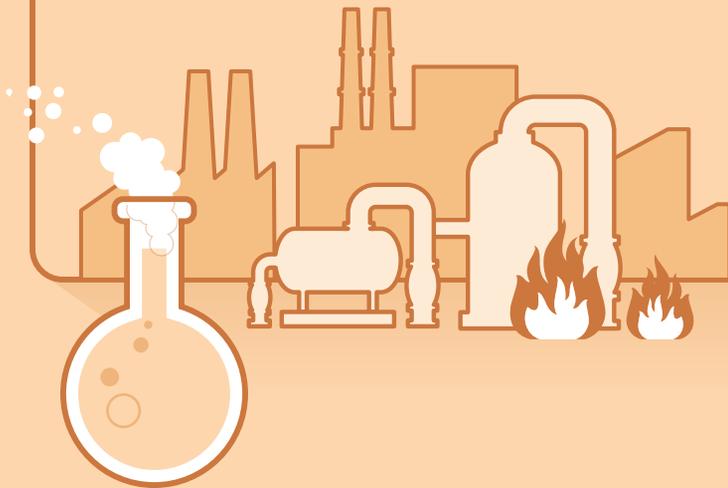


# 화학사고 사례연구

4  
호

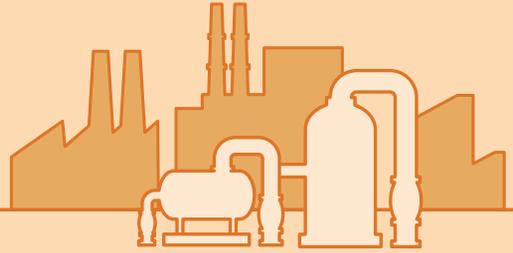
## Clay(점토형태의 충전물) Filter 용기 내부 화재사고



# CONTENTS

---





I. 사고개요	05
II. 사업장 현황	06
III. 사고분석	10
IV. 사고발생 원인	20
V. 동종사고 예방대책	21
VI. 사고로부터 얻은 교훈	22
VII. 유사 사고사례	24
VIII. 참고자료	25



# 용/어/설/명



## 01 Kero Merox 정제공정

- 원유(Crude) 정제공정에서 생산된 등유(Kerosene) 중의 Mercaptan을 이황화물(Disulfide) 형태로 전환하는 공정이다.

## 02 Merox

- Mercaptan Oxidation의 약자로서 등유 중에 함유되어 있는 Mercaptan(R-SH)을 가성소다(NaOH), 공기, 촉매를 이용하여 이황화물(Disulfide)로 전환시켜 악취와 부식성을 제거하고 가연효과를 향상시켜주는 공정이다.

## 03 Clay Filter

- 점토형태의 충전물 필터로 등유에 녹은 계면활성제(Surfactant), 금속화합물 등의 불순물을 제거제거한다.

## 04 곡률효과

- 평면의 액체보다 곡면을 가진 액체에 대한 포화증기압이 더 높은 현상이다.

## 05 복합5종 가스측정기

- 산소(%), 탄산가스(%), 일산화탄소(ppm), 황화수소(ppm), 인화성가스(%)의 5종 가스를 측정하는 휴대용 복합 가스측정기 이다.

# I 사고개요



2021년 1월 ○○○사업장 Kero-Merox 정제공정의 Clay Filter 용기(직경 : 3.7 m, 높이 : 7.5 m) 내부에서 진공 흡입차를 사용한 폐Clay 제거 입조작업 중 화재가 발생하여 작업자 2명이 화상을 입은 사고이다.



사진 1 화재가 발생한 Clay Filter 용기 전경(좌), 상부 맨홀(우)

## 01

### 인명피해

- 부상 : 사내 협력업체 근로자 2명(화염화상 22 %, 화염화상 26 %)

## 02

### 물적피해

- 피해 없음



## II 사업장 현황

○○○사업장 Kero-Merox 정제공정은 1987년 4월 상업생산을 시작으로 현재 등유(Kerosene) 처리능력은 14,000 배럴/일이다.

### 01

### Kero Merox 정제공정

- 원유 정제공정에서 생산된 등유 중의 Mercaptan을 이황화물 형태로 전환하는 공정으로, Kero Merox 에서 Merox 란 Mercaptan Oxidation의 약자로서 등유 중에 함유되어 있는 Mercaptan(R-SH)을 가성소다(NaOH), 공기, 촉매를 이용하여 이황화물(Disulfide)로 전환시켜 악취와 부식성을 제거하고 가연효과를 향상시켜주는 공정이다.

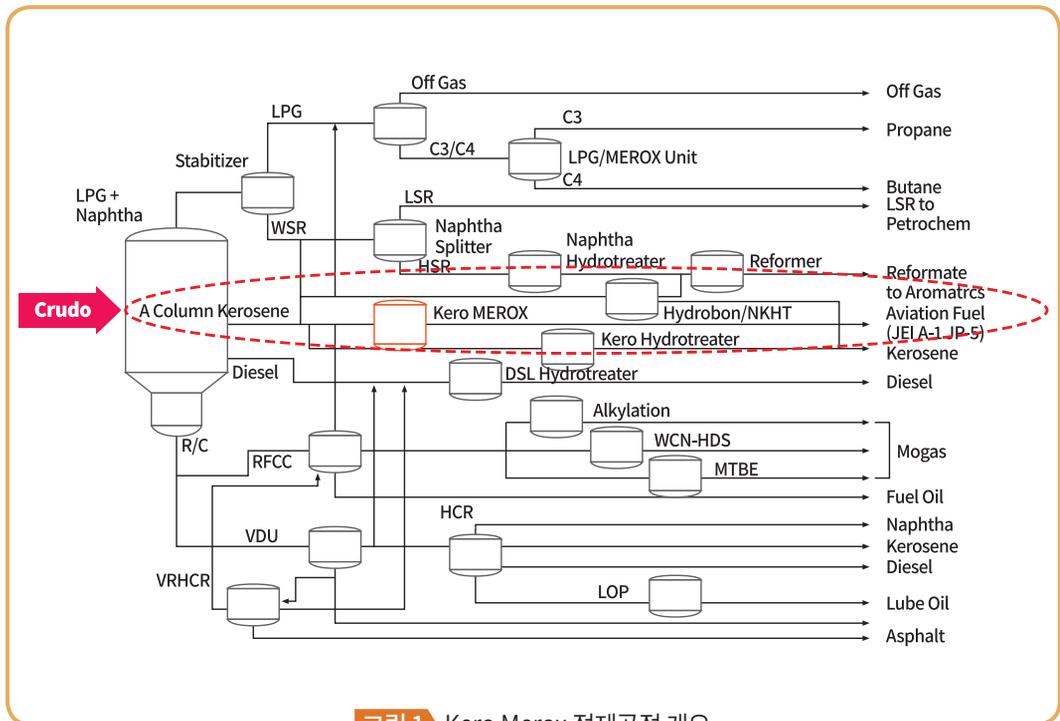


그림 1 Kero Merox 정제공정 개요

## II. 사업장 현황

## 02

## 사고 발생 물질

## ① 등유(제품명: Mercox Treated Kero)

물질명	연소범위 (%)	인화점 (°C)	발화온도 (°C)	증기압 (mmHg)	증기밀도 (공기=1)
등유	0.6 ~ 4.5	35 ~ 44	246	5.0 (@ 38 °C) 1.7 (@ 20 °C)	4.5

## 경고표지 그림문자



- » 인화성 액체 및 증기
- » 피부·눈·호흡기계 자극성 경고

## ② Clay

- 분말형태의 충전물 필터로서 등유(Kerosene)중에 포함된 계면 활성제를 제거하기 위한 필터로 정제시 흡수된 유분의 증기화가 용이한 구조이며 주 구성 성분은 알루미늄 실리케이트 (Aluminum Silicate)임.
- 작은 알갱이로 구성된 Clay Filter에 흡수된 유분은 비표면적이 커지고 표면장력이 감소되어 증발량이 증가하는 곡률효과에 따라 연소범위 내의 인화성 가스 농도를 형성하였을 것으로 추정됨.

