

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 목적 이외의 용도로 사용되어서는 아니 된다.

재해조사 의견서

1. 재해발생 사업장 개요

사업장명	(주)감로파인케미칼	전화번호 (FAX)	
소재지	경북 칠곡군	대표자	B
업종	도료제품 또는 유지가공제품 제조업	근로자수	27명
산재관리번호 (사업개시번호)		생산품 (사업내용)	도료 등

2. 재해자 인적사항 및 상해정도

연번	성명	출생년도	소속	고용형태 (상용·일용·시간제 등)	상해정도 (사망/부상)
1	A	1997	(주)감로파인케미칼	상용	부상

3. 재해발생 경위

2023년 11월 15일(수) 09:17경 경북 칠곡군 소재 (주)감로파인케미칼 페인트 제조공정에서 피재자가 페인트 중간제품(Crude Paint) 물성 조정작업을 하던 중 화재가 발생하여 화상을 입음

※ Crude Paint(중간제품, 이하 원료페인트) : 용제, 수지, 안료 등을 배합한 후 1차 가공된 중간제품으로 첨가제, 용제 등을 투입하여 품질을 조정함으로써 최종제품이 됨.

4. 조사 내용

【본 현장조사 내용은 대구지방고용노동청 근로감독관과 합동 조사한 것으로 사업장관계자들이 진술한 내용과 현장조사에서 파악된 사항 위주로 작성하였음】

가. 사고발생 공정 및 발생 과정

1) 사고발생물질

원료명	구성성분	CAS NO.	인화점/발화점 (°C)	최소점화 에너지(mJ)	비고
원료 a			31/490 28/200	3~20 0.2	고상 액상
원료 b			-	-	고상
원료 c			28/200	0.2 (xylene)	액상
원료 d			-	-	고상
원료 e			-4.4/480	0.24	액상

2) 사고발생설비

가) 디졸버(Dissolver)

장치번호	장치명	명 세	주요재질	전동기 용량	기동 방식
	Dissolver	· Impeller D : 300mm · RPM : 0~1300	· Case : GC200 · Impeller : STS304 · Shaft : S45C	75HP	인버터

※ Dissolver : 회전축(Shaft)에 임펠러(Impeller)가 부착되어 강한 회전력(Shear)으로 용기 내 액상물질의 교반, 혼합, 용해, 분산, 탈포 등 목적으로 사용되는 장치

나) 조정탱크

장치 번호	장치명	내용물	용량	압력(MPa)		온도(°C)		비고
				운전	설계	운전	설계	
	조정 탱크	페인트 중간제품		ATM	F.L	AMB	AMB	

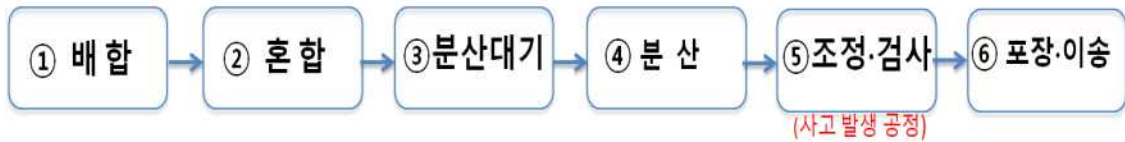


< 디졸버 >



< 조정 탱크-상부 >

3) 페인트 제조공정



< 페인트 제조공정 >

순서	공정	공정설명
1	배합 (계량포함)	작업지시서에 따라 수지, 체질안료, 희석제, 첨가제, 색소 등을 계량하여 용기(Vessel)에 투입
2	혼합 (Mixing)	배합된 원료를 교반기 등을 사용하여 혼합
3	분산대기	분산작업을 시행하기 전 균질성을 높이기 위해 정치시간 (약○시간)동안 대기
4	분산 (Dispersion)	제품의 점성 등에 따라서 1본밀~3본밀(Mill)을 사용하여 ○시간 동안 분산작업을 수행
5	조정 및 검사	1차로 완성된 제품의 샘플을 수거하여 검사 후 용제, 첨가제, 안료 등을 첨가하는 등 조정작업을 수행하여 최종제품을 생산
6	포장 및 이송	제품을 용기에 포장하여 제품 창고로 이송

나. 사고발생 과정

1) 피해현황

- 인명피해 : 1명(화상)
- 물적피해 : 제조공정 설비 일부 소손



<사고현장 전경>

2) 사고발생 과정(차장 C 등 관계자의 진술과 작업지시서에 의함)

- 11.13(월) 09:05 작업지시서에 따라 제품 생산을 위해 탱크에 수지, 용제, 원료 e 등을 투입하여 배합작업 수행
- 11.13(월) ~ 11.14(화) 혼합작업 및 분산 작업을 수행
 - ※ 작업지시서에 구체적인 내용이 기록되지 않아 차장 C 등 관계인의 기억에 의거 기술
- 11.15(수) 사고당일
 - 08:30 출근 및 대기방지시설(A/C타워) 가동 등 작업 준비
 - 08:40 차장 C가 ‘피재자 A’에게 당일 작업내용 설명 및 작업지시
 - ※ ‘피재자’에게 원료 e , 첨가제 등의 투입 시기 및 투입량을 구체적으로 지시하지 않았고, 원료 e 등을 투입할 때 사용하는 보조기구가 현장에 없어 용제 등의 투입작업은 없었을 것으로 보임.
 - ※ ‘피재자’가 당시 작업상황을 구체적으로 기억하지 못함.
 - 08:50 차장 C 차기 생산분(Batch) 원료를 준비하기 위해 1층으로 이동
 - 09:15 차장 C은 추가 작업지시를 위해 배합공정(2층)으로 이동
 - 09:15 ~17 디줄버를 가동하였을 것으로 추정
 - 09:17 사고발생

