

2022년 화학사고 사례연구

누체필터로 인화성액체 이송 중
화재 사고



충북권(충주) 화학사고예방센터

7호:



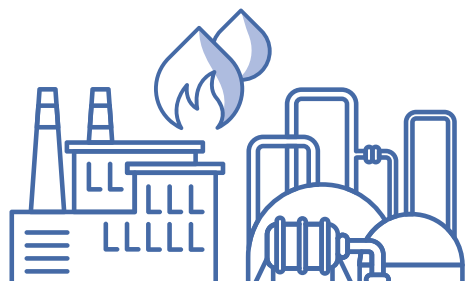
2022년

화학사고 사례연구

CONTENTS

● 누출필터로 인화성 액체 이송 중 화재 사고

I.	사고개요	5
II.	사업장 현황	6
III.	사고분석	7
IV.	사고발생 원인	12
V.	동종사고 예방대책	14
VI.	사고로부터 얻은 교훈	15
VII.	유사 사고사례	16
VIII.	참고자료	18





용어설명

01 누체필터

- 원료 및 용제의 혼합이나 반응 후 고체와 액체상태로 혼합된 물질을 분리하기 위해 사용하는 설비이다.

02 스플래쉬 필링(Splash filling)

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

03 정전기

- 전계의 영향은 크나 자계의 영향이 상대적으로 미미한 전기전하를 말한다.

04 정전기 방전

- 인화성 혼합물을 점화시킬 수 있는 불꽃방전, 브러시방전, 연면방전 등의 형태로 정전기가 방출되는 것을 말한다.

05 불활성 가스

- 비인화성 또는 반응성이 없는 가스를 말하며, 시스템 내의 인화성 물질이 연소되지 않도록 주입하는 가스를 말한다.





I. 사고개요

- 2021년 3월 제천시 소재 ○○○○합성동 반응기에서 톨루엔으로 규조토 혼합물을 정제한 후 1층 누체 필터로 이송하기 위해 플렉시블 호스(50A)를 이용하여 누체필터 상부의 맨홀로 규조토 혼합물을 투입 하던 중 화재·폭발이 발생하여 2명이 부상(2도 화상)을 입은 재해임



그림 1 사고가 발생한 누체필터

01 인명피해

- 2명 부상 (화상)

02 물적피해

- 누체필터 및 배관 파손



II. 사업장 현황

01 사업장 개요

- 해당 사업장은 신약 개발, 의약품, 건강기능식품을 제조하는 회사로 2개의 의약품 생산 공장등을 운영하고 있으며, 사고 발생 공장등은 세프카펜 계열의 의약품 개발 시운전을 진행하는 과정에서 사고가 발생하였다.

02 공정 설명

- CCP* 제조공정은 CCP 원료 및 부원료 투입, 교반, 층분리, 건조투입, 여과, 건조 과정 거쳐 세프카펜 계열의 의품을 생산하는 공정이다.

* CCP(Cefcapene Pivoxil Hydrochloride Hydrate) : 세프카펜 피복실 염산염 수화물

제약

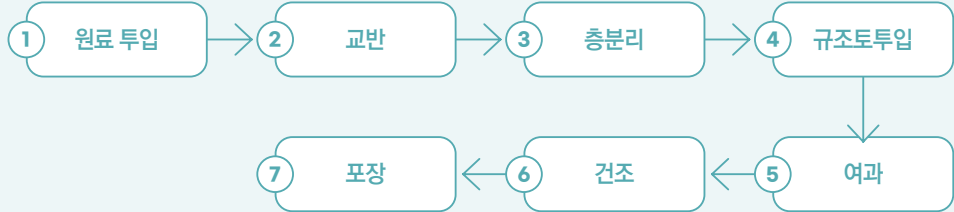


그림 2 CCP 제조 공정 순서

- 사고가 발생한 건조투입공정은 부원료인 건조투입을 정제하기 위해 활성탄과 건조투입을 반응기에 투입 후 용매인 톨루엔으로 불순물을 정제하는 공정이다.

