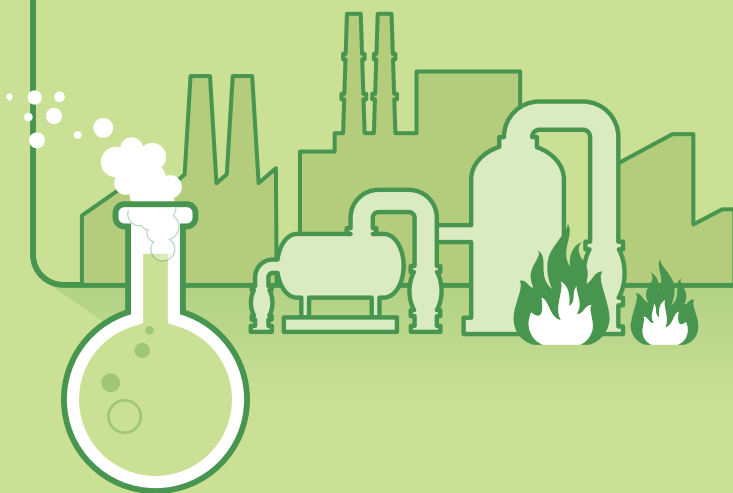


# 화학사고 사례연구

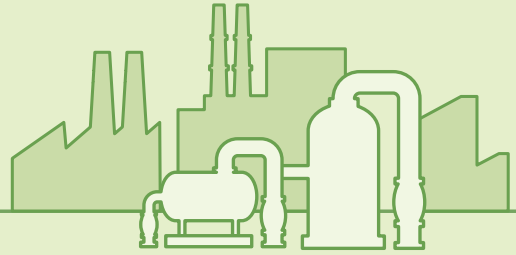
1  
호

의약품 원료 제조과정 중  
여과기(이동식 개방형) 화재사고



# CONTENTS





|                       |    |
|-----------------------|----|
| I. 사고개요 .....         | 05 |
| II. 사업장 현황 .....      | 06 |
| III. 사고분석 .....       | 09 |
| IV. 사고발생 원인 .....     | 16 |
| V. 동종사고 예방대책 .....    | 17 |
| VI. 사고로부터 얻은 교훈 ..... | 19 |
| VII. 유사 사고사례 .....    | 20 |
| VIII. 참고자료 .....      | 22 |



# 용/어/설/명



## 01 최소점화에너지(Minimum Ignition Energy)

- 인화성 가스 및 증기 등을 연소시킬 수 있는 최소한의 에너지를 말한다.

## 02 정전기(Static electricity)

- 물체 위에 정지하고 있는 전기를 말하며, 서로 다른 전위를 지닌 물체가 접촉하거나 분리하게 되면 그 경계면에 전하의 이동이 생겨서 발생한다.

## 03 정전기 대전(Static electrification)

- 서로 다른 물체의 접촉, 분리, 마찰 등으로 인해 전기를 띠는 현상을 말한다.

## 04 정전기 방전(Electrostatic discharge)

- 물체에 축적된 전하가 다른 물체와 접촉하는 순간 순식간에 빠져나가는 현상을 말한다.

## 05 스플래쉬 필링(Splash filling)

- 인화성액체를 용기에 채울 때 액체가 튀기는 현상이 발생할 수 있는 충전방식을 말한다. 여기에는 정전기 대전 원인 중 유동 대전과 분출대전이 포함된다.

# I 사고개요



2020년 3월 경기도 소재 ○○○사업장 제품(의약품 원료)과 용제(헵탄)를 여과막(PE)으로 거르는 여과과정 중 이동식 개방형 여과기에서 화재가 발생하였고, 여과기 옆에서 작업 중인 근로자의 장갑에 불이 붙으면서 왼쪽 손에 2도 화상을 입은 사고이다.



사진 1 화재발생 여과기(좌) 및 여과막(우)

## 01

### 인명피해

- 부상 1명(2도 화상)

## 02

### 물적피해

- 여과기 내부의 여과막 일부 손상

## Ⅱ 사업장 현황



○○○사업장은 전문의약품 및 의약품원료 생산공장을 가동 중이다.

### 01

#### 의약품원료 생산공장

- 의약품 원료 생산을 위해 인화성 액체인 헵탄을 취급하고, 공장동 내에 반응기, 여과기, 건조기, 분쇄기 등을 보유하고 있다.
- 사고가 발생한 여과공정은 제품(의약품 원료)과 인화성 액체(헵탄)를 여과막(PE 재질)으로 분리하는 공정이다.