물질명	물리적 상태	구성성분		입자 크기 (mm)
		주성분(97 ~ 99 %)	기타(1 ~ 7 %)	
Clay	고체(입상)	알루미나 규산염	규사, 결정성(석영)	0.3 ~ 1

03

사고 발생 설비

1 Clay Filter

○ 해당 설비는 중국으로부터 수입한 설비임에 따라 정확한 명세에 대한 확인이 어려움.

명칭	명세(mm)	물질	압력(MPa)		온도(°C)		재질 본체
			운전	설계	운전	설계	
Clay Filter	크 기: 32.33 m <sup>3</sup> 직 경: 3,660 높 이: 7,470	충진된 Clay에 등유 처리	0.54	1.37	35	65	ASTM A516 Gr.70

표 1 사고 발생 설비 주요 사양

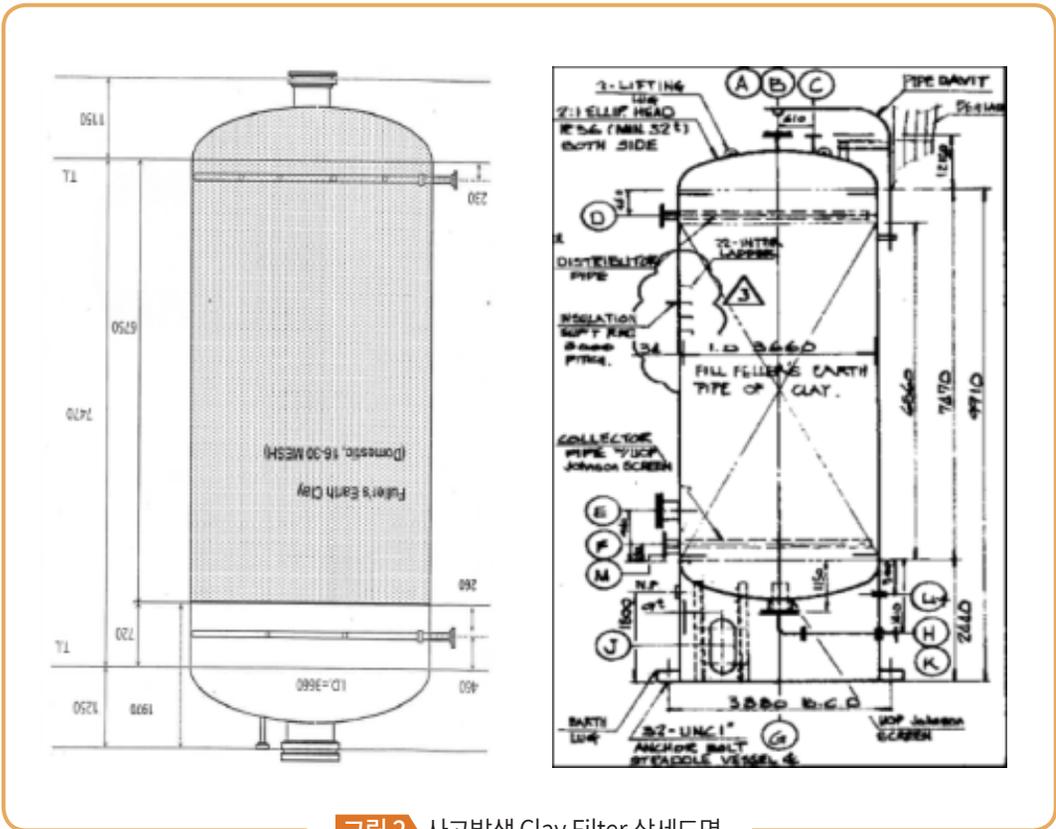


그림 2 사고발생 Clay Filter 상세도면

## 04

## 사고 발생 공정

## 1 등유 PRE / Post-Treatment 공정 계통도

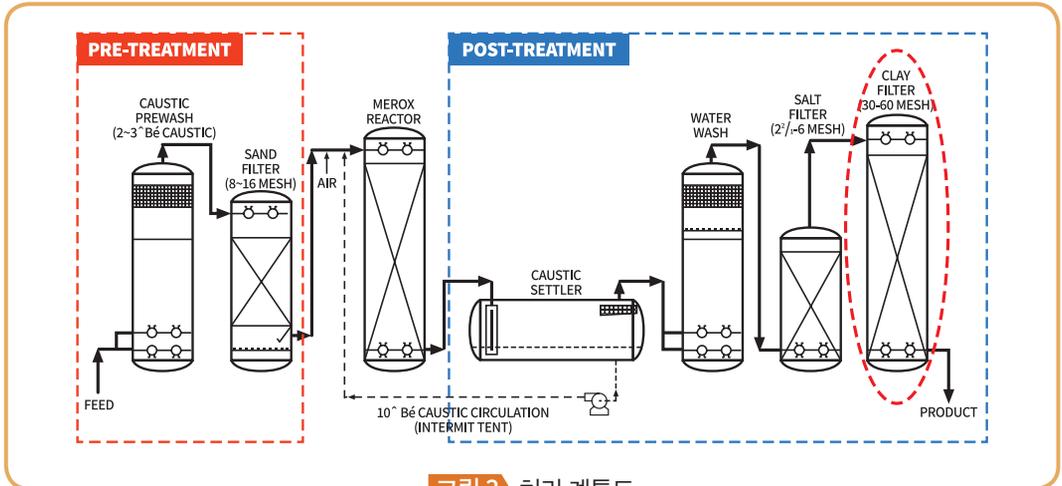


그림 3 처리 계통도

- Pre-Treatment 공정
  - » Caustic Prewash : 가성소다(NaOH)를 이용하여 황화수소(H<sub>2</sub>S) 및 유기산(Naphthenic Acid)를 제거함.
- Post-Treatment 공정
  - » Caustic Settler : 반응기에서 떨어진 가성소다(NaOH)가 비중차에 의해 분리됨.
  - » Water Wash Column : 잔존하는 미량의 가성소다(NaOH)를 제거.
  - » Salt Filter : 물세척탑에서 등유에 섞인 미립자의 물을 제거.
  - » Clay Filter : 등유에 녹은 계면활성제(Surfactant), 금속화합물 등의 불순물 제거.