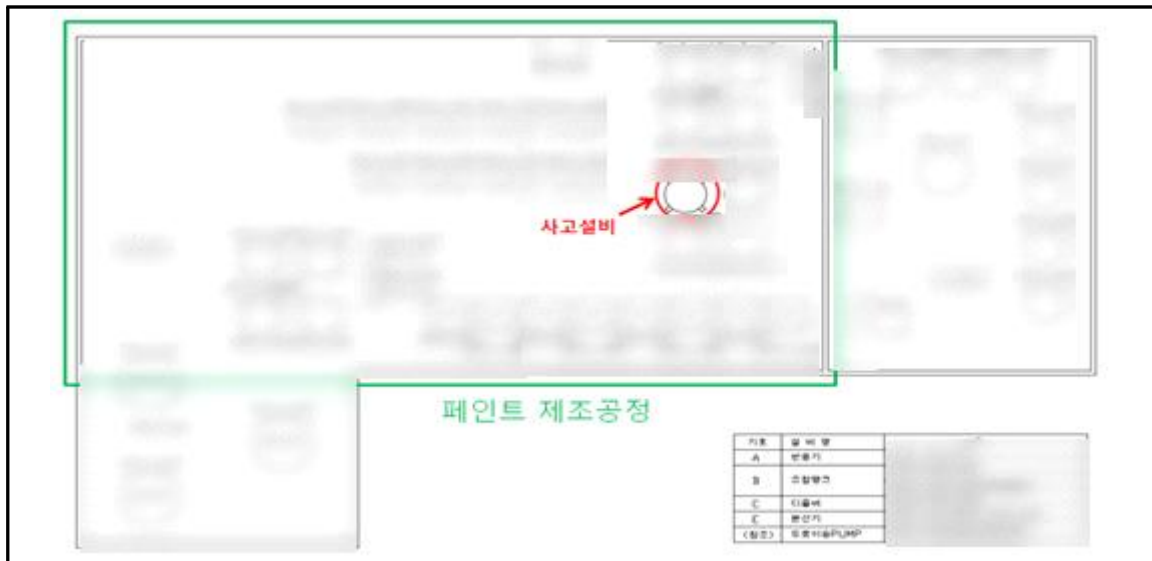
※ ‘피재자’는 구체적인 시간을 기억하지는 못하지만 디졸버 가동 후 약간의 시간이 지난 후 화재가 발생하였다고 진술 함.

- 09:17 사고발생 직후 2층 작업자 4명이 즉시 진화작업 시작

잠시 후 1층 작업자 4명 및 사무실 근로자 등도 진화작업 시작

※ ‘피재자’도 진화작업에 참여하였으며, 도중에 몸의 이상을 느껴 1층으로 이동했다고 함.

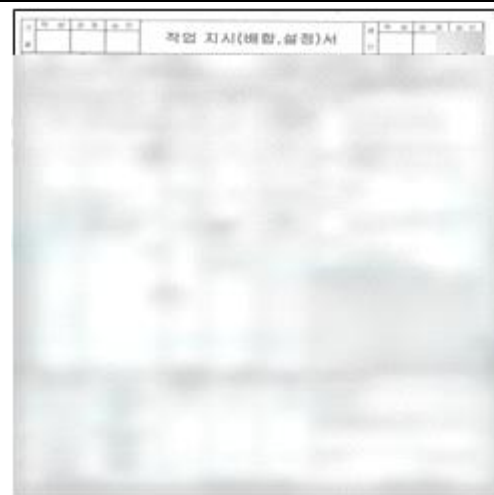
- 09:24 1층에서 팀장 D가 ‘피재자 A’ 를 발견 후 긴급세척 및 119 신고조치
- 09:27 초기 진화 완료
- 09:30 119 구급대 도착 및 응급치료 등 시행
- 09:40 119 구급대에 의해 ‘피재자 A’ 병원으로 이송



<페인트 제조 공정 및 설비배치>



< 페인트 공정 전경 >



< 작업지시서 >

다. 사고현장 확인내용

1) 피해현황 및 현장상태

가) 건축물

- 사고는 제조동 2층에 위치하고 있는 페인트 제조공정에서 발생하여 자체 인력에 의한 초기대응으로 약 10분 뒤 소화 완료됨. 건축물의 벽과 기둥, 지붕 등에 그을음(Soot)이 묻어있는 상태이나 물리적 파손이나 변형은 관찰되지 않음.



<사고설비 상부 지붕>



<사고설비 인근 건물 벽>

나) 전기 설비

- 전동기(Motor)

사고설비에는 디젤버 교반기 구동용(디젤버 뒤쪽에 설치되어 벨트를 통해 앞쪽 교반기를 회전)과 상승하강용 유압 전동기(디젤버 인근 바닥에 설치)가 설치됨. 전동기는 모두 방폭형임.

디젤버 구동용 전동기에는 그을음 등 화염흔과 열변형이 관찰되지 않았고, 유압용 전동기에는 그을음이 침착(沈着)되어 있으나 열변형 등 특이점은 관찰되지 않음.



<교반기 구동용 전동기>



<유압용 전동기>

- 조작판넬(Operating panel)

페인트 제조공정에는 설비조작 판넬이 여러 개 설치되어 있으며, 화재 열영향 범위내에는 사고 설비인 디젤버 조작판넬과 믹싱밀 조작판넬이 설치됨.

디젤버 조작판넬 외면과 조작용 플라스틱 손잡이(Knob)에는 그을음 등 화염흔과 약간의 열변형을 관찰할 수 있었으며, 믹싱밀 조작판넬은 오염방지용 비닐막이 열손상 되었으나 본체는 손상되지 않았음.

※ 디젤버 조작판넬은 추후 작동시험에서 정상 작동됨을 확인함.



<디젤버 조작판넬>



<믹싱 밀 조작판넬>

- 전선관 및 케이블 트레이 등

전기설비용 전선관은 전선용 후강 또는 철재 플렉시블 파이프가 사용되었으며, 케이블 트레이는 공장건물 상부에 설치됨.

화재 영향범위 이내의 전선관과 케이블 트레이 외부에 화염흔이 있고, 코팅피복이 연소열에 의해 눌려 붙어 있는 등 화재에 의한 약간의 변형이 관찰되었으나, 내부 케이블이나 전선 등의 심각한 파손 시 발생할 수 있는 절연 파괴 등은 관찰되지 않음.



<전선관 등 상태>



<전선 절연저항 측정>

다) 주변설비

교반, 믹싱 등에 사용되는 설비들이 설치되어 있고 화염에 의해 배기용 덕트가 소손되는 등의 피해가 있었으나 설비 본체의 열변형 등 심각한 피해는 관찰되지 않음.



<인근설비 피해(혼합)>



<인근설비 피해(믹싱밀)>

2) 사고설비 상태

가) 사고 시 운전상황

- 사고 당일 해당 설비는 조정작업이 진행될 예정으로 1차 가공된 상태의 원료페인트가 조정탱크 내부에 저장되어 있었고, 교반작업과 함께 솔벤트, 첨가제 등을 투입하여 최종제품 생산 예정이었음.

