

2021-중앙사고조사단-900

안전을위한
우리를We한

사회적 이슈(Issue) 사고 사례집



산업재해예방
안전보건공단
중앙사고조사단



책을 펴내면서

우리는 살아가면서 언제나 건강하고 행복하기를 기원한다. 건강하고 행복하기 위해서는 우선 사고가 없어야 한다. 사고(事故)라는 것은 뜻밖에 일어난 불행한 사건이라고 말할 수 있는데 올해 7월 유엔무역개발회의(UNCTAD)가 한국의 지위를 개발도상국에서 선진국 그룹으로 변경한 것이 무색하게 아직 한국은 사고 공화국이라는 오명을 벗어나지 못하고 있다. 매일 반복되는 작업자의 추락, 끼임 등 산업재해로 인한 사망사고는 정부의 재해예방 노력에도 불구하고 좀처럼 줄어들지 않고 있다.

우리나라가 산업재해로 인한 사망사고가 많은 이유는 과거 개발·성장 중심의 정책이 아직도 우리 사회 깊숙이 뿌리박혀 있기 때문이다. 한국전쟁 이후 모두가 가난했던 시절 1960년대부터 시작된 「빨리 빨리」 문화는 경제성장을 하는데 도움이 된 것은 사실이나 산업규모가 대형화, 고도화된 현 시점에서 사고를 유발하는 원인으로 작용하고 있다. 급격한 경제성장 과정에서 안전한 작업계획을 세우고 그 계획을 준수하면서 작업하는 것은 무시되었고 안전모, 안전대 등 보호구를 착용하고 작업하는 것이 겹쟁이처럼 치부되었다.

그러나 이제는 달라져야 한다. 작업장에서 선진국 위상에 걸맞은 안전보건체계를 갖추고 노후시설의 정비, 안전시설의 설치, 보호구 착용 관리·감독 등을 철저히 시행해야 한다. 그리하여 작업장에서 「안전하지 않으면 작업하지 않는다」는 안전문화가 정착되고 더 이상 한 순간의 사고로 집으로 돌아가지 못하는 작업자가 발생하지 않도록 해야 할 것이다.

※ 2021년 대형사고 발생 현황

- 2021. 1.13.(수) 파주 00공장 공정변경용 배관 해체작업 중 물질 누출(사망1명, 부상5명)
- 2021. 1.15.(금) 수원 00호텔 천장 우레탄 폼 보온작업 중 화재(사망1명, 부상2명)
- 2021. 3.18.(목) 동해 00운반선 화물 하역작업 중 질식(사망2명, 부상1명)
- 2021. 3.18.(목) 논산 00공장 화학물질 제조공정에서 폭발(사망1명, 부상4명)
- 2021. 3.26.(금) 포항 00골프장 작업자 카트로 이동 중 카트 추락(사망1명, 부상3명)
- 2021. 4. 4.(일) 광주 00주택 개보수공사 현장에서 지붕 붕괴(사망2명, 부상2명)
- 2021. 4.24.(토) 남양주 00오피스텔 건설현장에서 화재(사망1명, 부상15명)
- 2021. 5.12.(수) 포천 00채석장 기계 수리작업 중 끼임(사망2명)
- 2021. 5.24.(월) 안성 00공장 기계 반출작업 중 이동식크레인 전도(사망1명, 부상4명)
- 2021. 5.30.(일) 울산 00공장 국소배기장치에서 질소 역류로 질식 추정(사망2명)
- 2021. 6. 5.(토) 포항 00공장 소각로 고온물질이 물과 반응하여 폭발(사망1명, 부상2명)
- 2021. 6. 9.(수) 광주 00재개발 현장 건축물 해체작업 중 붕괴(사망9명, 부상8명)
- 2021. 6.16.(수) 충주 00산림유역 현장 사방댐 벽체 거꾸집 붕괴(사망1명, 부상2명)
- 2021. 8.20.(금) 당진 00선박에서 소화설비 보수작업 중 이산화탄소 누출·질식(사망1명, 부상3명)
- 2021. 8.28.(토) 상주 00공장 건강기능식품 제조공정에서 화재(사망3명, 부상3명)
- 2021. 8.31.(화) 경기광주 00골프장 작업자 카트로 이동 중 나무와 충돌(사망1명, 부상4명)
- 2021.10.14.(목) 남양주 00아파트 현장 타워크레인 인상작업 중 마스트 낙하(사망2명, 부상1명)
- 2021.10.23.(토) 서울 00데이터센터 현장 소화설비에서 이산화탄소 누출·질식(사망4명, 부상16명)
- 2021.12. 1.(수) 안양 00지중선로공사 임시포장 작업중 롤러에 깔림(사망3명)
- 2021.12. 2.(목) 서울 00아파트 인테리어공사현장 창틀 인양작업 중 추락(사망2명)
- 2021.12.13.(월) 여수 00산업 인화성액체 저장탱크 배관 연결작업 중 화재·폭발(사망3명)

위 자료는 2021년 사업장에서 발생한 대형사고 현황이다. 안전보건공단의 재해조사 관련 지침에 의하면 대형사고는 2명 이상 사망 또는 3명 이상 사상(사망 1명 포함)으로 규정하고 있다. 매년 국내에서 발생하는 대형사고는 20건 전후로 대형사고가 발생하면 대부분 매스컴에 보도되고 사회적 이슈가 되고 있다.

그럼 이러한 사고는 왜 발생하는 것일까? 혹자들은 「휴먼에러」 운운하면서 사고를 작업자 실수로 치부하는 경우가 있는데 결론적으로 말하면 이것은 잘못된 판단이라는 것이다. 안전이라는 것은 인간의 기본적인 욕구고 어떠한 경우라도 위험한 상황에서 작업

책을 펴내면서

하고 싶은 사람은 없을 것이기 때문이다. 문제는 사고가 발생한 사업장을 조사해 보면 조직문화, 작업상황이나 여건이 위험한 환경에 노출되어 있고 관리·감독이 소홀하거나 없는 경우가 많다는 것이다.

이번 사례집에서는 최근 1~2년간 발생한 화재·폭발, 붕괴, 질식 등 대형사고의 직접원인 뿐만 아니라 근본원인까지 집중 분석하여 예방대책을 제시하였다. 그리고 DOE, FRAM 등 선진 사고조사 기법에 의한 사례를 수록하여 사고조사의 발전방향을 제시하였다.

향후 작업장에서 사고를 방지하기 위해서는 발주자, 사업주, 관리감독자, 작업자 등 사업 주체별 책임 및 역할을 충실히 수행해야 할 것이고 이번 사례집이 대형사고 뿐만 아니라 사망사고를 감축하는데 도움이 되기를 바란다.

2021. 12.

한국산업안전보건공단 이사장

사회적 이슈(Issue)
사고 사례집

목 차

CONTENTS

I 사회적 이슈 사고 사례 01

1. 해체공사 건물 붕괴사고	2
2. 화재·폭발 사고	19
3. 항만 하역 사고	37
4. 거푸집동바리 붕괴 사고	67
5. 줄걸이 작업 시 사망사고	83
6. 건설장비 사망사고	97
7. 굴착공사 토사 붕괴 사고	109

II 선진 사고조사 기법 적용 사례 127

1. DOE (U.S. Department Of Energy)	128
2 FRAM (Functional Resonance Analysis Method)	148

III 부 록 159

1. 사고예방 체크리스트	160
2. 추락사고예방 OPS	164
3. 근본원인조사(RCA) 체크리스트	168

| 사회적 이슈(Issue) 사고 사례집 |

I

사회적 이슈 사고 사례



1

해체공사 건물 붕괴사고

1. 해체공사 중 건물붕괴 사고 발생현황

지난 6월 9일(수) 16시 22분경 광주광역시 동구 학동4구역 주택재개발 정비사업 현장에서 사업부지 내 지장건물 해체작업 중 해체 중이던 건물이 대로변으로 붕괴되면서 정차중인 노선 버스가 매몰되어 9명이 사망하고 8명이 부상하는 참사가 발생하였다.

이번 사고로 인해 사망하거나 부상당한 17명은 모두 건물 해체공사와는 무관한 버스 탑승객들이었으며 모두가 각자의 평범한 일상 속에서 벌어진 일이었기에 일상의 안전이 위협받을 수 있다는 사회적 불안감과 충격이 컸던 사고였다.



광주 학동 건물붕괴 순간



광주 학동 건물붕괴 후 모습

이에 앞서 지난 4월 서울 장위동에서도 건물 해체작업 중 바닥이 붕괴되면서 살수작업을 하던 근로자 1명이 지하층으로 추락한 후 매몰되어 사망한 사고가 있었고, 2년 전인 2019년 7월 서울 잠원동에서도 5층 건물을 해체하던 중 건물 벽체가 인접 도로쪽으로 붕괴되어 무고한 시민 4명이 사상하는 사고가 발생한 바 있었다.

【해체공사 중 붕괴사고 발생 현황】

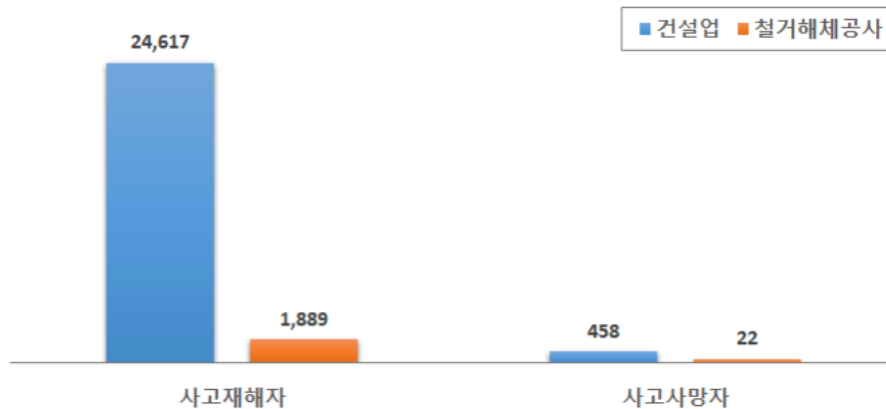
- 2021.06.09.(수) 광주 학동 재개발현장 건물 해체 중 붕괴<사망9, 부상8>
- 2021.04.30.(금) 서울 장위동 재개발현장 건물 해체 중 붕괴<사망1>
- 2019.07.04.(목) 서울 잠원동 건물 해체 중 붕괴<사망1, 부상3>
- 2017.01.07.(토) 서울 낙원동 건물 해체 중 붕괴<사망2, 부상2>

건물의 해체공사는 건물을 신축하는 경우보다 작업과정에서 검토해야 할 다양한 위험요인이 많고 작업 진행과정에서 발생하는 구조적 불확실성으로 인해 사고위험이 높은 실정이며 사고 발생 시에는 붕괴사고 등으로 인한 대형사고로 이어질 수 있다.

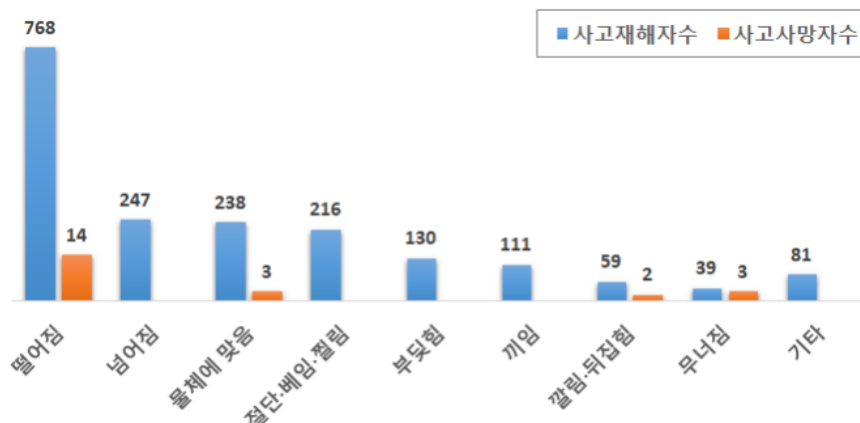
전년도 기준으로 볼 때 해체공사 중 발생한 재해자는 1,889명으로 전체 재해자 대비 7.7% 점유하고, 사망자는 22명으로 전체 대비 4.8% 점유하고 있다

해체공사 현장에서 발생한 사고 재해자는 떨어짐(40.7%, 276명), 넘어짐(13.1%, 247명), 물체에 맞음(12.6%, 238명) 등의 순으로 발생하였고, 사고 사망자는 떨어짐(63.6%, 14명), 물체에 맞음·무너짐(각 13.6%, 3명), 깔림 및 뒤집힘(9.2%, 2명) 등의 순으로 발생하였다.

※ 출처- 해체공사 안전작업절차서(안전보건공단, 2021년)



2020년도 해체공사 재해현황



2020년도 해체공사 발생형태별 재해현황



2. 건축물 해체공사의 위험성

• 노후 해체 건축물 증가추세

2020년 12월 기준 전국에 분포된 건축물 중 준공 후 20년 이상 경과한 노후 건축물이 약 58.8% 점유하고 있어 국내 건축물의 50% 이상이 잠재적 해체대상 건축물로 추정되며, 특히 노후가 심한 건축물로서 근래 해체공사의 주요 시장을 형성하고 있는 35년 이상 경과 건축물도 무려 31.4% 달한다.

매년 건축물 착공 물량과 멸실 물량도 증가하고 있고 본격적으로 멸실되기 시작하는 준공 후 20년 이상 노후 건축물의 점유율이 50% 이상임을 고려할 때 향후 국내 해체공사는 시장규모가 지속적으로 확대될 것으로 예상된다.

[표 1] 2020년 노후 건축물 현황통계<국토교통부>

단위(동)

합 계	10년 미만	10년~ 20년 미만	20년~ 35년 미만	35년 이상	기 타
7,275,266	1,254,371	1,221,200	1,993,606	2,284,186	521,903
100%	17.2%	16.8%	27.4%	31.4%	7.2%

• 해체대상 건축물의 대형화

과거 재개발 시 해체대상 건축물의 대부분은 1~2층 조적조 건물로 지상에서 일반 굴착기(압쇄기) 등을 사용한 건물의 해체가 가능하였으나 최근에는 5층 이상 고층 철근콘크리트 건물에 대한 해체가 증가함에 따라 작업의 난이도 및 위험성도 함께 증가하게 되었다.

따라서 기존의 해체계획 및 작업방법만으로는 안전 확보에 한계가 있을 수 있고 작업과정에서 여러 문제점에 봉착할 수도 있다.

3. 주요 붕괴사고 사례

3-1. 광주 학동 붕괴사고(2021.6.9.)

● 현장 개요 및 사고발생 상황

광주 학동 붕괴 사고 현장은 주택 재개발 정비사업 현장으로 사업부지 내 기존 건축물 해체작업이 진행 중이었으며 전체 공정을 94%였다. 사고 건물은 지하1층 지상 2층~5층 건물로 철근콘크리트 구조이며 준공 후 약 28년이 경과하였다.

사고 건물은 5월 중순 경부터 석면해체 작업 및 건물 내부 시설물 해체작업이 진행되었고 5월 27일경 건물 후면부 별관부터 본격적인 해체작업이 진행되었으며 굴착기 붐(암) 단부에 장착된 집게 형태의 압쇄기 사이에 콘크리트 부재를 끼워넣고 유압의 힘으로 압축하는 방법으로 콘크리트를 깨거나 절단하는 해체공법 인 압쇄공법(Crusher Method)이 적용되었다.



사고건물 압쇄공법 해체작업 모습

사고당일 당일은 본관건물 우측의 계단실 및 엘리베이터 홀 등 건물 코어구간에 대한 해체작업 후 14:00경 옥탑 구조물 해체를 위해 건물 후면에 추가 성토작업*을 실시하였고 15:40경 옥탑 구조물을 해체완료 하였다.

* 성토작업은 압쇄기가 상층부를 해체할 수 있는 작업높이를 확보하기 위해 해체 폐기물과 반입토사가 혼합된 성토체(일명 ‘밥’)를 건물 2~3층 높이까지 형성하는 작업임

사고직전에는 압쇄기가 건물 3층 내부의 성토체 위에서 5층 슬래브 해체작업을 진행하였고 16:22경 해체작업 중이던 건물이 대로변으로 붕괴·전도 되면서 건물 전면의 버스 정류소에서 정차 중이던 노선버스가 매몰되면서 버스 탑승객 17명이 사상하는 사고가 발생하였다.



● 사고원인 추정 및 대책

사고 직전 성토체는 건물후면 3층 높이(약10m~12m)까지 쌓여 있었고 지하층은 중앙부 위주로 일부만 채워져 있었을 것으로 추정되는 상황에서 사고당일에는 평소보다 많은 양의 살수 작업이 있었다.

당초 작업계획서 내용과 달리 사고건물의 해체작업은 건물 후면에서 전면부 방향으로 이루어 졌고 사고당시 건물의 폭은 약 2.5m(보 기준 2개열)까지 줄어들어 있었던 것으로 추정되며 압쇄기가 건물 3층 내부 성토체 위에서 5층 슬래브 해체작업 중 지하층 붕괴와 함께 건물이 대로변으로 전도된 것으로 추정된다.

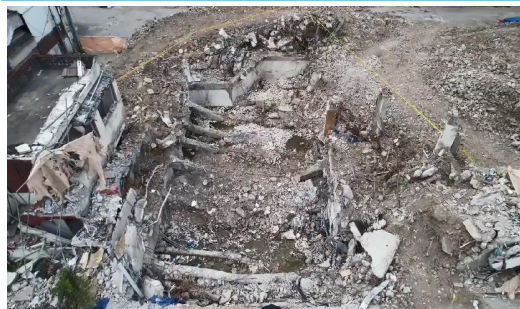
건물 후면에 쌓인 성토체 및 장비의 작업하중은 건물에 지속적인 수직·수평 하중을 부과하고 있던 상태였으며 하중이 계속 증가하다가 지하층 붕괴 및 건물의 전도를 일으킬 수 있는 임계점에 도달했던 것으로 판단된다.

사고건물과 같이 지하층이 존재하는 건물에 성토체를 쌓을 경우에는 상부하중으로 인한 지하층 붕괴 위험이 존재하므로 잭서포트* 보강 등 적절한 구조보강이 선행되어야 했으나 성토체 위에서의 해체작업도 당초의 계획과는 달리 임의적으로 이루어졌다.

* 구조물 상부에 과도한 하중 및 진동으로 인한 균열로 인한 붕괴의 위험을 방지하기 위해 보 및 슬래브 바닥의 적정 지점에 설치하여 하중을 분담하는 지보재



성토체 및 살수작업 모습

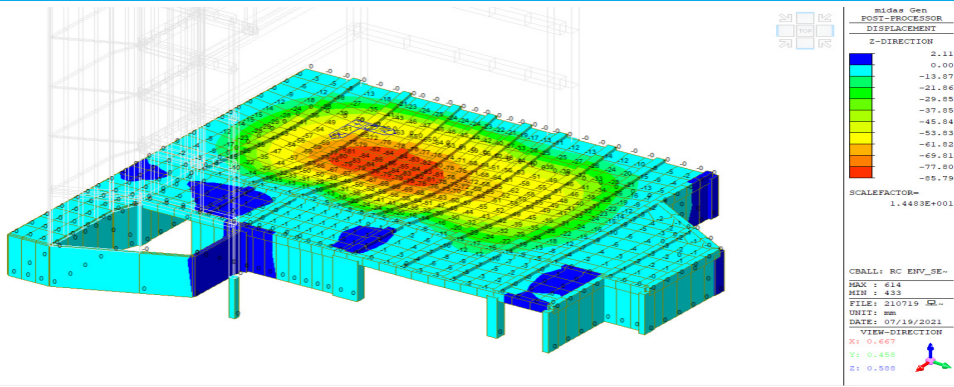


지하층 바닥 슬래브·보 붕괴모습

붕괴원인을 추정하기 위한 구조해석 결과 상부하중에 의해 지하층 거더에서 처짐이 발생(최대 약 86mm) 하는 것으로 나타났으며 지하층 일부에 채워져 있던 성토체에 의해 지하층 천장 구조물이 일정기간 버티다가 사고당시 거더 → 빔 → 기둥의 순으로 붕괴*가 발생했을 것으로 추정되며

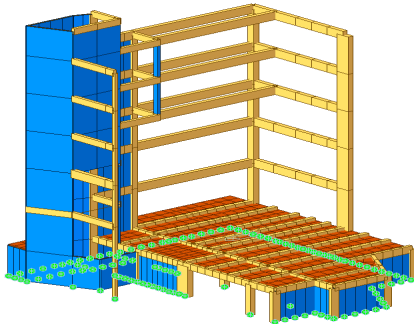
* 상부하중에 의한 부재력이 저항력의 3배 이상을 초과할 경우 붕괴에 이를 수 있음

지하층이 붕괴되면서 건물 전면부쪽으로 성토체의 횡력이 발생하여 중심을 잃은 건물 벽체가 대로변쪽으로 밀려 넘어졌던 것으로 판단되었다.



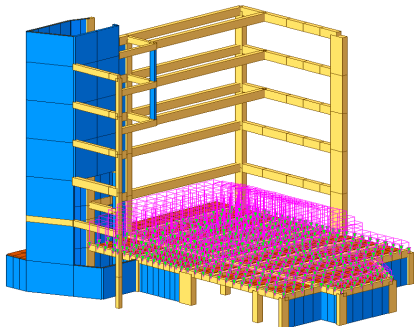
단면 검토결과(MIDAS GEN)

지점조건



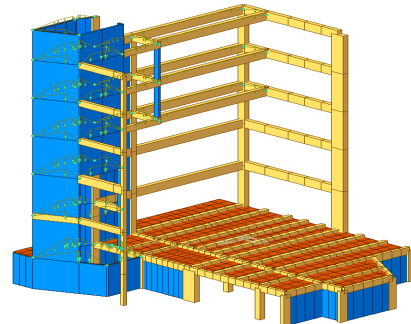
〈지하1층 벽체 및 기둥 하단부 고정단〉

토사하중



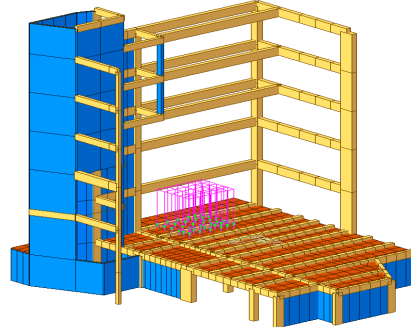
〈성토체의 단위중량 14kN/m³ 적용〉

자중(마감 포함) 및 슬래브 하중



〈구조도면 등 기초자료 기준값 적용〉

장비하중



〈압쇄기 중량(30.7Ton), 충격하중계수 1.3포함〉

붕괴직전 작용하중 검토조건

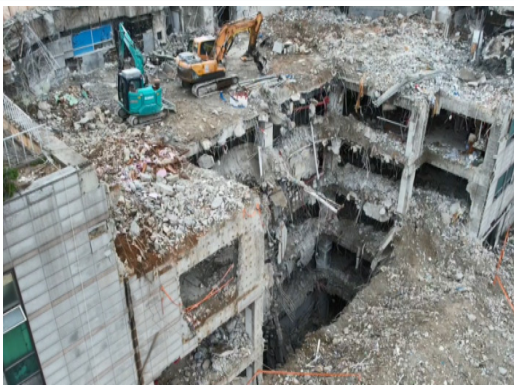


3-2. 서울 장위동 붕괴사고(2021.4.30.)

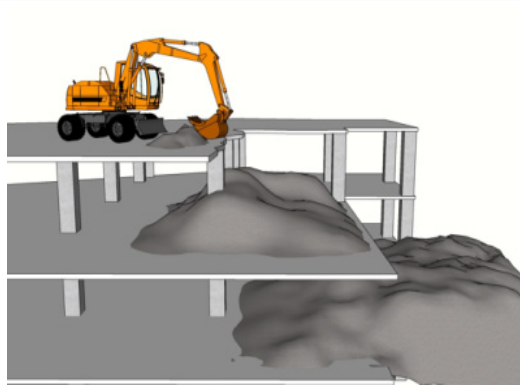
• 현장 개요 및 사고발생 상황

서울 장위동 붕괴 사고 현장은 아파트 재개발 사업부지 내 기존 건축물을 해체하는 현장으로 사고 건물은 지하 3층 지상 9층 철근콘크리트 구조이며 건물 위로 압쇄기 및 굴착기를 올려 위층에서부터 건물 주요 구조부를 순차적으로 압쇄하는 공법으로 작업을 진행하였다.

사고당일 08:00경 지상 4층 구간에 대한 해체작업을 시작하였고 15:20경 굴착기의 연료를 보충하기 위해 주유 호스를 지상 4층까지 끌어올리는 작업을 진행하였으며 15:27경 지상3층 바닥 슬래브가 붕괴되면서 붕괴된 구조물 및 해체 폐기물 등과 함께 재해자가 지하 3층으로 추락하여 매몰되어 사망하는 사고가 발생하였다.



서울 장위동 사고현장 모습



사고당시 해체작업 상황

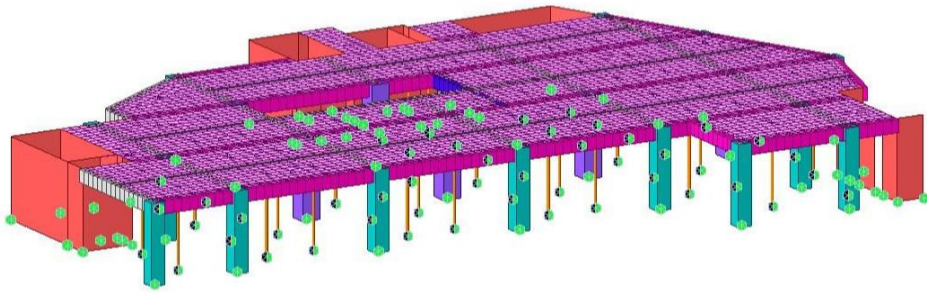
• 사고원인 추정 및 대책

사고 건물은 해체작업 계획 수립을 위한 사전 구조 안전성 검토 시 적용했던 사항과 실제 현장의 보 철근 등의 배근상태가 상이하는 등 구조안전 검토조건이 실제 작업여건과 차이가 있었음에도 사전조사 단계에서 이를 확인하고 재검토 하지 않았으며

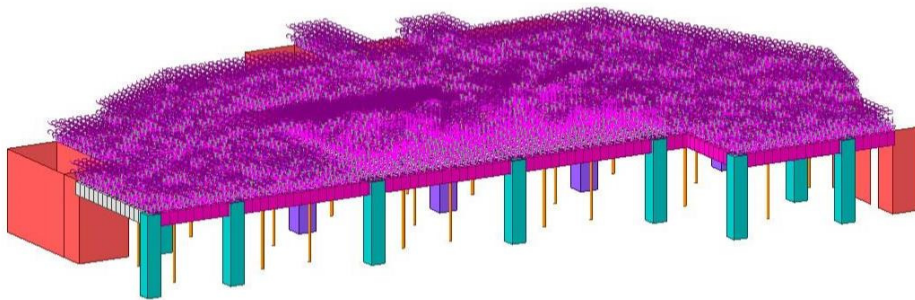
작업계획서 작성 내용과 달리 건물 상부에 굴착기 3대를 추가 활용하여 작업을 병행하였고 해체 잔재물 허용 적재높이(최대 0.8m)를 초과 적재하여 설계에서 검토된 슬래브 작업하중을 초과하면서 건물의 붕괴위험을 높였다.

또한 해체 폐기물 반출 시에도 반출구를 통해 바닥면으로 반출하지 않고 상부의 폐기물을 지상 3층 바닥 슬래브 구간으로 자유낙하 시킴으로써 슬래브에 충격하중을 부과했던 것도 지상 3층 바닥 슬래브가 붕괴된 원인으로 볼 수 있겠다.

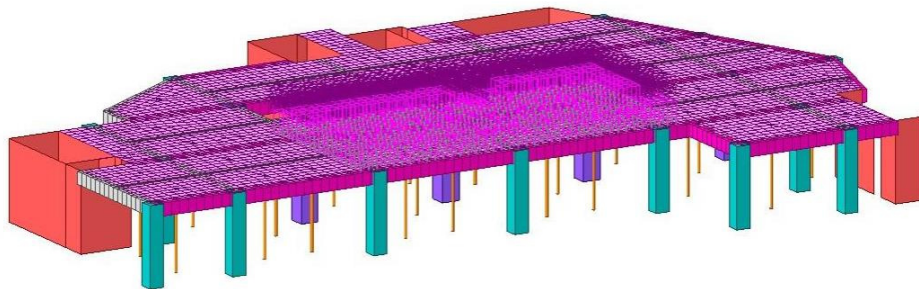
사고원인 추정을 위한 구조해석을 위해 사고당시 과다 적재된 잔재물의 하중을 적용할 경우 붕괴구간의 보 부재들이 허용값을 초과하는 것으로 검토되었고 특히 일부 부재는 양단부 및 중앙부가 휨, 전단 전체에 대해 허용치 2배 이상의 부재력이 발생하는 것으로 검토됨에 따라 사고당시 과도한 내력 초과로 인하여 구조물이 급격하게 붕괴되었을 것으로 판단하였다.



〈구조해석 모델링〉



〈고정하중 - 전체바닥 6.24 kN/m² 적용〉



〈활하중 - 붕괴구간 28.0 kN/m² 적용〉

구조해석 모델 및 하중적용 형태



3-3. 서울 잠원동 붕괴사고(2019.7.4.)

• 현장 개요 및 사고발생 상황

서울 잠원동 붕괴 사고 현장은 지하 1층 지상 5층 철근콘크리트 구조인 건물을 해체하는 현장으로 건물 내부로 압쇄기가 진입하여 압쇄하는 방법으로 작업을 진행하였으며 사고당시 공정율은 약 70%였다.

사고당일 08:00경 지하층 및 지상 1층 건물 하부에 잭씨포트 보강작업을 실시하였고, 09:30경 전일 해체된 구조물의 잔재물을 정리하는 작업을 실시하였으며 13:00경부터 2층 바닥 슬래브 구멍뚫기 및 해체물을 1층으로 내리는 작업 중 14:20경 건물이 붕괴되면서 대로변으로 전도되어 1명이 사망하고 3명이 부상하는 재해가 발생하였다.

붕괴 건물에 도로를 통행하던 차량이 깔리면서 결혼반지를 찾으러 가던 예비 신부가 숨지고 예비 신랑은 중상을 입어 언론의 주목을 받았던 사고였으며 잠원동 사고와 광주 학동 붕괴사고는 판박이 사고라고 할 만큼 사고 발생형태 및 사고원인이 흡사하여 광주사고 직후 잠원동 사고가 다시 언론에 재조명되기도 했다.



잠원동 건물붕괴 순간



사고발생 위치

• 사고원인 추정 및 대책

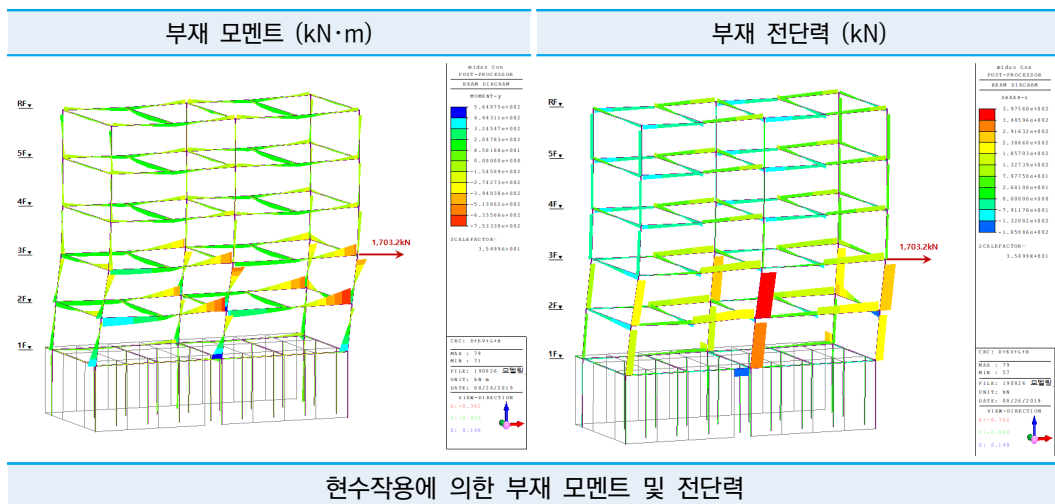
사고 건물은 1996년 준공 이후 지하층 중층 설치 등 여러 번의 증축행위가 이루어졌던 이력이 있었으나 변경 도면에 대한 검토 없이 건축물 대장의 준공도면을 참고하여 구조검토 및 작업계획 작성이 이루어짐에 따라 작업계획 수립단계에서 현장여건을 충분히 반영하지 못하였다.

당 현장 해체계획서에 따르면 각 층에 잭서포트 보강 후 소형 굴삭기(0.2m^3)를 이용하여 계단실 옥탑 2개 층과 지상 4층, 5층을 해체하고 1~3층은 지상에서 대형 굴삭기(1.0m^3)를 이용하여 해체하는 것으로 계획되었으나 당초 계획과 달리 지하 1층에만 잭서포트를 설치한 상태에서 대형 굴삭기(1.0m^3)를 사용하여 5층 구조물을 해체하였다.

또한 콘크리트 해체 잔재물은 두께 30cm 이내로 적치하도록 계획하였으나 실제로는 1개층 이상 높이만큼 해체물을 과적하는 등 해체 작업계획을 준수하지 않았다.

사고당시 상황을 토대로 구조해석을 수행해 본 결과 해체공사 중 적재된 잔재물의 하중에 의해 지상3층 바닥 한 스팬이 무너지면서 지상2층 좌측 기둥 상부에 휨 전단균열(소성힌지)이 발생했을 것으로 추정되며

사고당일 지상2층 바닥 슬래브를 해체하는 중 현수작용에 의한 충격하중(수평하중) 또는 적재된 잔재물의 지속적인 수평력에 의한 모멘트 발생으로 인해 지상2층 좌측 기둥이 파괴되어 상부구조물이 연쇄적으로 무너지면서 대로 쪽으로 일부 슬래브가 전도되었을 것으로 추정하였다.





4. 이슈 & 시사점

과거 낙원동 사고(2017년) 및 잠원동 사고(2019년) 이후 「건축물 관리법」 및 관련 고시 등이 제정되었고 지자체에서도 조례개정을 통해 해체공사 안전 확보를 위한 부단한 노력에도 유사사고가 현재까지 되풀이되고 있다.