## 2 등유 처리공정 설명

- Clay Filter란 점토형태의 충전물 필터로 등유에 녹은 계면활성제(Surfactant), 금속화합물 등의 불순물을 제거하기 위한 설비이다.
- 등유 중에 존재하는 계면 활성제는 주로 상압증류탑 상부에 주입되는 부식방지제의 일부와 Pre-wash 등에서 등유 중에 존재한다.
- 계면 활성제는 기름과 물층의 계면에서 서로 분리되는 것을 방해하는 물질이므로, 물의 완전한 분리가 요구되는 항공유 환경에 대단히 해롭다.
- Clay Filter는 이러한 계면활성제 등의 불순물을 제거하여 제품(등유)의 품질을 높이기 위한 후처리 공정 설비이다.
- Clay 입자 Size : 0.3 ~ 1 mm / 용량 : 60 Ton(69.5 m<sup>3</sup>)



## Ⅲ 사고분석

### 01

#### 사고 발생 과정

##### 1 작업 상황

일시	작업 현황
2021년 1월 ○○일	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clay Filter 내 Clay 교체작업을 위해 해당공정 가동정지 및 내용물 드레인 실시</li> </ul>
1월 ○○일 ~ △△일	<ul style="list-style-type: none"> <li>용기(Clay Filter) 내부 질소 퍼지 실시 (약 15시간)</li> <li>맹판 삽입작업 및 용기(Clay Filter) 내부 공기 치환 실시 (계속)</li> <li>용기(Clay Filter) 내부 입조를 위한 가스 측정 (생산팀, 안전팀: 용기 내부 6포인트 측정 시 특이사항 발견 못함)</li> </ul>
12:58	<ul style="list-style-type: none"> <li>오후 작업을 위해 용기(Clay Filter) 가스 측정 (생산팀: 용기 내부 6포인트 측정 시 특이사항 발견 못함)</li> </ul>
13:05	<ul style="list-style-type: none"> <li>용기(Clay Filter) 측면맨홀 개방 실시 (측면맨홀에서 진공 흡입차를 이용하여 Clay를 제거 목적)</li> <li>상부맨홀을 통해 작업자가 입조하여 Clay를 제거하기로 결정함 (Clay가 딱딱하게 굳어 작업이 용이치 않음)</li> </ul>
15:00	<ul style="list-style-type: none"> <li>용기(Clay Filter) 내부 가스 측정(생산팀: 특이사항 발견 못함)</li> <li>상부맨홀에 작업자 2명이 입조(1명은 쇠파스로 굳은 Clay를 부숴 모으고, 다른 1명은 진공 흡입차 호스를 통해 Clay 제거작업 실시)</li> </ul>
16:30	<ul style="list-style-type: none"> <li>용기(Clay Filter) 내부에서 화재 발생(입조감시가 조기발견 및 살수 진행)</li> <li>방재팀 신고(소방차, 엠블란스) 및 화재 자체 진화 완료</li> </ul>
16:57	<ul style="list-style-type: none"> <li>재해자 2명 구조 및 병원으로 후송 조치</li> </ul>

## 02

## 사고 원인 분석

## ① Clay Filter 교체 주기의 적정성 확인

- 금번 Clay Filter의 'Clay 교체작업' 실시 전 차압은  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  수준으로 사업장 지침 기준인  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  이상으로 운전되어 1월 ○○일 No.3 Kero Merox Unit을 가동정지 하였다.

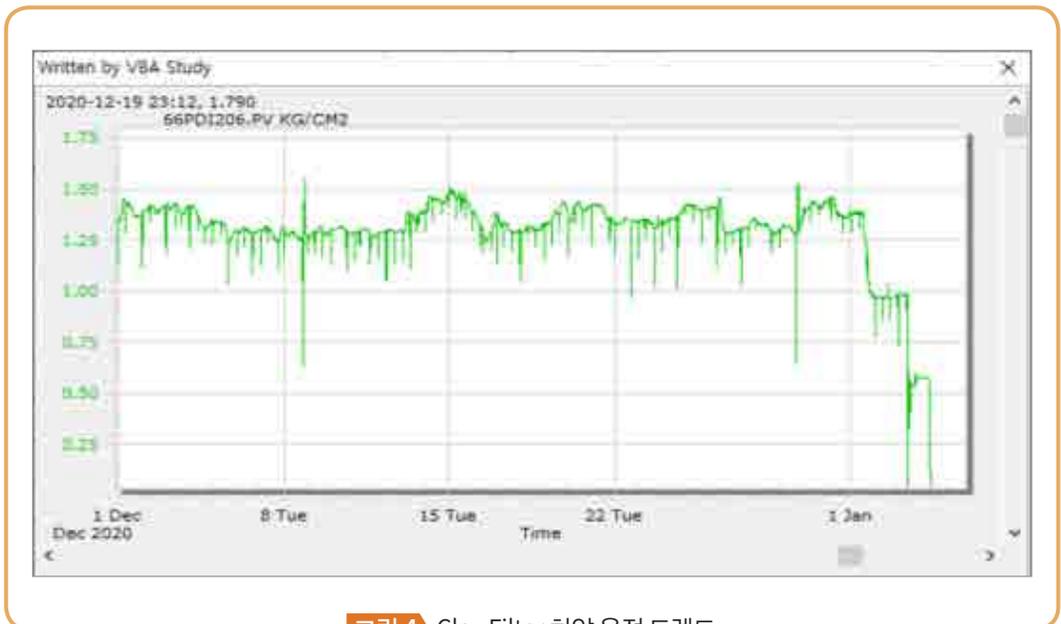


그림 4 Clay Filter 차압 운전 트렌드

- 사업장의 작업절차서에는 Clay Filter 차압이  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  이상 상승하고 항공유 품질 SPEC이 개선되지 않을 때, 상부의 고형화된 Clay 일부를 걷어내고 보충하거나, Clay 전체를 교체하는 절차에 따른다고 기술되어 있다.
- 최근 12년간(2009 ~ 2020년) Clay 전체교체 이력[표2]을 확인한 결과 2 ~ 3년 주기로 실시되었으며, Clay Filter 용기의 측면맨홀에서 Clay Filter 차압이  $1.0 \sim 1.3 \text{ kg/cm}^2$ 일 때 작업이 이루어진 것을 확인할 수 있다.
- 직전(2020년 3월) 교체 이후 차압 증가속도는 이전과 유사하였으나, 교체 직후 차압이  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  이상으로 높아, 운전 9개월 만에 차압이  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ 로 상승하여 이번(2021년 1월) Clay Filter 전체교체작업을 진행하였다.

☞ 원료(등유)의 상태에 따라 차압이 변하며, 운전 조건 등은 특이사항이 없었음을 제시함.

순번	작업 년도	작업 월	수행 업체	Purge 빙법	작업직전 차압	작업 범위	작업 방법	비고
1	2009년	10월	△△	N <sub>2</sub> Purge	1.1 kg/cm <sup>2</sup>	전체교체	Side Manway	TA
2	2012년	3월	□□	N <sub>2</sub> Purge	1.1 kg/cm <sup>2</sup>	전체교체	Side Manway	TA
3	2016년	5월	□□	N <sub>2</sub> Purge	1.3 kg/cm <sup>2</sup>	전체교체	Side Manway	Non-TA
4	2018년	9월	□□	N <sub>2</sub> Purge	1.0 kg/cm <sup>2</sup>	전체교체	Side Manway	Non-TA
5	2020년	3~4월	◇◇	N <sub>2</sub> Purge	0.83 kg/cm <sup>2</sup>	전체교체	Side Manway	TA

**표 2** Clay Filter 전체 교체 History (2009년 ~ 2020년)

## ② 유체(등유) 드레인 및 퍼지 작업의 적정성 확인

- “Clay 교체 및 Clay Skimming 작업표준”에서 등유 드레인 및 질소 퍼지 작업 발체

- ① 66C-106(Clay Filter) Inlet에 N<sub>2</sub>를 연결하여 Clay Filter 내의 Hydrocarbon이 최대한 원활하게 Slopping 될 수 있도록 가압한다.
- ② 66C-106(Clay Filter) 내의 Hydrocarbon이 다 빠졌으면 66G-101/A Pump를 Stop 시킨 후 Discharge Valve를 Close시킨다.
- ③ 운전주임은 정유제품운영팀에 Slopping 완료를 통보한다.
- ④ 66C-106 Bottom To E.D Blind 제거 및 Valve를 Open하여 잔류 Hydrocarbon을 최대한 Drain 시킨 후 Valve Close 및 Blind 체결한다.
- ⑤ 66C-106 Top 상부의 Manway로 작업자가 용기 출입하여 Skimming 작업을 수행할 수 있도록 Air로 충분히 Purge한다.
- ⑥ 66C-106 Top 상부의 Manway Open 후 Blind (Blind List참조) 체결한다.
- ⑦ 66C-106 관련된 Blind 작업이 종료되면 용기출입을 위한 안전팀 기사의 가연성 Gas 및 산소농도를 Check하여 입조 조건을 확인한다.
- ⑧ 용기출입 조건이 되면 허가증에 각각 서명 후 작업을 진행시킨다.