## II. 사업장 현황

### 02

#### 사고 발생 공정(여과 공정)

##### ① 여과 공정 계통도



그림 2 여과공정 계통도

##### ② 여과 공정 설명

- 반응기에 헵탄을 투입하여 일정 시간 교반하면 제품과 헵탄이 반응기 내에 현탁된 상태로 존재하게 되며, 이 반응물을 여과기를 이용하여 여과하는 공정이다.
- 반응기 하부의 밸브를 열어 중력으로 반응물을 여과기로 이송하게 되며, 여과기의 여과막을 통해 제품과 헵탄이 분리된다.

## 03

## 사고 발생 물질

## ① n-헵탄(Cas No. 142-82-5)

| 물질명  | 인화범위<br>(공기 중)(%) | 인화점<br>(°C) | 증기압<br>(mmHg)   | 증기밀도<br>(공기 = 1) | 최소 점화<br>에너지(mJ) | 전기전도도<br>(pS/m)    |
|------|-------------------|-------------|-----------------|------------------|------------------|--------------------|
| n-헵탄 | 1 ~ 7 vol         | -4          | 40<br>(@ 20 °C) | 3.45             | 0.24             | $3 \times 10^{-2}$ |

## 경고표지 그림문자



인화성 액체

특정표적장기 독성  
(마취 작용, 호흡기계 자극)만성 수생환경  
유해성심한 눈 손상성/  
눈 자극성

» 열, 스파크, 화염 및 기타 점화원을 피할 것.

## 04

## 사고 발생설비

## ① 여과기

| 명칭  | 명세(mm)                                          | 압력(MPa) |     | 온도(°C) |    | 재질     |             |
|-----|-------------------------------------------------|---------|-----|--------|----|--------|-------------|
|     |                                                 | 운전      | 설계  | 운전     | 설계 | 본체     | 부속품         |
| 여과기 | 크 기: 0.3 m <sup>3</sup><br>직 경: 700<br>높 이: 820 | ATM     | F.L | Amb.   | 40 | STS316 | PE<br>(여과막) |

표 1 사고발생 여과기 주요사양

## ② 유연성 호스

| 명칭     | 명세(mm)                | 압력(MPa) |     | 재질         |      |
|--------|-----------------------|---------|-----|------------|------|
|        |                       | 운전      | 설계  | Inner wire | Tube |
| 유연성 호스 | 내 경: 50<br>길 이: 2.2 m | ATM     | 0.3 | 특수강선       | PVC  |

표 2 사고발생 유연성 호스 주요사양

## Ⅲ 사고분석



### 01

#### 사고 발생 과정

##### ① 작업 상황

| 일시                    | 작업 현황                                                                                                                                                        |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2020년 3월 ○○일<br>10:20 | <ul style="list-style-type: none"> <li>제품 정제 및 결정화를 위해 원료(반제품)를 반응기에 투입</li> </ul>                                                                           |
| 11:10                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>증류를 위해 반응기 내부 진공 형성</li> </ul>                                                                                        |
| 3월 ◇◇일<br>10:30       | <ul style="list-style-type: none"> <li>진공 해지 후, 벤트 밸브 개방</li> </ul>                                                                                          |
| 10:40                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>냉각 후 헵탄 투입</li> </ul>                                                                                                 |
| 11:10                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>반응물 교반 실시</li> <li>교반 중 여과 작업을 위한 여과기 준비</li> </ul>                                                                   |
| 14:20                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>반응물을 여과기에 이송하여 여과를 시작</li> </ul>                                                                                      |
| 15:10                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>반응물을 여과기에 나눠 받기 위해 반응기 하부 밸브 차단</li> <li>유연성 호스(Flexible Hose) 내 잔류물을 여과기로 이송 중 여과기 내부에서 화재 발생 (근로자 1명 부상)</li> </ul> |
| 15:12                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>화재 진압(소화기 사용)</li> </ul>                                                                                              |

## 02

## 사고 원인 분석

## ① 유연성 호스의 대전 가능성

- 반응기에서 여과기로 연결되는 유연성 호스가 반응기 또는 여과기와 등전위 본딩이 되지 않은 (절연) 상태에서 사용하여 정전기가 대전된 상태였을 것으로 추정된다.



사진 2 물질 이송에 사용한 유연성 호스 양 끝단 저항( $\infty$ )

## ② 헵탄 액체 대전

- (유동 대전) 사업장에서 사용한 이송용 유연성 호스의 양쪽 끝단은 도전성 재질이며 중간 이송 호스는 플라스틱 재질에 도전성 재질의 강선이 감긴 형태를 갖고는 있으나, 강선이 호스 말단의 도전성 재질 및 그 외 접지계통과 전기적 연속성이 끊겨 있어, 정전기가 해소될 통로가 마련되지 못한 상태에서 헵탄 이송 시 발생하는 유동 대전으로 인해 배관 등이 대전되어 정전기가 발생되었을 것으로 추정된다.
- (마찰/분출/충돌 대전) 헵탄이 유연성 호스를 통해 여과기로 분출될 때 물질과 분출구의 마찰 및 분출되는 물질의 구성입자 간의 충돌에 의해 전하가 축적되어 정전기가 방전되었을 것으로 추정된다.

