

중대사고사례 연구



중방 2013-02호(2013.8)

HDPE 공장 사일로 폭발사고



산업재해예방
안전보건공단





본 사고사례 연구는 안전보건 관계자 교육용으로
제작된 자료로 사고발생원인 및 원인추정 과정이
사실과 다를 수 있으며,

사고와 관련한 민형사상 판단근거로 삼을 수 없음을
알려드립니다.

목 차

I. 사고개요	4
---------------	---

II. 사업장 현황	7
------------------	---

III. 사고분석	11
-----------------	----

IV. 사고발생 원인	23
-------------------	----

V. 동종사고 예방대책	26
--------------------	----

VI. 사고로부터 얻는 교훈	30
-----------------------	----

VII. 관련 기준 및 참고자료	34
-------------------------	----

1

사일로(Silo)

사일로란 각종 분체나 곡물 등을 저장하는 설비로서 저장의 편리성이나 운반의 용이함을 위해 주로 직경에 비해 높이가 높은 타워형의 저장시설을 설치한다.

2

HDPE(High Density Polyethylene)

에틸렌의 중합으로 생기는 사슬 모양의 고분자 화합물이다. 중합법에 따라 여러 가지가 생성되는데, 밀도에 따라 저밀도 폴리에틸렌과 고밀도 폴리에틸렌으로 구별된다. 고밀도 폴리에틸렌은 파이프, 필름 등의 원료로 사용되며, 저밀도 폴리에틸렌은 각종 병이나 냉장고의 제빙용 상자 등의 원료로 쓰인다.

3

협력업체

"협력업체"란 설계엔지니어링, 전문건설공사, 기타 지원 부문에 있어 회사가 필요로 하는 협력분야에 협력약정을 체결한 업체를 말한다.

산안법과 관련한 협력업체 관련 용어는 "사업의 일부를 분리하여 도급을 주어서 하는 사업" 또는 "사업이 전문분야의 공사로 이루어져 시행되는 경우 각 전문분야에 대한 공사의 전부를 도급을 주어서 하는 사업"에서 이를 수행하는 업체 또는 회사를 말한다.

4

정비보수작업(Maintenance)

보전, 보수, 정비 등과 동의어로서 사용되고 있는 말이다. 넓은 의미의 메인テナンス는 설비의 성능을 유지하기 위한 모든 활동, 즉 다음에 설명하는 일상보전, 설비검사, 정비, 수리 등의 모든 것을 포함하지만, 좁은 의미의 메인テナンス는 일상 보전만을 의미한다.

- **일상보전(Routine Maintenance)** : 설비의 열화를 막기 위한 청소·급유·점검·더 조이기 등의 일상적인 활동을 말한다.
- **설비검사(Facilities Inspection)** : 설비의 열화상태를 측정하기 위한 활동을 말한다.
- **수리(Repair)** : 고장난 설비를 원래의 성능으로 복원하기 위한 활동을 말한다. 수선·보수라고도 한다.

5

안전작업허가

위험요소가 잠재되어 있는 지역이나 설비에서 지정된 작업을 지정된 시간에 수행할 때 이루어지는 문서화된 허가행위

I. 사고개요

본 사고사례 연구는 2013년 3월 14일 20시 50분경 전남 여수시의 여수산업단지에 소재한 ○○산업(주) 여수공장 내의 HDPE 공정 사일로에서 폭발사고가 발생하여 맨홀설치 작업 중이던 협력업체 근로자 6명이 사망하고, 원청업체 작업감독자를 비롯한 협력업체 근로자 11명이 부상을 당하는 사고를 대상으로 하였다.



[사진 1] 폭발사고가 발생한 사일로 상부 모습

■ HDPE공장 제품을 저장하는 사일로 2층에서 정비보수업체인 ○○기술(주) 소속의 근로자가 사일로 하부 측면에 맨홀 설치를 위해서 구멍을 뚫은 후 맨홀을 붙이는 작업 중 사일로 내부에 잔존한 HDPE 분진이 용접불티에 점화되어 폭발이 발생하였다.

■ 이로 인하여 사일로 상부에서 플랫폼 설치작업을 하고 있던 협력업체 근로자 9명 중 5명이 사망하고 4명이 중상을 입었으며, 중간층(지상 약 8 m)에서는 맨홀설치 작업 중이던 근로자 6명 중 1명이 사망하고 5명이 부상을 당하였고 원청업체의 작업감독자는 지상과 중간층에서 각 1명씩 2명이 부상을 당했다.

■ 정비작업을 위하여 공장에서 취급 중인 에틸렌을 비롯한 대부분의 위험물은 제거되었고, 사일로 내부에 일부 제거되지 않은 HDPE 분진이 폭발하였다. 결과적으로 폭발은 소규모였지만 폭발장소에 작업자 다수가 밀집된 상태로 작업이 이루어져 인명피해가 큰 규모로 발생하였다.

■ 이 사고를 통해서 정비작업 시의 안전보건확보에 대하여 많은 근로자들이 인식하게 되었고, 원청업체의 협력업체에 대한 안전관리 책임과 비상 시 대응 및 조치에 대해 많은 문제점이 도출되어 개선이 필요하게 되었다..

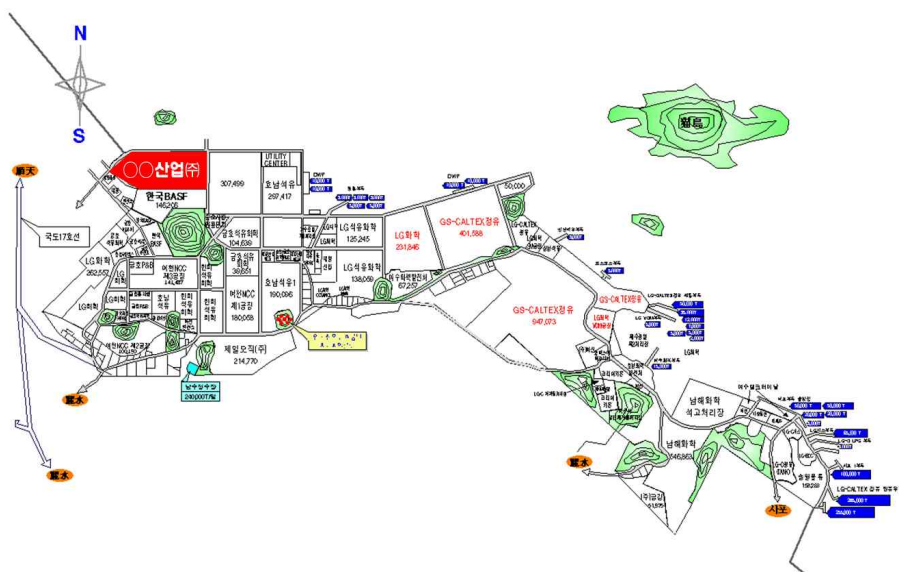
인명피해 ■ 사망 6명, 부상 11명(외부 공사업체 직원)