- 이하 생략 -

### III. 사고분석

- 라이선스 매뉴얼 절차와 사업장 절차서의 가장 큰 차이는 LP Steam 퍼지절차의 유무로 라이선스 매뉴얼에는 2 ~ 3 kg/cm<sup>2</sup>(g) 스팀을 사용한 퍼지작업을 48시간 이내 진행하여 적합한 안전 규정에 만족할 시 질소 퍼지를 진행하도록 명시되어 있다.  
(스팀 퍼지 후에는 응축수 발생으로 인한 폐수 등이 발생하는 환경적인 이슈가 존재함.)

#### 1. Licensor Manual(UOP) Manual

<원문>

#### N. Clay Filter Unloading

The following is a procedure used by other Merco licensees while changing out their clay filter. They report little problem in removing the clay after stripping the hydrocarbon per this method. A key is to continue draining condensate from the Clay Filter bottom while admitting steam to avoid budding a liquid water level.

- 1) Bypass kerosene flow around the Clay Filter and isolate the inlet and outlet valves.
- 2) Verify the spectacle blinds are open on the nitrogen supply line.
- 3) Drain the Kerosene from the Clay Filter displacing the kerosene with nitrogen. Pump out the kerosene to the HC Slops Tankage via the Circulation Pumps maintaining sufficient nitrogen pressure in the Clay Filter at all times. Monitor the pressure in the Clay Filter via the pressure gauge on the hydrocarbon inlet line. The 3" drain line to the OWS Drain system should be opened periodically to determine when the filter is empty. After each Clay Filter is empty, isolate the OWS drain system connection and the valves on the hydrocarbon pump discharge line. Leave the valve open to the OWS drain if this Clay Filter is to soon be steamed out.
- 4) Make a temporary LP steam connector at each 8" block and bleed on the Clay Filter outlet by dropping the gate valve nearest the Clay Filter and hooking up temporary steam piping (minimum 3") to the open 8" flange. (The piping should already be fabricated and no welding done near the open flange as the atmosphere still contains some hydrocarbon.) Remove the out-of-service PSV on the Clay Filter and install a spool piece to allow full flow through the PSV piping.
- 5) Begin a steam purge upflow from the outlet line through the clay bed to the LP Flare system through the temporary spool-piece. Maximize steam flow through the bed while keeping the vessel under 25-42 psig (2-3 kg/cm<sup>2</sup> g) pressure. Throttle the steam supply gate valve and vent valve to LP Flare appropriately. Avoid overpressure and monitor skin temperature of clay treaters to ensure that it does not exceed the design temperature at design pressure. Open the Clay Filter drain line to OS to allow the condensate to continuously drain out. Open the OS drain so a small amount of steam flows out also to ensure that a condensate level does not build in the Clay Filter. Continue until the off gas meets acceptable safety standards which will be within 48 hours.
- 6) Once the Clay Filter purge off gas meets acceptable safety standards, establish a nitrogen purge upflow through the Clay Filter via the 1" connection on the 8" hydrocarbon outlet line. This will lower the temperature of the clay. This will take about 24 hours.
- 7) Prepare the chute for the spent clay and open the Clay Filter side manway and begin to unload the clay into the designated containers. The Clay should "slump" out of the bed, flowing freely. If free water carryover from the Sulf Filter occurred during operation the Clay may clump up a bit and the unloading may have to be assisted at the dump manway with a shovel. When the clay bed level is even with the outlet collectors, remove the drain screen and unload as much as possible via the drain screen outlet piping. Vessel entry will be required to remove the remaining clay in the filter bottom head.
- 8) After the majority of the clay is emptied admit air and make the vessel safe for entry in terms of LEL and oxygen content.
- 9) Clean the drain screen and outlet collector screens. Verify that no damage has occurred to the drain screen or outlet collector laterals. When the drain screen and outlet collector screens are cleaned and confirmed to be in good condition, re-install the drain screen and prepare the vessel to be reloaded.

그림 5 Licensor Manual

### ③ 가연성 증기(연소 분위기) 형성과정 추정

- Clay Filter는 분말형태의 충전물 필터로 주 구성 성분은 알루미늄 실리케이트이며, 등유 정제 시 흡수된 유분의 증기화가 용이한 구조이다. 즉, 작은 알갱이로 구성된 Clay Filter에 흡수된 유분은 비표면적이 커지고 표면장력이 감소되어 증발량이 증가하는 곡률효과에 따라 연소범위 내의 인화성 가스 농도를 형성하였을 것으로 추정된다.



사진 2 사용전 Clay(좌), 용기 내 충전된 Clay(우)

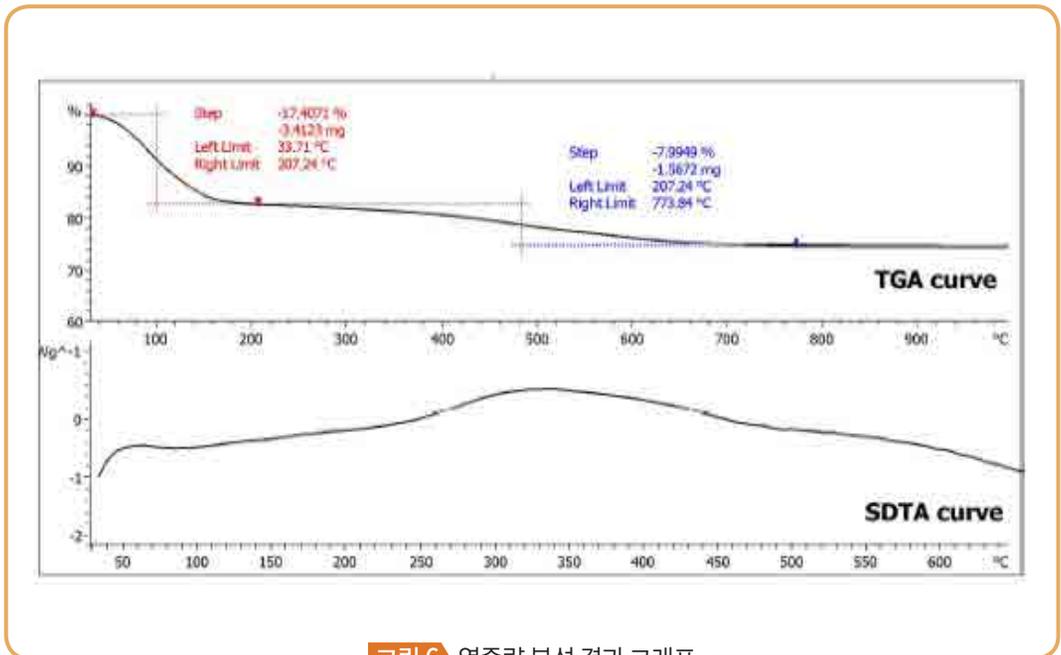
## III. 사고분석

## ○ Clay 충전물에 함유된 등유 농도 측정 결과

» 사고 현장에서 수거한 폐Clay에 대해 산업안전보건연구원에 등유 함량분석을 의뢰한 결과 [표 3] 및 [그림 6]과 같았다.

