

2019-중앙사고조사-1639

안전은 권리입니다

대형사고 사례집

2019. 12

산업재해예방
안전보건공단
중앙사고조사단



책을 펴내면서

사회와 경제가 발달함에 따라 산업현장에서 발생하는 사고는 점차 고도화·복잡화·대형화되는 반면, 안전보전에 대한 국민들의 요구는 어느 때보다 높아지고 있습니다. 충분히 납득할 때까지 원인 조사를 요구하는 국민들의 요구에 부응하고자 우리 공단은 대형사고 전담조직 신설을 계획하게 되었고 2017년 대형사고 전문 TFT 출범, 2018년 정식 조직화를 거쳐 2019년 대형사고 전담 조직으로서의 역할을 수행하는 중앙사고조사단을 이사장 산하 독립조직으로 확대 개편하였습니다.

중앙사고조사단의 확대 개편은 대형사고 정밀조사 전담 및 중대재해업무 주관 조직으로서 대형사고 대응 조직을 갖추어 대내외적으로 공단의 위상을 제고하는 한편, 전문 인력에 의한 심층 정밀조사를 통해 재해 발생의 근본적인 원인 도출을 실시하고 이에 따른 피드백을 통해 동종 재해를 예방하는 것에 그 목적이 있다 하겠습니다.

이번 사례집은 과거 10년간 발생한 대형사고 심층분석을 통해 대형사고 감소를 위한 정보를 제공하고, 확대 개편된 중앙사고조사단이 실시한 대형사고 심층정밀 조사 중 사회적 이슈가 될 만한 사례를 정리함으로써 다양한 사고예방주체들의 경각심을 고취하여 대형사고 예방활동을 체계적으로 추진할 수 있는 동력이 되고자 하는 목적으로 제작되었습니다.

본 사례집이 대형사고 감소에 기여함과 동시에 전체적인 사망사고의 감소에도 도움이 될 수 있기를 기원합니다.

감사합니다.

2019. 12.

한국산업안전보건공단 이사장

 류응

Contents

I. 서론	1
1. 대형사고 사례집 제작 목적	3
2. 사례집 주요 내용 및 심층분석 방법	3
가. 사례집 주요 내용	3
나. 대형사고 심층분석 방법	3
다. 대형사고 분석 조건	4
II. 대형사고 현황 통계분석	5
1. 과거 10년간 대형사고 분석	7
2. 대형사고 분석결과 시사점	20
III. 대형사고 대표사례	21
사례 1. 컨베이어 점검 중 끼임	23
사례 2. 합성반응기 폭발반응에 의한 화재·폭발	32
사례 3. 집수조 내부 황화수소 중독에 의한 질식사고	38
사례 4. 세트앵커볼트 풀림 원인조사 중 천장 판넬 붕괴	42
사례 5. 지지 고리의 벌어짐에 의한 승강기 카 낙하	51
사례 6. 일산화탄소 중독에 의한 질식사고	55
사례 7. 계근대 하부 지하 피트 페인트 유증기 폭발	58
IV. 근본적 사고원인분석 사례	63
사례 8. T/C 운반 자재가 안전난간에 걸려 낙하	65
사례 9. 콘크리트 타설작업 중 데크플레이트 붕괴	77
사례 10. 소화저수조 예폭시 방수작업 중 화재	87
〈첨부1〉 2019년 중앙사고조사단 대형사고 정밀조사 리스트	98

I

서론

I 서론

1. 대형사고 사례집 제작 목적

우리나라 산업현장에서는 연평균 36여건의 대형사고가 발생하고 70여명의 근로자가 소중한 생명을 잃고 있다. 이러한 대형사고 예방을 위해 과거 10년간 발생한 대형사고의 심층분석을 실시하여 대형사고 예방대책 수립을 위한 정보와 시사점을 제시하고, 다양한 대형사고 사례와 근원적 사고원인조사기법 활용을 통한 재해예방대책을 전파함으로써 대형사고 감소에 이바지하고자 한다.

2. 사례집 주요 내용 및 심층분석 방법

가. 사례집 주요 내용

- 1) 과거 10년간 발생한 대형사고 심층분석
- 2) 대형사고 발생원인 및 대책에 대한 사례 전파
- 3) RCA(Root Cause Analysis)를 통한 예방대책 제시

나. 대형사고 심층분석 방법

1) 분석 개요

가) 분류기준 및 정의

- 중대재해
 - 사망자 1명 이상 발생
 - 3개월 이상의 요양을 요하는 부상자가 동시에 2명 이상 발생
 - 부상자 또는 직업성 질병자가 동시에 10명 이상 발생
- 중대산업사고
 - 위험물질의 누출·화재·폭발 등으로 인하여 사업장 내의 근로자에게 피해를 주거나 사업장 인근지역에 피해를 줄 수 있는 산업안전보건법 제49조의2에서 정한 사고

대형사고 사례집

- 중요사고(이하 “대형사고”)
 - 사망자 2명 이상 발생
 - 사상자 3명 이상(사망 반드시 포함) 발생
 - 중대산업사고
- 중대사고
 - 사망자 3명 이상 발생
 - 사상자 5명 이상(사망 반드시 포함) 발생
 - 중대산업사고

나) 분석 대상

- 중대재해 : 과거 10년간 공단에서 조사한 중대재해 8,929건(사망 9,128명)
- 대형사고 : 과거 10년간 공단에서 조사한 대형사고 361건(사망 708명)

다) 분석방법

- 분류 대상별 조건
 - 중대재해 : 업종별, 연도별, 발생형태별, 월별
 - 중대사고 : 업종별, 연도별, 발생형태별, 월별, 지역별, 기인물별
- 분류대상(변수)별 분포 현황 : 막대 및 원형 그래프 등
- 분류대상(변수)간 교차분석 및 유의성 파악

다. 대형사고 분석 조건

- 1) 통계자료의 기준은 발생일 기준 2009년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지임
- 2) ERP에 등재된 중대재해 조사의견서를 분석한 것으로 각종 데이터는 조사의견서에 기술된 내용을 기준으로 분석함.
- 3) 보고서에서 표시되는 통계 수치는 분류 기준상의 차이 등으로 기존에 발표된 통계자료와 상이할 수 있으며 공식 통계로 활용할 수 없음.

II

대형사고 현황 통계분석

Ⅱ 대형사고 현황 통계분석(공단 중대재해보고서 기준)

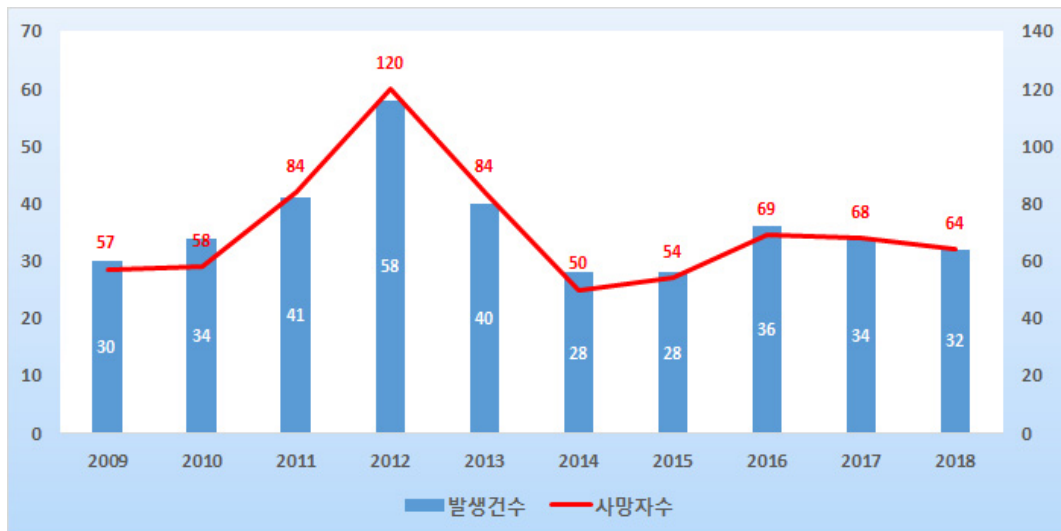
1. 과거 10년간(2009~2018) 대형사고 분석

가. 중대재해 전체 현황

〈표 1. 연도별 전체 현황〉

(단위 : 건수, 명)

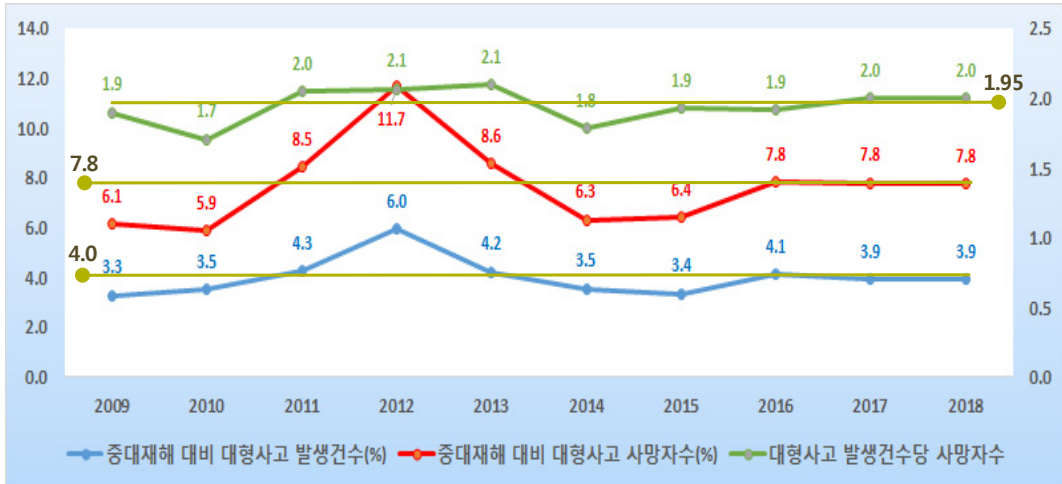
구 분	계	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
발생건수	중대재해	361	911	970	958	974	945	790	831	875	862	813
	대형사고	361	30	34	41	58	40	28	28	36	34	32
	비율(%)	4.0	3.3	3.5	4.3	6.0	4.2	3.5	3.4	4.1	3.9	3.9
사망자수	중대재해	9,128	928	987	994	1,029	978	792	840	882	873	825
	대형사고	708	57	58	84	120	84	50	54	69	68	64
	비율(%)	7.8	6.1	5.9	8.5	11.7	8.6	6.3	6.4	7.8	7.8	7.8



[그림 1. 연도별 대형사고 발생건수 및 사망자수]

대형사고 사례집

- 과거 10년간 대형사고 발생건수는 361건으로 전체 중대재해 발생건수(8,929건)의 약 4.0%를 차지하고 있으며, 대형사고로 인한 사망자수는 708명으로 전체 중대재해 사망자수(9,128명)의 약 7.8%를 차지함.



[그림 2. 중대재해 대비 대형사고 비율(%) 추이]

- 대형사고 발생건수 및 사망자수는 12년을 기점으로 점차 줄어들고 있으나 중대재해 대비 대형사고 비율은 변동 없이 유지되고 있으므로 대형사고 발생건수의 감소는 중대재해 자체가 감소하는 것에 대한 영향으로 보임.
- 대형사고 발생건수당 사망자수는 조금씩 증가하는 경향을 감지할 수 있는데 이는 산업공정의 고도화·복잡화·대형화에 의한 방증으로 볼 수 있음.

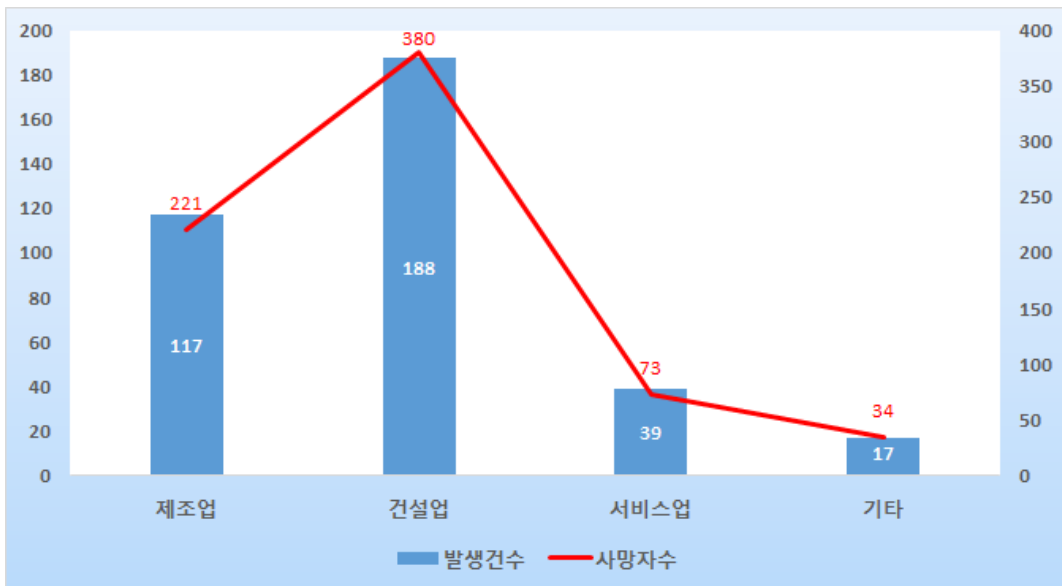
나. 업종별 대형사고 현황

□ 전체

〈표 2. 업종별 대형사고 현황〉

(단위 : 건수, 명)

구 분	계	제조업	건설업	서비스업	기타
발생건수	361	117	188	39	17
사망자수	708	221	380	73	34



[그림 3. 업종별 대형사고 발생건수 및 사망자수]

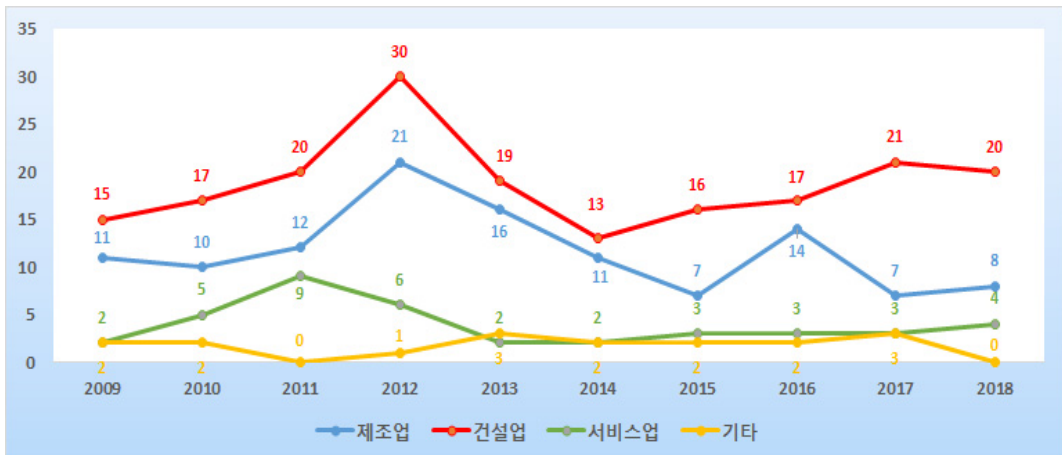
- 업종별 대형사고 발생건수는 건설업이 188건(52.1%)으로 가장 많고 제조업 114건(31.6%), 서비스업 39건(10.8%)순이며, 사망자수 역시 건설업이 380명(53.7%)으로 가장 많고 제조업 221명(31.2%), 서비스업 73명(10.3%)순임.

□ 연도별

〈표 3. 연도별 대형사고 발생현황〉

(단위 : 건수)

구 분	계	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
제조업	117	11	10	12	21	16	11	7	14	7	8
건설업	188	15	17	20	30	19	13	16	17	21	20
서비스업	39	2	5	9	6	2	2	3	3	3	4
기타	17	2	2	0	1	3	2	2	2	3	0



[그림 4. 연도별 대형사고 발생건수]

○ 업종별 대형사고 발생 추이의 특징이 다르게 나타남.

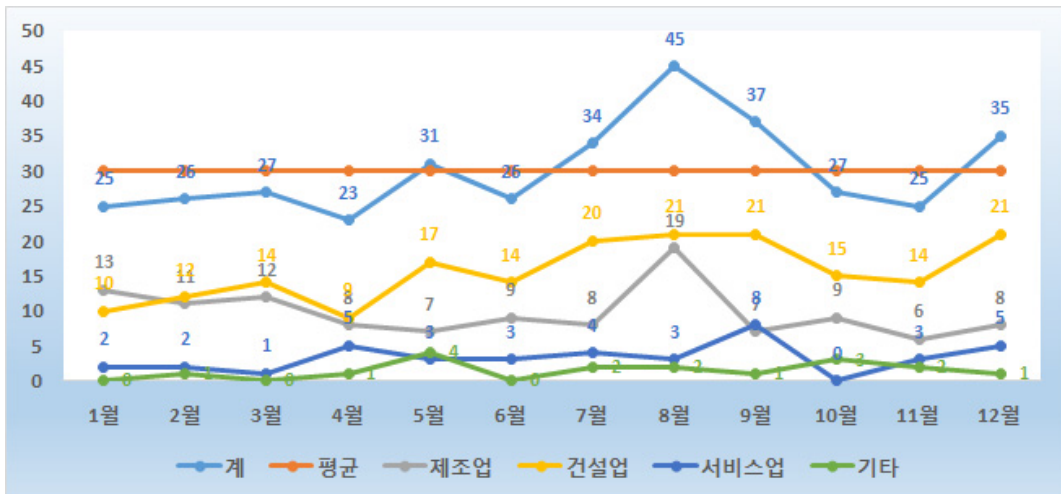
- (제조업) 전 기간에 걸쳐 대형사고 발생 등락이 반복되고 일정한 방향성을 찾기 어려움.
- (건설업) 2014년을 기점으로 뚜렷한 증가 추세를 나타내고 있음.
- (서비스업) 연도별 일정한 발생건수가 유지되고 있음.

□ 월별

〈표 4. 월별 대형사고 발생현황〉

(단위 : 건수)

구 분	계	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
제조업	117	13	11	12	8	7	9	8	19	7	9	6	8
건설업	188	10	12	14	9	17	14	20	21	21	15	14	21
서비스업	39	2	2	1	5	3	3	4	3	8	0	3	5
기타	17	0	1	0	1	4	0	2	2	1	3	2	1



[그림 5. 월별 대형사고 발생건수]

○ 여름철 기간(7월~9월)에 대형사고가 많이 발생하고 연초 기간(1월~4월)에 상대적으로 적게 발생함. 여름철 대형사고 발생은 무더위 및 휴가 등에 따른 환경적 요인이 어느 정도 작용한 것으로 보임

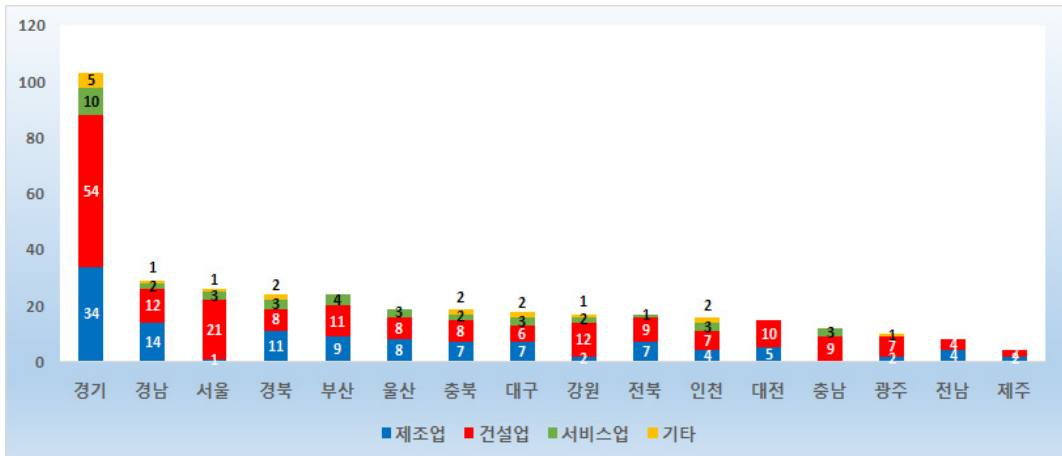
- (제조업) 8월(19건/16.2%) 대형사고 발생건수가 월등히 많음. 무더위 및 휴가 등으로 인한 환경적 요인에 영향을 받는 업종임을 확인할 수 있음.
- (건설업) 여름철 기간(7~9월)과 12월에 대형사고가 많이 발생하고 연초 기간(1~4월)에 상대적으로 적게 발생함. 대형사고 발생에 대한 건설업의 비중이 큰 만큼 전체 월별 발생 추이와 유사한 형태를 보임.
- (서비스업) 9월(8건/20.5%) 대형사고 발생건수가 월등히 많고 4월, 12월(5건, 12.8%) 순임. 다른 달에서의 발생건수 차이는 두드러지지 않음.

