

재해원인조사 의견서

한국 산업 안전 보건공단

이 의견서는 「산업안전보건법」 제56조에 따라 중대재해 원인조사를 실시하고 재해 원인에 대한 의견을 작성한 것으로

「산업안전보건법」 제56조의 ‘중대재해 원인을 규명하여 산업재해의 예방 대책 수립’을 통한 안전 확보에 이바지함을 목적으로 하고 있다.

그러므로 이 의견서는 산업현장의 안전·보건을 증진시킬 목적이외의 용도로 사용되어서는 아니 된다.

재해조사 의견서

1. 재해발생 사업장 개요

사업장명	천일페인트(주)	전화번호 (FAX)	
소재지	경기도 양주시	대표자	B
업종	도료제품 또는 유지가공제품제조업 (20904)	근로자수	73명
산재관리번호 (사업개시번호)		생산품 (사업내용)	페인트 등 (페인트 제조)

2. 재해자 인적사항 및 상해정도

연번	성명	출생년도	소속	고용형태	상해정도 (사망/부상)
1	A	1997년	천일페인트(주)	상용	부상 (손 2도, 얼굴 1도 화상)

3. 재해 발생 경위

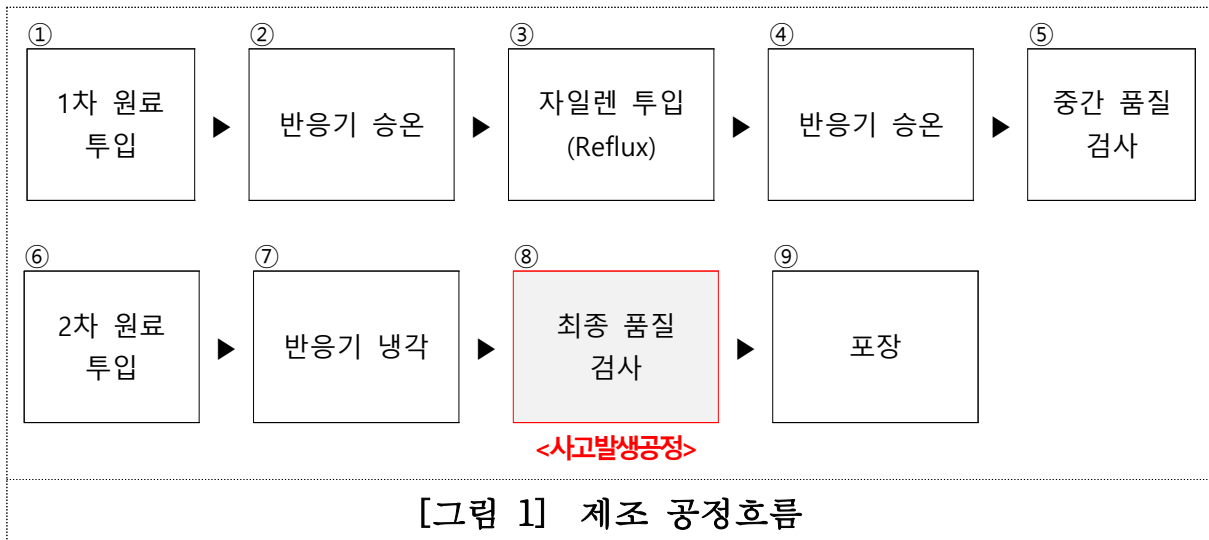
2023. 3. 22.(수) 08:15경 경기도 양주시 소재 천일페인트(주)의 수지 제조소 내 반응기(RX-104) 하부에서 페인트 중간제품 샘플링 작업을 위해 밸브를 반복 조작하는 과정에서 중간제품이 다량 누출되었고, 원인 미상의 점화원에 의해 화재가 발생하여 1명이 화상을 입은 사고임

* 사고물질은 인화성 물질 톨루엔, 초산부틸 및 자일렌을 30~40% 함유하고 있으며, 최종 제품인 목공용 상도 페인트(백색 또는 투명) 제조용으로 사용되는 중간제품

4. 재해조사 내용

4-1. 사고 공정개요

□ 사고 발생 공정 흐름도(중간제품 제조 공정)



- 사고 발생 공정은 최종 제품인 목공용 상도 페인트를 제조하는데 필요한 중간제품을 제조하는 공정으로, 원료 투입 및 승온 반응 과정을 거쳐 드럼에 포장 후 사용하고 있음

① 1차 원료 투입: 중간제품 제조를 위해 반응기에 글리세린, 피마자유, 프탈산을 투입

② 반응기 승온: 반응기 온도를 ○ ℃까지 승온 후 ○시간 유지

③ 자일렌 투입: 반응기 온도를 ○ ℃까지 승온 후 자일렌을 투입하여 Reflux를 ○시간 동안 진행(반응 부산물인 물(H₂O)을 제거하기 위한 목적)

④ 반응기 승온: 반응기 온도를 ○ ℃까지 승온 후 ○시간 유지,
(Reflux 공정) 반응기 온도를 ○ ℃까지 승온 후 ○시간 유지

⑤ 중간 품질검사: 산가¹⁾ 측정을 통해 1차 원료 반응물의 품질 검사

1) 산가 측정: 산가는 시료 1 g 중에 존재하는 유리지방산을 중화하는데 필요한 수산화 칼륨(KOH)을 mg 수로 표시한 것으로, 산가 측정을 통해 반응도를 검사함