정제



그림 3 부원료(정제 건조투입) 제조 공정 순서



Ⅲ. 사고분석

01

사고 발생 과정

1) 작업 상황

일시	작업 현황
3월23일 14:30분경	<ul style="list-style-type: none"> 반응기에 질소 퍼지를 시작함
14:45분경	<ul style="list-style-type: none"> 동일 반응기에 규조토 20kg을 맨홀로 투입함
14:50분경	<ul style="list-style-type: none"> 동일 반응기에 진공을 걸고 톨루엔 200L(170kg)를 투입함
15:00분경	<ul style="list-style-type: none"> 동일 반응기에 진공을 걸고 질소를 투입함
15:05분경	<ul style="list-style-type: none"> 동일 반응기에 30분간 50RPM으로 교반함
15:34분경	<ul style="list-style-type: none"> 1층에서 하부 밸브가 50%정도 개방된 플렉시블 호스를 누체 필터 맨홀을 열고 넣은 후 2층 반응기 하부의 드레인 밸브를 완전(100%) 개방하였음 ※ 플렉시블 호스는 작업 전일(3.22) 미리 설치한 상태임.
15:37분경	<ul style="list-style-type: none"> 누체필터 상부 맨홀을 통해 톨루엔(Toluene) 혼합물을 누체필터 내로 이송하기 시작함. 이송을 시작한지 얼마 지나지 않아 정전기 느낌(찌릿찌릿함)이 있어 누체필터에 접지 클램프를 연결하고 질소가스를 투입하였음
15:39분경	<ul style="list-style-type: none"> 혼합물 이송 간에 플렉시블 호스에서 찌릿한 느낌이 사라지지 않자 누체 필터를 이용한 이송이 더는 어렵다고 판단하여 플렉시블 호스 하부 밸브를 차단하였으며, 그 순간 화재·폭발이 발생하였음
15:40분경	<ul style="list-style-type: none"> 2층에서 폭발음을 들은 장○○ 과장이 1층 상황을 보고 2층 반응기 드레인 밸브를 닫았으며, 화재로 인해 인근에 있던 장△△ 과장은 머리에 불이 붙어 화장실로 대피하고, 작업장 근처에 있었던 직원(2명)들이 소화기로 화재를 진압하였음.

02

사고 발생 물질

1) 톨루엔

물질명	CAS No.	함량(%)	폭발한계(%)		인화점 (°C)	발화점 (°C)	증기압 (mmHg)	전기전도도
			하한	상한				
톨루엔	108-88-3	100	1.1	7.1	4	480	28.4 (25°C기준)	< 1 pS/m

경고표지 그림문자



인화성 액체



특정표적장기 독성



피부 부식성/
피부 자극성

03

사고 발생 설비

명칭	명세(mm)	연식	압력(MPa)		온도(°C)		재질	
			운전	설계	운전	설계	본체	부속품
누체 필터	용량 : 1m ³ 크기: Ø1,250 × 800H	2016년	0.147	0.196	25	60	STS316L	여과지: 폴리에스테르