최근 사고의 경우 관련법령에 마련된 절차를 통해 위험을 예방할 수 있었음에도 법의 실효성과 현장 작동성이 부족하여 사고를 초래하였고 이는 공사와 관련한 여러 책임주체의 노력없이 관련 법·제도의 정비만으로는 한계가 있음을 극명히 보여주는 사례라 하겠다.



관련 법령 및 고시 등 제정 현황

- 건축물 관리법(2020.5월 시행, 2019.4.30. 제정)
- 건축물 해체계획서의 작성 및 감리업무 등에 관한 기준
(국토교통부 고시 제2020-380호, 2020.5.8.제정)
- 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼(서울시, 2019.12월 발행)

해체공사의 경우 공사 계획단계에서 기존 건물의 형태, 구조특성, 현장 주변상황 및 작업여건을 충분히 고려하지 못할 경우 해체계획에 빈틈이 생기게 되고 이는 곧 무리한 공법을 적용하거나 위험작업을 유발하는 등 사고 가능성을 높일 수 있다.

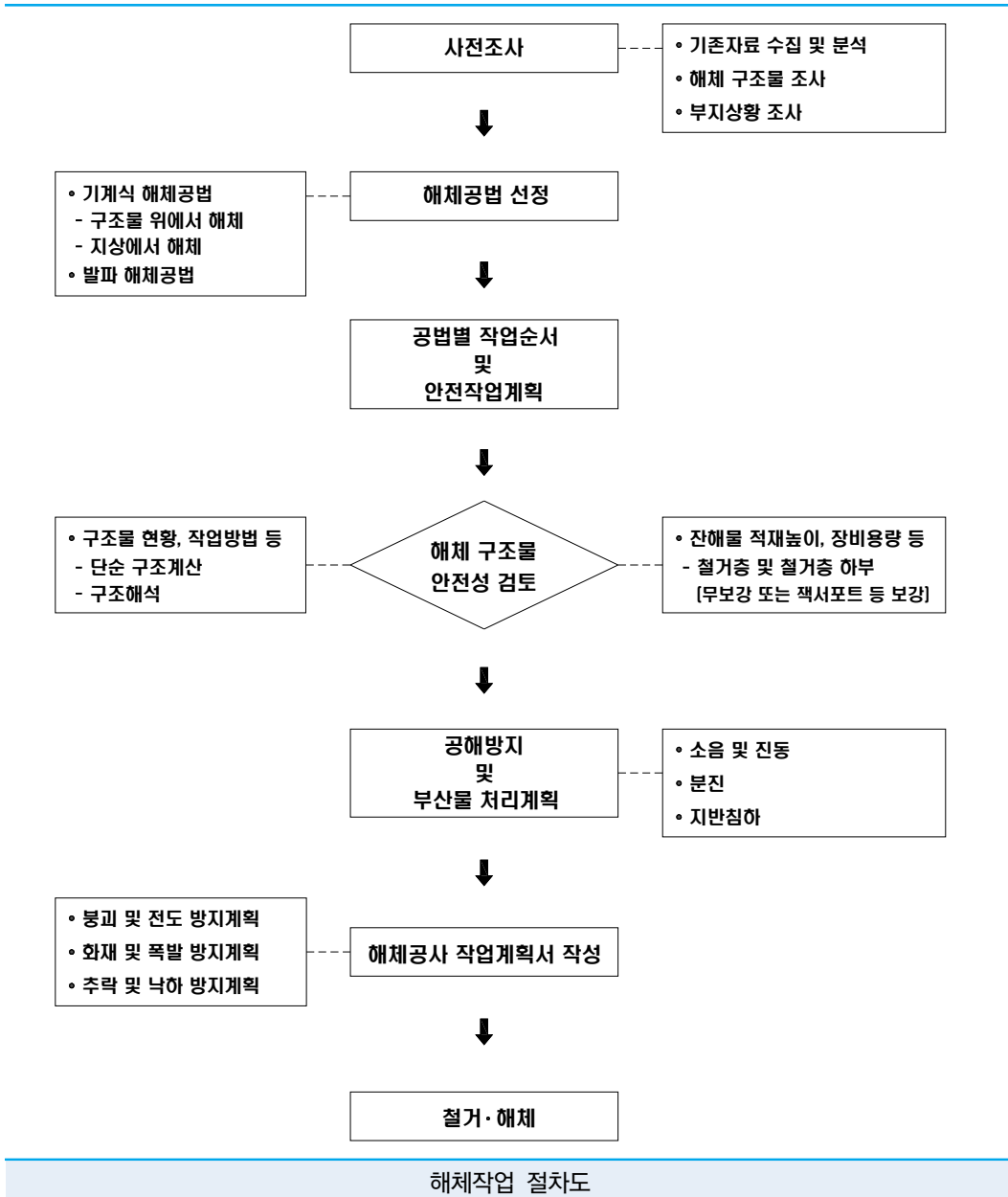
광주나 서울 장위동, 잠원동 사고의 경우에도 해체건물에 대한 충분한 안전성 검토 및 구조보강 계획이 이루어지지 않은 상태에서 당초 작업계획과는 달리 임의적인 방법으로 작업이 이루어졌던 것이 사고요인으로 작용하였다.

작업높이 확보를 위해 건물 후면에 쌓아두었던 성토체나 슬래브 위에 과다 적재된 해체 잔재물 등으로 인한 상부 하중은 구조물 붕괴위험으로 작용할 수 있음에도 적절한 구조 보강재 설치가 이루어지지 않았고 살수작업 등으로 인한 작업하중이 증가하면서 바닥면 붕괴 및 건물의 전도를 일으킬 수 있는 임계점에 도달하게 된 것으로 보여진다.

이러한 사고가 발생한 이면에는 그 동안 현장에서 형식적인 해체계획서 작성·검토 행위가 만연화 되어 있었고 이를 관리 감독해야 하는 감리자 등의 업무소홀, 안전 보다는 실익을 우선시 하는 사업구조, 건설현장의 고질적인 불법 재하청 관행 등이 결국 총제적 안전관리 부실로 이어지게 된 근원적인 문제점으로 작용하였다.

특히 해체계획서가 실제 작업을 실행하는 행위자의 공사방법이나 수단을 적정하게 통제하지 못하여 결국 실행자 임의판단에 의한 작업이 이루어지게 됨으로써 사고의 가능성을 높였다.

또한 발주자 및 원청이 해체공사의 위험성을 간과한 채 해체공사 업자에게 공사 전반을 일임함에 따라 위험예방을 위한 원청의 역할은 미미해졌고 현장을 체계적으로 감시하거나 지휘감독 할 수 있는 전문가 조직체계도 마련되지 않아 공사역량이 부족한 영세업체가 위험한 작업을 강행 하더라도 원청이 이를 묵인하거나 방조하는 상황을 초래하였다.





5. 안전대책

해체 건축물 조사 등 사전조사에 구조전문가를 포함한 여러 전문가가 함께 참여하도록 하여 해체 작업 단계별 구조 안전성 검토 및 현장 실정에 적합한 해체계획의 수립·이행이 이루어질 수 있도록 해야 한다.

특히 신뢰성 있는 안전성 검토를 위해서는 건축물 현황, 노후화 및 손상정도, 주변상황 등에 대한 사전조사가 무엇보다 중요하며 이를 토대로 구조 전문가의 안전성 검토가 필수적이다.

의사결정의 정점에서 영향력을 행사하는 발주자의 책임을 강화하고 원청이 선두에서 총제적 안전관리 역할을 다할 수 있도록 공사 지휘감독 체계를 정비하여 사고예방에 만전을 기해야 한다.

[표 2] 해체공사 사전조사 사항

해체대상 구조물의 조사	부지 상황조사
• 콘크리트 등 구조, 치수, 층수, 높이 등 • 평면상태, 폭, 층고, 벽 등의 배치상태 • 부재별 치수, 배근상태, 구조적 취약 부분 • 설비기구, 전기배선, 배관설비 계통 • 구조물의 건립연도 및 사용목적 • 구조물 노후정도, 화재 및 동해의 유무 • 증설, 개축, 보강 등의 구조변경 현황 • 해체공법에 의한 비산각도 등 사전확인 • 진동, 소음, 분진의 예상치 및 대책 • 해체물의 집적, 운반방법 • 잔재위험물, 가연물질의 유무 등	• 부지 내 공지유무, 해체용 기계설비의 위치, 해체물 임시 보관장소 • 해체공사 착수에 앞서 철거, 이설, 보호해야 할 필요가 있는 공사 장애물 현황 • 접속도로의 폭, 출입구 갯수와 매설물의 종류 및 위치 • 인근 건물동수 및 거주자 현황 • 도로 상황조사, 가공 고압선 유무 • 차량대기 장소 유무 및 교통량(통행인 포함) • 진동, 소음, 분진발생 영향권 조사

[표 3] 해체 공법별 안전조치 사항

구 분	내 용
절단톱 공법	톱날부에 날접촉 방지 덮개 설치, 배선상태 점검
전도 공법	벽체, 기둥 등 해체부재의 전도위치와 파편의 비산거리 검토를 통해 위험구역 설정 및 가설방호벽 설치
압쇄공법	파워쇼벨에 적합한 중량의 압쇄기를 부착하고 핀, 볼트 등 연결구조부의 접속 상태를 수시 점검
폭파해체공법	건축물의 구조·노후화 정도·주변환경 등 검토하여 발파해체 작업계획서 작성, 시험 발파 및 발파설계에 의해 장약량·붕괴순서·방향 등 결정
철제해머공법	해머는 중량과 작업반경을 고려하여 차체의 붐, 후레임 및 차체 지지력을 초과하지 않도록 설치
브레이커공법	대형 브레이커는 중량·작업충격력 고려하여 차체 지지력 초과 중량 브레이커 부착 금지, 소형브레이커 끝의 부러짐 방지하기 위해 작업자세 하향 수직 방향 유지

6. 법·제도적 개선방안

건축물 해체공사 관련된 사항은 「건축물관리법」과 「산업안전보건법」에서 규정하고 있으나 두 법령에 명기된 작업계획서 작성기준 및 책임주체가 상이하여 혼선이 있을 수 있으며 허가를 위한 형식적인 행위나 수단으로의 인식이 만연화되어 있다.

그리고 산안법 상 규정된 사전조사 내용은 구체적이지 않고 작업계획서 작성 기준에도 구조 안전성 검토 및 구조보강계획이 직접 명시되어 있지 않아 공사계획 수립 단계에서 구조전문가의 참여가 부족한 실정이며 이는 부실한 사전조사 및 계획의 부실을 초래하고 있다.

특히 산안법에는 해체 작업계획서의 적정성 여부 검토 및 시공 단계에서의 감시자 역할 등이 명시되어 있지 않아 부실한 계획이 부실시공으로 이어지는 상황에 노출될 수도 있다.

따라서 건축물관리법 상 ‘해체계획서’를 작성하여 허가기관의 허가를 받은 경우 산안법의 ‘해체 계획서’를 작성한 것으로 인정하는 등 두 법령으로 이원화된 사전조사 및 해체계획서 작성기준을 상호 인정 가능하도록 법적 근거마련을 통해 혼선을 최소화 하고

건축물관리법 및 산안법의 해체 계획서 작성주체를 ‘원청(도급인)’으로 일원화하여 공사를 총괄 관리하는 원청이 실제공사를 수행하게 되는 하청과 협의하여 해체 작업계획서를 작성하도록 원청의 책임과 역할을 명확히 규정할 필요가 있다.

산안법 해체 작업계획서 작성의 내실화를 위해서는 해체작업 사전조사 내용을 구체적으로 명기하고 작업계획서 작성내용에 구조 안전성 검토 관련내용을 포함하도록 하며 계획서 내용의 적정성 여부를 제3자가 검토할 수 있도록 하는 절차 마련도 필요하다.

또한 해체 작업계획서의 현장 이행력 확보를 위해서는 공사기간 중 원청이 작업 상황을 상시 확인하도록 하며 건축물관리법 상 해체공사 감리자 본연의 업무를 산안법에도 명시함으로써 위험작업의 감시 기능을 강화할 필요가 있다.

마지막으로 해체대상 건물의 규모 및 특성, 해체공법 등을 고려하여 공사 위험도에 따라 공사를 수행할 수 있는 건설업체 자격기준도 제한을 둘 필요가 있으며

공사 수행과정에서의 구조안전 이해가 필수적인 해체공사 작업자의 경우 자격·면허·경험 또는 기능과 관련한 취업제한 기준 마련과 함께 교육 프로그램 개설을 통해 시공안전 역량이 우수한 기능공을 상시 확보해 둘 필요가 있겠다.



[표 4] 산업안전보건기준에 관한 규칙 제38조 개정(안) 예시

현행	개정(안)
제38조(사전조사 및 작업계획서의 작성 등) ① <중략> 10. 건물 등의 해체작업 11~13. <중략> ②~④ <중략> ⑤ (신설)	제38조(사전조사 및 작업계획서의 작성 등) ① <중략> 10. 건물 등의 해체작업 11~13. <중략> ②~④ <중략> ⑤ <u>산업안전보건법 제2조7호에 따른 ‘도급인’ 사업주는 제1항 1호, 6호 내지는 10호에 의한 작업을 하는 경우에는 작업계획서 내용에 대해 「기술사법시행령」 별표2의2에 따른 관련분야 기술사, 「산업안전보건법」 제142조에 따른 산업안전지도사의 검토를 받아야 하며, 계획에 따른 작업여부를 직접 확인하여야 한다.</u> ⑥ (신설)
⑥ (신설)	⑥ 「건축사법」 또는 「건설기술진흥법」에 따른 감리자는 작업계획서에 따라 작업을 하였는지 확인하고 이를 증빙할 수 있는 서류를 작성하고 비치하여야 한다.

[표 5] 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표4 개정(안) 예시

현행	개정(안)
작업명 : 10. 건물 등의 해체작업 <사전조사 내용> <u>해체건물 등의 구조, 주변상황</u>	<사전조사 내용> <u>가. 해체건물 등의 구조</u> <u>대상건물의 용도, 사용재료 및 강도, 지반특성, 하중조건, 구조형식 등</u> <u>나. 주변상황</u> <u>인접 건축물, 도로 및 공공 보행시설, 고압선, 매설물 등</u>
<작업계획서 내용> (신설) (신설) 가. 해체의 방법 및 해체 순서도면 나. 가설설비·방호설비·환기설비 및 살수·방화설비 등의 방법 다. 사업장 내 연락방법 라. 해체물의 처분계획 마. 해체작업용 기계·기구 등의 작업 계획서 바. 해체작업용 화약류 등의 사용계획서 사. 그 밖의 안전·보건에 관한 사항	<작업계획서 내용> <u>가. 구조안전성 검토 내용</u> <u>나. 구조보강계획</u> 다. 해체의 방법 및 해체 순서도면 라. 가설설비·방호설비·환기설비 및 살수·방화설비 등의 방법 마. 사업장 내 연락방법 바. 해체물의 처분계획 사. 해체작업용 기계·기구 등의 작업 계획서 아. 해체작업용 화약류 등의 사용계획서 자. 그 밖의 안전·보건에 관한 사항

※ 단, 사업주가 건축물 관리법에 따라 ‘해체계획서’를 작성한 후 허가기관의 허가를 받은 경우 사전조사 및 작업계획서를 작성한 것으로 본다.

【참고】 해체 건축물 구조 안전성 검토 주요사항 <철거·해체공사 표준안전작업 절차서(안전보건공단)>

① 해체 건축물 상태 및 설계제원 조사

- 해체대상 건축물에 대한 안전성 검토를 위해서는 콘크리트 및 철근, 잭서포트의 강도, 탄성계수 등 정확한 재료물성 산정이 중요하고 기존 자료의 확보가 가능한 경우 현장 확인을 통해 비교 후 적용할 수 있으나 자료가 부족한 경우에는 반드시 현장조사를 통해 정확한 재료물성을 산정해야 한다.

[표 1] 콘크리트 및 철근의 탄성계수

구분	탄성계수(MPa)	비 고
콘크리트	- 콘크리트 단위질량($m_c=1,450\sim2,300\text{kg}/\text{m}^3$) $E_c=0.077m_c^{1.5}\sqrt{f_{cu}}$	-
	- 보통중량골재 콘크리트($m_c=2,300\text{kg}/\text{m}^3$) $E_c=8,500\sqrt{f_{cu}}$ ($f_{cu}=f_{ck}+\Delta f$)	$f_{ck} \leq 40\text{MPa} \rightarrow \Delta f = 4\text{MPa}$ $f_{ck} \geq 60\text{MPa} \rightarrow \Delta f = 6\text{MPa}$ 그 사이는 직선보간한다.
철근	200,000	-
형강	205,000	잭서포트 등 구조 보강재

※ 출처 : 콘크리트 구조기준(2012년, 국토해양부)

② 작용하중 산정

- 건축물의 해체작업 시 작용하는 하중은 크게 건축물 자중, 해체 잔재물의 적재하중, 해체 및 자재반출을 위한 장비하중, 작업과정에서 발생하는 충격하중(장비의 충격계수) 등이 있다.
- 해체 잔재물의 적재하중은 단위중량 $14\text{kN}/\text{m}^2$ 을 적용하되 살수작업 등을 고려하여 할증 할 수 있으며 적재위치 및 분포범위, 적재높이 등을 고려하여 검토하는 것이 바람직하다.

[표 2] 해체 시 발생한 잔재물의 단위중량

일반적인 해체잔재 계량시(콘크리트+목재 등)					해체된 콘크리트만 분리 계량 시				
측정 횟수	총중량 (kN)	공차중량 (kN)	실중량 (kN)	단위중량 (kN/m ²)	측정 횟수	총중량 (kN)	공차중량 (kN)	실중량 (kN)	단위중량 (kN/m ²)
1	388.4	137.5	250.9	15.18	1	399.7	148.5	251.2	15.20
2	358.2	138.7	219.5	13.28	2	391.0	137.5	253.5	15.34
3	359.8	136.8	223.0	13.50	3	384.1	137.0	247.1	14.95
4	354.3	133.0	221.3	13.39	4	371.1	140.9	230.2	13.93
5	365.2	136.5	228.7	13.84	5	382.6	142.2	240.4	14.55
6	361.6	136.9	224.7	13.60	6	365.5	136.5	229.0	13.86
7	363.6	137.0	226.6	13.71	7	361.8	137.0	224.8	13.60
8	360.9	133.0	227.9	13.79	8	361.8	136.9	224.9	13.61
9	368.0	133.0	235.0	14.22	9	359.1	133.2	225.9	13.67
10	361.5	137.4	224.1	13.56	10	360.5	133.0	227.5	13.77
평균				13.81	평균				14.25

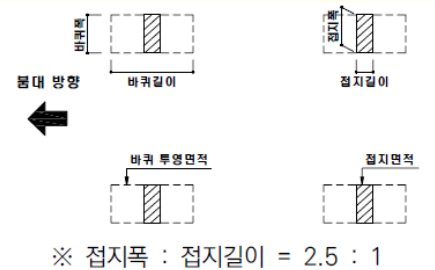
※ 출처: 도심지 고층건물 유형별 최적해체기술개발(2006년, 한국건설교통기술평가원)



- 장비하중은 장비의 위치 및 접지면적 등을 면밀히 고려해야 하며 가장 많이 사용하는 굴착기를 예로 들면 무한궤도식은 장비제원에 제시된 접지면적을 적용하고 타이어식은 아래 설계기준을 참고하여 산정할 수 있다.

〈타이어식 굴착기 접지면적 산정〉

차륜의 접지면은 DB하중의 각 차륜에 대해 면적이 $\frac{12,500P}{9}(\text{mm}^2)$ 인 하나의 직사각형으로 간주하며 이 직사각형의 폭과 길이의 비는 2.5:1로 한다. 여기서 P는 차륜의 중량(kN)이다. 접지압은 접지면에 균일하게 분포하는 것으로 가정한다.



※ 출처 : 도로교 설계기준(2010년, 국토해양부)

- 장비의 충격하중은 장비의 종류, 작업방법, 하중분포 등에 따라 변화하므로 활하중에 의한 충격의 영향은 이론적으로 정확하게 산정하기는 어려우나 해체현장의 다양한 변수와 안전측 검토를 위해 각 국의 도로교에 적용되는 최대 충격계수 '0.3'을 적용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

[표 3] 각국의 도로교 차량의 충격계수

구분	한국(도로교설계기준)	미국(AASHTO)	일본(도로교설계기준)
충격계수	$i = \frac{15}{(40 + L)} \leq 0.3$	$i = \frac{50}{(125 + L)} \leq 0.3$	$i = \frac{7}{(20 + L)}$

※ L : 설계부재에 최대응력이 일어나도록 활하중이 재하된 시간길이(m)

2 화재·폭발 사고

■ 화재·폭발 사고 현황 및 통계

화재·폭발 사고의 사망자는 '20년 기준 전체 사망자 중 8.2%를 차지하며 발생하는 경우 인적·물적 피해는 다른 재해에 비해 규모가 큰 편이다. 대부분 사고의 발생원인은 휴먼에러가 발생할 수 있는 작업환경, 작업절차 미준수, 원청의 미흡한 안전관리, 위험요인에 대한 무지, 안전장치 미설치 등 안전에 대한 기본을 지키지 않은 것에서 야기된다.

최근 5년 동안 발생한 화재·폭발 사고 현황은 다음과 같다.

최근 5년 화재·폭발 사고 현황(재해조사 기준)

구분	합계	2016	2017	2018	2019	2020	'21.10월
화재·폭발 사고(건)	199	35	27	29	42	41	25
사망자수 (명)	203	39	26	33	39	45	21

※ 3개월 이상 부상자 2명 재해 포함

1. 휴먼에러 발생 가능성이 상존한 작업환경 사고 사례

회분식 공정(Batch Type)은 다품종 소량생산이거나 주문 생산으로 인해 작업절차가 빈번하게 변경되는 등 아래와 같은 휴먼에러가 발생 가능한 작업환경을 갖고 있다.

- **[작업스케줄]** 주문에 따라 생산이 이뤄지며 타 제품과 작업이 중복되는 경우 두 개의 제품 생산을 동일한 작업자가 관리하는 경우가 있어 작업 절차 혼돈, 누락 등의 휴먼에러 발생 가능성이 높음
- **[수작업 의존]** 회분식 공정은 원재료 투입, 배출, 밸브 조작 등 대부분 수작업으로 이뤄지고 있어 인적 오류가 발생할 가능성이 높음
- **[위험분위기 형성]** 제품에 따른 고정된 설비가 없어 원재료 투입, 회수 등 여러 작업에 개방된 드럼, 맨홀 Open 상태에서 투입, 이동식 용기 사용, Flexible Hose를 사용하여 작업장에 상시 유증기 및 정전기 발생, 호스 이탈 등 위험분위기가 형성될 수 있는 조건임



- **[위험분위기 제어시스템 부재]** 휴먼에러에 의한 위험 상황이 상시 발생 가능하나 자동제어 장치, 가스검지 및 경보장치, 환기장치, 방폭구조의 전기기계·기구 등 안전장치가 미흡하거나 미설치된 상태로 작업 실시 함
- **[문서화된 작업절차서 부재]** 작업 시 주의사항, 밸브 작동 순서 등 작업 포인트를 구체적이고 명확한 세부적인 작업절차서를 작성하고 교육 및 공유를 하지 않아 작업자의 경험과 역량에 의존하여 작업이 이뤄지는 경우가 많음
- **[인수인계, 업무분장 소홀]** 작업자의 정확한 업무분장과 교대조건에 인수인계가 정확하지 않은 경우 작업절차 누락, 중복, 혼돈 등으로 이상상황이 발생할 경우가 있음
- **[사용물질 정리정돈 미실시]** 회분식 공정은 투입물질이 다양하고 작업자가 수작업으로 투입하는 경우가 많아 취급용기 구분, 명칭 부착, 지정된 장소에 보관하여야 하나 이를 지키지 않은 경우 착각에 의해 다른 물질을 투입할 가능성이 있음

1-1. 작업자 착각에 의해 반응기에 다른 물질 투입

• 현장 개요 및 사고발생 상황

사고 당일 재해자 포함 5명이 광개시제를 생산하기 위해 야간 근무를 하였으며 주간 조에서 제품의 순도가 낮아 재결정을 진행하기로 하고 정제물과 용매를 반응기에 투입 후 야간 조와 교대를 하였다.

반응기를 순환하던 중 하부 필터가 정제물로 막혀 청소를 하고 필터 내부의 물질은 작업자 A가 검정색 비닐에 담아 옆 반응기 쪽에 놔두었다.

약 40분 뒤 야간 조장이 필터에 걸러진 정제물을 반응기 맨홀에 투입하라는 지시에 따라 작업자 B는 A가 놔두었던 비닐이 아닌 다른 장소에 있던 검정색 비닐을 들고 반응기에 투입을 하였다. 이후 반응기에서 이상 반응에 의해 용매가 맨홀로 분출되고 형성된 유증기에 점화되며 폭발이 발생하여 1명 사망, 4명이 부상을 입었다.



사고 전/후 사업장 사진



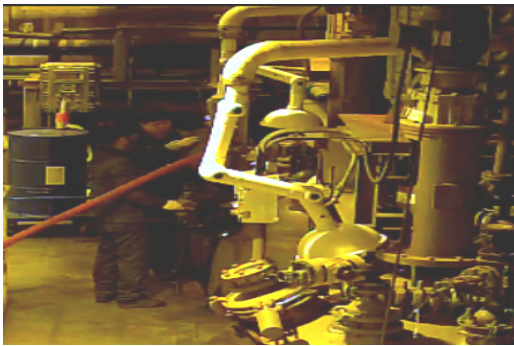
필터에서 걸러진 정제물

잘못 투입한 물질
(비닐 바닥면이 많이 쳐짐 : 무게증가)

• 사고원인

동 사업장은 회분식 공정으로 3단계의 반응 및 정제작업을 수행하고 각 단계별로 여러 물질을 작업자가 수작업으로 맨홀 또는 호스를 연결하여 투입하였다. 이러한 공정은 주의사항을 포함한 세부적인 작업절차서가 필요하며, 투입해야 할 원재료는 지정된 장소에 물질명을 표기하여 보관하여야 한다. 또한 작업 중복, 생략 등의 절차가 없도록 작업자의 명확한 업무분장을 하여야 한다.

이번 사고는 원재료를 담은 비닐의 색깔만 달리 하였어도 발생하지 않았을 전형적인 휴먼에러였다.



맨홀에 잘못된 물질 투입



맨홀을 통해 용매 분출

그리고 공장내부에는 대부분 방폭형 구조의 전기 기계·기구를 사용하였으나 프린트 등 사용을 위한 비방폭형 이동식콘센트를 사용하여 폭발을 일으킨 점화원으로 작용했을 가능성이 있다.

● 재발 방지 대책

상기 조사 내용을 토대로 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 서로 다른 물질의 취급용기 구분, 명칭 표시 및 보관 장소 지정
- ▶ 작업자의 명확한 업무분장 실시
- ▶ 계측 및 운전 장치 자동화 설비로 변경(수작업 지양)
- ▶ 방폭형 구조의 전기기계·기구 사용

1-2. 작업 전 배관 Line-Up 확인 절차 생략

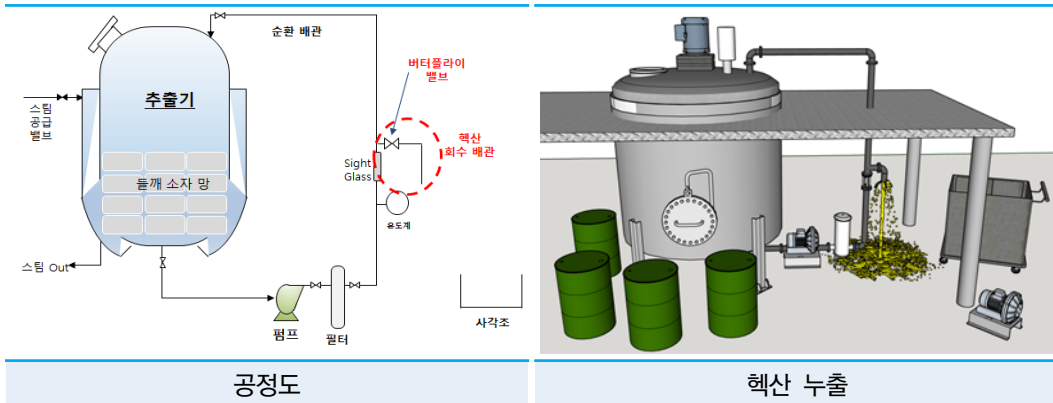
● 현장 개요 및 사고발생 상황

재해 발생 사업장은 식품첨가물, 건강기능식품, 화장품 원료를 생산하는 전형적인 주문생산에 의한 회분식 공정을 보유한 곳이었다.

재해 당일 작업자 A는 동일한 작업 장소에서 건강기능식품과 화장품 원료를 동시에 생산하는 업무 지시를 받았다. 건강기능식품 추출작업을 한 후 화장품 원료 추출기에 헥산 투입 작업을 하였다.

맨홀을 열고 드럼에서 Flexible Hose를 연결하여 투입하였으며 헥산 유증기 냄새가 났지만 30분 안에 끝나는 작업이고 과거에도 해왔던 터라 동일하게 작업하였다.

핵산 투입이 완료되고 약 20시간 동안 순환작업을 하기 위해 8m 정도 떨어진 판넬에서 순환 펌프 스위치를 작동시켰다. 펌프가 가동되고 얼마 지나지 않아 순환배관에 연결된 회수배관을 통해 핵산이 누출되었다. 회수배관의 밸브가 열려있는 상태에서 순환되며 핵산이 누출되고 주변에 있던 비방폭구조의 전기기계·기구에 의해 유증기가 점화되어 6명이 부상을 입고 치료 중 5명이 사망하였다.



• 사고원인

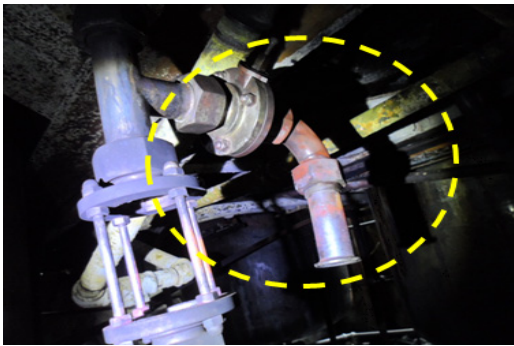
동 사업장은 회분식 공정으로 주문에 의해 제품을 생산하고 있었으며, 재해 당일 2개의 제품 (건강기능식품, 화장품원료)을 동시에 생산하고 있었다.

재해가 발생한 화장품 원료 생산 추출기는 전날 들깨 소자를 투입하고 당일 핵산을 넣고 순환작업을 진행할 예정이었다.

핵산을 투입하기 전 추출기, 펌프, 배관, 밸브 상태를 먼저 확인하고 정상인 경우 작업을 진행 하여야 하나 순환배관에 연결되어 있는 회수배관의 밸브가 열려 있는 것을 확인하지 못한 채 순환펌프를 가동하였다.

회수배관을 통해 핵산이 누출되고 주변에 있던 비방폭 전기기계·기구에 의해 유증기가 점화되어 내부 작업자 5명과 공장 밖에서 이동 중이던 1명이 화상을 입었으며, 치료 중 내부 5명이 사망 하였다.

설비 주변에 가스검지 및 경보장치가 설치되어 조기에 누출을 인지할 수 있었다면 이처럼 많은 사상자가 발생하지 않았을 수도 있다. 또한, 밸브 조작 순서 등 세부적이고 정확한 작업절차 서가 작성되고, 이를 준수하였다면 이번 사고는 발생하지 않았을 것이다.



회수배관



회수배관 밸브

• 재발 방지 대책

상기 조사 내용을 토대로 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 자동제어장치 설치 등 휴먼에러를 방지하는 공정설계
- ▶ 문서화된 작업절차서 작성 및 교육
- ▶ 가스검지 및 경보장치 설치
- ▶ 방폭형 구조의 전기기계·기구 사용

1-3. 이슈 & 시사점

회분식 공정의 경우 작업자의 경험과 역량에 의존하는 수작업이 많은 형태로 항상 휴먼에러가 발생 가능한 작업환경을 갖고 있다. 작업자의 실수를 줄이기 위해 설계 단계에서 Fool Proof, Fail Safe 등을 반영하고, 명확하고 세부적인 작업절차서를 작성하여 작업자에게 철저한 교육이 필요하겠다.

2. 원청의 관리 부족에 의한 사고 사례

화학공장, 전자산업, 철강회사 등 정기적인 대정비나 갑작스런 보수 작업 시 협력 업체를 통해 작업을 하는 경우가 많다. 각 산업마다 협력업체를 관리하는 기준이 상이하나 재해 발생 후 사고 조사 시 아래와 같은 문제점이 확인되었다.