⑥ 2차 원료 투입: 자일렌, 초산부틸, 톨루엔을 투입

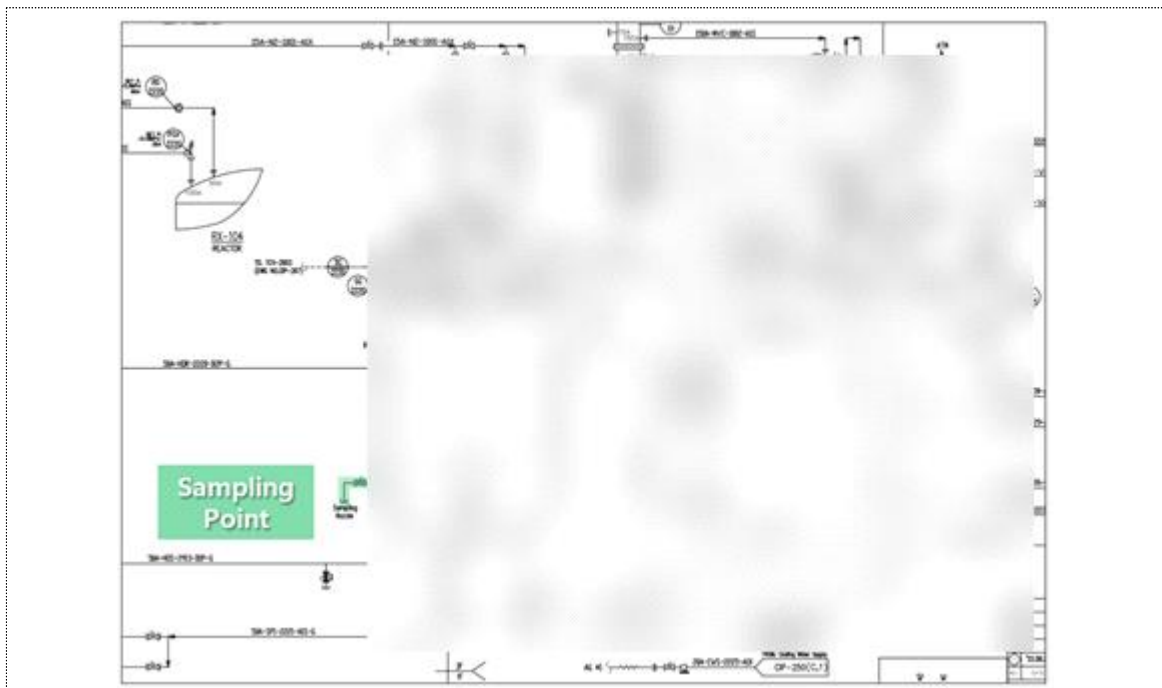
⑦ 반응기 냉각: 반응기 온도를 ○ °C까지까지 냉각

⑧ 최종 품질검사: 생산된 중간제품의 산가 및 점도 측정을 통한 최종 품질 검사

⑨ 포 장 : 품질검사가 완료된 중간제품을 포장용기(철제드럼, 200 L)에 담아 포장

4-2. 사고 발생 공정

○ 중간제품 제조설비 P&ID



[그림 2] 사고 발생 설비 P&ID (반응기)

○ 사고 발생 설비 현장 전경



[사진 1] 사고 발생 반응기 하부

○ 사업장 및 사고 발생 위치



[그림 3] 사고 발생 건물(수지제조소) 및 사고 설비의 위치

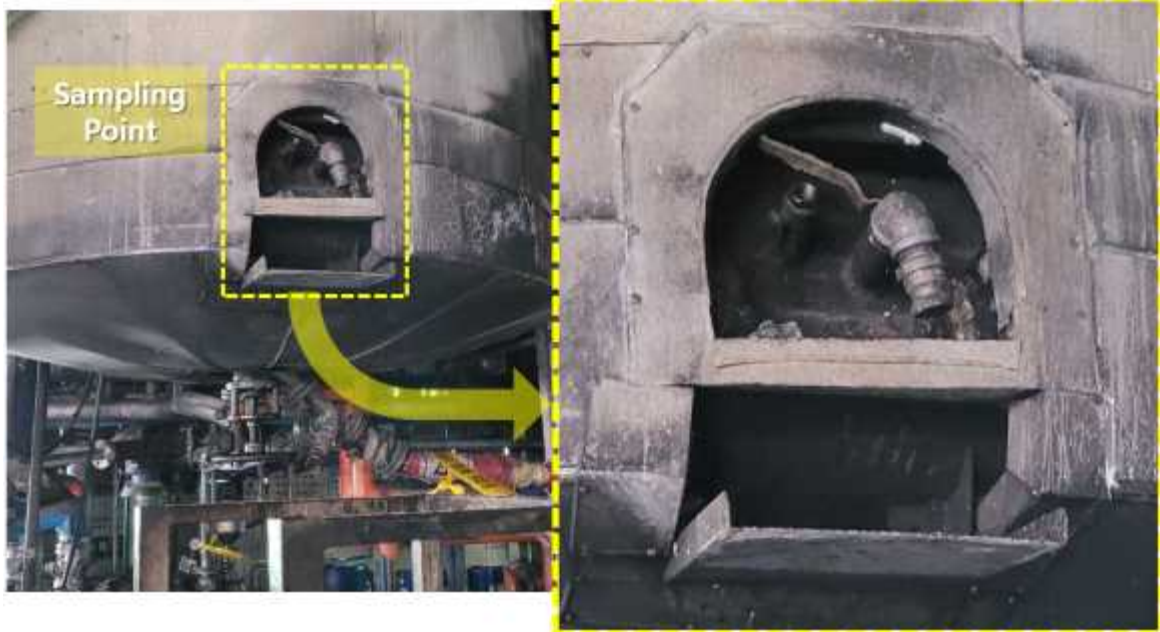
- 금번 사고는 수지제조소 2층 반응기 하부에서 반응이 끝난 중간제품의 최종 품질 검사*를 위한 샘플링과정 중 발생함