□ 지역별

〈표 5. 지역별 대형사고 발생현황〉

(단위 : 건수)

구 분	경기	경남	서울	경북	부산	울산	충북	대구	강원	전북	인천	대전	충남	광주	전남	제주
제조업	34	14	1	11	9	8	7	7	2	7	4	5	0	2	4	2
건설업	54	12	21	8	11	8	8	6	12	9	7	10	9	7	4	2
서비스업	10	2	3	3	4	3	2	3	2	1	3	0	3	0	0	0
기타	5	1	1	2	0	0	2	2	1	0	2	0	0	1	0	0



[그림 6. 지역별 대형사고 발생건수]

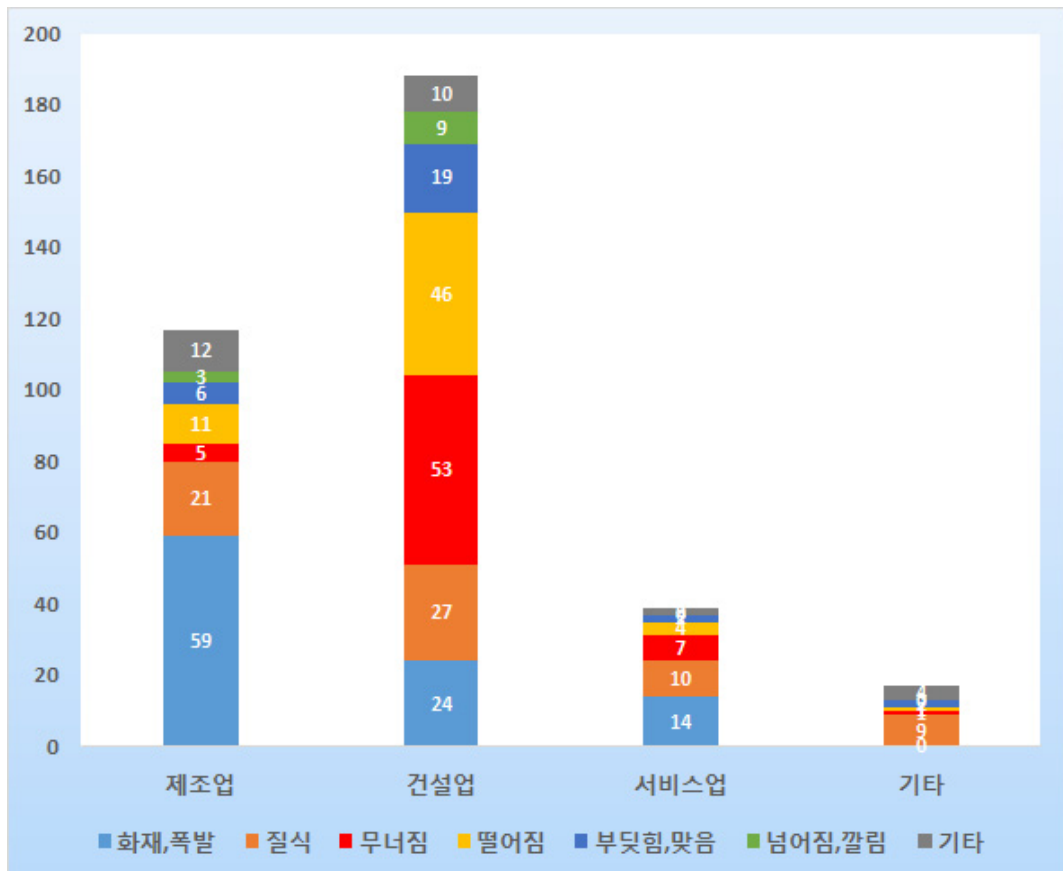
- 지역별 대형사고 발생건수는 전체 16개 지역 중 경기도 지역에서 103건(28.5%)으로 압도적으로 많이 발생하고 있으며 경남 29건(8.0%), 서울 26건(7.2%)순으로 발생함.
 - (제조업) 경기 34건(29.1%), 경남 14건(12.0%), 경북 11건(9.4%), 부산 9건(7.7%) 순으로 발생함.
 - (건설업) 경기 54건(28.7%), 서울 21건(11.2%), 경남 및 강원 각12건(5.9%) 순으로 발생함.
 - (서비스업) 경기 10건(25.6%), 부산 4건(10.3%) 순으로 발생함.

□ 발생형태별

〈표 6. 발생형태별 대형사고 발생현황〉

(단위 : 건수)

구 분	계	화재·폭발	질식	무너짐	떨어짐	부딪힘·맞음	넘어짐·깔림	기타
제조업	117	59	21	5	11	6	3	12
건설업	188	24	27	53	46	19	9	10
서비스업	39	14	10	7	4	2	0	2
기타	17	0	9	1	1	2	0	4

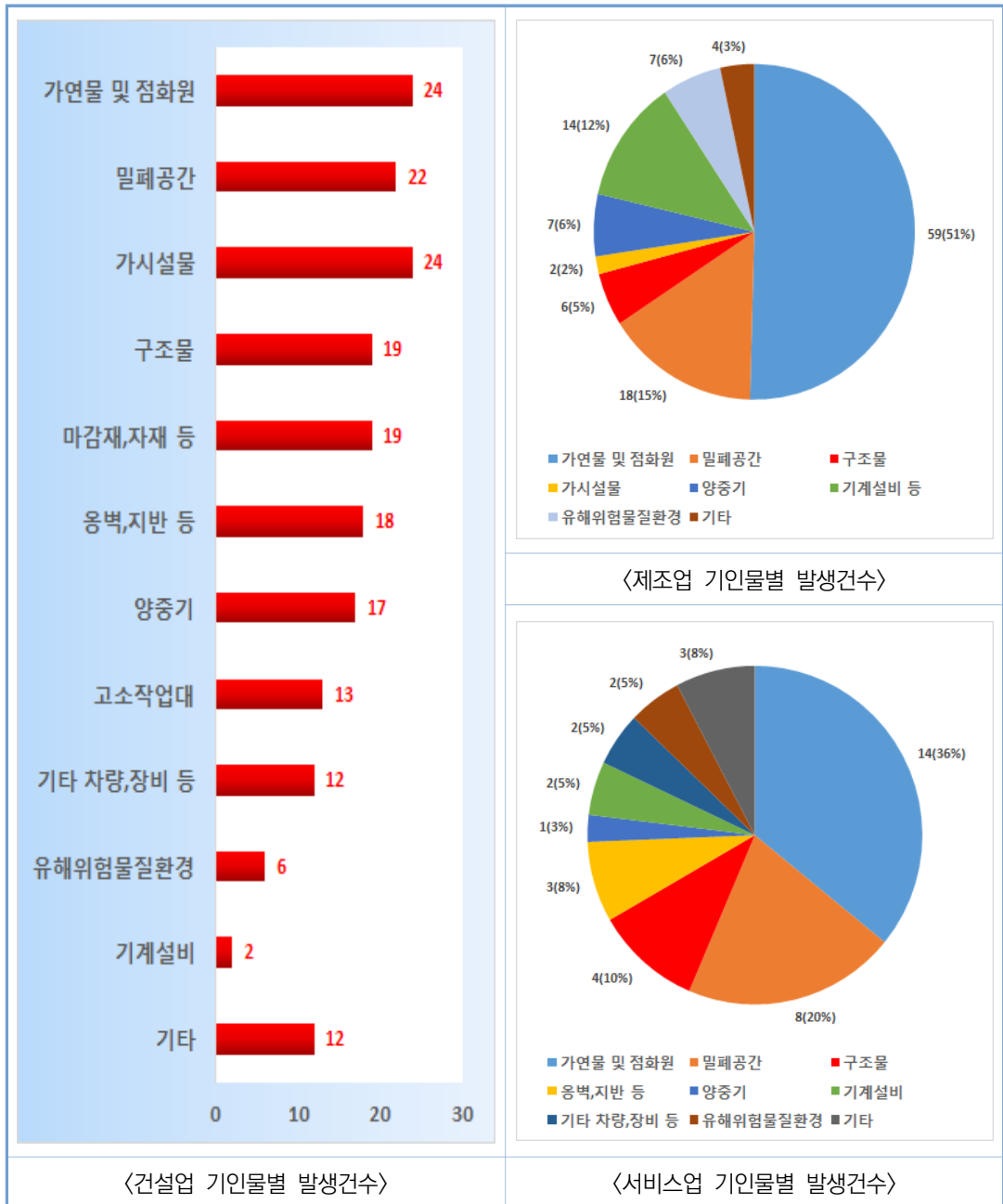


[그림 7. 발생형태별 대형사고 발생건수]

대형사고 사례집

- 업종별로 대형사고 발생형태에 따른 차이가 확연히 드러남.
 - (제조업) 화재·폭발에 의한 대형사고가 59건(50.4%)으로 절반 이상을 차지하고 있으며 질식 21건(17.9%), 떨어짐 11건(9.4%) 순으로 발생함.
 - (건설업) 무너짐에 의한 대형사고가 53건(28.2%)으로 가장 많으며, 떨어짐 46건(24.5%), 질식 27건(14.4%) 순으로 발생함. 무너짐과 떨어짐 형태에서 절반 이상(52.6%)을 차지함.
 - (서비스업) 화재·폭발에 의한 대형사고가 14건(35.9%)로 가장 많으며, 질식 10건(25.6%), 무너짐 7건(17.9%) 순으로 발생함.
- 가장 많이 발생한 재해형태는 화재·폭발(97건, 26.9%) 사고이며 전업종에 걸쳐 고르게 나타난 재해형태는 질식(제조 : 17.9%, 건설 : 14.4%, 서비스 : 25.6%, 기타 : 52.9%) 사고임.

□ 기인물별



[그림 8. 기인물별 대형사고 발생건수]

- 업종별 대형사고 발생 기인물은 발생형태별 추이와 연동되어 나타남.
 - (제조업) 가연물 및 점화원에 기인한 발생건수가 59건(51.4%)으로 가장 많으며, 밀폐공간 18건(15.4%), 기계설비 14건(12.0%)순으로 나타남.
 - (건설업) 가연물 및 점화원과 가시설물에 기인한 발생건수가 각 24건(12.8%)으로 가장 많으며, 밀폐공간 22건(11.7%), 구조물과 마감재·자재 각 19건(10.1%)순으로 나타남.
 - (서비스업) 가연물 및 점화원에 기인한 발생건수가 14건(35.9%)으로 가장 많으며, 밀폐공간 8건(20.5%), 구조물 4건(10.3%)순으로 나타남.

다. 대형사고 교차분석

□ 기인물-발생형태별

1) 제조업

〈표 7. 기인물-발생형태별 발생현황(제조업)〉

(단위 : 건수)

구 분	계	화재 폭발	질식	떨어짐	맞음	무너짐 ·깔림	이상 온도	화학 물질	끼임	기타
계	117	59	21	11	5	7	5	4	3	2
가연물 및 점화원	59	59 (50.4%)	0	0	0	0	0	0	0	0
밀폐공간	18	0	18 (15.4%)	0	0	0	0	0	0	0
기계설비	12	0	0	2	2	1	4	0	2	1
양중기	7	0	0	4	1	1	0	0	0	1
유해위험 물질환경	7	0	3	0	0	0	0	4	0	0
본 구조물	5	0	0	3	0	2	0	0	0	0
자재·공구 등	3	0	0	0	2	1	0	0	0	0
가시설물	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0
고소작업대	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
구조물	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
차량·장비 등	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
기타	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0

○ 가연물 및 점화원에 기인한 화재·폭발사고가 59건(50.4%)으로 가장 많이 발생하고 밀폐공간에서의 질식사고가 18건(15.4%)으로 다음으로 많이 발생함.

- 화재·폭발사고는 모두 가연물 및 점화원에 기인하여 발생함에 따라 화재·폭발사고의 예방을 위해서는 가연물 및 점화원 관리가 필수적임.
- 질식사고는 대부분 밀폐공간에서 발생하였으나 개방 공간에서의 질식사고 발생 가능성도 항상 고려해야 함.

2) 건설업

〈표 8. 기인물-발생형태별 발생현황(건설업)〉

(단위 : 건수)

구 분	계	무너짐 ·갈림	떨어짐	질식	화재 폭발	부딪힘	맞음	넘어짐	감전	기타
계	188	58	46	27	24	10	9	4	3	7
가시설물	24	13 (6.9%)	10	0	0	0	1	0	0	0
가연물 및 점화원	24	0	0	0	24 (12.8%)	0	0	0	0	0
밀폐공간	22	0	0	22 (11.7%)	0	0	0	0	0	0
마감재· 자재 등	19	15 (8.0%)	2	0	0	0	2	0	0	0
구조물 등	19	8	9	0	0	1	0	0	0	1
옹벽·지반 등	18	15 (8.0%)	0	0	0	1	1	0	0	1
양중기	17	5	11 (5.9%)	0	0	0	0	1	0	0
고소작업대	13	0	9 (4.8%)	0	0	0	1	3	0	0
기타 차량 ·장비 등	12	1	4	0	0	5	2	0	0	0
유해위험 물질환경	6	0	0	5	0	0	0	0	0	1
활선부	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0
기타	11	1	1	0	0	3	2	0	0	4

○ (건설업) 가연물 및 점화원에 기인한 화재·폭발사고가 24건(12.8%)으로 가장 많이 발생하고 밀폐공간 질식사고 22건(11.7%), 마감재·자재 및 옹벽·지반 등의 무너짐·갈림 사고 각 15건(8.0%) 순으로 발생함.

- 가연물 및 점화원에 기인한 화재·폭발사고와 밀폐공간 질식사고가 가장 많이 발생하는 것은 제조업, 서비스업과 동일하고 건설현장 주변 환경에 의한 무너짐·갈림사고도 적지 않게 발생함.
- 양중기 및 고소작업대의 떨어짐사고 역시 각각 11건(5.9%), 9건(4.8%)으로 유의미한 수치를 나타내고 있음.

3) 서비스업

〈표 9. 기인물-발생형태별 발생현황(서비스업)〉

(단위 : 건수)

구분	계	화재 폭발	질식	무너짐	떨어짐	부딪힘	감전	기타
계	39	14	10	7	4	2	1	1
가연물 및 접화원	14	14 (35.9%)	0	0	0	0	0	0
밀폐공간	8	0	8 (20.5%)	0	0	0	0	0
본구조물	4	0	0	1	3	0	0	0
옹벽·지반 등	3	0	0	3	0	0	0	0
기계설비	2	0	0	0	1	1	0	0
기타 차량,장비 등	2	0	0	0	0	1	0	1
유해위험 물질환경	2	0	2	0	0	0	0	0
양중기	1	0	0	1	0	0	0	0
활선부	1	0	0	0	0	0	1	0
기타	2	0	0	2	0	0	0	0

○ 가연물 및 접화원에 기인한 화재·폭발사고가 14건(35.9%)으로 가장 많이 발생하고 밀폐공간 질식사고가 8건(20.5%)으로 다음으로 많이 발생함.

- 서비스업의 교차분석 결과 제조업의 교차분석 결과와 상당히 유사하게 나타남.

2. 대형사고 분석결과 시사점

- 중대재해 대비 대형사고 발생 빈도는 4.0%(사망자수 비율은 7.8%)로 높지 않으나, 동시에 다수의 사상자가 발생하여 사회에 직간접적 영향을 끼치는 것을 고려해 볼 때 사고사망을 줄이기 위한 대형사고 예방 노력은 필수적임.
- 발생건수당 사망자수는 조금씩 증가하는 경향을 보이는데, 이는 산업공정이 고도화·복잡화·대형화되는 과정임을 나타내는 간접지표로 보임.
 - 사고조사 및 예방을 위해서는 산업공정의 변화에 따른 전문적·종합적 안전지식과 통찰능력이 요구됨.
- 업종별 대형사고 발생 특성이 상이하므로 이를 고려한 사고예방전략 수립이 필요함.
 - (연도별) 건설업이 2014년을 기점으로 뚜렷한 증가 추세가 나타남.
 - (월 별) 여름철(7~9월) 및 12월에 집중하여 발생함.
 - 제조업 : 8월(19건/16.2%)에 대형사고 발생건수가 월등히 많음.
 - 건설업 : 1월에 가장 적게 발생하고 점차 증가하는 형태를 보이며, 여름철(7~9월)에 가장 많이 발생함.
 - 서비스업 : 4월, 9월, 12월에 대형사고 발생이 집중됨.
 - (지역별) 16개 지역 중 경기도(28.5%)에서 가장 많이 발생함.
 - 건설업의 경우 수도권(경기+서울, 인천 제외)에서 약 40%가 발생하고 있음.
 - (기인물-형태) 전업종에 걸쳐 가연물 및 점화원에 의한 화재·폭발사고가 가장 많이 발생하고 밀폐공간 질식사고가 다음으로 많이 발생함.
 - 제조업 대형사고의 65.8%, 건설업 대형사고의 24.5%, 서비스업 대형사고의 56.4%를 차지함.
 - 건설업의 경우 옹벽, 가시설물, 마감재 등에 의한 무너짐 사고(22.9%) 발생도 고려하여야 함.

Ⅲ

대형사고 대표사례

Ⅲ 대형사고 대표사례

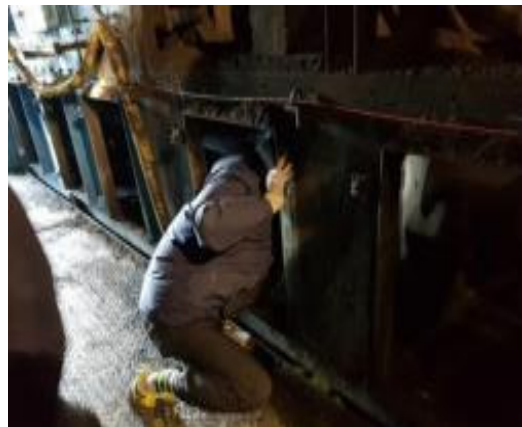
사례 1. 컨베이어 점검 중 끼임

1. 사고개요

2018년 00월 00일 00시 소재 000(주)에서 석탄 운반 벨트컨베이어 순찰점검중 컨베이어 Return측 Tail부위 Turn-Over 구간에서 Idler에 끼여 사망



[그림 9. 공기부양(Air Blowing) 구간]



[그림 10. 사고발생 구간(Turnover)]

□ 인명피해

- 사망 1명

□ 물적피해

- 없음

* 기타 사고설비 운행정지(작업중지)에 따른 손해

2. 사고발생 현황

□ 사업장 주요업무

- 사고발생 사업장 000(주)는 □□발전의 협력업체로서 선박에서 하역된 석탄이 옥내 저탄장에 저장되게 되면,
 - 000(주)는 옥내저탄장에서 발전설비 전단의 사일로(저장고)까지 석탄을 이송하는 벨트 컨베이어 설비운전 및 운전에 따른 벨트컨베이어 점검업무를 담당함.

① 옥내저탄장 → ② 이송탑(TT-G) → ③ 이송탑(BB) → ④ 이송탑(SCB) → ⑤ 이송탑(TT-A) → ⑥ 이송탑(TT-C) → ⑦ 이송탑(STT) → ⑧ 사일로(석탄저장고)

* TT(Transfer Tower, 방향전환 이송탑) : 석탄의 이송방향을 전환

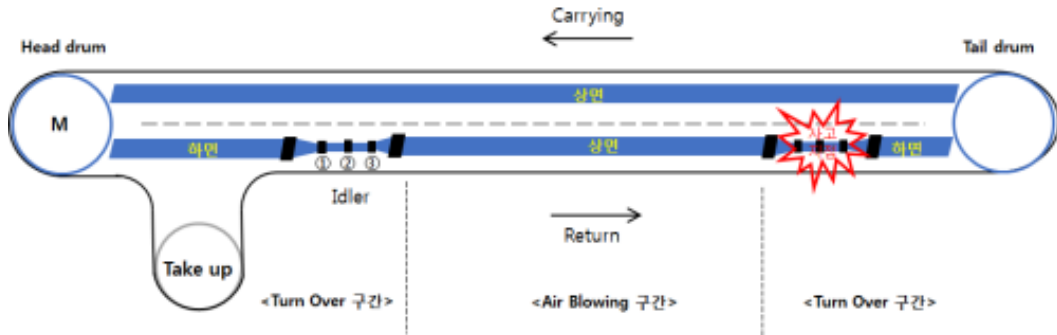
* BB(Blending Building, 혼탄조) : 설계조건에 맞게 석탄을 혼합

* SCB(Screen Crusher Building, 괴탄선별기 및 분쇄기) : 석탄 직경이 10cm이상인 것은 저탄장으로 회수

* STT(Scrapper Transfer Tower, 분배이송타워) : 사일로에 석탄을 배분하여 이송

□ 사고발생 설비(공기부양식 벨트 컨베이어)

- 사고 컨베이어는 공기부양식 벨트컨베이어(ABC : Air-supported Belt Conveyor)로 화물을 운송하는 구간(Carrying)과 리턴(Return)구간의 벨트를 공기로 부양하여 이송하는 방식(Air Blowing)으로 벨트 하부에 가이드 롤러가 없는 형식임
 - 분진 발생을 최소화하기 위하여 벨트가 외부로 보이지 않도록 전구간 밀폐형으로 설치되었으며, 공기로 벨트를 부양하기 위하여 석탄이 묻지 않은 깨끗한 면(하면)이 아래로 향하도록 리턴구간에서 턴오버(방향 전환)되도록 설치된 설비이며,
 - 비상정지장치는 PCS(Pull Cord Switch) 타입으로 밀폐형 컨베이어 외부에 설치되어 있음.