04

사고 발생 공정

1) 규조토 정제과정 중 누체필터

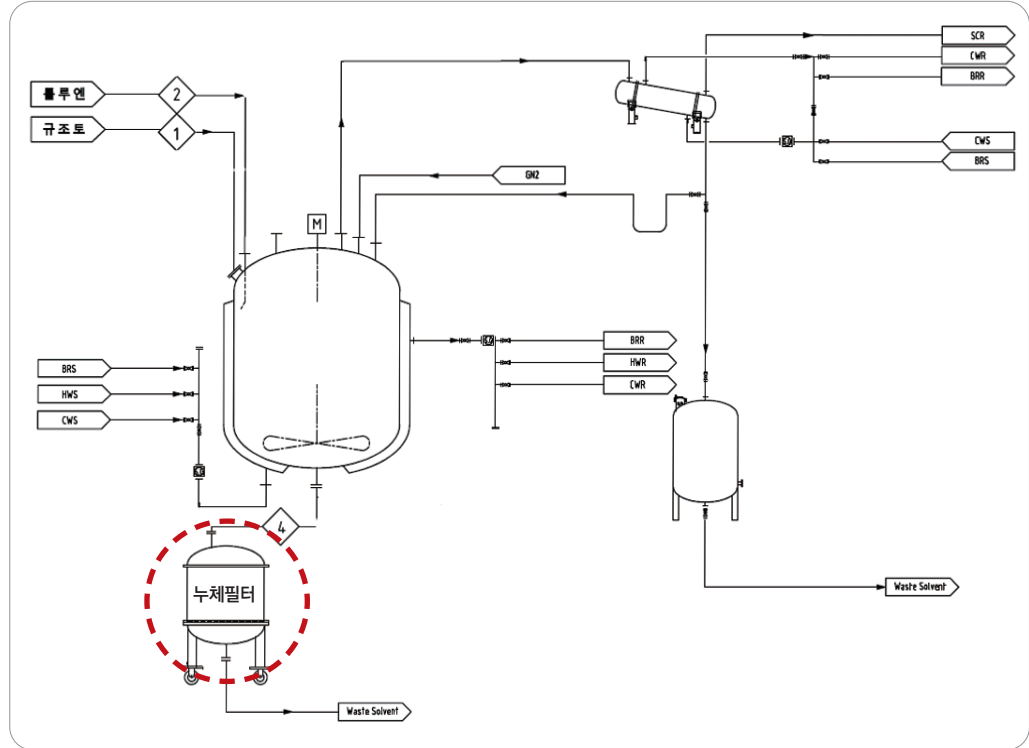


그림 4 규조토 정제과정 설비 구성

05

사고 원인 분석

1) 사고 당시 작업 상황

- 2층 반응기에서 1층에 있는 누체필터 상부 맨홀로 혼합물을 이송하기 위해 3개의 플렉시블 호스를 연결(5m : 2개, 3m : 1개)하여 사용하였다.
- 반응기와 누체필터 간의 높이 차이가 약 8m이며 플렉시블 호스는 건축물 층간 구멍을 통해 연결해서 혼합물을 이송하였다.
- 플렉시블 호스 재질은 내부는 PTFE, 외부는 STS304로 플렉시블 호스 간 연결 시에는 PTFE 재질의 개스킷과 클램프를 이용하여 연결하는 방식이다.
- 혼합물을 차단하기 위해 반응기 하부 드레인 배관 측과 플렉시블 호스 하부 측에 각각 밸브가 설치되어 있다.

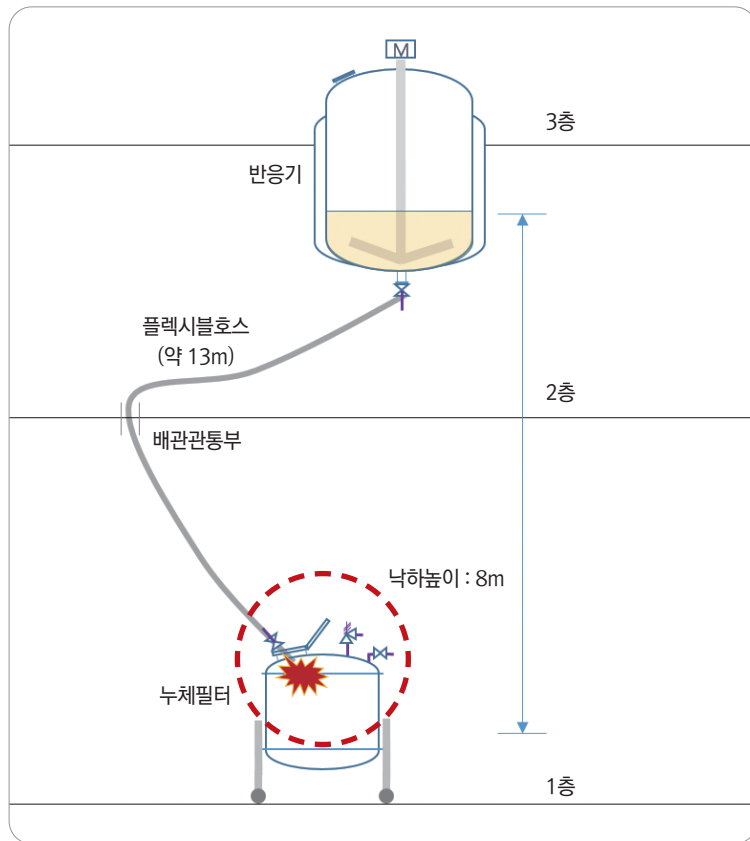


그림 5 반응기 및 누체필터의 플렉시블 호스 연결 개략도



2) 배관 내 톨루엔 이송속도(v) 추정

- 작업자 증언에 따른 이송속도 추정
 - 반응기에서 누체필터로 혼합물 배출작업 시 톨루엔(Toluene)을 약 148kg을 5~10분 사이에 드럼으로 배출한 것으로 추정한다. (잔액 약 42kg)
 - 배출밸브를 50% 개방한 경우 Cv(유량계수)를 100%기준대비 약 20%로 산정하면 배출시간이 10분인 경우 유속(v)은 아래와 같다.