### III. 사고분석

#### ③ 산소 및 가연물(인화성 액체)에 의한 폭발위험 분위기 형성

- 사고 당시 반응기 내에 현탁된 상태로 존재하는 대부분의 제품과 헵탄이 개방된 여과기로 이송된 상태였으며, 여과막 상부에는 건조되지 않은 많은 양의 제품 결정이 적층되어 있었으므로, 다량의 헵탄 유증기와 산소가 상시 접촉할 수 있는 상태(폭발위험 분위기)이었을 것으로 추정된다.

#### ④ 결론

##### 4-1) 정전기 방전

- (전기적으로 고립된 인체(또는 물체)와 접지체의 전위차에 의한 방전) 등전위 접지(본딩)가 설치되지 않아 전기적으로 고립된 작업자(또는 유연성 호스)와 접지된 상태의 여과기 사이에서 방전될 가능성이 있다.
- (전기적으로 고립된 물체 상호간의 정전기 대전 전위차에 의한 방전) 등전위 접지(본딩) 시설이 설치되지 않아 전기적으로 고립된 작업자와 유연성 호스와의 사이에서 방전될 가능성이 있다.

#### 정전기 방전에 의한 화재의 발생 현상

- ① 정전기가 발생한다.
- ② 그 정전기를 대전한 물체(대전물체)가 존재하고 그 내부에 분극이 발생한다.
- ③ 다른 극간의 대전물체와 접지도체 사이에서 방전 스파크가 발생한다.
- ④ 방전 스파크의 발생점에서 방전 스파크의 에너지보다 작은 최소점화에너지를 갖는 인화 한계농도의 인화성 물질(증기, 분체 등)이 존재하면 인화한다.

#### 4-2) 정전기 방전에 의한 착화

- 발생된 정전기의 전위가 공기의 절연을 파괴할 수 있는 전압(약 30 kV/cm)이상으로 상승하거나 대전물이 접지된 도체와 수 mm 이내로 접근함으로 인해 정전기 방전이 발생하고 이때 발생한 에너지에 의해 공기와 혼합되어 인화성 분위기가 형성된 헵탄 유증기가 점화되었을 것으로 추정된다.

» 헵탄의 최소 점화에너지는 0.24 mJ 이므로,  $\frac{1}{2}CV^2$ 식에 의해 인체(100 ~ 200 pF)를 기준으로 검토시 약 1.5 ~ 2.2 kV의 전압이 필요하며 이 정도의 에너지는 사람이 걷는 수준의 마찰에너지 또는 유기물이 이송되는 배관의 접속부 등에서 충분히 생성될 수 있는 전압 수준이므로 최소 점화에너지를 발생시키기에 충분한 정전압이 작업 중에 발생되었을 것으로 추정됨.

» 재해 발생 장소는 공장동 내부(여과/탈수실2)이므로 계절적 요인과 상관없이 공조설비를 통해 온도를 일정하게 유지하고 있으며, 재해 발생 당일 작업장 온도 22 ℃, 습도 31 %로 정전기가 쉽게 발생할 수 있었음.

#### ※ 정전기 발생 원리

① 물체 내부에는 (+)또는 (-)전하가 존재하지만 그 양이 서로 같아 전기적으로 중성상태를 유지하고 있다.

② 두 물체 A,B가 접촉할 때 물체 A는 (+)이온을 물체 B는 (-)이온을 흡착하기 쉽다고 가정 하면 물체 A는 더 많은 (+)이온을 흡착하고 물체 B는 더 많은 (-)이온을 흡착하기 때문에 접촉면을 통하여 전하의 재분배가 행하여지고 그결과 전기의 이중층이 형성된다.

③ 두 물체가 분리되어지면서 정전용량이 감소하면 접촉전위는 상승하게 되어 두 물체가 완전히 분리될 때 까지는 전도에 의해 발생된 전하의 역류현상이 일어나며 한쪽의 소재는 전자를 얻어 (-)로 대전되고 한쪽의 소재는 전자를 잃고 (+)로 대전된다.

④ 분리된 물체중의 발생 전하는 누설과 재결합의 과정을 거쳐 소멸된다.