※ 담당자와 주변 작업자들의 이야기에 의하면 교반작업을 위해 디젤버 작동후(약 10~15분 정도 작동하였을 것으로 추정) 화재가 발생하였으며, 솔벤트와 첨가제 등의 투입여부는 확실치 않고, 설비 인근에서 소손된 드럼의 내용물과 용도도 확인되지 않았음.

- 사고설비인 조정탱크 인근에 디젤버가 설치되어 있음. 탱크 상부에는 철판재질의 덮개가 설치되어 있고, 중량계 및 수위계 등의 계측장치는 설치되지 않음.

상부덮개에는 교반기 임펠러 통입부, 원료 등 첨가를 위한 투입구, 배기덕트 연결구가 설치되어 있으며 통입부와 투입구는 모두 개방된 상태였고, 배기덕트는 연결배관 개폐밸브가 닫힌 상태로 운전됨.

※ 조정탱크 내부 인화성 증기는 배기덕트를 통해 건물외부에 설치된 대기방지시설에서 처리되도록 구성됨.



<덮개의 개구부>

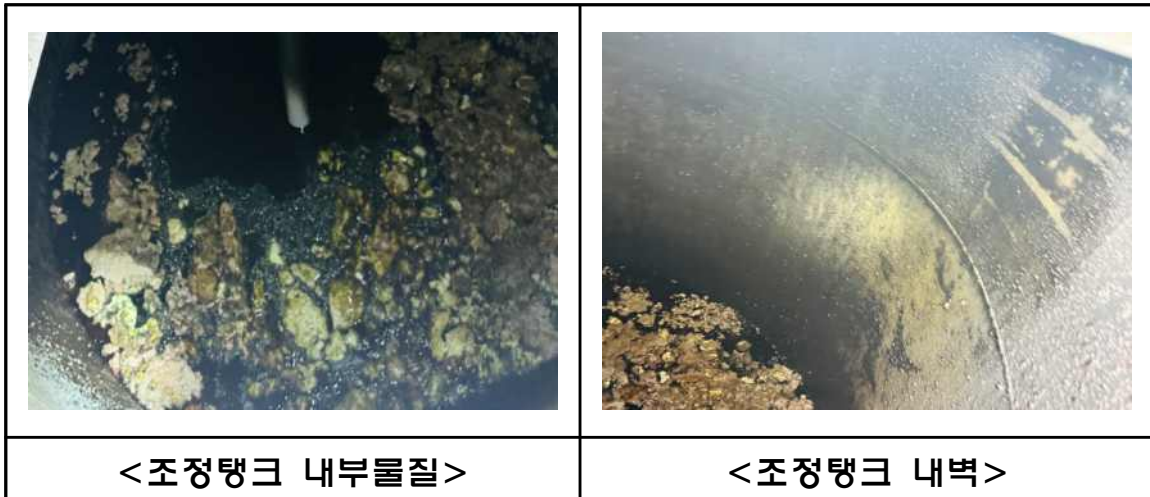


<배기덕트 밸브(닫힘)>

나) 조정탱크 내부 상태

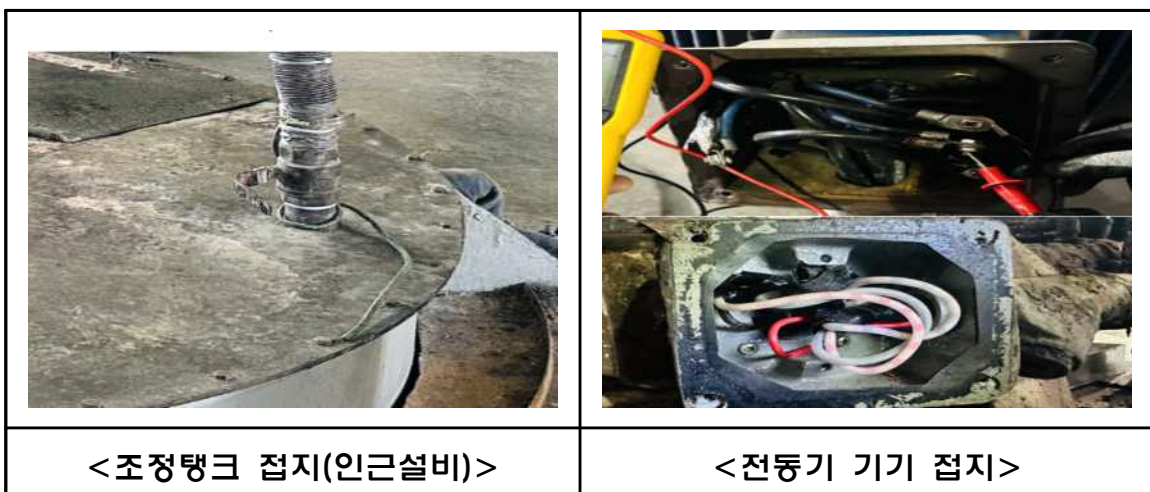
탱크 내부는 원료 페인트가 저장된 상태로 표면에 이물질이 많이 부유하고 있고, 내벽에는 그을음이 많이 부착된 상태임. 관계자에 따르면 탱크 내부 액위는 정상운전에 비해 조금 낮아진 상태로 보인다고 진술함.

※ 내부의 부유물은 분말소화약제인 것으로 추정되며, 화재 시 내부의 원료 페인트가 일부 연소되어 정상운전에 비해 액위가 조금 낮아진 것으로 추정.



다) 접지상태

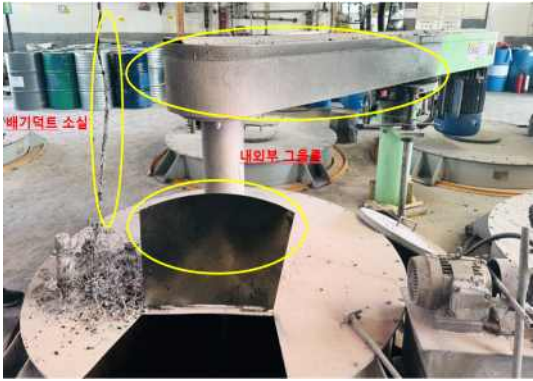
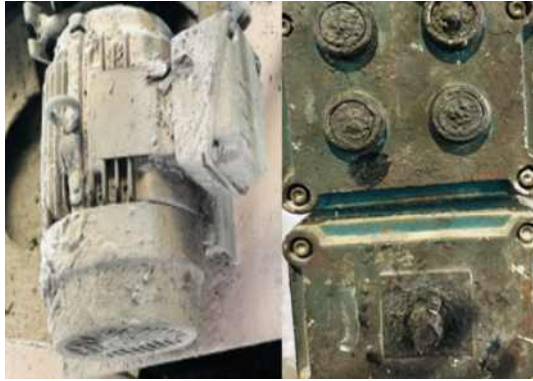
조정탱크 본체는 정전기 제거 목적의 접지를 실시하였으며, 전동기 등 전기설비도 기기접지를 실시함.