물적피해 ■ ○○산업(주) 사일로 3기 파손
 ■ 인근지역(주변공장 피해현황)

사업장명	피해내용
○○케미칼(주)HDPE공장	▪ HDPE공장 플라스틱 지붕 일부 파손 ▪ HDPE공장 화장실 텍스타일 일부 손상 ▪ HDPE공장 협력업체 사무실 유리창 일부 파손
○○피앤비화학(주)	▪ PA공장 조정실/MCC 일부유리창 파손, 천정 텍스타일 일부 손상 ▪ ○○산업(주) 사일로 백필터 및 백필터 케이징 공장 내로 일부 비산
(주)○○화학	▪ LDPE공장 사무동 유리창 일부 파손
○○폴리캠(주)	▪ 가공연구동 유리창 1장 파손 ▪ 환풍기 팬 2개 손상

II. 사업장 현황

○○산업(주) 여수공장은 전남 여수시 소재의 여수국가산업단지 내에 위치하여 고밀도폴리에틸렌(HDPE)을 주로 생산하는 업체로서 근로자수 약 294명으로 구성된 석유화학공장이다.



[그림 1] 여수국가산업단지 현황

1 시설현황

고밀도폴리에틸렌(HDPE) 제조공정

에틸렌을 촉매와의 반응을 통하여 고밀도폴리에틸렌(HDPE)을 제조하는 공정으로 원료정제 → 반응 → 건조 → 중간저장(분말) → 압출 → 포장 → 최종저장(필렛) → 출하 등의 단계를 거치게 된다(1989. 7월 가동시작)



[사진 2] HDPE저장 사일로

2 생산제품

HDPE(High Density Polyethylene; 고밀도폴리에틸렌)

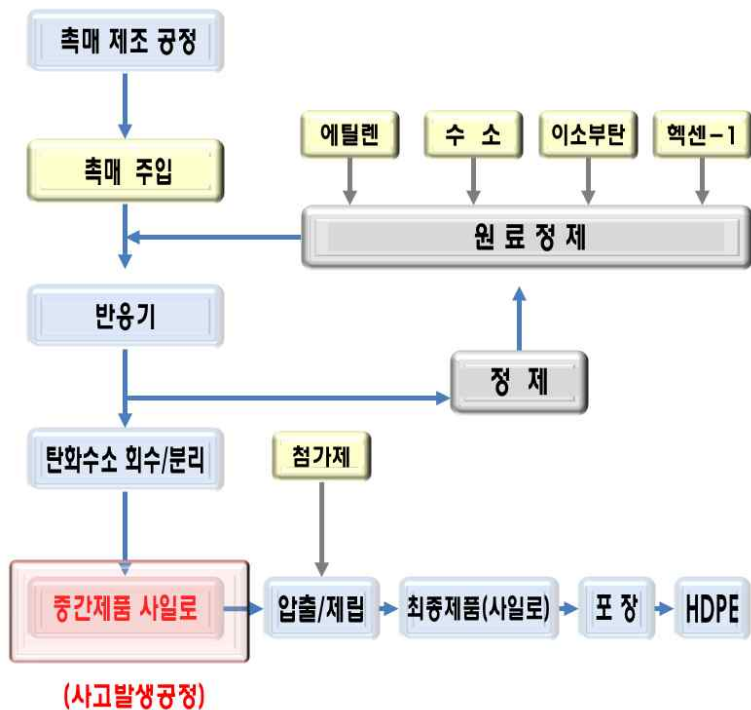
에틸렌을 중합하여 생산하며 파이프, 필름 등의 원료

물질명	폭발범위	인화점(°C)	발화점(°C)
HDPE	26~35g/Nm ³	-	410
(분말)	(폭발하한)		(운상분진)

3 공 정

1) HDPE(고밀도폴리에틸렌) 제조과정

에틸렌을 중합반응을 통해 고밀도폴리에틸렌(HDPE)을 제조하는 공장으로 원료정제, 반응, 제품 후처리(건조), 중간 제품저장(분말), 압출, 최종제품저장(펠렛), 포장 및 출하공정으로 이루어지며 사고는 저장공정에서 발생하였다.



[그림 2] HDPE 제조공정도

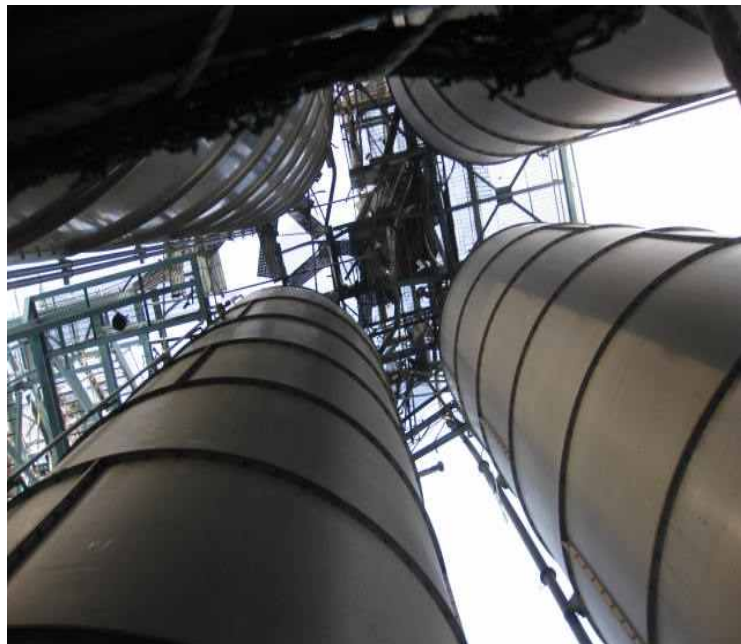
2) 사고발생 공정

사고발생설비인 Fluff Silo는 반응 및 건조에 의해 생성된 분말상태의 HDPE를 압출기로 보내기 위해 중간에 저장하는 사일로임

설비명	용량	설계압	지름	높이	형태
Fluff Silo (V-059D)	400m ³	0.21kg/cm ²	5m	27.3m	콘형



[그림 3] 폭발한 사일로의 제원



[사진 3] HDPE저장 사일로

III. 사고분석



1) 사고발생 전

(1) 공장상황

HDPE 공장은 정기보수를 위하여 2013년 3월 12일부터 가동을 정지하고 사일로 내부에 남아있던 위험물질인 탄화수소 등을 사고당일 오전 08:40분경까지 질소로 치환시켰으며, 탄화수소 농도가 0.0046 mol% 임을 확인함.