### III. 사고분석

※ 인체 축적에너지

| 항 목              | Case 1                  | Case 2      | Case 3                  | Case 4                  | Case 5      | Case 6      |
|------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| 바닥               | 폴리우레탄<br>바닥+<br>도전성 접지판 | 폴리우레탄<br>바닥 | 폴리우레탄<br>바닥+<br>도전성 접지판 | 폴리우레탄<br>바닥+<br>도전성 접지판 | 폴리우레탄<br>바닥 | 폴리우레탄<br>바닥 |
| 신발               | 제전화                     | 제전화         | 제전화                     | 슬리퍼                     | 슬리퍼         | 슬리퍼         |
| 작업               | 제전복                     | 제전복         | PP재질<br>작업복             | PP재질<br>작업복             | PP재질<br>작업복 | 제전복         |
| 대전전위(V)          | 70                      | 420         | 940                     | 6,100                   | 7,420       | 7,970       |
| 인체<br>정전용량(pF)   | 120                     | 98          | 120                     | 64                      | 60          | 60          |
| 인체 축적<br>에너지(mJ) | 2.9E-04                 | 8.6E-03     | 0.1                     | 1.2                     | 1.7         | 1.9         |

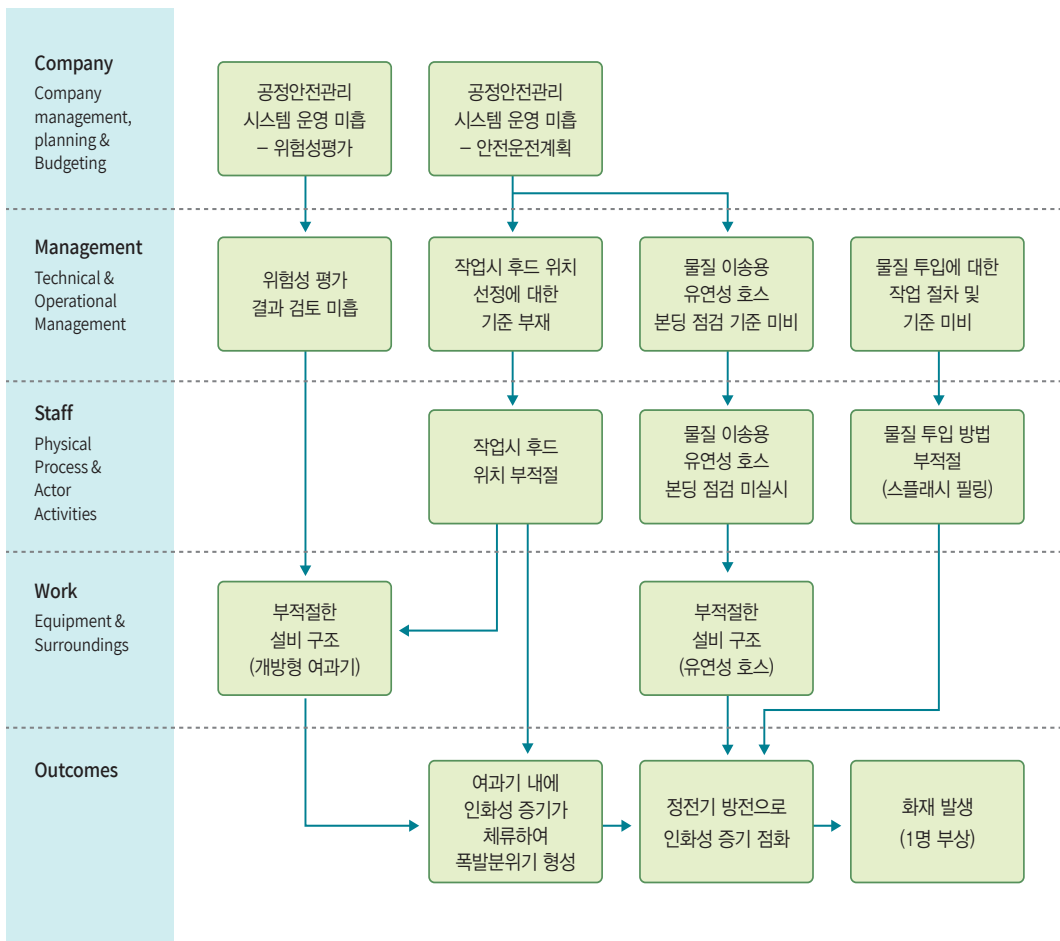
※ 인용 : Evaluation and Prevention of Electrostatic Hazards in Chemical Plants  
(SUMITOMO KAGAKU 2004- II)

## 03

## 시스템적 사고분석

### 1 사고지도(Accimap) 모델

- 사고지도(Accimap) 모델은 “Jens Rasmussen”이 1997년에 발표한 사고분석 모델로 복잡한 사회-기술적 시스템을 개인과 조직 및 관계자의 계층적 구조로 구성되어 있다고 보고 있다.
- 사고지도(Accimap)에서 제시하고 있는 계층 구조는 정부(Government), 규제자/협회(Regulators, Associations), 회사(Company), 관리자(Management), 직원(Staff), 작업(Work)으로 이루어져 있으나, 이번 사고 근본 원인 분석에서는 간략한 사고지도(Accimap)을 적용하여 회사, 관리자, 직원, 작업 간의 구조에 대해서 분석해보았다.