※ 중간제품 최종 품질 검사는 기술연구소 작업자(재해자)가 반응기 하부 샘플링 노즐의 밸브를 조작하여, 정해진 용기에 소량을 샘플링하여 최종 검사를 실시함

4-3. 사고 발생 설비

○ 반응기

설비제원 [mm]	설계압력 [MPa]	설계온도 [°C]	재질 (본체)	사용두께 [mm]	비 고
ID 1,415 * H 1,630 (2,500 L)			STS304	4	Jacket(냉각수용) 및 Coil(열매용) 포함



[사진 2] 사고 발생 반응기와 동종의 반응기 하부

- 사고 설비는 통상 월 5회 사용되는 설비로, 최근 사용이력은 사고발생 1주일 전임
- 샘플링 밸브는 STS304 재질의 25A 사양의 밸브가 사용됨

4-4. 사고 발생 물질

○ 사고 발생 물질: 중간제품

물질명		CAS No.	인화점	증기압	도전율	최소점화 에너지
	알키드폴리올		자료 없음	자료 없음	자료 없음	자료 없음
	톨루엔		4 °C	28.4 mmHg (25°C)	< 1 pS/M	0.24 mJ
	초산부틸		22 °C	11.5 mmHg (25°C)	4,300 pS/M	자료 없음
	자일렌		25 °C	8.8 mmHg (25°C)	0.1 pS/M	0.2 mJ

※ 사업장에서 사용하고 있는 MSDS 참조하여 기재하였으며, 도전율 및 최소점화 에너지는 KOSHA GUIDE E-188-2021「정전기 재해예방에 관한 기술지침」의 별표2에서 발취함

4-5. 사고 발생 과정

날짜	시간	사고발생과정
3/22(수) ²⁾	~ 06:00경	• 중간제품 의 제도가 완료
	08:00경	• 야간근무조인 C 사원이 기술연구소 D 대리에게 조업이 완료되었음을 알림 • 기술연구소 D 대리가 재해자(A사원 ³⁾)에게 샘플링 지시
	08:15경 [사고 발생]	• 재해자가 샘플링 용기를 들고 샘플링 노즐의 밸브를 개방하였으나 내용물이 나오지 않아, 밸브 개폐를 반복 조작하는 과정에서 반응기 내부의 중간제품이 다량 누출됨 • 중간제품이 누출되는 과정에서 원인 미상의 점화원에 의해 화재가 발생하였으며, 화염이 재해자의 손으로 확대되어 밸브를 닫지 못하였고, 작업대를 내려와 초기 진화를 시도함
	08:20경	• 초기진화에 실패 후 소방서에 신고(E 차장)하고, 손 등 및 안면부에 화상을 입은 재해자는 병원으로 후송

2) 사고 당일 기온은 7.7 °C, 습도는 60%로 파악됨(기상청 동두천 관측소 3월 22일 08시)

3) 2021년 입사자로 샘플링 작업경험이 있음



① 샘플링 작업 준비



② 작업대로 이동



③ 화재 발생 후 긴급하게 대피



④ 초기 진화 시도

[사진 3] CCTV 영상

5. 조사자 의견

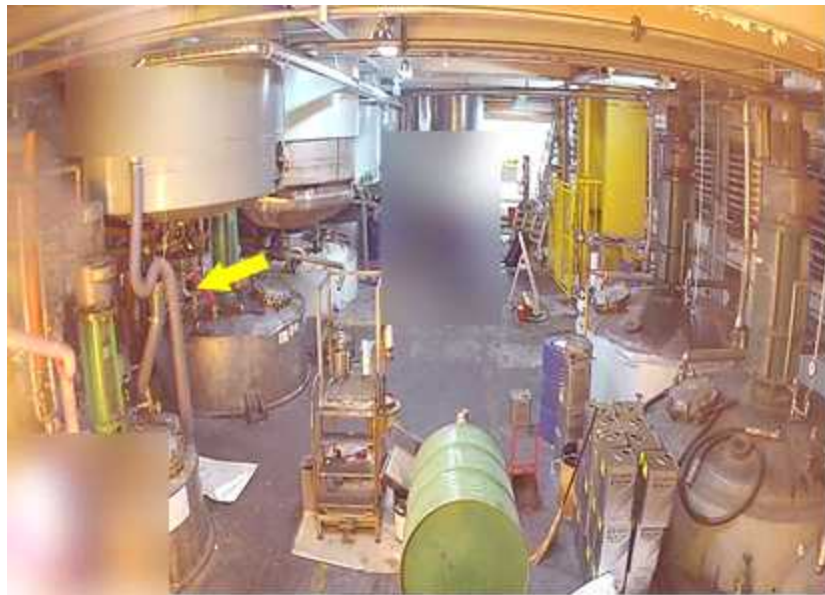
5-1. 화재 원인(화재의 3요소) 분석



폭발·화재가 발생하기 위해서는 가연성 물질(폭발 위험 분위기 형성), 점화원, 공기(산소)가 공존해야 하므로 이를 기준으로 다음과 같이 추정함

㉠ 가연물(인화성 액체의 유증기)

