

중대산업사고속보(2011.9.7) KOSHA-CCPS-201103

본 속보는 국내에서 발생한 중대산업사고에 대하여 기술적인 문제점을 분석하고 그 방지대책을 수립하여 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있습니다.

금번에는 구미에서 발생한 화재사고 사례를 요약하여 배부하오니 근로자들에게 충분히 교육·홍보하여 더 이상의 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

===== 기술자료 ===== 사고사례 =====

건조기 폭발 · 화재 사고

1. 사고개요

- 2011년 8월 0일(토) 경북 구미시 공단동 소재 (주)00케미칼 합섬1공장 기술연구소에서 UHMPE를 이용한 초고강력 폴리에틸렌 섬유(이하 “PE 섬유”라 한다) 제조공정을 시험운전 중 헵탄(heptane) 건조설비인 건조기(Drying Chamber)에서 폭발·화재가 발생하여 기술연구소 소속 직원 7명이 사상(사망 5명, 부상 2명)하고, 건물벽체, 추출 및 건조기(Extraction & Drying Chamber) 등 관련설비가 전파된 사고

※ UHMPE(Ultra High Molecular weight Polyethylene) : 초고분자량 폴리에틸렌

2. 사고발생 설비 및 물질

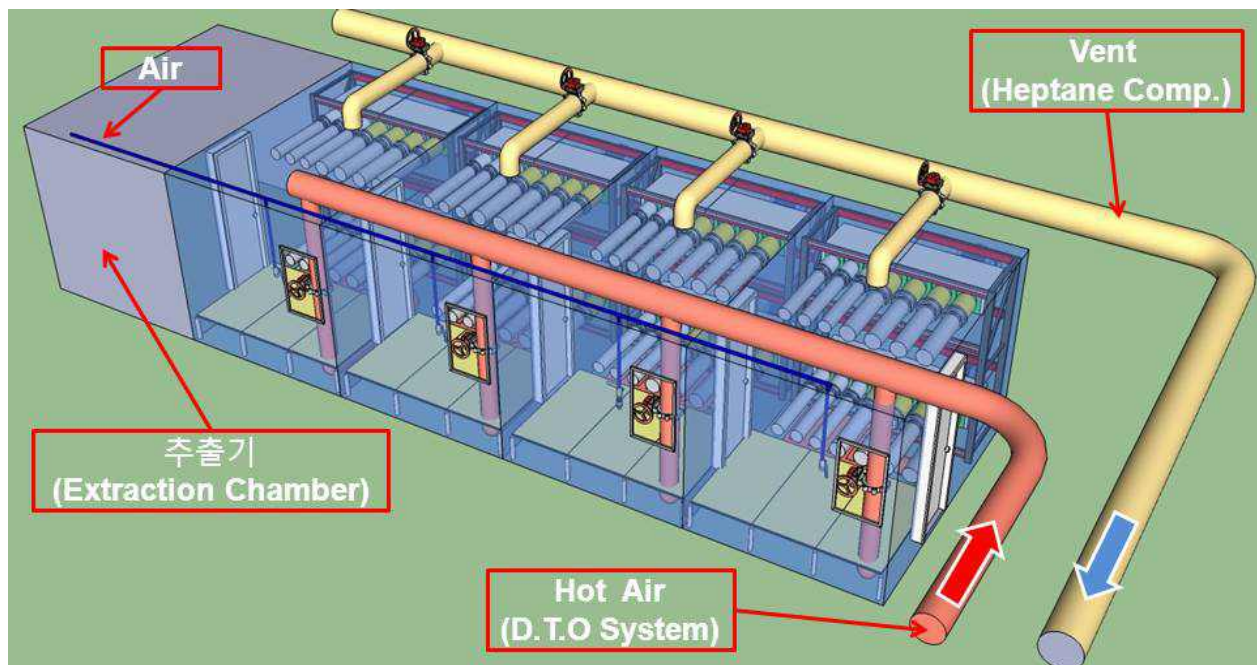
□ 사고발생설비

Item No.	설비명	명세	주요재질	전기용량(kW)
00-001	건조기 1단	Size : W2600×L1800×H2200mm	SS400	2.2×2
00-002	건조기 2단	Size : W2600×L1800×H2200mm	SS400	2.2×2
00-003	건조기 3단	Size : W2600×L1800×H2200mm	SS400	2.2×2
00-004	건조기 4단	Size : W2600×L1800×H2200mm	SS400	2.2×2

