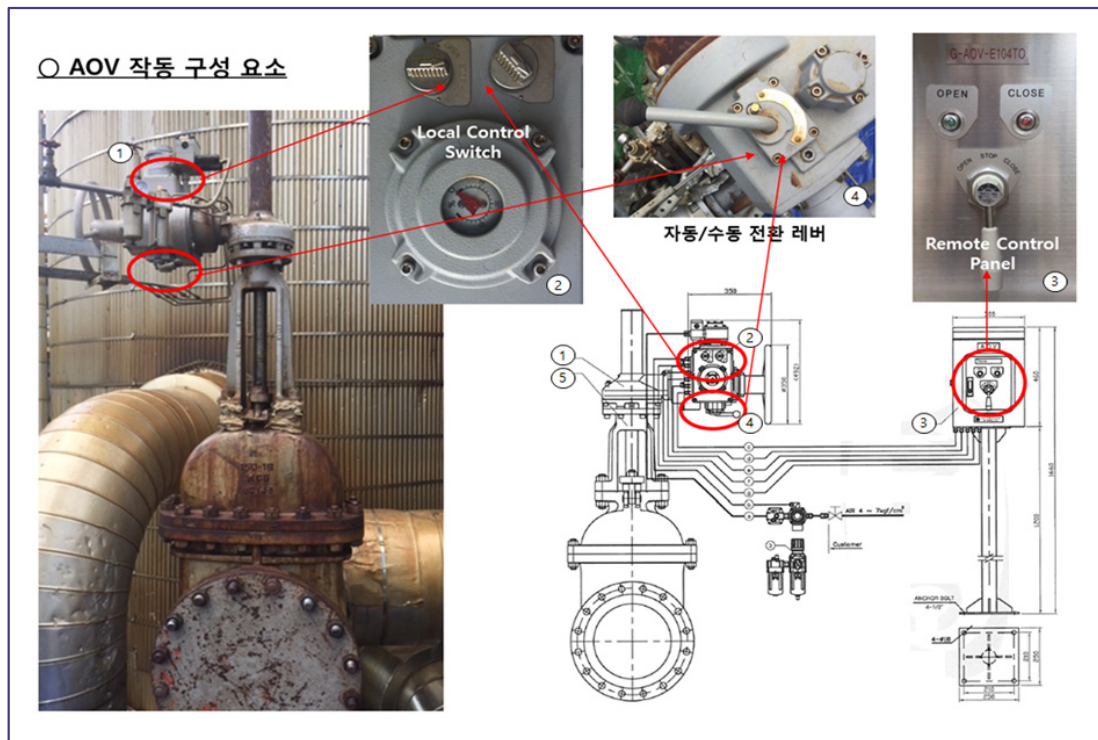
|                |              |             |           |                       |                             |              |                     |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------------------|-----------------------------|--------------|---------------------|
| 21             | 1            | 14"         | 13        |                       | DRAW-OFF TO<br>G-FA105A/B   | Φ680         | 2050                |
| 20             | 1            | 18"         | 13        |                       | RETURN FROM<br>G-FA104      | Φ870         | 2070                |
| 19             | 1            | 16"         | 13        |                       | DRAW-OFF TO<br>G-FA104      | Φ900         | 2050                |
| 17             | 1            | 12"         | 60        |                       | BOTTOM OUTLET<br>TO G-FA103 | Φ610         | 2050                |
| 15             | 1            | 18"         | 13        |                       | REBOILER FROM<br>G-FA103    | Φ870         | 2070                |
| 14             | 1            | 16"         | 13        |                       | REBOILER TO<br>G-FA103      | Φ780         | 2050                |
| 12             | 2            | 6"          | 80        |                       | FEED FROM<br>G-FA101        | Φ300<br>Φ510 | SEE ORIENT.<br>2020 |
| 11             | 1            | 12"         | 60        |                       | FEED FROM<br>G-GA102A/B     | Φ610         | 2050                |
| 8              | 1            | 3"          | 160       |                       | VENT "B" F                  | Φ180         | SEE DWG             |
| 7              | 1            | 20"         | 13        |                       | VAPOR OUTLET<br>TO G-DAT01  | Φ970         | SEE DWG             |
| 1A~H           | 8            | 24"         | 13        | ANSI 150#<br>W.N.R.F. | MANHOLE                     | Φ1150        | 2100                |
| NOZZLE<br>MARK | NO<br>(REQD) | NOM<br>SIZE | SCH<br>NO | FLANGE<br>RATING      | SERVICE                     | REMARKS      | PROJECTION          |

NOZZLE LIST

[그림 5] 증류탑 노즐리스트

| 명칭                  | 명세                                                                 | 구성품                             | 비고                                                                |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 공기구동밸브<br>(AOV-100) | Valve Size<br>: 18인치<br><br>구동용공기압력<br>: 4 ~ 7 kgf/cm <sup>2</sup> | ① 구동기<br>(actuator)             | 공기모터, 감속기 등으로 구성                                                  |
|                     |                                                                    | ② LCS<br>(local control switch) | 구동기에 측면 부착<br>Local/Remote 선택스위치 부착<br>Open/ Stop/ Close 선택스위치 부착 |
|                     |                                                                    | ③ RCP<br>(remote control panel) | 공기구동밸브로부터 약 5 m 아래층에 위치<br>Open/Stop/Close 선택스위치 부착               |
|                     |                                                                    | ④ 클러치<br>(수동/자동 전환)             | 구동기 하부에 부착<br>수동:구동기 핸드휠로 조작<br>자동: LCS 또는 RCP에서 조작               |
|                     |                                                                    | ⑤ 밸브                            | 게이트밸브                                                             |