오전 08:40분 이후부터는 질소치환을 중단하고 공기로 치환한 상태에서 정비작업을 진행하면서 휴대용 가스측정기로 사일로 상부 맨홀을 통하여 내부의 산소농도와 인화성가스의 농도를 측정함.

(2) 작업상황

폭발이 발생한 사일로(V-059A~D)의 중간지점에서는 사일로 내부 가스측정용 맨홀 설치작업이 이루어졌으며, 신규로 설치된 사일로(V-059E/F) 상부에서 플랫폼 설치작업이 진행됨.

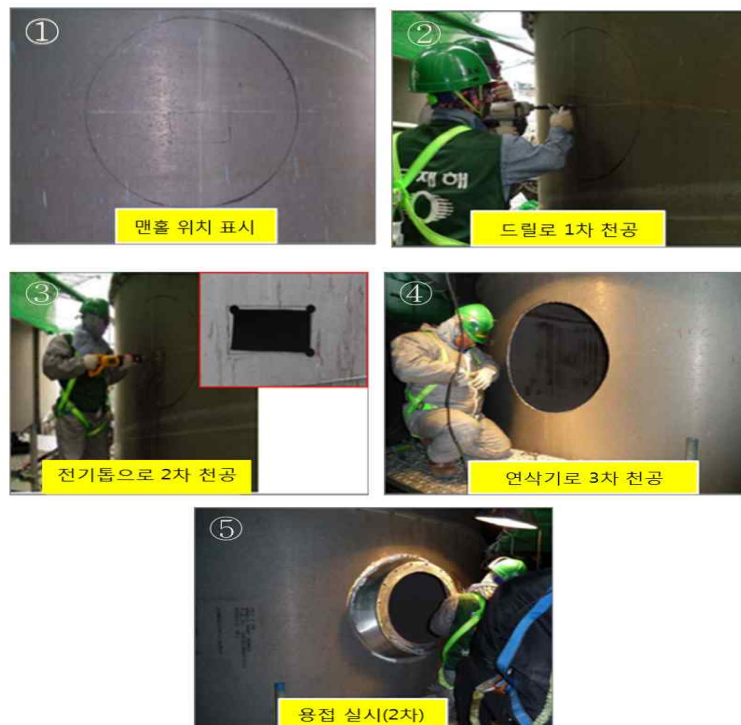
※ 안전작업허가서에 기록한 측정값은 산소농도 21%, 인화성가스 LEL 0%로 기록되어 있음

사일로 중간지점의 맨홀 설치작업

- ① 13:20분경 : 4개 사일로에 맨홀 마킹
- ② 14:00 ~ 14:30분경 : 4개 사일로에 드릴로 1차 천공
- ③ 14:30 ~ 15:30분경 : 전기톱(직소, jig saw)을 이용하여 2차 천공
(가로 20 cm 세로 12 cm)
- ④ 15:30 ~ 16:10분경 : 연삭기를 이용하여 3차 천공(직경 82 cm)

사일로 중간지점의 맨홀 설치작업

- ⑤ 16:10 ~ 16:40분경 : 24" 맨홀 부착, GTAW(일명 TIG 또는 알곤) 용접
- ⑥ 16:40 ~ 17:00분경 : 맨홀 부착을 위해서 산소-LPG로 가용접 부위를 1분 이내로 예열을 실시하고 맨홀을 부착하였으나 검수 결과 내부 틈새로 인해 불합격되어 1차 수정작업을 실시
- ⑦ 17:00 ~ 18:00분경 : 저녁 식사
- ⑧ 18:30분경 : 사일로 하부에서 HDPE 분진이 유출되자 하부 슬라이드식 차단밸브를 잠금
- ⑨ 19:40 ~ 20:50분경 : 2차 가용접 실시



[사진 4] 맨홀설치작업

V-059E/F 사일로 상부 플랫폼 설치작업



[사진 5] V-059E/F 상부에 이동 관련 비계를 설치

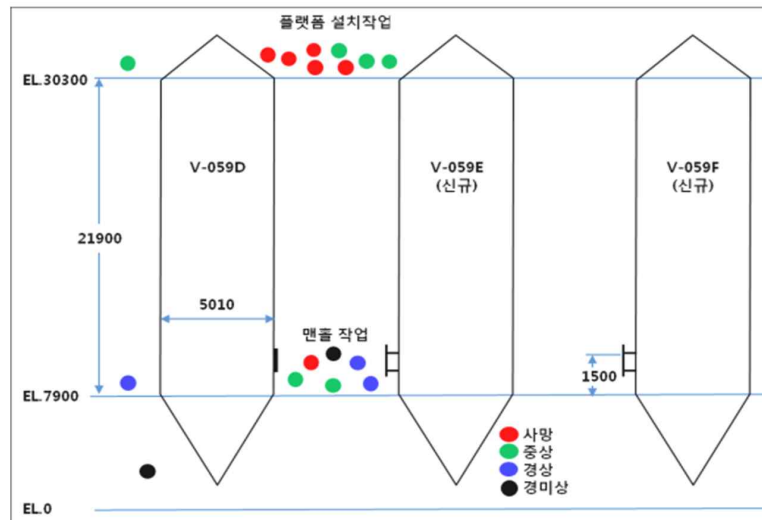


[사진 6] V-059E 상부에 비계 설치관련 안전로프 설치 및 비계를 설치

(3) 사일로 배치 및 작업자 위치

(가) 정면도(수직)

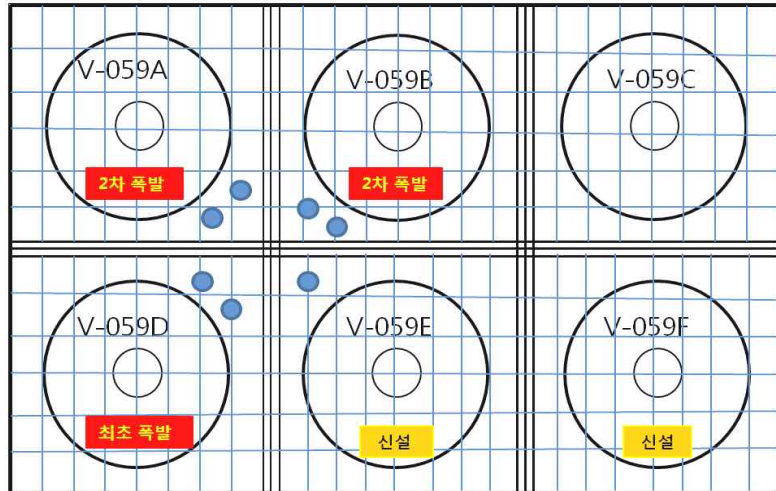
- ① 사일로 맨홀 설치작업과 플랫폼을 설치하기 위한 비계 설치 작업을 했던 위치를 나타냄(그림4)