라) 사고설비의 손상상태

디젤버, 조정탱크 등 사고설비는 화재에 의한 그을음, 배기덕트 및 플라스틱류의 열변형과 소손이 발생. 철재구조물, 설비류는 이상변형 또는 작동부위의 기능불량은 발생하지 않음.

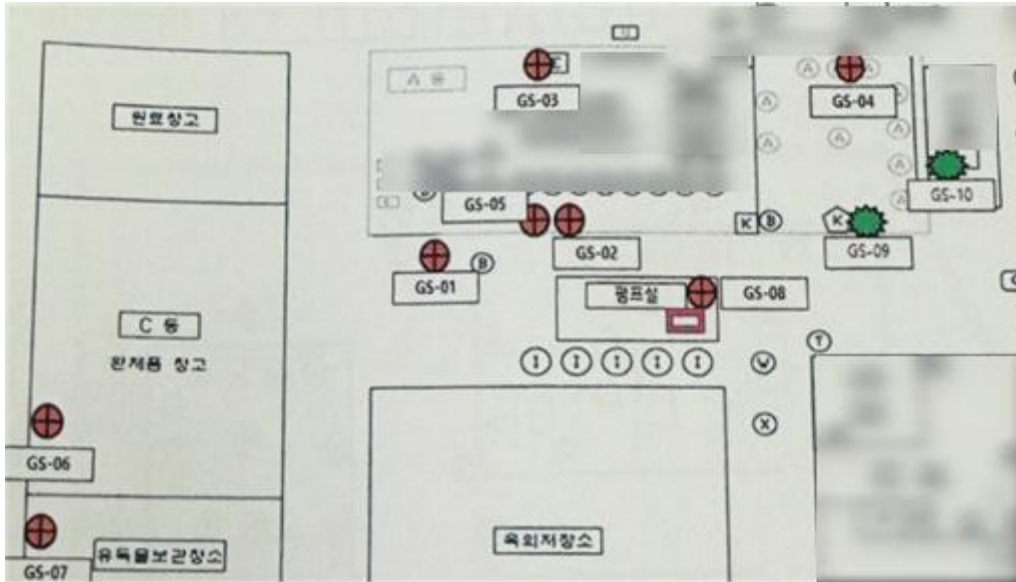
※ 사고 후 시행한 설비 작동점검 시 특이사항이 발견되지 않았음.

	
<디젤버와 조정용 탱크>	<화염에 의한 변형 및 소손>

3) 가스감지기 및 경보설비 설치상태

페인트 제조공정은 양쪽벽면에 가스감지기가 설치되어 있고, 연 1회 작동검사를 통해 적정기능 유지를 확인하고 있음.

※ 수신반에 감지기 측정농도를 저장하는 기능이 없어 사고당일 인화성 가스 (증기)의 감지여부를 확인할 수 없었음.



<페인트 공정의 가스감지기 설치 위치>

※ GS-1, GS-4, GS-5, 감지기는 지상 층에 설치되어 있음



<현장에 설치된 가스감지기>

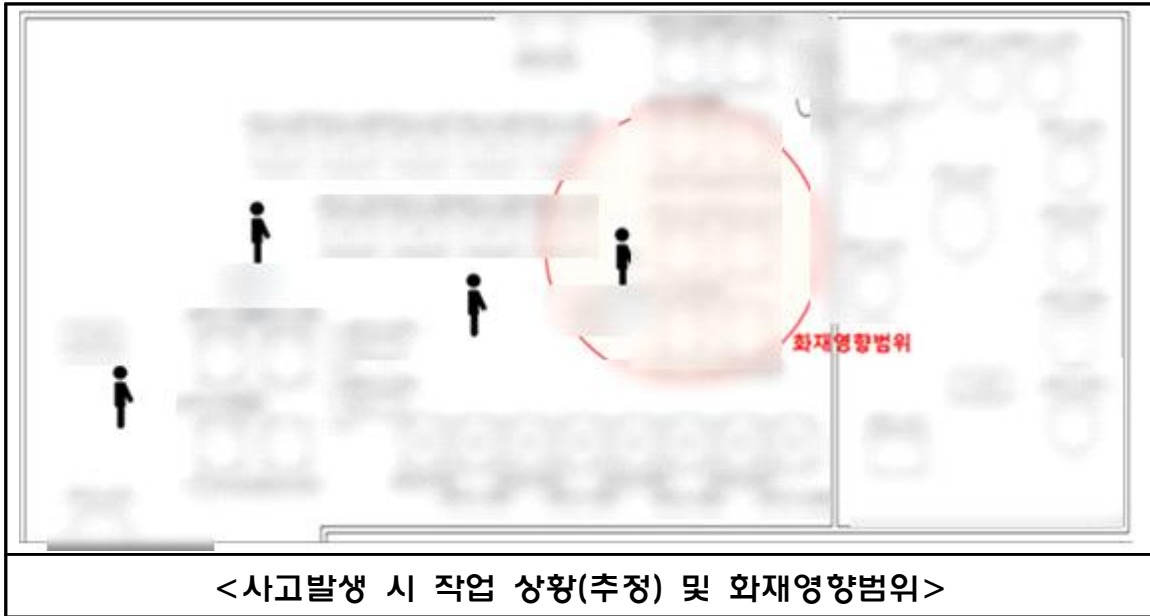


<수신반>

4) 페인트 공정 근로자들의 작업위치 및 화재 영향 범위

회사 관계자가 이야기한 내용과 현장 조사 시 관찰된 내용을 종합하여 사고 당시 근로자들의 작업위치와 화재에 의한 영향 범위를 추정하였음.

※ 현장 확인 시 화재영향범위는 사고설비인 조정탱크를 중심으로 반경 약 4m 이내인 것으로 조사되었음.



5) 페인트 공정 안전운전절차 검토

가) 위험물 누출 방지

- 작업시작 전 배기밸브를 개방하고 환기가 되는 지 확인하는 절차는 있으나 설비내부의 위험물이 외부로 누출되지 않도록 원료 투입구 등 개구부의 닫음 조치에 관한 사항은 규정하지 않음.