※ 구동밸브 연식 : 2013년 3월 설치

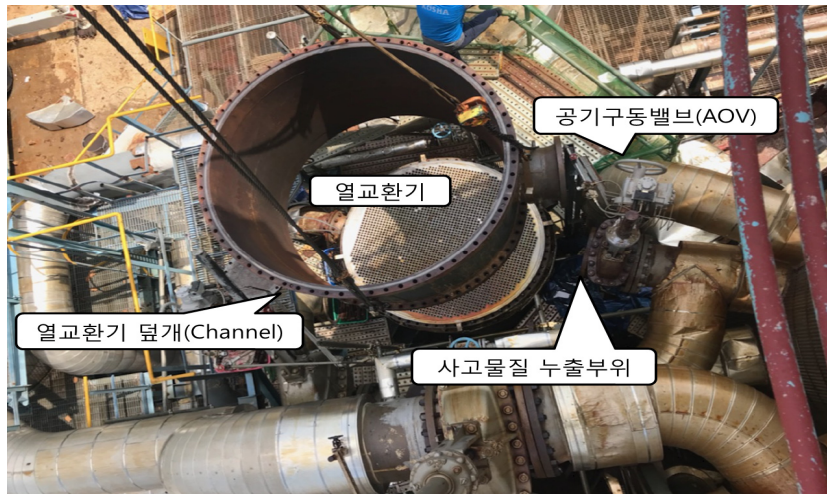


[그림 6] 공기구동밸브 구성품



### 1) 설비 정비 목적 - 열교환기 클리닝 후 공기구동 밸브와 열교환기 덮개 연결 작업

- 1,3-부타디엔 공장 1차 추출탑 열교환기 클리닝 작업 후 열교환기 덮개 재조립 작업을 위해 공기구동밸브 플랜지의 블라인드를 제거하고 연결 작업을 진행 중이었다.



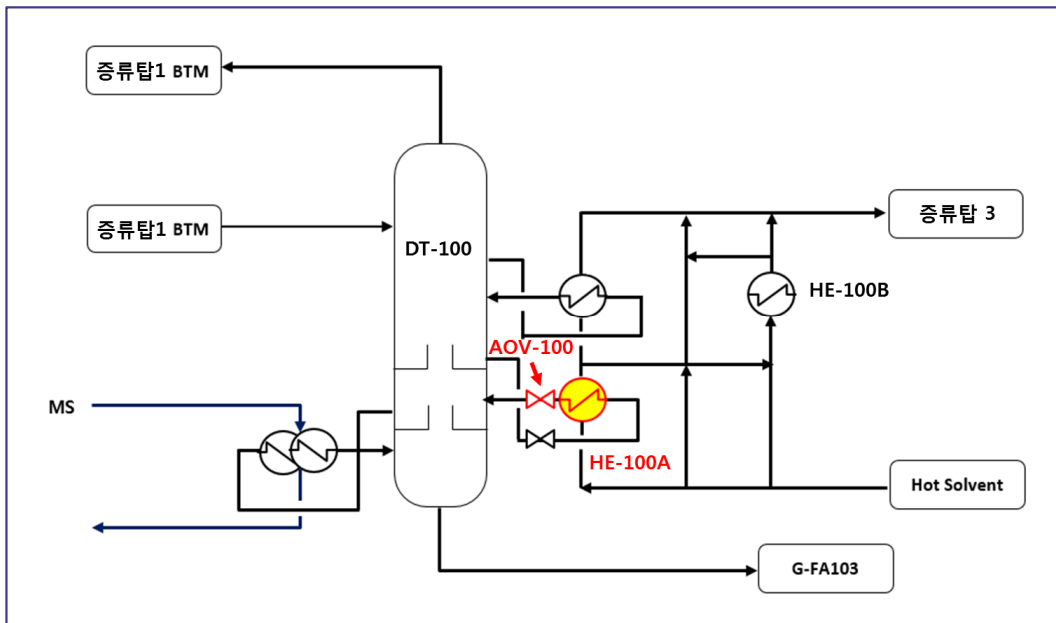
[사진 1] 열교환기와 공기구동밸브



[사진 2] 공기구동밸브 구동부

## 04 공정

## 1) 사고발생 공정 세부 공정흐름도



[그림 7] 증류탑(DT-100)과 열교환기(HE-100A) 공정 흐름도

## 2) 열교환기(HE-100A) 공정 설명

- 1차 추출 증류 탑인 DT-100은 원료(혼합C4) 내 1,3-부타디엔, 아세틸렌류를 분리하기 위해 추출용매로 DMF를 사용하여, 온도 132 °C, 압력 5.5 kg/cm<sup>2</sup>로 운전한다. 증류탑과 연결된 열교환기 HE-100A, 100B는 약 4개월 마다 교대(switch)로 1대는 정상 운전을 하고 1대는 세척 작업을 실시한다.