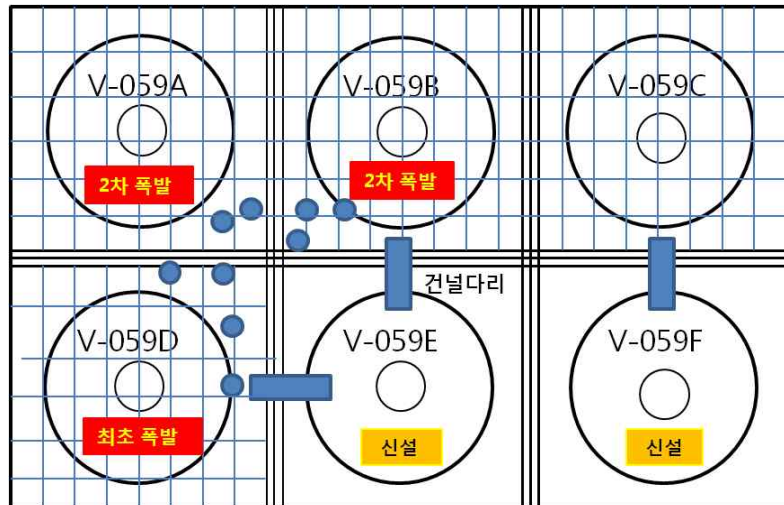
[그림 4] 사일로에서 작업했던 작업자 위치

(나) 평면도

- ① 사일로 상부에서는 9명의 작업자가 사일로의 플랫폼을 설치하기 위한 비계설치 작업을 실시함(그림5 참조). 이곳에서 작업하던 작업자 중 5명이 사망하고 4명이 중상을 당함.
- ② 사일로(V-059A~D)의 중간 높이에서는 작업자 7명이 맨홀설치 작업을 진행함(그림6 참조). 이곳에서 1명 사망하고 6명이 부상을 당함.
- ③ 지상에서는 작업 감독자(○○산업(주) 소속) 1명이 부상을 당함.



[그림 5] 사일로 상부에서 작업했던 작업자 위치
(지상 약 30 m 높이)



[그림 6] 사일로에 맨홀을 설치하던 작업자 위치
(지상 약 8 m 높이)

2) 사고발생

(1) 1차 폭발

V-059D 사일로에서 용접작업 중 최초로 폭발이 발생하였고, 폭발에 의해 발생한 열과 충격파가 다른 사일로(V-059A/B/C)에도 전파됨.

(2) 2차 폭발

V-059D의 폭발에 의한 영향으로 V-059A와 V-059B에서 2차 폭발 및 화재가 발생되었으나 V-059C는 손상이 발생되지 않음.

(3) 전파경로

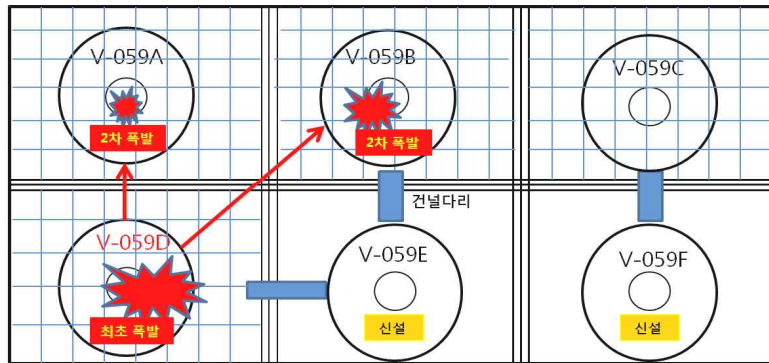
사일로 V-059A/B/C/D의 상부는 8" 배관(질소순환용)으로 모두 연결된 상태로써 V-059D에서 1차 폭발이 발생하여 이 배관을 통해 이웃한 사일로(V-059A/B/C)로 전파된 것으로 추정됨(그림7, 8 참조)

(4) 사고의 형태

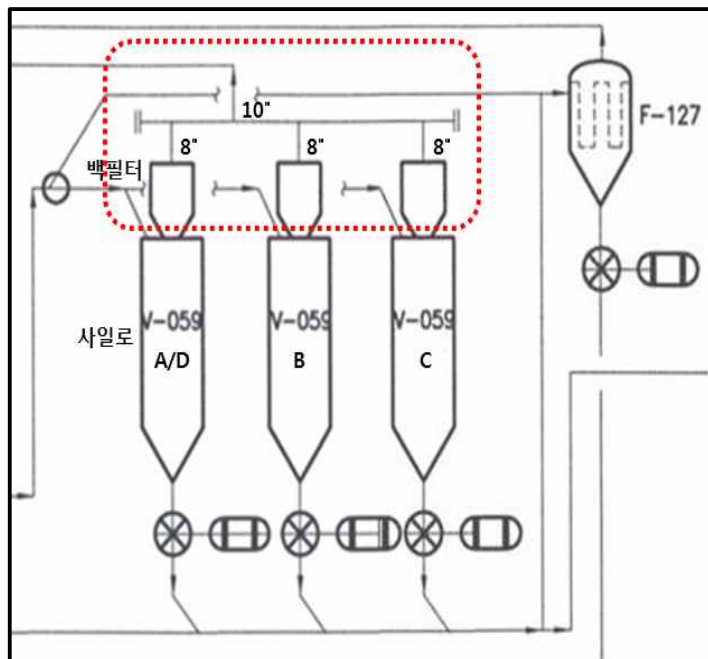
사일로 V-059D와 V-059B는 폭발과 함께 화재로 진행되었으며, V-059A는 약한 폭발이 발생되고 소규모의 화재로 이어졌으나 바로 소화됨(동체는 깨끗하고 하부 콘 부분에 소규모의 고분자물질 탄화 흔적이 발견됨). 그러나 폭발의 충격파에 의해 상부의 백필터(F-025A)가 손상됨.

(5) 기타

배관이 연결되어 있음에도 폭발이 발생되지 않은 사일로 V-059C의 경우는 1차 폭발지점으로부터 연결배관의 길이가 가장 길어서 화염이 배관을 통해 이동과정에 소멸되어 폭발과 화재가 발생되지 않은 것으로 판단됨.