설비 운전표준 및 안전수칙		
설비명	디졸버	
		
운전표준		
1. 배합 탱크 용량은 작업지시서를 보고 작업자가 결정하여 지시서 개요따라 작업한다. 2. 작업은 지시서 대로 원료 준비 3. 원료 준비 완료되면 기기 이상 유무 확인 및 대기방지시설(집진기) 밸브를 열고 환기 여부 확인한다. 4. 교반기 전원을 ON하여 탱크를 상승 후 TANK를 정위치에 고정후 하강하여 교반 5. 배합 원료를 지시서 개요에 따라 투입하고 교반 및 종료 할 것. 6. 교반이 종료되면 분산정도 조절후 교반기 작동후 OFF하고, 유압 전원을 ON하여 탱크를 상승하여 세척후 분산반으로 인계할 것 7. 작업중 이상 발생시 즉각 중지하고 전원을 OFF후 부서장에게 보고, 조치에 따른다.		

<디졸버에 대한 안전운전절차서 >

나) 정전기 제거에 관한 사항

- 페인트 공정에 대한 안전운전지침서를 검토한 결과 원료물질의 독성 등 건강 유해성에 대한 대책으로 개인보호구 착용 등을 규정하고 있으나, 정전기 제거 등 화재와 폭발 위험성에 대한 대책은 별도로 규정화 하지 않음.

4) 도료 제조 *) 원료 분말은 도료공장2층 원료적치대로 지게차 및 운반기구 이동 적재 원료는 색소 및 세밀무기안료 이므로 품목별 로 간격을 두어 적재한다 드럼이나 용기에 포장된 원료 인화성액체, 합성수지류는 위험물 육내,육외저장창고에 분류하여 적재한다 조업전 배합표에 따른 원료를 확인하고 필요량을 드럼단위로 지게차로 배합장소로 이동하여 계량 제품제조에 투입한다 - 배합순서는 제조배합서 참조 1) 도료제조 벅셀의 밸브가 잠김상태 확인 상태를 확인한다 2) Utility 가동(환경집진팬, 콤프레사, 냉각수, 전기) 3) 주입하고자 하는 원료를 계량하여 혼합Dissolver가 있는 혼합지역에서 체질안료등의 고상입자를 주입시에는 안전장구 (마스크, 보호장갑, 보호장구)를 착용하고 액체 원료를 먼저 주입한다	보호구의 기능은 유해, 위험요인을 완화하거나 흡수, 여과, 보급하는 것이다. 안전모는 외부로부터 충격을 완화 흡수하여 뇌를 보호한다. 방진마스크는 분진을 여과시켜 폐를 보호하고, 방독마스크는 유독gas 흡수에 의한 여과 및 재독으로 중독을 예방한다. 1) 보호구의 종류를 구분하는 기준은 착용하는 신체부위, 사용목적 등에 따라 구분되며, 보호구는 재해방지과 건강장해 방지를 목적으로 착용한다. • 재해방지를 위한 안전보호구 - 안전모, 안전화, 안전대, 안전장갑, 보안경 등 • 건강장해를 방지하여 직업병을 예방하기 위한 보호구 -방진·병독마스크,송기마스크, 귀마개, 보안경 등
<페인트 공정 안전운전지침> - 제조 절차 일부 발췌 -	<페인트 공정 안전운전지침> - 개인 보호구 관련 일부 발췌 -

6) 폐쇄회로 TV(CCTV) 영상 확인

공장내부에는 여러 개의 CCTV가 설치되어 있었고, 해당 공정을 관찰하기 위한 CCTV(12번 채널)도 설치되어 있었으나 2023년 9월 경 발생한 고장으로 사고당시 영상을 확인할 수 없었음.

※ 사고 공정 이외의 CCTV는 정상작동 중이었으나 특이사항을 확인할 수 없었으며, 고장이 발생한 12번 채널의 CCTV는 수리의뢰를 위해 내부 검토 및 결재가 진행 중임이 확인됨.

7) 폭발위험장소 구분 및 방폭형 전기설비 확인

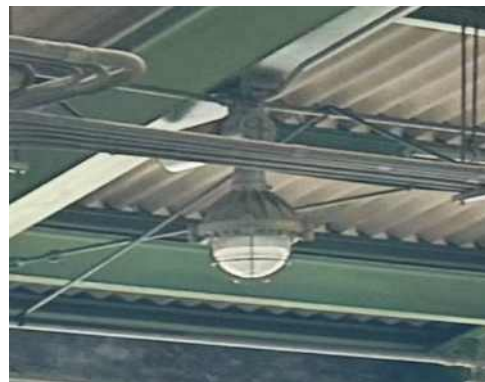
사고발생장소인 페인트 공정은 2종장소로 폭발위험장소가 구분되어 있고, 사고설비 인근의 전기설비는 모터, 조작판넬, 조명등이 있으며 방폭형 전기기구 및 설비로 시공되어 있음.



<폭발위험 장소 구분도>



<방폭형 전기설비>



<방폭형 조명등>

8) 작업자의 복장 및 개인보호구 확인

- 작업복

관계자들에 의하면 작업자는 회사에서 통상 제공하는 작업복 상·하의를 착용하고 있었으며, 반면형 호흡보호구(방독마스크)를 착용하고 작업을

수행하였음. 작업복 상의는 제전기능이 있는 것으로 확인되었으나 하의는 제전기능 여부가 확인되지 않음.

※ 사고당시 인근에 있었던 작업자들에 따르면 피해자는 작업복 상의의 지퍼를 모두 내려 앞면이 개방된 상태로 작업을 수행했다고 함.

- 작업화

사고당시 착용한 작업화는 ‘보통 작업용도’로 안전인증을 필한 안전화이며 제전기능은 없는 것으로 확인되었음.

※ 사고현장 건물의 바닥은 콘크리트에 에폭시 도료로 마무리가 된 일반적인 형태의 공장바닥으로 전기 전도성은 없음.

	
<작업복 상의-제전기능>	<안전화-제전기능 없음>

9) 사고 물질의 가연성 분위기 형성여부 검토

- 사고 물질인 페인트 중간제품(Crude Paint)은 원료 e, 원료 c의 구성성분 등 인화성 용제와 알키드 수지 및 소량의 첨가물이 혼합되어 있는 형태임.

사고 물질을 이상용액으로 가정한 후 작업장 내의 온도를 약 10℃, 조정용기 내부의 온도를 약 〇℃로 가정하고 가연성 분위기 형성 가능성을 검토한 결과 가연성 분위기 형성이 가능한 것으로 나타났음.