### III. 사고분석

- 분석을 통해 도출된 권고사항은 다음과 같다.
  - » 설비 구조 개선 (밀폐형 여과기 및 고정형 배관 등)
  - » 구체적이고 명확한 작업절차 수립 (물질 투입 방법, 절차 등)
  - » 위험성 평가를 통해 설비 개선 및 안전대책을 마련할 수 있도록 시스템 운영
  - » 공정안전관리 시스템의 내재화 및 실질적인 운영

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

- 사고 발생에 대한 직·간접 원인 등을 종합하면 여과 작업에 대한 위험성 파악 미흡, 설비 점검 정비 누락, 정전기가 축적될 수 있는 작업 방법(절차서) 등으로 인하여 사고가 발생한 것으로 추정된다.

| 단계         | 사고원인 1                                                                                                                   | 사고원인 2                                                                                                                                                                        | 사고원인 3                                                                                                                                                                                      |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 결함내용 분류 | 설비결함                                                                                                                     | 운전결함                                                                                                                                                                          | 운전결함                                                                                                                                                                                        |
| 2. 관련 조직   | 설계부서                                                                                                                     | 정비부서                                                                                                                                                                          | 생산부서                                                                                                                                                                                        |
| 3. 결함 종류   | 원료투입설비                                                                                                                   | 정비                                                                                                                                                                            | 운전                                                                                                                                                                                          |
| 4. 결함 대분류  | 설계                                                                                                                       | 정비계획                                                                                                                                                                          | 안전운전절차                                                                                                                                                                                      |
| 5. 결함 중분류  | 부적절한 설비의 구조                                                                                                              | 설비 점검, 정비 대상 누락                                                                                                                                                               | 불완전한 절차서                                                                                                                                                                                    |
| 6. 결함 소분류  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 인화성 물질이 투입되는 여과기의 구조를 대기 개방 형태가 되도록 설계하여 인화성 물질의 유증기가 공기와 폭발분위기를 형성함</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 인화성물질을 취급하는 유연성 호스의 접지설비의 건전성을 주기적으로 확인 하여 배관의 대전을 방지 하여야 하나, 접지가 되어 있지 않는 상태의 배관을 사용하여 유동 대전, 분출 대전 등에 의한 정전기 (점화원)가 발생됨</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 인화성 물질을 대기에 개방된 상태에서 스플래시 필링 형태로 여과기에 주입 하도록 운전절차를 수립 하여 다량의 인화성 미스트, 가스 등이 발생됨</li> <li>• 또한, 스플래시 필링은 충돌대전, 비말대전 등에 의한 정전기(점화원)를 발생시킴</li> </ul> |



## IV 사고발생 원인

### 원인 01

#### 개방형 여과기 사용으로 인한 폭발분위기 상시 형성

- 인화성 물질을 취급할 때 다량의 인화성 미스트, 증기 등이 발생될 우려가 있는 경우 공기와 접촉하지 못하도록 불활성화 조치가 되어있는 밀폐된 형태의 용기를 사용하여 폭발분위기 발생을 억제하여야 하나 불활성화 조치가 되지 않는 개방형 여과기를 사용하여 화재 사고가 발생하였다.

### 원인 02

#### 인화성 미스트 및 증기 배출 미흡

- 여과기에 인화성 액체를 투입하는 경우 발생하는 인화성 미스트, 증기 등이 작업장으로 확산되지 않도록 환기장치를 통해 적정하게 배기 처리시설로 배출하여야 하나, 후드를 발생원이 아닌 작업장 중간에 위치시켜 인화성 미스트, 증기 등을 제대로 배출하지 못하고 작업장 내로 확산되어 화재 사고가 발생하였다.

### 원인 03

#### 접지 및 등전위 본딩 미흡으로 인한 정전기 방전

- 인화성 액체 등을 취급할 때는 정전기에 의한 점화원 발생을 예방하기 위해 설비와 설비, 설비와 작업자 사이에 등전위 조치를 하고, 등전위 접지가 된 설비 등은 접지시설에 연결하여 정전기 발생을 억제하여야 하나, 유연성 호스 및 작업자들이 인화성 액체를 취급하는 설비와 전기적으로 고립된 상태로 작업하여 정전기 방전에 의해 사고가 발생하였다.
- 인화성 액체를 주입하는 경우 주입구가 액체에 잠길 때까지 인입속도를 1 m/s 이하로 유지하여 정전하가 축적되는 것을 예방하고 정지 시간을 두어 정전하가 해소될 수 있는 시간을 확보하여야 하나, 스플래시 필링 작업을 통해 유체가 흐르도록 하여 인화성 액체의 마찰·분출·충돌에 의해 대전된 정전기 방전에 의해 사고가 발생하였다.