### III. 사고분석



#### 01 사고 발생 과정

##### 1) 작업 상황

| 일 시              | 작업 현황                                                                                  |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 6/4 ~ 6/15       | • 열교환기의 혼합C4가스 및 DMF 제거를 위한 배출(drain), 퍼지(purge)를 실시함                                  |
| 6/15             | • 재해발생 공기구동밸브(AOV-100)을 열교환기와 분리 후 맹판(blind)을 삽입함                                      |
| 6/15 ~ 6/18      | • 열교환기 덮개(channel) 개방을 위한 물세척, 스팀 세척, 공기치환(air blowing) 작업을 실시함                        |
| 6/18 ~ 8/10      | • 열교환기 Tube Bundle 취외 후 공무동에서 세척(Jet cleaning) 실시함                                     |
| 8/16             | • 열교환기에 세척이 완료된 Tube Bundle 장착 작업(set-up)을 시작함                                         |
| 8/17(금)<br>09:00 | • 열교환기 덮개(Channel)의 노즐과 공기구동밸브(AOV-100)를 연결하기 위해 맹판(Blind)을 제거함                        |
| 10:53            | • 덮개와 공기구동밸브 연결 작업 중 작업자가 덮개의 위치 조정을 위해 이동하다 공기구동밸브 구동기 부위를 잡고 배관 위로 올라갔다 내려온 직후 사고 발생 |
| 11:17            | • 현장에서 공기구동밸브를 차단하여 누출이 중단됨                                                            |

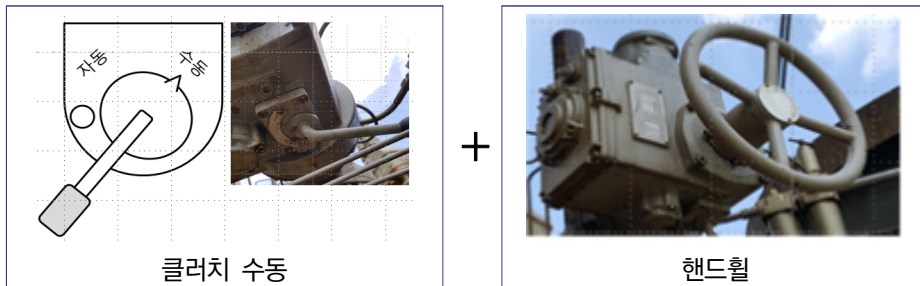


## 02 사고 원인 분석

### 1) 공기구동밸브 조작 방법

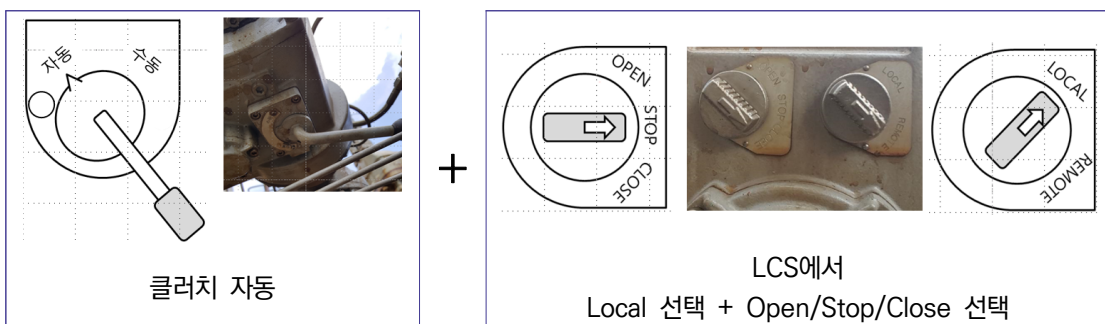
- 공기구동밸브는 조정실에서 원격으로 조작할 수 없는 구조이며, 다음과 같은 3가지 방법으로 현장에서만 조작할 수 있다.

**Case 1** 클러치를 수동으로 선택하고, 구동기에 부착된 핸드휠을 손으로 돌려 개폐



[그림 8] 수동 조작 방법

**Case 2** 클러치를 자동으로 선택하고, LCS(Local Control Switch)의 Local/Remote 선택 스위치를 Local로 선택 후 LCS의 Open/Stop/Close 선택스위치로 개폐



[그림 9] 자동 조작 방법 (현장 조작)

**Case 3** 클러치를 자동으로 선택하고, LCS의 Local/Remote 선택 스위치를 Remote로 선택 후 밸브에서 약 5 m 아래층에 위치한 RCP(Remote Control Panel)에서 Open/Stop/Close 선택스위치로 개폐



[그림 10] 자동 조작 방법 (원격 조작)

## 2) 공기구동밸브 작동 원인

- 최초 공기구동밸브를 닫을 당시 각 스위치 상태는 작업자에 의하면 6월 15일 [Case 2]의 방법으로 공기구동밸브를 닫았으며, 밸브를 완전히 닫은 다음 클러치를 수동으로 선택했고, 공기구동밸브 구동 용 공기공급 밸브는 잠그지 않았다고 한다.