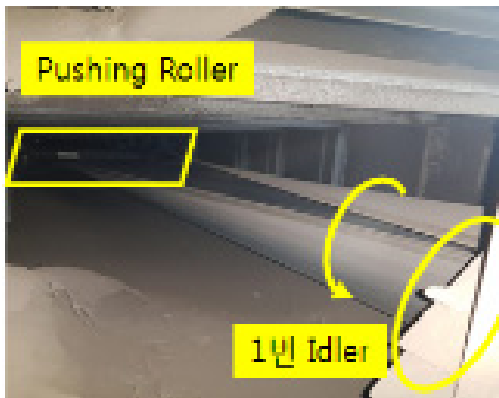
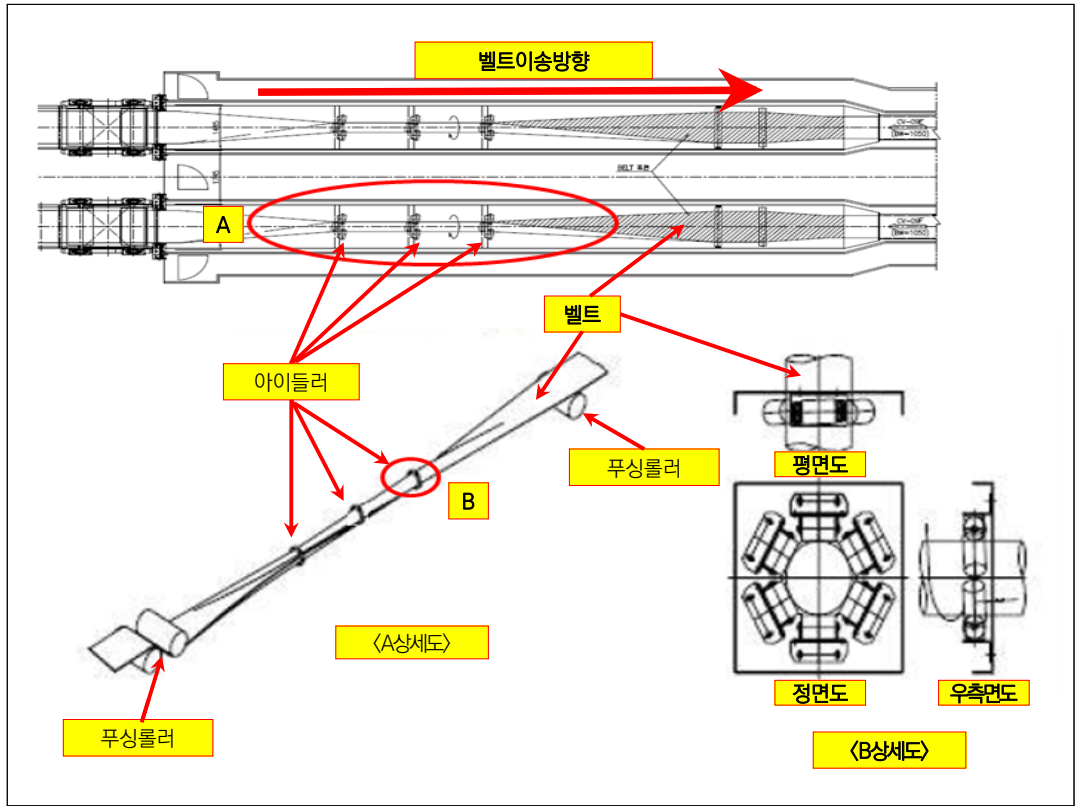


[그림 11. 공기부양식(ABC) 벨트컨베이어 - 사고설비]

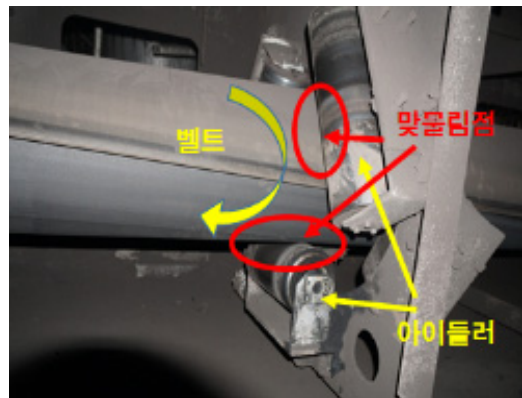
- * Carrying : 벨트에 석탄을 싣고 운반하는 구간
- * Return : 벨트의 석탄을 내리고 빈 벨트로 운송되는 구간
- * Head Drum : 벨트를 구동하기 위한 동력(Motor)이 설치된 풀리
- * Tail Drum : 동력이 없는 Head쪽 반대편 풀리
- * Take Up : 벨트의 장력을 조정하기 위한 풀리
- * Turn Over 구간 : 벨트의 상·하면을 바꾸기 위한 구간으로 아이들러(6개 1set)가 3개소에 설치되어 있고, 전·후단에 벨트를 잡아주기 위한 푸싱롤러(Pushing Roller)가 설치된 구간
- * Air Blowing 구간 : 벨트의 하부(깨끗한 면)에 공기를 불어 넣어 벨트를 0.4mm 부양하여 석탄을 운반(Carrying)하거나 공벨트로 운행(Return)되는 구간
- * 상면 : 석탄이 운송되는 면(오염된 면)
- * 하면 : 상면의 반대면으로 벨트를 부양하기 위하여 공기와 맞닿는 면(깨끗한 면)

□ 사고발생 장소(Turn-Over장치)

- 컨베이어 벨트 상·하면을 뒤집어 주는 턴오버(Turn-Over) 장치는 석탄을 운반한 뒤 리턴되는 벨트의 상·하면을 바꾸는 장치로서 석탄운반 시 벨트 표면에 묻어 있는 이물질이나 잔류물 등이 컨베이어 하부로 떨어지지 않도록 하기 위해 설치됨.
- (동작원리) 턴오버 구간 양쪽 끝단에 푸싱롤러(Pushing Roller)가 설치되어 있으며, 벨트를 한번 꼬아서 Pushing Roller가 서로 잡아 준 상태에서 3set(Idler 6개/1Set)의 아이들러를 통과하면서 벨트가 둥글게 말리면서 상·하면 방향이 전환됨.



<양 끝에 Pushing Roller가 벨트를 꼬아 잡음>



<벨트가 아이들러(idler)를 통과하면서 등글게 말리면서 상하면이 뒤집어 짐>

[그림 12. 턴오버(Turn Over) 장치]

3. 사고분석

가. 사고발생과정

시 각	작 업 현 황
18:20경	사업장에 출근하여 18:30분경 근무 시작
20:00경	이송탑(TT-A) 점검 및 컨베이어 낙탄(간섭탄, 고착탄) 제거
21:00경	현장 사진 촬영하여 파트장에게 보고, 이송탑(TT-B) 점검
22:21경	동료 작업자(홍길동)가 현장 동반점검을 위해 현장에서 만나기로 약속(통화)
22:35경	사고발생 장소 이송탑(TT-C)에 설치된 CCTV(사고장소 아래층)에서 재해자 이동 모습 포착
22:41/ 22:55경	홍길동이 재해자에게 연락하였으나 전화를 받지 않음
23:30경	같은 조 동료 직원들이 재해자를 찾기 시작
01:00경	현장에 있는 전체 직원 재해자 찾기 시작
03:23경	재해자가 벨트컨베이어에 끼여 있는 것을 발견

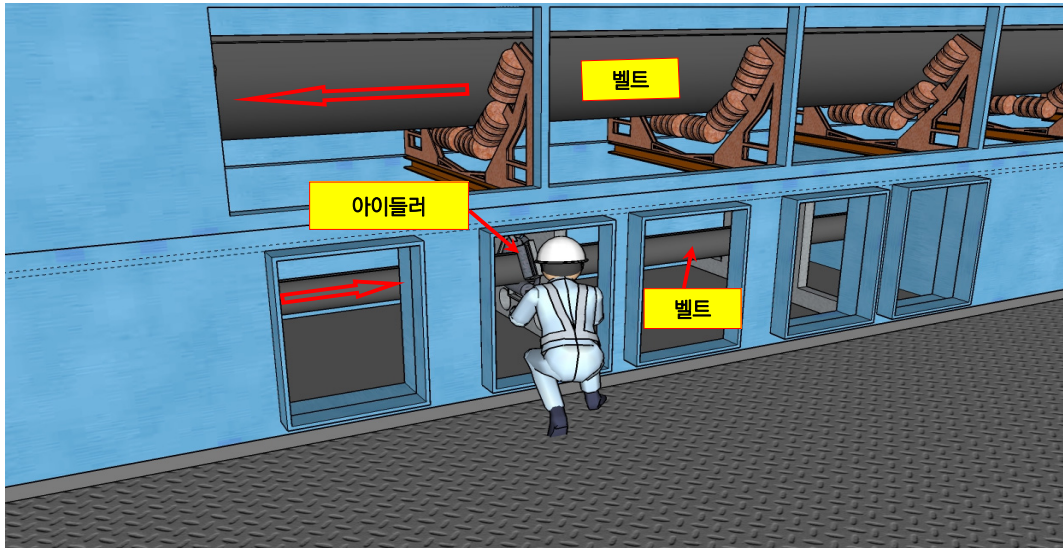
나. 사고원인분석

1) 청소, 점검 등의 작업시 설비의 운전을 정지하지 않고 작업

- 점검구를 제거함에 따라 청소, 점검 등의 작업을 위해 접근할 경우 위험점이 노출된 컨베이어임에도 불구하고 운전을 정지하거나 근로자 접근방호조치를 하지 않은 상태에서 작업 실시

2) 위험점에 대한 점검구 도어를 제거한 상태에서 설비 점검

- 공기부양식 컨베이어(ABC)는 위험점(물림점)에 근로자 접근 자체가 불가능하도록 밀폐형으로 설계·설치되어 안전한 설비이었으나, 설비 운영 중 설비 정비, 청소, 점검 등의 작업시 작업편의성을 사유로 점검구 덮개를 제거하여 위험점이 노출되었으며, 점검시 점검구 내부가 어두워 한 손에 후레쉬를 집어 든 상태로 상반신을 집어 넣거나 쭈그려 앉아 육안으로 점검하는 등 불안정한 자세로 점검함에 따라 위험점에 신체의 일부가 접촉하여 말려들어 감.



[그림 13. 턴오버(Turn Over) 장치 아이들러 점검방법(추정)]

3) 순찰 점검구역에 대한 조도 미확보

- 주요 낙탄위치에 대하여 1일 6회 이상 일상점검을 실시하도록 되어 있으나, 적절한 조명이 확보되지 않아 한 손으로 손전등, 휴대폰 조명 등을 들고, 설비점검을 위해 상반신을 점검구 내부로 집어넣거나 들여다 보는 등 불안정한 행동을 유발함.



[그림 14. 설비점검시 손전등 사용(사고당일 CCTV)]

4) 비상정지장치(PCS) 설치 불량

- 벨트컨베이어에 설치된 비상정지장치(PCS, Pull Cord Switch)는 설계도면상 총 18개 설치하도록 설계되었으나, 실제로는 16개가 설치(2개 누락)되어 누락된 지점에서 비상정지장치 동작이 불가하였으며,
 - 비상정지장치 기능은 비상시 즉시 운전정지할 수 있는 구조이어야 하나, 줄(코드)이 느슨하게 설치되어 있어 작업자가 즉시 정지하기 힘든 구조임.

〈컨베이어 비상정지장치 시험〉

- ① (전기적 신호 이상 유무) 손으로 당겨 비상정지장치를 동작시킬 경우 운전실(CHB)로 전기적 신호가 전송되어 Alarm이 울리는지
- ② (기계적 동작 이상 유무) 손으로 코드를 당겨 비상정지장치를 동작시킬 경우 현장에서 육안으로 비상정지장치가 동작되었음을 확인할 수 있는지
- ③ (당기는 힘) 비상정지 신호가 운전실로 전송될 때 필요한 줄(코드)을 당기는 힘
- ④ (동작간격) 비상정지장치 작동을 위하여 설치된 줄(코드)의 정지위치와 동작위치 사이 거리

구분	사고 컨베이어				병렬 설치 컨베이어			
	①전기신호	②기계적 동작	③당기는 힘	④동작간격	①전기신호	②기계적 동작	③당기는 힘	④동작간격
양호	16개	16개	10지점	4지점	16개	11개	8지점	2지점
불량	없음	없음	8지점	14지점	없음	5개	10지점	16지점

5) 내부규정 미준수 및 안전작업절차 규정 미흡

- 소음지역 및 분진지역 출입시 또는 회전기기 점검시 2인 1조 작업을 하도록 사내 지침에 규정되어 있으나 준수하지 않았으며, 회전체에 대한 접근방호조치, 청소 및 설비 점검시 운전정지 사항 등의 안전작업절차가 지침에서 누락됨

4. 동종사고 예방대책

1) 즉시 정지 가능한 비상정지장치 설치

- 컨베이어의 비상정지장치는 작업자가 즉시 운전정지 가능하도록 300mm 이하의 동작간격(느슨함) 및 12.76kgf 이하의 장력(당기는 힘)에 동작될 수 있도록 설치
- 다만, 작업자가 즉시 운전정지할 수 없는 구조인 경우 2인 1조 작업 실시

2) 위험점 근로자 접근방호조치

- 근로자가 접근 가능한 위험점(물림점)에는 방호울, 덮개 등 접근방호조치를 하여야 하며, 설비 운전중 점검이 필요하여 개구부(점검구)를 설치하는 경우 위험점에 접근할 수 없도록 개구부(점검구) 크기에 따른 안전거리 확보

단위: mm

인체 부분	도해	개구부	안전거리, s		
			숏	정사각형	원형
손가락 끝		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
손가락에서 손가락 관절까지		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
손		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^*$	≥ 120	≥ 120
팔에서 어깨로 연결되는 지점까지		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

표 내부의 굵은 선은 개구부 크기에 의해 제한되는 인체의 일부를 가리킨다.
 * 만약 숏 개구부의 길이가 65mm 이하이면, 엄지 손가락이 스름 역할을 하고, 안전거리는 200mm까지 줄일 수 있다.

[그림 15. 개구부 크기에 따른 안전거리]

3) 청소, 점검 등의 작업시 설비의 운전정지

- 청소, 점검 등의 작업을 할때에 근로자가 위험해질 우려가 있는 경우 컨베이어의 운전을 정지하거나, 덮개 설치 등 근로자 접근 방호조치 실시

4) 상시 점검장소에 대한 적절한 조명 설치

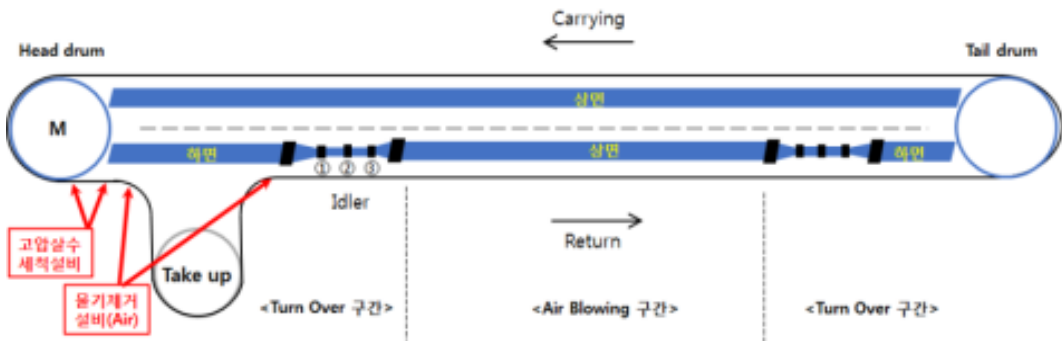
- 근로자가 안전하게通行할 수 있도록 75Lux 이상의 적절한 조도를 확보하고, 특히 상시 점검장소는 육안점검이 가능하도록 150Lux 이상의 적절한 조도 확보

5) 설비이상유무 점검방법 개선

- 컨베이어 운전을 정지하지 않은 상태에서 아이들러 등 회전체 이상유무 점검시 위험 점에 접근하지 않고 안전한 점검이 가능하도록 청음봉 사용 등 점검방법 개선

6) 낙탄처리방법 개선

- 고속 컨베이어 하부 낙탄 청소시 회전체에 끼일 위험이 있으므로 정지하여야 하며, 정지가 불가능한 경우 낙탄 제거작업 자동화 등 낙탄처리 방법 개선
 - 예로서, Head Drum Return부 Turn Over구간 전단에 고압살수방식 세척설비(2단) 및 물기를 제거하기 위한 에어분사기(2단)를 설치하고, 제거되지 않은 부분은 수작업으로 처리 가능하도록 고압살수장치 추가 설치



[그림 16. 고압살수 방식 낙탄 처리]

7) 낙탄(간섭탄, 고착탄) 청소 및 설비점검을 수시점검에서 정기점검으로 변경

- 턴오버 구간 아이들러 점검 및 간섭탄 청소를 수시점검에서 정기점검으로 변경하여 컨베이어 대기상태(정지상태)에서 점검이 이루어지도록 점검계획 변경

※ 병렬 설치 컨베이어중 대기상태일 때 정지후 턴오버 구간 청소 및 점검

사례 2. 합성반응기 폭발반응에 의한 화재·폭발

1. 사고개요

2019년 00월 00일 00시 소재 (주)000에서 소듐알루미늄염* 합성중 화재·폭발이 발생하여 반응기 주변에 있던 근로자 3명이 사망하고, 1명이 부상을 입은 사고임.

* 소듐알루미늄염 : 고분자 합성반응의 촉매의 일종으로 고체 나트륨과 알코올을 반응시켜 제조함.



[그림 17. 사고 발생 건물 및 반응기]

인명피해

- 사망 3명, 부상 1명

물적피해

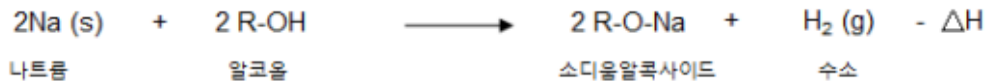
- 반응동 건물 일부 소손 및 외벽 붕괴

나. 위험물질 목록

유해·위험물질 목록

물질명	CAS No.	증기압(mmHg)	끓는점(°C)	인화점(°C)	발화점(°C)
나트륨	7440-23-5	-	-	-	115
용매	-	-	120	18	432
알코올	-	-	-	-	-
촉매	-	-	-	-	-

반응식



- 고체 나트륨과 2차 알코올의 반응으로 소듐알콕사이드가 생성되고, 부산물로 수소가 발생함.
- 소듐알콕사이드 합성반응은 발열반응이며 고체 원료 사용으로 반응속도가 빠르지 않음.
- 해당 반응의 총 반응열은 약 16,519 kcal 임.

다. 설비 목록

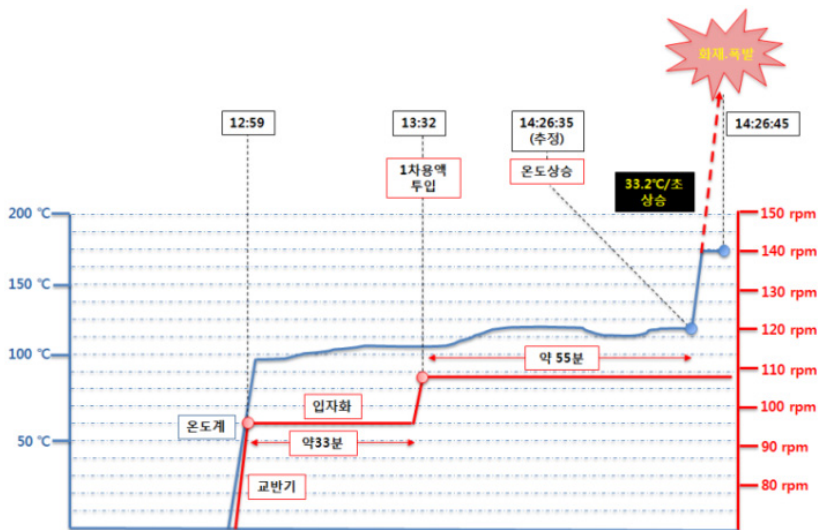
장치 및 설비 명세

Item No.	용량(m ³) (ID×TL mm)	온도(°C)		압력(kgf/cm ² .G)		재질	비고	
		설계	운전	설계	운전			
반응기	동체 (Shell)	0.62 (800×1,064)	-10 ~150	-5 ~120	F.V ~5.0	3.0	스테인리스강 (A240-316L)	교반기 설치
	자켓 (Jacket)	0.1 (40)	-10 ~150	-5 ~120	4.0	3.0	스테인리스강 (A240-304)	
저장조	동체 (Shell)	0.7 (800×1,190)	95	80	F.V ~1.9	F.V ~1.5	스테인리스강 (A240-316L)	
	자켓 (Jacket)	0.1 (50)	95	80	F.V ~1.9	F.V ~1.5	스테인리스강 (A240-304)	

3. 사고분석

가. 사고발생과정

시 각	작 업 현 황
10:00경	합성반응에 필요한 원재료(알코올, 용매) 준비하여 반응기 주변에 위치
10:43경	반응기 핸드홀을 열고 용매(1L 포장용기)를 투입
10:53경	반응기 핸드홀을 통해 알코올을 투입
11:08경	교반기를 가동하여 알코올을 용해시킴
11:18경	교반기를 정지하고 반응기 내부 알코올 용해물을 반응기 옆에 있는 저장조로 이송 (반응기에 질소 가압하여 이송)
11:43경	반응기 핸드홀을 열고 용매(1L 포장용기)를 투입
11:53경	용매가 들어 있는 반응기에 고체 나트륨 투입 후 교반기 가동
12:59경	반응기 자켓에 스팀을 투입하여 승온 및 교반기 RPM 상승
13:32경	저장조를 질소 가압하여 내부에 보관중인 알코올 용해물을 반응기에 적하하는 방식으로 투입
14:26경	반응기에 촉매를 투입하자마자 폭발반응 발생하여 반응기 내부 온도 상승, 용매의 자연발화점 이상 상승하여 폭발



[그림 19. 반응기 온도 및 교반기 회전수 변화]

나. 사고원인분석

1) 과량의 촉매를 일시에 투입

- 과량의 촉매를 일시 투입하여 폭발반응에 따른 반응기의 급격한 온도상승 야기
- 실험실 단계에서 반응속도 개선을 위해 촉매 투입을 결정하였으나 발열반응에 대한 검토가 이루어지지 않아 냉각방법에 대한 절차가 마련되지 않음
- 촉매 투입량에 따른 반응속도 사전 검토 미흡으로 검증량 이상의 촉매를 투입

2) 발열반응에 대한 대비한 냉각 미실시

- 사고 발생 파일럿 설비는 냉각수를 투입할 수 있는 설비이나 반응열 제어 목적이 아닌 제품 합성 종료 후 제품 냉각 용도이므로 자동 온도 제어 불가능

3) 부적절한 원료투입 방식 채택

- 발열반응이 발생하는 반응기의 핸드홀을 열고 촉매를 투입하여 반응기 내에 발생한 용매 증기가 핸드홀을 통해 반응기 외부로 누출됨에 따라 파일럿동 내부에 폭발위험 분위기가 형성됨.

4) 반응기 내 불활성화 조치 미흡

- 반응기내 불활성화 조치 미흡으로 용매 증기로 인한 폭발위험분위기 형성

5) Scale up에 따른 위험성 검토 미흡

- 촉매 투입량을 결정함에 있어 실험실 단계에서 사용한 투입량 기준을 상회하는 양의 촉매를 사전 검증절차 없이 투입함.

6) 부적절한 반응개시 방법 채택

- 반응원료인 나트륨과 알코올의 혼합물에 촉매를 일시 투입함으로써 촉매 투입과 동시에 반응이 급격히 진행됨.

4. 동종사고 예방대책

1) 촉매 투입량에 대한 검증 및 투입방법 변경

- 촉매 투입량을 결정하기 전에 투입기준을 명확히 하고, 실험 단계에서 투입량에 대한 철저한 사전검증이 필요함.
- 촉매는 일시에 투입하지 말고 교반기가 정상 작동중인 상태에서 소량씩 분할하여 투입함으로써 반응열을 효과적으로 제거할 수 있음.

2) 원료투입방식 변경

- 인화성 액체를 사용하는 반응기의 핸드홀을 통해 원료를 투입하면 인화성 액체 유증기가 반응기 외부로 지속적으로 유출되어 폭발위험분위기를 형성할 우려가 있으므로 호퍼, 용해조 등의 투입설비 검토가 필요함.
- 또한 핸드홀을 통한 원료 투입방식은 반응기내 불활성화 조치를 무력화하여 점화원 존재시 화재·폭발로 이어질 수 있음.