※ 현장 확인 시 관계자들에 의하면 공정이 위치한 건물내부는 최소 10℃정도를 유지하며, 디젤버를 작동시킬 경우 조정용기 내부는 외부에 비해 더 높은 온도를 유지한다고 하였음. 이에 운전초기인 점을 고려하여 용기내부를 약 〇℃ 정도 높은 값으로 가정하였음.

연번	원료명	인화성 액체	투입량 (kg)	물질량 (kg/kmol)	물질몰수 (kmol)	인화성 액체 물조성	VP @1SC (mmHg)	VPI @1SC (mmHg)	부피@1SC (%)	LEL (v/v %)	비고
1							4.7840	1.9153	16.1681	1.1	
2							16.5610	9.9308	83.8319	1.1	
								11.8461	100.0000		
						공기중 분율		1.56	혼합증기 LEL(v/v %)	1.10	

<크루드 페인트의 가연성 분위기 형성여부 검토>

- 사고 물질의 인화점 시험결과

조정탱크의 잔유물에 대해서 산업안전보건연구원에서 시험한 결과 인화점은 - 0.5℃로 나타났음.

- 용제의 점화에너지 조사결과

크루드 페인트의 용제인 원료 e와 원료 c의 구성성분의 점화에너지를 문헌조사를 통해 알아본 결과 원료 e 0.24mJ, 원료 c의 구성성분 0.2mJ인 것으로 조사되었음.

toluene	0.24	3
trichloroethylene	295	3
triethyl amine	0.75	1
triethyl amine	1.15	3
2,2,3-trimethyl butane	1.0	1
uranium	45	1
urea formaldehyde	80-1280	3
vanadium	60	3
vinyl acetate	0.7	1
vinyl acetylene	0.082	1
vinyl chloride	<0.3	2
wheat flour	50	1
wheat starch	20	1
wheat starch	25-60	3
wood bark	40-60	3
wood (filler)	20	1
wood flour	30-40	3
m-, o- & p-xylene	0.2	3

References

1. Haase, H. (1977) Electrostatic Hazards, Their Evaluation and Control, Verlag Chemie, Weinheim.
2. Berufsgenossenschaften, Richtlinien Statische Elektrizität, ZH1/200 (1980), Bonn.
3. Babrauskak, V. (2003) Ignition Handbook, Fire Science Publishers, Issaquah WA.
4. Bisphenol-A: A Safety & Handling Guide, Publication Number AE-154, Bisphenol-A Global Industry Group.

<원료 e와 원료 c의 구성성분의 점화에너지>

시험 성적서

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 산업안전연구원		영역서 번호 : 23-0103
		Page (1) / (총 1)
1. 의뢰자 ○ 기 관 명 : 경북지역본부 화학사고예방센터(구미) ○ 주 소 : 경북 구미시 산동면 송백로 421		
2. 시험대상품목 또는 물질, 시험명 : 화안시험용 혼합물		
3. 시험기간 : 2023. 11. 29. ~ 11. 30.		
4. 시험방법 : KS B 2010:2018		
5. 시험결과 : "혼유 및 석유제품 인화점 시험방법-타그 일괄식 시험방법"		
시험항목	단 위	시험 결과
인화점	℃	-0.5
* 이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시험 및 시험방법에 준합니다.		
확인	담당자 성명 :	부장 성명 :
2023년 11월 30일		
한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 산업안전연구원		
[주최] "본 시험성적서는 공인시험 성적서가 아니며, 의뢰자가 제시한 시험에 대해 시험한 결과로만 인정되며, 안전(통보)이나 법적요건으로 사용할 수 없습니다."		

<잔유물 인화성 시험결과>

10) 화재발생원인 추정

화재가 발생하기 위해서는 가연물, 점화원, 산소가 필요함. 이들의 발생 가능성을 각각 검토함.

가) 가연물

▶ 사고발생 물질

- 크루드 페인트에는 용제로 원료 e과 원료 c의 구성성분이 사용되었고 가연성 분위기를 형성할 수 있는 것으로 검토되었으며 주변에 다른 인화성 물질의 존재를 확인할 수 없었음.

따라서 크루드 페인트에 포함된 원료 e과 원료 c의 구성성분 혼합물의 증기가 사고발생 물질로 판단됨.

▶ 환기설비 미가동으로 인한 내부 가연성 증기 농도 상승

- 작업시작 전 배기밸브를 개방하고 환기가 되는 지 확인하는 작업 절차는 있으나 사고설비에 부착된 배기덕트 밸브는 닫혀있어 환기설비 미가동으로 인한 내부 가연성 증기 농도가 상승되었을 것으로 추정됨.

나) 점화원

가연성 분위기에 점화원이 작용할 경우 화재·폭발이 발생함.

점화원은 정전기(Static electricity), 전기 스파크(Spark), 고온의 표면, 마찰, 나화(화염불꽃), 기계적 마찰·충격 등 다양한 종류가 있음.

작업내용과 사고설비 및 주변 환경을 고려하면 정전기, 전기설비 등의 전기 스파크, 조명용 전등이나 전동기 등의 고온표면, 동력계통의 마찰열 등을 점화원으로 추정할 수 있음.

▶ 정전기

- 작업자의 인체 대전에 의한 정전기

현장 조사 시 작업복 점퍼 상의는 제전기능이 있으나 안전화는 제전기능이 없는 것으로 확인되었음.

현장작업자의 인체 대전여부를 측정한 결과 작업복 점퍼 상의에서는 0.01kV로 미량 측정되었으나, 사고 당시 작업자의 복장 상태를 반영하여 점퍼 지퍼를 내려 앞면이 개방된 상태에서 점퍼 안쪽의 상의에 대해서 측정한 결과 1.4kV가 측정되어 점화에너지로 작용될 수 있음이 확인되었음.

※ 인체의 정전용량을 300pF로 적용하여 추정 한 방전에너지는 약 0.21mJ로 용제증기의 점화에너지에 근사한 값으로 나타났음.