[그림 7] 최초 폭발이 발생한 사일로와 이웃한 사일로 배치



[그림 8] 사일로 상부가 모두 배관으로 연결되어 있음

2 사고 발생 원인 추정

1) 폭발 원인

이번 폭발사고는 공기로 채워져 있던 사일로의 동체 내부 벽면과 백필터에 전체적으로 HDPE 분체가 부착되어 있었고, 맨홀 설치 작업 시 진동공구에 의한 진동으로 일부의 분체가 하단에 추가로 퇴적된 상태에서 맨홀 부착 용접 시 발생된 용접불티에 의해 점화되어 화재가 발생하고 이어 폭발로 이어짐.

(1) 1차 폭발

사일로 V-059D에서 발생한 1차 폭발은 맨홀 제작 과정 중 사일로 내부의 가연물이 용접불뚝에 점화되어 폭발되었으며 폭발 후 화재는 작은 규모로 발생되었으나 짧은 시간 내에 진화됨.

가연물

사고 당시 작업에 참여하였던 근로자의 증언과 사고 진행과정을 분석해본 결과 가연성 분진, 인화성가스, 다른 공정에서의 분진 유입 가능성 등이 있을 수 있으나 사일로 동체 내부와 백필터에 부착되어 있던 폴리에틸렌 분진이 가연성물질로 작용된 것으로 사료됨.

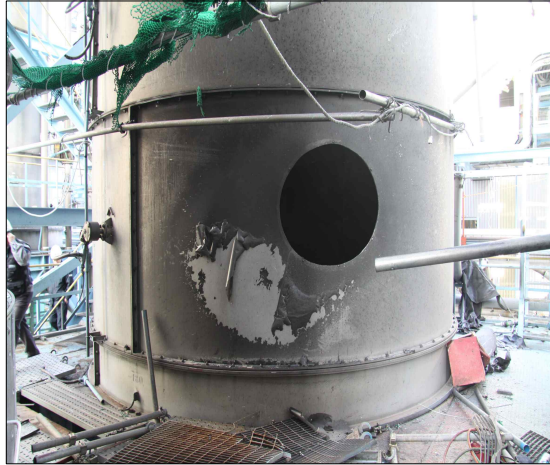
※ 가연성분진은 문헌상 일반적으로 입자의 크기가 $420 \mu\text{m}$ 이하이면 폭발을 일으킬 수 있는데 이번에 폭발되지 않은 사일로의 내부에서 채취된 폴리에틸렌 분진은 입자의 크기가 평균적으로 약 $60 \mu\text{m}$ 정도로서 폭발을 일으키기 쉬운 조건에 있었음

※ 분진폭발의 구조

- ① 입자표면에 열에너지가 주어져서 표면온도가 상승
- ② 입자표면의 분자가 열분해 또는 건류작용을 일으켜서 기체로 되어 입자의 주위에 방출

점화원

사일로(V-059D) 동체에 맨홀을 설치하는 과정 중 용접불티가 점화원으로 작용함.



[사진 7] 점화원으로 작용한 사일로(V-059D) 맨홀 설치작업

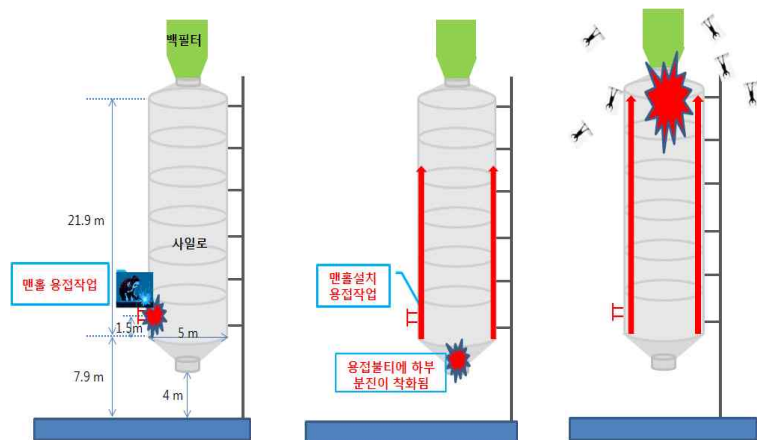


[사진 8] 1차 폭발시간은 20시 51분 17초, 2차 폭발시간은 20시 51분 20초이나 폭발 당시 발생한 섬광으로 화면이 백색으로만 보이므로 폭발 순간 1초 후 화면을 캡처함. (CC-TV 화면)

점화원

※ 용접에 참여한 작업자 증언에 의하면 가용접 작업 중 동체의 내부에서 밖으로 연소가스가 심하게 배출되고 약간의 시간이 경과된 뒤에 내부에서 폭발이 발생하였다고 증언함. 또 다른 작업자의 증언에 의하면 가용접 중에 용접 불뚱이 사일로 내부로 떨어져 하부에서 점화되고 이어 화재가 상부로 이어졌다고 말하고 있음.

이 두 가지 내용을 분석해 보면, 가용접은 전체 6곳에서 이루어졌는데 마지막 6번째 용접 시 점화가 이루어졌던 점과 알루미늄이 철합금 보다 열전도도가 3~5배 정도 커서 점 형태의 가용접의 열이 주위로 쉽게 전도되는 관점에서 보면 용접부위의 반대쪽 표면이 점화원으로 작용했을 가능성 보다는 용접불뚱이 사일로 내부로 떨어져 점화되고 화재로 이어져 결국 폭발로 발전하게 된 것으로 판단됨(그림 9 참조)



[그림 9] 사일로(V-059D)에서 폭발 진행 과정
(용접 중 화재발생 ⇒ 벽면을 타고 확산 ⇒ 상부에서 폭발)

산화제

전기톱(직소)으로 사일로에 구멍을 뚫고 가스농도를 측정한 결과 산소 21%, 가연성가스 0% 이었고, 사일로(V-059D)의 동체에는 맨홀을 설치하기 위해 직경 82cm의 홀이 천공된 상태로서 대기 중 공기의 출입이 자유로워 폭발에 필요한 산소가 충분히 공급될 수 있었음.

※ HDPE 분진과 같은 일반적인 고분자 물질의 MOC는 8% 정도 되는데 사일로 내부에 들어있던 공기 중의 산소농도는 용접 전에 ○○산업(주)에서 측정한 내용에 의하면 21%로 대기중의 산소농도와 동일하며 폭발을 일으키는데 충분한 농도임.

※ MOC(Minimum Oxygen Concentration): 연소를 지속적으로 전파하기 위해 필요한 최소한의 산소농도

(2) 2차 폭발

1차 폭발한 사일로 V-059D에서 발생한 열과 충격파가 HDPE 분체 백필터(F-025A/B/C/D)배출구에 연결된 8" 배관을 통해서 이웃한 사일로(V-059A/B/C)로 전파되어 V-059A와 V-059B가 2차 폭발함.