3) 반응개시 방법 변경

- 반응원료인 나트륨과 알코올 혼합물에 촉매를 투입하는 경우 반드시 교반기를 작동한 상태에서 소량씩 분할하여 투입하도록 함.
- 반응원료 중 하나와 촉매를 혼합한 상태에서 또 다른 원료를 분할 투입하는 방식도 검토해 볼 수 있음.

4) 반응억제제 투입

- 이상반응 감지시 조기에 반응을 종결 시킬 수 있도록 반응억제제 투입에 대한 검토가 필요함.

5) 냉각수 공급

- 발열반응에 대비하여 온도에 따라 충분한 냉각수가 공급되도록 하여야 함.

사례 3. 집수조 내부 황화수소 중독에 의한 질식사고

1. 사고개요

2019년 00월 00일 00군 00수산에서 수중모터의 이상 유무 점검을 위해 근로자 1명이 폐수 집수조 내부로 들어가 점검 중 쓰러지자 외부에서 지켜보던 동료 근로자 3명이 구조하기 위해 들어갔다가 황화수소에 중독되어 근로자 4명 모두 사망한 사고임.

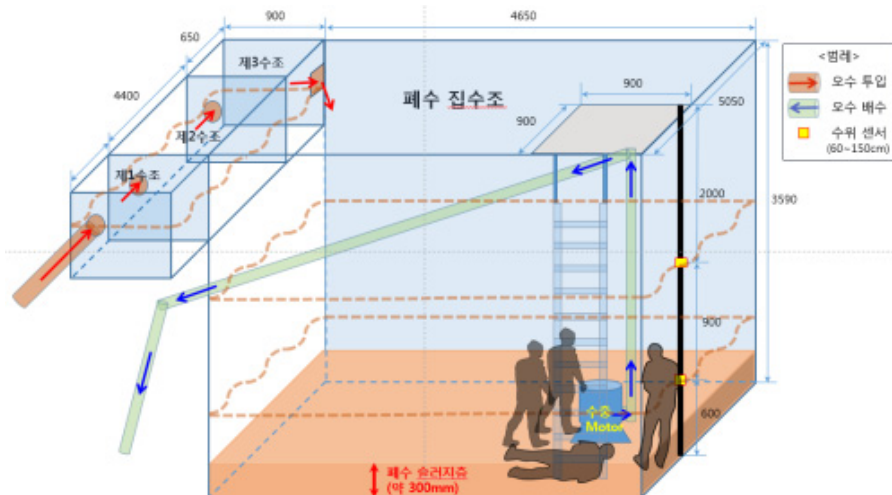
□ 인명피해

- 사망 4명

2. 재해발생 현황

□ 재해발생 장소

- 폐수 집수조 : 육면체 콘크리트 구조물(L4.7m×W5.0m×H3.6m)
- 수위레벨게이지가 부착되어 일정 수위가 되면 수중모터가 자동 작동



[그림 20. 재해발생 장소]

□ 재해발생 작업 : 수중모터 점검 작업

- 수중모터 흡입구 이물질 제거
- 수중모터 하부 및 주변을 휘저어 이물질을 확인하고 제거

3. 사고분석

가. 사고발생과정

시 각	작 업 현 황
09:00경	집수조 내부 수중모터 점검을 위해 폐수 강제 배수
13:30경	폐수 집수조 점검 준비
14:00경	근로자 1이 집수조로 진입하여 수중모터 주변을 휘저으며 이물질 확인
14:10경	최초 진입한 근로자1이 쓰러지자 구조를 위해 근로자 2,3 진입
14:20경	구조를 위해 진입한 근로자 2,3도 쓰러지자 외부에 있던 근로자 4가 진입
14:32경	근로자 4도 쓰러지자 대표자가 119에 신고하였으나 모두 사망

나. 사고원인분석

1) 질식위험에 대한 인식 부족

- 폐수 집수조와 같은 밀폐공간 작업(출입 시)의 질식사망 위험에 대해 교육을 받은 적이 없는 등 관련 지식이 전혀 없었음.

2) 폐수 집수조 내부 출입 시 안전조치 미실시

- 폐수 집수조 내부의 수중모터 점검을 위해 1년에 약6회 정도 출입하였지만 집수조 출입시 안전조치 사항을 인지하지 못한 상태에서 출입때마다 이상이 없었기 때문에 아무런 안전조치를 하지 않은 상태에서 출입

3) 산소 및 유해가스 농도 미 측정

- 근로자에게 밀폐공간 작업을 하도록 하는 경우 미리 산소 및 유해가스 농도를 측정하여 적정공기가 유지되고 있는지를 평가하여야 하나 측정 미실시

4) 환기 미실시

- 밀폐공간에서 작업을 하는 경우 작업 시작 전과 작업 도중에 해당 작업장의 적정공기 상태가 유지되도록 환기하여야 하나 환기 미실시

5) 대피용 기구의 미비치

- 밀폐공간에서 작업을 하는 경우에 공기호흡기 또는 송기마스크, 사다리 및 섬유로프 등 비상시에 근로자를 피난시키거나 구출하기 위하여 필요한 기구를 갖추어 두어야 하나 미비치

4. 동종사고 예방대책

1) 밀폐공간 작업 프로그램 수립·시행

- 밀폐공간에서 근로자에게 작업을 하도록 하는 경우 다음 각 호의 내용이 포함된 밀폐공간 작업 프로그램을 수립하여 시행하여야 함.
 - ① 사업장 내 밀폐공간의 위치 파악 및 관리 방안
 - ② 밀폐공간 내 질식·중독 등을 일으키는 유해·위험요인의 파악 및 관리 방안
 - ③ 밀폐공간 작업 시 사전 확인이 필요한 사항에 대한 확인 절차
 - ④ 안전보건교육 및 훈련
 - ⑤ 그 밖에 밀폐공간 작업 근로자의 건강장해 예방에 관한 사항

2) 산소 및 유해가스 농도 측정

- 밀폐공간에서 근로자에게 작업을 하도록 하는 경우 산소 및 유해가스 농도를 측정하여 적정공기가 유지 여부를 평가하고 환기 등 후속 조치를 이행하여야 함.

3) 환기 실시

- 밀폐공간에서 작업을 하는 경우에 작업 시작 전과 작업 도중 해당 작업장의 적정공기 상태가 유지되도록 환기하여야 함.

4) 대피용 기구의 비치

- 밀폐공간에서 작업을 하는 경우에 공기호흡기 또는 송기마스크, 사다리 및 섬유로프 등 비상시에 근로자를 피난시키거나 구출하기 위한 필요한 기구를 작업 현장에 갖추어 두어야 함.

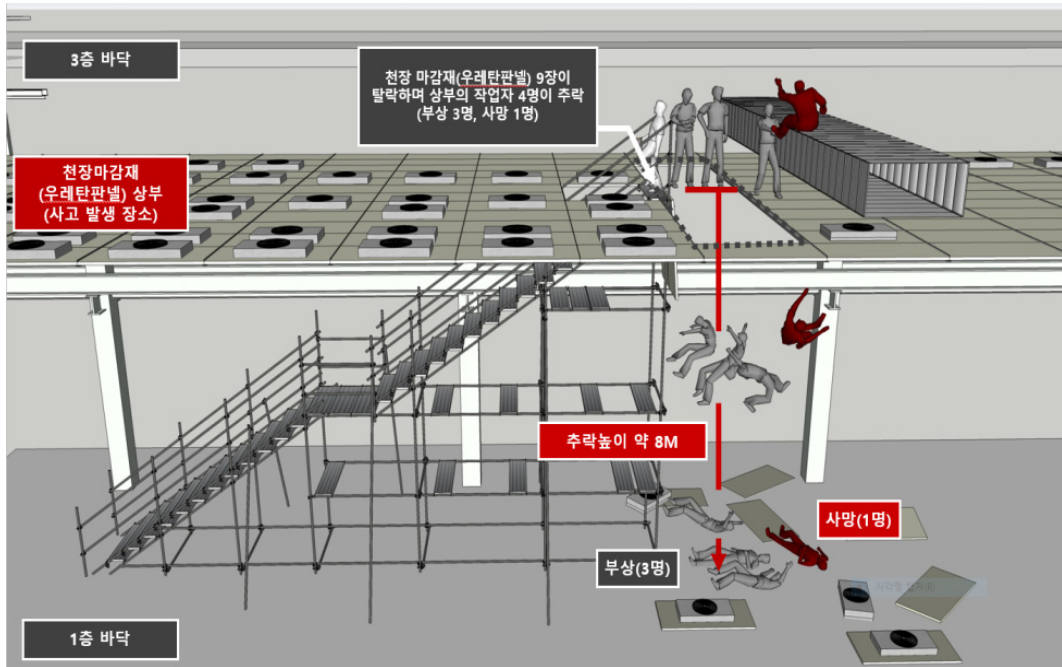
5) 수중모터펌프를 외부 모터펌프로 교체 설치를 검토

- 수중모터펌프를 들어 올려서 외부에서 점검하는 것이 바람직하나 2~3명이 들어야 하는 불편으로 인해 내부에서 점검하게 됨.
- 기존 집수조는 양정(4m 내외)이 높지 않기 때문에 외부에 모터펌프를 설치하여 폐수를 배출하는 방식에 대한 검토 필요

사례 4. 세트앵커볼트 풀림 원인조사 중 천장 패널 붕괴

1. 사고개요

2019년 00월 00일 00시 소재 (주)000에서 천장 마감용 패널이 붕괴되면서 패널을 들고 세트앵커볼트 풀림원인을 조사하던 노동자 4명이 8.35m 아래 콘크리트 바닥으로 추락하여 1명이 사망하고, 3명이 부상한 사고임.



[그림 21. 사고 상황도]

인명피해

- 사망 1명, 부상 3명

물적피해

- 천장 마감재(우레탄 판넬, 2.0m x 1.0m) 9장 / 무진장비(FFU) 4개 파손 등

2. 사고현장 개요

당 현장은 반도체 보조설비를 제조하는 지상 3층의 공장 신축공사로서 사고일 현재 전체 공정을 62%이며, 건물 내·외부 마감공사 진행 중임

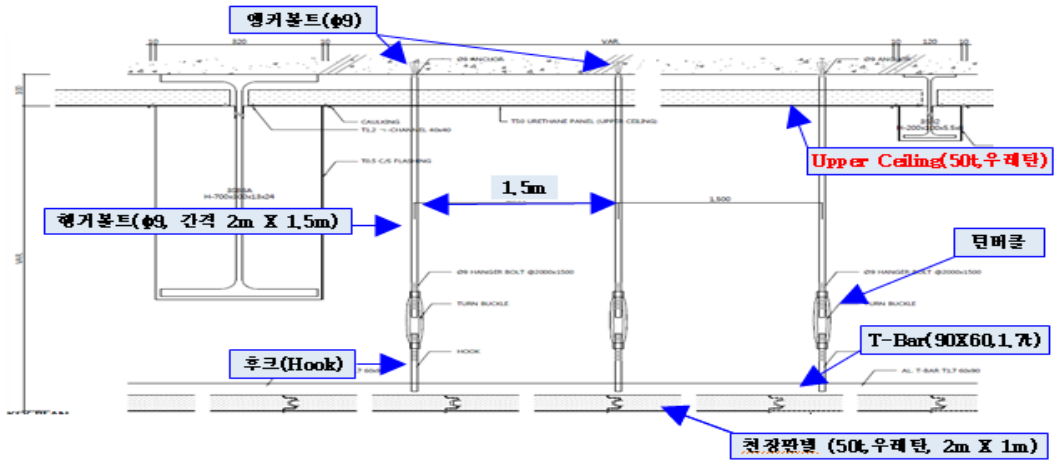


[그림 22. 사고 장소 전경]

가. 사고장소 특성

용도 : 반도체 보조설비 제조공장 내 클린 룸

- 클린룸 특성상 청정도 유지를 위해 콘크리트 슬래브 아래쪽에 우레탄 판넬 (T 50mm)을 추가로 설치하고,
- 세트앵커 볼트를 콘크리트 슬래브에 고정시킨 후 행거볼트와 후크(Hook)를 연결하여 천정 마감용 우레탄 판넬을 매달아 지지하는 구조로 설치함.



[그림 23. 1층 천장 단면]

나. 사고당시 작업 상황

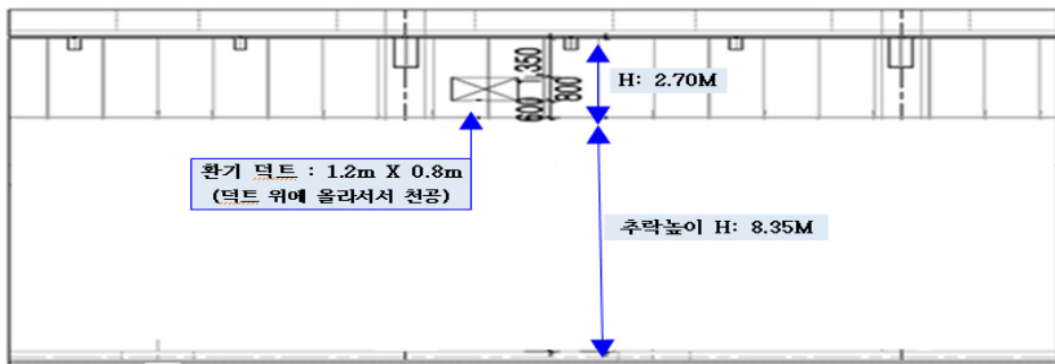
□ 천장 마감용 우레탄 판넬 위에서 세트앵커볼트 풀림 원인조사 실시

- (참여인원) 원청사 직원 4명과 협력사 노동자 1명 등 총 5명
- (작업위치) 천장으로 연결된 가설계단을 통해 작업장소로 이동하여 행거볼트 및 T-Bar로 지지하고 있는 판넬* 두 장에 5명이 위치
 - * 재질은 우레탄, 규격은 2m x 1m, 두께 50mm, 무게 10kg/개
- (작업내용) 슬래브에 고정했던 세트앵커볼트(3/8인치, 볼트길이 150mm) 풀림 원인을 확인하기 위해 휴대용 타공기구*를 사용하여 슬래브 하부에 부착된 우레탄 판넬을 타공 하는 작업 진행
 - * 무게 5.4kg, 타공 직경 130mm, 기구 전체길이 500mm



[그림 24. 타공 위치와 휴대용 타공 기구(일명 “홀타”)]

- (작업여건) 천장판넬 바닥에서 우레탄 판넬 타공면 까지 높이 2.6m, 타공 기구 길이 50cm, 무게 5.4kg
- 타공 작업자의 키를 고려할 때 천장 판넬 위에서 타공 기구를 천장 쪽으로 들면 겨우 타공 지점에 닿는 정도로 작업여건이 좋지 않아 인접한 환기 덕트 위에 올라서서 타공 기구를 잡고,
- 또 다른 1명이 천장 판넬 위에서 타공기구 하부를 받치는 방법으로 타공 작업 중 받치는 위치를 좀 더 높이려고 옆에서 작업을 바라보던 1명에게 사다리를 가져오라고 요청함.



[그림 25. 1층 천장 단면]

다. 사고발생 기인물

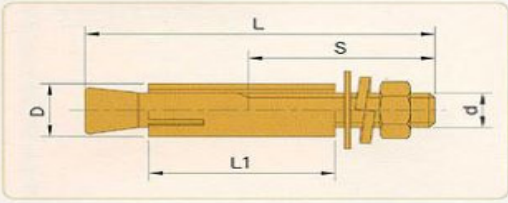
□ 사고현장에 적용한 세트앵커볼트 : 3/8인치(M10)

- (구성) 앵커볼트, 슬리이브, 평와셔, 스프링 와셔, 너트를 조합하여 사용하며, 앵커볼트 규격에 따라 다양하게 시중에서 제작·판매되고 있음.



[그림 26. 세트앵커볼트 종류 및 구성]

- (규 격) 시중에서 제작·판매되고 있는 제품은 볼트직경 1/4인치부터 1인치까지 총 8가지 정도가 주로 적용되는 규격이며, 앵커볼트 요구길이(L)에 따라 주문제작도 가능함.



SET ANCHOR BOLT SPEC 단위 :mm

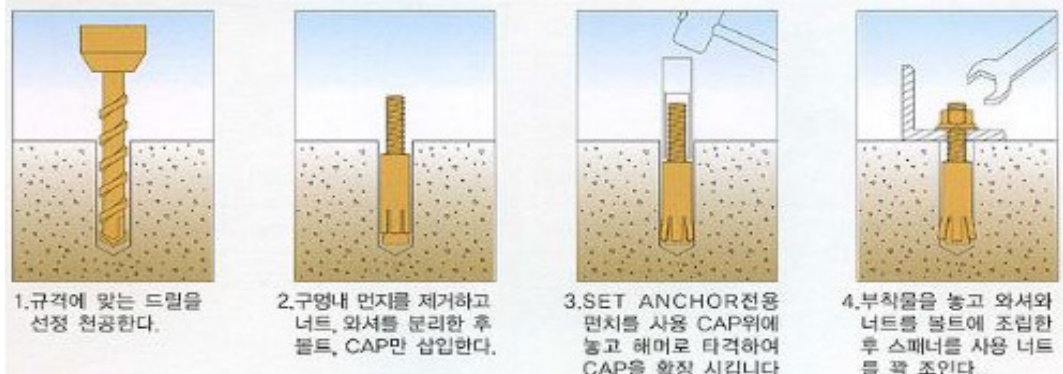
나사 호칭 d	L	S	D	L1	사용드릴	드릴길이 (최소)	최대인장내력 (콘크리트강도200kg/cm ²)	최대전단내력
1/4(M6)	50	35	10	30	10	33	1,080	900
5/16(M8)	60	40	12	35	12	38	1,835	1,200
3/8(M10)	75	45	14	40	14	44	2,160	2,100
	100	70						
	125	85						
	150	100						
1/2(M12)	100	60	17	50	17	55	3,200	3,400
	125	75						
	150	100						
5/8(M16)	100	50	21.5	60	21.5	65	4,300	5,300
	125	75						
	150	90						
3/4(M20)	125	80	25	75	25	85	6,500	7,500
	150	90						
	200	130						
7/8(M22)	200	130	28	100	28	110	8,000	10,000
	250	180						
	300	230						
1"(M24)	200	130	32	120	32	130	10,000	12,000
	250	180						
	300	230						

비고: 위 표 이외 길이(L)가 필요한 경우 주문제작도 가능하다.

[그림 27. 시중 판매중인 제품 규격 예시]

※ 세트앵커볼트 일반규격, 설치방법을 설명하기 위해 구글 정보 인용

- (설치방법) 콘크리트를 드릴로 천공 후 세트앵커볼트를 구멍에 넣고 앵커 펀치로 슬리 이브를 타격하여 콘크리트 구멍에 밀착되게 설치



[그림 28. 세트앵커볼트 설치 순서(구글 정보 인용)]

3. 사고분석

가. 사고발생과정

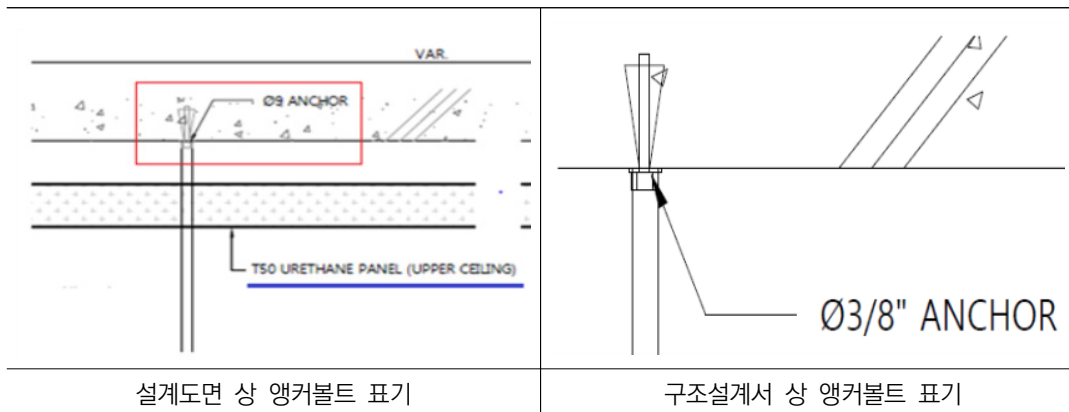
시 각	작 업 현 황
14:20~14:50	천장 세트앵커볼트 풀림상태 인지 후 모든 작업을 중지 후 철수지시
14:50~15:45	현장소장이 직접 현장을 순회하며 세트앵커볼트 풀림상태 점검(사진 참조)
15:45~16:05	보완대책 마련을 위한 논의 준비 및 천공작업 진행 - 보완대책을 마련하기 위해 관련 협력업체와 회의 준비를 지시 - 동 시간대에 원정사 직원 4명과 협력사 노동자 1명이 천장 마감용 판넬위에 올라서서 세트앵커볼트 풀림원인 조사를 위해 2명은 타공 작업을, 나머지 3명은 작업광경을 주시하고 있던 중
16:05경	타공 구간 인접해서 설치된 세트앵커볼트 4개가 상재 하중을 이기지 못하고 추가로 뚫히면서 천장 판넬이 붕괴되었고, 동시에 작업자 4명도 추락함

나. 사고원인분석

1) (설계) 설계도서 표기방법 불일치 및 상세규격 미 표기

- 현장에 적용한 앵커 종류*, 볼트 지름 및 길이, 슬리브 길이 등의 상세규격이 설계 도서에 명확하게 표기되지 않음으로서 설치 시 혼선 초래

* 앵커종류 예시) 세트앵커볼트, 케미컬 앵커볼트, 스트롱 앵커 등



[그림 29. 설계도면과 구조설계서 상 앵커볼트 표기 불일치 예시]