- 반응기에서 반응을 마친 중간제품(톨루엔, 초산부틸 및 자일렌을 30~40% 함유)을 샘플링하는 과정에서 밸브를 통해 다량의 중간제품이 누출됨
- 제조가 완료된 이후 약 ○시간이 경과 하였더라도 반응기 내부는 고온을 유지하고 있었을 것으로 추정(통상 ○℃ 이상)되며, 이로 인해 중간제품이 누출됨과 동시에 인화성 액체의 증기도 다량 발생했을 것으로 사료되며,
- 사고당시 영상(CCTV)을 통해 작업 중 국소배기장치 후드를 사용하지 않은 것이 확인되었고, 고온의 인화성 액체가 대기 중으로 누출되어 발생된 증기가 정상적으로 배기될 수 있는 상황이 아니었던 것으로 판단됨



[사진 4] 사고당시 CCTV 영상

(국소배기장치 후드 미사용)

② 공기(산소)

- 샘플링은 실내 개방된 장소에서 작업하므로 누출된 물질은 작업장 내에 있는 공기 중 산소와 상시 접촉할 수 있는 조건이었음
- 따라서, 누출로 발생된 인화성 액체의 증기는 공기 중 산소와 혼합되어 폭발 분위기를 조성한 것으로 추정됨

③ 점화원(정전기)

가) 정전기 발생

○ 정전기 발생에 유리한 톨루엔 및 자일렌의 물질 특성

- 사고발생 물질을 구성하고 있는 톨루엔 및 자일렌은 도전율이 각각 1.0 pS/m , 0.1 pS/m 로 부도체의 비도전성 액체로서 정전기 발생에 유리한 특성을 갖고 있음

※ 도전율에 따른 절연 특성 구분

구분	도전율	체적 저항율
도체	10^4 pS/m 이상	$10^8 \text{ }\Omega\text{m}$ 이하
반도체	$10^2 \sim 10^4 \text{ pS/m}$	$10^8 \sim 10^{10} \text{ }\Omega\text{m}$
부도체	10^2 pS/m 이하	$10^{10} \text{ }\Omega\text{m}$ 이상

○ 정전기 발생 메커니즘

(추정 1) 스플래쉬 필링(Splash Filling)⁴⁾에 의한 정전기 발생

- 재해자가 샘플링 밸브를 최초 개방 후 내용물이 나오지 않아, 밸브를 반복 조작하는 과정에서 중간제품이 순간적으로 방출되었음
- 이때 샘플링 용기로 중간제품이 쏟아지며 유동대전, 충돌대전에 의한 정전기가 발생하기 쉬운 조건이었음

- 유동 대전: 중간제품이 샘플링 노즐을 통해 고속으로 배출(약 4.7 m/s)될 때, 중간제품과 샘플링 노즐이 접촉하여 유동 대전이 발생하였을 것으로 추정
- 충돌 대전: 분출된 중간제품이 샘플링 용기 바닥 및 벽면과 충돌·마찰하였고 분출된 중간제품 입자들 간의 상호 충돌에 의해 정전기가 발생하였을 것으로 추정

4) Splash Filling: 인화성 액체를 용기에 충전할 때 인화성 액체와 용기의 충돌·비산으로 인하여 정전기가 발생할 수 있는 현상으로, 정전기 대전 원인 중 유동대전과 충돌대전이 발생할 수 있음

※ 사고 당시 중간제품 배출 유속(추정)

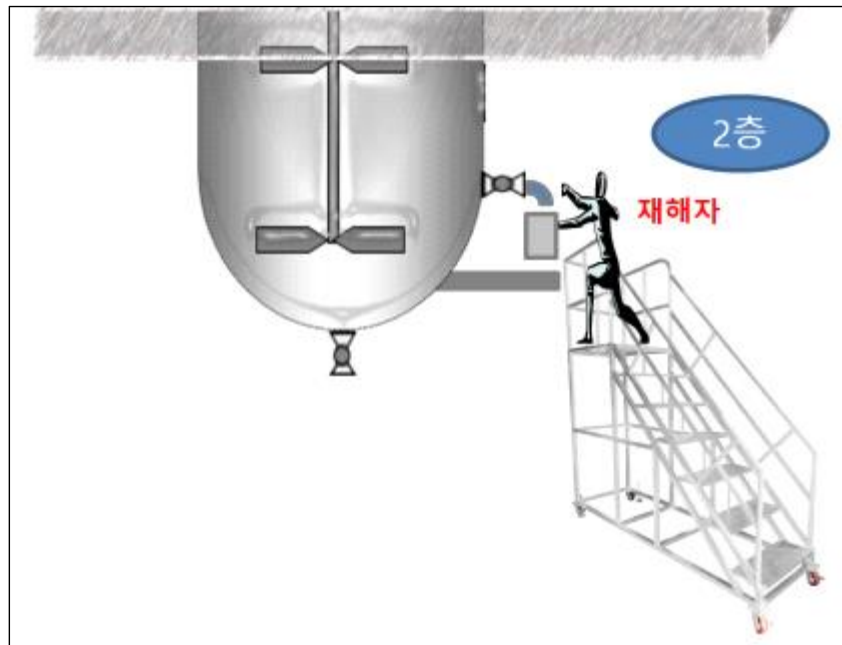
- 반응 후 반응기 내부는 상압이었으며, 액위는 약 70% 였다는 사업장 관계자 진술 참조.
또한, 점성은 물과 유사한 것으로 가정하였음.
- 중력가속도(g) = 9.8 m/s^2
- 높이(h) = 반응기 높이 $\times$ 0.7
= $1.63 \text{ m} \times 0.7 = 1.14 \text{ m}$
- 계산된 유속(v) = $\sqrt{2gh}$ (※ 토리첼리의 정리(Torricelli's theorem))
= $\sqrt{2 \times 9.8 \times 1.14} = \underline{4.7 \text{ m/s}}$