## V 동종사고 예방대책



### 대책 01

#### 밀폐형 여과기 사용 및 불활성화 실시

- 여과기 내부의 인화성 증기가 작업장으로 누출되지 못하도록 덮개를 설치하고 인화성 액체를 취급하는 작업 중에는 여과기 내부를 최소산소농도(MOC) 이하로 질소 가스를 퍼지하여 불활성 분위기를 유지함으로써 산소의 유입을 방지할 수 있도록 설계하는 것이 필요하다.

### 대책 02

#### 정전기 방전 억제

- 둘 중 하나의 물체가 비전도체(또는 전하가 해소되기 어려운 구조) 성질을 갖고 있는 상태에서 유동대전, 분출대전, 비말대전, 충돌대전 등 다양한 요인으로 인해 발생하는 정전기는 두 물체의 접촉-대전-분리의 3 단계가 반복되는 과정에서 발생된다.
- 정전기 발생 조건이 형성되지 않도록 두 물체사이의 절연물의 절연강도를 파괴할 수 없을 정도의 낮은 전압 상태를 유지한다. 이를 위해 두 물체 모두 접지를 하여 대전 상태가 되지 않도록 유지하고 두 물체 간 등전위 접지를 실시하여 전위차를 해소하는 것이 중요하다.
- 인화성 액체의 이송에 사용하는 호스는 유체의 흐름에 의해 발생하는 정전기를 해소하기 위해 도전성 물질로 차폐하거나 배관의 양끝을 설비 또는 접지선을 통해 접지하여 배관에 전하가 축적 되지 않도록 조치하는 것이 필요하다.
- PVC 재질의 유연성 호스는 충분한 강도를 갖는 금속관으로 교체하여 사용하는 것이 적극 권장 된다.
- 인체 대전을 해소하기 위해서는 제전복, 제전화를 착용하는 것에서 끝나지 않고 인체에 축적된 전하가 안전하게 해소될 수 있도록 대지 또는 접지된 설비와 접지 또는 본딩 되도록 조치하는 것이 필요하다.

대책  
03

### 인화성 증기 발생 억제

- 주입 과정 중 발생된 인화성 액체의 증기 농도가 인화하한계를 형성하기 전에 불활성 가스인 질소와 혼합되어 폭발분위기를 벗어난 상태에서 배출되도록 배출 배관과 위험물처리시설을 갖추는 것이 필요하다. (상부 주입방식일 경우 스플래시 필링이 되지 않도록 침액파이프(Dip Pipe)를 사용하여 액체의 튀는 현상을 최소화하는 것이 일반적이나, 필터에 제품 결정을 쌓아야 하는 공정 특성상 침액파이프로 개선하기는 어려울 것으로 사료됨)

대책  
04

### 유연성 호스 및 작업대 등 접지성능 유지 지속관리

- 인화성 액체를 취급하는 공정에서 사용하는 유연성 호스임에도 호스 양끝단간 접지 상태 유지 여부를 점검하고 있지 않아 호스에 정전기가 대전된 상태로 사용하여 정전기 화재가 발생하였다. 따라서, 유연성 호스를 설비 유지보수 관리 대상에 포함하여 호스의 접지 성능 유지 여부를 지속 관리하는 것이 필요하다.
- 근본적으로는 접지된 고정형 배관을 사용함으로써 전기적 연속성을 항상 유지하는 것이 적극 권장된다.



## VI 사고로부터 얻은 교훈

「의약품 원료 제조 공정 중 여과기(이동식 개방형) 화재사고」로부터 얻은 교훈은 다음과 같다.

### 교훈 01

#### 부적절한 설비의 구조는 사고의 원인이다!

- 대기에 개방된 형태로 인화성 액체를 취급하여 인화성 증기와 공기의 혼합으로 인해 화재·폭발 분위기가 쉽게 형성될 수 있는 여과기의 구조가 사고의 근본 원인 중 하나이다.
- 인화성 액체 취급설비는 설비 내부의 인화성 증기가 작업장으로 누출되지 못하도록 덮개를 설치하고 인화성 액체를 취급하는 작업 중에 여과기 내부를 질소 등을 이용하여 불활성 분위기를 유지하여 화재·폭발 위험을 예방해야 한다.
- 설비(여과기) 내부의 불활성 분위기 형성을 통해 비록 정전기 점화원이 최소 점화에너지 이상으로 존재하여도 화재·폭발 사고가 발생하지 않도록 해야 한다.