시험 항목	온도범위 (°C)	질량변화율 (wt%)	비고
열중량분석 (TGA, AIR)	34 ~ 207	17	증발
	207 ~ 774	8	분해

**표 3** Clay 내 등유 열중량 분석 결과



**그림 6** 열중량 분석 결과 그래프

※ 열중량 분석 결과 Clay Filter 충전물 내 17 ~ 25 wt%의 휘발성 물질(주성분: 등유)이 존재하였음을 확인함.

- 작업 전 실시하는 인화성 가스 측정방법에 대한 적정성 확인 결과, 사업장에서 사용하는 복합5종 가스측정기는 취급물질인 등유에 적용성이 없어, 해당 작업에 대한 가스측정기로는 적합하지 않은 것으로 판단된다.
  - » 휴대용 복합5종 가스측정기의 LEL센서는 메탄을 표준가스로 하여 인화성가스를 감지하고 폭발 하한계(LEL) 20 %에서 경보를 하도록 설정된 측정기이지만, 모델명 GasAlertMicro5의 ‘센서 (4p90c) 데이터 시트(좌)’에는 높은 탄화수소 등에 적합하지 않음과, 제조사 하니웰에서 제공한 ‘Correction factors 가이드라인 문서(우)’에는 Kerosene처럼 Heavy한 물질에서는 감도가 낮다고 명시되어 있다. 실제 작업 전 용기 내부 인화성가스 측정결과 측정값이 매번 “0”으로 표시되었다.

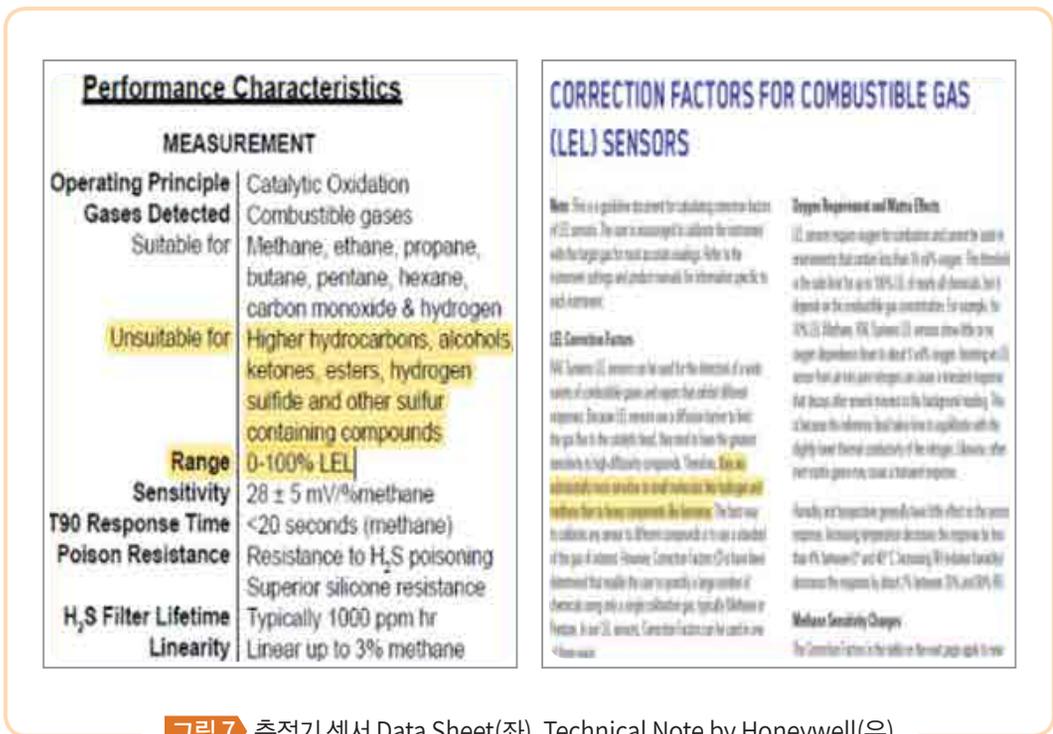


그림 7 측정기 센서 Data Sheet(좌), Technical Note by Honeywell(우)

※ 사업장에서 사용하는 복합5종 가스측정기의 LEL 센서는 Kerosene처럼 Heavy한 물질에서는 Light한 물질 대비 감도가 낮거나, 적용성이 없음을 알 수 있음.

## III. 사고분석

모델명	감지기 특성	센서(LEL등)	가스 적응성
GasAlertMicro5 - BW사 -	• 5종 복합 가스 측정 (H <sub>2</sub> S, CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , LEL)	• LEL센서: 4P-90C • 방식: 촉매연소식	• 표준가스: 메탄 • 메탄, 에탄, 프로판, 부탄, 펜탄, 헥산, 수소 등
MultiRAE - 하니웰 -	• 5종 복합 가스 측정 (H <sub>2</sub> S, CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , LEL)	• LEL센서: NDIR • 방식: 촉매연소식	• 표준가스: 메탄 • 메탄 ~ 펜탄 등의 가벼운 탄화수소 가스그룹
GX-2009 - RKI -	• 4종 복합 가스 측정 (H <sub>2</sub> S, CO, O <sub>2</sub> , LEL)	• LEL센서 • 방식: 촉매연소식	• 표준가스: 메탄
GX-6000 - RKI -	• 6종 복합 가스 측정 (H <sub>2</sub> S, CO, HCN, O <sub>2</sub> , VOC, LEL)	• LEL센서 • VOC: Benzene PID 센서(10.0 eV)	• LEL 표준가스: 이소부탄 (HC용), 메탄(CH <sub>4</sub> 용) • VOC: 0 ~ 100 ppm 벤젠 검출에 최적화됨.
ToxiRAE - 하니웰 -	• 휘발성 유기 화합물 (VOC) 측정	• PID 센서 • 방식: 광이온화	• 300여개 VOCs 측정 • 측정범위: 0 ~ 2,000 ppm

표 4 주요 휴대용 가스 감지기 모델 별 특징

## 4 점화원 존재 가능성

- 작업자 진술과 사고현장을 확인한 결과, Clay Filter 용기 상부 입조작업 시 내부에서 덩어리진 Clay를 작은 크기로 쪼개어 모으기 위해 사용된 것으로 추정된 쇠파이 용기 상부 플랫폼 작업대에서 발견되었으며, 재해자가 필터 내부에서 쇠파이를 사용하는 과정에서 충격·마찰에 의한 점화원이 발생하였을 가능성이 있다.
- 사고 당시 시간대의 기상정보를 확인해 보면 습도가 53 ~ 57 %로, Clay Filter 용기 내부에서의 작업 간 clay와 clay, clay와 호스, 작업복 등의 마찰에 의해 발생한 정전기가 점화원으로 작용하였을 가능성이 있다.

## 5 결론

- 사고 발생 형태, 사고 발생 조건, 사고 발생 물질 등을 검토한 결과, Filter 용기 내부에서 입조작업 도중 Clay에 흡수된 등유의 증기화로 연소범위 내의 인화성가스 농도가 형성되고, 순간적인 점화원에 의해 화재가 발생된 것으로 추정된다.