[사진 3] 열린 상태의 공기 공급밸브



[사진 4] 압력이 걸려있는 압력계(6kg/cm<sup>2</sup>)

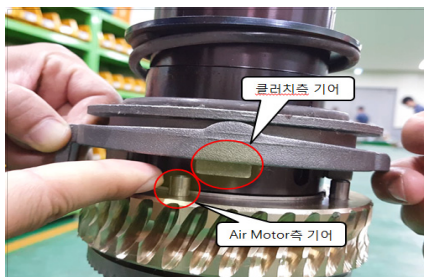
- 사고 당시 공기구동밸브 각 스위치 상태는 클러치는 수동 위치(완전히 수동으로 선택되어 있지 않고 수동방향으로 약 4/5정도에 위치), LCS는 Local, RCP는 Stop로 선택되어 있었다.

- 클러치는 수동구간에 위치시킬 경우 안전핀이 체결되어 수동 위치에 고정되나, 재해 후 확인 시 안전핀이 체결되지 않은 상태로 수동구간을 약간 벗어난 지점에 위치한 점으로 보아, 6월 15일 클러치를 수동으로 선택 시 안전핀이 꽂히지 않은 불완전한 수동 상태였을 것으로 추정된다.

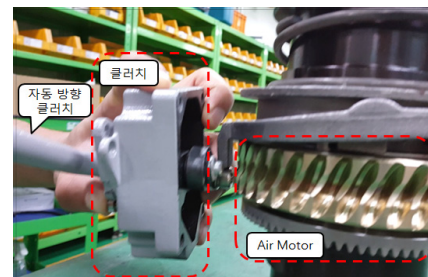


[사진 5] 불완전한 수동 상태의 클러치

- 공기구동밸브는 클러치를 수동으로 선택 후 안전핀이 체결된 경우 LCS나 RCP에서 자동으로 밸브를 조작할 수 없도록 제작되었으나, 금번 재해는 레버의 불완전한 수동 상태에서 공기구동밸브가 자동으로 조작된 것으로 판단되었다. 이에 따라 공기구동밸브 제작 업체와 함께 불완전한 수동상태에서 공기구동밸브가 조작 가능한지 확인을 진행하였다.



클러치측과 Air Motor 측 기어



클러치 자동



클러치 불완전한 수동(반 클러치)



클러치 수동(완전 수동)

[사진 6] 공기구동밸브 동력 전달 테스트



- 작동 시험 결과 클러치에 안전핀이 꽂히지 않은 불완전한 수동상태일 경우에는 LCS에서 자동 조작이 가능함을 확인하였다.

### 3) 공기구동밸브 동작 원인

#### ✓ 작업자의 LCS 선택스위치 오조작으로 인한 공기구동밸브 동작 여부 확인

- CCTV 확인 결과 작업자가 배관을 밟고 공기구동밸브 구동기 부분을 양손(왼손-LCS쪽, 오른손-LCS 반대쪽)으로 잡으며 배관 위로 올라갔다 내려온 후 누출이 발생하였다. 아래층에 있는 RCP 부근에는 다른 작업자가 접근하지 않았다.
- CCTV에서 확인한 작업자의 동작을 현장에서 재현한 결과 구동기 부분을 양손으로 잡고 배관 위로 올라갈 경우 왼손이 LCS의 Open/Stop/Close 선택스위치 위에 위치하기가 어렵지 않았다.



[사진 7] 사고 당시 선택스위치 작동 가능성 재현

- 위의 확인 결과로 볼 때 사고 당시 클러치는 불완전한 수동, LCS의 Local/Remote는 Local로 선택된 상태에서, 작업자가 왼손으로 Stop 상태에 있던 Open/Stop/Close 선택스위치를 위로 당겨 공기구동밸브가 열렸을 것으로 판단된다.
- RCP에서 타 작업자 조작 가능성은 CCTV를 보면 사고 당시 RCP에 다른 작업자가 접근하지 않았으므로 RCP에서 조작되었을 가능성은 없다.
- 공기구동밸브 오작동 가능성을 확인해본 결과 사고 발생 공기구동밸브는 솔레노이드밸브 등 전기기기가 전혀 설치되지 않고 공기 공급/중단만으로 조작되며, 사고 후 작동시험에서 이상이 없었던 점 등을 고려할 때 공기구동밸브 자체 오작동 가능성은 적어 보인다.

#### 4) 공기구동밸브 조작 절차서 준수 여부

- 공기구동밸브에 공기가 공급되는 경우 오조작 등에 의해 불시에 동작될 위험이 있으므로, 조작절차서에 공기구동밸브의 자동 조작 완료 후에는 공기 공급 밸브를 차단하도록 명시되어 있다.
- 안전관찰자에 의하면 6월 15일 공기구동밸브를 닫고 맹판을 설치할 당시 공기 공급 밸브는 잠그지 않았다고 한다.

2) Local Type AOV 작동 단계

| 작업단계                                                                                                                    | 잠재적인 위험요소                                  | 안전조치 사항                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1. 해당 AOV(Open(or Close)시 AOV 조작 LEVER를 오른쪽(or 왼쪽)으로 돌려서 OPEN 하고 V/V가 FULLY OPEN(or Close) 되었는지 아니면 중간에 STOP 되었는지 확인한다. | 1.Valve Sticking 또는 Polymer 고착으로 인해 작동 불량. | 1.반드시 AOV 조작 Level 작동시 작동 상태를 확인<br>2. Sticking 시 밸브렌치로 한바퀴 정도 수동으로 작동 |
| 2. Open 완료 후 AOV 조작 Lever를 Stop 위치에 두고, AIR MOTOR 클러치를 자동에서 수동으로 전환하고 AIR LINE B/VClose 및 Depressing한다.                 | 1.수동 MODE로 미 전환할 경우 작업시 오작동 우려             | 1.반드시 수동 MODE로 전환후작업                                                   |