- **[원청의 공정 이해도 부족]** 화학공장, 철강 산업의 일부 공정은 외국의 기술력에 의해 Turn-Key 형태로 공장이 설계되고 세부적인 설계 근거에 대한 자료 전달 부족, 이해도 부족으로 인해 사고가 발생한다. 또한, 전자산업의 경우 연간 개조공사가 몇 백건 이상으로 매우 많으며, 생산장비를 협력업체에서 제조, 설치하여 원청보다 설비에 대한 이해나 지식이 많으며, 생산장비 영업비밀을 이유로 개조 작업 관련 도면 등 자료 제공이 비협조적이다. 그리고, 동일한 공정임에도 설비가 위치한 장소에 따라 관리하는 부서가 다를 수도 있다. 이와 같은 경우 작업 전 위험물 제거, 치환작업, 차단밸브 설치 등의 작업이 정확한 업무분장 및 이해도 부족으로 누락된 채 수행되어 사고가 발생할 수 있다.
- **[원청의 인력 관리]** 철강회사의 경우 공정 엔지니어가 정기적으로 타 공정으로 순환배치를 하거나, 엔지니어들 간에 체계적인 지식 전달 부족 등 여러 원인으로 인하여 작업 전 조치를 해야 하는 내용을 모른 채 협력업체가 작업 중 사고가 발생하였다.
- **[원청의 작업 관리]** 협력업체가 작업을 수행하기 전 원청에서 사전 조치를 완료하고 작업 허가서를 발행, 승인을 한 후 원청 직원의 입회하에 작업이 진행되어야 하나 영세한 중·소 규모의 사업장의 경우, 특히 화학물질의 입·출하의 경우 탱크로리 운전회사의 직원 혼자서 수행하는 경우에 잘못된 배관 연결로 인해 사고가 발생할 수 있다.
- **[원청의 정보 제공]** 화학물질을 취급하는 원청은 작업 전에 사용하는 물질의 위험성을 포함한 정보를 협력업체에 제공하고, 협력업체는 사전에 위험성, 응급조치 방법 등을 숙지한 후 작업을 하여야 하나 지켜지지 않는 경우가 많음

2-1. 차단밸브 존재 여부 모른 채 절단 작업 수행

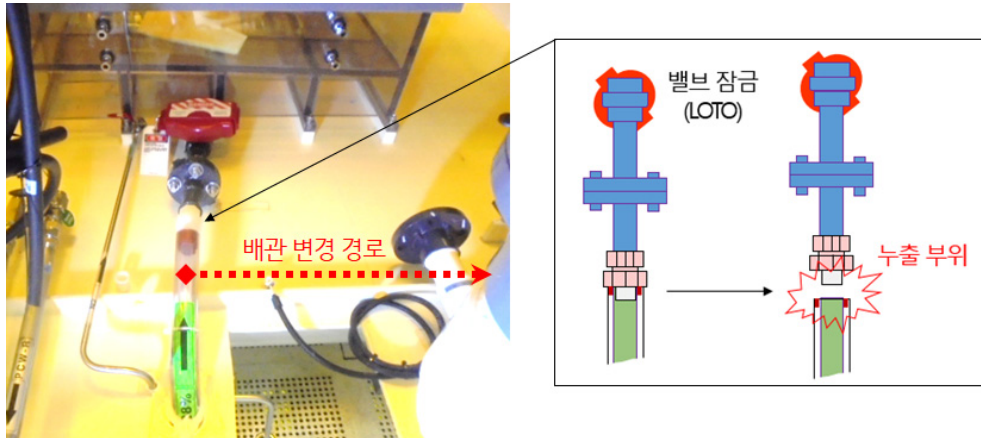
• 현장 개요 및 사고발생 상황

반도체 현상공정에서 저장탱크 신규 설치를 위해 협력업체 직원이 기존 탱크의 배관을 절단하던 중 급성독성물질 용액이 누출되어 협력업체 작업자 6명이 중독된 재해가 발생하였다.

작업은 사전 준비 등 약 1달 간 진행 예정이었으며 재해는 작업 시작 후 약 20일이 경과된 시점에서 밸브 차단 누락 및 원청과 협력업체간에 의사소통이 정확하게 이뤄지지 않은 채 절단



작업을 수행하던 중 급성독성물질이 누출되고 급성독성물질의 위험성을 알지 못한 협력업체 직원들이 손으로 막는 등의 조치로 중독 피해자의 규모가 컸다.



작업 장소 및 누출 부위

● 사고원인

사고는 다음 몇 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 작업 전 원청직원 2명과 급성독성물질 공급설비 협력업체 1명이 배관에 부착된 밸브 차단을 실시하였으나 해당 원청 직원이 관리하는 부분의 밸브만 차단하였다.

즉, 탱크관리는 원청 A팀에서, 이후 배관 및 공정은 원청 B팀에서 관리하고 있으나 A팀 원청 직원은 B팀 공정에 밸브가 있는지도 모른 채 절단작업을 수행한 것이다.

둘째, 원청에서 밸브 차단 후 배관 내부 급성독성물질 제거를 위해 방법을 찾던 중 협력업체는 이미 완료된 것으로 알고 작업을 진행하였다.

원청 내부 팀들 간에 의사소통, 지식부족, 협력업체와 의사소통 부족 등 원청의 관리부족으로 인해 발생한 재해이다.

셋째, 협력업체에 급성독성물질의 위험성 등 정보제공을 하지 않아 누출 시 작업자들이 즉시 대피하고, 세척 등 응급조치를 신속하게 하였어야 하나 십 여분 이상 급성독성물질을 막는 등 접촉하고 있었다.

넷째, 유명무실한 안전작업허가 제도 관리이다. 편법으로 작업허가서를 발행하고, 허가서의 내용과 현장 작업 내용이 상이하며, 확인 사항도 허위로 기재되어 있었다. 또한 허가서 승인 시 상급자의 현장 확인이나 검토가 이뤄지지 않았다.

다섯째, 원청에서 설비에 대해 상세한 정보가 없다보니 협력업체에서 현장 작업진행을 주도적으로 하였으며, 작업 전 일일점검표도 협력업체에서 작성하고 원청 담당자가 확인하는 형태로 진행되었다.

● 재발 방지 대책

상기 조사 내용을 토대로 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 작업 전 해당 물질 관리하는 원청 부서 간 업무협의
- ▶ 원청 주관으로 설비, 배관에 남아 있는 화학물질 제거, 밸브 차단, 플러싱 실시
- ▶ 협력업체에 작업 전 화학물질 위험성 등 정보 제공
- ▶ 안전작업허가 제도 정상 운영(발행, 승인, 작업감독 등)
- ▶ 작업 전 협력업체와 작업내용 공유
- ▶ 비상대응 역량 강화

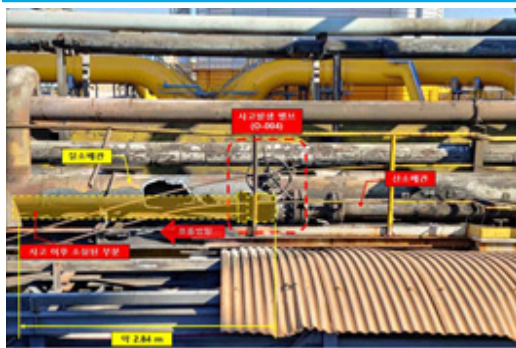
2-2. 취급 물질의 위험성을 모른 채 작업

● 현장 개요 및 사고발생 상황

재해는 주력 생산품 공정이 아닌 생산에 필요한 Utility 산소 공장에서 발생하였다. 동 사업장은 산소 제조 공장이 여러 개가 있으며 그 중 일부 공장이 노후화되어 철거하기로 하였다. 하지만 각 산소공장은 서로 배관이 연결되어 있어 철거공장과 연결된 배관의 밸브를 차단하고 질소로 퍼지 후 맹판을 설치 후 철거할 예정이었다.

재해 당일 밸브 차단 후 질소 퍼지를 실시하였으나 산소농도가 낮아지지 않아 추후 재작업하기로 하고 닫았던 밸브를 여는 순간 폭발이 발생하며 원청 1명, 협력업체 2명이 사망하였다.

원청은 2014년 산소배관 신설작업 중 화재 사고가 발생한 이후 산소공급 밸브 조작업무를 협력업체에 위임하였으며 재해 당일도 협력업체는 원청의 입회하에 단순한 밸브 조작 업무 수행 중 사고를 당했다.



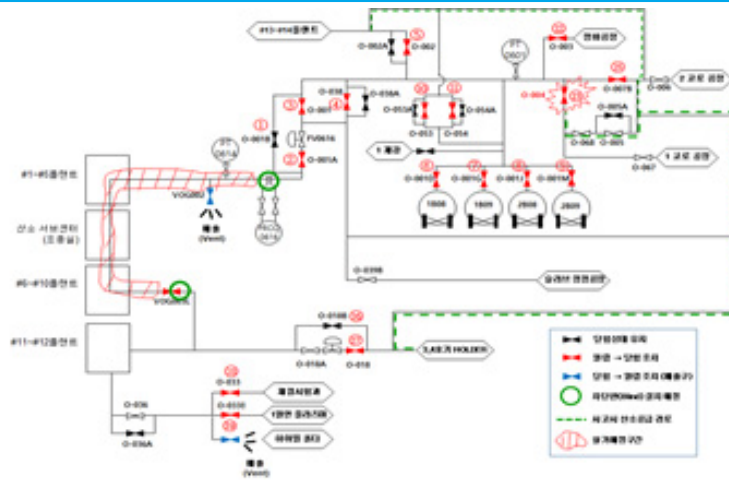
산소 배관



산소배관 밸브

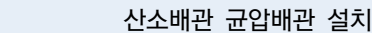
• 사고원인

산소 배관 폭발 사고의 원인은 첫째, 차단밸브를 열기 전 전/후단의 균압 조치를 하지 않아 밸브 조작 시 배관 내 산소의 고속흐름을 유발하고, 이에 따른 생성된 난류가 배관 내 금속입자 간 또는 금속입자와 배관 간 충돌을 촉진시켜 고농도(99.5 %이상) 산소 하에 점화되었다. 둘째, 배관 내 허용유속에 따른 배관 재질을 선정하여야 하나 화재·폭발에 취약한 일반 탄소강을 사용하였다. 셋째, 위의 기술적인 내용에 대해 원청에서 알지 못한 채 작업을 수행하였다는 점이 가장 큰 문제이다.



산소 배관 철거 공사 구간

상기 조사 내용을 토대로 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

허용유속에 따른 재질 및 최소두께 기준

- 현장 개요 및 사고발생 상황

재해 당일은 2번째로 가성소다를 납품하는 것으로 첫 번째 납품 할 때는 원청 직원이 현장에서 연결 배관을 말해주고 이송이 끝날 때까지 입회하였으나 이번에는 가성소다 샘플 검사 후 알아서 주입하고 가라고 했다. Hose Station에는 5개의 주입 배관이 있었으나 가성소다로 적힌 배관은 보이지 않았다. 5개의 배관에는 과산화수소 35%, 액가성 33%, 수산화칼륨 45%, H_2SO_4 , 탄산칼륨이 적혀있었다.



재해자는 가성소다 배관을 찾지 못한 채 임의로 과산화수소 배관을 선택하고 주입을 시작하였으며, 이 후 탱크 안에서 반응에 의해 물질이 넘치자 펌프를 중단하였다. 이후 원청 직원이 나와 과산화수소 탱크의 물질을 폐기물 탱크로리로 이송하고, 탱크 내부를 황산으로 중화, 물로 세척한 후 폐기물 탱크로리로 재차 이송하였다. 30분 후 폐기물 탱크로리가 폭발하여 1명이 사망하고 7명이 부상을 당했다.(원청 1명 사망, 1명 부상 / 협력업체 6명 부상)



사업장 전경



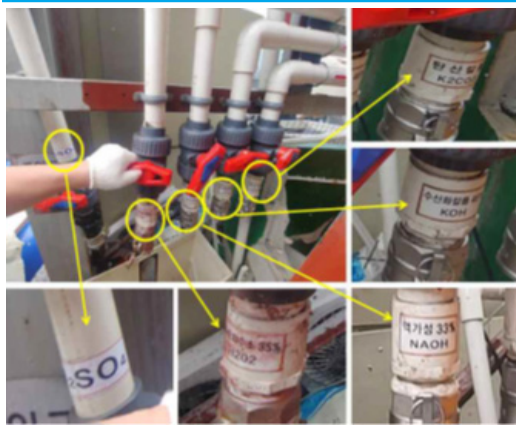
폐기물 탱크로리

● 사고원인

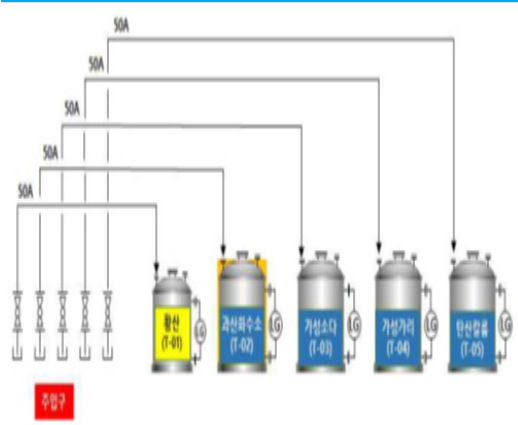
가장 중대한 원인은 원청 직원의 입회 없이 납품업체 직원 단독으로 가성소다 하역작업을 실시한 것이다. 납품업체 직원은 여러 곳에 납품을 하기에 해당 사업장의 가성소다 배관을 모르거나 착각할 수도 있다는 것을 원청에서 간과한 것이다.

또한, 배관에 명칭을 표기할 때는 원청 직원만이 알아보는 용어가 아닌 공용된 명칭을 부착하여야 하나 액체가성소다를 줄인 ‘액가성 33%’로 표기하여 납품업체 직원이 알지 못한 상태에서 임의로 배관을 선택하여 주입하였다.

그리고 원청 직원은 가성소다가 과산화수소, 황산 등과 접촉 시 반응에 의해 압력이 상승할 수 있다는 점을 알지 못한 채 과산화수소 탱크 청소를 위해 사용한 황산, 물 등을 폐기물 탱크로리에 혼합하였다.



주입배관



탱크 및 주입 배관 구성도

• 재발 방지 대책

상기 조사 내용을 토대로 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 위험물 하역작업 시 원청 관리감독자 입회
- ▶ 원료 주입배관 물질표시(명칭) 변경
- ▶ 사용물질 위험성 사전 조사(혼입 금지 물질 사전 확인)
- ▶ 폐기물 탱크로리 압력방출 설비 설치



3. 작업절차서 없는 상태에서 작업 중 사고 사례

회분식 공정을 포함한 잠재된 위험이 있는 생산, 정비, 설치, 점검 등의 작업을 하는 경우에는 안전 조치사항을 포함한 문서화된 작업절차서를 구체적으로 명확하게 작성하고, 작업자에게 교육을 통해 작업방법을 준수하도록 하여야 한다.

또한, 협력업체를 통해 정비, 공사 등을 실시하는 경우에는 원청에서 사전 안전조치를 완료 하고, 작업방법을 공유한 후 작업동안 입회하여 진행상황을 관리하여야 한다.

3-1. LPG 저장탱크 개방 검사 작업절차 미수립

• 현장 개요 및 사고발생 상황

LPG 충전소의 저장탱크는 법에 따라 지정기관에 의해 정기적인 개방검사를 수행하여야 한다. 검사 기관의 이사는 저장탱크의 LPG를 탱크로리로 이송하고 내부에 잔존한 가스를 배기팬을 통해 대기로 배출하기로 머리 속으로 생각하였다. 새벽 24:00~07:00까지 개방검사를 완료 하기로 협의하고 01:00~01:30까지 LPG를 탱크로리로 이송하고, 저장탱크 상부의 안전밸브를 제거하고 배기팬을 사용하여 잔존 LPG를 대기로 배출하였다.

충전소 소장은 02:00~03:00까지 이송된 탱크로리에서 기계실 이송펌프를 가동해 영업을 할 수 있도록 요청하였고 몇 대의 자동차에 충전을 하였다.

검사기관의 작업자는 약 30분간 잔존 LPG를 대기로 배출 하고, 저장탱크의 압력이 “0”을 지시하여 내부의 LPG가 없다고 판단한 후 저장탱크의 맨홀을 전동 임팩트렌치로 볼트를 해체하기 시작하였다. 이 후 약 20분 뒤 ‘퍽’ 소리와 함께 맨홀부위에서 화염이 발생하여 작업 중이던 검사기관의 작업자 2명이 사망하고 2명이 부상을 입었다.



기계실 내부(저장탱크 상부)



저장탱크 기계실 주변 화재장면

● 사고원인

LPG 저장탱크는 고압가스안전관리법에 따라 『고압가스용 저장탱크 및 압력용기 재검사 기준』에 따라 5년마다 검사를 실시해야 하며 기준을 지켜야 한다.

첫째, 저장탱크의 잔류가스는 대기로 방출하는 경우 방출구의 높이를 지상 5미터 이상으로 하고 둘째, 대기 방출 후 탱크의 압력이 대기압 근처가 되면 물 또는 불활성 가스를 이용하여 치환작업을 하여야 한다. 검사기관은 사전에 현장을 확인하고 이러한 절차를 반영하여 세부적인 작업절차서를 작성하고 작업을 진행하여야 하나 미작성 상태에서 머릿속에 있는 방법으로 작업을 수행하였다. 그리고 검사기관 이사가 생각한 절차에는 치환작업이 누락되어 있었다.

또한 저장탱크의 잔류가스를 대기로 방출하는 경우에는 대기조건을 고려하여 주간에 실시하는 것을 원칙으로 하고 있으나 주변 민원, 영업시간 등을 고려하여 야간에 작업을 하였다.

마지막으로 저장탱크내 잔액회수 및 잔류가스 처리 중에는 다른 설비를 가동시키지 않도록 되어 있으나 LPG판매를 위해 이송 펌프를 가동한 것이다. 검사기관의 작업자는 재해당일 처음 출입하여 출하를 위해 펌프를 가동하고 출하 배관과 검사 구간의 차단 밸브를 조작하여 구분하여야 했다. 즉, 처음 접하는 현장에서 이송펌프 가동을 위해 밸브 조작 중 저장탱크와 연결된 밸브를 오조작하여 탱크로 LPG가 유입되었을 수도 있다.

위와 같은 원인으로 저장탱크 내부에 LPG 잔존 가스가 있는 상태에서 임팩트렌치로 맨홀 볼트를 해체 중 스파크에 의해 화재가 발생하였다. 작업 전 기준을 반영하여 세부적인 작업절차서를 작성하고 이를 지켰다면 발생하지 않을 사고였다.

● 재발 방지 대책

상기 조사 내용을 토대로 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 기준의 내용을 반영한 작업절차서를 작성하고 준수
- ▶ LPG 저장탱크 불활성화 조치(물 또는 불활성가스로 치환)
- ▶ 점화원을 제공할 수 있는 설비 사용금지



3-2. 형식적인 작업절차서에 따른 작업절차 미준수

• 현장 개요 및 사고발생 상황

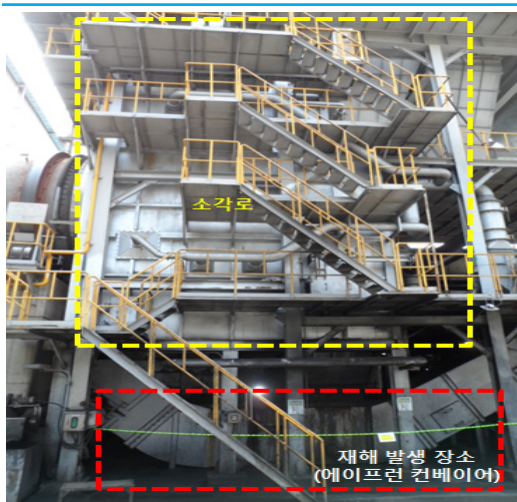
재해 발생 사업장은 폐종이, 폐목재 등 산업용 폐기물을 소각 처리하는 곳으로 소각 후 발생하는 재는 슈트를 통해 수조안에 설치된 컨베이어로 이송되는 구조이다.

소각이 가능한 폐기물만 입고되어야 하나 파이프, 롤러, 비계발판 등 고철류가 선별없이 입고 되고 있었다. 또한, 현재 폐기물관리법에 따라 사전 선별을 할 수 없어 운전실에서 크레인으로 폐기물을 투입 전 육안으로 확인이 가능한 고철만 선별하고 있었다.

※ 폐기물관리법 제25조9항3호 : 폐기물처리업자는 자신의 처리시설에서 처리가 어렵거나 처리능력을 초과하는 경우에는 폐기물의 처리를 위탁받지 말 것

재해 당일 작업자는 현장 순찰 중 소각로 내부에 소각재가 평소보다 많이 쌓여있고, 컨베이어를 통해 소각재가 배출이 안 되는 것을 확인하였다. 반장과 함께 막혀있는 슈트를 뚫기 위해 슈트 내부에 설치된 슬라이드 게이트를 조작하였다. 슬라이드 게이트의 움직임으로 진동이 발생하고 순간적으로 막혀있던 고철과 소각재가 일시에 수조로 떨어지며 수증기 폭발과 소각재가 비산 되었다. 이 사고로 1명이 사망하고 2명이 심각한 화상을 입었다.

※ 슬라이드게이트 : 수조 청소, 정비 시 소각로와 수조를 격리시켜주는 차단판



소각로 사진



폐기물 입고장

● 사고원인

산업용폐기물이 선별되지 않은 채 약 1100℃로 운전되는 소각로에 투입되고 부피가 큰 고철의 경우 용융되지 않은 상태로 배출되어 슈트가 막히는 현상이 2~4회/년 발생하였다.

슈트가 막히는 현상을 개선하기 위해 폐기물 투입 전에 선별 작업을 하여야 하나 현행 폐기물 관리법 상 사전 선별을 할 수 없도록 법제화 되어 있다.

자체 작성한 슈트 뚫는 작업 절차는 팀장, 공장장에게 상황을 보고한 후 폐기물 투입을 정지하고 소각로의 온도를 낮춘 상태에서 가동 중지 여부를 판단한다. 가동 중지의 경우 소각로를 냉각한 후 팀장, 공장장 입회하에 슬라이드게이트 이용 여부를 결정하도록 되어 있다.

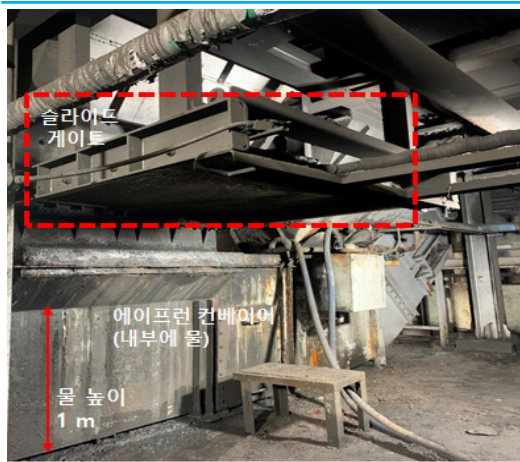
그러나, 작업자 중 위의 작업절차를 알고 있는 사람은 없었고 대부분 슬라이드게이트를 손동으로 조작하면서 걸려 있는 소각재를 제거하는 작업을 먼저 수행하였다. 관리자인 팀장 또한 먼저 슬라이드게이트를 조작하여 제거한다는 것을 알고 있었으며 작업절차를 지키도록 관리하지 않았다. 이와 같은 방법으로 과거에 슈트를 뚫는 중 물, 소각재가 비산된 적이 있었다고 한다.

또한, 소각로의 배출 가스 농도는 실시간으로 환경공단에 전송되고 있으며, 가동 중지하는 경우 환경공단에 사전 승인을 받고 일정 시간이 경과한 이후에 재가동을 하도록 되어있다. 소각로의 열원으로 스팀을 생산하고 인근 공장에 공급하고 있어 가동 중지보다 슬라이드게이트를 조작하여 슈트를 뚫고 제거가 안 된 경우 소각로를 정지했을 가능성도 있다.

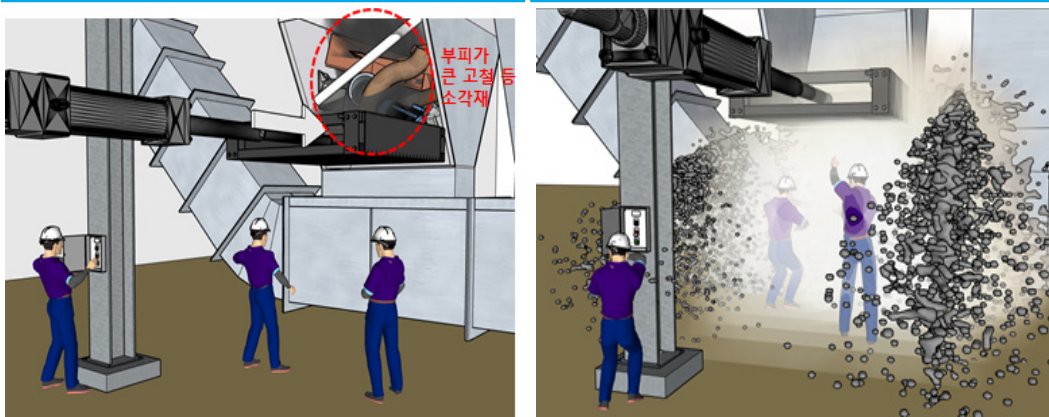
법에 의해 사전 선별을 할 수 없으면 작업자에게 규정한 작업절차를 교육하고, 이행하도록 관리하였다면 이번 사고는 발생하지 않았을 것이다.



선별된 비계 발판



슬라이드게이트



재해발생 상황도

● 재발 방지 대책

상기 조사 내용을 토대로 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 작업절차서에 따라 슈트 제거 작업 시 소각로를 정지, 내부 온도 냉각 등 사전 작업 실시 후 제거 작업 실시
- ▶ 작업절차서 교육 및 이행 여부 관리
- ▶ 임의로 슬라이드게이트를 조작하지 못하도록 설비 보완(시건조치 등)
- ▶ 고온의 소각재 비산 방지 조치 실시

3 항만 하역 사고

1. 항만하역 사고 현황 및 통계

2021년 4월 평택항에서 플랫폼컨테이너 번들작업 중 비정규직 청년 근로자가 단벽에 깔려 사망하여 사회적으로 큰 이슈가 되었다. 항만은 중량물 취급 등 고위험 작업장소이며, 복잡한 계약구조에 의해 다수의 업체가 작업하고 있어 안전관리에 취약한 특성이 있다.

※ 최근 주요 항만하역 사고 현황

- 2020. 12. 15.(화) 창원 컨테이너부두 크레인에 의해 하강하는 컨테이너에 깔림(사망1명)
- 2020. 12. 16.(수) 제주 선박 내부 지게차에 부딪힘(사망1명)
- 2021. 3. 18.(목) 동해 선박 내부 산소결핍(사망2명, 부상1명)
- 2021. 5. 3.(월) 광양 선박 내부 불도저 토공판에 끼임(사망1명)
- 2021. 10. 22.(금) 광양 컨테이너부두 야드트랙터에 부딪힘(사망1명)

항만하역 현장에서는 매년 6명의 근로자가 사망하고 있으며, 최근 1년 동안 발생한 항만하역 사망사고 현황은 다음과 같다.

[표 1] 최근 10년간 항만하역 사망사고 현황(중대재해 조사 기준)

구분	계	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21.6.
건수	64	5	9	7	7	5	4	1	8	5	8	5
사망자수	66	5	10	7	7	5	4	1	8	5	8	6

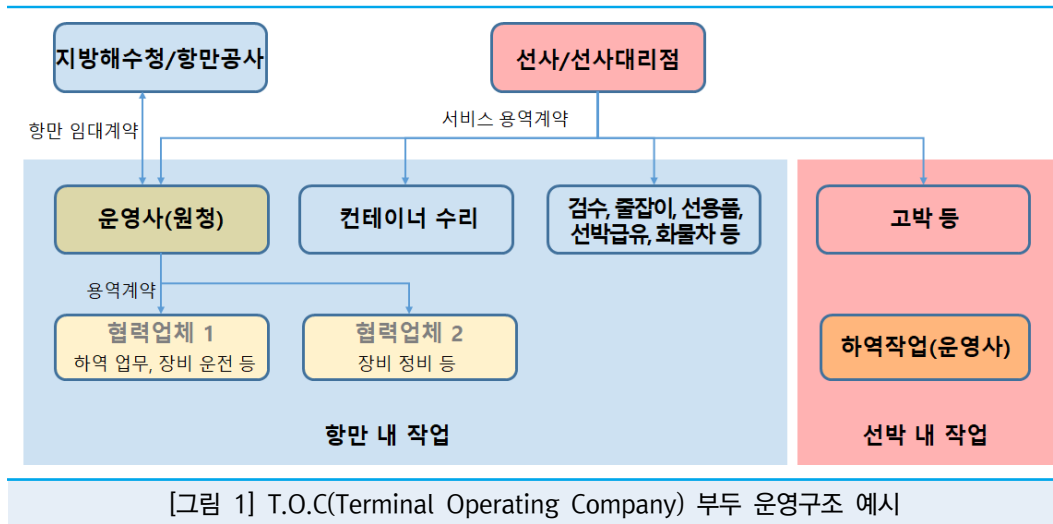
항만하역 사업장은 하역사, 검수업체, 줄잡이 업체 등 다수의 업체가 작업하고 있으며, 하역사와 고박업체에서 발생한 사망사고가 39건(61%)로 가장 많이 발생하고 있다.

[표 2] 항만업체별 사망사고 현황(최근 10년간)

구분	하역사	고박	정비보수	검수	화물운수	컨테이너*	줄잡이	기타**
건수	29(45.3%)	10(15.6%)	6(9.4%)	4	4	3	2	6

* 컨테이너 수리, 냉동컨테이너 관리 ** 선박수리, 창고, 방역업체

참고로, [그림 1]은 대표적인 부두운영 형태를 나타낸 것으로 선사와 각 업체 간 개별 계약되는 구조를 보인다.



사고유형을 보면 총 최근 10년간 64건의 사고 중 운송장비에 부딪히는 사고가 21건 (32.87%)으로 가장 많으며, 떨어짐 14건(21.9%), 수리 중 맞음 10건(15.6%), 하역화물에 맞음 8건(12.5%), 컨테이너에 깔림 사고 7건(10.5%) 순으로 발생하고 있다.

[표 3] 사고유형별 사망사고 현황(최근 10년간)

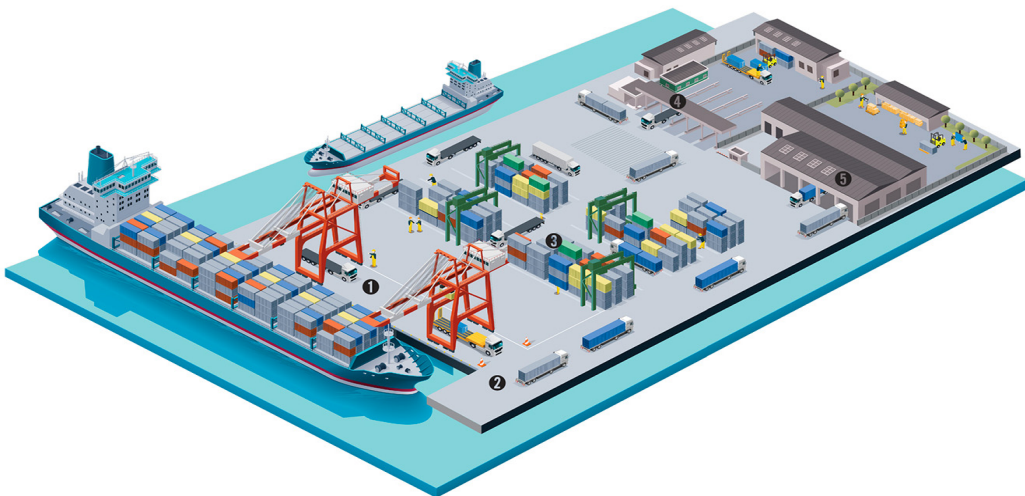
유형	사망(건)	비율	비 고
계	64	100.0%	
운송장비에 부딪힘	21	32.8%	
떨어짐	14	21.9%	
정비, 수리 및 설치 중 맞음	10	15.6%	장비 수리·설치 중 끼임, 깔림 포함
하역화물에 맞음	8	12.5%	하역화물에 깔림, 끼임, 부딪힘 포함
컨테이너에 깔림	7	10.9%	
산소 결핍	3	4.7%	
감전	1	1.6%	

2. 항만 개요

2-1. 항만하역 작업단계(컨테이너 전용 터미널 예시)

컨테이너 전용 터미널의 경우 항만하역 작업단계는 다음과 같다.

- ❶ **본선작업** : 컨테이너 크레인을 이용하여 선박과 육상 사이에서 컨테이너를 선박에 적재(적하)하거나 육상으로 내려놓는(양하) 작업
 ※ 컨테이너 크레인에 전용도구인 스프레더를 부착하여 컨테이너를 집어 작업
- ❷ **부두 이송작업** : 선측(에이프런)에서 컨테이너 야드까지 또는 컨테이너 야드에서 선측까지의 컨테이너 운반작업을 말하며, 야드트랙터나 스트래들 캐리어로 운반
- ❸ **컨테이너 야드작업** : 컨테이너 적재장소인 컨테이너 야드에서 전용장비인 트랜스퍼 크레인, RMGC(Rail Mounted Gantry Crane) 또는 리치스태커 장비로 컨테이너 상하차, 적재, 운송하는 작업
- ❹ **컨테이너 인수·인도작업** : 컨테이너 터미널의 입구인 게이트에서 터미널이 컨테이너를 인수하거나 인도하는 작업으로, 컨테이너 검사, 세관봉인 체크 및 서류작업 등이 이루어짐
- ❺ **CFS 작업** : CFS(Container Freight Station)는 일반화물을 컨테이너에 집어넣거나(적입, Vanning)하거나 빼내는(적출, Devanning) 작업을 하는 장소이며, 컨테이너에 화물 적입·적출, 화물의 인수·인도, 임시보관, 화물 분류, 컨테이너 적입 후 화물고정작업(쇼링, Shoring), 일반화물의 재포장, 상하차 작업, 서류작업 등을 수행



컨테이너 전용 터미널 작업단계 예시



2-2. 항만하역 주요 용어

항만하역에서 사용되는 주요 용어는 다음과 같다.

- **선석(Berth)** : 선박이 부두에 접안하게 되는 장소로 통상 1개 부두에는 여러 개의 선석이 있음
- **에이프런(Apron)** : 부두 배후에 있는 화물의 하역작업을 위한 크레인 작업공간. 화물 가치(假置) 또는 분리 및 교통로 등을 위한 장소[그림2의 ❶]
- **야드(yard)** : 항만을 이용하는 화물을 선적하기 전 또는 항만 밖으로 반출하기 전 일정기간 동안 보관하는 옥외의 화물장치장[그림2의 ❸]
- **안벽(quay wall)** : 선박을 안전하게 접안하여 화물의 하역 및 승객을 승하선 시킬 수 있는 구조물
- **CFS(Container Freight Station)** : 컨테이너로부터 화물을 꺼내거나 화물을 컨테이너에 채우기 위한 작업을 위한 창고[그림2의 ❺]
- **양하** : 선박으로부터 화물을 내리는 행위(↔ 적하, 선적)
- **부두운영회사(TOC : Terminal Operating Company)** : 항만시설운영자와 임차계약을 체결하여 선석·보관시설·하역시설 등 부두시설 일체를 전용(專用)사용하는 민간업체
※ 다만, 컨테이너부두와 개발부두의 임대계약자, 항만시설운영자가 인정하는 임대계약자는 제외
- **검수사업** : 선적화물을 싣거나 내릴 때 그 화물의 개수를 계산하거나 그 화물의 인도·인수를 증명하는 일

3. 사고유형별 사고 사례

3-1. 장비에 부딪힘 사고 사례

장비에 부딪힘 사고 21건 중 야드트랙터에 의한 사고가 8건(38.1%)으로 가장 많으며, 지게차 5건, 로더·굴삭기·불도저 5건 순으로 발생하였으며, 발생 장소로는 야드와 에이프런이 각 7건으로 장비에 부딪힘 사고의 66.7%를 차지하고 있음

[표 4] 장비별 현황(최근 10년간)

구 분	야드트랙터	지게차	로더·굴삭기· 불도저	리치스태커	기타
사망사고(건)	8	5	5	2	1

[표 5] 장소별 현황(최근 10년간)

구 분	에이프런	야드	선내 이동통로 등	선내 홀드
사망사고(건)	7(33.3%)	7(33.3%)	5(23.8%)	2(9.5%)

3-1-1. 야드트랙터 부딪힘 사고 사례

• 사고발생 상황

울산 소재 컨테이너 터미널 4번 선석에 정박한 컨테이너선의 하역작업을 위해 고박업체 소속 근로자 3명이 19:00경부터 고박작업을 시작하였다.