【 참고 : 정전기 재해예방에 관한 기술지침 (KOSHA GUIDE, E-188-2021) 】

8. 배관 및 그 부속기기

8.4 충전용 배관(Fill pipe)

- (1) 충전용 배관은 도전성이어야 하고, 충전용 계통과 본딩을 한다. 또한 충전용 배관의 끝을 용기의 바닥까지 연장하고, 바닥면 근처에서 액체의 흐름이 수평으로 전환되도록 45도의 팁(Cut tip) 또는 티(Tee)를 부착한다.
- (2) 초기 충전 시 액체가 상부방향으로 분사되지 않도록 설계하고, 충전 배관의 출구가 배관 직경의 2배 이상이 액체에 잠길 때까지 인입측 속도를 1 m/s 이하로 유지시킨다.



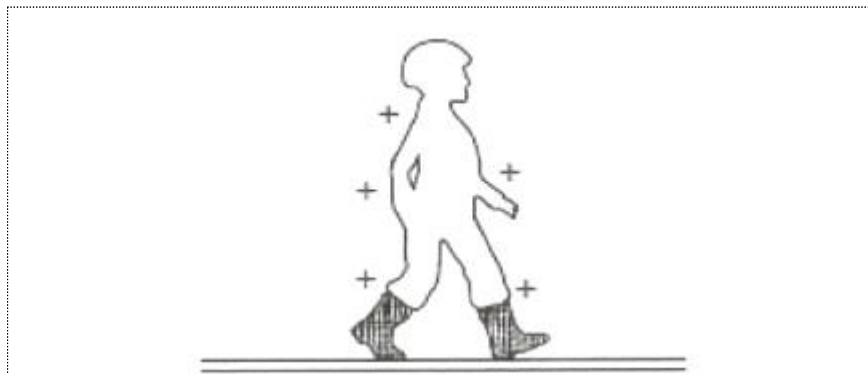
[그림 4] 샘플링 작업 당시 상황 모식도



[사진 5] 금속 재질의 샘플링 용기
(500 ml, ID 85mm * H 110mm)

(추정 2) 작업자의 인체 대전

- 사고 당시 작업자는 정전기 방지 기능이 있는 작업복을 착용하고 있었으나, 제전화 및 그 외 인체의 정전기 방지를 위한 Anti-static wrist strap 또는 toe strap⁵⁾ 등과 같은 제전 물품은 사용되지 않아 인체에 정전기가 발생할 경우, 전기적으로 고립된 상태였던 인체에 정전기가 축적될 수 있는 조건임



[그림 5] 절연바닥 또는 절연화 착용 근로자의 전하 축적

※ 출처 : 정전기 재해예방에 관한 기술지침 (KOSHA GUIDE, E-188-2021)

-
- 5) Anti-static strap: 손목 또는 발목 등 인체에 착용하고 접지 또는 접지가 된 설비에 연결하여 인체에 쌓인 정전하가 접지를 통해 해소되도록 하는 인체 정전기 대전 방지 목적의 보호 장구임

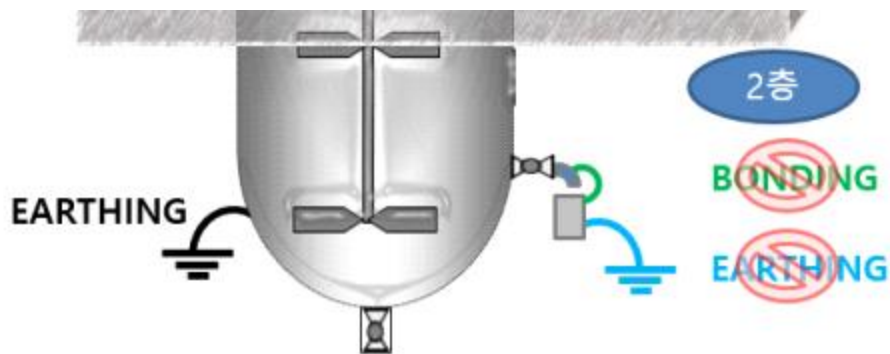
설비 또는 접지와 연결하기 위한 클립, 1 MΩ의 저항을 갖는 배선 절연피복이 있는 배선으로 구성되며 배선의 저항체는 공정에 사용하는 전기기계·기구의 전압에 따라 더 높은 저항을 갖도록 설계하여야 함



[사진 6] 인체 정전기 방지를 위한 제전용 제품들(예시)