$$\frac{Q}{A} = \frac{m}{\rho \times A} = \frac{148 \text{ kg}}{0.87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3} \times \frac{4}{\pi \times (0.05 \text{ m} \times 0.2)^2} \times \frac{1}{600 \text{ sec}} = 3.6 \text{ m/sec}$$

- 토리첼리의 정리에 의한 이송속도 추정

(1) 가정 조건

- 비압축성/비점성유체, 대기상태 개방, 수위하강속도를 무시할 정도의 작은 구멍

(2) 계산식 :

$$V = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 * 9.8 * 8} = 12.5 \text{ m/sec}$$

- ➔ 위에서 추정된 대로 배관 내 톨루엔 공급속도는 3.4~12.5m/sec 사이로 하부 배관에 설치된 밸브 조작에 따라 유속이 급격히 증가할 수 있는 조건이며, 이는 정전기 예방을 위한 초기 안전 공급속도 1m/sec를 과하여 이송한 것이다.

3) Splash filling 형태에 의한 정전기 점화

- 반응기 하부 드레인 밸브에서 플렉시블호스를 연결하여 누체필터 상부 맨홀을 개방한 상태로 톨루엔을 [그림 6]과 같은 Splash filling 형태로 이송하였다.
- Splash filling 형태로 인화성 액체가 대기 중에 낙하할 때 입자간의 충돌 등으로 정전기가 형성되며, 사람과 주변 금속체를 통해 정전기가 방전되고 이로 인한 스파크가 점화원이 되어 화재가 발생하였을 가능성이 있다.



그림 6 Splash filling 형태



IV. 사고발생 원인

원인 1

톨루엔 혼합물 이송방법 부적절

- 톨루엔 인화점(4℃)보다 높은 온도조건(현장온도 10℃)에서 누체필터 상부 맨홀로 인화성 액체를 이송하였으며 공기 중에 노출된 상태로 이송하였기 때문에 산소공급이 충분한 상태로 가연성 증기가 발생하면서 폭발분위기가 형성되었다.

원인 2

정전기 발생에 의한 점화

- 톨루엔이 혼합된 유체를 PTFE 재질의 플렉시블 호스를 통해 이송하는 경우에 대전에 의한 정전기가 축적되었을 것으로 추정한다.
- 인화성 액체를 빠른 속도로 분사하는 경우에 정전기가 축적될 수 있으며, Splash filling 방식으로 인화성 액체가 비산되도록 분출하는 경우 폭발분위기에서 사람과 주변 금속체를 통해 정전기가 방전되고 이로 인한 스파크가 점화원이 되어 화재가 발생하였을 가능성이 있다