[사진 8] 공기구동밸브 조작 완료 후 작업절차

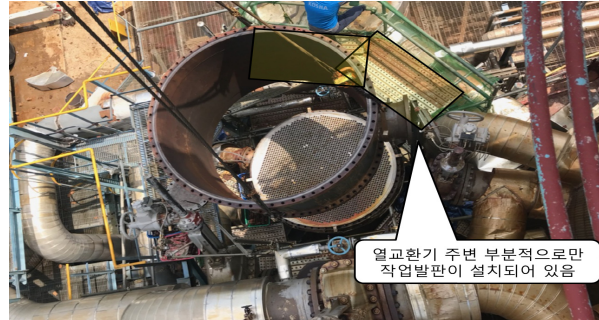
#### 5) 안전작업허가 적정성 여부

- 안전작업허가절차서에 작업 중 반드시 닫혀있어야 할 밸브, 작동 금지가 필요한 곳의 경우 위험꼬리표(TAG)를 부착하도록 되어 있으나 사고 발생 공기구동밸브(RCP 등 조작스위치 포함) 및 구동용 공기 공급밸브에 위험꼬리표가 부착되지 않았으며, 허가서 승인 과정 중에 이러한 안전조치 누락을 발견하지 못하였다.

#### 6) 작업 공간 적정 여부

- 이동식 크레인을 이용하여 열교환기 덮개(channel)를 설치하는 경우 본체와 연결부 일치 확인 등을 위해 작업자가 이동이 필요하나, 작업발판 폭이 일부 좁고, 배관 상부에 작업발판 설치가 누락된 부분도 있어 작업 중 이동을 위해 배관을 밟고 올라서기가 쉬운 장소로 실제 작업 중 해당 작업 도중 배관을 밟고 작업을 진행하였다.





[사진 9] 작업자가 밟고 일어난 배관 및 주위 작업발판

## 6) 결론

- 금번 사고의 경우, 사고 발생 시간, 사고 발생 장소, 작업 내역 등을 검토한 결과 작업절차 미준수, 안전작업허가 확인 미흡, 작업 공간 부적정 등 여러 요인으로 인한 사고 발생으로 분석된다.

### ■ 사고근본원인분석(RCA ; Root Cause Analysis)

- 사고 발생에 대한 직·간접 원인 등을 종합하면 공기구동밸브 차단 후 동력 차단 조치 미실시, 공기구동밸브 자동/수동 절체 레버 조작 후 안전핀 확인 미실시, 위험성평가 시 작업 중 누출 가능성 도출 미흡 등으로 인하여 사고가 발생한 것으로 판단된다.

| 단계         | 사고원인 1                                                                                                                                  | 사고원인 2                                                                        |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 결함내용 분류 | 작업결함                                                                                                                                    | 운전결함                                                                          |
| 2. 관련 조직   | 정비팀                                                                                                                                     | 생산팀                                                                           |
| 3. 결함 종류   | 설치,보수,예방보존문제                                                                                                                            | -                                                                             |
| 4. 결함 대분류  | 작업절차서                                                                                                                                   | 위험성평가                                                                         |
| 5. 결함 중분류  | 부적절하게 수행됨<br>불완전/틀린 절차서                                                                                                                 | 평가결함                                                                          |
| 6. 결함 소분류  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 공기구동밸브 차단 후 동력 차단 조치 미실시</li> <li>• 공기구동밸브 자동/수동 절체 레버 조작 후 안전핀 확인 내용 절차서에 명시 되지 않음</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 위험성평가 시 작업 중 누출 가능성 도출 미흡</li> </ul> |

## IV. 사고발생 원인



### 원인 1 / 공기구동밸브 구동원 미차단

- 공기구동밸브를 닫은 후 오조작에 의해 공기구동밸브가 불시에 열려 위험물이 누출되지 않도록 공기구동밸브의 구동원인 공기 공급 밸브를 차단여야 하나 공기 공급밸브 차단 조치를 하지 않았다.

### 원인 2 / 공기구동밸브 조작 절차 미준수

- 조작절차서에 공기구동밸브 조작 후 반드시 클러치를 수동으로 전환하도록 되어 있으며, 수동이 선택되기 위해서는 안전핀이 결속되어야 하나 안전핀 결속 여부를 확인하지 않았다.

### 원인 3 / 작업발판 설치 미흡

- 열교환기 덮개와 본체의 연결부 일치 확인 작업 중 작업자가 반대편을 보려고 배관 위로 올라가기 위해 공기구동밸브 조작스위치(LCS)를 잡고 일어서다 스위치를 열림 방향으로 동작하였다.

### 원인 4 / 안전작업허가서 운영 미흡

- 작업 중 반드시 닫혀있어야 할 밸브 등 작동금지가 필요한 곳의 경우 LOTO(Lock Out Tag Out)처리하도록 되어 있으나 사고 발생 공기구동밸브(RCP등 조작스위치 포함) 및 구동용 공기 공급밸브는 LOTO 처리가 되어 있지 않았고, 허가서 승인 과정 중에 이러한 안전조치 누락을 발견하지 못하였다.