나) 정전기 축적

- 사고 설비 인근에서 접지선 등이 확인되지 않은 점과 접지 또는 본딩선 연결 없이 샘플링 용기를 들고 작업했다는 사업장 관계자의 진술에 따라, 샘플링 용기에 대해서는 별도로 본딩 또는 접지가 실시되지 않았던 것으로 판단됨



[그림 6] 샘플링 용기에 대한 접지 및(또는) 등전위 본딩 미실시

- 샘플링 당시 작업자가 고무로 코팅된 장갑을 끼고 샘플링 용기를 들고 있었으며, 접지 또는 본딩이 되지 않아 전기적 경로가 차단된 샘플링 용기에 정전기 축적이 발생했을 가능성이 있음

【 참고 : 정전기 재해예방에 관한 기술지침 (KOSHA GUIDE, E-188-2021) 】

9. 이동 탱크

9.6 용량 20 L 이하의 휴대형 용기

9.6.2 샘플링용 용기

(1) 용기 외부에 폭발성 분위기가 존재하면 점화위험이 크게 증가한다, 예를 들면, 탱크에서 직접 샘플링을 하거나 통로 근처로 샘플을 이동시킬 때 화재 또는 폭발의 위험이 있으므로, 이때에는 접지된 금속 샘플이나 접지된 금속 샘플 케이스 내의 유리병을 사용한다.

다) 전위차 발생에 따른 정전기 방전

(추정 1) 정전기가 축적된 샘플링 용기의 방전 현상

- 본딩 또는 접지가 되지 않은 샘플링 용기에 정전기가 축적되어 전위가 상승한 상태에서 샘플링 용기와 접지된 반응기에 전기적 연속성이 있는 샘플링 노즐이 근접 또는 접촉할 경우, 이 사이에서 샘플링 용기에 축적된 정전기가 샘플링 노즐을 통해 방전되는 현상이 발생할 수 있음

(추정 2) 인체대전에 의한 방전 현상

- 작업 중, 정전기가 축적된 인체와 반응기 본체(또는 샘플링 노즐)사이에서 발생한 전위차로 인해 방전될 가능성이 있음

라) 정전기 방전에 의한 점화

- 발생한 정전기의 전위가 공기의 절연을 파괴할 수 있는 전압(약 30 kV/cm) 이상으로 상승하거나 대전물이 접지된 도체와 수 mm 이내로 접근할 경우, 샘플링 용기 인근 또는 인체로부터 정전기 방전이 발생하고 이때 발생한 에너지에 의해 공기와 혼합되어 폭발위험분위기가 형성된 샘플링 용기 인근 인화성 액체의 증기가 점화되었을 것으로 추정됨

☑ 톨루엔 및 자일렌의 최소 점화에너지는 각 각 0.24 mJ, 0.2 mJ 이므로, $\frac{1}{2}CV^2$ 식에 의해 인체(100~200 pF)를 기준으로 검토 시 약 1.4~2.2 kV의 전압이 필요하며 이 정도의 정전압은 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

5-2. 재해발생 원인

① 정전기 등 점화원 발생 억제조치 미흡

(추정 1) 샘플링 용기의 접지·본딩 미실시로 인한 정전기 축적 및 방전

- 인화성 액체 등을 취급할 때는 정전기에 의한 화재 및 폭발을 예방하기 위해 설비와 설비 사이에 등전위 조치를 하고, 등전위 접지가 된 설비 등은 접지시설에 연결하여 정전기 발생을 억제하여야 하나 샘플링 용기에 축적된 전하의 해소가 원활하지 않은 상태(접지 또는 본딩 미실시)로 작업하여 정전기 축적 및 방전 현상에 의해 화재 및 폭발이 발생되었을 것으로 추정됨
- 또한, 샘플링 노즐 통해 인화성 액체를 샘플링하는 경우 노즐 끝단이 샘플링 용기에 인입되는 구조 설계하여 스플래쉬 필링이 되지 않도록 조치하고, 노즐 끝단이 액체에 잠길 때까지 인입속도를 1 m/s 이하로 유지하여 정전기가 발생하는 것을 최소화해야 했으나, 사고 당시에는 스플래쉬 필링이 발생할 수 있는 상태에서 작업하여 인화성 액체의 유동·충돌에 의해 정전기가 대전되어 방전 현상에 의해 화재 및 폭발이 발생되었을 가능성이 있음

(추정 2) 인체 대전에 의한 정전기 발생 예방 조치 미흡

- 인체로부터 발생하는 정전기 예방을 위해 작업 전 정전기 해소 Touch pad 접촉, 전하 방전 팔찌 착용 등의 조치가 미흡하여 인체에 대전된 정전기가 방전되면서 화재가 발생했을 가능성이 있음

☞ 톨루엔 및 자일렌 물질 특성상 전기전도도(1 pS/m 및 0.1 pS/m)가 낮아 절연체에 가까워 고속주입 시 스플래쉬 필링에 의해 정전기가 발생할 가능성이 높은 점,

☞ 발생한 정전기가 접지되지 않은 철제 샘플링 용기에 축적되어 전압상승으로 인한 방전 현상이 발생하여 화재가 발생한 것으로 예상되는 바, (추정 1)이 가능성이 높은 것으로 판단됨