00:00경 휴게실로 이동하여 00:45분까지 휴식을 취하고 피재자가 작업을 재개하기 위하여 작업장소로 이동 중 야드트랙터에 부딪혀 쓰러졌다. 뒤이어 작업장소로 이동하던 동료 작업자가 발견하고 병원으로 후송하였으나 03:30분경 사망하였다.



재해발생 상황도

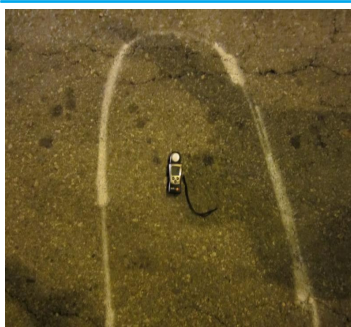


야드트랙터 주행로

● 사고원인 추정 및 대책

야드트랙터 주행로에는 근로자가 안전하게 통행할 수 있는 안전통로가 설치되어 있지 않았다. 재해발생 당시 사고지점의 조명탑 조명은 켜져 있었지만 조도가 약 24Lux로 충분한 조도가 확보되지 않았으며, 피해자가 착용한 야간작업용 근무복은 시인성이 확보되지 않은 것이었다.

또한, 컨테이너 터미널은 24시간 운영되는 곳으로 강도 높은 야간작업이 야드트랙터 운전자의 피로, 졸음을 유발하여 항상 부딪힘 위험의 우려가 높다.



조도(24Lux)



재해당시 착용 근무복



상기 조사 내용을 토대로 야간 항만하역 작업 중 운송장비에 부딪힘 사고 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 야드트랙터 등 운송장비 주행로와 근로자 통행로를 분리하여 명확히 구획

- ▶ 하역작업장, 운송장비 주행로, 근로자 통행로 등의 적정조명 확보(75Lux 이상)
- ▶ 항만하역 근로자의 시인성 강화 작업복 착용
- ▶ 야드트랙터 운전자 졸음방지 장치 설치(일부 항만 운영 중)

3-1-2. 엠프티핸들러 부딪힘 사고 사례

● 사고발생 상황

재해자는 부산 소재 컨테이너 터미널 내 작업장(2H-4)에서 11:00부터 동료작업자 2명과 함께 빈 컨테이너 검수작업*을 시작하였다.

* 빈 컨테이너 검수작업 과정 : 적재된 빈 컨테이너를 엠프티핸들러가 지상으로 내려주면 상태를 검수하여 수리 필요 시 야드트랙터로 수리장으로 운반하고, 그렇지 않은 경우 적재장소로 운반

11:20분경 현재 작업장에서의 검수작업이 완료되자 동료작업자 1명은 다른 작업장(2H-14)으로 먼저 이동하였고 다른 동료작업자 1명은 엠프티핸들러 운전자에게 검수한 컨테이너가 사용 가능하다는 신호를 보냈다.

엠프티핸들러 운전자는 신호를 받고 컨테이너를 들어 야드새시*에 적재하기 위해 후진하는 과정에서 피재자가 엠프티핸들러 뒤쪽으로 이동하던 중 엠프티핸들러에 부딪혀 사망하였다.

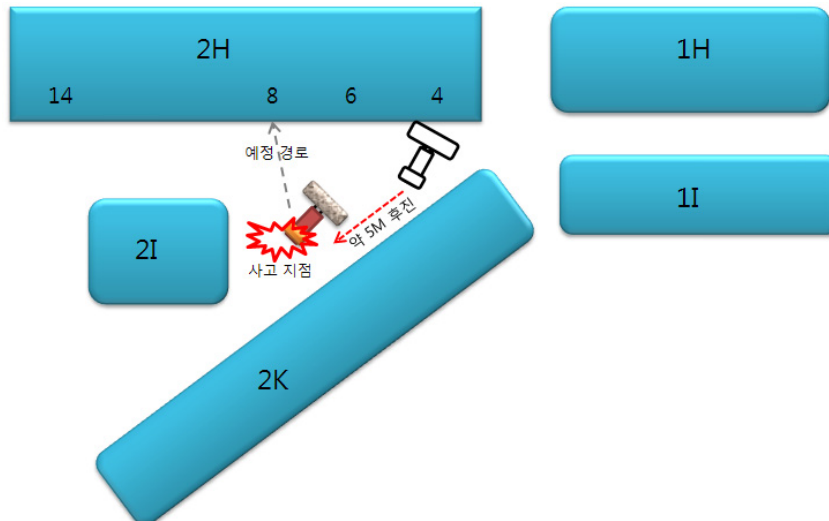
* 야드트랙터/야드새시 : 부두 내 컨테이너 운반장비로 야드새시 상부에 컨테이너를 적재하고 야드트랙터로 야드새시를 연결하여 견인



야드트랙터



야드새시



재해발생 상황도

• 사고원인 추정 및 대책

사고 당시 현장의 날씨가 흐리고 비가 내리는 등 기상상태가 좋지 않았으며, 장비 유도를 위한 유도자를 배치하지 않은 상태로 작업을 진행하였다.

또한, 이 엠프티핸들러의 후사경은 사각지대가 많아 후방시야 확보에 한계가 있음에도 불구하고 시야확보를 위한 후방카메라가 설치되어 있지 않았으며, 후진 경보장치도 고장으로 경보음도 울리지 않았다.



기인물(엠프티핸들러)



후사경(사각지대)

상기 조사 내용을 토대로 컨테이너 운송장비에 부딪힘 사고 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 차량계건설기계 등 항만하역장비를 이용한 작업 시 유도자 배치
- ▶ 항만하역 운반장비 운전자의 시야확보를 위해 후방카메라 설치
- ▶ 장비의 후진을 알 수 있도록 하는 경고등, 경보장치 등 설치

3-1-3. 스트래들캐리어 부딪힘 사고 사례

● 사고발생 상황

재해자는 부산 소재 컨테이너 터미널에서 컨테이너크레인으로 양하되는 컨테이너 검수 작업을 하고 있었다. 검수작업은 2인1조로 구성되어 동료작업자는 선박에서, 재해자는 에이프런에서 검수작업을 진행하였다.

07:10분경 컨테이너크레인이 20ft 컨테이너 2개를 에이프런 6차선의 카세트* 상단에 양하 하였고 컨테이너를 운반하기 위해 스트래들캐리어**가 30m 전방에서 대기하고 있었다

* 양하된 컨테이너를 일시적으로 적재하는 받침대

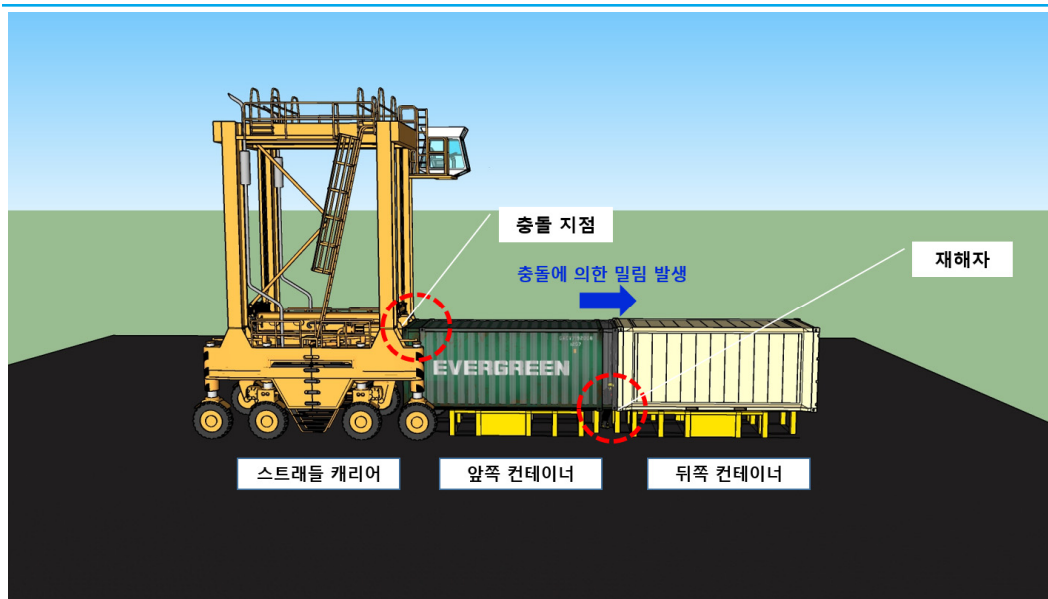
** 스트래들캐리어 : 컨테이너 터미널 내에서 컨테이너를 운반하는 기계로 야드트랙터의 경우 운반만 가능한 반면 스트래들캐리어는 하나의 장비로 권상·권하와 운반이 가능



스트래들캐리어



재해자는 양하된 컨테이너 봉인번호 확인을 위하여 앞쪽, 뒤쪽 컨테이너 사이의 개방된 공간으로 들어갔다. 약 30초 후 스트래들 캐리어가 앞쪽 컨테이너로 접근하던 중 스트래들 캐리어의 스프레더와 앞쪽 컨테이너가 충돌하고, 컨테이너가 밀리면서 재해자가 컨테이너 사이에 끼게 되었다.

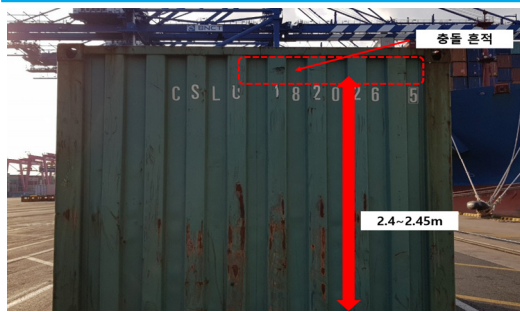


재해발생 상황도

스트래들캐리어 충돌로 앞쪽 컨테이너는 카세트 중앙의 검수원 작업 공간 폭만큼 68cm 정도 이동하였고 뒤쪽 컨테이너는 약 20cm 정도 밀렸다.



사고 현장의 카세트 높이



앞쪽 컨테이너의 중물 흔적(높이)



뒤쪽 컨테이너



충돌에 의한 컨테이너 이동거리

● 사고원인 추정 및 대책

스트래들캐리어가 컨테이너에 진입 시 충돌을 방지하기 위하여 스프레더 권상 높이를 스트래들캐리어 바디에 표시하였으나, 스트래들캐리어 운전자는 표시 높이까지 스프레더를 올리지 않고 진입하여 컨테이너와 충돌하게 되었다.

이 터미널의 스트래들캐리어 운전자격은 자체기준에 의해 120시간의 자체 운전교육 후 부두 운영사 담당자 평가에 통과하여야 운전자격이 주어졌다. 그러나 이 운전자는 88시간의 자체 운전교육만을 실시하고 운전자격 시험을 응시하지 않은 상태에서 소속사 반장의 지시로 운전을 하게 되었다.

대부분의 항만하역에 사용되는 장비는 각 적용법령에서 운전자격 등이 규정되어 있으나, 스트래들캐리어는 어느 법령에서도 운전자격이 규정되어 있지 않은 실정이며, 부두운영사에서 자체적으로 운전요건을 규정하여 운영하고 있다.

작업절차상의 문제점을 확인한 결과, 스트래들캐리어는 검수작업 완료 후 하고 안전구역에 대기하는 검수원과 상호 확인(수신호 또는 Eye Contact)한 후 컨테이너로 진입하여야 하나 사고 당시에는 이 절차가 지켜지지 않았다.



컨테이너는 선박에 선적·운송·하역 과정 중 선적물 손실 여부, 세관검사를 위하여 컨테이너 문을 봉인하여 양척 시 검수원이 봉인번호를 확인하고 있다. 20ft 컨테이너 2대를 양척하는 경우 일반 컨테이너는 문을 동일한 방향으로 위치시키나, 일반 컨테이너와 냉동 컨테이너를 동시에 양척하는 경우에는 문을 마주하는 방향으로 배열한다.

사고 당시 재해자가 일반 컨테이너와 냉동 컨테이너 사이에서 2개의 봉인번호*를 확인해야 해서 컨테이너 사이에 체류하는 시간이 길어지는 요인이 있었으며, 충돌에 대비한 컨테이너 사이 끼임 방지 조치가 없었다.

* 앞쪽 컨테이너(일반 컨테이너) : 봉인번호 2개, 뒤쪽 컨테이너(냉동 컨테이너) : 봉인번호 2개



앞쪽 컨테이너 봉인



뒤쪽 컨테이너 봉인



컨테이너 양하 시 배열 및 검수원 작업동선

컨테이너 양하장소(에이프런)에는 컨테이너 봉인번호를 확인하는 검수원, 스트래들캐리어 운전자, 라싱원 등 각각 소속회사가 다른 작업자들이 함께 작업하는 공간이나, 스트래들캐리어 운전을 담당하는 협력업체의 작업계획서에는 스트래들캐리어 운행 경로 상의 출입 근로자, 작업 지휘자(유도자) 배치에 대한 사항은 제시되지 않았다.

상기 조사 내용을 토대로 컨테이너 운송장비에 부딪힘 사고 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 스트래들캐리어 등 항만하역장비 운전자격 및 작업절차 준수
- ▶ 신호방법 등 작업절차 준수
- ▶ 작업현장 여건에 적합한 작업계획 수립

3-2. 떨어짐 사고 사례

떨어짐 사고 14건 중 선내 홀드로 떨어진 사고가 6건(42.9%)으로 가장 많으며, 하역화물 상부에서 떨어진 사고사 4건, 바다로 떨어진 사고와 컨테이너 부대작업 중 떨어진 사고가 각 2건씩 발생하였음

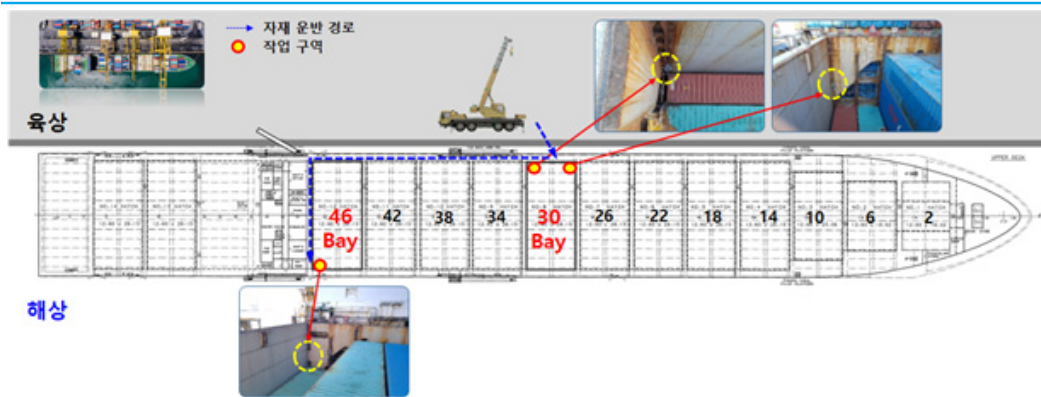
[표 6] 장소별 현황(최근 10년간)

구 분	선내홀드로 떨어짐	하역화물에서 떨어짐	바다에 떨어짐	컨테이너 부대작업 중 떨어짐
사망사고(건)	6(42.9%)	4(28.6%)	2(14.3%)	2(14.3%)

● 사고발생 상황

선박의 화물창 안에 설치된 셀가이드 레일(Cell Guide Rail)* 중 일부를 교체하는 작업이 있었다. 이 선박은 컨테이너 전용선으로 셀가이드 레일이란 화물창 내벽에 세로로 설치하여 컨테이너 진입을 용이하게 하고 운항 중 컨테이너를 고정하는 역할을 한다.

선박의 육상측 작업장소(30Bay)는 이동식크레인을 이용하여 자재를 운반하고 작업하였으나, 해상측 작업장소(46Bay)는 크레인을 사용할 수 없어 인력으로 자재를 운반하게 되었다.



선박 내 작업 장소

09:25분 작업자 7명이 승선하였고 육상측(30Bay) 작업을 먼저 시작하였다. 뒤이어 해상측(46Bay)의 화물창 덮개를 개방하고 11:00부터 작업을 시작하여 셀가이드 레일 파손부위 철거와 교체를 준비하였다.

12:20분경 재해자가 동료작업자와 교체 자재를 운반하기 위하여 덮개가 개방되어 있는 화물창 상부 하역작업용 통로를 지나던 중 재해자가 화물창 바닥으로 떨어졌다.

이 통로는 한쪽 측면은 고정식 안전난간이 설치되어 있고 화물창 측면은 탈부착형 가설 안전난간을 설치할 수 있는 구조였으나, 사고 당시에는 안전난간이 설치되어 있지 않았고 통로의 폭이 약 600mm로 컨테이너 고박에 사용했던 라싱바(턴버클, 로드)가 통로 전반에 깔려 있었다.



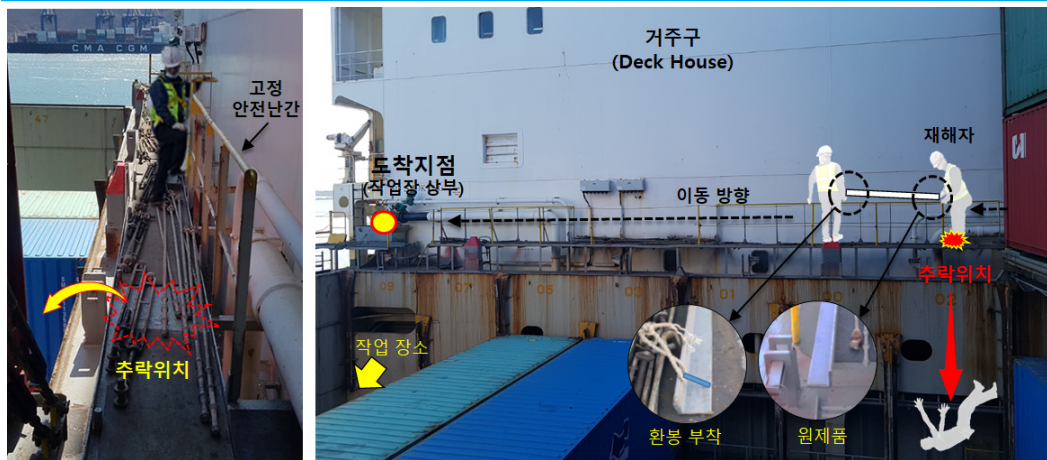
탈착식 안전난간 미설치



탈착식 안전난간 설치

이 선박의 통로에는 대부분 고정식 안전난간이 설치되어 있으나 화물창 주위의 하역작업용 통로(Cross Deck)에는 가설 안전난간을 활용하고 있었고 평상시에는 설치하지 않고 있었다. 그 이유는 해치커버 개폐 및 컨테이너 양하역 시 안전난간이 간섭될 위험이 있기 때문이었다.

자재는 셀가이드 레일용 앵글(길이 1.8m, 중량 50kg) 2명이 함께 양 끝부분을 들고 운반하였으며, 동료작업자가 먼저 통로에 들어서서 한쪽 안전난간이 없는 통로에 위험을 느끼고 반대쪽의 고정식 안전난간을 잡고 이동하였으나 재해자는 통로에 들어서자마자 화물창으로 떨어졌다.



자재 운반 방법 및 추락위치

● 사고원인 추정 및 대책

당시 해상측(46Bay) 작업장소는 육상과 거리가 멀어(육상측의 반대편) 크레인으로 자재를 운반하지 못하고 인력으로 자재를 운반할 수밖에 없는 여건이었으며, 미리 계획한 자재운반 이동경로(화물창 하부 통로)를 임의 변경하여 최단 거리인 하역작업용 통로(Cross Deck)를 이용하였다.

미리 계획된 경로는 수직사다리를 이용하여야 해서 자재를 운반하기에 어려움이 있었고, 다른 경로는 우회거리가 길어 50kg의 자재를 2명이 들고 운반하기에 힘이 들기 때문에 하역작업용 통로(Cross Deck)를 택한 것으로 추정된다.



[표 7] 이동경로별 거리 비교

구분		이동거리	단축거리	장단점
★	하역작업용 통로 (사고발생 통로)	30.0m	-	최단경로이나 안전 미확보
①	화물창 하부 통로 (계획된 통로)	35.3m	5.3m	수직사다리 이용으로 불편함
②	거주구 우회 갑판 통로	54.0m	24.0m	우회거리 길어짐

하역작업용 통로(Cross Deck)에 안전난간이 설치되지 않아 떨어질 위험이 있고 통로 바닥에 간섭물이 있어 넘어질 위험이 있음에도 불구하고 안전조치를 하지 않았으며, 외부 작업자들이 위험구역을 출입할 수 없도록 통제하지 않았다.

상기 조사 내용을 토대로 컨테이너 운송장비에 부딪힘 사고 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 작업통로 안전확보(안전난간 설치 및 바닥 정리)
- ▶ 본선 안전담당자의 작업현장 안전관리활동 강화

3-3. 플랫폼 컨테이너 번들작업 중 깔림 사고 사례

● 사고발생 상황

플랫폼 컨테이너(Flat Rack Container) 번들작업 중, 지게차로 단벽을 접자 그 충격에 의해 우측 단벽이 떨어져 컨테이너 바닥면의 나무조각을 제거하던 재해자가 깔려 사망한 사고가 발생했다.

플랫폼 컨테이너란 지붕 및 측벽(side wall)을 제거하고 좌우측 단벽(end wall)만 가진 형태의 컨테이너로 폭과 높이가 큰 화물을 고정하여 선적하기 위해 사용하는 것으로 빈 컨테이너를 회수할 때에는 플랫폼 컨테이너 좌우 양측 단벽을 접은 후 컨테이너를 쌓아 한 개의 번들로 묶어 운반한다.



플랫랙 컨테이너



번들(단벽을 접고 적층)

사고당일 07:40분경 재해자와 작업자들은 아침조회를 실시하고 작업을 시작하였다. 재해자는 주로 CFS 창고에서 수출·입 화물 작업 시 각목을 깔거나 로프를 거는 등 지게차 작업 보조업무와 박스 운반(세관 업무 지원) 등 단순한 작업을 수행해 왔다.

재해자는 사고발생 컨테이너 터미널 운영사와 계약한 인력공급업체에 의해 일용직으로 일하는 근로자로 평상시 수행하던 업무범위를 벗어나 갑작스럽게 플랫랙 컨테이너 번들작업에 투입되어 작업 중 사고를 당했다.

이 컨테이너 터미널에서의 플랫랙 컨테이너 번들작업은 별도의 컨테이너 관리업체에서 주로 수행하였으나 일부는 운영사에서 수행해 왔으며, 사고 당일은 운영사에서 작업을 수행하기로 하였다.

운영사 담당자는 당시 일손에 여유가 있었던 협력업체에 작업을 지시하였고 생각보다 작업수량(10대)이 많은 것을 확인한 후 인력공급업체의 파견근로자도 지원을 지시하여 재해자와 다른 1명의 파견근로자가 투입되었다. 그러나, 협력업체 작업자와 재해자는 플랫랙 컨테이너 번들작업 경험이 없었다.

사고가 발생한 플랫랙 컨테이너 개발사의 매뉴얼에 의하면 번들작업 순서는 아래와 같다. 접으려고 하는 단벽의 고정핀만 접기 직전에 해제하고 지게차 포크로 지지한 상태에서 작업자가 단벽을 밀면 지게차로 지지하면서 내리는 방식이다. 또 다른 방법은 인력으로 단벽을 미는 대신 지게차로 미는 경우도 있다. 구조부분의 변형, 해양환경에 의한 고착 등으로 인력에 의해 움직이지 않는 경우도 있기 때문이다.



① 단벽 고정핀 해제



② 지게차 포크로 해당 단벽 지지



③ 인력으로 단벽 밀



④ 지게차 포크를 내리면서 단벽 접음

플랫랙 컨테이너 번들작업 방법(개발사 매뉴얼)

사고 당시의 작업 방법을 살펴보면 협력업체 작업자가 10대의 컨테이너 중 4대의 고정핀을 한꺼번에 모두 해제하고 지게차로 차례차례 단벽을 접어 나갔다.

재해자와 동료 파견근로자는 네 번째 컨테이너 위에 있던 나무토막(화물 적재용 버팀목)을 주워서 리어카에 담았다. 나무토막이 컨테이너 위에 있으면 단벽이 완전히 접히지 않거나 컨테이너 적층 시 밀착되지 않을 수 있기 때문이다.

이후 재해자와 동료 파견근로자는 다섯 번째 컨테이너 오른쪽 단벽과 왼쪽 단벽의 고정핀을 차례로 해제하고, 협력업체 작업자는 컨테이너 위에서, 재해자는 컨테이너 좌측에서 나무토막 등을 줍고, 동료 파견근로자는 리어카를 옮기는 등 각각 작업을 이어갔다.

이때 지게차 작업자가 이 컨테이너의 우측 단벽을 밀어 접었다. 그러자 그 충격으로 좌측 단벽이 넘어지면서 나무토막을 제거하려 몸을 숙인 재해자를 덮쳤다.



재해상황도

본래 플랫랙 컨테이너에는 단벽의 급격한 하강을 방지하기 위해 완충장치가 설치된다. 그러나 사고발생 컨테이너에는 유압식 완충장치는 탈락되고, 스프링식 완충장치는 손상으로 완충역할을 하지 못했다.



정상 상태 유압식 완충장치



유압식 완충장치 탈락



스프링식 완충장치(반대편)



부식된 강재스프링

• 사고원인 추정 및 대책

사고 당시 작업방법은 컨테이너 개발사가 제공하는 매뉴얼이나 컨테이너 관리업체가 작업하는 방식과 고정핀 제거 시점 등 작업절차가 달랐다.

[표 8] 업체간 작업방법 비교

구분	컨테이너 관리업체	운행사
고정핀 제거	• 접고자 하는 단벽 고정핀만 제거	• 양쪽 단벽 고정핀 모두 제거
단벽 접기	• 고정핀이 제거된 단벽을 인력(2명)으로 밀어 접음 • 인력(2명)으로 불가 시 지게차 포크로 밀어 접음	• 인력(1명)으로 단벽 접기 1회 시도 ↳ 이후 모든 단벽을 지게차 포크로 밀어 접음

이 컨테이너 터미널의 경우 컨테이너 관리업체와 운행사에서 특별히 정해진 구분 없이 플랫폼 컨테이너 번들작업을 수행하면서 전문성, 매뉴얼의 이해, 완충장치 탈락에 대한 조치, 경험없는 근로자 투입 등의 문제가 발생하였다. 이러한 구조적인 문제는 사고에 있어 원·하청 및 관계사 간의 명확한 역할과 책임의 중요성을 알 수 있게 해준다.

재해자의 주 업무는 CFS 창고에서 수출·입 화물 취급 작업 보조이나 플랫폼 컨테이너 번들 작업장에 「작업내용 변경 시 교육」 없이 바로 투입되었다.

통상 이 컨테이너 터미널의 운행사는 작업 1일전 인력공급업체에 연락하여 필요인원을 요청해 왔으며, 어떤 일을 수행하는지에 대해서는 따로 알리지 않고 인력공급업체도 작업내용을 모르는 채로 인력을 공급해왔다. 인력공급 용역계약서에도 파견근로자의 작업범위가 정해져 있지 않은 실정이었다.

인력 파견의 경우 저임금 노동력이 선호되기 때문에 외국인, 학생, 고령 근로자와 같이 경험이나 안전에 취약한 근로자가 공급되는 경우가 많으며, 작업범위가 정해져 있지 않고 현장상황에 따라 갑작스럽게 위험작업에 투입되는 경우가 있어 위험에 노출될 가능성이 높다.

컨테이너는 「선박안전법」 및 「컨테이너 안전점검 기준」에 따라 안전점검 의무 대상이나 플랫폼 컨테이너에 대해 별도로 규정된 기준이 없으며, 번들작업 중 사고의 주요요인으로 작용한 완충 장치나 고정핀에 관한 사항도 규정되어 있지 않다. 이 기준은 컨테이너 운반안전에 관한 기준으로 작업안전을 위한 기준이 규정되어 있지는 않다.

특히 외국선사 소유의 컨테이너는 국제협약에 따라 관리되고 있으며, 국내법에 따른 안전점검 의무 대상에서 제외되고 있다.

따라서, 컨테이너 안전점검 기준에 완충장치 등 작업안전에 관한 기준을 추가하고 외국선사 소유의 컨테이너에 대해서도 안전에 관한 문제가 발생한 경우 국내에서 조치가 가능하도록 국제협약에 반영할 필요가 있다.

상기 조사 내용을 토대로 플랫폼 컨테이너 번들작업 중 깔림 사고 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 전도방지 조치 및 접근 금지 조치 실시(고정핀 사전 해제 금지 등)
- ▶ 작업내용 변경 시 안전보건교육 실시
- ▶ 컨테이너 작업안전기준 추가 및 국제협약 반영



4. 이슈 & 시사점

항만은 다수의 업체가 함께 작업을 하는 공간이다. 부두 운영사*가 항만하역을 목적으로 하는 영업을 하면서 부두를 관리하고 있으며, 같은 부두 내에 선사나 화주와 계약된 부대사업자**들도 함께 작업하거나 별도로 작업하고 있다.

* 운영사에서 항역업무를 병행하거나 별도의 협력업체에 하역업무 도급

** 줄잡아, 검수, 고박, 컨테이너 수리, 선용품, 선박급유, 화물차 업체 등

그러나, 이 부대사업자들은 선사와 직접 계약한 업체들로 부두운영사와는 계약관계가 없어 부두운영사에서 부대사업자에 대한 안전관리 통제가 어렵다.

만약 운영사가 부대사업자를 통제하더라도 그로인해 선사가 부두 이용에 불편을 느낄 수 있어 행위에 제한적일 수밖에 없다. 선사는 부두의 절대고객으로 우월적 위치에 있어 부두서비스가 불만족스러운 경우 다른 부두를 이용할 소지가 크기 때문이다.

또한, 외국 선사의 경우 선박 내 작업 시 선사가 안전시설 설치 요청에 불응하더라도 마땅한 대응 방법이 없는 실정이다.

부두는 같은 장소에서 여러 업체가 작업하기 때문에 작업내용, 작업 위험성을 공유하고 규칙을 정하여 준수하도록 하여야 한다. 현재 항만의 안전관리 컨트롤타워가 없고, 부두운영사도 계약관계로 인한 제약을 해결하기 위한 아래와 같은 대책이 필요하다.

- ① 항만안전협의체(항만안전특별법) 기능 강화 및 참여주체 확대(선사 등)
- ② 운영사에서 각종 부대사업까지 포괄하여 선사와 일괄계약함으로써 원청으로서의 안전관리 책임·권한 부여

항만하역 작업 중 사고는 운반장비에 부딪히는 사고가 가장 많다. 보행 중 야드트랙터에 부딪히는 사고, 엠프티핸들러에 부딪히는 사고, 검수 작업 중 스트래들테리어에 부딪혀 밀린 컨테이너 사이에 끼이는 사고 등 운반장비에 부딪히는 사고를 방지하기 위해서는 기본적으로 장비와 사람을 분리하여야 한다. 장비와 사람이 같은 공간에 있을 수 없도록 구역을 명확히 구획하고 엄격히 통제하여야 한다.

그러나 현실적으로 작업여건 상 장비와 사람이 분리될 수 없는 작업구역이 많이 있다. 이러한 작업구역에는 위험성을 낮출 수 있는 안전장치 등을 구비하여야 한다.

현재 일부 부두에서는 장비 충돌사고를 막지 위해 항만특성에 적합한 안전장치를 활용하고 있다. 검수원 또는 라싱원의 대피공간을 제공해주는 피닝스테이션, 컨테이너 사이에 끼임 위험을 감소시켜주는 끼임방지 가드, 야드트랙터 운전자의 졸음을 방지할 수 있는 졸음방지장치 등이 그것이다.



그러나, 비용문제 등으로 모든 부두에서 이러한 안전장치를 활용하고 있지는 않다. 국제적 여건을 살펴보면 항만은 치열한 경쟁에 휩싸여 있다. 운영사는 선사 유치에 주력하고 있으며, 국가 차원에서도 국가 및 항만산업 발전을 위하여 하역물량 유치에 노력하고 있다.

항만이용비용이 높거나 선박 스케줄을 지연시키는 등 서비스 품질이 떨어지는 경우 타부두로 물량이 이탈되거나 중국, 일본, 싱가포르 등 우리나라와 지리적 위치가 가까운 외국항만으로 물량이 이탈되기 때문에 국내 부두운영사 간 또는 외국 항만과의 치열한 경쟁이 불가피한 실정이다.

이러한 경쟁은 하역요금 경쟁을 유발함으로써 운영사의 안전비용 투자여력을 감소시킬 수 있다. 국내 부두운영사 간의 과당경쟁은 법적 조치로 해소될 수 있으나, 외국항만과의 경쟁은 국가 경제 측면에서 해소하기 어려운 문제이다.

따라서, 부두운영사의 안전비용 투자가 어려운 현실을 감안하여 국가 지원금 제도 등 대책을 마련할 필요가 있다.