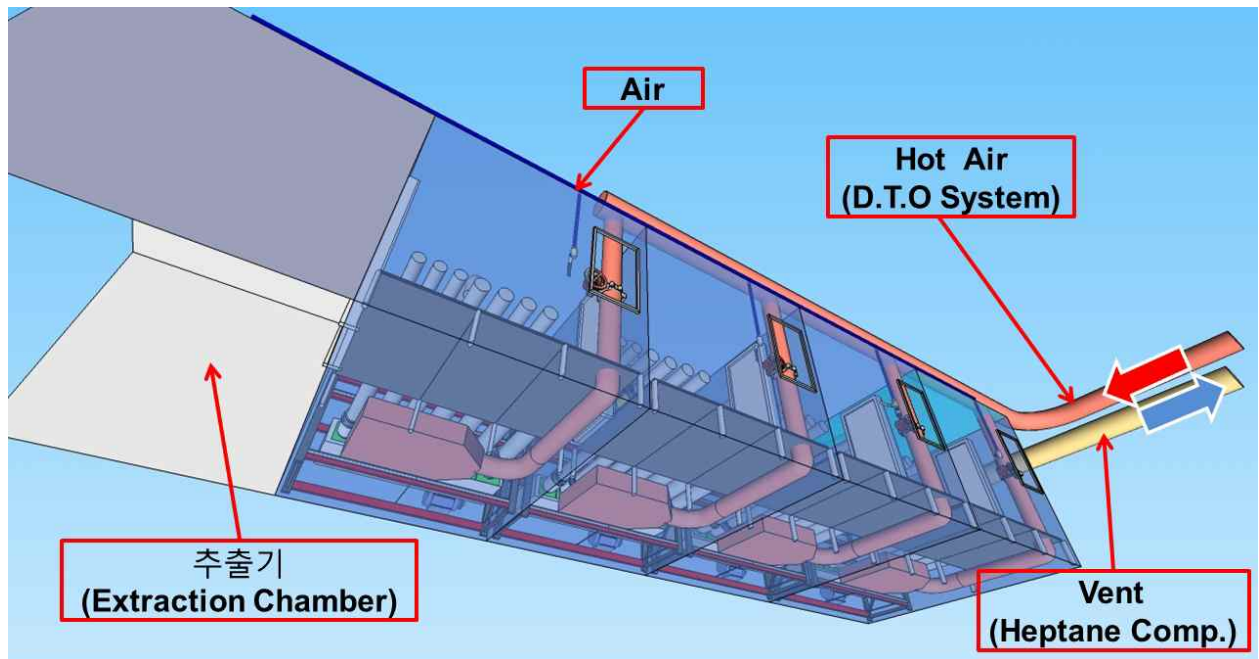
□ 사고발생물질

물질명		CAS No.	함유량	폭발범위 (%)	인화점 (℃)	발화점 (℃)	비고
헵탄 (제품명)	n-Heptane	142-82-5	22~28	1.1 ~ 6.6	-4	285	최소점화에너지 : 0.24mJ@3.4%
	2,3-Dimethylpentane	565-59-3	5~10				
	3-Ethylpentane	617-78-7	1~5				
	2-Methylhexane	591-76-4	17~22				
	3-Methylhexane	589-34-4	27~32				
	Methylcyclopentane	96-37-7	5~10				
UHMPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene)		9002-88-4	-	해당 없음	해당 없음	350	
Wax		64742-54-7	-	해당 없음	≥250	해당 없음	