	<table border="1"> <tr> <td>Person</td><td>100~300</td></tr> <tr> <td>Insulated individual</td><td>100~300</td></tr> <tr> <td>Drum (200 ℓ)</td><td>100~300</td></tr> <tr> <td>Road tanker</td><td>1000</td></tr> <tr> <td>Large containers, reactors</td><td>100~1000</td></tr> <tr> <td>Rail tanker</td><td>~1000</td></tr> <tr> <td colspan="2">인용자료 : 정전기안전, 김두현 외 4인, 동화기원, 2001. 그 외</td></tr> </table>	Person	100~300	Insulated individual	100~300	Drum (200 ℓ)	100~300	Road tanker	1000	Large containers, reactors	100~1000	Rail tanker	~1000	인용자료 : 정전기안전, 김두현 외 4인, 동화기원, 2001. 그 외	
Person	100~300														
Insulated individual	100~300														
Drum (200 ℓ)	100~300														
Road tanker	1000														
Large containers, reactors	100~1000														
Rail tanker	~1000														
인용자료 : 정전기안전, 김두현 외 4인, 동화기원, 2001. 그 외															
인체 정전기 전위 측정	인체의 정전용량 <중대재해원인분석 연구,안전보건공단,2006>														

- 디젤버 동력계통의 정전기

교반기를 회전시키기 위해 전동기와 교반기 축(Shaft)을 풀리(Pulley)와 V-벨트를 사용하여 동력을 전달하고 있음. 이에 따라 풀리와 벨트가 빠른 속도로 접촉과 분리를 반복하고 있어 정전기가 발생할 우려가 있으나, 현장 조사 시 측정한 결과는 약 0.16kV정도로 나타나 점화원의 가능성은 적다고 판단됨. 다만 정전기 축적은 주변 환경 변화에 크게 의존하므로 완전히 배제할 수는 없다고 판단됨.

- 정전기 완화설비

작업장 내에는 정전기의 발생을 억제하거나 안전하게 방전시키기 위한 별도의 설비는 설치되어 있지 않음.

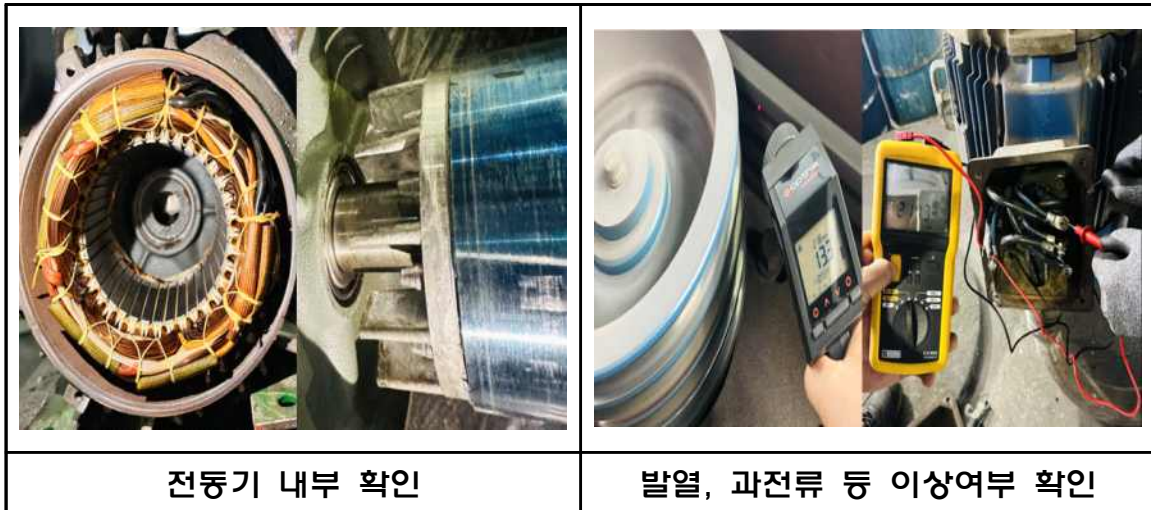
※ 혼합, 교반 등에 사용되는 용기(저장조) 등에는 비전도성 액체 등에 축적된 정전기를 완화시키기 위해 접지설비가 시공되어 있음.

	
동력계통의 정전기 측정	동력계통의 정전기 측정

▶ 고온 표면

전동기 내부의 단락, 동력전달부분 베어링 파손, 과도한 마찰 등 이상이 발생할 경우 과열에 의해 고온이 발생하여 점화원으로 작용할 수 있음. 전동기 내부와 동력전달부의 베어링 상태 및 운전 중 과열여부를 확인한 결과 특별한 이상현상을 관찰할 수 없었음.

따라서 점화원으로 작용했을 가능성은 적다고 판단됨.



▶ 전기 기계·기구에 의한 스파크

조정 탱크 주변에는 전등, 전동기 등의 전기 기계·기구가 설치되어 있으나 모두 방폭설비(내압 및 안전증방폭구조)로 설치되어 있었으며 방폭성능의 저하나 착화를 의심할 만한 이상징후는 발견되지 않아 점화원의 가능성은 없는 것으로 판단됨.

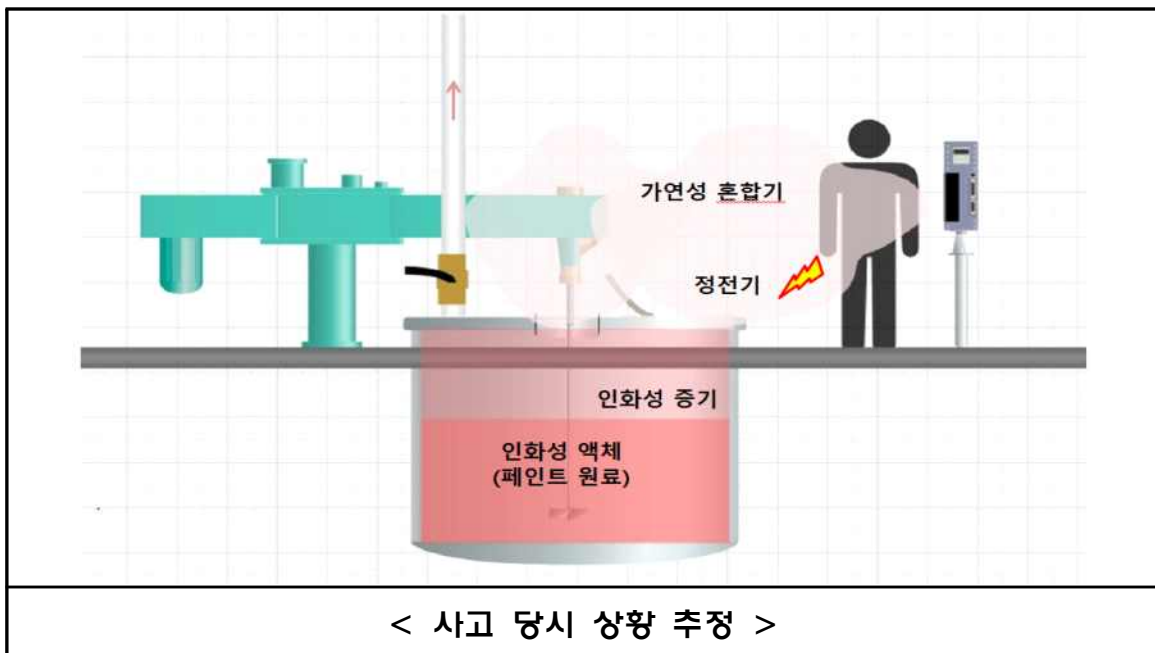
▶ 기타

기타 사항으로 비방폭 공구 사용으로 인한 기계적 스파크 발생, 나화에 의한 점화 등을 고려할 수 있으나 현장 조사 시 특이점을 발견할 수 없었음.