03

시스템적 사고분석

- 1 사고 원인 모델과 분석과정(STAMP, Systems - Theoretic Accident Model and Process)
  - 이런 사고는 시스템운영(System Operating) 측면에서 대다수 문제점이 발견되었고, STAMP 모델을 이용한 화학공장 정비·보수작업 시스템에서 해당 문제 부분을 발췌하여 아래 그림으로 나타내었다.

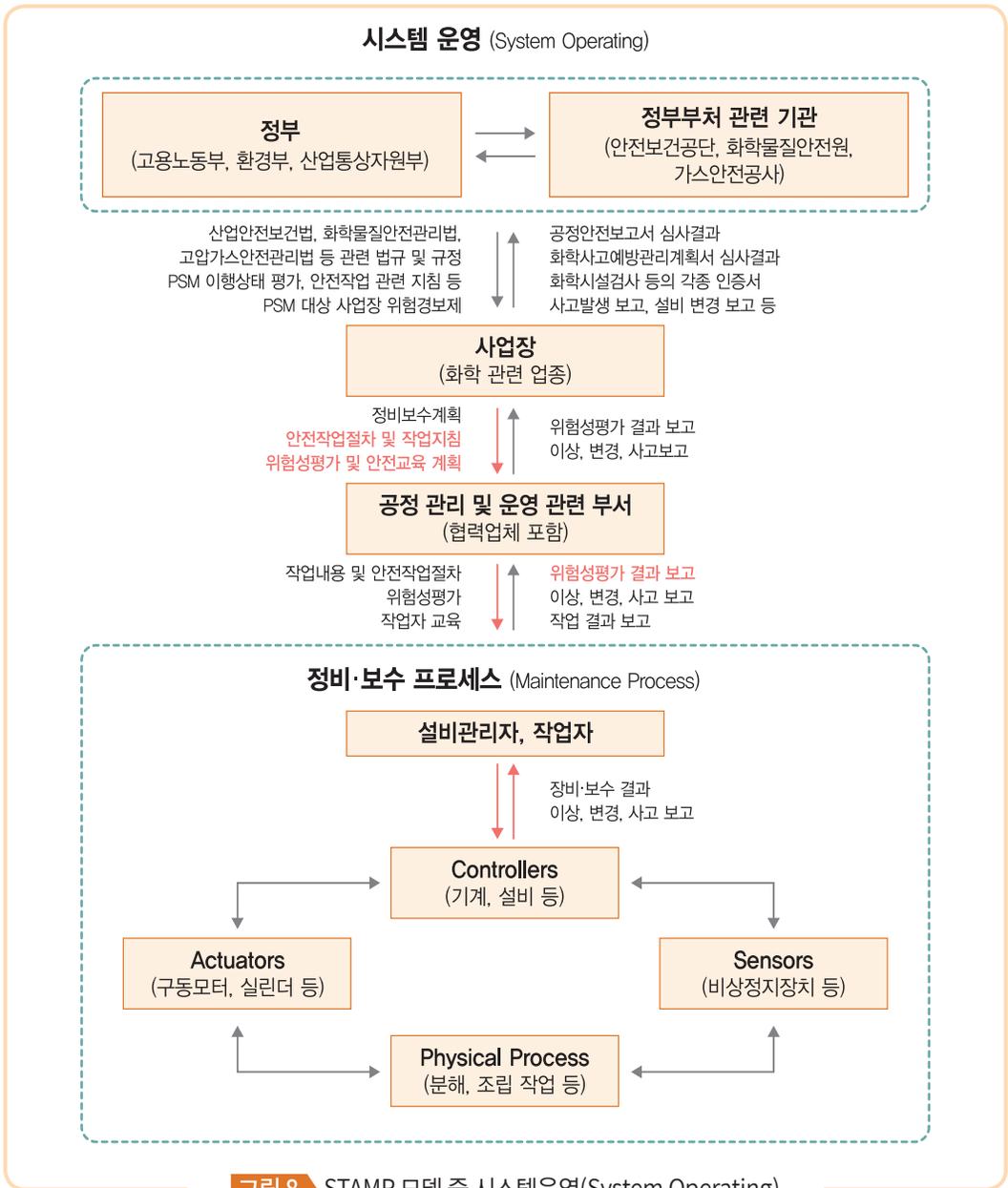


그림 8 STAMP 모델 중 시스템운영(System Operating)

### III. 사고분석

#### ② 근본원인분석(RCA, Root Cause Analysis)

- 사고원인조사를 실시함에 있어 사고 상황을 체계적으로 분석하여 근본적인 사고 원인을 규명하고 개선할 수 있도록 사고원인 흐름도를 작성하였고, 아래 표와 같이 나타내었다.

단계	사고원인 1	사고원인 2	사고원인 3
1. 결함내용 분류	작업결함	작업결함	운전결함
2. 관련 조직	시설부서	정비부서	생산부서
3. 결함 종류	예방보존	정비계획	유지관리
4. 결함 대분류	관리체계	작업허가, 작업감독	작업절차서, 위험성평가
5. 결함 중분류	교체주기 적정성	작업허가오류, 작업감독 부적절	불완전/틀린 절차서
6. 결함 소분류	<ul style="list-style-type: none"> <li>필터 교체주기 적정성 검토 불충분</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>작업방법 변경에 따른 작업허가서 미발행</li> <li>취급물질(등유)에 적용성이 있는 가스감지기 미사용</li> <li>작업시 사용하는 작업 공구 부적절</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>퍼지완료 확인절차가 명확하지 않고, 해당 퍼지 작업방법이 가연성 물질(등유)의 제거에 충분한지 미검토됨.</li> </ul>

※ STAMP 모델과 RCA 기법을 통해 분석한 사고 발생에 대한 직·간접 원인 등을 종합하면 Clay Filter 교체 주기의 적정성 검토 불충분, 작업방법 변경에 따른 작업허가서 미발행, 작업시 사용하는 작업공구 부적절, 유증기 퍼지완료 확인절차 불명확, 질소퍼지만으로 필터 내 잔존하는 등유 제거가 충분한지에 대한 미검토 등으로 인하여 사고가 발생한 것으로 도출되었음.



## IV 사고발생 원인

### 원인 01

#### Clay Filter 교체주기 및 퍼지 작업방법 부적절

- Clay Filter 차압이 1.5 kg/cm<sup>2</sup> 까지 상승한 이후에 Clay 교체작업을 시작하여, 용기 내부에 Clay의 고착화가 가속되었을 수도 있다.
- 내용물(등유) 드레인 후 질소 퍼지완료 확인절차가 명확하지 않고, 라이선스 매뉴얼의 스팀 퍼지 절차가 사업장의 업무절차서에 포함되어 있지 않아 등유의 제거가 안전한 상태까지 이루어지지 못했을 가능성이 있다.

### 원인 02

#### 인화성가스 측정방법(측정기) 부적절

- 취급물질 특성에 적합한 가스감지기를 사용하여야 하나, 사업장에서 사용한 복합5종 가스측정기는 등유에 감도가 낮아, 작업공간의 폭발(연소) 분위기를 감지하지 못했을 것으로 추정된다.

### 원인 03

#### 작업시 사용하는 작업공구 부적절

- 위험물이 있어 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소 또는 그 상부에서 불꽃이나 아크, 정전기 등을 발생시키는 기구 및 공구 사용을 금지하여야 하나, 입조 작업 시 내부에서 충격·마찰 등으로 불꽃을 발생시킬 수 있는 쇠파 등 사용하였다.