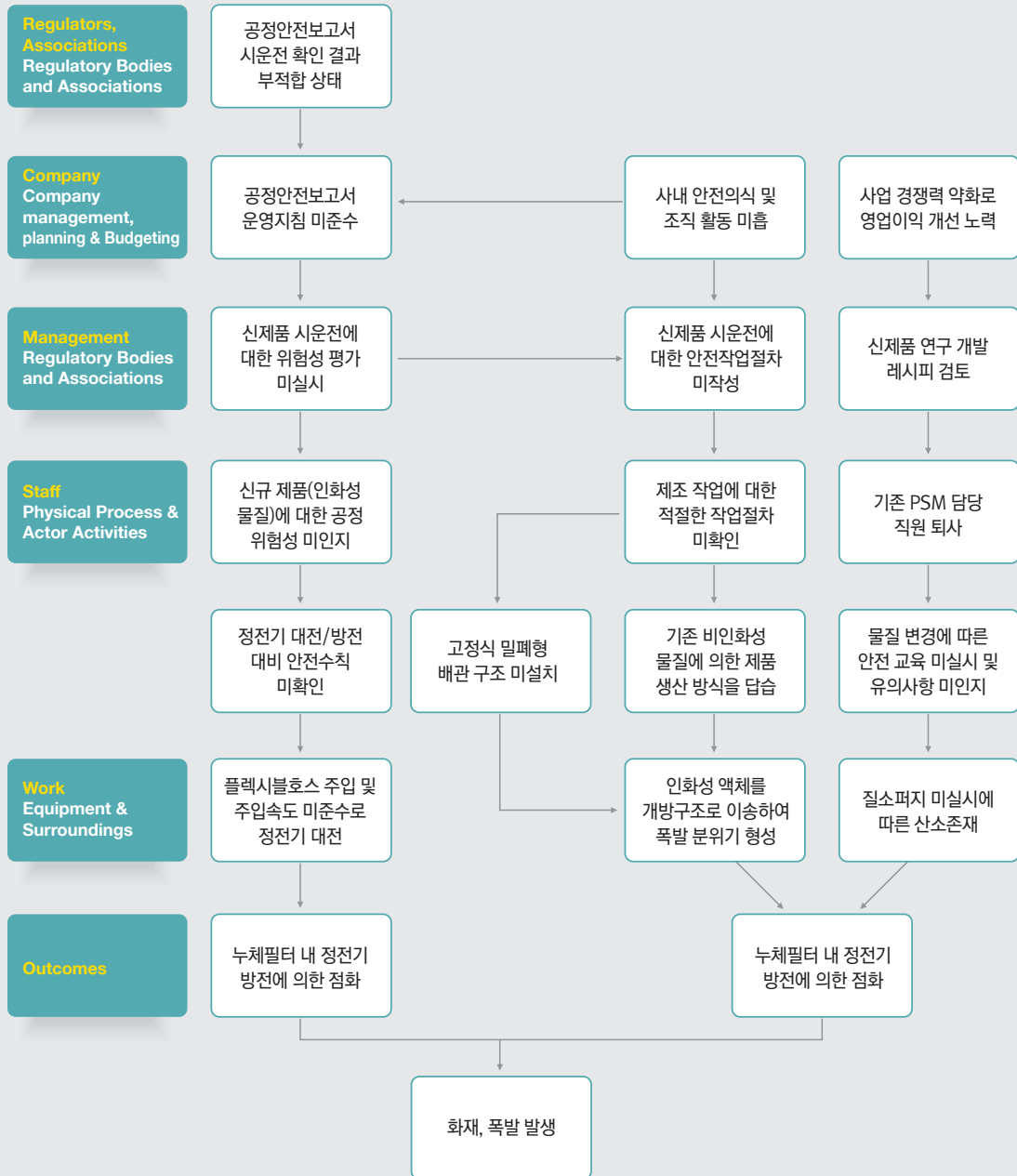
원인 3

신규 공정에 대한 위험성 평가 부재

- 사고 발생 공정은 제품 개발을 목적으로 하는 신규 공정이나 해당 공정 운전에서 추가로 취급하는 물질이나 공정 특성에 대한 위험성 평가를 수행하지 않았다.
- 공정에 대한 위험성을 평가하지 않았기 때문에 인화성 액체 취급 및 정전기 예방 등에 대한 적절한 안전조치를 취할 수 없었다.



시스템적 사고원인 분석(AcciMap)





V. 동종사고 예방대책

대책 1

톨루엔 혼합물 이송방법 개선

- 톨루엔 혼합물 등의 인화성 액체를 이송하는 경우 인화성 증기가 발생하므로 인화성 증기가 산소와 혼합되어 폭발분위기가 형성되지 않도록 밀폐형의 이송구조로 개선이 필요하다.

대책 2

누체필터 내 적절한 불활성화 조치 실시

- 반응기에서 누체필터로 이송 시 질소 등 불활성 가스를 이용하여 누체 필터 내부에 불활성 분위기를 형성할 수 있도록 적절하게 퍼지(Purge)하여야 한다.
- 누체필터 내 불활성 가스 퍼지 시에는 퍼지방법, 공급압력, 유지시간 등을 검토하여 안전운전 절차서에 반영하여야 한다.