② 인화성 물질의 누출 예방 대책 미흡

- 폴리올의 특성상 점도가 높은 점을 고려할 때, 단열조치 되지않은 샘플링 노즐의 밸브 조작이 용이하지 않아 신속한 밸브폐쇄가 이루어지지 않음
- 샘플링 밸브를 이중화하지 않아 샘플링량을 필요 최소한으로 제한하는 조치가 미흡하여 인화성 물질의 다량 누출이 발생

③ 작업자 교육 및 위험성 평가 등 관리적 대책 미흡

- 인화성 물질을 이동식 용기를 통해 샘플링 할 경우, 정전기 예방을 위해 접지를 실시하여야 하나 사고 발생 당시 작업자가 접지 미실시
- 인화성 물질이 대기로 노출되는 경우, 화재·폭발이 발생할 수 있는 위험성을 고려하여 국소배기장치 및 접지설비의 설치 등 위험 감소대책 방안을 수립하여야 하나 이를 위한 위험성평가 미실시

④ 안전운전 절차서 미작성 등 절차적 대책 미흡

- 인화성 물질을 샘플링 하는 작업에 대한 작업위험성평가를 통한 안전운전 절차서를 작성하지 않아 작업에 필요한 안전대책이 수행되지 않음

5-3. 재해예방대책

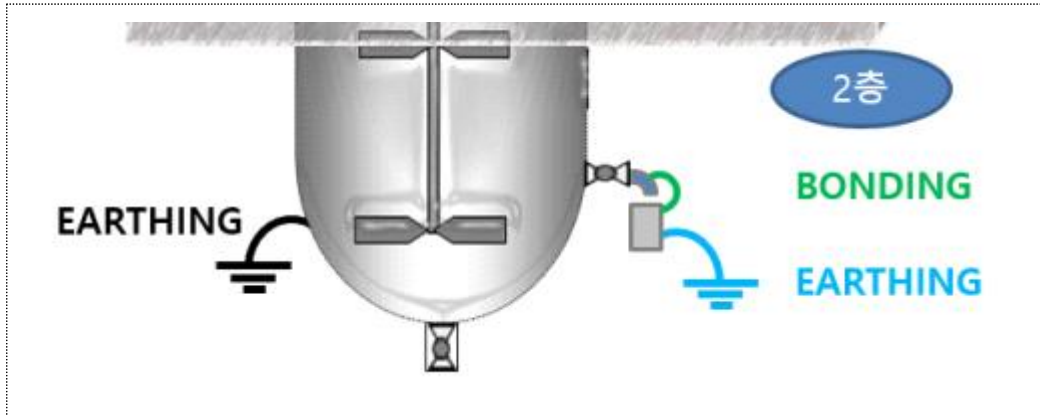


화재의 3요소는 가연물, 산소(산화제), 점화원이고 이 중 어느 하나라도 제거 한다면 화재가 발생할 수 없으므로 화재의 3요소 중 하나를 제거하는 방향으로 사고예방대책을 제시함

① 점화원 통제

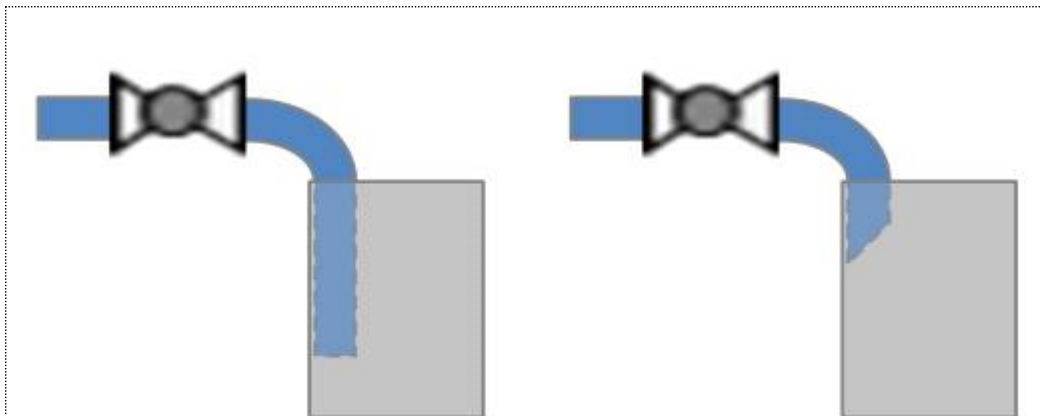
○ 정전기 발생(방전) 억제

- (접지 및 본딩 실시) 적어도 둘 중 하나의 물체는 비도전체(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 발생됨
- 위와 같은 조건에 의한 정전기 발생을 억제하기 위해서 두 물체 모두 접지를 하여 대전 상태가 되지 않도록 유지하고 두 물체 간 등전위 본딩을 실시하여 전위차를 해소하는 것이 중요함([그림 9] 참조)



[그림 7] 샘플링 용기에 대한 접지 및(또는) 등전위 본딩(예시)

- (최대 주입속도 준수 및 정체시간 반영) 인화성 물질을 이송할 때는 유속 (1 m/s이하)을 느리게 하여 전하의 축적을 감소시키는 것과 물질 주입 완료 후 정체 시간을 두어 물질에 쌓여 있던 전하가 자연적으로 방전되도록 조치하는 것이 필요함
- (샘플링 노즐을 샘플링 용기 깊게 투입) 샘플링 용기에 인화성 액체를 주입할 때, 노즐을 샘플링 용기 내로 깊게 삽입되는 형태로 반영하고 액면이 노즐 끝단보다 높아지기 전까지 가능한 인화성물질의 이송 속도를 낮춰 스플래쉬 필링으로 인한 정전기 과다 발생을 억제할 수 있음([그림 8] 참조)