2) (설계) 세트앵커볼트 시공 상세도 미 작성

- 세트앵커볼트 설치에 필요한 천공직경 및 깊이, 천공간격, 설치방법 등이 표시된 시공 상세도 없이 임의 시공

3) (계약) 골조공사 시 앵커볼트 선 매립이 불가능한 계약 구조

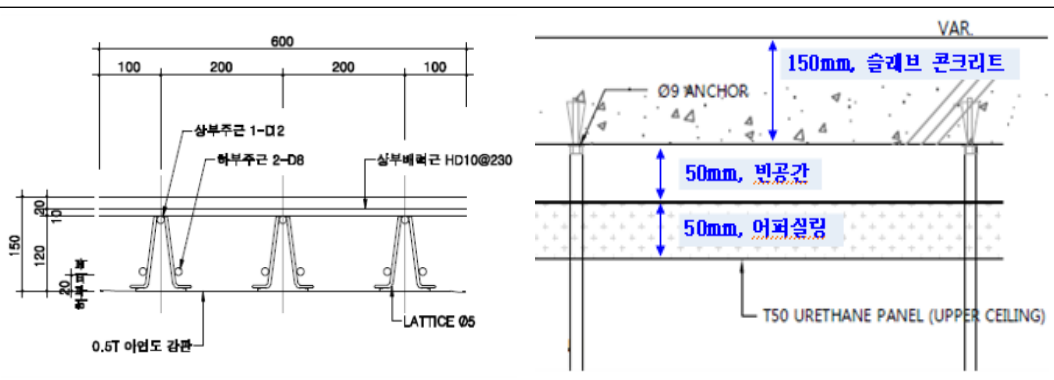
- 골조공사가 완료되는 시점에 마감공사 협력업체와 계약을 맺고, 공사를 진행함으로써 세트앵커볼트를 콘크리트 타설 전 설치가 불가능

〈표 10. 작업공정별 실제 공사기간 예〉

작업공정	계약일자	실제 공사기간
골 조	'19.02.07	'19.03.19~19.07.08
판 널	'19.06.13	'19.07.11~19.12.20

4) (시공) 설계도서에 따른 시공기준 미 준수

- (유효 삽입깊이 부족) 설계도서에 명시된 앵커볼트 유효 삽입깊이 보다 짧게 천공하여 유효 삽입 깊이 및 설계 상 소요 부착강도를 확보하지 못함
 - (유효 삽입 깊이 부족 원인) 슬래브 아래쪽에 부착한 우레탄 판넬 등으로 세트앵커볼트의 정확한 천공 위치와 깊이 확인이 곤란한 상태에서 천공 중 슬래브 철근이 간섭 되는 경우 드릴이 걸려 콘크리트 피복두께 이상 천공 곤란



[그림 30. 데크 슬래브 철근 배근도]

[그림 31. 슬래브 아래 어퍼실링 설치]

※ 실측 천공깊이 : 구조설계서상 유효 삽입깊이(45mm)보다 25.0mm ~ 29.79mm 적게 천공

- (설계 직경보다 넓게 천공) 작업자가 휴대용 천공드릴로 천장 슬래브를 향하여 상향 천공작업이 주로 이루어지다 보니 부자연스러운 동작으로 인해 설계 직경보다 넓게 뚫리는 경우 종종 발생
 - ※ 실측 천공직경 : 천공드릴 14mm 사용기준과 비교해 보면 각각 1.06mm, 2.32mm 정도 넓게 천공

5) (운영관리) 시공 품질 준수여부 확인절차 미비

- 세트앵커볼트를 설치하기 위해 휴대용 드릴로 구멍을 뚫은 후 제3자가 시공기준과 적합 여부를 확인할 수 있는 절차 없이 작업자 작업 진행

4. 동종사고 예방대책

1) (설계) 시공 상세도 작성 및 설계도서에 표기방법 일치

- 앵커볼트 종류, 볼트 지름 및 길이, 슬리브 길이, 천공 직경 및 깊이, 천공간격, 설치방법 등이 첨부된 시공 상세도를 작성하되,
 - 상세 규격이 설계도면, 구조설계서, 시방서 등에 혼란이 없도록 표기방법을 일치시켜 표기 필요

2) (설계) 세트앵커볼트 시공 상세도 작성하여 제공

- 세트앵커볼트 시공 전 천공 직경 및 깊이, 천공간격, 설치방법 등이 표시된 시공 상세도를 작성하여 시공자에 제공

3) (계약/시공) 세트·앵커볼트 시공방법 개선

- (공사 계약시점을 조정하여 선행공정에 의한 간섭 개선) 골조공사와 천장 마감공사에 대한 업체선정 및 계약을 같은 시기에 진행하여 세트앵커볼트를 먼저 매립한 후 콘크리트를 타설하는 방법으로 개선
 - ※ 일반적으로 골조공사가 완료되는 시기에 마감공사 계약 진행 <표2 참조>



세트앵커볼트 샘플



데크플레이트에 위치 표기 후 설치



데크 플레이트에 설치한 측면 전경



세트앵커볼트와 전산볼트 연결

[그림 32. 콘크리트 타설 전 세트앵커볼트 시공 예]

4) (운영관리) 세트앵커볼트 작업 시 유해·위험 요인 관리체계 개선

- (능동적 위험성평가 활동 전개) 원청 및 협력업체 구성원 전원이 위험성평가 절차*에 따라 적극적인 활동을 전개함으로써,
 - 세트앵커볼트 작업 시 발생 가능한 유해·위험에 대하여 실행이 가능한 대책을 수립하고, 지속적 개선(Feed Back)을 유도함으로써 실질적인 위험의 감소 및 관리 가능
 - 특히, 시공 중 앵커볼트 및 슬리브 변형, 유효 삽입깊이 미확보 등 뽐힘 저항력 저하 요인에 대한 집중관리와 천공작업 시에 숙련자 투입 필요

* 유해·위험요인 도출 → 위험성 평가(결정) → 개선대책수립 → 조치·확인

사례 5. 지지 고리의 벌어짐에 의한 승강기 카 낙하

1. 사고개요

2019년 00월 00일 노후 승강기(엘리베이터) 교체공사 중 엘리베이터의 카를 임시로 매달고 있던 고리(카라비너*)가 벌어지면서 카가 낙하하여, 카 위에서 작업하던 근로자 2명이 사망한 사고임

* 카라비너(Carabiner) : 암벽등반 등에서 자일과 볼트 등을 연결하는데 주로 사용되는 금속제 고리

인명피해

- 사망 2명

물적피해

- 승강기 카 파손(1대)

2. 사고발생 현황

가. 설비 현황

사고발생 승강기 현황

- 승강기 종류 : 전기식 엘리베이터
- 정격하중 : 900kg(13명)
- 정격속도 : 1.5m/s
- 카 중량 : 약 1,000kg

나. 재해발생 공정

□ 노후 승강기 교체공사 공정

○ 재해는 카 매달기 공정에서 발생

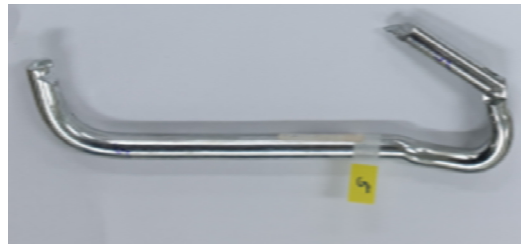
공정	공정 설명
카 철거	· 최하층에서 노후 엘리베이터 카 철거
▽	
카 설치	· 신규 엘리베이터 카 설치
▽	
카 매달기 (재해 발생 작업)	· 카를 최상층으로 인양 후 임시 매달기
▽	
기계실 교체	· 기계실 내 권상기, 제어반, 조속기 교체
▽	
로핑	· 로프 연결, 카 및 카운터웨이트 연결
▽	
배선 및 문 설치	· 동력선, 케이블선 설치 및 연결, 카 문 설치

다. 승강기 카를 임시로 매달고 있던 고리(카라비너)의 벌어짐 상태

○ 사고가 발생한 카라비너와 유사한 시중구매품 카라비너를 이용하여 매달기 하중시험 결과, 사고가 발생한 카라비너와 동일한 형상으로 벌어짐 발생



〈유사 카라비너(신품)〉

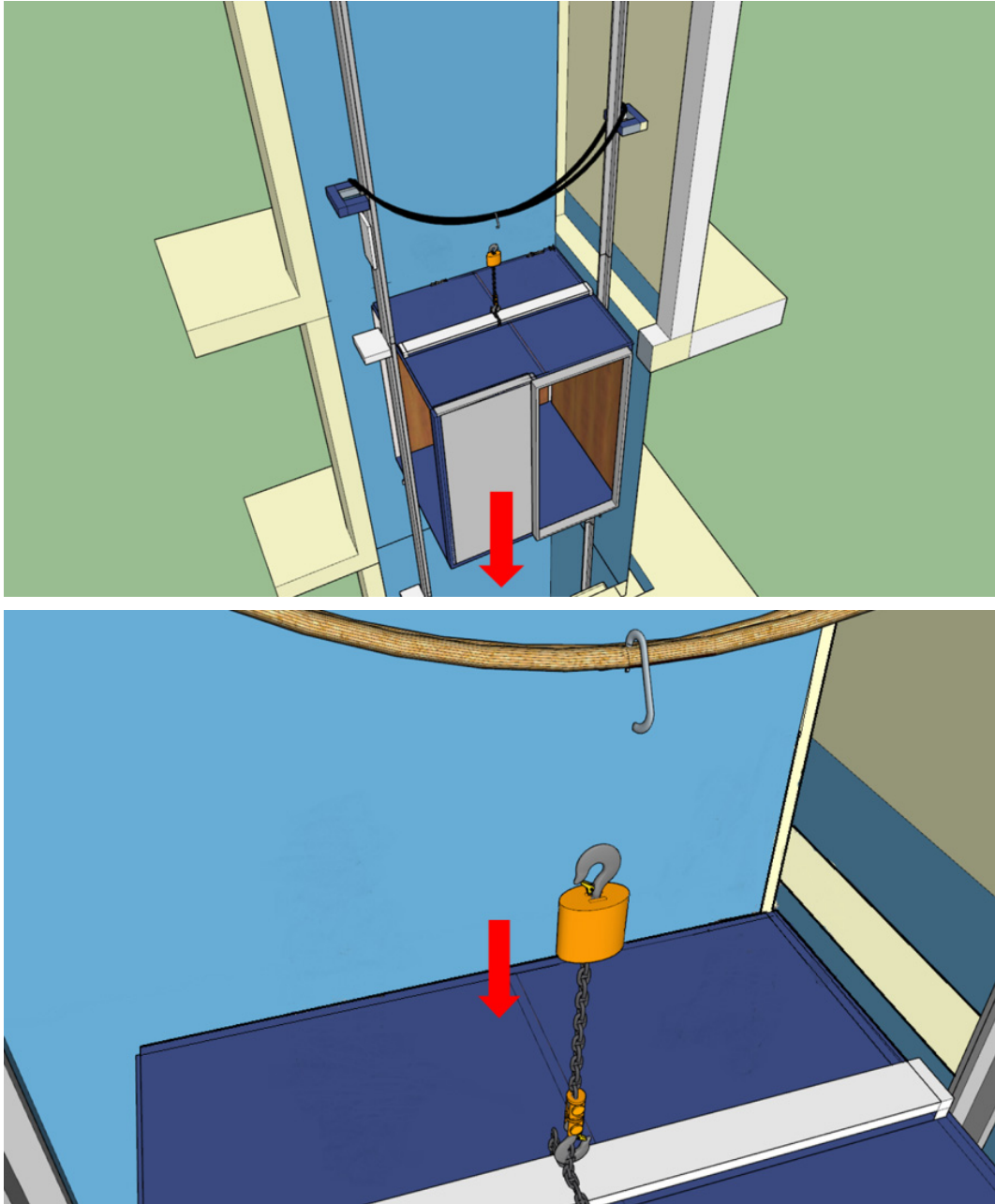


〈유사 카라비너(벌어진 모습)〉

[그림 33. 카라비너]

3. 사고분석

가. 사고발생 상황도



[그림 34. 사고발생 상황도]

나. 사고원인분석

1) 직접원인 : 달아매는 하중에 부적합한 강도가 약한 카라비너의 사용

- 최대허용하중 등이 표시되지 않아 강도가 불분명한 카라비너를 엘리베이터 카를 매다는 달기구로 사용함으로써
- 카라비너가 매달린 하중을 견디지 못하고 파손(벌어짐)되어 카가 낙하

2) 카라비너 안전율 산출 결과 : 0.83~1.26

- 하중을 매다는 방식 및 카라비너 잠금장치의 체결 상태에 따라 다소간 차이는 있었으나, 사고발생 카라비너와 동종 유사제품에 대한 하중시험 결과 카라비너가 파손(완전 벌어짐)되는 하중은 735~1,122Kgf로 나타났으며

※ 하중시험 대상 카라비너 형식 및 규격 : Form C (DIN 5299), 공칭 Size ϕ 12mm

- 카라비너 파손하중을 기준으로 산출한 안전율은 0.83~1.26 으로 산출됨.

※ 안전율 = (카라비너가 파손되는 하중) ÷ (카라비너에 걸린 최대하중)

4. 동종사고 예방대책

중량물을 지지하는 달기구는 충분한 강도를 가지고 목적에 맞는 것을 선정하여 견고히 고정하여 사용

- ① 제조 당시의 목적이 중량물의 달기가 아닌 기계·기구·설비 및 수공구를 중량물 달기구로 사용하여서는 아니 됨.
- ② 양중기에 사용되는 달기구의 안전계수는
 - 근로자가 탑승하는 운반구를 지지하는 달기와의이어로프 또는 달기체인은 안전율 10 이상, 그 밖의 달기구는 4 이상의 것을 사용하여야 하며
 - 달기구에는 최대허용하중 등 표시가 견고하게 붙어있는 것을 사용하여야 함.
- ③ 중량물 취급용구는 안전율이 3이상 확보된 것을 구매하여 사용하여야 함.
- ④ 체인블록의 상부 혹은 인양하중에 충분히 견디는 강도를 갖고 정확히 지탱될 수 있는 곳에 걸어서 사용하여야 함.

사례 6. 일산화탄소 중독에 의한 질식사고

1. 사고개요

2019년 00월 00일 00건설 공동주택 신축공사 현장에서 콘크리트 타설 후 보온양생용으로 피워놓은 드럼 난로의 숯탄 보충작업을 하던 중 숯탄이 연소되며 발생한 일산화탄소에 중독·질식사하여 근로자 2명이 사망한 사고임.



〈옥탑 외부 보양천막 모습〉
- 사고 후 환기를 위해 일부 걷어냄



〈옥탑 2층 기계실 내부 모습〉

[그림 35. 현장 전경]

인명피해

- 사망 2명

2. 재해발생 현황

재해발생 기인물

- 규격 : 0.8Ø × 1.0(H), m
- 발열량 : 6,590 kcal/kg
- 연소시간 : 약 16시간
- 연소방식 : 하향식 연소(위에서 점화)
- 착화방법 : 상부로 숯을 넣고 그 위에 착화탄을 올려놓고 점화



[그림 36. 숯탄 난로]

3. 사고분석

가. 사고발생과정

시 각	작 업 현 황
09:30경	옥탑층 콘크리트 타설 작업 실시
13:00경	착화 담당자 2명이 드럼 쏠탄 난로에 착화 시작
15:30경	타설작업 완료 후 보양작업 실시
17:30경	쏘탄 보충작업(난로 1개당 1포대씩 투입) 실시
17:58경	현장소장에게 쏠탄 보충완료 메시지 전송
23:00경	쏘탄 보충작업 도중 일산화탄소에 중독되어 사망한 것으로 추정

나. 사고원인분석

1) 밀폐공간 작업 프로그램 수립·시행 미흡

- 사고 당일 콘크리트 양생 작업에 대한 밀폐공간 작업허가서 부실 작성
- 보온양생 작업 특성상 환기를 거의 할 수 없는 상황이므로 출입 근로자에게 반드시 공기 호흡기 또는 송기마스크를 지급하여 착용하도록 하여야 하나 미지급
- 감시인을 지정하여 밀폐공간 외부에 배치하여야 하나 미배치
- 피재자 밀폐공간 특별안전보건교육 미실시

2) 쏠탄 제조사의 유해성 정보 제공 미흡

- 쏠탄 포장용기에 주의사항 등 어떠한 경고표시도 없음
- 연소시 발생하는 일산화탄소에 대한 시험성적도 없는 상태임
- 제품 설명서에는 일산화탄소 중독·사망위험에 대한 언급 없이 장시간 작업의 경우 물수건, 마스크, 방독면 등으로 호흡기를 보호하라는 문구만 있음.
- 제조사에서 친환경 쏠탄으로 명기하여 해당 제품이 환경과 인체에 덜 유해한 것처럼 정보를 제공함

4. 동종사고 예방대책

1) 「밀폐공간 작업 프로그램」 현장 작동성 강화

- 콘크리트 양생 작업에 대한 밀폐공간 작업허가서 발부 및 관리 철저
- 신규채용자에 대한 배치 전 밀폐공간 특별안전보건교육 실시 강화

2) 밀폐공간 작업자 공기호흡기 또는 송기마스크 지급 및 착용관리 철저

- 보온양생 작업 특성상 환기를 거의 할 수 없는 상황이므로 출입 근로자에게 반드시 공기 호흡기 또는 송기마스크를 지급하여 착용하도록 하여야 함.

3) 밀폐공간 작업 시 감시인 배치 준수 철저

- 근로자가 밀폐공간에서 작업을 하는 동안 작업 상황에 대한 감시인을 지정하여 밀폐 공간 외부에 배치하여야 함.

4) 작업현장에 구출용 공기호흡기 또는 송기마스크 비치

- 밀폐공간에서 위급한 근로자를 구출하는 작업을 하는 경우 구출작업을 실시하는 근로자에게 공기호흡기 또는 송기마스크를 지급하여 착용하도록 하여야 함.

5) 숯탄 제조사의 유해성 정보제공 의무 강화

- 숯탄 포장용기에 일산화탄소에 의한 중독·사망위험 등의 경고표시를 부착하도록 법적 강제 필요

6) 콘크리트 양생 작업에 대한 근원적 안전성 확보방안 강구

- 열풍기를 사용하거나 유해가스 발생이 적은 물질로 대체하거나 또는 연통을 설치하여 연소가스를 외부로 배출하는 방안(옥탑과 같이 공간이 작고 환기가 잘 안 되는 구조에 적용 등의 검토 및 노력 필요

사례 7. 계근대 하부 지하 피트 페인트 유증기 폭발

1. 사고개요

2019년 00월 00일 계근대* 보수작업 중 계근대 하부 지하 피트 내부에 체류한 페인트 유증기가 폭발하여 2명이 사망하고 1명이 부상당한 사고임

* 계근대 : 사업장에 반출입되는 원재료의 무게를 측정하기 위해 원재료를 실은 자동차를 통째로 올려 측정하는 장치(일명 Truck Scale로도 지칭)

인명피해

- 사망 2명, 부상 1명

물적피해

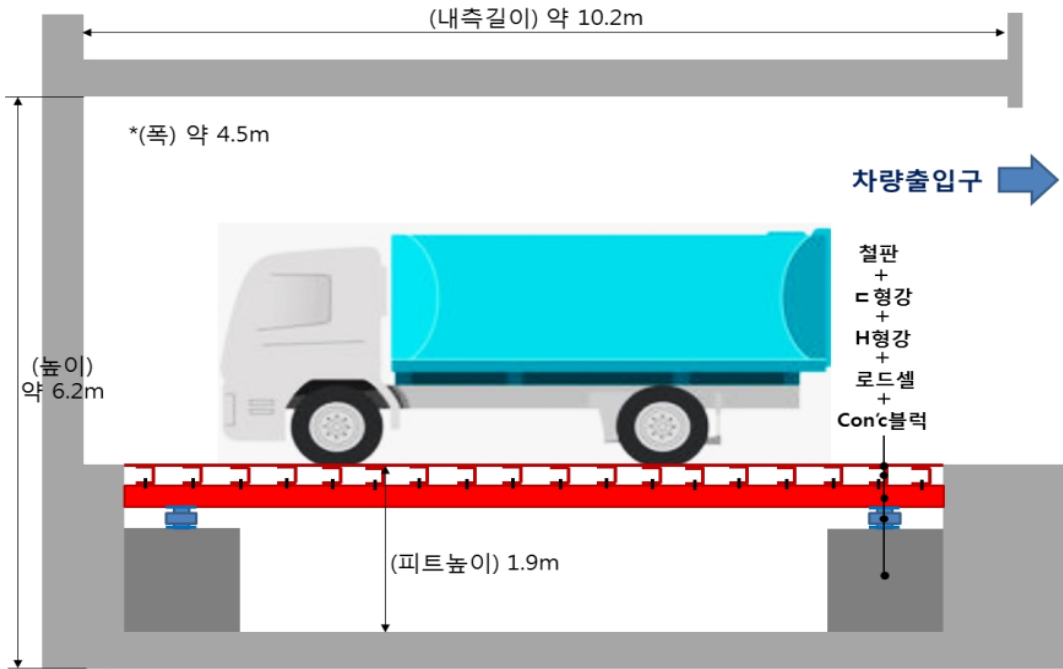
- 계근대 일부 손상

2. 사고발생 현황

가. 설비 현황

사고발생 계근대 현황

- 형식 : 전기식 지지저울
- 측정 범위 : 200~50,000 Kg
- 중량물을 지지하는 바닥 철구조물 하부에 로드셀을 설치하여 측정
- 크기 : 3m(바닥 철판 좌우 폭) × 9m(바닥 철판 내측 길이) × 1.9m(지하 피트 깊이)



[그림 37. 계근대 설치 단면도]



[그림 38. 계근대 바닥 지지 형강 및 지하 피트]

나. 재해발생 공정

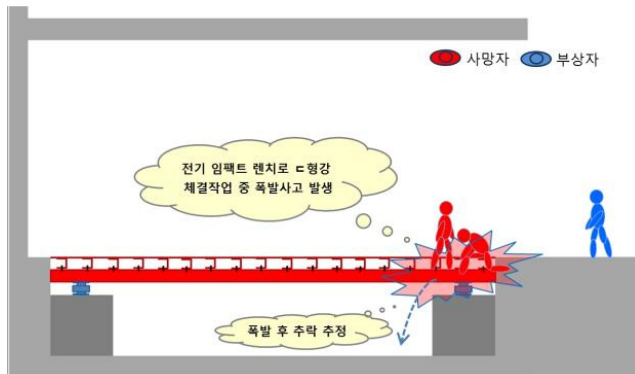
□ 계근대 보수작업 공정

○ 재해는 계근대 지지용 C형강 설치 공정에서 발생

공정	공정 설명
바닥 철판 철거	· 계근대 최 상부 바닥 철판(Steel Plate) 철거
▽	
C형강 철거	· 부식정도가 심한 지지용 C형강(3개) 철거
▽	
철골부재 녹제거	· 지지용 H형강 및 C형강 표면 녹 제거 및 지하 피트 청소
▽	
도색	· 바닥 철판 및 지지용 형강의 표면에 방청 페인트 도색 (분무기 사용)
▽	
C형강 설치 (재해발생 작업)	· 신품의 C형강 설치 및 고정 (전기 임팩트렌치를 사용하여 볼트 체결)
▽	
바닥 철판 설치	· C형강 위에 신품의 바닥 철판 설치

3. 사고분석

가. 사고발생 상황도



[그림 39. 사고발생 상황도]

나. 사고원인분석

1) 페인트 도색작업 시 환기 미실시

- 방청 페인트 도색작업 시 환기를 미실시 함으로써 인화성 액체의 증기가 계근대 하부 지하 피트 내부에 체류함으로써 폭발 위험분위기 조성
 - 계근대 바닥 철골부재에 분무기를 이용하여 방청용 페인트를 도포하는 과정에서 발생한 인화성 액체(신너)의 증기가 계근대 하부 지하 피트 내부에 체류
 - ※ 피트 바닥면으로부터 폭발 위험분위기가 형성될 수 있는 높이가 약 2.8m로 산출되었으며, 피트 높이 1.9미터 보다 높아 피트 주변 어느 위치에서 화기작업을 하더라도 화재·폭발 가능

2) 폭발 위험분위기가 조성된 상태에서 일반형 전기기계·기구 사용

- 계근대 하부 지하 피트 내부에 체류된 인화성 액체의 증기로 인해 폭발 위험분위기가 조성된 상태에서, 일반형 전기 임팩트렌치를 사용하는 과정에서 임팩트렌치에서 발생한 전기 스파크에 의해 폭발 발생
 - ※ 임팩트렌치 내부 브러쉬(Brush)에서 발생한 전기스파크가 브러쉬 커버의 통풍홀로 노출되는 것이 시험을 통해 확인됨

4. 동종사고 예방대책

인화성 액체 취급시 폭발 또는 화재 등의 예방조치 철저

- 계근대 하부 지하 피트와 같이 밀폐된 공간에서 분무기를 이용하여 인화성 액체인 페인트 도장 작업을 하는 경우 인화성 액체의 증기가 체류하여 폭발이나 화재가 발생하지 않도록 통풍·환기조치를 하여야 하며
 - 인화성 액체의 증기에 의해 폭발위험 분위기가 조성되지 않도록 해당 물질의 공기 중 농도가 폭발하한계값의 25퍼센트가 넘지 않도록 충분히 환기를 유지하여야 함.
- 통풍이나 환기가 충분하지 않는 상태에서는 전기 임팩트렌치와 같은 일반형 전기기계·기구를 사용하지 않아야 함.