3. 사고 발생 공정

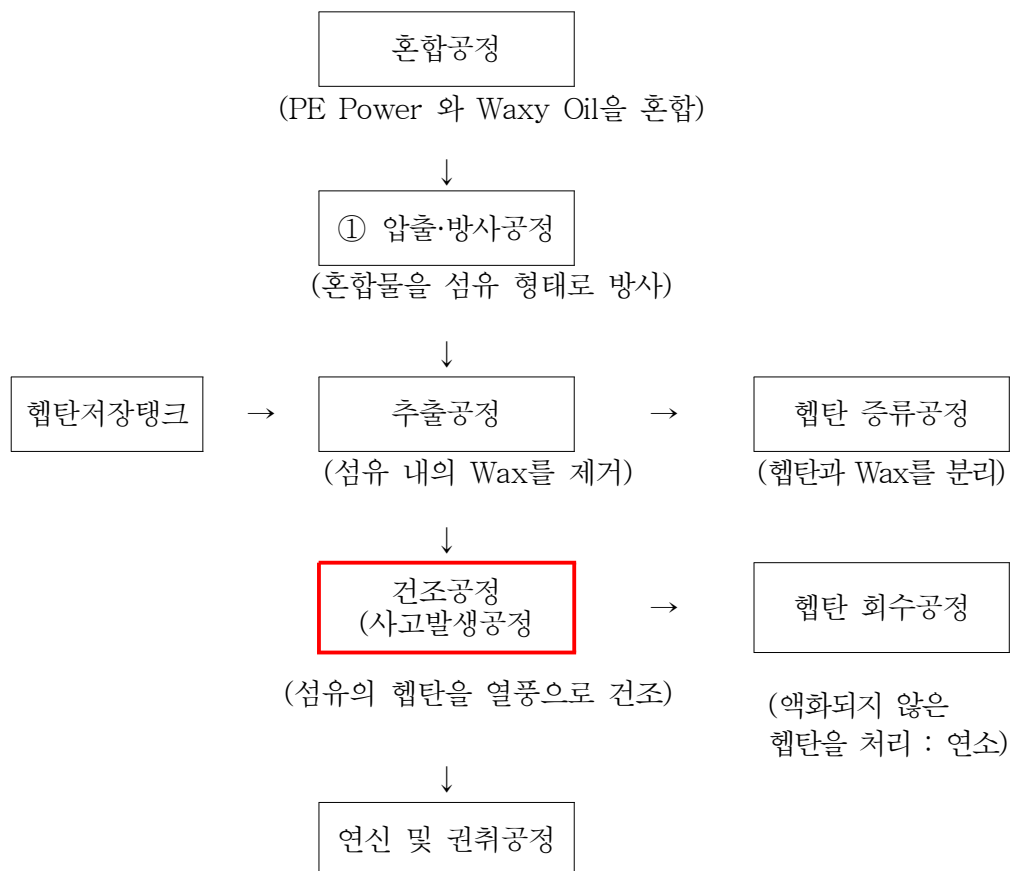


[그림 1] 건조기 개략도 (상부)



[그림 2] 건조기 개략도(하부)

※ D.T.O(Direct Thermal Oxidizer) System: 추출기, 건조기로부터 발생하는 헵탄 증 액화 되지 않은 유증기를 연소시켜 제거하며, 발생한 연소열을 이용하여 Fresh Air의 열원으로 사용하는 환경처리설비



4. 사고 발생과정

○ 2011년 8월 0일(금)

- 10:30경 : 헵탄 유증기 처리 설비인 DTO 설비 주위에서 냄새가 발생하여 DTO 가동을 중지함.
- 13:00 ~ 17:00경 : 기술연구소 근로자들은 공정가동 중지 동안 추출기 내부 청소 및 내부의 가이드 피치 조정 작업을 실시함.