### 원인 04

#### 작업방법 변경에 따른 위험성 확인 미비

- 정기적인 Clay Filter 교체작업은 개방된 측면맨홀에 진공 흡입차를 사용하여 제거하는 방법으로 진행되었으나, 용기 내부에 Clay가 고착되어 측면맨홀을 통한 폐Clay 제거 작업이 수월하지 못하여 상부입조를 통한 작업으로 변경이 되었으나, 작업변경에 따른 작업허가서 재발행(밀폐공간 출입 보충작업 허가 등)이나, 작업 위험성평가를 미 실시하였다.

## V 동종사고 예방대책



### 대책 01

#### Clay Filter 교체주기 준수 및 스팀퍼지 작업 추가

- 용기 내부에 Clay가 고착되지 않도록 Clay Filter 차압 관리기준에 따른 교체주기를 준수하고, 정상작업 절차를 준수하는게 중요하다.
- 충분한 ‘내용물 Drain 및 Purge 작업’을 수행하기 위해 업무 절차서에 스팀 퍼지 절차 추가 및 퍼지 완료를 확인할 수 있는 적합한 방법(열중량 시료분석 등)을 추가하여 충전물 내부에 체류되어 있는 등유의 농도를 확인하는 절차가 필요하다.

### 대책 02

#### 취급물질에 적용성이 있는 가스감지기 사용

- 취급물질(등유)의 폭발하한계(LEL) 25 %인 0.15 %(1,500 ppm) 이하를 지시하고 경보할 수 있는 등유에 적용성이 있는 가스감지기를 사용하여 입조작업 전 용기 내부 가스농도 측정위치 및 측정 시기를 명확화하고, 내부 작업 중에도 가스농도 측정 및 연속 환기를 통해 작업공간의 폭발(연소) 분위기를 제거 상태를 확인하고 사전 조치하여야 한다.

### 대책 03

#### 점화원 관리

- 위험물이 있어 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소 또는 그 상부에서 불꽃이나 아크 등을 발생시키는 기구 및 공구 사용을 금지하여야 하고, 베릴륨동, 목재 등 Non-Sparking 재질의 공구를 사용하여야 함. 또한, 정전기 발생을 방지하기 위해 플렉시블 호스는 알루미늄 등의 재질 확인 및 작업자의 제전복 착용 등을 확인하여야 한다.

### 대책 04

#### 작업방법 변경 시 위험성 확인

- 용기 상부를 통한 내부 입조작업을 원칙적으로 금지하고, 부득이하게 변경 사유가 발생하였을 경우 작업변경에 따른 위험성평가를 철저히 실시하고, 작업허가서 재발행으로 사전 위험성 검토 및 안전성 확인 작업이 이루어져야 한다.



## Ⅵ 사고로부터 얻은 교훈

「Clay Filter 용기 내부 화재사고」로부터 얻은 교훈은 다음과 같다.

### 교훈 01

#### 불충분한 퍼지작업은 사고의 원인이다!

- 이번 사고는 내용물(등유) 드레인 후 질소 퍼지절차가 가연성물질(유증기)을 충분하게 제거하지 못하여 폭발(연소)분위기를 형성할 수 있다는 위험성에 대하여 제대로 인지하지 못한데서 비롯되었다.
- 사업주는 기본적으로 공정에서 제조, 취급, 저장하는 모든 유해·위험물질 및 정비 중에 발생할 수 있는 유해·위험한 부산물의 위험성을 파악하고 있어야 한다.
- 충분한 ‘내용물 Drain 및 Purge 작업’을 수행하기 위해 업무 절차서에 스팀 퍼지 절차 추가 및 퍼지 완료를 확인할 수 있는 적합한 방법(열중량 시료분석 등)을 추가하여 충전물 내부에 체류되어 있는 유증기의 폭발(연소)분위기 형성을 제거하는 것이다.

### 교훈 02

#### 용기 내 위험물질 미인지는 사고의 원인이다!

- 이번 사고는 취급물질 특성에 적합한 가스감지기를 사용해야 한다는 것을 제대로 인지하지 못한 데서 비롯되었다.
- 취급물질(등유)의 폭발하한계(LEL) 25 % 이하를 지시하고 경보할 수 있는 등유에 적용성이 있는 가스감지기를 사용하여 농도를 확인하고, 입조작업 전 용기 내부 가스농도 측정위치 및 측정시기를 명확화하는 것이 필요하다.
- 위험물이 있어 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소 또는 그 상부에서는 불꽃이나 아크 등을 발생시키는 기구 및 공구 사용을 금지하여야 한다.

## IV. 사고로부터 얻은 교훈

교훈  
03

## 법은 최소한의 요구 사항이고 위험성평가는 필수이다!

- 「산업안전보건법」과 관련 시행령, 시행규칙 및 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 요구하는 안전보건 수칙은 작업자의 안전보건을 지키기 위한 최소한의 요건임을 인지하고 법에서 요구하는 안전수칙은 필히 준수하여야 한다.
- 또한 법에서 요구하는 최소한의 안전보건 조치를 한 후 사업주는 정기적으로 사업장에서 발생 가능한 모든 위험성에 대하여 평가하여야 한다.
- 위험성평가는 정상적인 공정 가동 중에 발생 가능한 공정 위험성평가와, 일상 작업과 정기보수 작업 등 모든 작업에 대한 위험성을 도출해내는 작업 위험성평가로 구분할 수 있다.
- 특히 작업 위험성평가의 경우 작업 내용에 치중해 물질의 위험성에 대해서는 소홀히 하는 경우가 있을 수 있으므로 다양한 관점에서 위험성을 검토하여야 한다.

## VII 유사 사고사례



### 01

#### 용기 충전물 교체작업 중 화재 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2007년 11월
사고장소	전남 소재 화학공장
피해내용	1명 사망
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>큐멘공장 벤젠의 불순물을 제거하는 용기 내부의 충전물 교체작업 중 충전물 하부 맨홀에서 천으로 제작된 호스를 통해 3 m 이하의 프레콘백으로 중력에 의해 이송하던 중 정전기에 의해 프레콘백에서 화재가 발생함</li> </ul>

### 02

#### 용기 충전물 교체작업 중 폐촉매에 의한 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2020년 2월
사고장소	전남 소재 화학공장
피해내용	1명 사망
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>BPA공장 반응기 내부의 충전물을 교체하기 위해 작업자가 입조하여 내부의 폐촉매를 제거하는 도중 경사면에서 흘러내려온 폐촉매에 가슴까지 매몰된 후, 폐촉매에 함유된 페놀에 의해 피부흡수 급성중독 등의 사유로 사망한 것으로 추정됨</li> </ul>