V-059A

폭발 이전에는 내부의 산소농도가 21%이었기 때문에 V-059A는 상부의 백필터 부위에서 폭발을 일으키고 상부와 하부 콘 부위에 쌓여 있던 소량의 분진에 화재가 발생하였으나 폭발 이후 산소 공급이 제한적이어서 조기 소화됨.(공기유입은 맨홀 예비작업을 위해 뚫어놓은 가로 20cm, 세로 12cm의 구멍에 의해서만 공기가 공급되었으므로 산소가 부족한 상태였음)

V-059B

V-059B 역시 폭발이전에는 내부의 산소농도가 21%이었기 때문에 1차 폭발에 의해 전파된 에너지에 의해 대규모의 폭발을 일으키고 화재로 이어졌지만 조기에 진화됨.

기 타

V-059C는 1차 폭발에 의한 화염과 압력파가 전달은 되었으나 설치된 위치상 1차 폭발한 용기와 거리가 멀어서 전달과정 중 에너지의 손실로 폭발로 이어지지 않는(하부의 10" 배출구와 상부의 맨홀이 열려 있었음)

IV. 사고발생 원인

원인 ①

사일로 내부에 가연성 분체가 있는 상태에서 화기작업이 실시되었다.

사일로로는 가연성분진인 폴리에틸렌을 취급하기 때문에 내부가 분진폭발위험지역으로 구분되어 있고 정상운전 중에는 폭발의 3요소 중 산소를 관리하기 위하여 질소를 채운 상태에서 운전되고 있음에도 맨홀 설치작업 시 사일로 내부에 퇴적된 분체를 제거하지 않고 화기작업을 실시함으로써 화재 폭발이 발생하게 된 직접적인 원인이 되었다.

원인 ②

안전작업허가서 발행 시 가연성 분체 제거를 위한 조치가 실시되지 않았다.

2012년도에 유사한 형태의 사일로 폭발사고가 발생하였음에도 불구하고 사일로에 맨홀 설치작업을 준비하면서 필요한 안전작업절차가 사전에 마련되지 않았다. 또한 작업 시작 전 안전작업허가서를 발행할 경우 분진폭발위험장소에서는 가연성분체 제거여부를 위한 확인이 이루어지도록 안전작업허가에 반영하여야 하나 고려되지 않았다.

원인 ③

해당 근로자에 대한 안전교육을 실시하지 않았다.

사일로 설치 및 변경작업을 실시하는 외부 공사업체에 대해서는 공사 전 발생 가능한 가연성분진의 화재 및 폭발특성, 관리방법, 작업 전 제거방법 등 안전보건상의 주의사항에 대한 구체적인 교육을 실시하여 작업자들이 위험성을 인지하고 조치할 수 있는 능력을 배양시켜야 하나 교육이 실시되지 않았다.

원인 4

정비기간 단축을 위해서 안전작업절차가 생략되었다.

가연성 분체가 취급되는 사일로에서 분체가 남아 있는 상태로 정비작업을 하는 것을 이미 인지하였음에도 불구하고 시간이 많이 소요되는 물세척 등의 분체를 제거하는 절차를 생략하였다. (2012년 6월에 실시한 사일로 보수작업 시는 물세척을 실시함)

원인 5

변경관리가 이루어지지 않았다.

공정안전을 확보하기위해 산업안전보건법 제49조의 2에 의한 공정안전관리를 시행하고 있으나 사일로와 같은 화학설비에 대한 변경관리(MOC, Management of Change)를 수행하여 2012년도에 동일한 공정에서 발생한 사일로 폭발사고를 교훈삼아 사전 위험성평가를 통해서 작업절차서의 개정이나 정비보수작업지침의 개정 등을 통해 정비작업시의 안전을 확보하도록 하여야 하나 이를 시행하지 않았다.

원인 6

관리감독자의 역할을 제대로 이행되지 않았다.

원청업체 소속의 관리감독자 2명이 작업현장에서 관리감독을 실시하고 있었지만 사일로에 맨홀 설치작업을 하면서 화기작업을 실시하고 있었고, 본인들이 사고로 인해 부상을 당한 것으로 볼 때 관리감독자가 이러한 가연성분체로 인한 사고발생 가능성을 인식하지 못했던 것으로 이해된다. 즉, 관리감독자가 공사현장에서 기본적으로 수행하여야 할 직무에 대한 역할을 제대로 이행하지 않았던 것으로 판단된다.

원인 7**고소작업 시의 추락방지를 위한 조치가 없었다.**

고소 장소인 사일로 상부에서 플랫폼 설치작업을 하던 근로자 9명이 30미터 아래의 바닥으로 추락하여 5명이 사망하고 4명이 중상을 당한 것으로 판단하면 고소작업인 플랫폼을 설치하면서 필요한 안전대를 착용하지 않았던 것으로 판단된다.

원인 8**협력업체 근로자 보호를 위한 유해·위험정보가 전달되지 않았다**

사일로에 퇴적되어 있는 폴리에틸렌 분체에 대한 유해·위험성, 작업상 주의사항, 사고발생 시 긴급조치 등에 대한 유해·위험정보를 사전에 공사업체에 전달하였더라면 화기 작업 시 심하게 타는 냄새가 났다고 하는 다른 근로자의 증언에서 알 수 있는 것처럼 경험이 많은 협력업체 근로자는 이렇게 획득한 정보를 통해 심하게 타는 냄새가 화기작업으로 인한 것이고 원청업체에게 요구하여 화기작업을 중단하고 근본적인 대책 즉, 물세척을 실시하는 등 사일로 내부의 가연물을 제거한 뒤에 작업을 제기하도록 요청하였더라면 사고를 예방할 수 있었겠지만 이를 원청업체에서 이행하지 않았다.

V. 동종사고 예방대책

대책 1

정비작업 전 사일로 내부의 가연물을 제거하는 절차 확립

사전 변경관리를 통해 유해위험성을 평가하고 이를 안전 작업절차에 반영한 뒤 변경작업 시 내부의 가연성 분체를 제거하는 절차가 마련된 뒤에 화기작업을 위한 안전작업허가 시 이를 확인하는 일련의 과정을 확립한 뒤 작업이 이루어져야 한다.

2012년도에 유사한 형태의 사일로 폭발사고가 발생하였음에도 불구하고 사일로에 맨홀 설치작업을 준비하면서 필요한 안전작업절차가 사전에 마련되지 않았다. 또한 작업 시작 전 안전작업허가서를 발행할 경우 가스폭발위험지역에서는 인화성가스나 인화성물질의 증기를 측정하여야 하고 분진폭발위험장소에서는 가연성분체 제거여부를 위한 확인이 이루어지도록 항목을 작성한 다음, 작업자들에게 교육을 실시하여야 할 뿐만 아니라 사일로 내부 분체 제거작업이 이루어지도록 안전작업허가에 반영하여야 할 것이다.