○ 2011년 8월 0일 (토)[사고당일]

- 07:00경 : 교대조 출근 후 혼합기에 원료인 초고분자량 폴리에틸렌(PE Power)과 왁스(Wax)를 투입하여 혼합작업(Gelation작업)을 실시함.
 - * 원료투입에서 Gel작업 완료까지 약 3시간30분 ~ 4시간 소요
 - 10:00경 : 옥외에 위치하고 있는 환경처리설비인 DTO를 가동함.
 - 10:30경 : PE Gel 공급탱크 후단의 이송펌프(Gear Pump)를 통해 PE Gel을 압출기 전단으로 이송하고, 건조기 내부에 헵탄 공급이 이루어짐.
 - 11:00경 : 압출기에서 가압펌프(Booster Pump)를 거쳐 방사빔(Spin Beam)까지 1차 방사를 시작하였으나 가압펌프에서 소음이 나고 방사가 원활하게 되지 않는 것을 확인함.
 - 11:15경 : 추출기 전단의 압출 및 방사공정을 정지한 후 방사 문제점을 확인 후 방사 작업 온도를 승온함.
 - 12:00경 : 압출 및 방사공정을 재가동하여 방사작업을 실시함.
 - 12:40경 : 방사된 실을 냉각시키기 위해 냉각조의 물에 실걸이 작업을 실시함.
 - 13:00 ~ 13:05경 : 추출기의 리드선과 방사된 실과의 연결 작업을 실시하고 추출기 및 건조기의 물 가동을 시작함
- ※ 추출기 내부 헵탄과 건조기 내부 건조공기는 10:30분경부터 계속 공급되고 있었음.**
- 13:31경 : 조정실에 근무하고 있던 직원이 ‘펑’ 소리가 나서 문제가 발생하였음을 인지

4. 사고발생 원인

○ 표준안전운전절차 미준수

- 해당공정의 공정안전보고서 내용 중 안전운전표준서에 헵탄 농도가 폭발하한 (1.1vol%) 이상일 경우 건조기 내 출입을 금하도록 되어 있으나 사고 당시 공정운전 중 헵탄 농도가 폭발하한 이상인 상태에서 근로자가 내부로 들어감.

○ 건조기 내부 부착설비 설치 부적절

- 건조기 정상 가동시에는 내부에 상시 헵탄 유증기가 존재하여 폭발분위기를 형성할 수 있으므로 내부의 헵탄 농도를 확인할 수 있는 농도계 등을 설치하여 실시간으로 확인할 수 있도록 하여야 하나, 건조기 내부 농도확인이 가능한 설비가 설치되어 있지 않으며, 이동식 가연성 가스검지기를 사용하여 건조기 내부의 폭발위험 분위기 형성 여부를 확인한다 하여도 측정을 위해서는 헵탄 유증기가 체류하고 있는 건조기 내부에 들어가 측정을 하여야 하는 문제점이 있음.

○ 정전기 대전방지조치 미흡

- 건조기 내부 출입시 제전복 및 제전화 등을 착용하고 출입하거나 제전봉을 설치하여 출입전 정전기를 제거한 후 출입을 할 수 있도록 하여야 하나 이러한 설비가 갖추어져 있지 않으며 일반 작업복을 착용

○ 건조기 구조적 문제

- 건조기 측면 및 전면이 상부와 동일한 재질(SS400) 및 두께(3 mm)로 되어 있으며 건조기 상부로부터 약 90 cm 위에는 철판으로 된 중 3층의 건물 바닥이 위치하여 폭발시 발생하는 과압을 안전하게 해소할 수 없는 구조임.

○ 폭발·화재 발생시 즉시 대피 미실시

- 폭발 또는 화재에 의한 산업재해발생의 급박한 위험이 있는 때에는 즉시 작업을 중지하고 공장 근로자를 안전한 장소로 대피시켜야 하나 1차 폭발이 발생한 후 공정조치는 이루어졌으나 근로자에 대한 즉시 대피 조치가 이루어지지 못함.

5. 사고예방대책

○ 표준안전운전절차 준수

- 공정안전보고서의 안전운전표준서 주의사항에 제시된 “헵탄 농도가 폭발하한(1.1 vol%) 이상 시 건조기 내부 출입을 절대 금지”를 준수하도록 하고 이를 위해 관리감독을 강화하는 한편 이에 대한 근로자 교육을 철저히 하여야 함.