## V. 동종사고 예방대책



### 대책 1 / 공기구동밸브 구동원 차단

- 공기구동밸브와 같은 구동원에 의해 조작되는 밸브는 조작 후 불시 작동을 방지하기 위해 반드시 구동원을 차단하고, 위험꼬리표를 부착하여 다른 작업자의 오조작을 방지하여야 한다.

### 대책 2 / 공기구동밸브 조작 절차 준수

- 클러치 수동 선택 시 안전핀 결속 여부를 반드시 확인하도록 절차서에 추가하고, 절차서의 내용이 현장에서 준수될 수 있도록 현장 확인이 필요하다.

### 대책 3 / 작업에 적합한 작업발판 설치

- 정비작업 시 작업에 필요한 작업자의 이동 경로, 장애물, 설비 간섭 등을 고려한 작업발판을 설치하여 작업자가 현장 조작스위치 등을 잡고 이동하는 경우가 발생하지 않도록 조치가 필요하다.

### 대책 4 / 안전작업허가서 확인 철저

- 현재 안전작업허가서 지침에는 밸브 구동원에 대한 불시동작 방지조치가 명확하게 표기되어 있지 않으므로, 회전기기 등 다른 동력기계와 동일하게 LOTO 조치하도록 명기하고, 작업허가서 승인 과정 중에는 이러한 현장 안전조치 내용의 철저한 확인이 필요하다.

### 대책 5 / 구동밸브 조작 스위치 커버 설치

- 구동밸브 조작스위치를 필요 시에만 조작이 가능하도록 스위치 커버를 설치하여 의도하지 않는 조작이 이루어지지 않도록 조치하여야 한다.

## VI. 사고로부터 얻은 교훈



공기구동밸브 오조작으로 인한 혼합C4 누출사고로 얻은 교훈은 다음과 같다.

### 교훈 1 기기의 조작 방법을 정확히 알아야 한다.

- 이번 사고는 공기구동밸브의 조작 방법을 정확히 숙지하지 못하여 발생한 사고로 세 번에 걸친 공기구동밸브 조작 중에 한 차례라도 정확한 조작이 이루어졌으면 발생하지 않았을 사고이다.
- 첫 번째는 동력원 차단이 이루어지지 않았고, 두 번째로 자동/수동 레버 절체 부적정, 마지막으로 구동부를 오조작하여 물질이 누출되었다. 이런 내용을 볼 때 기기의 정확한 조작방법은 공정운전 및 사고예방에 반드시 필요한 부분임을 알 수 있다.
- 공기구동밸브의 조작방법은 기기업체의 카탈로그에 정확히 명시되어 있으므로, 공기구동밸브 구매 시 해당 담당자들을 대상으로 정확한 교육이 이루어지고, 해당 기기 관련 작업이 있을 경우 추가적인 교육이 이루어져야 한다.

### 교훈 2 절차준수는 필수사항이다.

- 절차서는 조작방법 및 관련 사고사례를 취합하여 위험성평가를 통해 도출된 결과를 토대로 내용을 작성하게 된다.
- 내용 중에는 과거의 동일한 사고 내용이 반영되어 있었지만, 절차서 내용을 준수하지 않아 동일한 사고가 발생하게 되었다.
- 최근 들어 사업장마다 많은 인원들이 교체되는 시점에 있다. 이러한 시점에서 절차서 내용을 숙지 및 준수하지 않게 되면 큰 사고로 이어질 가능성이 다분하다. 절차서는 현재까지의 경험과 내용을 절차서에 반영하였기 때문에 절차서의 작성 의도를 파악하고 교육하여 동일한 사고를 예방해야 한다.





### 교훈 3 / 안전작업허가는 현장에서!

- 안전작업허가서 허가 시 확인할 내용은 단순한 허가서 작성의 적정성을 판단하는 차원에서 마무리 할 것이 아니라 필요한 경우 승인권자가 현장을 방문하여 허가서에 있는 내용이 제대로 준수되었는지를 확인하여야 한다.
- 사업장의 담당자는 안전작업허가서가 형식적인 업무가 되지 않도록 관련 사항을 지속적으로 체크하고 내용을 업데이트하여 현장 맞춤형 작업허가서가 될 수 있도록 노력해 나가야 한다.



## Ⅶ. 유사 사고사례



### 01 모터구동밸브 오조작으로 인한 급냉오일 누출 및 화재사고

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 발생일시 | 2006년 1월                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 사고장소 | 전남 소재 공장                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 피해내용 | 부상자 3명(화상)<br>설비 주변 전소                                                                                                                                                                                                                                             |
| 사고내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>가솔린분리탑 하부 급냉오일 순환펌프 전단의 필터 스크린 교체작업을 위해 에어호이스트를 이용하여 권상작업 중, 잠겨있던 전기구동밸브 작동스위치를 건드려 밸브가 개방되고 가솔린분리탑 하부에 있던 급냉오일이 약 7~8톤 정도 누출되고, 조치 중이던 근로자 3명이 경화상을 입었으며 공장 가동중단 후 누출 오일을 수거하는 과정에 보온재에 침투된 오일이 자연발화를 일으켜 화재 발생</li> </ul> |