### 교훈 02

#### 설비 점검·정비 누락은 사고의 원인이다!

- 이번 사고는 인화성 액체를 취급하는 유연성 호스의 등전위 상태 점검의 중요성을 제대로 인지하지 못한데서 비롯되었다.
- 인화성 액체를 취급하는 유연성 호스(PVC 재질)는 내부에 강선이 반영된 형태일지라도 호스 양끝단의 저항 측정을 통해 등전위 상태의 건전성을 주기적으로 확인하는 것이 필수적이다.

### 교훈 03

#### 다양한 정전기 점화원에 대한 위험성 평가는 사고예방의 시작이다!

- 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 이번 사고와 같이 여과 작업은 인화성 액체를 취급하는 일상 작업으로 이송 중 유동대전, 분출대전, 충돌대전, 비말대전 등 다양한 형태의 정전기가 발생 되고 이는 점화원으로 작용하여 화재, 폭발이 발생 될 수 있으므로 이러한 관점에서 화재·폭발 위험성을 검토하여야 한다.

## VII 유사 사고사례



### 01

#### 여과기 화재·폭발 사고

| 구분   | 사고사례 내용                                                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 발생일시 | 2018년 11월                                                                                                                    |
| 사고장소 | 강원도 소재 의약품원료 제조 공장                                                                                                           |
| 피해내용 | 1명 부상, 여과기 일부 파손                                                                                                             |
| 사고내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>여과기 성능 시험 중 여과기에서 임시로 사용한 메탄올 혼합물의 유증기가 정전기로 추정되는 점화원에 의해 폭발하고 화재가 발생한 사고임</li> </ul> |

### 02

#### 원심분리기 화재 사고

| 구분   | 사고사례 내용                                                                                                          |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 발생일시 | 2019년 1월                                                                                                         |
| 사고장소 | 경기도 소재 의약품원료 제조 공장                                                                                               |
| 피해내용 | 제조동 일부 소실                                                                                                        |
| 사고내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>의약품원료 제조공정에서 결정화단계 후 원심분리기에서 인화성 액체의 분리 중 여액받이 통에서 화재가 발생한 사고임</li> </ul> |

## Ⅶ. 유사 사고사례

### 03

#### 여과·세척 중 화재 사고

| 구분   | 사고사례 내용                                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 발생일시 | 2016년 1월                                                                                                    |
| 사고장소 | 충청북도 소재 의약품원료 제조 공장                                                                                         |
| 피해내용 | 1명 사망                                                                                                       |
| 사고내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>합성·추출 공정을 거쳐 결정화된 농축액을 여과·세척하는 작업 중 정전기로 추정되는 화재가 발생한 사고임</li> </ul> |

### 04

#### 용매 분리 작업 중 화재 사고

| 구분   | 사고사례 내용                                                                                                                                              |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 발생일시 | 2017년 1월                                                                                                                                             |
| 사고장소 | 경상남도 소재 합성염료, 유연제 제조 공장                                                                                                                              |
| 피해내용 | 설비 일부 손상                                                                                                                                             |
| 사고내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>OLED 디스플레이용 소재를 생산하는 반응공정에서 누출 여과기를 통해 제품 분리 작업 중 여과기에 남아있던 제품과 미량의 용매에 원인 미상의 점화원에 의해 화재가 발생한 사고임</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 E-89-2017 정전기 재해예방에 관한 기술지침

06

KOSHA Guide E-171-2018 스플래쉬 필링으로 인한 정전기 화재사고 예방에 관한 기술지침

# 여과기(이동식 개방형) 화재 사고

의약품 원료 제조과정 중 여과기(이동식 개방형) 화재 사고사례(2020.3.)



※ 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

2020년 3월 ○○○사업장 제품(의약품 원료)과 인화성 액체(헵탄)를 여과막(PE 재질)으로 거르는 여과 공정 중 이동식 개방형 여과기에서 화재가 발생하였고, 여과기 옆에서 작업 중인 근로자의 장갑에 불이 붙으면서 왼쪽 손에 2도 화상을 입은 사고임.

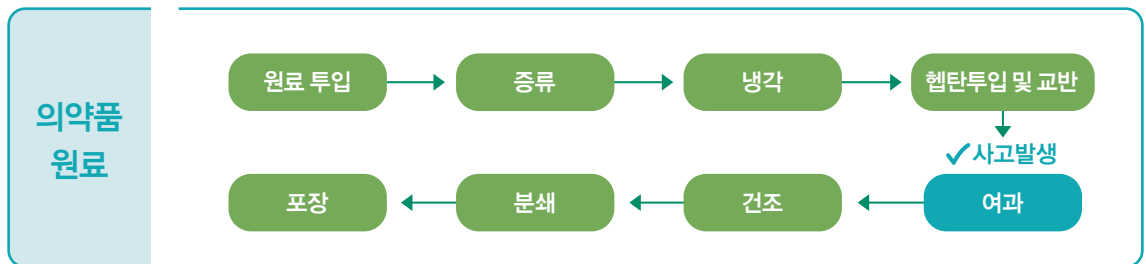


▶ 화재가 발생한 여과기 내부 및 여과막



## 사고발생공정 및 물질

- 의약품 원료 제조과정 중 여과기(이동식 개방형)에서 인화성액체(헵탄)를 여과하는 작업 중 정전기에 의해 점화되어 화재가 발생함.