불임

항만 관련 법규 주요내용

1. 항만법

- 목적 : 항만의 지정·개발·관리 및 **사용에 관한 사항**을 규정함으로써 항만개발사업을 촉진하고 **항만을 효율적으로 관리·운영**
- 주요내용
 - 항만 개발, 항만시설 사용방법(허가, 임대계약 등), 항만시설 검사 등
- 주요조항(항만시설 검사 관련 조항 제외)
 - 항만의 구분(제3조) : 무역항, 연안항 등
 - 항만기본계획 수립(제5조) : 항만 개발 촉진 및 효율적 운영을 위하여 항만기본계획을 10년 단위로 수립
 - 항만개발사업의 시행자(제9조)
 - 항만개발사업은 관리청(해수부장관, 시·도지사)이 시행
 - 비관리청의 경우 관리청의 허가를 받아 항만개발사업 시행
 - 항만시설의 귀속(제15조) : 비관리청의 항만개발사업으로 조성되거나 설치된 토지 및 항만시설을 준공과 동시에 국가 또는 시·도에 귀속*
 - * 하역시설은 귀속 예외 : 시행령 제24조(국가 등에 귀속되지 않는 토지 및 항만시설)에 규정된 토지, 계류시설, 지원시설 등과 함께 귀속 예외시설에 포함
 - 비관리청은 국가에 귀속된 항만시설을 총사업비에 따른 기간동안 무상사용 가능
 - 항만관리법인(제23조) : 항만시설의 관리 및 경비·보안 등의 업무를 담당하는 법인 지정
 - 항만시설관리권(제24조) : 관리청은 항만시설을 유지·관리하고 그 항만시설을 사용하는 자로부터 사용료를 받을 수 있는 권리(항만시설관리권)를 설정할 수 있음
 - 항만시설의 사용(제41조)
 - 해수부, 항만시설운영자*의 사용허가 취득
 - * 지방해수청장, 시·도지사 등
 - 해수부, 항만시설운영자, 사용허가 취득자와 임대계약 체결

2. 항만공사법

- 목적 : 항만시설의 개발 및 관리·운영에 관한 업무의 **전문성과 효율성**을 높임으로써 항만을 경쟁력 있는 **해운물류의 중심기지**로 육성
- 주요내용
 - 국가의 항만공사에 대한 출자(동산, 부동산, 항만시설관리권)
 - 항만공사의 사업(항만시설 공사, 관리·운영 등)
 - 항만시설 임대 등
- 주요조항
 - 항만공사 설립(법 제4조, 시행령 제1조의2)
 - 부산항만공사, 인천항만공사, 울산항만공사, 여수광양항만공사
 - 출자(법 제6조)
 - 국가 또는 지방자치단체는 사업에 필요한 동산·부동산 및 항만시설관리권을 항만공사에 출자할 수 있음
 - 사업(법 제8조, 시행령 제4조)
 - 항만시설의 신설·개축·유지·보수 및 준설 등에 관한 공사 시행
 - 항만의 경비·보안·화물관리·여객터미널 등 항만의 관리·운영
 - 항만재개발사업, 물류시설운영업
 - 항만의 조성 및 관리·운영과 관련하여 국가 또는 지방자치단체로부터 위탁받은 사업
 - 항만 관련 조사·연구, 기술개발 및 인력양성에 관한 사업
 - 항만 관련 사업과 관련되는 부대사업의 직접시행이나 출자 또는 출연
 - 외국 항만의 건설, 관리 및 운영, 항만물류정보와 관련한 인프라의 구축 및 운영 등
 - 항만시설의 귀속(법 제25조)
 - 항만공사의 제원으로 조성한 토지 및 항만시설은 항만공사에 귀속
 - 귀속된 토지 및 항만시설은 국가에 기부채납할 수 있고 국가는 항만공사에 항만시설관리권을 설정할 수 있음
 - 국·공유재산의 무상대부(법 제27조, 제28조)
 - 국가 또는 지방자치단체는 국·공유재산을 항만공사에 무상으로 대부하거나 사용·수익하게 할 수 있음



- 항만시설 임대(법 제29조)
 - 항만공사는 공사가 관리하는 항만시설을 다른 사람에게 사용하게 하거나 임대할 수 있음(50년 限)

3. 항만운송사업법

- 목적 : 항만운송에 관한 질서를 확립하고, 항만운송사업의 건전한 발전을 도모
- 주요내용
 - 항만하역사업 등 항만운송사업 및 항만용역업 등 항만운송관련사업 정의
 - 운임 및 요금 인가·신고, 부두운영화사 계약체결 및 평가
 - 항만운송종사자 교육훈련, 항만인력 수급관리협의회
- 주요조항
 - 항만운송사업의 종류 및 정의(법 제2조, 제3조)
 - 항만하역사업 : 선박·화물주 간 화물 인수·인도, 항만에서 화물을 선박에 싣거나 선박으로부터 내리는 일, 화물을 하역장에서 싣거나 내리거나 보관하는 행위 등(법 제2조에 13개 항만하역 행위 정의)
 - 검수사업 : 선적화물을 싣거나 내릴 때 화물의 개수를 계산하거나 화물의 인도·인수를 증명하는 일
 - 감정사업 : 선적화물 및 선박에 관련된 증명·조사·감정을 하는 일
 - 검량사업 : 선적화물을 싣거나 내릴 때 화물의 용적 또는 중량을 계산하거나 증명하는 일
 - 항만운송관련사업(법 제2조, 시행령 제2조)
 - 항만용역업 : 통선, 경비, 줄잡이 역무, 선박의 청소, 오물제거, 소독, 폐기물 수집·운반, 화물 고정, 칠, 맑은 물 공급
 - 선용품공급업 : 선박에 음료, 식품, 소모품, 밧줄, 수리용 예비부분품 및 부속품, 집기 등 공급
 - 선박연료공급업 : 선박용 연료 공급
 - 선박수리업 : 선체, 기관 등 선박시설 및 설비를 수리, 교체 또는 도색
 - 컨테이너수리업 : 컨테이너 수리

- 사업의 등록(법 제4조) : 사업 종류별로 관리청에 등록하되, 항만하역사업, 검수사업은 항만별로 등록
- 검수사등의 자격 및 등록(법 제7조) : 검수사, 감정사, 검량사는 자격시험(국가전문자격)에 합격한 후 등록
- 운임 및 요금(법 제10조)
 - 항만하역사업자는 운임과 요금을 정하여 관리청의 인가* 취득
 - 검수, 감정, 검량사업자는 요금을 정하여 관리청에 신고
 - * 다만, 항만하역사업자라 하더라도 다음의 경우에는 관리청에 신고

1. 특정 화물주의 화물만을 취급하는 항만시설, 비관리청·사업시행자가 설치한 항만시설 중 지방해수청장/시·도지사가 고시한 항만시설
2. 컨테이너 전용 부두에서 취급하는 컨테이너 화물의 경우에는 신고

- ※ 정당한 사유없이 운임 및 요금을 인가·신고된 운임 및 요금과 다르게 받은 경우 등록을 취소하거나 6개월 이내 사업정지(법 제26조)
- 부두운영계약 체결(법 제26조의6) : 항만시설운영자, 항만공사는 항만 운영의 효율성 및 항만운송사업의 생산성 향상을 위해 부두운영회사와 계약 체결
 - * 화물유치 또는 투자 계획을 이행하지 못한 부두운영회사에는 위약금 부과(귀책사유가 없는 경우 제외)
- 부두운영회사 운영성과의 평가(법 제26조의8)
 - 해수부는 항만운영의 효율성을 높이기 위하여 매년 부두운영회사의 운영성과를 평가
 - 평가결과에 따라 임대료를 감면하거나 그 밖의 필요한 조치 실시
- 항만운송종사자 교육훈련(법 제27조의3, 시행규칙 제30조의2)
 - 안전사고 발생 우려가 높은 작업* 종사자는 교육훈련기관(항만연수원)에서 실시하는 교육이수 의무
 - * 항만하역사업, 줄잡이 항만용역업, 화물 고정 항만용역업
 - 신규자는 해당 작업에 채용된 날부터 6개월 이내, 재직자는 신규자 교육훈련을 받은 다음 연도 및 그 후 매 2년마다
 - ※ 산업안전보건법 제29조에 따른 안전보건교육을 받은 경우 교육훈련 면제



【교육훈련 내용】

구분	교육훈련의 내용	교육훈련 방법 및 시간
1. 신규자 교육훈련	• 화물별 특성과 위험에 관한 사항 • 항만하역 안전 및 사고예방에 관한 사항 • 위험물의 취급요령 및 안전관리에 관한 사항 • 화물별 사고사례와 방지대책에 관한 사항 • 「산업안전보건법」 등 안전 관련 법령에 관한 사항 • 응급처치 등 관련 실습에 관한 사항 • 그 밖에 항만 안전에 관한 사항	• 강의 및 실습 • 12시간 이상
2. 재직자 교육훈련	• 안전 복장에 관한 사항 • 장비와 도구의 안전에 관한 사항 • 화물별 위험에 관한 사항 • 화물별 안전작업 요령에 관한 사항 • 화물별 사고사례와 방지대책에 관한 사항 • 위험물의 취급요령 및 안전관리에 관한 사항 • 응급처치 등 관련 실습에 관한 사항 • 그 밖에 항만 안전에 관한 사항	• 강의 및 실습 • 2시간 이상

- 항만인력 수급관리협의회(법 제27조의7, 시행령 제26조의2)
 - 항만운송사업자단체*, 항만운송근로자단체**, 담당 공무원이 적정한 근로자의 수 산정, 근로자의 채용 및 교육훈련에 관한 사항 등 인력의 원활한 수급과 투명하고 효율적인 관리에 필요한 사항을 협의
- * 항만운송사업자 또는 항만운송관련사업자가 구성한 단체
- ** 항만운송사업자 또는 항만운송관련사업자에게 고용되거나 역무를 제공하는 자가 구성한 단체

4. 항만안전특별법(2022.8.4. 시행 예정)

- 목적 : 항만에서의 안전사고 및 재해예방에 관한 항만운송 참여자의 책임을 명확히 하고 자율적 안전관리를 촉진함으로써 항만에서의 안전 문화 확산과 이를 통한 안전사고 예방
- 주요내용
 - 항만운송 참여자*의 안전 관련 의무 부여
 - * 항만운송사업자(항만하역사업 등) 또는 항만운송관련사업자(컨테이너수리업 등)
 - 항만안전협의체 구성·운영, 안전교육
 - 자체안전관리계획 수립·승인, 항만안전점검관, 항만안전점검요원 규정

○ 주요조항

- 항만운송 참여자 기본 의무(법 제5조)
 - 항만안전사고 예방원칙* 준수
 - * ① 위험성 제거·최소화, ② 위험성에 근원적 대처, ③ 작업에서 안전 우선고려
- 항만운송 참여자 안전확보 의무(법 제6조)
 - 항만운송 종사자에게 안전한 작업환경 제공 노력
 - 국가/지자체의 항만 안전확보 조치에 적극 협조
- 항만안전협의체 구성·운영(법 제7조)
 - 관리청은 항만운송 참여자 단체, 항만운송 종사자 단체 등과 함께 항만안전협의체 구성·운영
 - ↳ 선사도 협의체에 참여 방안 마련 필요(하위법령에 규정)
- 안전교육(법 제8조)
 - 항만운송 참여자가 비용을 부담*하여 항만운송 종사자를 대상으로 작업내용, 안전규칙, 항만에서의 위험요소 등에 대한 안전교육 실시
 - * 국가 또는 지자체에서 전부 또는 일부 지원 가능
- 자체안전관리계획 수립·승인(법 제9조)
 - 항만하역사업자 자체안전관리계획*을 수립하여 관리청의 승인 취득
 - * 항만 내 출입통제, 시설 안전확보, 안전장비 지급 등
 - 관리청은 자체안전관리계획의 적정 이행 여부를 확인하기 위하여 서류검사, 안전관리 상태 확인·조사 또는 점검, 필요시 시정조치 명령
 - 관리청에 항만안전점검관을 두어 자체안전관리계획 승인·이행 확인, 시정조치 업무 수행
 - 항만안전점검요원*이 항만안전점검관 업무 수행 지원
 - * 소속 공무원, 항만공사 소속 직원 등



5. 기타 항만하역 인력 관련 법령

- 항만인력공급체제의 개편을 위한 지원특별법
 - 항만인력공급체제 개편*함에 있어 항운노동조합원에 대한 효과적인 지원대책(생계안전 지원금 등)을 마련하기 위한 법률
 - * 항운노조에서 인력을 공급하는 방식에서 항만운송사업자등이 항운노조원을 직접 상시 고용하는 방식(상용화)으로 전환
- 직업안정법
 - 항운노조의 근로자공급사업 허가*의 근거 법률
 - * 국내의 경우 노동조합이 근로자공급사업의 허가를 받을 수 있는 대상으로 규정(법 제33조)
- 근로기준법
 - 항만하역 업종*이 주 12시간 초과 연장근로가 가능하도록 하는 근거 법률
 - * 한국표준산업분류 상 수상운송업, 기타 운송관련 서비스업에 포함

4 거푸집동바리 붕괴 사고

1. 거푸집동바리 붕괴 사고 현황 및 통계

거푸집동바리는 콘크리트 타설 하중을 지지하여 설계대로 구조물을 만들기 위한 형틀인데 붕괴사고는 거푸집동바리가 구조적으로 취약해서 콘크리트 타설 하중을 견디지 못해 발생한다고 할 수 있다. 다음은 올 해 발생한 거푸집동바리 붕괴 사고 현황으로 매년 5건 전후의 붕괴사고가 발생하여 사회적 이슈가 되고 있다.

※ 최근 거푸집동바리 붕괴사고 현황

- 2021. 1.23.(토) 시흥 00아파트 건설현장 벽체 거푸집 붕괴<사망1명, 부상1명>
- 2021. 2. 8.(월) 서울 00은행 건축 공사현장 거푸집동바리 붕괴<부상5명>
- 2021. 2. 9.(화) 용인 00업무시설 신축현장 거푸집동바리 붕괴<부상2명>
- 2021. 6.16.(수) 충주 00산림유역관리 현장 벽체 거푸집 붕괴<사망1명, 부상2명>
- 2021. 9.15.(수) 화성 00판매시설 현장 거푸집동바리 붕괴<부상3명>

거푸집동바리 붕괴 사고가 발생하면 다수의 사상자가 발생하게 되는데 최근 5년 동안 발생한 거푸집동바리 붕괴 사고 현황은 다음과 같다.

[표 1] 최근 5년 거푸집동바리 붕괴 사고 현황

[중대재해 조사 기준]

구분	5년 평균	2016	2017	2018	2019	2020	'21.6월
붕괴사고(건)	2	2	2	1	1	2	4
사망/부상(명)	2/5	1/8	3/4	1/0	3/0	2/7	2/10

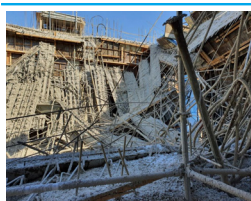


2. 거푸집동바리 붕괴 사고 사례

거푸집동바리는 동바리 유형에 따라 파이프서포트, 시스템동바리, 데크 플레이트, 벽체 거푸집 긴결재 등으로 구분할 수 있는데 파이프서포트는 철제 파이프를 내관, 외관으로 구성하여 높이 조절이 가능한 거푸집동바리로 주로 층고 3~4m 구조물 작업에 사용된다.

또한, 시스템동바리는 수직재, 수평재, 가새 등의 부재를 조립하여 사용하는 거푸집동바리로 주로 5m 이상 층고가 높은 구조물 작업에 사용된다. 데크 플레이트는 파형으로 성형된 철판에 철근을 용접하여 사용하는 동바리로 일반적으로 데크 플레이트 하부에는 파이프서포트 등 동바리 설치를 생략할 수 있어 최근 많이 사용되고 있으나 구조적으로 취약하여 붕괴 사고 위험이 큰 동바리라고 할 수 있다.

마지막으로 벽체 거푸집에 사용하는 거푸집긴결재가 있는데 볼트 형태로 되어있는 폼 타이, 납작한 철판 형태로 되어있는 플랫타이 등이 있다. 거푸집긴결재는 안전인증 대상에서 제외되어 있어 댐, 항만 등 매스가 큰 규모의 구조물 작업 시 임의 제작·사용 중 붕괴 사고가 발생하는 경우가 있다. 다음은 거푸집동바리 유형별로 발생한 붕괴 사고 사례를 정리하였다.



파이프서포트



시스템동바리



데크 플레이트



거푸집긴결재

거푸집동바리 유형별 붕괴 사고 사례

2-1. 파이프서포트 붕괴 사고 사례

● 현장 개요 및 사고발생 상황

붕괴 사고 현장은 지하1층, 지상3층 규모의 철근콘크리트 구조 업무시설 건설공사로 사고 발생 시 지상1층 슬래브, 벽체, 계단실 부위 콘크리트 타설작업 중이었고 공정율은 약 20% 진행 중이었다.

사고 당일 07:00분경, 구조물 공사 하청업체 작업반장 등 10명이 현장에 출근하였고 원청 현장소장은 당일 지상1층 콘크리트 타설, 지하1층 자재정리 등의 작업을 지시하였다. 07:30분경, 콘크리트 펌프카가 도착하여 구조물 전면부에 설치하였고 09:00분경부터 콘크리트 타설 작업을 시작하였다.

콘크리트 타설 작업 순서는 기둥, 벽체, 보, 슬래브 순으로 하였고 붕괴 사고는 16:20분경, 지상1층 슬래브 콘크리트 타설 작업 완료 시점에서 발생하였다. 붕괴 사고는 1차, 2차 약 10분 간격을 두고 2회 발생하였는데 1차 붕괴 시 지상1층 슬래브에 있던 작업자 3명은 부상이 없었고 2차 붕괴 시 지상1층 내부에서 콘크리트 보온 양생을 위해 열풍기에 연료를 주입하던 작업자 2명이 붕괴된 파이프서포트 및 콘크리트에 부상을 당하였다.



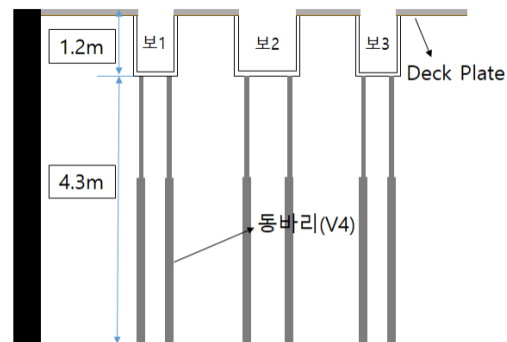
지상1층 슬래브 콘크리트 타설 작업



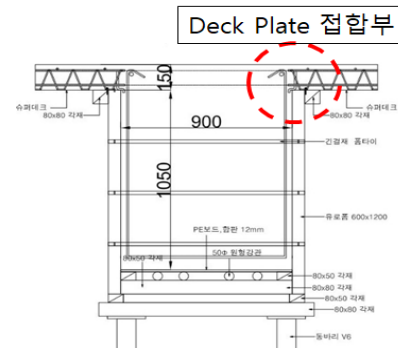
파이프서포트 붕괴 사고 상황

● 사고원인 추정 및 대책

거푸집동바리 설치 현황을 조사한 결과 철근콘크리트 보 하부에는 파이프서포트를 설치하였고 슬래브는 데크 플레이트를 설치하여 동바리가 없는 구조였다. 붕괴는 보 하부에 설치한 파이프서포트가 콘크리트 타설 하중을 견디지 못하고 발생하였다.



붕괴구간 거푸집동바리 설치 현황도



보와 슬래브 접합부 거푸집동바리 설치 상세도



그리고 지상1층 슬래브 거푸집 공법이 당초 합판 거푸집+파이프서포트를 설치하는 구조에서 데크 플레이트를 설치하는 공법으로 변경되었는데 위와 같은 공법은 슬래브 동바리를 생략할 수 있는 장점이 있지만 콘크리트 타설 하중이 보에 집중되어 구조검토를 실시한 후 보 하부에 설치하는 파이프서포트 등 거푸집동바리 보강을 철저히 해야 만이 붕괴 사고를 예방할 수 있다.

또한, 거푸집동바리 구조검토서 및 조립도를 작성하지 않고 현장 경험에 의존해서 임의 방법으로 파이프서포트를 설치하였고 수평하중을 지지하는 수평연결재는 안전인증을 받지 않은 직교 클램프*를 사용하여 체결하였으며 일부 구간에는 수평연결재를 일부 미설치한 것으로 조사되었다.

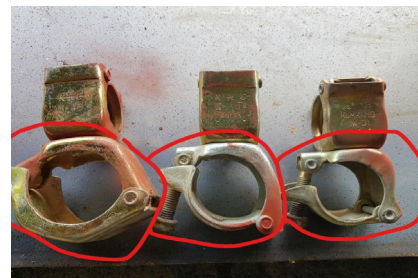
* 수평연결재 체결이 용이하여 현장에서 많이 사용하고 있으나 한쪽이 개방되어있어 수평하중이 작용할 때 수평연결재에 변위가 발생할 수 있고 안전인증을 받지 않은 미인증 제품



수평연결재 일부 미설치 상태

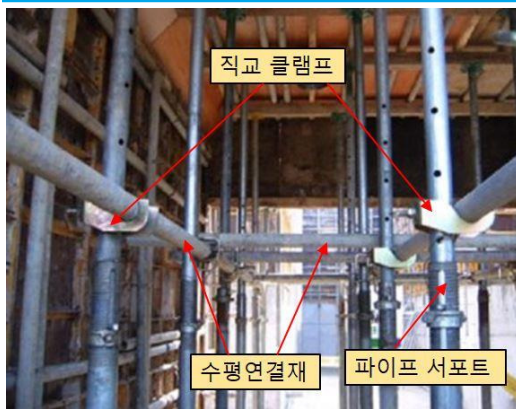


직교클램프

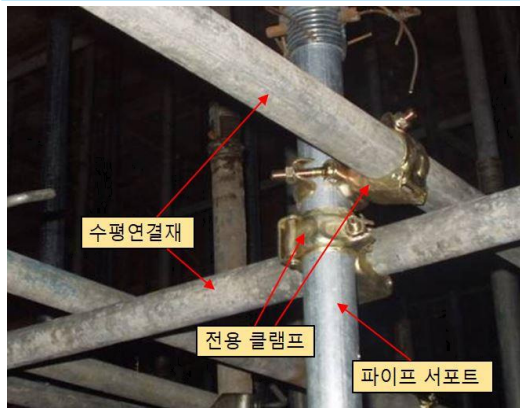


전용클램프

「산업안전보건 기준에 관한 규칙 제332조(거푸집동바리 등의 안전조치)」에서 수평 연결재는 동바리 높이가 3.5m를 초과하는 경우에는 높이 2m 이내마다 2개 방향으로 설치하여 수평연결재의 변위를 방지하도록 규정하고 있으나 붕괴 사고 현장에서 위와 같은 규정은 지켜지지 않았다.



수평연결재에 직교클램프 설치
타 현장 사례(불량)



수평연결재에 전용클램프 설치
타 현장 사례(양호)

그리고 붕괴된 파이프서포트는 성능검정이 미비된 제품이 사용되었고 콘크리트 타설 중 거푸집동바리의 변형·변위 및 침하 유무 등을 감시할 수 있는 감시자를 배치하지 않은 것으로 조사되었다.

상기 조사 내용을 토대로 파이프서포트 붕괴 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 거푸집동바리 구조검토 및 조립도 작성
- ▶ 수평연결재는 안전인증을 받은 전용 클램프를 사용하여 X, Y축 2개 방향으로 설치
- ▶ 파이프서포트는 성능검정에 합격한 제품 사용
- ▶ 콘크리트 타설 시 동바리의 변형·변위 등을 점검하는 감시자 배치

2-2. 시스템동바리 붕괴 사고 사례

● 현장 개요 및 사고발생 상황

붕괴 사고 현장은 지상1층 규모의 철근콘크리트 구조 군 시설 공사로 시스템동바리 높이가 11.6m 이고 슬래브 두께는 1.0m 로 붕괴에 취약한 조건이었다. 그리고 사고 발생 시 슬래브 콘크리트 타설 작업 중이었고(벽체 콘크리트는 사고발생 전 '20. 6. 4~9.16 동안 3회 분리 타설) 공정율은 약 50% 진행 중이었다.

사고 당일 07:00분경부터 콘크리트공 11명, 펌프카 2대를 투입하여 콘크리트 타설 작업을 시작하였고 14:00분경까지 구조물 슬래브 두께 1m 중 0.5m 두께로 1차 타설 작업을 하였다.



16:20분경까지 구조물 슬래브 두께 1m에 대한 콘크리트 타설 작업을 하였고 미장공 4명이 투입되어 콘크리트 타설 면 미장작업을 하였다. 16:35분경 슬래브 콘크리트 타설 및 미장작업 중 시스템동바리가 붕괴 되어 콘크리트공 5명, 미장공 2명 등 7명이 콘크리트에 매몰되었으나 119에 의해 신속히 구조되어 다행히 사망자는 발생하지 않았다.



시스템동바리 붕괴 사고 현장



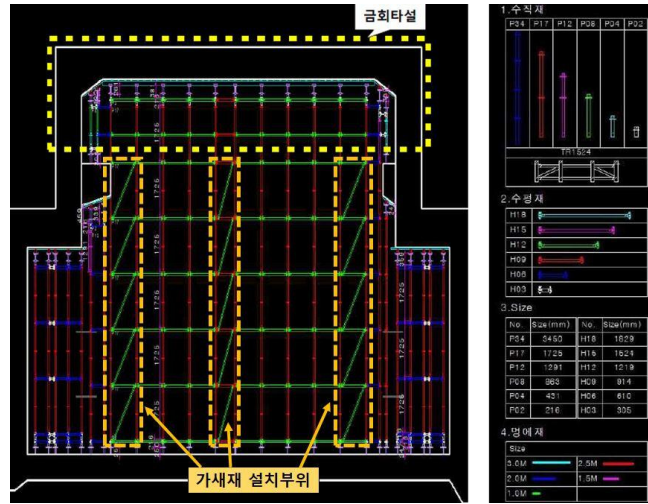
벽체 구조물 콘크리트 타설 현황
(하부 벽체 10.2m 기 타설)

● 사고원인 추정 및 대책

붕괴 사고가 발생한 거푸집동바리 종류는 가장 안전하다고 알려진 시스템동바리로 거푸집동바리 구조검토 및 조립도는 작성하였으나 구조해석*은 하지 않은 것으로 조사되었다.

* 개별 하중에 대한 독립된 부재의 안전성을 확인하는 구조검토와 비교해서 구조해석은 조합된 하중에 대한 조립된 부재의 실질적인 거동에 따른 안전성을 확인하는 방법

구조해석은 국토교통부 가설공사표준시방서에서 다음과 같이 규정하고 있다. 「일반적으로 동바리는 현장조건에 부합하는 각 부재의 연결조건과 받침조건을 고려한 2차원 또는 3차원 구조해석을 수행해야 하고 구조물의 형상, 평면선형 및 종단선형의 변화가 심하고 편재하의 영향을 고려할 경우에는 반드시 3차원 구조해석을 수행하여 안전성을 검증하여야 한다.」



시스템동바리 조립도(단면도)

시스템동바리 조립도(단면도)의 가새재 검토 결과 사고 발생 당일 타설한 금회 타설 부위 (위 그림 참조)에는 가새재가 없고 하부에도 일부 구간에만 가새재가 표기되어 있었다. 가새재는 수평하중에 저항하는 부재로 시스템동바리에서 붕괴 사고를 방지하는데 매우 중요한 부재이다. 위 조립도를 토대로 구조해석을 실시한 결과 수직재와 가새재는 구조적 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다.

그리고 군 시설공사의 특수성으로 자료 확보에 제한이 있었고 구조물 전체적인 시스템동바리 붕괴로 가새재의 실제 설치간격을 확인하는데 한계가 있었다. 상기 조사내용을 토대로 시스템동바리 붕괴 사고 예방대책을 다음과 같이 제시하고자 한다.

- ▶ 시스템동바리 설치 높이가 5.0m를 초과하는 경우 구조검토 뿐만 아니라 구조해석까지 실시하여 구조적 안전성 확보
- ▶ 시스템동바리 가새재는 구조검토에 의거 상하부 빠짐없이 조립도에 표기하고 실제 시공 시 시스템동바리 상부에 가새재를 빠짐없이 설치



2-3. 데크 플레이트 붕괴 사고 사례

• 현장 개요 및 사고발생 상황

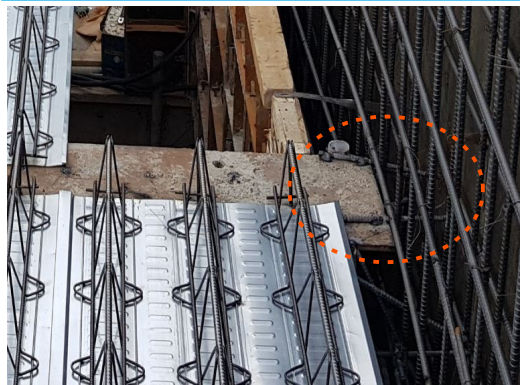
붕괴 사고 현장은 지하2층, 지상16층 1개동 규모의 철근콘크리트 구조 주거 및 업무시설 건설공사로 사고 발생 시 지상11~12층 기계식 주차장과 주거공간 사이에 중층 슬래브 콘크리트 타설작업 중이었고 공정율은 약 40% 진행 중이었다.

사고 발생 일주일 전 발주처 주관 회의에 발주처 부장, 원청 현장소장, 인근 현장 토목 소장 등 3명이 참석하였고 길이 7.5m 철골빔(H-300x300x10x15)을 제작하기로 하였다. 인근 현장 토목소장은 철골빔의 용도를 알지 못한 채 6m 철골빔과 1.5m 철골빔을 용접하여 철골빔을 제작한 후 사고 현장 앞 도로가에 적재하였다.

원청 현장소장은 철골빔 반입 시 이음부 용접부위에 대한 점검을 하지 않았고 거꾸집동바리 역할을 하는 철골빔에 대한 구조검토를 하지 않았으며 타워크레인으로 철골빔을 인양하여 지상 11~12층 기계식주차장 중층 슬래브 설치 예정 위치에 거치하였다. 그리고 철골빔 위에 데크 플레이트를 설치할 때 직영 반장이 철근 및 강관을 사용하여 철골빔 양단과 벽체 철근 간 보강 용접을 하였고 데크 플레이트 설치 후 철근을 배근하였다.

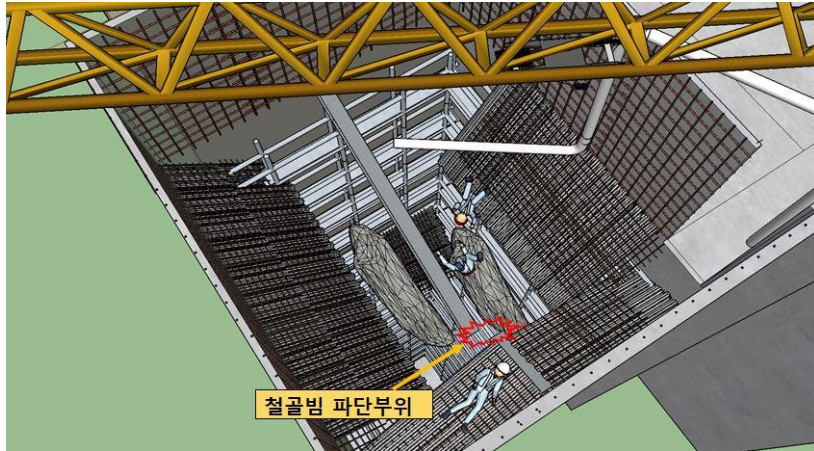


철골빔 거치 상태



철골빔과 벽체 철근 용접 상태

사고 당일 09:00분경부터 데크 플레이트 상부에서 목수반장 등 4명이 콘크리트 타설작업을 시작하였고 11:10분경 콘크리트 타설작업이 마무리 될 무렵 목수반장은 외부비계로 이동하였으며 11:20분경 철골빔 용접 이음부가 파단되면서 데크 플레이트 붕괴 사고가 발생하였다.



재해상황도 및 철골빔 파단 부위

붕괴 사고 후 콘크리트공 2명은 데크 플레이트 등과 함께 약 47m 아래로 추락하여 사망하였고 동료 작업자 1명은 인접한 철근을 잡고 가까스로 생명을 구하였다. 데크 플레이트 하부에는 추락방호망이 3단으로 설치되어 있었으나 콘크리트 등 상부 하중(약 9톤)에 의해 파손되면서 추락하는 작업자들을 지켜주지 못했다.



붕괴 전 데크 플레이트 상태



붕괴 후 데크 플레이트 상태



● 사고원인 추정 및 대책

붕괴 사고는 데크 플레이트와 콘크리트 하중을 지지할 목적으로 설치한 철골빔 제작 시 이음 부위를 부실하게 용접한 것이라고 할 수 있는데 작업 과정에서 문제점이 다수 발견되었다.

첫째, 설계변경 과정에서 문제점이 있었다. 당초에는 기계식 주차장 상부에 중층 슬래브가 없었는데 기계장치 소음 민원 해소, 설비 배관의 설치 공간 마련 등의 목적으로 설계변경이 시행되었는데 이 과정에서 발주처, 감리, 원청업체 등 공사주체 간 충분한 검토나 협의가 부족했던 것으로 조사되었다.

둘째, 철골빔 제작 및 반입과정에서 문제가 있었다. 길이 7.5m 철골빔 제작 시 6m, 1.5m 철골빔 이음부에 대한 용접을 부실하게 하였는데 철골빔에 용접 흔적이 일부 관찰되었다.



철골빔 접합부가 파단된 상태

셋째, 철골빔을 포함한 데크 플레이트, 콘크리트 하중에 대한 거푸집동바리 구조검토 및 조립도를 작성하지 않았다. 현장 경험에 의해 철골빔, 데크 플레이트를 설치하였고 철골빔 중간이 파단되어 데크 플레이트가 붕괴되리라고는 꿈에도 생각하지 못했다.

상기 내용을 토대로 데크 플레이트 붕괴 사고 예방대책을 다음과 같이 제시하고자 한다.

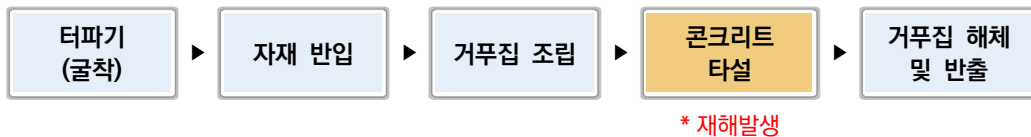
- ▶ 설계변경 시 발주처, 감리, 원·하청 등 공사주체간 면밀한 의사소통 및 협력체계 구축
- ▶ 철골빔 등 자재 반입 시 용접이음부에 대한 품질검사 실시(필요시 비파괴검사 실시)
- ▶ 거푸집동바리 용도로 설치하는 철골빔, 데크 플레이트에 대한 구조검토 및 조립도 작성 철저

2-4. 거푸집긴결재 파단에 의한 벽체 거푸집 붕괴 사고 사례

• 현장 개요 및 사고발생 상황

붕괴 사고 현장은 사방댐*, 골막이, 독쌓기 등 산림 피해복구 및 수해방지 시설 공사로 사고 발생 시 사방댐 구조물 작업중이었고 전체적인 공정율을 약 40% 진행중이었다. 사방댐 작업공정은 터파기, 자재반입, 거푸집 조립, 콘크리트 타설, 거푸집 해체 등 순으로 작업중이었고 재해는 콘크리트 타설 공정에서 발생하였다.