IV

근본적 사고원인분석 사례

IV 근본적 사고원인분석 사례

사례 8. T/C 운반 자재가 안전난간에 걸려 낙하

1. 사고개요

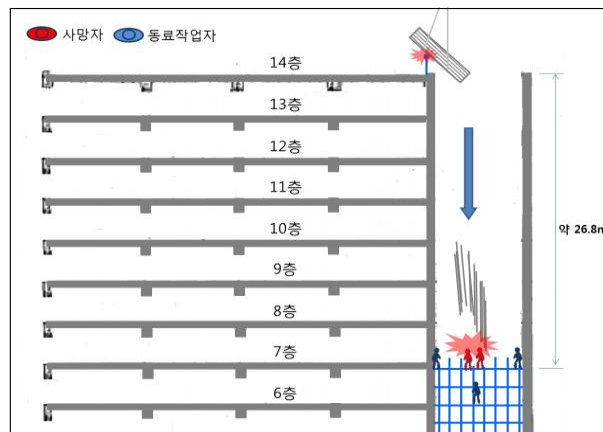
2019년 00월 00일 00시 소재 (주)0000 지식산업센터 신축공사 현장의 주차타워 내부 비계위에서 비계공 2명이 타워크레인으로 인양되는 비계재료(강관, 클램프 등)를 받기위해 신호 및 대기하던 중 주차타워 개구부 단부에 설치된 안전난간에 인양하물이 걸려 기울어 지면서, 강관파이프 등 비계재료가 이탈되어 약 26.8m 아래에 있던 비계공 2명이 떨어 지는 비계재료에 맞거나 피하던 중 지하층 바닥으로 추락·사망한 재해임.



[그림 40. 현장 전경]



[그림 41. 주차타워 단부 안전난간]



[그림 42. 재해상황도]

인명피해

- 사망 2명

물적피해

- 비계 일부 훼손, 공사 중지에 따른 피해액(추정불가)

2. 사고현장 개요

사고현장은 지하1층, 지상14층의 지식산업센터 2개동으로 구성되어 있으며, 기계식 주차타워 내부에서 사고발생 하였음.

가. 사고현장 특성

구조 및 배치 현황

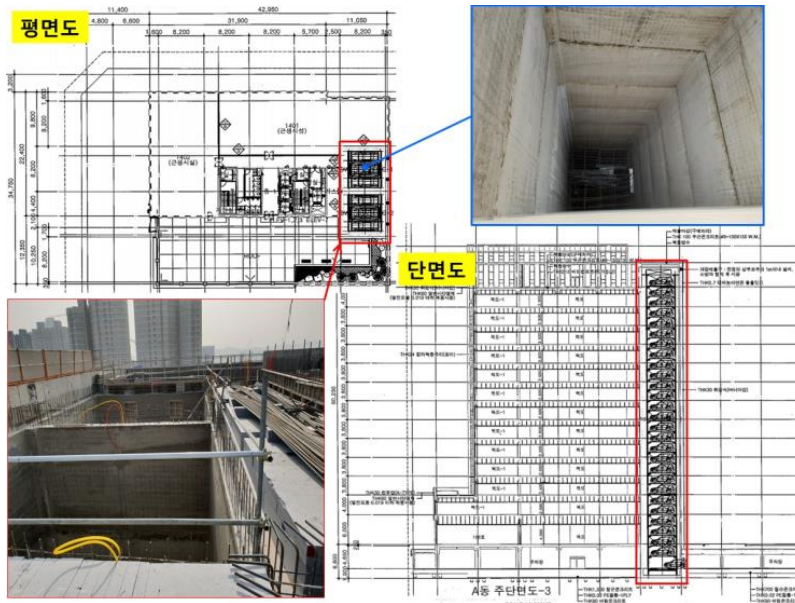
- (구조) 철근콘크리트조 지하1층, 지상14층의 지식산업센터(2개동)
- (배치) 주차장, 전기·물탱크실 : 지하1층
상가, 지식산업센터 : 지상1층~14층
기계식 주차타워(사고발생) : 지하1층~지상14층



[그림 43. 사고발생 좌측 동 및 타워크레인 설치 모습]

□ 공사 진행내용

- (공사내용) 사고발생 동 지상14층 골조공사
 - (사고발생구간) 주차타워 내부 비계*설치
 - * (용도) 주차타워 상부 슬래브 시공 및 단열재 부착



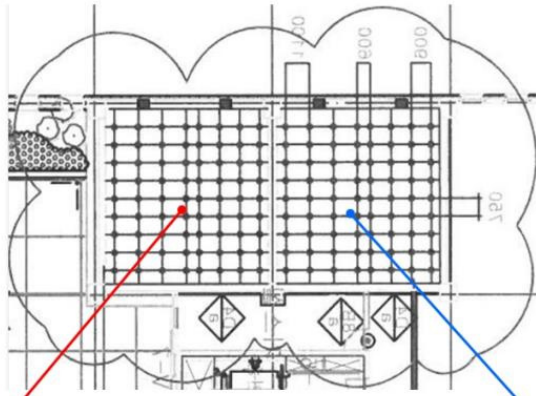
[그림 44. 주차타워 구조]

나. 사고 상황

시각	작업현황
07:00경	○ 비계공 13명 출역
07:30~10:25	○ 주차타워 내부 비계조립 · 지상에서 비계재료 결속 및 양중 · T/C운전원이 지상에서 무선리모콘으로 T/C조작 · 지상14층 주차타워 개구부(8.2×8.2m)를 통해 약 25m아래 작업구간으로 내림 · 비계공 5명이 비계재료를 받아 조립작업 진행
10:25경	○ 비계재료 낙하 및 비계공 추락 · T/C로 인양된 비계재료가 주차타워 개구부 단부 안전난간에 걸림 · 비계재료가 기울어지면서 섬유벨트에서 이탈 → 하부 작업구간으로 쏟아짐. · 약 26.8m 아래에 있던 비계공 2명이 쏟아지는 비계재료에 맞거나 피하는 과정에서 하부로 추락

□ (사고당시 작업) 주차타워 내부 비계 설치

- (재료) 강관(∅=48.6mm, L=4.0 or 6.0m), 클램프, 연결핀
- (구조) 비계기둥 평면상 8×9개의 강관파이프 배열
수평재 높이 약 1.5m마다 설치
- (용도) 주차타워 상부 벽체 및 슬래브 시공, 외기와 접하는 벽체 내부 단열재 설치



[그림 45. 주차타워 내부 비계설치 상태]

□ 사고 당시 작업상황

- (사용장비) 무인 타워크레인
 - 용량 2.9ton, 설치높이 약 71.2m, 무선 리모콘 조작
- 비계재료 인양방법
 - (운반자재) 4m 강관 약 70본 및 부속재료(클램프 및 연결핀) 2~3포대
 - (적재방법) 강관 약 70본 양단에 부속재료 1~2포대 올려놓은 후 포대상부에 작업 발판 거치
 - (인양방법)
 - (지상) 철선으로 1차 결속 후 섬유벨트를 감아 무인 타워크레인으로 인양
 - (구조물) 지상 14층 주차타워 개구부(8.2×8.2m)를 통해 비계조립구간으로 내림



[그림 46. 비계재료 인양모습]



[그림 47. 비계재료 철선 결속]

3. 사고분석

가. 기술적 검토

□ 인양하물 이탈 방지조치의 적정성

- 지상에서 강관파이프, 부속철물 등 비계재료 적재 후 철선으로 고정함으로써, 인양 중이던 비계재료가 지상 14층 기계식주차장 개구부 단부 안전난간에 걸려 기울어질 때 비계재료의 이탈을 막을 수 없었음.

나. 사고원인분석

1) 크레인 사용 작업방법 부적절

- (크레인 운전원 시야 미확보) 수평 길이 4m인 강관파이프 등을 지상 14층 주차타워 개구부(8.2×8.2m) 내부로 인양하는 과정에서 **크레인 운전자가 지상에 있어 인양 하물을 볼 수 없었음.**
- (신호체계 불량) 전담 신호수 없이 주차타워 개구부 단부로부터 약 26.8m 아래에 있는 비계공이 무전기로 인양신호를 진행하던 중 사고발생

2) 작업지휘자 미배치

- 크레인을 사용하여 하물 인양 시 작업지휘자를 두어 다음 업무를 수행토록 하여야 하나 미실시
 - 하물 인양방법과 작업자 배치결정 후 작업 지휘
 - 인양하물 이동구간 하부 작업자 출입통제
 - 비계조립 작업자 추락방지를 위한 안전대 착용상황 감시

3) 작업계획 미작성

- 비계재료 등 중량물 인양작업 시 재료의 낙하위험 및 작업자 추락위험을 예방할 수 있는 작업방법 및 순서 등이 포함된 작업계획을 수립·준수토록 하여야 하나 미작성

4) 주차타워 내부 비계조립 시 추락방지조치 미실시

- 주차타워 내부비계 조립작업 시 비계구조물 상부 일부구간에만 작업발판을 설치한 상태에서 별도의 추락방지조치 없이 비계공들이 인양하물을 받기위해 대기하던 중 쏟아지는 비계재료에 맞거나 이를 피하는 과정에서 비계구조물 하부로 떨어지는 사고 발생

4. 동종사고 예방대책

1) 크레인 사용 작업 시 안전조치 철저

- 사업주는 크레인 사용 작업 시 다음 사항을 조치하여 작업자가 준수토록 하여야 함.
 - (작업자 출입 통제) 인양 하물이 작업자 머리위로 통과하지 않도록 접근을 통제 하여야 함.
 - (크레인 운전원 시야 확보) 크레인 운전원이 인양하물을 볼 수 있는 장소에서 운전 하여야 하며, 작업여건상 운전원 시야확보가 어려운 경우에는 명확한 신호방법을 정한 후 인양하물을 감시할 수 있는 위치에 전담신호수를 배치하여야 함.

2) 관리감독자의 유해·위험방지업무 수행 철저

- 크레인 사용작업 시 사업주는 관리감독자로 하여금 하물인양 방법과 작업자 배치를 결정 후 그 작업을 지휘하고, 안전대 등 작업자 개인보호구 착용상황을 감시토록 하여야 함.

3) 작업계획 수립 및 준수 철저

- 비계재료 등 중량물 인양작업 시 재료의 낙하위험과 작업자의 추락위험을 예방할 수 있는 대책내용이 포함된 작업계획의 수립 및 준수를 철저히 하여야 함.

4) 비계조립작업 시 추락방지조치 철저

- 비계 조립작업 시 폭 20cm이상의 발판을 설치하고 작업자로 하여금 안전대를 착용 및 결속한 후 작업을 진행토록 하는 등 추락방지조치를 하여야 함.

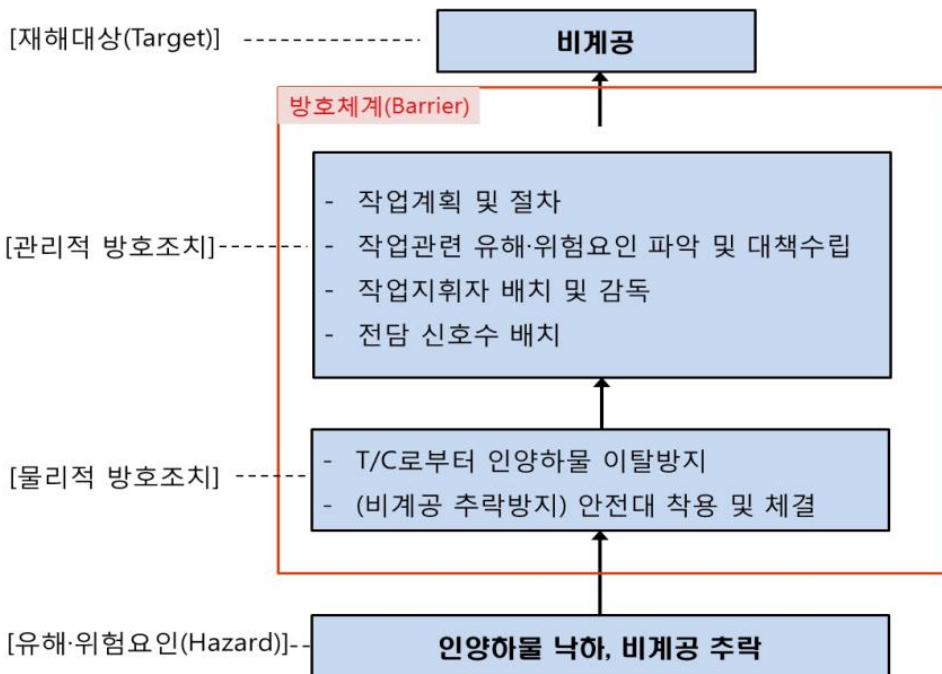
5. 근본적 사고원인 분석

□ 사고분석절차

- ① 사건 및 사고요인 차트 (Events and Causal Factors Chart) 작성
- ② 방호벽 분석 (Barrier Analysis)
- ③ 변화요인 분석 (Change Analysis)
- ④ 사건 및 사고요인 차트 (ECF Chart) 업데이트
- ⑤ 사고근본원인 분석 (Root Cause Analysis)

□ 방호벽 분석

- (목적) 사고는 유해·위험요인(Hazard)이 작업자(Target)와의 접촉에 의해 발생하므로, 이를 예방하기 위한 방호벽(Barrier) 및 방호벽 미작동 이유 파악



[그림 48. 방호벽 개요]

○ 방호벽 분석결과

- 물리적 방호벽

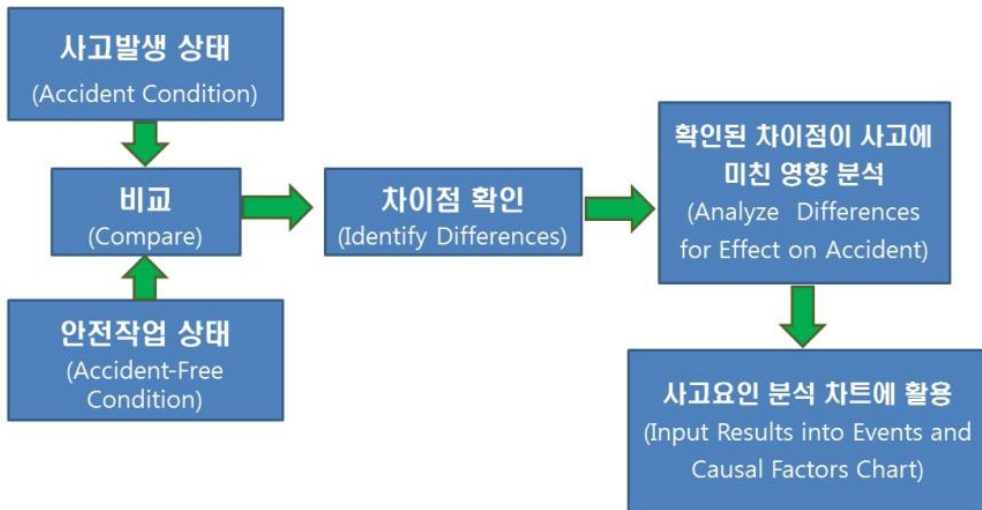
- ① 인양하물 이탈방지조치 미흡 : 철선으로 비계재로 고정
- ② 비계공 추락방지조치 미실시 : 안전대 미착용

- 관리적 방호벽

- ① 작업계획(절차) 미수립 : T/C운전원, 비계공(신호업무 겸임)의 책임과 역할 불분명
- ② 작업지휘자 미배치
- ③ T/C운전원과 신호수(비계공) 간 의사소통 오류

□ 변화요인 분석(Change Analysis)

- (목적) 안전관리 계획에 따라 운영되는 시스템의 균형을 깨뜨리는 변화요인(Change)을 도출하고 적절히 관리(Control) 되었는지 확인



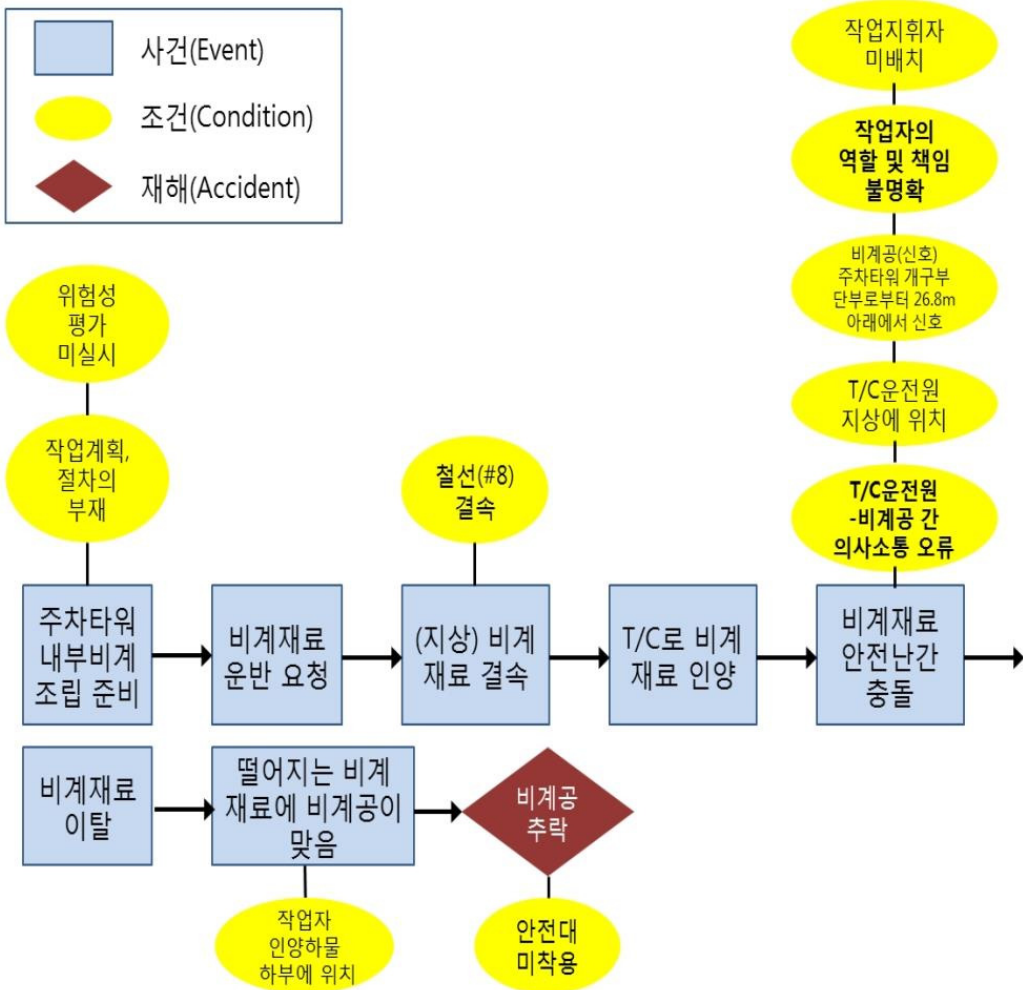
[그림 49. 변화요인 분석 개요]

○ 변화요인 분석결과

- ① T/C운전원 시야 미확보에 따른 인양하물 충돌·걸림 위험 간과(미인지)
- ② 작업순서에 따른 작업자의 역할이 불명확한 상태에서 작업 진행
- ③ 작업방법 및 진행사항에 대한 적절한 관리감독 미실시

□ 사건 및 사고요인 분석(Events & Causal Factors Charting Analysis)

- (방법) 사고발생 전 선행된 사건(Events), 의사결정(Decision Making), 조치사항(Action) 및 조건(Conditions)들을 시간적인 순서에 따라 나열·도식화
- (목적) 재해발생에 영향을 미친 사고요인 도출 및 사고요인 간 연관성 분석을 통해 재해발생 매커니즘을 이해함으로써 재해발생 근본원인(Root Cause) 발견



[그림 50. 사건 및 사고요인 분석 개요]

6. 근본적 사고원인분석에 따른 개선방안 제시

가. 문제점

1) 형식적인 작업계획

- 중량물 취급작업 등 위험작업계획 수립 시 대부분 협력업체에서 작업계획을 작성하고 원청에서는 구체적인 검토 없이 승인 후 작업 진행
 - (유해·위험요인 관리 미흡) 위험작업 진행과정에서 발생할 수 있는 유해·위험요인을 간과하거나 구체적인 대책내용이 없는 경우가 빈번
 - (작업자의 역할 및 책임이 모호) 작업계획이 구체적이지 않으므로, 위험작업 수행 근로자의 역할과 책임이 명확하지 않음.