### 02 레벨컨트롤밸브 오조작으로 인한 스팀 누출사고

|      |                                                                                                                                                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 발생일시 | 2009년 5월                                                                                                                                                                           |
| 사고장소 | 울산 소재 공장                                                                                                                                                                           |
| 피해내용 | 사망 1명, 부상 1명(화상)                                                                                                                                                                   |
| 사고내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>SBR공정에서 작업자 3명이 Leach Tank 내부에 들어가 임펠러 제거 작업 중 Control Room 운전자의 밸브 오조작으로 탱크 내부로 스팀이 공급되면서 작업 중인 작업자 1명은 사망하고, 1명은 부상을 입은 재해가 발생</li> </ul> |

### 03 자동밸브 오조작으로 인한 스팀 누출사고

|      |                                                                                                                                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 발생일시 | 2017년 8월                                                                                                                                                                                             |
| 사고장소 | 충남 소재 공장                                                                                                                                                                                             |
| 피해내용 | 사망 1명, 부상 1명(화상)                                                                                                                                                                                     |
| 사고내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>배합실에서 세척한 SUS배관을 탱크하부 배관 재조립하던 중에, 2층으로 올라간 동료 작업자가 조작판넬에서 「Valve Open」버튼을 눌러 탱크 하부의 자동밸브가 열리면서 배관살균용 고온수가 배관이음부 사이로 쏟아지면서 화상을 입고 치료 중 사망하는 재해가 발생</li> </ul> |



## VIII. 참고자료



1. 산업안전보건법, 고용노동부; 2018
2. 산업안전보건용어사전, 한국산업안전보건공단; 2006
3. 중대산업사고 조사의견서, 한국산업안전보건공단; 2010~2017
4. KOSHA Guide P-151-2016 사고의 근본원인 분석기법에 관한 기술지침

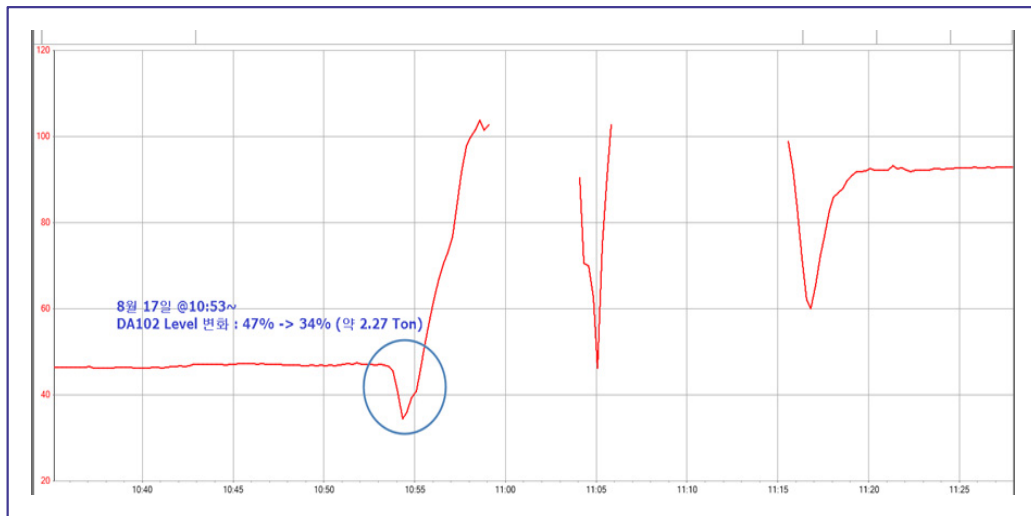
## IX. 부록



### 1) 사고물질 누출량 확인

- 누출된 물질 추정량은 증류탑(DT-100)의 유량 변화가 47.1 % → 34 %로 변화하였고, 증류탑의 내경 3600 mm을 고려하였을 경우 누출 부피는 2.91 m<sup>3</sup>가 누출되어 유체 비중(0.781)을 적용하면 대략 2.27 Ton이상의 혼합C4 및 DMF가 누출되었음을 확인 할 수 있다.

$$\frac{\pi}{4} * (3.6m)^2 * (13 * 0.022m) = 2.91m^3$$



[그림 11] 사고 당시 증류탑 레벨 변화 트렌드



## 작 성

강 성 광 (안전보건공단 전남동부지사 화학사고예방센터(여수))  
오 상 규 (안전보건공단 전남동부지사 화학사고예방센터(여수))  
김 우 종 (안전보건공단 전남동부지사 화학사고예방센터(여수))

## 검 토

권 혁 면 (연세대학교 산학협력단)  
윤 동 현 (윤테크)  
주 종 대 (산업안전환경기술원)  
권 현 길 (안전보건공단 교육원)

안전보건공단 전문기술실 전문기술부

2019-전문기술-304

### 『구동밸브 오조작으로 인한 혼합C4 누출사고』 사례 연구

|             |                                                             |
|-------------|-------------------------------------------------------------|
| 발 행 일       | 2019년 7월 1일                                                 |
| 발 행 인       | 한국산업안전보건공단 이사장 박두용                                          |
| 발 행 처       | 한국산업안전보건공단 전문기술실                                            |
| 주 소         | 울산광역시 중구 종가로 400                                            |
| 전 화         | (052) 703-0600                                              |
| F A X       | (052) 703-0312                                              |
| Homepage    | <a href="http://www.kosha.or.kr">http://www.kosha.or.kr</a> |
| 디 자 인 · 인 쇄 | (사)한국신체장애인복지회 ☎ 02.6401.8891                                |