※ 당 현장 사방댐 작업 순서도



사고 발생 전까지 주요 작업상황을 살펴보면 굴착기를 사용하여 1소유역 사방댐 기초 터파기 실시 후 암반에 대한 정리작업을 하였고 유로폼을 사용하여 기초 거푸집을 설치한 후 콘크리트 타설작업을 하였다.

그리고 사방댐 하단부(H=1.5m)에 유로폼으로 거푸집을 설치하고 강관파이프, 철선 등을 사용하여 벽체 거푸집 긴결 작업을 실시한 후 상류 퇴적물의 이동을 차단하는 스크린(철골 구조물)을 설치하였으며 사방댐 하부 콘크리트 타설작업을 하였다.

또한, 붕괴 사고 5일 전부터 사방댐 본체 거푸집작업을 하기 위해 목공이 강관파이프를 사용하여 비계 발판을 2단(높이: 3.5m) 설치하였고, 사방댐 본체(높이: 3.5m)에 유로폼으로 거푸집을 설치하였다.

그리고 사고 당일 08:50분경부터 사방댐 본체에 대한 콘크리트 타설작업을 하였는데 타설 작업 시 현장소장은 레미콘 차량 안내를 위해 현장을 나왔고 작업반장은 작업지시 후 타 현장으로 이동함으로써 관리감독을 소홀히 한 정황이 드러났다.

비계 발판 위에는 펌프카 기사 1명, 목공 4명이 작업하고 있었는데 11:30분경 사방댐 벽체 거푸집이 붕괴되면서 추락하여 목공1은 콘크리트에 매몰되어 사망하였고 목공2는 거푸집에 신체일부가 깔려 부상을 당하였으며 목공3은 거푸집 외측으로 추락하였다.



• 사고원인 추정 및 대책

사고조사 결과 거푸집동바리 구조검토 및 조립도는 작성하지 않았고 콘크리트 타설 시 거푸집의 벌어짐, 변형을 방지하기 위하여 설치한 거푸집긴결재는 철근 양단에 플랫 타이(Flat tie)를 현장에서 용접하여 부실하게 설치하였다.



임의제작한 거푸집긴결재



거푸집긴결재(폼타이) 종류



거푸집긴결재 파단 상태-1

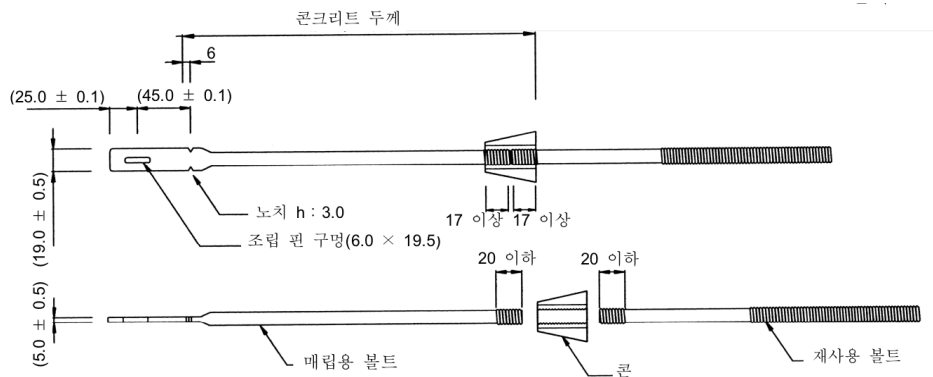


거푸집긴결재 파단 상태-2

사고현장 사방댐은 벽체두께가 최대 4m로 플랫타이 설치가 어려운 구간에 대해서는 한국산업 표준(KS F 8023, 거푸집 긴결재)에 의거 분리형 타이(콘과 볼트, 나사로 연결되는 구조)를 사용하여야 하나, 당 현장은 플랫타이에 철근을 용접하여 KS규격에 부적합한 거푸집긴결재를 사용한 것으로 조사되었다.

※ 당 현장에서 사용한 플랫타이는 한국산업표준 플랫타이 규격(폭 19mm, 두께 5mm)에 비해 두께가 약 40%에 불과

- a) 그림 2의 매립용 볼트, 제사용 볼트 및 제사용 핀볼트는 나사산을 포함한 바깥지름이 $(13.0 \pm 0.4) \text{ mm}$ 또는 $(16.0 \pm 0.5) \text{ mm}$ 이어야 하며, 타이틀 구성하는 볼트의 지름은 동일한 지름이어야 한다.
- b) 조립 핀 구멍이 있는 단부의 너비는 $(19.5 \pm 0.5) \text{ mm}$, 두께는 $(5.0 \pm 0.5) \text{ mm}$ 이어야 한다.
- c) 조립 핀 구멍의 너비는 $(6.0 \pm 0.5) \text{ mm}$, 길이는 $(19.5 \pm 0.5) \text{ mm}$ 이어야 한다.
- d) 노치 중심에서 조립 핀 구멍 중심까지의 거리는 $(45.0 \pm 0.1) \text{ mm}$, 조립 핀 구멍 중심에서 단부까지의 거리는 $(25.0 \pm 0.1) \text{ mm}$ 이어야 한다.
- e) 콘에 결합되는 볼트 나사의 길이는 17 mm 이상, 20 mm 이하이어야 한다.



한국산업표준(KS F 8023, 거꾸집긴결재)

또한 사방댐 거푸집으로 유로폼(Euro form)을 사용하였는데 거푸집 보강을 위해 설치한 강관 파이프는 후크(Hook) 등 전용철물 대신 철선으로 고정하였고 거푸집 및 긴결재 고정용 웨지 핀(Wedge pin)은 연결부 마다 2개를 직각으로 설치하여야 하나, 웨지 핀을 일부 미설치하였다. 위와 같이 부실하게 설치된 거푸집동바리는 구조검토 결과 콘크리트 타설 하중을 견디지 못하는 것으로 조사되었다.



거꾸집 붕괴부위 웨지 핀 및
철선 부실 설치 상태



거꾸집(유로폼) 정상체결 상태
(타현장 사례)



유로폼 웨지 핀 정상 체결 상태
(타현장 사례)



유로폼 후크 및 웨지 핀
정상체결 상태(타현장 사례)

그리고 사방댐 공사 등 사방사업은 「사방사업법 제26조(사업의 위탁)에서 시·도지사 또는 지방산림청장은 대통령령으로 정하는 바에 따라 산림조합법에 따른 산림조합 또는 산림조합중앙회에 사방사업의 시행을 위탁할 수 있다」는 법률에 의거 산림조합에서 시행하고 있으나 임도사업, 사방사업, 산지의 복구 등 산림토목 사업을 수행함에 있어 토목 등 건설기술자 참여는 드문 실정이다.

상기 내용을 토대로 사방댐 거푸집 붕괴사고 예방대책을 다음과 같이 제시하고자 한다.

- ▶ 거푸집동바리 구조검토 및 조립도를 작성하고 조립도 준수
- ▶ 거푸집 긴결재를 가설재 안전인증 대상에 포함시켜 안전성 확보
- ▶ 콘크리트는 분산 타설하고 감시자를 배치하여 거푸집동바리의 변형, 변위 및 침하 유무 등에 대한 점검 철저
- ▶ 콘크리트 타설 등 위험작업 시 관리감독자의 관리감독 철저
- ▶ 사방댐 등 산림토목 작업시 토목 기술자를 필수적으로 참여시켜 건설공사 역량 강화

3. 이슈 & 시사점

중·소규모 건설현장의 경우 거푸집동바리 구조검토 및 조립도 작성을 하지 않는 경우가 많고 콘크리트 타설 시 동바리의 변형·변위 등을 점검하는 감시자를 배치하지 않는 실정이다.

특히, 최근 건설현장에서 인건비, 공기를 절감하기 위해 데크 플레이트 슬래브와 철근 콘크리트 보 조합 구조를 많이 적용하고 있는데 콘크리트 타설 하중이 보 하부에 집중되어 보 하부 동바리에 대한 보강을 소홀히 하게 되면 붕괴 사고로 이어지게 된다.

그리고 거푸집동바리 구조검토 및 조립도는 작성하더라도 구조해석을 하지 않는 경우가 많다. 구조해석은 조립된 부재의 실질적인 거동에 따른 안전성을 확인하는 방법으로 동바리 설치 높이가 5m를 넘고 슬래브 두께가 두꺼울수록 필수적으로 수행해야 한다.

또한 구조검토 후 조립도 작성 시 시스템동바리 최상부에는 가새재를 표기하지 않는 경우가 있는데 이로 인해 현장에서 가새재를 누락 설치하게 되고 붕괴 사고까지 발생하는 경우가 있다.

설계변경 시 발주자, 설계·감리, 원·하청 등 공사주체간 면밀한 검토 및 협력체계 구축이 필요하나 특히, 중소규모 건설현장의 경우 발주자의 일방적인 요구에 의해 수시 설계 변경이 발생하고 있는 실정이다. 예를 들면 위 사고와 같이 중간에 슬래브를 추가하는 경우도 있고 특정 층의 층고를 높이는 경우도 있다.

현행 건축법상 대통령령으로 정하는 사항*의 변경은 사용승인을 신청할 때 허가권자에게 일괄 하여 신고할 수 있고 그 외 사항의 변경은 허가권자에게 허가를 받아야 한다. 아래 규정처럼 대통령령으로 정하는 사항은 구조물의 변경 작업으로 사고 위험이 큰 작업 임에도 사용승인 시 일괄 신고제 대상이라는 것은 문제가 있다고 판단된다.

• 대통령령으로 정하는 사항

1. 건축물의 동수나 층수를 변경하지 아니하면서 변경되는 부분의 바닥면적의 합계가 50㎡ 이하인 경우
2. 건축물의 동수나 층수를 변경하지 아니하면서 변경되는 부분이 연면적의 10분의 1 이하인 경우
3. 대수선에 해당하는 경우
4. 건축물의 층수를 변경하지 아니하면서 변경되는 부분의 높이가 1m 이하이거나 전체 높이의 10분의 1 이하인 경우
5. 허가를 받거나 신고를 하고 건축중인 부분의 위치가 1m 이내에서 변경되는 경우



그리고 거푸집긴결재(폼 타이, 플랫타이 등)는 거푸집동바리 붕괴 사고예방에 중요한 가설재임에도 방호장치 의무 안전인증 고시(고용노동부 고시 제2013-54호)의 안전인증 대상에서 제외되어 있어 사방댐 등 벽체 두께가 큰 구조물 작업 시 철근에 플랫타이를 용접하는 등 임의의 방법으로 부실하게 거푸집긴결재를 설치하고 있는 실정이다.

사방사업 등 산림토목 수행 시 산림조합은 주로 산림공학 기술자를 참여시키고 있어 비계발판, 거푸집동바리 등 건설기술 역량이 부족한 실정이다. 이러한 건설기술 역량 부족으로 인해 비계공이 설치해야하는 비계발판을 목공이 설치하고 거푸집동바리 구조검토도 미 실시하여 사망사고의 원인이 되고 있다.

4. 법 제도 & 사업 개선방안

공사금액 50억원 미만의 중·소규모 건설현장의 경우 거푸집동바리 구조검토 및 조립도 미작성, 콘크리트 타설 시 감시자 미배치 등에 의한 붕괴 사고를 예방하기 위해 거푸집 동바리 구조검토 비용 및 콘크리트 타설 감시자 배치 인건비를 산업안전보건관리비로 사용할 수 있도록 고용노동부 고시를 개정할 필요가 있다.

그리고 안전보건공단 건설업 유해위험방지계획서 심사·확인 관련 내규나 지침에는 거푸집 동바리 구조해석 관련 내용이 없어 사업 수행 시 문제가 되고 있다. 국토교통부 가설공사 표준시방서에서는 거푸집동바리 설치 높이가 5m를 초과하는 경우 구조해석을 실시하도록 규정하고 있는 바 이를 반영하여 건설업 유해위험방지계획서 심사·확인 관련 내규·지침을 보완해야 할 것이다.

위에서 언급한 바와 같이 건축물의 바닥면적, 연면적, 높이를 변경한다는 것은 구조물의 변경을 의미하는 것으로 실제 작업 시 상당한 위험이 따르므로 구조물의 면적, 높이를 변경하는 경우에는 허가대상으로 하고 일정 면적 이하의 마감재 등을 변경하는 경우만 사용승인 시 일괄 신고제를 적용할 수 있도록 건축법 등 관련 법 제도를 개정해야 할 것이다.

그리고 사방댐 등 벽체가 두꺼운 구조물을 시공하는 거푸집동바리, 콘크리트 타설작업을 수행함에 있어서 붕괴사고를 예방하기 위해서는 거푸집긴결재(폼 타이, 플랫타이 등)를 고용노동부 방호장치 의무 안전인증 대상에 포함시켜 안전성을 확보해야 할 것이다.

또한 산림조합은 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 의거 임도사업, 사방사업, 산지의 복구 등 산림토목 사업을 수행함에 있어서 산림공학 기술자와 함께 토목 등 건설 기술자 참여를 의무화하도록 관련 법 제도를 보완해야 할 것이다.

5 줄걸이 작업 시 사망사고

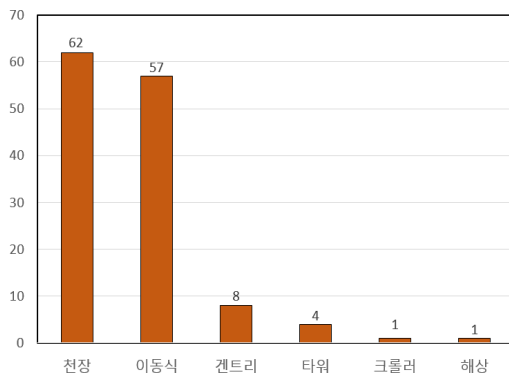
1. 줄걸이 작업시 사망사고 현황 및 통계

크레인을 이용한 중량물 인양시 줄걸이 작업 중대재해는 매년 약 20건 이상 발생하고 2016년부터 발생한 크레인 작업과 관련된 중대재해 324건 중 133건인 41%가 줄걸이 작업과 관련된 것으로 분석됐다. 또한, 최근 관련 재해가 집중적으로 발생 하는 등 증가 추세를 보이고 있다.

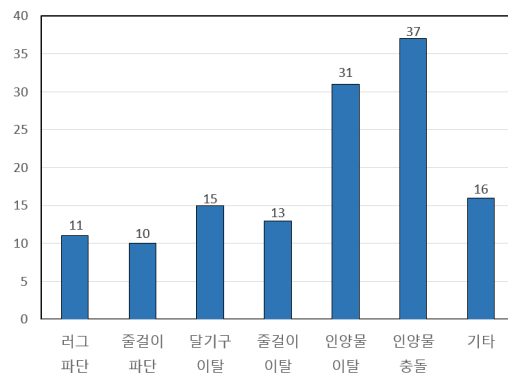
년도별 줄걸이 작업시 사망사고 현황 (2016~2021.6)

구분	'16	'17	'18	'19	'20	'21.6	계
중대재해 발생건수	20	23	22	30	25	13	133
사망자 수	20	24	22	30	25	13	134

2016년 01월부터 2021년 06월까지 발생한 크레인 중량물 인양작업과 직·간접적으로 관련된 중대재해 324건 중 줄걸이 작업과 관련된 재해 133건에 대한 재해 특성을 보면 크레인 기종별로는 천장 크레인과 이동식 크레인을 이용한 줄걸이 작업시 발생한 중대재해가 119건(89%)으로 가장 많이 발생하였고 재해 발생 유형으로는 인양물 충돌(끼임)에 의한 재해와 인양물이 줄걸이로부터 이탈하여 낙하 하면서 재해자가 깔리는 사고가 61건으로 전체의 51%를 차지하였다.



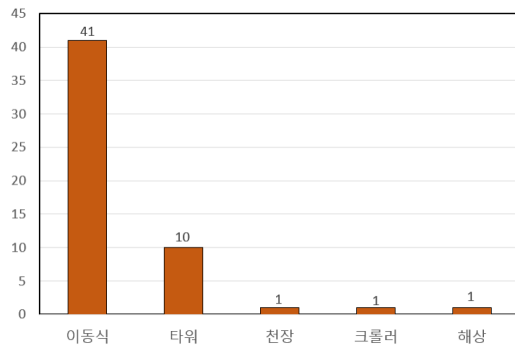
크레인 기종별 줄걸이 작업 재해



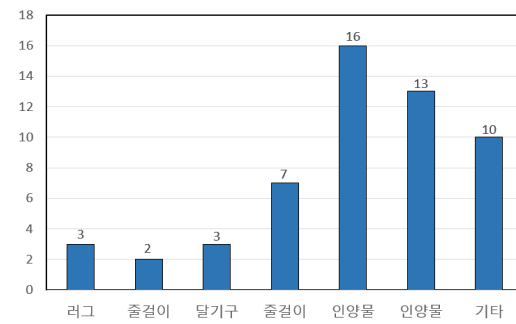
발생유형별 줄걸이 작업 재해



업종별 특성으로 건설업에서는 이동식크레인을 이용한 작업시에 41건(76%) 으로 가장 많이 발생하였으며 줄걸이에서 인양물이 이탈하여 낙하 하면서 재해자가 깔리는 사고가 16건(30%) 으로 가장 많이 발생하였다.

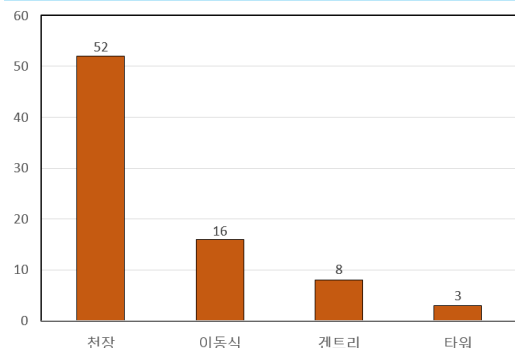


크레인 기종별 줄걸이 작업 재해(건설)

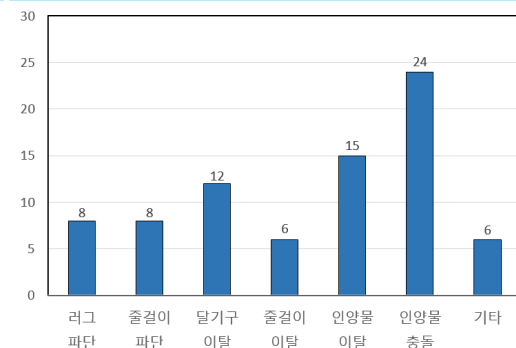


발생유형별 줄걸이 작업 재해(건설)

반면, 제조업에서는 제조업의 특성상 천장크레인을 이용한 작업시에 52건(66%) 발생하였으며 발생 유형으로는 인양물 이동시 충돌하거나 인양물과 고정 구조물 사이에 끼이는 사고가 24건 (30%)으로 가장 많이 발생하였다. 건설업과는 달리 중량물을 인양한 후 중량물에 부딪히거나 부딪힌 후 2차적으로 제품들 사이에 끼이는 사고가 가장 많이 발생하였으며 클램프와 같은 달기구를 많이 사용하는 특성상 달기구 이탈에 의한 재해가 상대적으로 높게 나타났다.



크레인 기종별 줄걸이 작업 재해(제조)



발생유형별 줄걸이 작업 재해(제조)

2. 줄걸이 작업 시 사고 사례

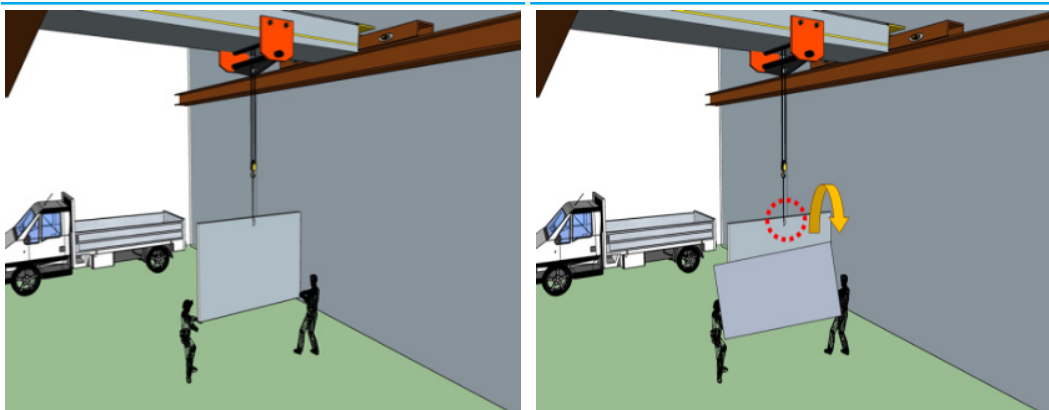
줄걸이 작업 관련 재해는 줄걸이 용구 준비, 인양물 특성파악, 줄걸이 체결, 줄걸이 해제까지 일련의 작업과정 중에 재해가 발생하며 유형별로 분류해 보면 러그, 훅, 슬링, 로프 등 줄걸이 용구가 파단되며 발생하는 경우와 줄걸이 작업 불량에 의한 클램프, 훅, 슬링 등 줄걸이 용구 이탈 또는 인양물 이탈되어 발생하는 경우, 신호체계 불량 등에 의한 인양·운반 중 중량물에 의한 충돌 및 충돌에 의한 끼임 등으로 발생하는 경우가 있다.

2-1. 러그 파단 사고 사례

• 현장 개요 및 사고발생 상황

사고발생 사업장은 철강제품을 주로 주문 제작하여 납품하는 사업장으로 사고 발생 당일에도 개인이 발주한 제품인 농업용 가교를 수주 받아 현장실사를 통해 치수를 측정하여 제작 작업에 착수였고 제작 품목에 따라 작업기간은 다소 차이가 있으나 재해발생 기인물의 경우 작업기간은 약 2주가량 소요되었으며 사고 발생당일 납품하기로 되었었다.

사고당일 평소와 다름없이 작업 수행을 위하여 작업자 2명이 08:00경부터 작업을 시작하였으며 17:00경부터 출고를 위하여 제품(400kg)에 부착된 러그에 체인슬링을 결속한 후 크레인 훅에 걸어 한사람은 한 손은 철판을 잡고 다른 한손으로는 리모컨을 켜 채로 크레인을 운전하였으며 다른 한사람은 흔들림을 막기 위해 양 손으로 제품을 잡고 이동하던 중 제품의 러그가 파단되면서 제품이 작업자들을 가격하여 척추와 늑골 등이 골절되는 부상을 당하였다.



재해발생 상황



● 사고원인 추정 및 대책

러그는 철재 잔재물을 활용하여 홀 가공 후 제품 인양 및 상차를 위해 제품에 용접하였으며 출고 후 현장에 설치를 위해 제품에 용접된 러그는 보통 산소절단을 통해 제거한다.

제품에 용접된 러그의 용접 이음 종류는 T형 필렛 용접이었다. 운반용 러그를 제품에 용접하는 경우 러그 전체길이에 대해 용접이 되어야 하나(AWS D1.1; 미국용접협회의 구조물용접기준), 현장 러그의 용접길이는 좌측면이 44.64mm, 우측면이 39.35mm로 러그 전체길이 85mm 보다 짧았다.

또한, 적정한 용접강도를 유지하기 위한 용접부의 비드 수(용접 반복 횟수)는 러그 두께가 10mm인 경우 4회로 제시하고 있으나, 현장에서 확인한 러그 용접부의 비드 수는 1회인 것으로 확인되었으며 현장에서 확인한 제품 400kg을 운반하기 위한 러그의 T형 필렛 용접부는 좌·우측의 목두께(어림치)가 각각 5mm, 3mm로 좌·우가 비대칭이어서 제품을 인양할 때 러그 용접부에 편심 하중이 작용하였을 것으로 추정되었다.

이러한 점을 고려하여 제품에서 러그가 탈락된 원인을 추정해보면 용접부의 용접 길이가 충분하지 않았고 용접부의 목두께가 각각 상이한 점을 미루어볼 때, 러그 용접부의 용입부족 및 비드 결함 등 용접부의 용접강도가 불충분 하였던 것으로 추정되었다.

또한, 제품에 부착된 러그 용접부에 충분한 강도가 확보되어 있지 않은 상태에서 크레인으로 제품을 운반할 때 정지 및 이동시 제품에 가해지는 충격하중으로 인해 운반용 고리인 러그가 탈락되었을 것으로 추정하였다.



유사 사양에 용접된 러그



철재 잔여물로 만든 러그

상기 조사내용을 토대로 재발방지 대책은 다음과 같이 제시하였다.

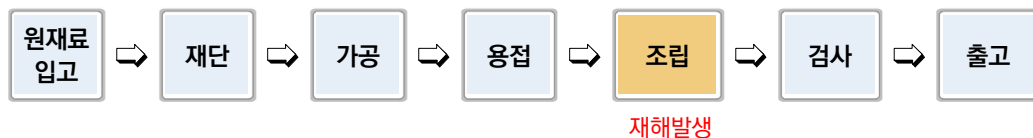
- ▶ 용접불량이 발생되지 않도록 러그 용접 부위는 전체길이에 대해 용접을 실시하고, 러그 용접 부위에 용접 용융물이 완전 용입되도록 용접한 후 용접상태에 대한 비파괴검사 등을 실시하여 중량물의 하중을 충분히 견딜 수 있는지 확인
- ▶ 크레인의 훅, 샤클, 링 등의 철구(러그)를 사용하여 줄걸이 작업을 하는 경우 인양작업 전 철구(러그)의 용접 상태 등 이상 유무를 확인한 후 작업
- ▶ 중량물 형상과 하중 등을 고려하여 러그의 수량, 용접부 크기 및 위치 등을 파악하여 러그 용접

2-2. 줄걸이 용구 파단 사고

● 현장 개요 및 사고발생 상황

수관식 보일러 생산 공장에서 재해자가 동료근로자 7명과 함께 수관식보일러 조립작업을 실시하던 중에 크레인에 줄걸이가 된 상태의 수관식 보일러 판넬(약 1.6ton) 조립을 위해 크레인을 조작하여 수평을 조절하는 과정에서 줄걸이가 끊어지면서 넘어진 보일러 판넬에 끼어 재해가 발생하였다.

※ 수관식 보일러 제작 공정



재해발생 조립공정은 상·하드럼, 수관, 판넬 등 기 제작된 수관식 보일러의 각 구조부를 정 위치에 배치하여 용접 등의 작업을 통해 고정하는 공정으로 재해자는 확관 작업(오전) 및 평철 부착 작업(오후)을 실시하였고, 재해는 보일러 판넬 부착작업 중 발생하였다.

● 사고원인 추정 및 대책

사고 당시 파단된 벨트 슬링의 사용하중 초과 여부를 확인하기 위하여 파단된 벨트 슬링을 확인 한 결과, 매우 노후화 되어 벨트 슬링의 제원, 사용하중 등의 표시가 탈락되어 있었으며, 구매 이력에 대한 추적이 불가능하여 해당 벨트 슬링에 대한 사용하중을 확인 할 수 없었다.

다만, 현장에서 사용하고 있던 유사한 벨트 슬링에 대한 사용하중을 기준으로 사용하중 초과 여부에 대해 확인하였으며 판넬의 무게는 사용하중을 초과하지 않은 것으로 판단하였고 그럼에도 벨트 슬링이 파단된 기술적인 원인은 아래 두 가지로 추정하였다.



사고 당시 판넬의 줄걸이 작업을 3회 시도만에 성공하였으며, 그 과정에서 길이가 다소 짧은 벨트 슬링(100mm)을 또 다른 벨트 슬링(50mm)과 샤클 등의 보조기구 없이 매듭을 지어 연결하였다. 이처럼 벨트 슬링간의 매듭으로 연결을 하는 경우, 매듭 부근에 응력이 집중되어 벨트 슬링에 손상이 가해질 수 있으며, 섬유제 벨트 슬링에 대한 한국산업표준(KS B 6241:2017)에서도 매듭인 상태로 사용을 금하고 있는 등 사고 당시 줄걸이 작업이 부적절하게 수행된 것으로 판단되었다.

또한, 현장에서 사고 당시 파단된 벨트 슬링의 상태에 대해 확인한 결과 파단부 이외의 벨트 슬링에 노후화로 인한 손상이 발견되었다.



일부 손상이 확인된 벨트 슬링



크레인에 걸려있던 파단 슬링

위 사실을 종합하여 기술적인 원인을 추정하였을 때, 파단된 벨트 슬링은 장기사용 및 노후화에 의해 강도가 약해진 상태였으며 잘못된 줄걸이 방식으로 인해 매듭 부근에 응력이 집중적으로 가해지고, 노치부에 하중이 집중 부하되어 파단된 것으로 추정되었다.

상기 조사내용을 토대로 재발방지 대책을 다음과 같이 제시하였다.

- ▶ 크레인을 사용하여 중량물 취급 작업을 실시하는 경우 안전대책의 내용을 포함하는 작업 계획서를 작성하고 노후 줄걸이 용구의 관리 및 점검을 철저히 하여 적절한 줄걸이 방법을 선택

2-3. 줄걸이 용구 이탈 사고

• 현장 개요 및 사고발생 상황

본 사업장은 반응기, 탱크류, 경판 등을 제작하는 사업장으로 주로 각 업체에서 제작품에 대한 발주를 받아 제작하고 있다. 재해자가 2.5톤 천장주행 크레인을 이용하여 철판 2장을 수평형 클램프에 물려 약 10m 이동한 후 철판 2장이 겹치도록 정렬작업 중 철판이 클램프에서 이탈되면서 재해자와 부딪히고 이로 인해 바닥에 넘어져 사망한 재해이다.

• 사고원인 추정 및 대책

이탈된 클램프는 약 3년 9개월을 사용한 수평형 클램프로 기인물과 동일모델인 새 제품을 비교하면 캠의 도장이 벗겨져 있고 캠과 패드의 치선이 마모되어 있다.



이탈된 클램프



기인물과 동일모델의 클램프

권상용 클램프는 권상하중을 캠에 전달시켜 캠과 패드가 자재를 찍어 누르는 힘으로 권상 및 운반하기 때문에 캠 및 패드의 치선이 마모되면 자재가 미끄러져 권상 및 운반도중 자재가 클램프에서 이탈 될 가능성이 있다.

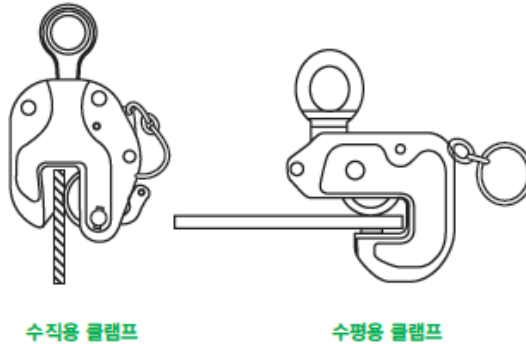
또한, 권상용 클램프에는 수직형과 수평형클램프가 있으며, 작업방법에 맞는 클램프를 사용하여 하고 철판을 수직으로 들어올리는 경우에는 수직형클램프를 사용하여야 하나 용도에 맞지 않는 수평형클램프를 사용하여 클램프의 체결이 약화된 것으로 판단된다.

상기 조사내용을 토대로 재발방지 대책을 다음과 같이 제시하였다.

- ▶ 클램프 구성품 및 캠 및 패드의 치선이 교체기준(0.5mm)을 초과하는 클램프는 클램프를 교체하여 작업 실시
- ▶ 개구부가 수직으로 권상되는 경우에는 수직형 클램프 사용



- ▶ 클램프에는 철판 1장을 물려 권상작업을 하며, 개구부가 수직으로 권상되는 경우에는 수직형 클램프를 사용하며, 제품 설명서에 명시된 작업방법을 준수하여 작업을 실시하여야 한다.



수직, 수평용 클램프 올바른 사용 예

2-4. 줄걸이 이탈 사고

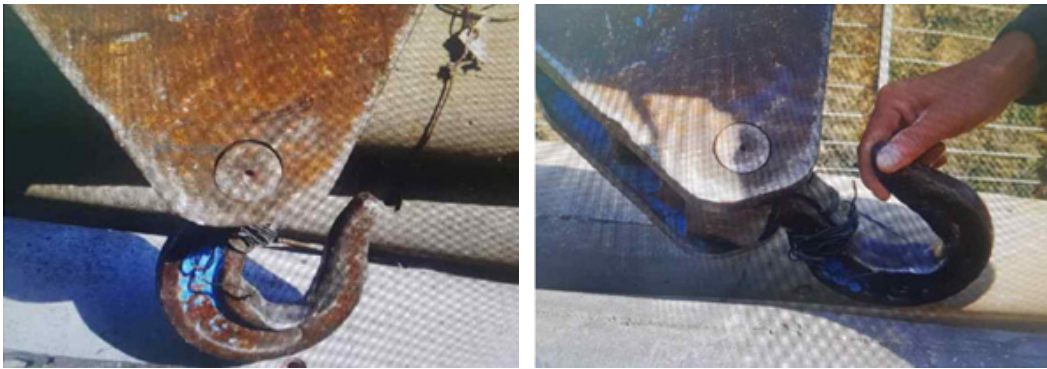
• 현장 개요 및 사고발생 상황

통신전주(L=7m, 약 370kg) 철거 현장에서 전주를 와이어로프(Ø16mm) 한 줄로 묶은 후 이동식 크레인(4.5톤)으로 전주를 세워 인양하여 적재함에 쌓인 전주들 위에 밀둥을 대고 눕히는 과정에서 피재자가 전주 철거부 되메우기 작업을 위해 이동하던 중 크레인 훅(Hook)에서 와이어로프가 이탈되어 전주가 낙하(H≈8m)하면서 적재함 옆에 있던 피재자의 머리와 충돌하여 사망한 재해이다.

• 사고원인 추정 및 대책

재해발생 당일 지방도 주변에 세워진 전주(약 31본)를 철거할 예정이었고, 재해발생 당시 13번째 전주를 철거하던 중이었다. 이동식크레인의 훅(Hook)은 해지장치를 철선으로 묶어 훅이 개방된 상태여서 그 기능을 제대로 유지할 수 없는 불량한 상태였고, 와이어 로프를 이동식크레인 훅에 걸고 푸는 작업을 반복하는 과정에서 훅해지 장치를 철선으로 미리 묶어 놓은 것으로 확인되었다.

작업 시작 전 훅(Hook) 해지장치의 상태를 점검하지 않고 인양 작업을 한 것으로 추정되었으며 적재함에 상차된 12본의 전주들 위에 밀둥을 대고 하역하는 과정에서 전주와 전주사이 틈새 또는 단차 발생에 의해 밀둥이 미끄러지면서 훅에 매달려 인장력을 받고 있던 와이어로프가 출력거림과 동시에 훅에서 이탈한 것으로 추정되었다.