2) 위험작업 관리감독 미흡

- 위험작업 수행 시 작업계획에 따라 작업이 진행 되도록 작업지휘자를 배치하여 인원 배치, 작업방법 및 순서 결정, 위험작업구간 통제 등 관리감독을 철저히 하여야 하나 협력업체에 위임하는 경우가 빈번함.

3) 사전 안전성 검토 미실시

- 주차타워 상부 슬래브 골조공사를 위한 비계와 파이프써포트 조합방식은 구조적으로 매우 취약하고, 주차타워 내부의 비계설치공사는 추락·붕괴위험이 큰 공사임에도 별도의 안전성검토 없이 작업진행

나. 개선대책

1) 위험성평가에 의한 작업계획 수립·시행

- 위험성평가에서 도출된 유해·위험요인에 대한 개선대책이 포함된 작업계획 수립
 - (작업자의 역할 및 책임 명확화) 작업계획상의 작업방법 및 순서에 따른 작업자의 위치, 역할 및 책임을 구체화하여 해당 작업자들에게 숙지시킨 후 작업진행

2) 작업지휘자의 관리감독 철저

- 위험작업장소에 작업지휘자를 두어 작업인원 배치, 작업방법 및 순서의 결정 등 위험 작업 관리감독 철저

3) 가시설물 안전설계(Design For Safety)

- (위험성평가에 의한 안전설계) 위험성평가에서 도출된 유해·위험요인을 바탕으로 작업자의 안전과 경제성을 도모할 수 있는 안전설계 도입·적용
- 주차타워 상부 슬래브를 철골보+데크플레이트 공법으로 시공하면 붕괴위험이 작고, 내부 벽면 둘레에만 비계를 설치하면 되므로 작업위험성이 현저히 감소
 - 중간층 벽면에 출입구를 설치하면 작업자 이동 및 자재운반 위험성 감소

사례 9. 콘크리트 타설작업 중 데크플레이트 붕괴

1. 사고개요

2019년 00월 00일 00시 소재 ○○건설(주) 환경에너지 시설공사 현장에서 작업자 6명이 자원회수 시설동 크레인 조정실 바닥슬래브 콘크리트 타설 작업을 진행하던 중 데크플레이트를 지지하고 있던 목재각재 받침이 슬래브 자중 및 작업하중을 견디지 못하고 철근콘크리트 보 측면에서 이탈되면서 바닥슬래브가 붕괴되어 콘크리트공 3명이 약 24.0m아래 지상으로 떨어져 사망한 사고임.



[그림 51. 붕괴된 데크플레이트 및 데크플레이트 받침 설치 모습]

인명피해

○ 사망 3명

물적피해

○ 바닥슬래브 붕괴(가로5m, 세로3.45m, 데크플레이트 구조)

2. 사고현장 개요

□ 구조 : 지하2층, 지상4층

○ 철근콘크리트구조(RC) + 철골철근콘크리트구조(SRC) + 철골구조(S)

□ 용도 및 배치

○ (용도) 생활 폐기물 및 음식물 쓰레기 처리시설

○ (배치) 자원회수 시설동, 유기성 폐자원 바이오가스화 시설동, 굴뚝 및 전망대

□ 사고발생장소 : 자원회수 시설동

○ 지하1층, 지상4층, 옥탑 2개층 및 지붕 3개층으로 이루어져 있으며 철근콘크리트 + 철골철근콘크리트 + 철골조로 구성된 복합구조물

○ 붕괴사고는 크레인조정실에서 발생

※ 크레인조정실 바닥슬래브 면적 : $61.0\text{m} \times 3.45\text{m} = 210.45\text{m}^2$



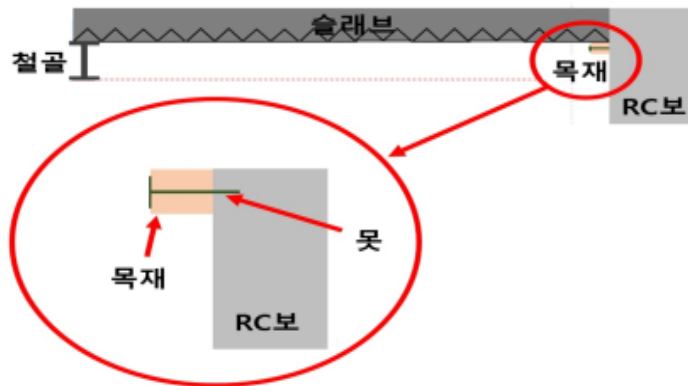
[그림 52. 사고발생 자원회수 시설동 현장 전경]

3. 사고분석

가. 기술적 검토

□ 데크플레이트 구조

- (걸침구조) 데크플레이트 한단은 철골 플랜지에 고정하고 다른 한단은 목재각재 받침 위에 설치
- (지지구조) 무지보 거푸집동바리(데크플레이트 공법)



[그림 53. 데크플레이트 구조]

□ 데크플레이트 받침 구조검토 조건

- 사고발생 데크플레이트는 주 방향(단변 방향)의 한쪽면이 철골보 위에 설치되었고, 반대 쪽은 철근콘크리트 보 측면에 못으로 고정된 목재각재로 받쳐져 있었으며, 부 방향(장변 방향)은 양쪽면 모두 철골보 위에 설치되어 있었음.
- 떨어진 목재각재와 콘크리트못 상태를 확인한 결과, 목재각재의 단면이 4cm×5cm로 4cm면이 철근콘크리트 보 측면에 접하여 콘크리트못으로 고정되어 있었으며, 콘크리트못 길이 약 73.5mm, 지름(da) 약 2mm, 삽입깊이(hef) 약 20mm, 설치간격은 약 250mm 내외로 시공됨.
- 데크플레이트 지점반력 분포는 데크플레이트 강성, 목재와 철근콘크리트 보 연결 강성에 따라 여러 형태가 예상되지만, 현장의 사고원인의 보수적 접근을 위해 편심이 작은 등 분포로 가정함.

4. 동종사고 예방대책

□ 구조안전성 검토를 통한 시공상세도 작성 및 준수

- 슬래브의 데크플레이트 받침 설치방법 결정 시 구조검토를 통해 자중 및 작업하중을 견딜 수 있는 받침 설치방법을 결정
- 작업자들이 데크플레이트 받침 설치방법을 구체적으로 알 수 있도록 시공 상세도 작성 및 준수

5. 근본적 사고원인 분석

□ 방지벽 분석표

(유해·위험요인) 데크플레이트 받침 무너짐		(재해대상) 콘크리트공		Context
방호조치 종류	방호조치의 실제 작동상태	방호 실패 이유	사고에 미친 영향	
- 설계도서(물리)	- 시공 상세도 없음	- 설계-시공 간 차이가 확인되어 기존 도면을 적용할 수 없으나 이에 대한 구조검토 미 실시, 시공 상세도 미작성 - 시공 상세도 해석 오류 · 유사도면(보-데크 플레이트 동시 시공)을 참조하여 데크플레이트 받침 설치방법 결정	- 안전성 검토가 이뤄지지 않은 시공방법결정 · 목재각재 (못 고정) 설치 지시.	- 책임과 역할 불명확
- 위험성평가(관리)	- 콘크리트 타설 시 데크플레이트 붕괴 위험에 대한 위험성평가 미 실시	- 데크플레이트 설치 전과 콘크리트 타설 전 실시된 위험성평가에서 데크플레이트 받침 붕괴 위험 요인을 인지하지 못함. - 콘크리트 타설 전 해당 위험요인 인지 후 위험성평가를 실시하지 않았음.	- 데크플레이트 무너짐 위험성에 대한 적절한 대책수립 없이 작업 진행	- 형식적인 관리

대형사고 사례집

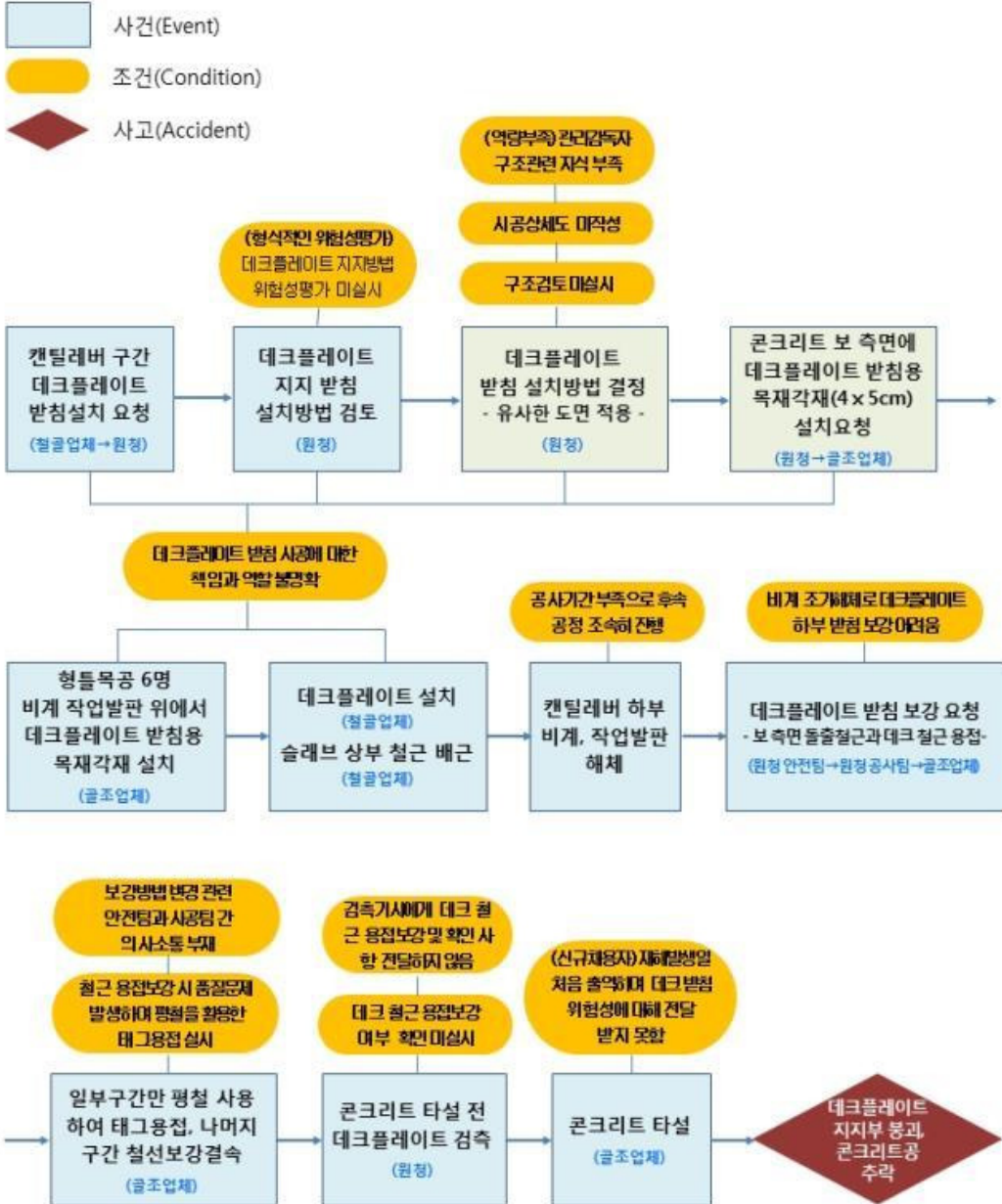
(유해·위험요인) 데크플레이트 받침 무너짐		(재해대상) 콘크리트공		Context
방호조치 종류	방호조치의 실제 작동상태	방호 실패 이유	사고에 미친 영향	
- 책임과 역할 (관리)	- (철골업체) 데크플레이트 받침 시공을 원청에 요청 - (골조업체) 자기 업무가 아니라고 생각하여, 원청의 요구사항에 대해 소극적으로 수행	- 데크플레이트 받침 시공에 대한 책임과 역할이 명확하지 않음.	- 데크플레이트 붕괴 위험 인지 후에도 적절한 보강조치 없이 콘크리트 타설 진행	- 책임과 역할 불명확 - 이해관계 충돌
- (안전점검) 콘크리트 타설 전 붕괴 위험요인 확인(관리)	- 데크플레이트 철근 용접 보강 여부 확인 미 실시	- 안전팀에서 시공팀에 개선요청 후 개선될 것으로 생각함.	- 데크플레이트 붕괴 위험에 대한 적절한 보강조치 없이 콘크리트 타설 진행	- 의사소통 부재
- 공사 관리감독 (관리)	- 데크플레이트 검측 시 철근 용접보강여부 확인하지 않음.	- 검측기사가 데크플레이트 철근 용접보강내용에 대해 전달받지 못함.	- 데크플레이트 철근 용접보강조치 없이 콘크리트 타설 진행	- 의사소통 부재

□ 변화요인 분석표

요소	사고현장 상태 (Present Condition)	안전작업 상태 (Ideal Condition)	차이 (Difference)
(What) 데크플레이트 받침	- 설계도면 (시공상세도) 없이 공사 진행 - 목재각재 설치방법(못간격 등)에 대한 구체적인 기준 없이 작업자 임의로 설치	- 구조검토에 의해 시공 상세도 작성 - 시공 상세도를 준수하여 데크플레이트 받침 설치	- 구조검토에 의한 시공 상세도 미작성 - 시공 상세도 미준수
(When) 유해·위험 요인 인지	- 철골업체의 데크플레이트 받침 설치 요청 시 받침 붕괴위험에 대한 위험성평가 미 실시	- (위험성평가) 데크플레이트 받침 붕괴 위험을 인지한 경우 지체없이 위험성평가 실시 및 적절한 대책 수립	- (유해·위험요인 관리) 유해·위험요인 인지 시 위험성평가를 통해 효과적인 대책을 수립하여야 하나 미 실시

요소	사고현장 상태 (Present Condition)	안전작업 상태 (Ideal Condition)	차이 (Difference)
(Where) 지상 24m 높이의 캔틸레버 구조물	<ul style="list-style-type: none"> - 크레인운전실 하부 비계 해체로 데크플레이트 받침 보강작업이 어려워짐. · (공사시간 부족) 후속공정을 위해 비계 조기 해체 - (원청 안전팀) 콘크리트 보 돌출 철근과 데크플레이트 수평철근 용접보강 지시 	<ul style="list-style-type: none"> - 캔틸레버 구간 작업 완료까지 비계 존치 · 비계 작업발판 위에서 데크플레이트 받침 보강 	<ul style="list-style-type: none"> - 공기부족에 따른 후속공정 진행을 위해 크레인운전실 하부 비계 조기 해체 · 데크플레이트 받침 보강 대신 콘크리트 보 철근과 데크플레이트 수평철근 용접보강 지시
(Who) 골조업체 및 철골업체	<ul style="list-style-type: none"> - 데크플레이트 받침 시공 관련 이해관계 충돌 · (철골) 원청에 시공 요구 · (골조) 골조업체 작업범위에 포함되지 않는다고 판단했으나 원청의 거듭된 요청에 소극적으로 수행 	<ul style="list-style-type: none"> - 데크플레이트 받침 시공에 대한 책임과 역할 명확화 	<ul style="list-style-type: none"> - 데크플레이트 받침 시공에 대한 책임과 역할이 명확하지 않음.
(How) 유해·위험 요인 관리	<ul style="list-style-type: none"> - 데크플레이트 철근 용접보강 조치 요청 후 개선여부 미확인 - 콘크리트 타설 전 데크플레이트 검측 시 검측기사에게 데크플레이트 받침 위험 및 개선요구 내용 알리지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> - 데크플레이트 철근 용접보강 조치 요청 후 개선여부 확인 - 데크플레이트 검측기사에게 위험요인 및 개선사항을 확인토록 조치 	<ul style="list-style-type: none"> - (유해·위험요인 관리) 개선 요청 후 개선여부 확인 미실시 - (의사소통) 안전팀과 시공팀 간 유해·위험요인 관련 원활한 의사소통이 이뤄지지 않았음.

□ 사건 및 사고요인 차트



6. 근본적 사고원인분석에 따른 개선방안 제시

가. 철골철근콘크리트 합성 구조물 시공

□ 철골철근콘크리트 합성 구조물 시공 문제점

- 단일 구조물에 협력업체 2개사가 관여함으로써 작업일정 조율 및 책임 소재 문제 발생 가능성이 높음.
 - 사고현장의 경우 철골슬래브는 철골업체가 시공하고, 철골슬래브를 지지하는 콘크리트 보는 골조업체가 시공함으로써, 동시에 시공하는 경우에는 작업 순서 및 일정에 대한 원활한 협의가 필요하고,
 - 공사시기가 다른 경우에는 접합부분 상세 시공과정에서 책임 소재 문제가 발생할 가능성이 높음.

□ 개선대책

- (안전설계) 구조물 설계 시 안전 및 시공 관계자를 참여시켜 시공 과정에서 발생할 수 있는 문제점 도출 및 안전설계기법(Design Solution) 적용을 통해 유해·위험요인, 책임 소재 문제 최소화 필요
 - 사고현장의 경우 캔틸레버를 철근콘크리트 구조 또는 철골구조 중 택일하여 둘 이상의 협력업체가 단일 구조물을 시공함에 따른 이해관계 충돌 및 책임문제를 방지하여야 함.
- (책임과 역할 명확화) 단일 구조물에 여러 협력업체가 관여하는 경우 계약단계에서 작업 분석을 통해 공사가 중첩되는 구간에 대한 책임과 역할을 계약서류상에 분명히 하여야 함.
 - 사고현장의 경우 데크플레이트 받침 시공에 대한 책임과 역할을 명확히 하고 공사일정 등에 대하여 원청 공사팀의 적극적인 조율이 필요함.

나. 유해·위험요인 관리(Control) 체계 확립 및 작동성 강화

□ 유해·위험요인 발굴노력 강화

- (공사관계자 적극 참여) 협력업체 관리감독자 뿐만 아니라 근로자를 참여시켜 대상 공종 작업분석 후 브레인스토밍(Brainstorming)을 통해 발생 가능한 모든 유해·위험요인 도출 및 위험성 평가 실시

- (위험성평가 실시 시기 개선) 위험성평가에서 검토되지 않았던 유해·위험요인을 인지한 경우 지체 없이 위험성평가를 실시하여 적기에 개선대책을 수립·시행하여야 함.

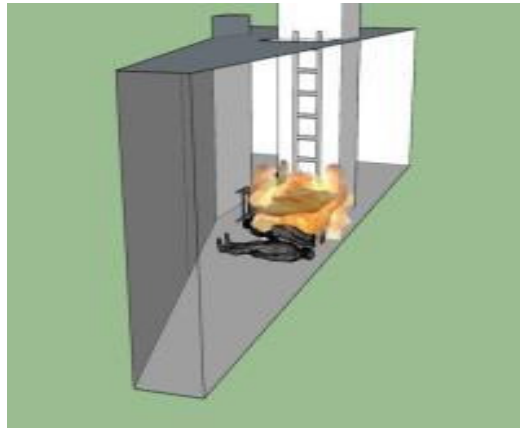
□ 의사소통 개선방안

- 안전점검 등으로 확인된 유해·위험요인에 대하여 위험성평가를 실시하여 적절한 개선대책을 수립하고 협력업체 및 공사팀을 통해 개선대책이 실행되도록 한 후 개선여부를 확인함으로써,
 - 공사팀이나 안전팀이 개별적으로 개선대책 수립 및 수행을 진행하여 발생하는 의사소통의 문제점들을 최소화 하여야 함.

사례 10. 소화저수조 에폭시 방수작업 중 화재

1. 사고개요

2019년 00월 00일 00시 소재 (주)000 신축공사 현장에서 방수공사 협력업체 소속 작업자 2명이 지하 2층 소화저수조 내부 방수공사 보수작업 중 화재가 발생하여 화상으로 사망한 사고임.