대책 2

공정안전문화 확립

2012년 6월에 실시한 사일로 보수작업 시에도 가연성분체를 제거하기 위한 물세척을 실시하였음에도 불구하고 가연성 분체가 취급되는 사일로에서 분체가 남아 있는 상태로 화기작업을 실시하였으며, 안전작업허가 시에도 이를 확인하지 않은 것은 공정안전을 확립하기 위한 기본적인 공정안전문화가 확립을 통한 안전의식의 확립이 필요하다고 본다.

대책 ③**관리감독자의 역할 강화**

원청업체 소속의 관리감독자 2명이 작업현장에서 관리감독을 하고 있었으나 사일로에 맨홀 설치작업을 하면서 화기작업을 실시하고 있었던 점으로 볼 때 관리감독자가 이러한 가연성분체로 인한 사고발생 가능성을 인식하지 못했던 것으로 이해된다. 즉, 관리감독자가 공사현장에서 기본적으로 수행하여야 할 직무에 대한 역할을 제대로 이행하지 않았던 것으로 판단된다.

산업안전보건법에서 정하는 관리감독자의 업무

- ① 사업장 내 관리감독자가 지휘·감독하는 작업(이하 이 조에서 “당해 작업”이라 한다)과 관련되는 기계·기구 또는 설비의 안전·보건점검 및 이상유무의 확인
- ② 관리감독자에게 소속된 근로자의 작업복·보호구 및 방호장치의 점검과 그 착용·사용에 관한 교육·지도
- ③ 당해 작업에서 발생한 산업재해에 관한 보고 및 이에 대한 응급조치
- ④ 당해 작업의 작업장의 정리정돈 및 통로확보의 확인·감독
- ⑤ 당해 사업장의 산업보건의·안전관리자(법 제15조 제4항의 규정에 의하여 안전관리자의 업무를 안전관리대행기관에 위탁한 사업장의 경우에는 그 대행기관의 당해 사업장 담당자) 및 보건관리자(법 제16조 제3항의 규정에 의하여 보건관리자의 업무를 보건관리대행기관에 위탁한 사업장의 경우에는 그 대행기관의 당해 사업장 담당자)의 지도·조언에 대한 협조
- ⑥ 기타 당해 작업의 안전·보건에 관한 사항으로서 노동부 장관이 정하는 사항

대책 4

기본적인 안전수칙 준수를 위한 안전의식 전환필요

고소 장소인 사일로 상부에서 플랫폼 설치작업을 하던 근로자 9명이 30미터 아래의 바닥으로 추락하여 5명이 사망하고 4명이 중상을 당한 것으로 판단하면 고소작업인 플랫폼을 설치하면서 필요한 안전대를 착용하지 않았던 것으로 판단된다. 추락방지를 위해 고소작업 시 필요한 안전대만이라도 착용하고 작업을 하였더라면 폭발사고 시 충격은 있었겠지만 30m의 높이에서 추락사하는 사고는 예방할 수 있었던 것으로 판단된다.

대책 5

협력업체 근로자 보호를 위한 유해·위험정보의 전달이 필요

사일로에 퇴적되어 있는 폴리에틸렌 분체에 대한 유해·위험성, 작업상 주의사항, 사고발생시 긴급조치 등에 대한 유해·위험정보를 사전에 공사업체에 전달하였더라면 화재폭발 전에 심하게 타는 냄새가 났다고 하는 다른 근로자의 증언에서 알 수 있는 것처럼 경험이 많은 근로자는 이렇게 획득한 정보를 원청에게 화기작업을 중단하고 근본적인 대책 즉 물세척을 실시하는 등 사일로 내부의 가연물을 제거한 뒤에 작업을 제기하도록 요청하였더라면 사고를 예방할 수 있었겠지만 이를 원청업체에서 이행하지 않았다.

대책 6

안전보건교육 실시

공정의 근로자에게 자신이 취급하는 화학물질의 유해·위험성 등을 알려줌으로써 화학물질 취급 시 발생할 수 있는 재해나 직업병을 사전에 예방하고 불의의 사고에도 신속히

대응하도록 하기 위해 화학물질의 명칭·성분·함유량, 안전보건상의 취급주의 사항 등이 포함된 물질안전보건자료(MSDS)를 비치하고 작업자에게 안전교육을 실시할 필요가 있으며 작업범위, 작업내용, 작업순서 등에 관한 전반적인 사항을 작업자가 충분히 이해하고 작업에 임할 수 있도록 교육이 필요하다고 판단된다.

VI. 사고로부터 얻는 교훈

HDPE공장 사일로에서 폭발사고가 발생하여 맨홀 및 플랫폼 설치 작업 중이던 협력업체 근로자 6명이 사망하고, 원청업체 작업감독자를 비롯한 협력업체 근로자 11명이 부상을 당하는 사고가 발생하여 정비 작업 시의 안전보건확보에 대하여 많은 근로자들이 인식하게 되었고, 원청업체의 협력업체에 대한 안전관리 책임과 비상 대응 및 대비에 대해 많은 문제점이 도출된 사고로서 법적, 제도적인 개선이 필요하게 되었다. 이번 사고가 발생 후 지금까지 얻은 교훈은 다음과 같다.

교훈 1

재해예방을 위한 투자비용이 사고로 인한 손실비용보다 훨씬 적게 소요된다.

고용노동부의 자료에 의하면 ○○산업(주)는 사고발생 후 지금까지 가동손실로 인한 비용이 약 1,600억원에 이른다고 한다. 이런 막대한 손실비용에는 인적피해액 뿐만 아니라 물적 피해액, 가동손실로 인한 피해액 등이 포함된 것으로 판단할 수 있다.

사고는 기업에 있어서 비용을 발생시킨다. 우리나라에서 사용하는 간접손실비용이 직접손실비용의 4배로 추정하는 것은 최소한의 비용이며, 업종이나 사고의 유형에 따라 직접 손실비용의 수십 배에 달한다는 것을 알아야 한다. 이로 인한 기업의 경영에 대한 부담감은 경영악화의 원인이 될 뿐만 아니라 결국 기업의 존폐에도 영향을 미칠 수 밖에 없는 것이다. 산업재해발생은 경영관리상의 문제이고 재해예방에 투자를 하는 것이 사고로 인한 손실비용보다 훨씬 적게 소요된다는 것을 깨닫게 해준 사고였다.