철선으로 묶어 무효화 시킨 해지장치

또한, 크레인 조종 자격이 있는 운전자가 이동식크레인 조종 업무를 수행하지 않았고, 부득이한 경우 유자격 조종자를 대체 투입하여야 하나 크레인 조종 자격이 없는 작업 반장이 조종 업무를 하였으며 작업지휘자로 지정된 작업반장은 이동식크레인 조종을 하면서 인양 작업 반경 내 근로자가 낙하에 의한 맞음 위험이 없도록 작업 반경 밖의

안전한 장소에 근로자를 대피하도록 하지 않았다.

상기 조사내용을 토대로 재발방지 대책을 다음과 같이 제시하였다.

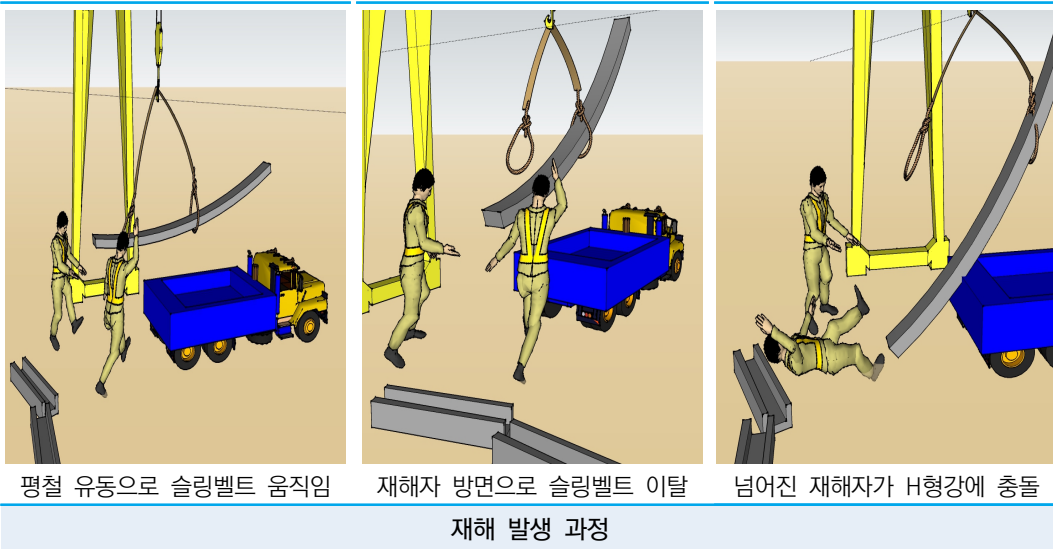
- ▶ 통신전주 등 중량물 취급 작업 시 인양 와이어로프의 출렁거림 등에 의하여 혹에서 이탈 위험이 크므로 반드시 혹 해지장치를 설치하여야 하고, 작업 시작 전 혹 해지장치 정상 작동 여부 등 점검 철저
- ▶ 통신전주 등 중량물 취급 작업 시 주변 근로자가 낙하(맞음), 협착, 충돌 등의 위험에 대한 안전대책과 통신전주 해체방법 및 순서도면, 사업장내 연락방법 등에 대한 해체작업 계획을 철저히 수립하여야 하고, 작업 반경 내 근로자를 작업 반경 밖의 충분히 안전이 확보된 장소로 대피하도록 하는 등 작업지휘 철저
- ▶ 이동식크레인 조종 자격(기중기운전기능사)을 취득하거나 해당 교육기관에서 교육 이수 후 시험에 합격한 유자격자가 이동식크레인 조종



2-5. 인양물 이탈 사고

• 현장 개요 및 사고발생 상황

공장 내에서 트럭으로부터 철강자재(평철/길이6M/무게 1.4ton)를 천장크레인으로 이동시키며 인양줄을 이용 하물의 균형을 맞추던 중 하물이 흔들리며 결속된 벨트에서 이탈 되면서 재해자와 충돌하여 바닥에 있던 철근자재(H형강)에 머리를 부딪혀 사망한 재해이다.



• 사고원인 추정 및 대책

재해자는 차량 위에서 2줄걸이 방법으로 결속된 평철 묶음을 호이스트에 연결하고 현장소장은 리모컨을 이용하여 크레인을 작동시켰다. 평상시 평철 운반 작업 시에는 H형강 같은 빔을 이용하여 구부러짐을 방지한 상태에서 작업을 하였으나 사고당일은 이를 시행하지 않았다.

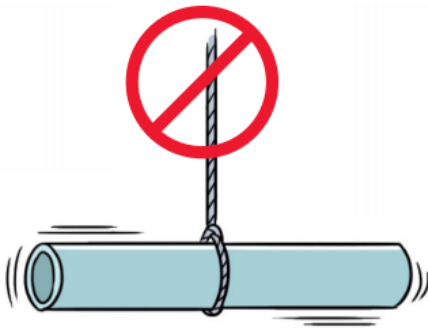
크레인 줄걸이 방법을 2줄걸이로 수행을 하였으나, 들어올려 옮기는 과정에서 평철의 특성 상 유연성에 의해 휨현상과 슬링벨트의 유동(이격)이 발생하고 이를 잡아주기 위하여 평철묶음 한쪽에 위치하여 작업하던 재해자가 벨트에서 이탈된 평철묶음에 맞으며 넘어져 머리부분에 상해(2차 부딪힘)를 입어 사망한 것으로 추정된다.

평철묶음은 2줄걸이 시 줄간 간격이 2m이내면 아치형으로 변형, 3m30cm 이상이면 U으로 변형되는 것으로 판단되나 평철묶음의 변형과 상관없이 두 경우 모두 슬링벨트의 이동(간격이 넓어지거나 좁혀지거나)이 발생하며 흔들림으로 평철 하역 시 벨트에서 이탈 가능성이 매우 높다.

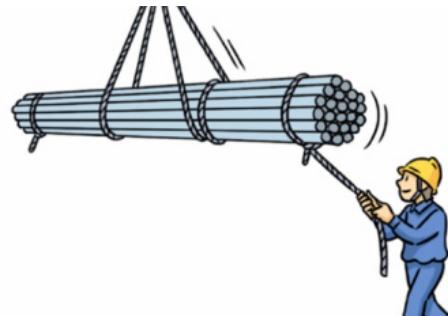
또한 평철의 유연성(휨)에 의하여 무게중심이 지속적으로 변동됨에 따라 체결된 슬링벨트의 유동 및 이탈이 발생할 수 있음을 사전에 인지하고 있었음에도 불구하고 화물의 중심 위치를 잡아줄 수 있는 방법을 택하지 않고 하역작업을 실시하였다.

상기 조사내용을 토대로 재발방지 대책을 다음과 같이 제시하였다.

- ▶ 작업 전 중량물 형상에 따라 무게중심을 정확히 파악하고 슬링의 사용 줄 수를 정해야 하며 형상이 긴 중량물은 2줄걸이 후 적당한 인양 각이 형성되도록 줄걸이하여 보조 로프를 이용하여 회전이나 흔들림을 방지해야 한다.



1줄걸이 금지



보조로프 사용

2-6. 인양물 충돌 사고

● 현장 개요 및 사고발생 상황

3,000톤 프레스 공정의 금형 보관장에서 크레인 운전자 등 3명이 1개조로 금형을 교체하기 위해 크레인을 이용하여 금형을 운반하는 과정에서 인접하여 보관된 금형과 권상한 금형사이에 위치한 재해자가 협착되어 인근병원으로 후송 치료 중 사망한 재해이다. 해당 공정은 3000톤 프레스에 장착된 상하 금형(4개 공정으로 구성)을 이용하여, 절단된 철판을 제품의 기본적인 형태의 패널로 만드는 공정이다.

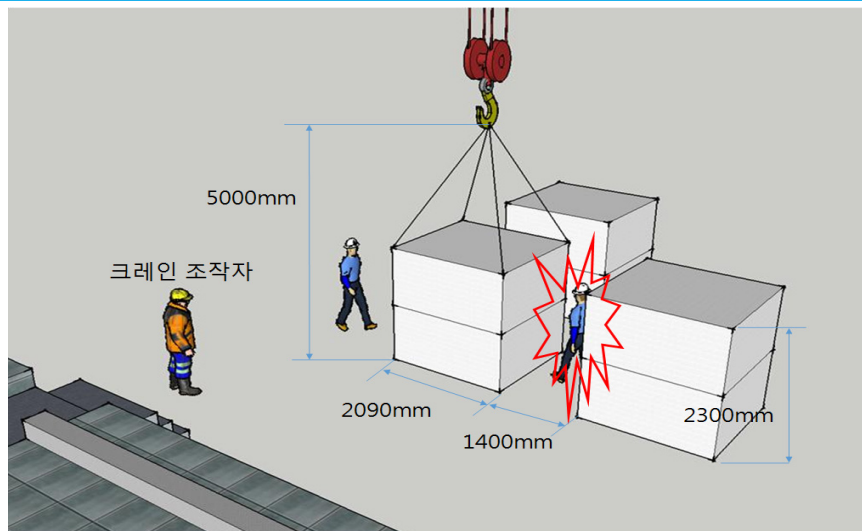
● 사고원인 추정 및 대책

프레스에서 빼낸 기존 금형을 보관장소에 운반한 후 동일선상 1.4m 거리에 있는 교체를 위한 금형을 운반하기 위해 크레인의 주행은 하지 않고 횡행으로 이동하여 와이어로프를 체결하고 권상 하였다.



금형 권상시 무게 중심이 맞지 않아 흔들렸을 것이라는 추정과 금형 권상과 동시에 이동(주행 방향)하는 과정에서의 흔들렸을 것이라는 추정이 있으나, 권상된 금형의 무게중심이 맞지 않아서 금형이 흔들려 재해자가 협착 되었다고 가정한다면 기존 금형과 교체 금형사이의 거리인 1.4m에서 피재자 협착부위 치수(약 0.3m)를 고려할 경우, 최소 1.1m 이상의 폭으로 흔들려야한다.

금형이 1.1m 폭만큼 흔들리기 위해서는 크레인이 약 15.6° 정도의 각도로 벗어나야 하나, 크레인의 주행이 없었고 횡행으로만 이동한다면 15.6° 정도의 각도가 벗어나기는 어려울 것으로 판단되고, 와이어로프의 체결이 어려운 상태로 금형을 권상하면서 동시에 이동했을 가능성이 높은 것으로 추정된다.



재해발생 상황도

재해발생 원인으로는 크레인을 사용하여 중량물을 취급하는 경우 일정한 신호방법을 정하여 신호하고 크레인 조작자는 그 신호에 따라서 작업하여야 하나 신호체계 없이 크레인 조작자의 판단하에 단독으로 작업을 수행하였다. 또한, 크레인을 사용하여 하물을 인양하는 경우 인양 중인 하물의 이동경로에 있는 근로자의 출입을 미리 통제하여서 작업하여야 하나 동료작업자가 통상적으로 인양하는 하물 주위에서 하물과 함께 움직였다.

상기 조사내용을 토대로 재발방지 대책을 다음과 같이 제시하였다.

- ▶ 크레인을 사용하여 중량물을 취급하는 경우 일정한 신호방법을 정하여 신호하도록 하고 운전자는 그 신호에 따라야 함
- ▶ 크레인을 사용하여 작업을 하는 경우 인양 중인 하물이 작업자의 머리위로 통과하지 않도록 미리 크레인의 이동경로상의 모든 근로자의 출입을 통제

3. 이슈 & 시사점

국내·외 줄걸이 작업자 관련 제도 비교

구 분	한국	일본	미국	영국
취업제한	×	○	×	×
줄걸이 작업자	1톤이상 크레인 사용 특별교육 2시간(일용) 16시간(상용)	1톤이상 자격교육 19시간 1톤 미만 특별교육 9시간	자격자	계획 및 작업 허가자
신호수	타워크레인 특별교육 8시간(일용) 16시간(상용)	줄걸이 작업자교육과정 포함	자격자	신호 책임자
공인교육과정	×	○	○	○

그러나 줄걸이 용구의 파단에 의한 사고나 줄걸이 및 인양물이 이탈하여 발생한 사고는 줄걸이 작업자의 지식이나 숙련도와 관련되며 인양 중 주변 작업자가 인양물에 충돌되거나 충돌후 2차적으로 주변 적재물 등 사이에 끼이는 사고는 신호수의 지식이나 숙련도와 관련된다.

따라서 줄걸이 작업 및 신호와 관련된 재해는 결함이 있는 공구, 자재 등을 사용하거나 인양절차 및 방법등이 적절하게 이행되지 않는 등 작업자의 지식 및 숙련도가 부족해서 발생한다고 볼 수 있다.

그러나 국내 법 및 규정에는 크레인 운전자와 줄걸이 작업자 및 신호수에 대한 구체적으로 구분되지 않고 크레인 사용자 및 신호수는 사업주가 실시하는 특별교육 수강만으로 작업을 수행할 수 있어* 작업자의 관련 지식이나 숙련도를 보증할 수 없다.

* 운전석이 없는 천장크레인과 무인 타워크레인(5톤 미만) 운전자도 줄걸이 작업을 할 수 있음(유해·위험작업의 취업제한에 관한 규칙)

또한, 1톤 미만 크레인은 자격이나 교육이수 없이 사용할 수 있고 줄걸이 작업도 수행할 수 있는 사각지대가 발생한다.



4. 법 제도 & 사업 개선방안

줄걸이 작업시 발생 사고 달기구, 줄걸이, 인양물 등 다양한 요인이 관여하고 있으며 이러한 요인들을 안전하게 관리하고 사용하기 위해서는 양중기, 줄걸이 용구, 인양물의 특성 등에 대한 작업자의 지식과 줄걸이 방법, 인양물의 무게중심 파악 등 숙련도에 의존한다. 따라서 크레인의 과부하방지장치 등 양중기계의 물리적인 안전조치와 무관하며 줄걸이 작업자의 역할, 자격 및 교육에 대한 구체적 기준 마련 필요성이 있다.

또한, 신호수에 대한 교육은 타워크레인 사용 시에만 국한하지 말고 시야가 확보되지 않는 모든 크레인 작업으로 확대가 필요하며 줄걸이 작업은 국외 선진국과 같이 크레인의 정격하중에 따라 교육 수준을 구분하지 말고 모든 크레인에 대한 줄걸이 작업으로 확대함으로써 현재 누구나 할 수 있는 1톤 미만 크레인 작업에 대한 사각지대 해소가 필요하다.

6 건설장비 사망사고

1. 건설장비 사망사고 현황 및 통계

국내 건설장비는 건설기계관리법에 의거 굴착기, 지게차, 기중기, 천공기 등 27종으로 분류되어 있고 등록대수는 약 52만대로 자동차 등록대수 약 2,200만대의 2.4%를 점유하고 있다. (출처 : 대한건설기계안전관리원)

※ 최근 건설장비 사망사고 현장

- 2021. 9.11.(토) 담양 00포장 복구현장 후진하는 타이어롤러 바퀴에 깔림(사망1명)
- 2021. 9.26.(일) 세종 00레일중량화 건설현장 굴착기 선회 중 끼임(사망1명)
- 2021.10. 8.(금) 울진 00재해복구 건설현장 발파 덮개 인양 중 굴착기 전도(사망1명)
- 2021.10. 8.(금) 완도 00배수로 개선사업 레미콘 트럭 바퀴에 깔림(사망1명)
- 2021.10.15.(금) 부천 00가로등 보수현장 고소작업대와 구조물 사이 끼임(사망1명)

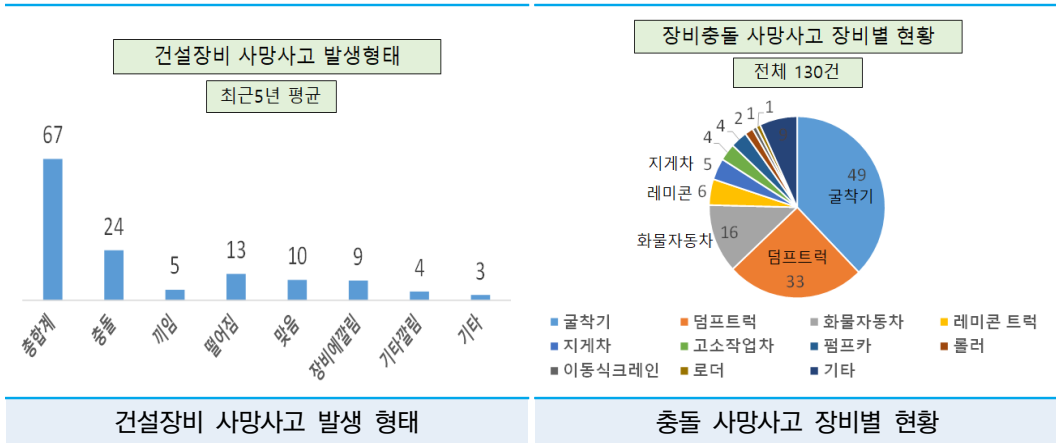
건설공사가 대형화, 고층화됨에 따라 건설장비 사용은 필수적이고 그에 따라 현장에서 장비관련 사망사고가 계속해서 발생하고 있다. 매년 건설현장에서 장비사고로 60~70건의 사망사고가 발생하고 있는데 이는 건설 사망사고의 약 16%를 점유하는 것으로 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

[표 1] 최근 5년 이동식 건설장비 중대재해 발생 현황

[중대재해 조사 기준]

구분	5년 평균	2016	2017	2018	2019	2020	'21.6월
사망사고(건)	67	71	75	59	65	71	27

건설장비 사망사고 발생형태별 분석결과 충돌이 가장 많았고 장비에서 추락, 맞음, 깔림 순으로 나타났다. 또한 건설장비 종류별 분석결과 굴착기, 트럭류, 레미콘, 지게차 순으로 나타났다.



2. 건설장비 사고 사례

최근 발생한 건설장비 사망사고는 무자격자 운전, 유도자 미배치, 장비 고장 등에 의한 충돌, 끼임, 깔림 등이 대부분이고 현장에서 세심한 작업관리를 한다면 충분히 예방할 수 있다고 판단된다.

또한, 현장 가설도로나 통행로 상태를 보면 건설장비와 작업자 이동통로가 구분되지 않아서 건설장비와 작업자가 혼재되어 사고위험을 증가시키고 있는 실정이다. 그리고 건설장비 신호수, 유도자는 대부분 협력업체에서 인력회사를 통해 채용하고 있고 신호, 유도에 대한 경험이 부족한 외국인, 여성 등 취약 일용 근로자가 현장에 투입되고 있으며 심지어 신호수나 유도자가 사고를 당하는 경우도 있다.

그리고 건설장비에 설치한 후방 카메라, 후진 경보장치 등 안전장치 고장율은 조사결과 약 20% 내외로 나타났다. 안전장치 고장에 의해 안전석 모니터가 보이지 않는 상태 및 경보장치 미작동 상태에서 무모하게 후진하다가 사고가 발생하고 있다. 다음은 건설장비별 사고 사례를 정리하였다.



2-1. 굴착기 끼임 사고 사례

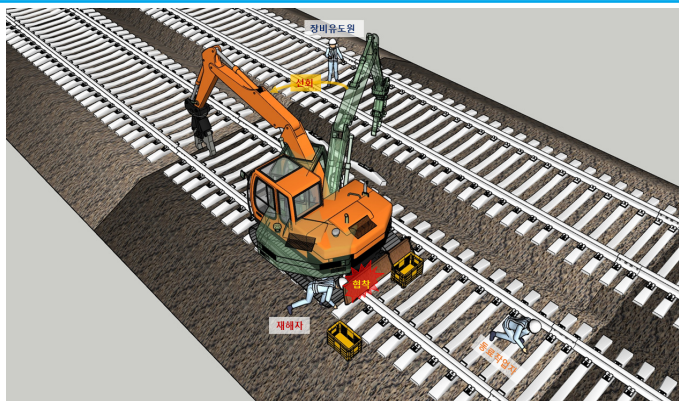
• 현장 개요 및 사고발생 상황

사고 현장은 경부선 철도 레일 중량화 공사현장으로 굴착기를 사용하여 철도 레일의 기존 PC 침목을 보다 튼튼한 PC 침목으로 교체하는 작업 중 재해자가 선회하는 굴착기 후면부와 도저블레이드 사이에 머리가 끼여 사망하였고 공정율은 약 8% 진행 중이었다.

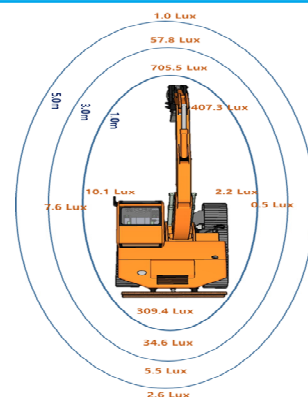
작업은 철도공사 특성상 야간에 진행되었는데 사고 전일 23:30분경, 관리자 및 작업자 50명이 현장에 출근하였고 작업내용 설명과 안전교육 후 사고 당일 00:30분경부터 작업을 시작하였다. 그리고 작업시간은 00:30~04:50(4시간 20분)이고 사전에 협의하여 열차 운행은 차단된 상태였고 2개조로 나누어 작업을 진행했는데 작업자 수는 앞 조가 굴착기 기사를 포함하여 15명이었고 뒤 조는 굴착기 기사 포함 14명 이었다.

재해자가 속한 뒤 조의 작업상황을 살펴보면 작업반장 1명, 코일스프링클립 제거 6명, 해체한 레일체결구 회수 2명, 레일 인상 2명, 새로 교체한 PC침목 레일 체결구 준비 및 절연블럭 배치 2명, 굴착기 기사 1명 등 14명이 한조를 이루어 작업하였다.

사고 당시 굴착기의 장비 유도원(1명)이 배치되어 있었으나 주변이 어두운 야간작업 이었고, 기존 PC침목 교환작업 중인 굴착기의 전방(2시 방향)에서 유도작업 중이었기 때문에 재해자의 위치와 작업상황을 알지 못했다. 또한, 굴착기 후방 반경 1m 조도는 약 309 Lux였고 반경 3~5m 조도는 약 5.5 Lux로 조사되었다.



재해 상황도



굴착기 주변 조도



사고발생 굴착기 운전원은 기존 PC침목 및 기타 폐기물을 수거하기 위해 후방에 정차해있던 모터카의 전조등이 반사되어 작업에 어려움이 있어 후사경의 각도를 조절했고 굴착기 후방에서 지속적으로 작업이 이루어져 출고 시부터 굴착기에 내장되어 있는 후방 센서에 의한 경보음이 지속적으로 울림에 따라 경보음이 울리지 않게 사전에 경보 기능을 해제하였다.



사고발생 굴착기(0.2m³)



굴착기 후사경
(젖혀진 상태)



굴착기 후방 끼임 부위 및
절연패드 보관상자

● 사고원인 추정 및 대책

사고가 발생한 굴착기 전방(2시 방향)에는 장비 유도자가 배치되어 있었으나 후방은 PC 침목 교환 등의 작업 과정에서 수시로 굴착기 선회가 발생함에도 불구하고 작업자가 작업 반경 내 출입을 금지하거나 접촉 등을 방지할 수 있는 조치를 하지 않았다.

또한, 모터카 조명의 눈부심, 빈번한 굴착기 후방 근접작업 등으로 굴착기 운전자가 장비의 후방 경보 기능을 해제하여 후방센서 및 경보음이 작동하지 않는 상태에서 후방을 확인 할 수 없는 각도로 후사경의 각도를 변경하고 작업하는 등 작업 전 굴착기의 안전장치 정상작동 여부 및 구체적 작업방법 미확인 등 관리감독이 부족하였다.

그리고 사고발생 당일 작업에 대한 작업계획서가 작성되어 있으나 궤도작업의 일반적인 사항 이외에 실제 현장에서 사용하는 장비의 종류 및 성능, 운행경로, 작업방법 등이 수립되지 않았으며, 궤도작업에 담당 작업 인원만을 지정했을 뿐 구체적인 작업순서, 작업 방법 및 위험요인에 대한 안전조치 방법 등 현장 여건을 반영한 작업계획은 수립되지 못하였다.

상기 조사 내용을 토대로 굴착기 끼임 사고 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 사업주는 야간작업 등 작업특성에 맞는 장비 유도자를 배치하고 위험작업 반경 내 작업자가 출입하지 못하도록 조치

- ▶ 사업주는 굴착기에 자재 보관상자를 설치하지 말고 위험반경 외의 장소에 자재 및 작업용구를 운반할 수 있는 작업대차를 사용하는 등 작업자의 충돌, 끼임 재해를 예방할 수 있는 작업계획 수립 및 관리감독 철저
- ▶ 사업주는 야간작업시 굴착기 후사경에 눈부심이 발생하지 않도록 조명시설을 설치하고 작업 실시

2-2. 고소작업대 전도 사고 사례

● 현장 개요 및 사고발생 상황

사고 현장은 지상3층 규모의 철골 구조 공장 건설공사로 재해당시 고소작업대(차량탑재형)를 사용하여 지상3층 외벽의 창호 유리 설치 중이었고 고소작업대가 전도되면서 작업자 2명이 약 13m 아래로 추락하여 1명이 사망하고 1명이 부상하였으며 전체적인 공정율은 약 80% 진행 중이었다.

사고 당일 07:00분경부터 창호공 3명이 현장에 출근하여 자재(유리) 반입작업을 하였고 고소작업대가 현장에 도착하여 07:40분경 작업장소에 설치작업을 하였다. 그리고 08:00분경부터 유리 설치작업을 하였는데 창호공 3명중 2명은 고소작업대에 탑승하여 유리 설치작업을 하였고 나머지 1명은 지상1층 전면부 유리 코킹작업을 하였다.

사고는 작업대에 재해자 2명(약 145kg), 유리(약 53kg), 공구(약 20kg) 등 약 218kg을 싣고 지상3층 외벽으로 상승시키던 중 09:50분경 고소작업대가 전도되면서 작업대에 있던 창호공 2명이 지상1층으로 추락했고 1명이 사망하고 1명이 부상하였다.



고소작업대 전도 상황



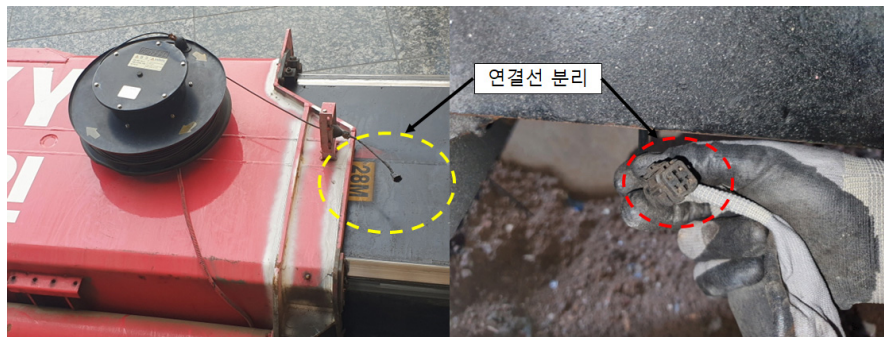
고소작업대 전도 상황



● 사고원인 추정 및 대책

전도 사고가 발생한 고소작업대는 2006년 최초 등록된 장비로 안전인증 의무대상에 해당되지 않으나 안전검사 유효기간이 '20.10. 5~'22.10. 4 까지로 안전검사의 문제는 없는 것으로 나타났다.

문제는 고소작업대를 사용하면서 발생했는데 작업반경의 연장을 위하여 고소작업대에 설치한 안전장치 (하중센서, 길이센서, 각도센서)를 임의 해제하여 무리하게 붐(boom)을 연장하던 중 고소작업대가 전도되었다. 동종사고를 예방하기 위해서는 안전장치를 임의 해제하면 고소작업대 구동이 멈추도록 장비 개선이 필요한 실정이다.

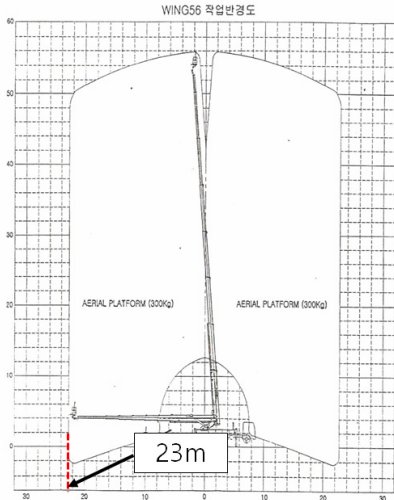


하중센서 연결선 해제 상태



하중센서 연결선 해제 상태

사고발생 고소작업대는 수평 최대 작업반경이 제작사 제원표상 23m이나 사고당시 붐 확장 길이(작업구간의 수선의 발을 내린 거리에서부터 고소작업대 수평거리)는 33m로 측정되어 정격 작업반경을 초과하여 붐을 연장한 것으로 조사되었다.



고소작업대 작업반경도



봄(boom) 연장길이 측정

그리고 고소작업대 사용 시 작업에 따른 추락·낙하·전도·협착 및 붕괴 등의 위험 예방대책, 운행경로 및 작업방법을 포함한 작업계획서를 작성하여야 하나 작성하지 않았고 고소작업대에 탑승하여 작업하던 재해자는 안전대와 안전모를 지급·착용한 상태에서 작업하였으나, 사망자는 안전대의 안전 고리를 작업대에 체결하지 않고 작업한 것으로 조사되었다.

상기 조사 내용을 토대로 고소작업대(차량탑재형) 전도 사고 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 사업주는 고소작업대가 허용 작업범위를 초과하여 사용될 경우 작동이 멈추거나 알려주는 방호장치의 임의 해제를 금지하고 정상작동 상태를 유지하여 작업하도록 조치
- ▶ 사업주는 작업대에 작업자가 탑승하는 경우 작업자의 추락을 방지할 수 있도록 충분한 강도를 가진 구조로 안전난간 설치 후 작업하게하고 안전모, 안전대 등 보호구 착용 및 안전대의 안전고리를 체결한 후 작업하도록 관리·감독 철저
- ▶ 사업주는 고소작업대를 사용하여 작업을 할 때에는 해당 작업에 따른 추락·낙하·전도 등의 위험 예방대책 및 운행경로, 작업방법 등을 포함한 작업계획서를 작성하고 작업하되 작업 장소, 작업반경 등을 검토하여 작업에 적합한 장비를 설치



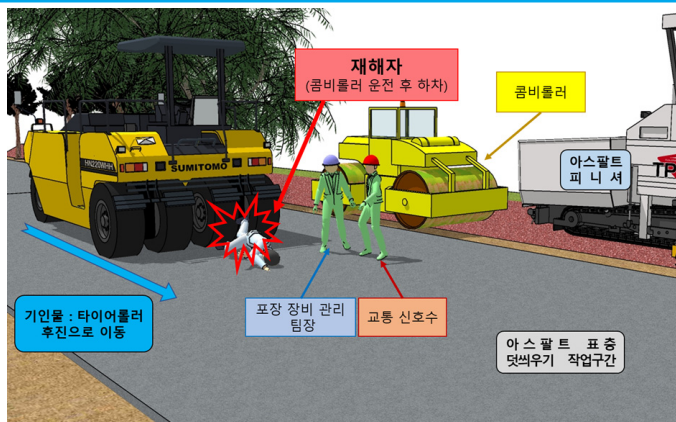
2-3. 롤러 깔림 사고 사례

• 현장 개요 및 사고발생 상황

사고 현장은 전력케이블 지중화 매설공사 후 도로 아스팔트 포장공사 현장으로 재해자가 후진하는 타이어롤러에 충돌한 후 뒷바퀴에 깔려 사망하였는데 전체적인 공정율은 약 90% 진행 중이었다.

사고 당일 07:30분경부터 작업을 시작하였는데 포장작업은 구간별로 노면파쇄기를 사용하여 아스팔트 노면 절삭작업을 한 후 아스팔트 피니셔를 사용하여 아스팔트 표층 포설작업을 하였다. 그리고 롤러(콤비롤러, 타이어롤러)를 사용하여 노면 다짐작업을 하였다.

사고는 16:25~16:29분경 발생했는데 콤비롤러를 사용하여 노면 다짐작업을 하던 중 교통 신호수와 차량통제와 관련한 말다툼이 있었고 콤비롤러가 정지된 상태에서 교통 신호수가 재해자에게 다가갔고 콤비롤러에서 하차한 재해자는 교통 신호수와 다시 말다툼 중에 후진하며 노면 다짐작업 중이던 타이어롤러에 충돌하면서 뒷바퀴에 깔려 119에 의해 인근 병원으로 후송되었으나 사망하였다.



재해 상황도

현장 조사결과 노면절삭기로 도로(폭≒3.5m, 연장≒53.5m)를 절삭한 후 아스팔트 피니셔 장비로 도로에 아스팔트 표층 포설작업을 하였고 재해자는 타이어롤러와 콤비롤러(재해자 탑승)를 사용하여 중간지점에서 다짐작업을 하였다.

아스팔트 표층 포설작업 완료되어 아스팔트 피니셔 장비는 운반 트레일러 차량에 상차를 위하여 공사 중간지점의 도로우측 공간으로 이동하여 정차 하였고 재해자도 콤비롤러를 아스팔트 다짐작업 후 아스팔트 피니셔 장비 앞쪽 공간에 정차해 놓은 상태였다.



재해 상황도(2)

또한 사고 현장에는 교통 신호수만 3명 배치되어 있었는데 아스팔트 포장작업 중인 타이어롤러 장비 유도자는 배치하지 않은 것으로 조사되었다. 교통 신호수는 도로에 통행하는 차량 통제에 집중하느라 사고를 막는데 한계가 있었다.

그리고 타이어 롤러 운전원은 롤러 운전기능사 자격이 없이 운전한 것으로 조사되었다. 최근 건설장비 사고를 조사해 보면 운전 무자격자가 운전 중 발생하는 사고 사례가 다수 있는 것으로 나타났는데 이는 작업 전 관리감독 과정에서 조치되어야 하는 기본적인 사항도 준수하지 않은 결과에 기인한 것이라고 할 수 있다.

작업계획서 작성 여부를 조사해보니 지반 다짐용 차량계 건설기계를 사용하는 포장작업 시 장비의 종류 및 성능, 운행경로, 작업방법 등이 포함된 작업계획서를 작성하고 작업하여야 하나 초동조사 다음 날 제출한 작업계획서에는 운행경로가 포함되지 않았고 콤비롤러 등록번호, 종류, 성능이 불일치하였으며 타이어롤러와 아스팔트 피니셔 운전원이 불일치하는 등 현장상황에 적합하지 않은 작업계획서로 판단되었다.