[그림 55. 화재발생 소화저수조 내부 및 사고발생 상황도]

인명피해

- 사망 2명

물적피해

- 소화저수조 일부 소손

2. 사고현장 개요

가. 사고장소 특성

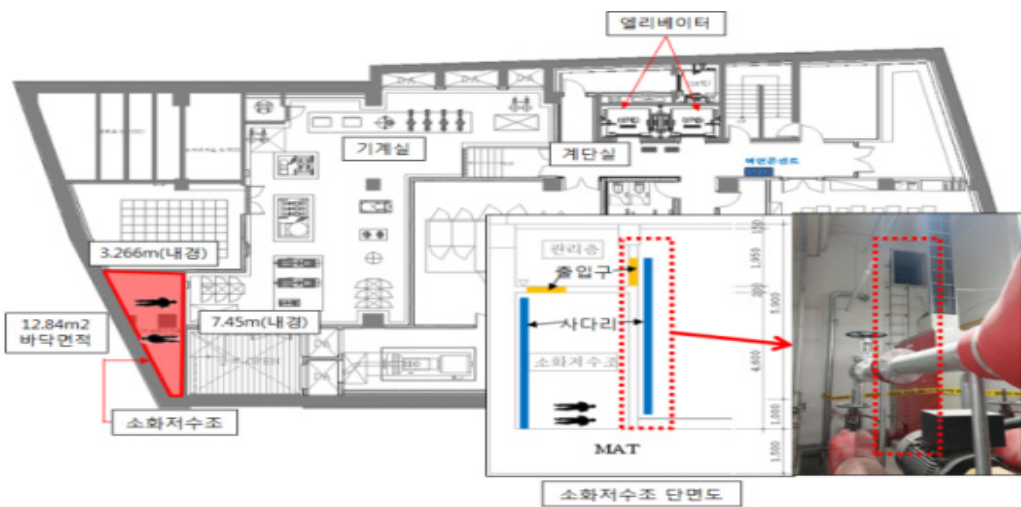
□ 구조 : 지하2층, 지상14층

○ 철근콘크리트구조(RC)



[그림 56. 현장 전경]

□ 지하2층 소화저수조 도면



[그림 57. 소화저수조 도면]

나. 사고 상황

사고발생 공정 및 흐름도

세 부 공 정	공 정 설 명
방수자재 입고	- 수용성에폭시 프라이머, 무용제에폭시, 희석제 입고
▽	
콘크리트 표면처리	- 기존에 도포된 에폭시 중 들뜬 부분 제거 및 청소
▽	
프라이머 도포	- 수용성에폭시 프라이머 주제(11.77kg)와 경화제(6.23kg)를 교반하여 롤러 또는 붓으로 균일하게 도포
▽	
무용제에폭시 도포 (사고발생)	- 무용제에폭시 주제(17.5kg), 경화제(3.5kg), 5%정도의 희석제를 교반하여 롤러 또는 붓으로 균일하게 도포
▽	
양생	- 에폭시 도포 콘크리트면을 건조시킴(자연건조)

방수공사 보수작업 사용 자재의 특성

○ 화학물질 목록

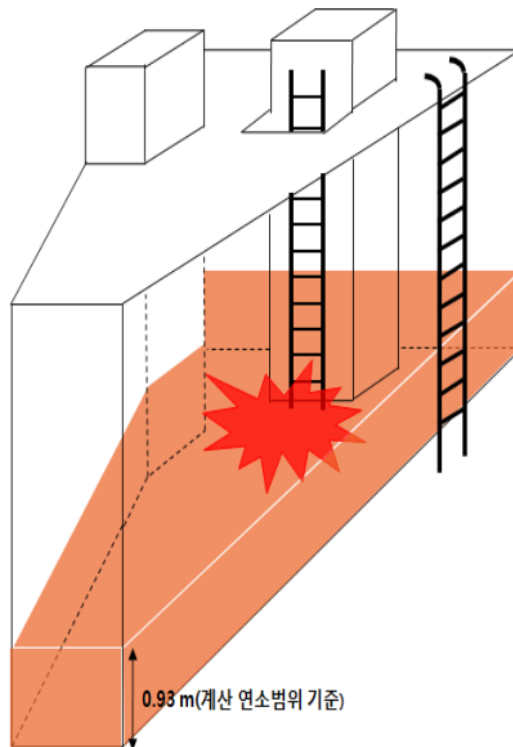
제품명	제조사	사용량	인화점	화학적 안정성
에폭시 WS-101S 프라이머(PART-A, 주제)	○○○○공업(주)	11.77kg	자료없음	일부는 탈수 있으나 쉽게 점화하지 않음
에폭시 WS-101S 프라이머(PART-B, 경화제)	○○○○공업(주)	6.23kg	자료없음	일부는 탈수 있으나 쉽게 점화하지 않음
무용제에폭시 NS-200물색(주제)	○○○○공업(주)	17.5kg	249℃	일부는 탈수 있으나 쉽게 점화하지 않음
무용제에폭시 NS-200(경화제)	○○○○공업(주)	3.5kg	117℃	일부는 탈수 있으나 쉽게 점화하지 않음
SDC-005(희석제)	○○○○공업(주)	4.2kg	27℃	고인화성 액체 및 증기

3. 사고분석

가. 기술적 검토






□ 저수조 내 연소분위기 형성 범위

- 희석제의 성분분석결과를 토대로 희석제의 연소하한값을 계산하면 1.0%이며, 방수제를 벽면에 바르는 과정에 희석제 0.5kg이 전부 기화되었다고 가정하면, 기화된 양은 0.12m³임
 - 희석제의 인화하한값이 1.0% 기준으로 연소분위기가 형성된 공간은 약 12m³임
 - 저수조 바닥면적이 12.84m² 이므로 공기보다 무거운 희석제 증기가 바닥면에서부터 연소분위기가 형성되었다고 가정하면, 바닥면으로부터 0.93m 까지 연소범위 내에 있게 됨.



[그림 58. 연소분위기 형성 범위]

□ 점화원(추정)

에너지원 구분	관련사진 및 자료	점화원 작용 가능성
전기스파크 (콘센트-플러그)		<ul style="list-style-type: none"> · 전원연장 콘센트(사진)에서 투광등용 플러그를 분리시 발생하는 스파크가 점화원으로 작용할 가능성이 있으나, · 119구조활동 시 플러그를 콘센트에서 분리하였다는 소방관 진술을 참조하면 점화원으로 작용하였을 가능성이 낮음
전기스파크 (전선단락, 지락)		<ul style="list-style-type: none"> · LED 전원용 케이블(사진)의 절연피복은 화재에 의해 소손되었고, · 노출된 연선의 단락 또는 지락으로 인해 화재사고 발생 후 전단의 차단기가 자동 차단된 것으로 추정되어 전선의 단락·지락으로 인한 점화원 제공 가능성은 낮음
정전기 방전 에너지	 <p data-bbox="445 1177 652 1207">정전기핸드북 287쪽</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 일본정전기학회에서는 사람의 건강을 고려하여 정전기로 인한 재해방지를 위해 50%정도의 상대습도를 추천 · 소화저수조 내 습도는 45%정도이나 땀으로 인한 습기가 옷에 보충되어 정전기 발생으로 인한 점화원 제공 가능성은 낮음
전기기기로 인한 자연발화		<ul style="list-style-type: none"> · LED등기구의 최고상승 가능한 온도는 95℃(주변온도 25℃ + 최고온도상승 70℃)로 희석제의 자연발화점 415℃에 훨씬 미치지 못하므로 · LED등기구 표면의 온도가 점화원으로 작용하였을 가능성은 낮음
나화 (라이터, 담뱃불)		<ul style="list-style-type: none"> · 사고현장인 소화저수조 바닥에서 담배, 일회용 가스라이터, 오른손 장갑 검지에 붙은 담배 잔해 등을 고려하면 · 라이터 및 담뱃불로 인한 점화원 제공 가능성이 높음

나. 사고원인분석

1) 소화저수조 내부의 연소분위기 형성

- 소화저수조 내부에서 방수제 도포작업 중 무용제에폭시 희석제(SDC-005)에서 발생한 인화성 증기가 연소하한값 이상으로 소화저수조 내부에 체류

2) 화재위험 지역에서의 재해예방 조치 미흡

- 도포된 에폭시에서 발생한 인화성 증기로 인해 화재위험이 있는 소화저수조 내부에서 점화원으로 작용할 수 있는 라이터 및 담배불을 사용

3) 물질안전보건자료 잘못 작성하여 제공

- 희석제를 제조한 0000공업(주)에서 물질안전보건자료에 인화점을 27℃로 기록하여 사용 사업장에 제공하였으나 주위온도 25℃에서 화재 발생
- 희석제를 샘플링하여 시험을 의뢰한 결과 인화점은 12℃였고 구성성분 및 함유량도 차이가 남.

4. 동종사고 예방대책

1) 화재위험 장소의 환기 및 인화성 증기 농도 모니터링 철저

- 도포된 에폭시에서 발생한 인화성 액체의 증기가 지하저수조 내부에 체류하여 화재가 발생하지 않도록 충분한 통풍과 환기를 실시하여야 함.
- 휴대용 가스 감지기 등을 사용하여 저수조내의 연소분위기 형성 여부를 감지·관리하여야 함(연소하한치의 25%이하로 관리).

2) 화재위험 장소에서의 화기사용 금지

- 인화성 액체의 증기 발생으로 화재 위험이 있는 장소에서는 화기사용을 금지하여야 함.

3) 화재위험 장소에서의 작업 시 인화성 액체 취급관리 철저

- 인화성 액체를 화기나 그 밖에 점화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 증발시키는 경우에는 환기, 나화 통제, 전기기계·기구 관리 등의 적절한 방호조치를 실시하여야 함.

4) 물질안전보건자료의 작성 및 제출

- 화학물질을 포함한 제재를 양도하거나 제공하는 자는 물질안전보건자료를 잘못 작성하거나 누락하지 않도록 정확히 작성하여 제공하여야 함.

5) 밀폐공간 작업시 질식·중독 등의 재해예방대책 시행

- 밀폐공간 작업 프로그램 수립·시행
- 작업 전 산소 및 유해가스 농도 측정
- 밀폐공간 외부에 감시인 배치 및 작업상황 감시

5. 근본적 사고원인 분석

□ 방지벽 분석표

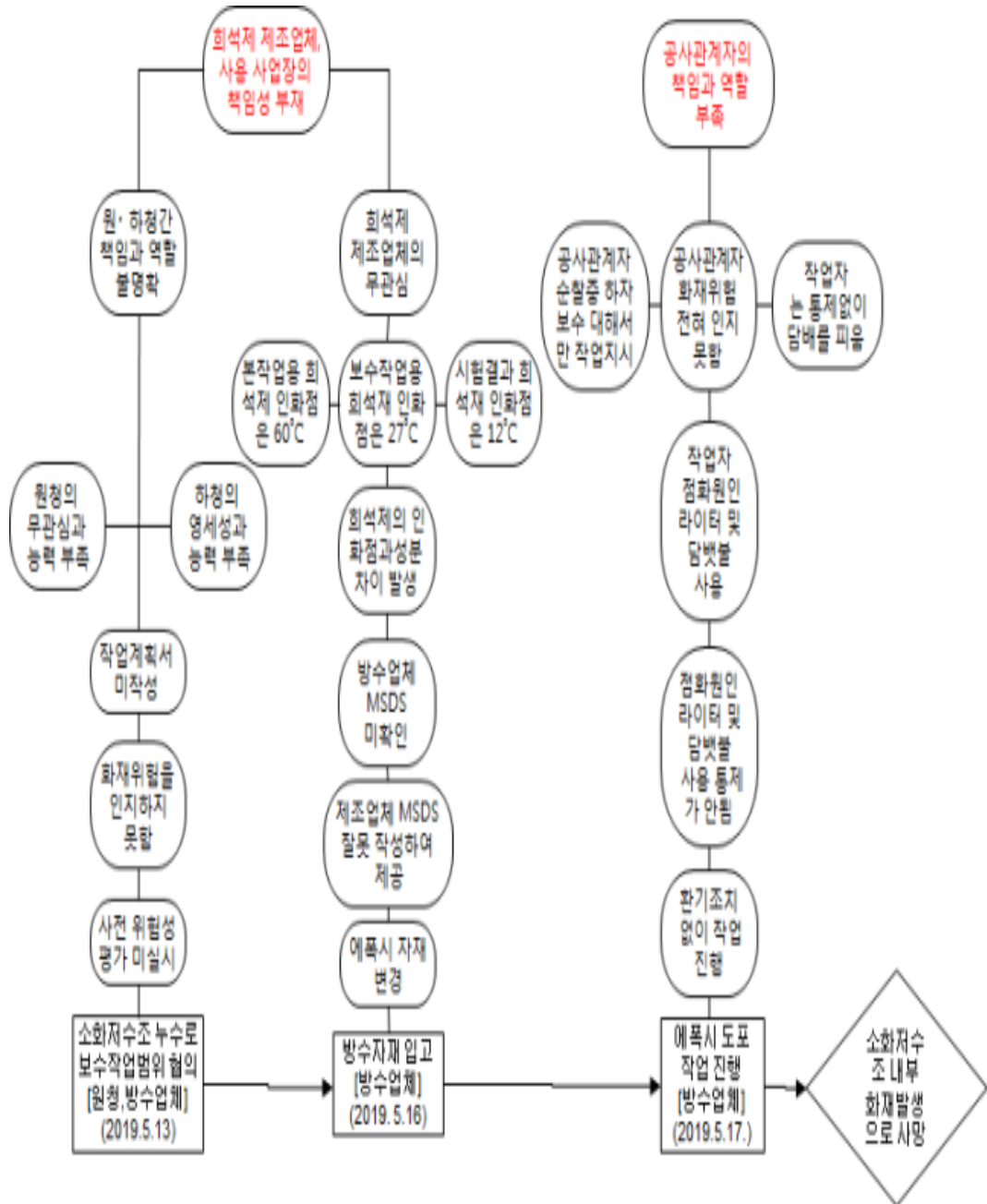
(유해·위험요인) 방수작업 중 화재 발생		(재해대상) 방수공	
방호조치 종류	방호조치의 실제 작동상태	방호 실패 이유	사고에 미친 영향
- 환기조치(물리)	- 환기조치 없음	- 화재발생 우려 장소에 환기 미조치	- 환기 미조치로 소화저수조 내부의 연소분위기 형성으로 화재 발생
- 화기사용 금지(물리)	- 화재발생 위험장소에서ライター 및 담뱃불 사용 - 인화성 액체 취급시 나화(ライター 및 담뱃불) 통제조치 미실시	- 인화성 액체(희석제)의 증기발생으로 점화원인ライター 및 담뱃불 사용 - 인화성 액체(희석제) 취급시 점화원인ライター 및 담뱃불 사용 통제가 안됨	- 화재위험이 있는 소화저수조 내부에 도포된 에폭시에서 발생한 인화성 증기에 점화원인ライター 및 담뱃불 사용으로 화재 발생

(유해·위험요인) 방수작업 중 화재 발생		(재해대상) 방수공	
방호조치 종류	방호조치의 실제 작동상태	방호 실패 이유	사고에 미친 영향
- 물질안전보건자료 (관리)	- 물질안전보건자료 잘못 작성하여 사용사업장에 제공	- 희석제 제조하여 납품한 ○○○○공업에서 희석제의 인화점을 27℃로 기록하여 물질안전보건자료를 제공하였으나 주위온도 25℃에서 화재발생 - 동 희석제를 샘플링하여 시험한 결과 인화점은 12℃였음	- 물질안전보건자료를 잘못 작성하여 사용사업장에 제공함으로써 소화저수조 내부의 연소분위기를 형성하여 화재 발생
- 위험성평가(관리)	- 에폭시 방수작업시 화재 위험에 대한 위험성평가 미 실시	- 에폭시 방수작업전과 작업중에 위험성평가에서 화재위험 요인을 인지하지 못함. - 에폭시 방수작업시 점화 원인 나화(라이터 및 담뱃불)통제에 대한 위험성평가가 없음	- 에폭시 방수작업시 화재발생 위험에 대한 적절한 대책수립 없이 작업 진행
- 책임과 역할(관리)	- (원청업체) 에폭시 방수작업시 화재위험 방지조치 미 실시 - (방수업체) 원청업체의 사전 통제조치 없이 에폭시 방수작업 실시 · 환기조치, 나화통제, 교육 등 사전조치가 안된 상태에서 작업 실시	- 원청업체와 방수업체의 시공에 대한 책임과 역할이 명확하지 않음.	- 원청업체 및 방수업체가 화재위험에 대한 적절한 조치 없이 에폭시 방수작업 진행
- 에폭시 방수작업시 화재 위험요인 확인(관리)	- 방수작업중 원청 안전팀장이 현장 순찰중 하자보수 작업에 대한 작업지시는 하였으나 화재위험에 대한 작업지시는 하지 않았음	- 원청 안전팀장의 책임과 역할 부족	- 원청 안전팀장의 화재 위험에 대한 작업지시가 안되어 재해자가 위험을 인지하지 못한 상태에서 작업중 화재 발생

□ 변화요인 분석표

요소	사고현장 상태 (Present Condition)	안전작업 상태 (Ideal Condition)	차이 (Difference)
(What) 에폭시 방수작업의 화재 위험	<ul style="list-style-type: none"> - 환기조치 없이 에폭시 방수작업 진행 - 화재위험 장소에서 점화원인 나화(라이터 및 담뱃불)통제 없이 작업 진행 	<ul style="list-style-type: none"> - 환기조치 상태에서 에폭시 방수작업 진행 - 화재위험 장소에서 점화원인 나화(라이터 및 담뱃불)통제 조치 	<ul style="list-style-type: none"> - 환기 미조치 - 나화(라이터 및 담뱃불) 통제 미실시
(When) 유해·위험 요인	<ul style="list-style-type: none"> - 에폭시 방수작업시 화재위험에 대한 위험성평가 미실시 	<ul style="list-style-type: none"> - 에폭시 방수작업시 환기, 나화통제 등 위험성평가 실시 및 적절한 대책 수립 	<ul style="list-style-type: none"> - 유해·위험요인에 대한 위험성 평가를 통해 효과적인 대책을 수립하여야 하나 미실시
(Where) 소화저수조 내부	<ul style="list-style-type: none"> - 환기가 되지 않은 상태에서 작업 진행 - 재해자는 나화통제 없이 소화저수조 내부에서 담배를 피움 	<ul style="list-style-type: none"> - 환기가 되는 상태에서 작업 진행 - 나화통제 상태에서 작업 진행 	<ul style="list-style-type: none"> - 환기조치가 안되고 나화통제 조치가 안된 상태에서 작업 진행
(Who) 원청업체 및 방수업체	<ul style="list-style-type: none"> - 에폭시 방수작업에 대한 원·하청간 책임과 역할 부족 · (원청) 에폭시 방수작업시 화재위험에 대한 조치를 하지 않았음 · (방수) 원청 또는 관리감독자의 통제없이 에폭시 방수작업 진행 	<ul style="list-style-type: none"> - 에폭시 방수작업에 대한 화재발생 위험방지를 위해 원·하청간 책임과 역할 명확화 	<ul style="list-style-type: none"> - 에폭시 방수작업에 대한 책임과 역할이 명확하지 않음
(How) 유해·위험 요인 관리	<ul style="list-style-type: none"> - 소화저수조 방수작업시 당초에는 인화점이 낮은(60℃) 희석제를 사용 하였고 사고당시 하자 보수작업은 인화점이 상대적으로 높은(27℃)희석제 사용 - 동 희석제를 샘플링하여 시험한 결과 인화점이 12℃였고 구성성분도 차이가 나 소화저수조 내부 연소분위기 형성함 	<ul style="list-style-type: none"> - 희석제 제조·납품업체는 물질 안전보건자료 정확하게 작성하여 사용사업장에 제공하고 - 사용업체는 물질안전보건자료를 참조하여 환기 등 화재예방조치 	<ul style="list-style-type: none"> - 희석제 제조·납품업체는 물질안전보건자료를 잘못 작성하여 제공 - 사용업체는 물질안전보건자료 확인없이 환기 등 미조치

□ 사건 및 사고요인 차트



6. 근본적 사고원인분석에 따른 개선방안 제시

가. 문제점

1) 에폭시 방수공사 관련 주체별 책임성 부재

- (제조업체) 에폭시 방수공사 자재인 희석제의 물질안전보건자료를 잘못 작성하여 건설 업체에게 납품
- (원청업체) 에폭시 방수공사 자재 관련 물질안전보건자료 미확인, 작업계획서 미작성 및 위험성평가 미실시 등 화재위험에 대한 무관심과 대응능력 부족
- (하청업체) 에폭시 방수공사 자재의 화재 위험을 인지하지 못했고 방수업체의 영세성 및 능력 부족으로 작업지휘 및 통제가 안 됨.

2) 공사관계자의 책임과 역할 부족

- 현장순찰 시 환기조치 없이 에폭시 방수공사 중임에도 화재 위험을 인지하지 못하고 재해자에게 보수작업 범위만 작업 지시
- 점화원인 라이터 및 담뱃불에 대한 사용금지 등 통제 미실시

나. 개선대책

1) 에폭시 방수공사 관련 주체별 책임성 강화

- (제조업체) 물질안전보건자료를 정확하게 작성하여 사용 사업장에게 제공할 수 있도록 제도개선 및 지속 관리
- (사용 사업장) 물질안전보건자료 확인, 위험성평가 실시 등 화재 위험에 대한 인지 및 대응능력 향상과 표준안전작업절차서 작성 및 이행

2) 공사관계자의 책임과 역할 강화

- 유해·위험요인에 대한 사전 인지능력 향상 및 실질적인 위험성평가가 이루어질 수 있도록 공사관계자에게 책임과 역할 부여
- 영세하고 역량이 부족한 하청업체에 대한 원청업체의 체계적인 지원

첨부1

2019년 중앙사고조사단 대형사고 정밀조사 리스트

연번	사고 내용	인명 피해 상황	사례집
1	석탄 이송용 컨베이어 점검중 끼임	사망 1명	기재
2	콘크리트 양생작업중 일산화탄소 중독에 의한 질식사고	사망 2명	기재
3	타워크레인을 이용해 인양하던 자재가 안전난간에 걸려 떨어짐	사망 2명	기재
4	알루미늄 용해로에 첨가제 투입중 용해로 폭발	부상 3명	
5	고체 추진체 이형작업중 점화	사망 3명, 부상 2명	
6	콘크리트 타설작업 중 데크플레이트 붕괴	사망 3명	기재
7	승강기 교체 작업 중 지지고리가 벌어져 승강기 떨어짐	사망 2명	기재
8	지게차를 이용하여 운반하던 절곡기가 떨어져 깔림	사망 1명, 부상 4명	
9	고분자 중합용 조촉매 제조과정중 화재·폭발	사망 3명, 부상 1명	기재
10	소화수 저수조 에폭시 도장공사중 화재	사망 2명	기재
11	에너지 기술개발사업 관련설비 실증시험 중 수소탱크 폭발	사망 2명, 부상 6명	
12	계류장 내 돼지차랑 저울대 도장 후 조립 중 폭발	사망 2명, 부상 1명	기재
13	신월 빗물저류시설 수몰	사망 3명	
14	건설용리프트 해체작업 중 붕괴	사망 3명, 부상 3명	
15	연료저장탱크내 유증기 누출에 의한 폭발	실종 1명, 부상 8명	
16	어패류 폐기물 탱크 청소 중 황화수소 중독에 의한 질식사고	사망 4명	기재
17	판넬 지지용 앵커볼트 점검 중 탈락으로 인한 떨어짐	사망 1명, 부상 3명	기재
18	주차타워 공사 중 무너진 옹벽에 깔림	사망 2명	
19	연료시험밸브를 통과하는 유량제어시험 중 폭발	사망 1명, 부상 6명	

이 자료는 안전보건공단의 허락 없이 타 기관에서 부분 또는 전부를 복사, 복제, 전제하는 것은 저작권법에 저촉됩니다.

작성 : 안전보건공단 중앙사고조사단

검토 : 안전보건공단 중앙사고조사단장 김 남 두

대형사고 사례집

발행일 : 2019년 12월

발행인 : 박 두 용

발행처 : 한국산업안전보건공단 중앙사고조사단

울산광역시 중구 종가로 400

Tel : 052-703-0120

Fax : 052-703-0130

2019-중앙사고조사-1639

〈비매품〉