[그림 8] 개선된 샘플링 노즐 (예시)

- (인체 및 작업복의 정전기 해소) 인체에 대전된 전하를 해소하기 위해서 전하 방전 기능이 있는 팔찌 착용 등의 조치가 필요하여, 작업장 내에 정전기 해소 Touch Pad를 추가로 설치하여 수시로 접촉하도록 함으로써 인체 및 작업복에 축적된 전하가 안전하게 해소될 수 있도록 조치하는 것이 필요함

【참고 : 화학물질의 취급 및 시료채취 등에 관한 기술지침 (KOSHA GUIDE, P-167-2020)】

6. 위험물질별 취급 필수 요구사항

6.3 인화성 가스 및 액체

9.6.2 샘플링용 용기

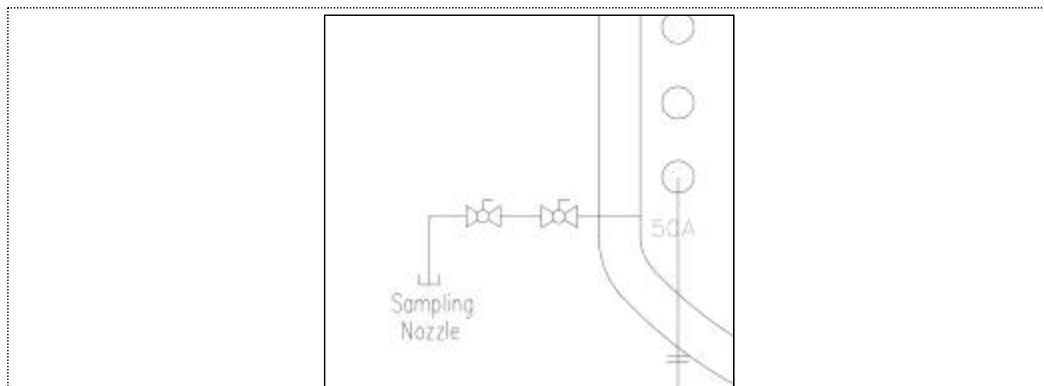
(7) 시료 채취는 정전기 발생을 최소화하기 위하여 유속은 1 m/s 이하가 되도록 하고, 채취기는 바닥에 가능한 가깝게 하며, 금속용기는 접지하여야 한다. 만약 접지가 어려운 경우에는 채취 후에 20분 이상 정체시켜 축적된 정전기를 완화시켜야 한다.

(8) 시료 채취자는 제전복과 제전화를 착용하여야 한다.

② 설비 개선을 통한 인화성 물질의 누출 최소화 등

○ 샘플링 밸브 이중화 및 국소배기장치 후드 사용

- 샘플링 노즐에 밸브를 이중화하여 샘플링 작업시 밸브 개폐를 순차적으로 실시함으로써, 작업자 조작 실수 또는 조작 실패로 인한 물질 누출의 피해를 최소화할 필요가 있음([그림 9] 참조)

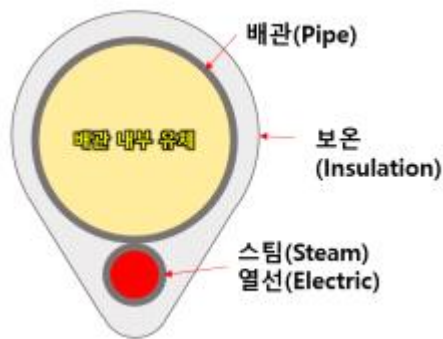


[그림 9] 샘플링 밸브 이중화 (예시)

- 또한, 샘플링 작업 위치에 후드를 고정 설치하여 샘플링 중 발생하는 인화성 액체의 증기가 작업장 내로 확산하는 것을 방지할 필요가 있음

○ 샘플링 노즐에 대한 보온 조치

- 샘플링 노즐의 밸브 및 배관에 트레이싱(Tracing) 및 보온(Insulation) 등의 조치를 통해 일정 온도를 유지하여, 샘플링 노즐에서 제품이 응고되는 것을 방지할 필요가 있음([그림 10] 참조)



(a) 트레이싱 및 보온 내부



(b) 배관 보온 사례

[그림 10] 트레이싱과 보온 사례

③ 작업위험성평가를 통한 작업 표준작성 및 교육

○ 정전기로 인한 화재 위험성 및 작업 절차에 대한 주기적인 교육

- 정전기 방전으로 인한 인화성 증기 점화 위험성에 대해 관리감독자 및 작업자 모두 주기적으로 교육하여 경각심을 갖도록 해야 하며, 샘플링 작업을 할 때 샘플링 용기에 접지 또는 본딩을 반드시 실시해야 한다는 작업 절차를 수립하고, 준수하도록 주기적으로 교육할 필요가 있음

○ 위험성 평가 실시를 통한 지속적 개선

- 인화성 물질을 대기에 개방상태로 취급하는 경우 발생하는 인화성 액체의 증기가 대기 중의 산소와 매우 쉽게 혼합되어 폭발위험분위기를 형성하고 공정 외부로부터의 점화원에 매우 취약한 상태가 되므로 이에 대한 개선사항을 도출하기 위한 위험성평가를 실시하여 개선하는 것이 필요함