○ 건조기 내부 부속설비 개선

- 건조기 각 단별 농도를 외부에서 확인 할 수 있는 시료채취 배관 등을 설치하여 주기적인 확인을 통하여 건조기 운전 중 내부의 농도를 확인을 할 수 있도록 하고, 건조기 내부 작업이 발생할 경우에는 출입전에 농도를 반드시 확인하여 폭발하한계의 25% 이하일 경우에만 출입할 수 있도록 하고 이를 안전운전표준서의 주의사항에 반영하도록 함.

○ 점화원 관리

- 정전기로 인한 화재·폭발의 위험성이 있는 장소에는 제전복, 제전화, 제전장갑을 비치하여 내부 출입시 필히 착용하도록 하고, 제전봉을 설치하여 출입 전 인체에 대전된 정전기를 제거한 후 출입을 할 수 있도록 하여야 함.

○ 건조기 구조 개선

- 건조설비는 폭발 발생시 과압을 해소할 수 있도록 상부를 가벼운 구조로 하고 측벽은 견조한 구조로 제작하고, 폭발방산구 설치 시 건조기 각 단별로 설치하여 폭발시 발생한 과압이 안전하게 배출될 수 있도록 하여야 함.
- 또한, 건조설비는 가급적 독립된 단층건물이나 건물의 최상층에 설치하고 상부가 막히지 않도록 하여 과압을 안전하게 해소할 수 있도록 하여야 함.

○ 폭발·화재 발생시 즉시 대피 실시

- 폭발 또는 화재에 의한 산업재해발생의 급박한 위험이 있는 때에는 즉시 작업을 중지하고 공장 근로자를 안전한 장소로 대피시켜야 하며, 이를 위하여 주기적인 비상조치 훈련을 실시하여야 함.

[관 련 사 진]



사진 1

사고발생 공정동 내부 전경



사진 2

폭발압에 의해 외부로 흰 건조기(1단) 측면 벽



사진 3

건조기 2단 건조공기 투입구 및 폭발압으로 파손된 롤



사진 4

건조기 (4단) 출입구

※ 정전기에 의한 화재·폭발 필요조건

물체의 정전용량 및 대전전압에 따른 점화에너지를 구하는 식은 다음과 같음.

$$\xi_{\min} = \frac{1}{2} CV^2 \text{ (J)} \text{-----}(1)$$

여기서 $\xi_{\min}$ = 최소점화에너지 (J)

C = 정전용량 (F)

V = 대전전압 (V)

- (1) 식으로부터 인체(정전용량 : 300 pF)로부터 방출되는 정전기에 의해 헵탄이 점화되는 데에 필요한 최소 대전전압(V)을 구하면 1,265 V이며, 이 정도의 값은 비닐바닥을 걸어갈 때 발생할 수 있는 전압임.

<물체가 갖는 정전용량의 개략치>

종류	정전용량 (pF)
Single screw	~1
Bolt	~1
Flange(nominal size 100 mm)	~10
Shovel	20
Small container(50 ℓ)	10~100
Funnel	10~100
Person	300
Insulated individual	100~300
Drum(200 ℓ)	100~300
Road tanker	1000
Large containers, reactors	100~1000
Rail tanker	~1000

* 출처 : 정전기안전, 김두현 외 4인, 동화기연, 2001. 그 외

<습도와 대전전압 예>

정전하가 발생하는 경우	정전기 전압[V]	
	10~20%의 상대습도	65~90%의 상대습도
· 카펫트를 걸어갈 때	35,000	1,500
· 비닐 바닥을 걸어갈 때	12,000	250
· 사람이 벤치에 앉아있을 때	6,000	100
· 작업지시서를 보기 위해서 비닐 포장을 개봉할 때	7,000	600
· 벤치에서 폴리에틸렌 백을 주워들 때	20,000	1,200
· 폴리우레탄 폼으로 덧대어진 의자에 앉을 때	18,000	1,500