11) 결 론

조정탱크의 배기관에 설치된 개폐밸브가 닫힌 상태에서, 크루드 페인트에 포함된 원료 e과 원료 c의 구성성분의 증기가 공기와 함께 탱크 내부에서 가연성 분위기를 형성한 상태였음.

피재자가 조정작업을 위해 디졸버를 가동시킴으로써 액상인 크루드 페인트가 유동하면서 기상인 가연성 분위기가 원료 투입구와 임펠러 측 개구부를 통해 외부로 확산되었으며, 이때 피재자에게 축적되어 있던 정전기가 방전되면서 가연성 분위기에 착화되었을 가능성이 높음.



5. 조사자 의견

가. 재해발생 원인

1) 직접적 원인

가) 인화성 액체를 취급하는 공정의 정전기 완화조치 미흡

- 가연성 증기가 체류할 수 있는 폭발위험장소에 일반 작업용 안전화를 착용하였고, 제전봉, 도전성 바닥을 설치하지 않은 등 정전기 완화조치가 미흡.

나) 인화성 액체의 증기 제거조치 미흡

- 교반작업 중 벤트배관의 차단밸브 미개방 및 디졸버 용기덮개의 개구부가 개방된 상태에서 운전.

다) 안전운전지침서 내용 미흡 및 미이행

- 안전운전지침서에 페인트제조공정 각 단계별 작업내용 및 위험성과 안전확보 대책 등이 상세히 기술되지 않는 등 내용이 미흡하고, 규정된 절차도 이행되지 않음.

예) 운전 중 디졸버 용기 개구부의 막음 조치 누락, 배기관의 차단밸브 열림 조작 미이행

2) 간접적 원인

가. 개인보호구 구매절차의 결함 및 착용상태 부적정

- 개인보호구 구매 시 현장의 위험성에 대한 적합성 여부를 검토하지 않아 인화성 액체의 증기가 존재할 수 있는 장소에 근무하는 근로자에게 제전 성능이 없는 일반 작업용 안전화를 구매하여 지급하였고, 제전복도 지퍼를 채우지 않는 등 부적정하게 착용하여 제전성능이 저하됨.

나) 근로자 안전작업지침서 이행 관리 미흡

- 작업시작 전 안전작업절차 및 주의사항과 안전조치에 관한 내용 등이 명확하게 지시되지 않는 등 이행 관리가 미흡.

다) 조정탱크 덮개의 개구부 관리 미흡

- 조정 탱크 인근에 개구부 닫음 조치에 관한 안내가 게시되어 있지 않고, 원료 투입구 덮개에 가스킷 등이 설치되지 않아 개폐 시 금속간의 충격에 의한 스파크 발생의 위험이 있는 등 관리 상태가 미흡.

나. 동종재해 예방 대책

1) 인화성 액체를 취급하는 공정의 정전기 완화조치 시행

- 가) 작업여건 및 인화성 증기·가스 등의 종류를 고려하여 제전화 등 적정 보호구 지급 및 착용하시기 바랍니다.
- 나) 작업자의 작업상황과 동선, 인화성 액체 및 증기 취급작업 현황을 고려하여 제전봉 설치 및 작업장 바닥은 도전성 재료로 개선하시기 바랍니다.
- 다) 작업장의 습도관리를 위한 절차를 마련하고 시행하시기 바랍니다.

2) 인화성 액체의 증기 제거조치 시행

- 디졸버 등 가동 전 배기용 배관의 차단밸브를 개방하고 원료 투입구의 덮개를 닫는 등 내부의 가연성 분위기를 제거하도록 규정화하고 시행하시기 바랍니다.

3) 인화성 액체 등 원료 투입방법 개선

- 배합, 조정 등 작업에 사용되는 원료 중 인화성 액체류 투입 시 정전기 발생이 최소화 될 수 있도록 작업방법을 개선하시기 바랍니다.

4) 안전운전지침서 보완

- 안전운전지침서는 공정위험성평가 결과와 작업위험성평가를 통해 도출된 위험요인 대책을 반영하여 보완하시기 바랍니다.

작업 시 발생가능한 정전기/분체투입 등의 위험성 및 아래의 작업을 포함하여 페인트 제조공정의 각 단계별(설비별)로 작업내용을 구분하고, 공정과 설비 및 작업에 내재된 위험성과 대책 및 안전조치사항 등을 상세히 기술하는 등 보완하시기 바랍니다.

- 원료 투입 및 교반, 혼합 작업
- 원료 이송 및 중간제품 샘플링 작업
- 제품포장, 이송 및 보관 작업

5) 개인보호구 구매절차 보완 및 착용상태 관리

- 개인보호구는 작업장의 위험성에 적합한 형식을 구매할 수 있도록 절차를 보완하시고, 근로자가 적절하게 착용하도록 교육하고 관리하시기 바랍니다.
 - 작업복, 작업화(안전화) 등은 작업형태와 제전기능을 고려하고 방독마스크의 정화통은 사용물질 및 노출빈도 등을 고려하여 적정 형식을 구매하도록 하시기 바랍니다.

6) 안전운전지침 이행관리 및 교육·훈련 강화

안전운전지침의 내용은 작업지시서 등에 기록하는 등 작업 전 근로자에게 명확히 전달되어 이행될 수 있도록 보완하고, 관련내용을 주기적으로 재교육하는 등 교육과 훈련을 강화하시기 바랍니다.

7) 조정탱크 덮개의 개구부 관리 보완

조정탱크 개구부 인근에 “운전 중 덮개 닫음”과 같은 문구를 게시하여 근로자의 주의를 환기하고, 원료 투입구의 덮개에는 적절한 재질의 가스켓 등을 부착하시어 금속간의 충격에 의한 스파크 발생을 방지하시기 바랍니다.