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함



## 혼합C4 누출 사고사례(2018.8.17.)

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

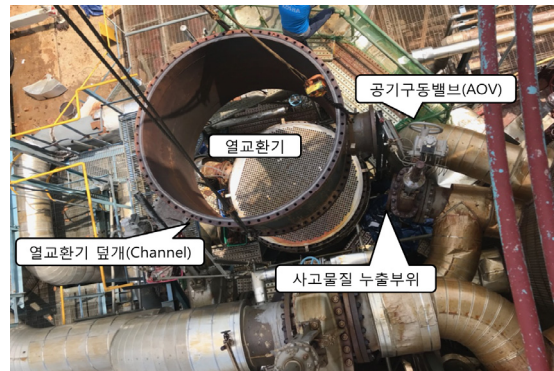
# 구동밸브 오조작으로 인한 혼합C4 누출사고

### 사고개요

20년 8월 17일(금) OO사 1,3-부타디엔 공장에서 열교환기 세척 후 크레인으로 열교환기 덮개를 설치하던 중 증류탑의 구동밸브 조작기 오조작으로 밸브가 열려 증류탑 내부의 혼합C4 및 추출용매가 누출된 사고임



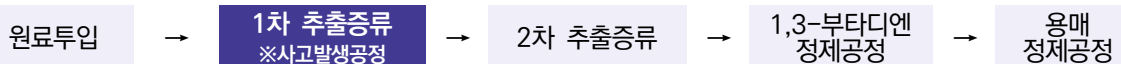
[그림 1] 사고물질 누출모습



[그림 2] 사고발생 후 근접사진

## 01 사고발생공정 및 물질

- 사업장내 1,3 부타디엔 제조공정 중 1차 추출 공정 열교환기 클리닝 작업 후 열교환기 덮개 정상화 작업 중 구동밸브 오조작으로 인해 혼합C4 누출.



### • 사고발생물질

| 물질명         | CAS No.                                                              | 성상 | 인화점       | 폭발범위           | 발화점 | 노출기준                     |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|----|-----------|----------------|-----|--------------------------|
| 혼합C4        | 106-99-0<br>115-11-7<br>106-98-9<br>106-97-8<br>590-18-1<br>624-64-6 | 가스 | 인화성<br>가스 | 1.4 % ~ 11.7 % | 365 | TWA 10 ppm               |
| DMF<br>(용매) | 68-12-2                                                              | 액체 | 58        | 2.2 % ~ 15.2 % | 445 | TWA 2 ppm<br>STEL 10 ppm |

## 02 사고발생원인

- 구동밸브 구동원 미차단
  - 구동밸브를 닫은 후 오조작으로 인해 구동밸브가 불시에 열려 위험물이 누출되지 않도록 구동밸브 구동원인 공기 공급 밸브를 차단하여야 하나 미실시함
- 구동밸브 조작 절차 미준수
  - 조작절차서에 구동밸브 조작 후 반드시 클러치를 수동으로 전환하도록 되어 있으며, 수동이 선택되기 위해서는 안전핀이 결속되어야 하나 안전핀 결속 여부를 확인하지 않음
- 작업발판 설치 미흡
  - 열교환기 덮개와 본체의 연결부 일치 확인 작업 중 작업자가 반대편을 보려고 배관 위로 올라가기 위해 구동밸브 조작스위치를 잡고 일어서다 스위치를 Open 방향으로 동작시킴
- 안전작업허가서 운영 미흡
  - 작업 중 반드시 닫혀있어야 할 밸브, 작동금지가 필요한 곳의 경우 LOTO(Lock Out Tag Out)처리하도록 되어 있으나 사고 발생 구동밸브(RCP등 조작스위치 포함) 및 구동용 공기 공급밸브는 LOTO 처리가 되어 있지 않았고, 허가서 승인 과정 중에 이러한 안전조치 누락을 발견하지 못함

## 03 동종사고 예방대책

- 구동밸브 구동원 차단
  - 구동밸브와 같은 구동원에 의해 조작되는 밸브는 조작 후 불시 작동을 방지하기 위해 반드시 구동원을 차단하고, 위험꼬리표를 부착하여 다른 작업자의 오조작을 방지하여야 함
- 구동밸브 조작 절차 준수
  - 수동 선택 시 안전핀 결속 여부를 확인하도록 절차서에 추가하고, 절차서의 내용이 현장에서 준수
- 작업에 적합한 작업발판 설치
  - 정비작업 시 작업에 필요한 작업자의 이동 경로, 장애물 간섭 등을 고려한 작업발판을 설치하여 작업자가 현장 조작스위치 등을 잡고 이동하는 경우가 발생하지 않도록 조치
- 안전작업허가서 확인 철저
  - 안전작업허가서 지침에는 밸브 구동원에 대한 불시동작 방지조치가 명확하게 표기되어 있지 않으므로, 회전 기기 등 다른 동력기계와 동일하게 LOTO 조치하도록 명기하고 작업허가서 승인 과정 중에는 이러한 현장 안전조치 내용의 철저한 확인
- 구동밸브 조작 스위치 커버 설치
  - 구동밸브 조작스위치를 필요시에만 조작이 가능하도록 스위치 커버를 설치하여 의도하지 않는 조작이 이루어지지 않도록 조치