## VIII 참고자료

01

산업안전보건법, 고용노동부; 2021

02

산업안전보건용어사전, 한국산업안전보건공단; 2006

03

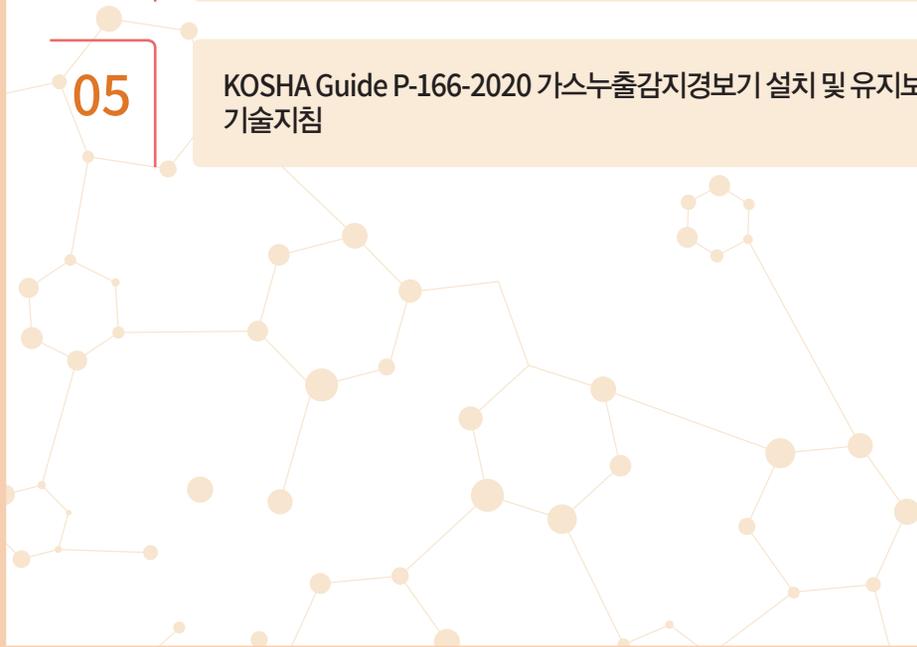
중대산업사고 조사의견서, 한국산업안전보건공단; 2010~2020

04

KOSHA Guide P-151-2016 사고의 근본원인 분석기법에 관한 기술지침

05

KOSHA Guide P-166-2020 가스누출감지경보기 설치 및 유지보수에 관한 기술지침





# 용기 충전물 교체작업 중 화재 사고

용기 충전물 교체작업 중 화재 사고사례 (2021. 1.)



※ 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 1월 ○○○사업장 등유 정제 공정의 Clay Filter 용기(직경 : 3.7 m, 높이 : 7.5 m) 내부에서 진공 흡입차를 사용한 폐Clay 제거 입조작업 중 화재가 발생하여 작업자2명이 화상을 입은 사고임.

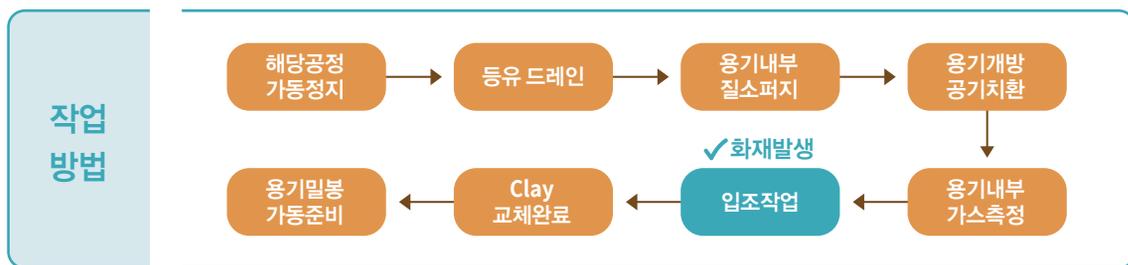


▶ 화재가 발생한 Clay Filter(용기) 전경(좌), 상부 맨홀(우)



## 사고발생과정 및 물질

- 등유에 녹은 계면활성제(Surfactant), 금속화합물 등의 불순물을 제거하는 Clay Filter 용기 내부의 폐Clay를 제거하기 위한 입조작업 도중 화재가 발생함.



## • 사고발생물질

물질명	연소범위 (%)	인화점 (°C)	발화온도 (°C)	증기압 (mmHg)	증기밀도 (공기=1)
등유	0.6 ~ 4.5	35 ~ 44	246	5.0 (@ 38 °C) 1.7 (@ 20 °C)	4.5

# 용기 충전물 교체작업 중 화재 사고

용기 충전물 교체작업 중 화재 사고사례 (2021. 1.)



## 사고발생원인



### ○ Clay Filter 교체주기 및 퍼지 작업방법 부적절

- 내용물(등유) 드레인 후 질소 퍼지완료 확인절차가 명확하지 않고, 라이선스 매뉴얼의 스팀 퍼지 절차가 사업장의 업무절차서에 포함되어 있지 않아, 등유의 제거가 안전한 상태까지 이루어지지 못했을 가능성이 있음.

### ○ 인화성가스 측정방법(측정기) 부적절

- 사업장에서 사용한 복합5종 가스측정기는 등유에 감도가 낮아, 작업공간의 폭발(연소) 분위기를 감지하지 못했을 것으로 추정됨.

### ○ 작업시 사용하는 작업공구 부적절

- 입조 작업 시 내부에서 충격·마찰 등으로 불꽃을 발생시킬 수 있는 쇠파 등 사용하였음.



## 동종사고 예방대책



### ○ Clay Filter 교체주기 준수 및 스팀퍼지 작업 추가

- Clay Filter 차압 관리기준에 따른 교체주기를 준수하고, 업무 절차서에 스팀 퍼지 절차 및 퍼지 완료를 확인할 수 있는 적합한 방법(열중량 시료분석 등)을 추가하여 충전물 내부에 체류되어 있는 등유의 농도를 확인하는 절차가 필요함.

### ○ 취급물질에 적용성이 있는 가스감지기 사용

- 취급물질(등유)의 폭발하한계(LEL) 25% 이하를 지시하고 경보할 수 있는, 등유에 적용성이 있는 가스감지기를 사용하여 용기 내부의 가스농도 측정위치 및 측정시기를 명확화하여 작업공간의 폭발(연소) 분위기 제거상태를 확인하고 사전 조치하는 것이 중요함.

### ○ 점화원 관리

- 위험물이 있어 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소 또는 그 상부에서 불꽃이나 아크 등을 발생시키는 기구 및 공구 사용을 금지하여야 하고, 베릴륨동, 목재 등 Non-Sparking재질의 공구를 사용하여야 함. 또한, 정전기 발생을 방지하기 위해 플래시블 호스는 알루미늄 등의 재질 및 작업자의 제전복 착용 등을 확인 필요함.

### ○ 작업방법 변경 시 위험성 확인

- 용기 상부를 통한 내부 입조작업을 원칙적으로 금지하고, 부득이하게 변경 사유가 발생하였을 경우 작업변경에 따른 위험성평가를 철저히 실시하고, 작업허가서 재발행으로 사전 위험성 검토 및 안전성 확인 작업이 이루어져야 함.

## 작성

안영준 [안전보건공단 전남동부지사 화학사고예방센터(여수)]

박봉두 [안전보건공단 전남동부지사 화학사고예방센터(여수)]

## 검토

서찬석 [안전보건공단 중대산업사고예방실]

임지표 [안전보건공단 중대산업사고예방실 공정안전부]

강성광 [안전보건공단 중앙사고조사단]

윤영호 [안전보건공단 중앙사고조사단]

김상중 [안전보건공단 전북지역본부 화학사고예방센터(익산)]

구채철 [안전보건공단 경북지역본부 화학사고예방센터(구미)]

황성훈 [안전보건공단 대전세종광역본부 광역조사센터(대전)]

# 「Clay필터 용기내부 화재사고」 사례연구

2021-중대산업사고예방실-315

발행일	2021년 6월
발행인	한국산업안전보건공단 이사장 박두용
발행처	한국산업안전보건공단 중대산업사고예방실
주 소	울산광역시 중구 종가로 400
전 화	(052) 703-0500
홈페이지	<a href="http://www.kosha.or.kr">http://www.kosha.or.kr</a>

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함

4호

# 화학사고 사례연구

Clay(점토형태의 충전물) Filter  
용기 내부 화재사고