따라서, 이러한 대형재해를 예방하기 위해서는 최고경영진이 먼저 관심을 표명하고 솔선수범하여 이를 문서화된 안전방침으로 만들어 내고 예외없는 강제규정으로서 이행하여야 한다. 이 같은 방식을 통해 모든 관리감독자들과 근로자들이 조직이 진지하게 자신들과 자신들의 안전과 건강에 관심을 지니고 있다는 사실을 느끼게 될 것이다. 만약 최고경영진이 재해예방에 대해 진지한 관심을 가지고 있지 않다면 조직내 누구도 이에 관심이 없을 것이다.

교훈 2

PSM 규정의 심사·평가 기준을 정비하여 원청의 협력업체 사고예방을 위한 안전보건조치 의무를 강화하여야 한다.

PSM 규정의 심사·평가기준에 정비보수작업 시의 안전작업허가 및 절차 마련, 작업위험성 평가를 통한 대책수립여부 추가 등, 정비보수작업이 도급으로 이루어지는 경우의 사고예방을 위한 원청의 의무가 강화되어야 할 것으로 판단된다.

교훈 3

협력업체 근로자 보호를 위한 유해위험정보의 제공 의무화가 필요하다.

화재폭발 전에 심하게 타는 냄새가 났다고 하는 다른 근로자의 증언에서 알 수 있는 것처럼 사일로에 퇴적되어 있는 폴리에틸렌 분체에 대한 유해·위험성, 작업상 주의사항, 사고 발생 시 긴급조치 등에 대한 유해·위험정보를 사전에 공사업체에 전달하였더라면 경험이 많은 근로자는 이렇게 획득한 정보를 가지고 원청에게 화기작업을 중단하고 근본적인 대책 즉, 사일로 내부의 가연물을 제거하기 위한 물세척을 실시하는 등의 조치를 요구할 수 있었을 것이다.

교훈 4

공정안전관리제도의 철저한 이행이 필요하다.

2012년 6월에 실시한 사일로 보수작업 시에도 가연성 분체를 제거하기 위한 물세척을 실시하였음에도 불구하고 2013년 실시한 사일로 맨홀 설치작업 시에는 사일로에 침적된 분체를 제거하지 않은 상태에서 화기작업을 실시하였으며, 안전작업허가 시에도 이를 확인하는 절차가 없었다. 이러한 배경에는 변경관리를 통한 정비보수절차의 개정, 안전작업허가 절차에 분체취급 설비에 대한 화기작업시의 안전확보 방안 마련 등 공정안전관리의 핵심적인 제요소가 작동되지 않았던 것으로 판단되므로 공정안전관리제도를 철저히 이행하기 위한 전반적인 재검토가 필요하다.

교훈 5

관리감독자의 역할이 강화되어야 한다.

원청업체 소속의 관리감독자 2명이 작업현장에서 관리 감독을 실행하고 있었으나 사일로에 맨홀설치 작업을 하면서 화기작업을 실시하고 있었던 점으로 볼 때 관리감독자가 이러한 가연성분체로 인한 사고발생 가능성을 인식하지 못했던 것으로 이해되는 바, 관리감독자가 공사현장에서 기본적으로 수행하여야 할 직무에 대한 업무분장 및 기능을 강화하여야 할 것으로 본다.

교훈 6

안전보호구 착용 등 기본적인 안전작업절차를 준수하려는 안전의식 함양이 필요하다.

고소 장소인 사일로 상부에서 플랫폼 설치작업을 하던 근로자 9명이 30미터 아래의 바닥으로 추락하여 5명이 사망

하고 4명이 중상을 당한 것으로 판단하면 고소작업인 플랫폼을 설치하면서 필요한 안전대를 착용하지 않았던 것으로 판단된다. 추락방지를 위해 고소작업시 필요한 안전대만이라도 착용하고 작업을 하였더라면 폭발사고로 인한 충격은 있었다 하더라도 30m의 높이에서 추락사하는 사고는 일부분 예방할 수 있었던 것으로 판단된다.

교훈 7

공사전 협력업체에 대한 안전보건교육이 선행되어야 한다.

공정의 근로자에게 자신이 취급하는 화학물질의 유해·위험성 등을 알려줌으로써 작업범위, 작업내용, 작업순서 등에 관한 전반적인 사항을 작업자가 충분히 이해하고 작업에 임할 수 있도록 원청의 협력업체 근로자에 대한 보다 책임있는 교육이 필요하다.

VII. 관련 기준 및 참고자료

사고사례

HDPE 저장 사일로 폭발사고 사례

발생일시	2012. 06. 28(목) 01:20분경
사고장소	○○산업(주) 여수공장 HDPE 저장공정 ※ 사고사례 대상 사업장내의 동일 공정임
피해내용	사일로 및 부속설비 폭발
피해상황	■ 고밀도폴리에틸렌(HDPE) 공장에서 정상 운전 중이던 펠렛저장조(Pellet Silo)에 잔류하고 있던 미반응 가스에 의해 1차 폭발이 발생되고, 폭발압력을 동반한 화염이 상부로 연결된 12" 배관을 통해 전파되어 연결된 집진기에서 2차 폭발이 발생됨. ■ 폭발과 함께 화재가 발생한 집진기 내부의 분체가 집진기 양측 노즐로 분출되어 인접한 분체저장조 2기의 하부를 손상시킴.
피해상황	■ 인명 피해: 없음 ■ 물적 피해: Silo 2기 및 부속설비 파손
사고원인	분체 이송 시 발생된 정전기 또는 설비 내에 유입된 이물질(금속 등)의 충돌·마찰로 인해 발생한 불씨(Spark)에 의한 점화로 추정할 수 있음.

참고문헌

1. 폴리에틸렌 열분해 생성물의 분포 특성, 충북대학교 공과대학 화학공학과 이동환 외3명(2008년 2월 13일)
2. 산업안전보건법. 고용노동부 ; 2013
3. 산업안전보건용어사전, 한국산업안전보건공단 ; 2006
4. 고밀도폴리에틸렌 물질안전보건자료, 한국산업안전보건공단

□ 작 성

- 이경성 (안전보건공단 중대산업사고예방실)
- 표돈영 (안전보건공단 중대산업사고예방실)

□ 검 토

- 문 일 (연세대학교 교수, 안전보건공단 사고조사위원)
- 김찬오 (서울과학기술대학교 교수, 안전보건공단 사고조사위원)
- 이신재 (안전보건공단 기술이사)
- 이충호 (안전보건공단 중대산업사고예방실 실장)

『HDPE 공장 사일로 폭발사고』 사고사례 연구

2013-중대산업-521

발 행 일 : 2013년 8월 일

발 행 인 : 한국산업안전보건공단 이사장 백 헌 기

발 행 처 : 한국산업안전보건공단 중대산업사고예방실

주 소 : 인천광역시 부평구 무네미로 478

전 화 : (032) 510-0855

F A X : (032) 512-8315

Homepage : <http://www.kosha.or.kr>

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함