대책 3

정전기 방지 조치 실시

- 인체 대전 방지를 위한 제전복, 제전화, 제전봉, 정전기 방지용 손목팔찌 등 사용
- 설비 대전 방지를 위한 접지 클램프 설치 및 정기적인 접지저항 측정
- Splash filling을 방지하기 위한 설비 내 Dip Pipe 설치 및 비산 방지 조치
- 배관 내 인화성 액체 이송 시 이송속도 1m/s 이하로 유지 등

대책 4

신규 물질이나 공정 추가 시 위험성평가 실시

- 신규 물질이나 공정이 추가되는 경우, 운전절차, 설비 및 물질 등에 대한 위험성평가를 실시하고 이에 대한 안전운전절차서를 작성하여 작업자에게 교육 후 신규 작업에 임해야 한다.



Ⅵ. 사고로부터 얻은 교훈

☑ 유기용제 이송작업 중 발생한 화재 사고로부터 얻은 교훈은 다음과 같다.

교훈
1

인화성 증기의 외부 노출이 화재의 근본원인이다.

- 이번 사고는 인화성 액체를 누체필터에 Splash filling 방식으로 이송하면서 발생한 사고이다.
- 인화성 증기는 가연물로 산소와 함께 혼합된 경우 폭발위험분위기가 형성되어 점화원이 있는 경우, 화재폭발이 발생할 수 있음에 따라 사업주는 공정에서 제조, 취급, 저장하는 모든 유해·위험물질 및 운전 중에 발생할 수 있는 유해·위험한 부산물의 위험성을 파악하고 있어야 하며 이에 대한 적절한 안전조치를 취해야 한다.
- 인화성 증기는 상압 상태에서 산소와 접촉하기 때문에 점화원에 의해 화재가 발생할 가능성이 높아진다. 이에 정전기 예방에 적절한 도전성 재질 및 운전조건 등을 반영하여 하며, 인화성 액체가 외부로 노출되지 않도록 밀폐형 구조로 운전 및 이송하는 것이 적절하다.

교훈
2

공정이 변경되는 경우 위험성평가는 필수이다.

- 위험성평가는 정상적인 공정 중에 발생 가능한 위험성을 도출해 내는 공정 위험성평가와 일상 작업과 정기보수작업 등 작업에 대한 위험성을 도출해 내는 작업 위험성평가로 구분할 수 있다.
- 특히 작업 위험성평가의 경우 작업 내용에 치중해 물질의 위험성에 대해서는 소홀히 하는 경우가 있을 수 있으므로 물질의 특성을 고려하여 다양한 관점에서 위험성을 검토하여야 한다.



VII. 유사 사고사례

01 배관 드레인 작업 중 화재 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2022년 3월
사고장소	여수 소재 석유화학공장
피해내용	인적, 물적 피해
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> PE 제조공정 HDPE Line에서 근로자가 배관 내 인화성 액체를 비우기 위한 드레인 작업 중 화재가 발생하여 근로자가 부상(1명, 안면부 화상)을 입는 재해가 발생하였다.

02 반응기 세정 중 화재, 폭발 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2019년 12월
사고장소	인천 소재 감광액 제조공장
피해내용	인적, 물적 피해
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> 합성 반응기실에서 근로자가 용제를 투입하여 반응기를 세정하다가 정전기로 추정되는 불꽃이 발생하면서 반응기 내부에서 화재, 폭발이 발생하여 근로자(2명)가 부상을 입는 재해가 발생하였다.



03 배합용기 내 톨루엔 이송 중 화재 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2016년 5월
사고장소	경기 소재 이형지 제조공장
피해내용	인적, 물적 피해
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> 이형지 제조 공정의 배합실에서 근로자가 배관을 통해 톨루엔을 배합용기에 공급 받던 중 정전기 방전에 의한 화재가 발생하여 근로자가 부상(1명, 전신 3도 화상)을 입고 치료받던 중 사망하였다.

04 여과·세척작업 중 화재 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2016년 1월
사고장소	충북 소재 제약공장
피해내용	인적, 물적 피해
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> 합성·추출과정을 거쳐 결정화된 농축액을 여과·세척하는 작업 중 정전기로 추정 되는 화재가 발생하여 근로자가 사망하였다.