## 사고발생물질

| 물질명  | 인화범위<br>(공기중)(%) | 인화점<br>(℃) | 증기압<br>(mmHg) | 증기밀도<br>(공기 = 1) | 최소 점화<br>에너지 (mJ) | 전기전도도<br>(pS/m)      |
|------|------------------|------------|---------------|------------------|-------------------|----------------------|
| n-헵탄 | 1 ~ 7 vol        | -4         | 40 (@ 20 ℃)   | 3.45             | 0.24              | 3 x 10 <sup>-2</sup> |



## 사고발생원인



### ● 접지 및 등전위 본딩 미흡으로 인한 점화원 발생

- 인화성 액체 등을 취급할 때는 정전기에 의한 점화원 발생을 예방하기 위해 설비와 설비, 설비와 작업자 사이에 등전위 조치를 하고 등전위 접지가 된 설비 등은 접지시설에 연결하여 정전기 발생을 억제하여야 하나 유연성 호스(Flexible Hose) 및 작업자들이 인화성 액체를 취급하는 설비와 전기적으로 고립된 상태로 작업하여 정전기 방전에 의해 사고가 발생함.

### ● 개방형 여과기 사용으로 인한 폭발분위기 상시 형성

- 인화성 물질을 취급할 때 다량의 인화성 미스트, 증기 등이 발생할 우려가 있는 경우 공기와 접촉하지 못하도록 불활성화 조치가 되어있는 밀폐된 형태의 용기를 사용하여 폭발분위기 발생을 억제하여야 하나 불활성화 조치가 되지 않는 개방형 여과기를 사용하여 화재 사고가 발생함.



## 동종사고 예방대책



### ● 정전기 방전 억제

- 인화성 액체의 이송에 사용하는 호스는 유체의 흐름에 의해 발생하는 정전기를 해소하기 위해 도전성 물질로 차폐하거나 배관의 양끝을 설비 또는 접지선을 통해 접지하여 배관에 전하가 쌓이지 않도록 조치하는 것이 필요하고, 인체 대전을 해소하기 위해서는 제전복, 제전화를 착용하는 것에서 끝나지 않고 인체에 축적된 전하가 안전하게 해소될 수 있도록 대지 또는 접지된 설비와 접지 또는 본딩 되도록 조치하는 것이 필요함.

### ● 인화성 액체의 증기 발생 억제

- 주입 과정 중 발생한 인화성 액체의 증기 농도가 인화하한계를 형성하기 전에 불활성 가스인 질소와 혼합되어 폭발분위기를 벗어난 상태에서 배출되도록 배출 배관과 위험물처리시설을 갖추는 것이 필요함.

### ● 유연성 호스 및 작업대 등 접지성능 유지 지속관리

- 공정에서 사용하는 이동식 호스임에도 호스 양끝단간 접지 상태 유지 여부를 지속 관리하는 것이 필요함.  
- 근본적으로는 접지된 고정형 배관을 사용함으로써 전기적 연속성을 항상 유지하는 것이 적극 권장됨.

## 작 성

김 영 호 [안전보건공단 경기지역본부 화학사고예방센터(시흥)]  
이 주 엽 [안전보건공단 경기지역본부 화학사고예방센터(시흥)]  
주 승 민 [안전보건공단 경기지역본부 화학사고예방센터(시흥)]  
김 태 훈 [안전보건공단 경기지역본부 화학사고예방센터(시흥)]

## 검 토

서 찬 석 [안전보건공단 중대산업사고예방실]  
임 지 표 [안전보건공단 중대산업사고예방실 공정안전부]  
강 성 광 [안전보건공단 중앙사고조사단]  
윤 영 호 [안전보건공단 중앙사고조사단]  
김 상 중 [안전보건공단 전북지역본부 화학사고예방센터(익산)]  
구 채 칠 [안전보건공단 경북지역본부 화학사고예방센터(구미)]  
황 성 훈 [안전보건공단 대전세종광역본부 광역조사센터(대전)]

# 「의약품 원료 제조 공정 중 여과기 (이동식 개방형) 화재사고」 사례 연구

2021-중대산업사고예방실-312

|      |                                                             |
|------|-------------------------------------------------------------|
| 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

# 화학사고 사례연구

1호

의약품 원료 제조공정 중  
여과기(이동식 개방형)  
화재사고