05 여과필터 세척작업 중 화재 사고

구분	사고사례 내용
발생일시	2014년 11월
사고장소	대전 소재 반도체공장
피해내용	인적, 물적 피해
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> 반도체 코팅액 제조공정에서 1차 반응물 여과를 마친 필터를 수세척하는 과정 중에 원인 미상의 점화원에 의해 화재가 발생하여 근로자 사망(1명) 및 부상(7명)이 발생하였다.



VIII. 참고자료

- 1 산업안전보건법, 고용노동부; 2021
- 2 산업안전보건용어사전, 한국산업안전보건공단; 2006
- 3 중대산업사고 조사의견서, 한국산업안전보건공단; 2010~2018
- 4 KOSHA Guide E-89-2017 정전기 재해예방에 관한 기술지침
- 5 KOSHA Guide E-113-2013 정전기 위험성 평가 및 대책에 관한 기술지침
- 6 KOSHA Guide E-171-2018 스플래쉬 필링으로 인한 정전기 화재사고 예방에 관한 기술지침

누체필터로 인화성액체 이송 중 화재 사고



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

사고개요

- 2021년 3월 ○○○사업장 2층에 설치된 반응기 내부의 인화성 액체를 1층에 설치된 누체필터 상부 맨홀을 통해 이송하는 중에 화재 폭발이 발생하여 근로자 부상 건물 일부가 화재로 피해를 입은 사고임



그림 1 화재가 발생한 누체필터



사고발생공정 및 물질

- 반응기에서 누체필터로 인화성 혼합물을 여과하기 위해 누체필터 상부 맨홀을 개방한 상태로 이송하는 과정에서 인화성 액체가 스플래시 필링 형태로 분사되며 정전기가 대전되었고, 전위차(인체 등)에 의해 화재·폭발가 발생한 사고

정제



그림 2 부원료(규조토 정제물) 정제 공정 개략도

누체필터로 인화성액체 이송 중 화재 사고

사고발생물질

물질명	CAS No.	함량(%)	폭발한계(%)		인화점 (°C)	발화점 (°C)	증기압 (20°C)	전기전도도 (pS/m)
			하한	상한				
톨루엔	108-88-3	100	1.1	7.1	4	480	28.4	< 1

사고발생원인

- **맨홀 개방으로 인한 폭발위험 분위기 형성**
 - 맨홀 개방 후 공기(산소)가 유입된 상태에서 인화성 액체를 이송하는 작업을 진행함에 따라 폭발위험 분위기가 형성됨
- **정전기 관리 미흡**
 - 인화성 액체 이송 시 PTFE 재질의 플렉시블 호스를 사용하여 이송함으로 인해 인화성 액체 이송 간에 배관 내 정전기가 지속적으로 축적되었음
- **정전기 방전으로 인한 점화**
 - 스플래쉬 필링(Splash Filling)과 같이 분무하는 작업을 실시하여 복합적이고 다량의 정전기가 방전되었으며 이로 인한 점화로 화재가 발생함

동종사고 예방대책

- **톨루엔 혼합물 이송방법 개선**
 - 톨루엔 혼합물 등의 인화성 액체를 이송하는 경우 인화성 증기가 발생하므로 인화성 증기가 산소와 혼합되어 폭발 분위기가 형성되지 않도록 밀폐형의 이송구조로 개선이 필요하다.
- **적절한 불활성화 조치 필요**
 - 반응기에서 누체 필터로 이송 시 질소 등 불활성 가스를 이용하여 누체 필터 내부에 폭발위험 분위기를 형성할 수 없도록 적절하게 퍼지(Purge)하여야 한다.
 - 누체 필터 내 불활성 가스 퍼지 시에는 퍼지방법, 공급압력, 유지시간 등을 검토하여 안전운전 절차서에 반영하여야 한다.
- **작업 변경 시 위험성 평가 실시**
 - 공정 변경(물질 및 작업절차 등)이 발생한 경우 작업절차, 설비 및 물질 등에 대한 안전운전 절차서를 작성하고 그 내용을 작업자에게 교육하여야 한다.

작성

이 대 준(안전보건공단 충북북부지사 화학사고예방센터(충주))

최 창 열(안전보건공단 충북북부지사 화학사고예방센터(충주))

검토

안전보건공단 중대산업사고예방실 공정안전부

2022-중대산업사고예방실-268

「누체필터로 인화성액체 이송 중 화재사고」 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**

7호 : 누체필터로 인화성액체 이송 중
화재 사고