그리고 충돌 사고가 발생한 타이어롤러 안전장치 상태를 조사해 보니 후방카메라는 설치되어 있었으나 운전석 모니터 화면 미작동 등 고장상태였고 후진 경보장치는 작동하였으나 작업 소음 등으로 재해자가 타이어롤러 후진경보음을 듣지 못하였을 것으로 추정되었다.



● 사고원인 추정 및 대책

이번 사고는 차량계 건설기계인 타이어롤러를 사용한 아스팔트 표층 다짐작업 구간에 장비와 작업자가 접촉하지 않도록 출입금지조치 또는 유도자 배치 등의 조치를 하여야 하나, 도로에 차량통제 교통신호수 만 배치하여 작업자 출입통제는 이루어지지 않았다.

그리고 장비의 종류 및 성능, 운행경로, 작업방법 등이 포함된 작업계획서를 작성하고 작업하여야 하나 작업계획서에 장비 등록번호, 종류, 성능, 운전원이 불일치하고 운행경로가 미작성 되는 등 작업계획서에 문제점이 다수 조사되었다.

또한 사고 발생 타이어롤러 운전원이 무자격자로 밝혀졌고 후방카메라는 고장상태로 건설장비 관리·감독에 상당한 문제점이 있는 것으로 나타났다.

상기 내용을 토대로 건설장비 충돌 사고 예방대책을 다음과 같이 제시하고자 한다.

- ▶ 차량계 건설기계 작업 시 접촉위험이 없도록 작업구간에 출입금지조치, 유도자 배치
- ▶ 타이어롤러 등 건설기계는 조종사 면허가 있는 유자격자가 운행하도록 조치
- ▶ 차량계 건설기계 작업 시 장비의 종류 및 성능, 운행경로, 작업방법 등이 포함된 작업계획서를 작성하고 준수하여 작업

3. 이슈 & 시사점

최근 건설장비 사고는 작업계획서, 유도자, 운전원 자격, 안전장치 등의 문제가 복합 적으로 작용해서 발생하는 추세이고 이는 작업 전에 관리감독자가 점검해서 조치해야 할 기본적인 사항 이라는 것이다.

특히, 작업계획서는 해당 기계의 굴러 떨어짐, 지반의 붕괴 등으로 근로자의 위험을 방지하기 위한 작업장소의 지형 및 지반상태 등을 사전조사 후 차량계 건설기계의 종류 및 성능, 운행경로, 작업방법 등을 실제 현장에 맞게 작성하여야 한다. 그러나 현장에서는 작업계획서를 미작성하거나 형식적으로 작성하여 사고예방에 실효성이 없는 상황이라고 할 수 있다.

또한 건설장비 유도자는 대부분 협력업체에서 인력회사를 통해 채용하고 있고 신호, 유도에 대한 경험이 부족한 외국인, 여성 등 취약 일용 근로자가 현장에 투입되고 있으며 신호·유도 방법, 체계 미비에 따른 장비 충돌, 협착 사망사고가 반복되고 있는 실정이다.

그리고 건설기계관리법 및 유해·위험작업의 취업 제한에 관한 규칙에 의거 건설장비는 조종사 면허가 있는 유자격자가 운전하여야 하나 최근 발생한 건설장비 사망사고 조사 결과 운전 무자격자 운행 중 사고가 다발하여 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

건설장비는 과부하방지장치, 후방카메라, 후진경보기 등 안전장치가 장착되어 있어 사고를 예방하도록 되어 있는데 사고현장을 조사해보면 작업반경을 연장하기 위하여 과부하방지장치를 임의로 해제하거나 시끄럽다는 이유로 후진경보기를 끄는 등 위험한 작업방법이 수행되고 있다.

그리고 안전장치가 고장 상태로 운행하는 건설장비가 약 20% 전후로 조사되었는데 사고 운전원에게 그 이유를 물어보면 장비 수리를 맡기면 며칠 일을 못하고 수리비용도 부담이 되기 때문에 장비 수리를 미루다가 사고가 났다고 말하고 있다. 건설장비 소유주가 조금만 더 관심을 갖고 장비관리를 철저히 했더라면 한 생명을 살릴 수도 있었다는 안타까운 상황이 벌어지고 있는 것이다.



4. 법 제도 & 사업 개선방안

먼저 건설장비 신호수, 유도자에 대한 양성교육 제도를 마련해야 한다. 신호·유도 업무는 쉽게 보이지만 건설장비의 특성, 신호체계도 알아야 하는 전문성이 필요하다고 할 수 있다. 따라서, 건설 근로자 전문교육기관으로 하여금 신호체계, 건설장비 특성 등의 전문 지식을 교육하게 하고 소정 시험에 합격한 작업자가 현장에 채용되도록 신호수, 유도자 양성 과정 교육제도를 마련해야 할 것이다.

그리고 건설장비 안전점검을 강화해야 할 것이다. 왜냐하면 최근 건설장비 사고 조사 결과 후방카메라, 후진경보기, 과부하방지장치 이상에 의한 사고가 다발하기 때문이다. 작업상의 이유로 안전장치를 임의 해제하는 경우도 있지만 고장 상태를 방치하고 수리를 미루다가 사고가 발생하는 경우도 많기 때문이다.

따라서 국토교통부 산하 대한건설기계안전관리원, 타워크레인 검사대행기관 및 고용노동부 지정 안전검사기관*에서 건설장비 안전점검 시 동력 전달장치는 물론 안전장치까지 철저히 점검해야 할 것이다. 그리고 건설현장에서는 작업계획서 작성 시 차량계 건설 기계의 종류 및 성능, 운행경로, 작업방법 등은 물론이고 운전원 자격, 안전장치 이상 유무를 철저히 점검해야 할 것이다.

* 고소작업대(차량탑재형), 트럭크레인(화물적재 가능)에 대한 안전검사 실시

아울러 건설기술진흥법에 의거 시행되고 있는 건설장비의 접근 위험 경보장치 비용 지원 사업이 일부 발주기관 및 대기업 건설공사 위주로 적용되고 있는 실정으로 건설현장 스마트 안전장비 비용 지원 사업을 전 발주기관 및 중·소규모 현장까지 확대 적용될 수 있도록 개선이 필요하고 향후 건설장비 제조 시 안전장치를 임의로 해제하면 건설장비가 작동을 멈추게 하는 등 안전장치를 해제하지 못하도록 개선해야 할 것이다.

그리고 산업안전보건기준에 관한 규칙 제174조(차량계 하역운반기계 등의 이송), 제201조(차량계 건설기계의 이송)에서 건설장비를 이송하기 위하여 화물자동차에 싣거나 내리는 작업을 할 때에 사용하는 발판, 가설대는 충분한 길이, 폭 및 강도를 가진 것을 사용하도록 규정하고 있는데 발판, 가설대의 충분한 길이, 폭 및 강도를 명확히 규정 할 필요가 있다.

또한, 산업안전보건기준에 관한 규칙 제379조(가설도로)에서 가설도로의 견고성, 작업장과의 울타리, 배수시설, 속도제한 등에 관한 내용은 있으나 작업자와 차량의 충돌, 깔림 등의 사고를 예방할 수 있는 보·차도 분리 설치 규정도 마련되어야 할 것이다.

7 굴착공사 토사 붕괴 사고

1. 굴착공사 붕괴 현황 및 분석

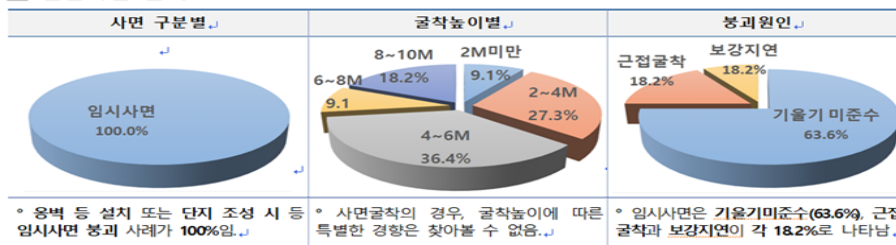
최근 굴착공사 중 흙막이 붕괴사고는 감소 추세에 있으나 관로 등 트렌치 굴착붕괴 사고는 연평균 5건 전후로 꾸준히 발생하고 있다.

※ 최근 굴착공사 붕괴 사망사고 현장

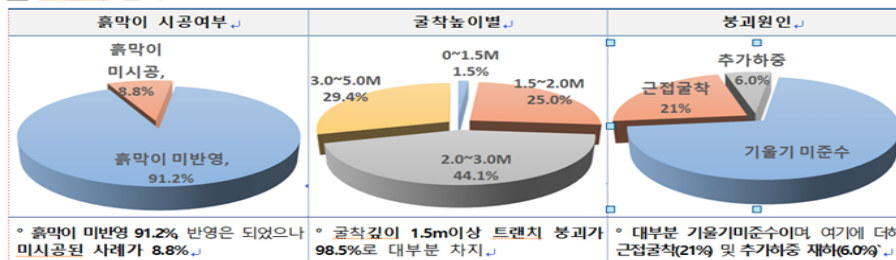
- 2021. 6. 1.(화) 논산 00농장 개축공사현장 우수관로 굴착작업 중 토사 및 옹벽 붕괴(사망1명)
- 2021. 9. 8.(수) 의정부 00상수관로 신설현장 상수관로 매설작업 중 인접 조경석 붕괴(사망1명, 부상1명)
- 2021.11.12.(금) 경기광주 00창고 건설현장 우수관로 연결부 토사 제거작업 중 붕괴(사망1명)

최근 12년 동안 토사붕괴 사고는 일반사면 붕괴가 12건이 발생하였고 트렌치 굴착 붕괴가 68건 발생하였다. 일반사면 붕괴를 굴착 높이별로 분석하면 4~6m가 36.4%로 가장 높은 점유율을 나타냈고 붕괴원인은 기울기 미준수가 63.6%로 나타났다. 또한 트렌치 굴착 붕괴는 흙막이 미설치가 91.2%, 굴착 높이는 2~3m가 44.1%, 붕괴원인은 기울기 미준수가 73%로 조사되었다.

① 일반사면 굴착



② 트렌치 굴착



토사붕괴 관련 재해분석



2. 지반 굴착 관련 국내·외 안전작업 기준

굴착공사 중 토사붕괴 사고는 대부분 굴착사면의 기울기를 미준수하여 발생하고 있고 관로공 사용 트렌치 굴착의 경우 보·차도 등으로 굴착사면의 기울기를 법정구배로 작업하지 못하면 흙막이를 설치해야 하나 미설치 상태에서 작업 중 계속해서 붕괴사고가 발생하고 있다.

다음은 위와 같은 토사붕괴 사고를 예방하기 위해 지반 굴착 관련 국내·외 안전작업 기준을 조사한 내용으로 향후 안전기준을 준수하여 동종재해가 발생하지 않도록 발주자, 시공자 등 굴착작업 관련자가 만전을 기해야 할 것이다.

• 산업안전보건법

산업안전보건법의 산업안전보건기준에 관한 규칙은 「제4장 건설작업 등에 의한 위험 예방 → 제2절 굴착작업 등의 위험 방지」에서 굴착면의 기울기 및 흙막이지보공의 각 조항을 통해 굴착작업 시 위험방지와 흙막이지보공 재료 등 터파기 전반에 대하여 규정하고 있다.

[표 1] 굴착면의 기울기 기준<산업안전보건기준에 관한 규칙 별표11>

구분	지반의 종류	기울기
보통흙	습지	1:1 ~ 1:1.5
	건지	1:0.5 ~ 1:1
암반	풍화암	1 : 1.0
	연암	1 : 1.0
	경암	1 : 0.5

그리고 동법 제339조(토석붕괴 위험 방지)에서 「사업주는 굴착작업을 하는 경우 지반의 붕괴 또는 토석의 낙하에 의한 위험을 방지하기 위하여 관리감독자에게 작업 시작 전에 작업 장소 및 그 주변의 부식·균열의 유무, 함수, 용수 및 동결 상태의 변화를 점검하도록」 규정하고 있다.

또한, 동법 제340조(지반의 붕괴 등에 의한 위험방지)에서 「사업주는 굴착작업에 있어서 지반의 붕괴 또는 토석의 낙하에 의하여 근로자에게 위험을 미칠 우려가 있는 경우에는 미리 흙막이지보공의 설치, 방호망의 설치 및 근로자의 출입금지 등 필요한 조치를 해야 한다」고 규정하고 있다.

그리고 동법 제347조(붕괴 등의 위험 방지)에서 「①사업주는 흙막이지보공을 설치하였을 때에는 정기적으로 다음 각 호의 사항을 점검하고 이상을 발견하면 즉시 보수하여야 한다」라고 규정하고 있다.

1. 부재의 손상·변형·부식·변위 및 탈락의 유무와 상태
2. 버팀대의 긴압의 정도
3. 부재의 접속부·부착부 및 교차부의 상태
4. 침하의 정도

「②사업주는 제1항의 점검외에 설계도서에 따른 계측을 하고 계측분석 결과 토압의 증가 등 이상한 점을 발견한 경우에는 즉시 보강조치를 하여야 한다」라고 규정하고 있다.

● 굴착공사 표준안전작업지침

고용노동부 고시 2020-5호 「굴착공사표준안전작업지침」 제3조(사전조사)에서 조사대상과 조사내용을 규정하고 있는데 조사대상은 지형, 지질, 지층, 지하수, 용수, 식생 등이고 조사내용은 다음과 같다.

- 가. 주변에 기 절토된 경사면의 실태조사
- 나. 지표, 토질에 대한 답사 및 조사를 하므로써 토질구성(표토, 토질, 암질), 토질구조(지층의 경사, 지층, 파쇄대의 분포, 변질대의 분포), 지하수 및 용수의 형상 등의 실태 조사
- 다. 사운딩
- 라. 시추
- 마. 물리탐사(탄성파조사)
- 바. 토질시험 등

또한 「굴착작업전 가스관, 상하수도관, 지하케이블, 건축물의 기초 등 지하매설물에 대하여 조사하고 굴착시 이에 대한 안전조치를 하여야 한다」라고 규정하고 있다.

그리고 제7조(절토)에서 절토시 준수해야 할 사항은 다음 각 호와 같다.

1. 상부에서 붕락 위험이 있는 장소에서의 작업은 금하여야 한다.
2. 상·하부 동시작업은 금지하여야 하나 부득이한 경우 다음 각 목의 조치를 실시한 후 작업하여야 한다.
 - 가. 견고한 낙하물 방호시설 설치
 - 나. 부석제거
 - 다. 작업장소에 불필요한 기계 등의 방치 금지
 - 라. 신호수 및 담당자 배치



3. 굴착면이 높은 경우는 계단식으로 굴착하고 소단의 폭은 수평거리 2미터정도로 하여야 한다.
4. 사면경사 1:1 이하이며 굴착면이 2미터 이상일 경우는 안전대 등을 착용하고 작업해야 하며 부석이나 붕괴하기 쉬운 지반은 적절한 보강을 하여야 한다.
5. 급경사에는 사다리 등을 설치하여 통로로 사용하여야 하며 도괴하지 않도록 상·하부를 지지 물로 고정시키며 장기간 공사시에는 비계등을 설치하여야 한다.
6. 용수가 발생하면 즉시 작업 책임자에게 보고하고 배수 및 작업방법에 대해서 지시를 받아야 한다.
7. 우천 또는 해빙으로 토사붕괴가 우려되는 경우에는 작업 전 점검을 실시하여야 하며, 특히 굴착면 천단부 주변에는 중량물의 방치를 금하며 대형 건설기계 통과시에는 적절한 조치를 확인하여야 한다.
8. 절토면을 장기간 방치할 경우는 경사면을 가마니 쌓기, 비닐 덮기 등 적절한 보호 조치를 하여야 한다.
9. 발파암반을 장기간 방치할 경우는 낙석방지용 방호망을 부착, 몰타르를 주입, 그라우팅, 록볼트 설치 등의 방호시설을 하여야 한다.
10. 암반이 아닌 경우는 경사면에 도수로, 산마루측구 등 배수시설을 설치하여야 하며, 제3자가 근처를 통행할 가능성이 있는 경우는 안전시설과 안전표지판을 설치하여야 한다.
11. 벨트 콘베이어를 사용할 경우는 경사를 완만하게 하여 안정된 상태를 유지하도록 하여야 하며, 콘베이어 양단면에 스크린 등의 설치로 토사의 전락을 방지하여야 한다.

그리고 제8조(트렌치 굴착)에서 굴착작업 시 원칙적으로 흠막이지보공을 설치하고, 굴착 깊이 1.5미터 이하인 경우에만 흠막이지보공을 설치하지 않을 수 있도록 규정하고 있고 다음 사항을 준수하여야 한다.

1. 통행자가 많은 장소에서 굴착하는 경우 굴착장소에 방호울 등을 사용하여 접근을 금지시키고, 안전 표지판을 식별이 용이한 장소에 설치하여야 한다.
2. 야간에는 작업장에 충분한 조명시설을 하여야 하며 가 시설물은 형광벨트의 설치, 경광등 등을 설치하여야 한다.
3. 굴착시는 원칙적으로 흠막이지보공을 설치하여야 한다.
4. 흠막이지보공을 설치하지 않는 경우 굴착 깊이는 1.5미터 이하로 하여야 한다.
5. 수분을 많이 포함한 지반의 경우나 뒷채움 지반인 경우 또는 차량이 통행하여 붕괴하기 쉬운 경우에는 반드시 흠막이 지보공을 설치하여야 한다.

6. 굴착 폭은 작업 및 대피가 용이하도록 충분한 넓이를 확보하여야 하며, 굴착 깊이가 2미터 이상일 경우에는 1미터 이상의 폭으로 한다.
7. 흙막이널판만을 사용할 경우는 널판길이의 1/3이상의 근입장을 확보하여야 한다.
8. 용수가 있는 경우는 펌프로 배수하여야 하며, 흙막이지보공을 설치하여야 한다.
9. 굴착면 천단부에는 굴착토사와 자재 등의 적재를 금하며 굴착깊이 이상 떨어진 장소에 적재토록 하고, 건설기계가 통행할 가능성이 있는 장소에는 별도의 장비 통로를 설치하여야 한다.
10. 브레이커등을 이용하여 파쇄하거나 견고한 지반을 분쇄할 경우에는 진동을 방지할 수 있는 장갑을 착용하도록 하여야 한다.
11. 콤프레샤는 작업이나 통행에 지장이 없는 장소에 설치하여야 한다.
12. 벨트콘베이어를 이용하여 굴착토를 반출할 경우는 다음 각 목의 사항을 준수하여야 한다.
 - 가. 기울기가 완만하도록(표준 30도이하)하고 안정성이 있으며 비탈면이 붕괴되지 않도록 설치하며 가대등을 이용하여 가능한한 굴착면에 가깝도록 설치하며 작업 장소에 따라 조금씩 이동한다.
 - 나. 벨트콘베이어를 이동할 경우는 작업책임자를 선임하고 지시에 따라 이동해야 하며 전원 스위치, 내연기관 등은 반드시 단락 조치 후 이동한다.
 - 다. 회전부분에 말려들지 않도록 방호조치를 하여야 하며, 비상정지장치가 있어야 한다.
 - 라. 큰 옥석등의 석괴는 적재시키지 않아야 하며 부득이 할 경우는 운반중 낙석, 전락방지를 위한 콘베이어 양단부에 스크린 등의 방호조치를 하여야 한다.
13. 가스관, 상·하수도관, 케이블 등의 지하매설물이 반결되면 공사를 중지하고 작업책임자의 지시에 따라 방호조치 후 굴착을 실시하며, 매설물을 손상시켜서는 안된다.
14. 바닥면의 굴착심도를 확인하면서 작업한다.
15. 굴착 깊이가 1.5미터 이상인 경우는 사다리, 계단 등 승강설비를 설치하여야 한다.
16. 굴착된 도랑 내에서 휴식을 취하여서는 안된다.
17. 매설물을 설치하고 뒷채움을 할 경우에는 30센티미터 이내마다 충분히 다지고 필요시 물다짐 등 시방을 준수하여야 한다.
18. 작업도중 굴착된 상태로 작업을 종료할 경우는 방호울, 위험 표지판을 설치하여 제3자의 출입을 금지시켜야 한다.



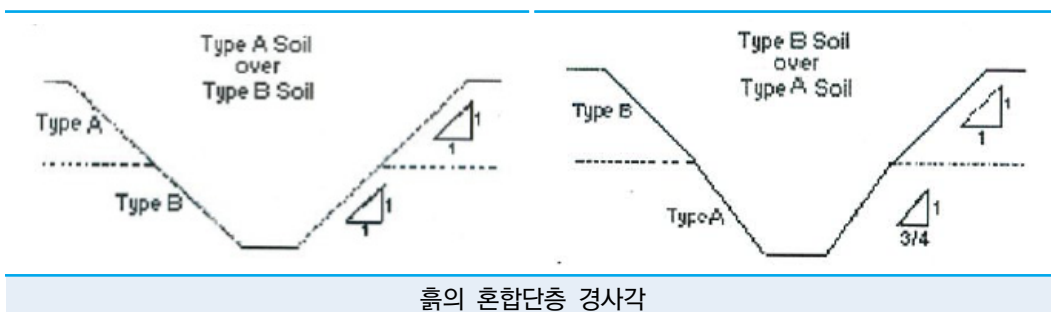
- OSHA Technical Manual Section V: Chapter2,
 - Excavations: Hazard Recognition in Trenching and Shoring
 - ▶ OSHA Technical Manual에서도 여러 테스트를 통해 흙을 4가지 유형으로 구분하여 경사각을 적용한다.
 - (Stable Rock) 수직으로 굴착 및 노출 시 안전하게 유지되는 자연의 견고한 광물
 - (Type A) 30cm² 당 1.5톤 이상 일축 압축강도*를 버틸 수 있는 흙
 - (Type B) 30cm² 당 0.5~1.5톤의 일축 압축강도를 버틸 수 있는 흙
 - (Type C) 30cm² 당 0.5톤 이하 일축 압축강도를 버틸 수 있는 흙
- * 일축 압축강도(Unconfined compressive strength) : 수평주변이 구속되지 않은 상태에서 수직으로 누르는 힘을 가하여 파괴 시의 최대 압축응력

[표 2] 허용 가능한 경사각

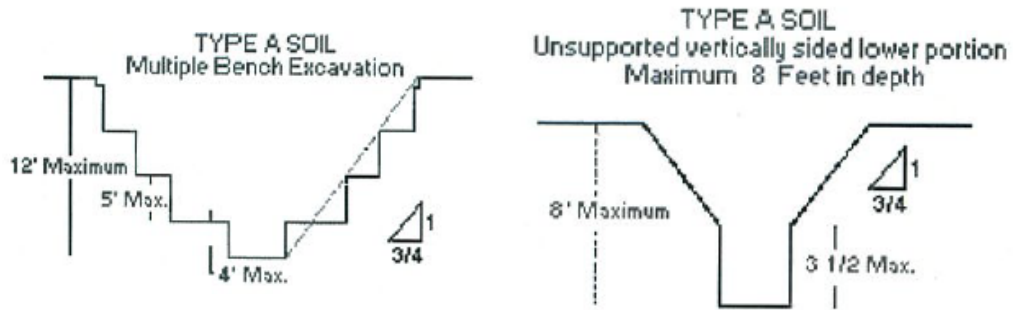
Soil type	Height: Depth ratio	Slope angle
Stable Rock	Vertical	90°
Type A	¾:1	53°
Type B	1:1	45°
Type C	1½:1	34°
Type A(short-term)	½:1	63°

※ 흙의 유형에 따라 정해진 최대 경사각은 굴착 깊이 6미터 이내만 적용

- ▶ 다른 유형 흙의 단층이 혼합된 경우 일축 압축강도가 약한 흙의 경사각을 기본으로 하고, 일축 압축강도가 강한 흙이 아래에 있는 경우 단층에서 개별적으로 경사각을 적용할 수 있다.



- ▶ Type A,B 흙의 경우 경사각과 일정 높이 내에서 계단식 굴착(Bench excavation)이 가능하고, Type A 흙은 2.4미터 이내 굴착일 경우 굴착저면에서 1미터까지 수직 굴착이 가능하다.



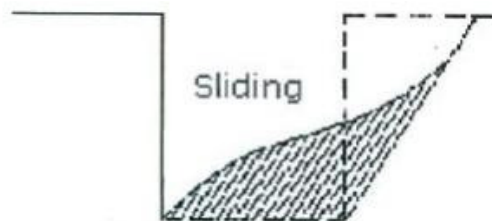
계단식 굴착(Bench excavation) 및 수직굴착 가능깊이[단위: feet]

- ▶ 인장균열(Tension Cracks)은 일반적으로 지면에서 굴착깊이(H) 대비 수평거리 0.5~0.75H에서 형성된다.



인장균열(Tension Crack)

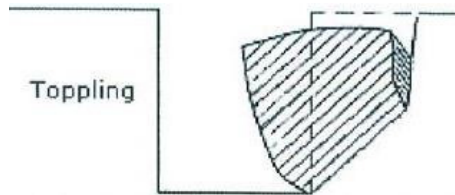
- ▶ 미끄러짐(Sliding)은 인장균열의 결과로 발생한다.



미끄러짐(Sliding)



- ▶ 흙 덩어리 떨어짐(Toppling)은 미끄러짐과 마찬가지로 인장균열의 결과로 발생하며, 인장균열이 수직으로 확장되어 발생한 전단에 의해 흙이 덩어리 형태로 굴착저면으로 떨어지는 것이다.



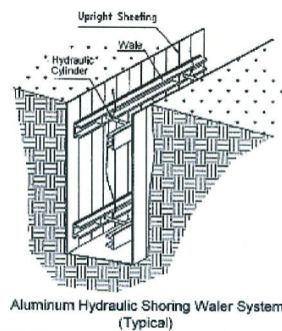
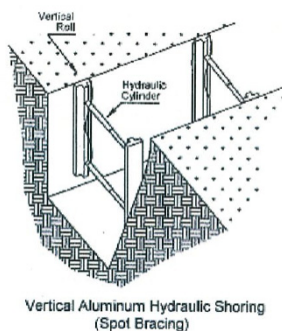
흙 덩어리 떨어짐(Toppling)

- ▶ 지반침하 및 배부름(Subsidence and Bulging)은 흙막이가 없는 수직 굴착 시 지반에 불균형 하중이 발생하여 지반표면이 침하되고, 수직굴착면이 불룩하게 튀어나오는 것이다.



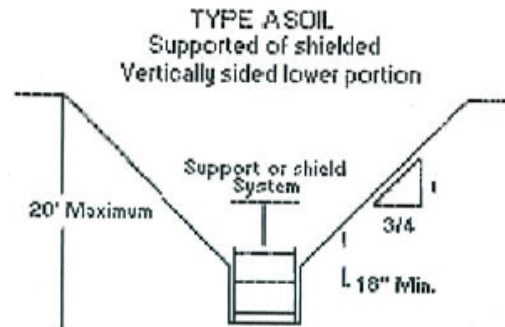
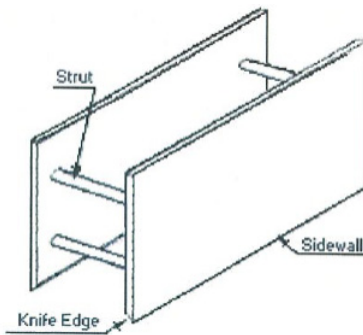
지반침하 및 배부름(Subsidence and Bulging)

- ▶ 간이 흙막이는 버팀 형식과 보호 형식이 있다.
 - **(버팀 형식, Shoring Types)** 버팀은 지반의 활동을 방지하기 위해 수직굴착면에 지지대를 설치하여 토압을 버티는 것이고, 기둥·띠장·버팀대·흙막이판으로 구성된다. 최근에는 유압 버팀 형식으로 공장에서 제작된 재료를 사전 조립·설치하여 굴착저면에서 설치·해체하지 않는다.



버팀형식(Shoring Types) 간이흙막이

- (보호박스 형식, Shielding Types) 보호박스는 버팀대와 흙막이판으로 구성되어 흙막이판 하부는 바닥에 박아 넣을 수 있게 날카로운 모서리로 되어있고, 보호박스는 버팀 형식과 달리 사면붕괴 시 작업자 보호를 위해 설치한다. 즉, 보호박스는 토압을 견디는 것이 아니다.



보호형식(Shielding Types) 간이흙막이

● 사면의 안전성 검토

- ▶ 사면의 안정성을 단순히 정의하면, 토체의 전단강도와 활동면에 발생하는 전단응력의 비이며, 활동면에 발생하는 전단응력이 토체의 전단강도보다 클 경우 사면의 붕괴가 발생할 수 있다.
- ▶ 사면의 안전율 F_s 값이 1.0을 초과하는 경우,

$$F_s = \frac{S(\text{토체의 전단강도})}{\tau(\text{발생된 전단응력})} = \frac{c' + (\sigma - u)\tan\phi'}{\tau_n} > 1.0 \text{ 인 경우,}$$

c' : 점착력, σ : 전응력, u : 간극수압, $(\sigma - u)$: 유효응력, ϕ' : 내부마찰각

사면은 안정한 것으로 판단하게 되는데, 이때 안전율의 크기는 지층, 지반강도 추정치의 불확실성, 근접한 기존 시설물의 안정성 등을 고려하여 선정하게 된다.

- ▶ 터파기 굴착시 토체의 전단강도는 점착력과 내부마찰각을 구하여 결정할 수 있는데, 지반 특성에 따라 배수조건이 고려된 직접전단시험, 일축압축시험, 삼축압축시험(비압밀비배수) 등 시험을 통해 결정할 수 있으며,
- ▶ 발생한 전단응력은 토체의 하중, 상재하중 등에 의해 활동면을 따라 발생하는 응력을 산정하여 구할 수 있다. 즉, 이러한 흙의 특성을 고려하여 습지와 건지 등 지반의 종류를 구분하고 기울기를 적용해야 한다.



[표 3] 깎기 비탈면 안전을 기준

구분	최소 안전율	내 용 (국토교통부 KDS 11 70 05 : 2016)
건기시	$F_s > 1.5$	지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
우기시	$F_s > 1.3$ or $F_s > 1.2$	- 연암 및 경암 등으로 구성된 암반 비탈면의 경우, 인장균열의 1/2 심도까지 지하수포화높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2 심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우($F_s=1.2$ 적용) - 토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정해석은 지하수위를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용 가능 - 지하수를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수 조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술($F_s=1.2$ 적용) - 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장지반조사 결과, 지형 조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속 시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술($F_s=1.3$ 적용)
지진시	$F_s > 1.1$	- 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용 - 지하수위는 실제측정 또는 침투해석을 수행한 지하수위
단기	$F_s > 1.1$	1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성

3. 토사붕괴 사고 사례

최근 발생한 토사붕괴 사고는 트렌치 굴착작업 중 발생하고 있는데 사고 유형은 굴착 사면 법정 기울기 미준수도 있지만 굴착 작업장 주변의 보강토 옹벽이나 석재 등 구조물이 같이 붕괴되는 사례가 증가하고 있어 굴착 작업장 주변 구조물, 시설물에 대한 사전조사 및 보강작업이 선행되어야 하는 실정이다.

그리고 트렌치 굴착작업은 관로, 택지 등 대부분 소규모 건설공사로 작업계획서 미작성, 위험성 평가 미실시 등 발주자, 시공업체의 관리·감독 역량이 부족하고 단시간 작업이라는 인식이 커서 흙막이지보공 등 안전시설을 미설치하는 관행이 지속되고 있다. 다음은 굴착 작업중 토사붕괴 사고 사례를 정리하였다.



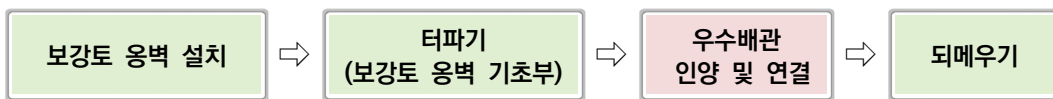
3-1. 토사 및 옹벽 붕괴 사고 사례

● 현장 개요 및 사고발생 상황

사고 현장은 농장 돈사 공사 후 관로 등 부대토목 공사를 추가 발주하여 진행하던 중 우수관로 (PE, Ø=600mm, L=4.0m/본) 설치공사를 위해 기 설치한 보강토 옹벽 기초 근접구간을 굴착 하면서 지지력을 잃은 보강토 옹벽(콘크리트 블록)이 붕괴되어 굴착저면에서 우수관로 연결 작업을 하던 재해자가 매몰되어 사망하였고 전체적인 공정율은 약 95% 진행 중이었다.



토사붕괴 사고현장 전경 및 붕괴 구간



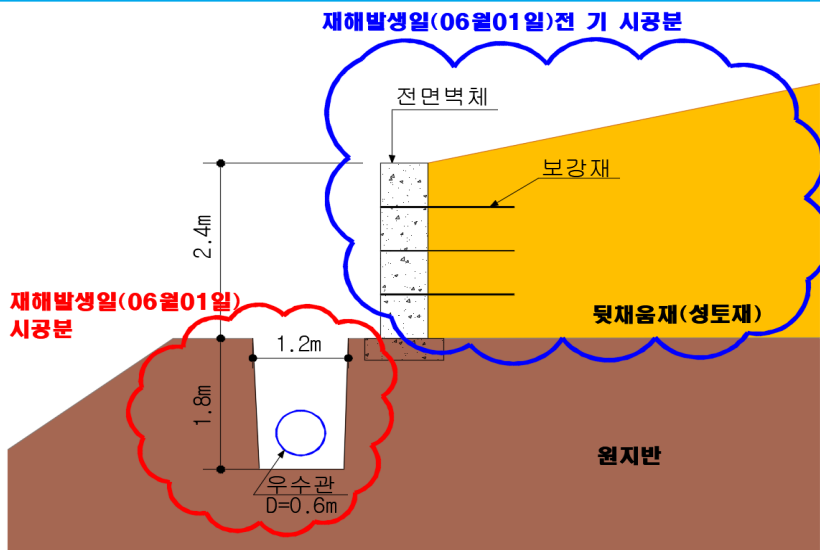
* 사고발생공정

토사 및 옹벽 붕괴사고 재해발생공정



작업은 농장 내부 진입도로 개설을 위해 보강토 옹벽은 재해발생 이전에 시공된 상태였고 재해발생일 08:00분경 재해자와 동료작업자 3명은 현장에 출근하여 보강토 옹벽 기초 근접부 측량 및 터파기(폭 1.2m, 깊이 1.8m, 길이 16m) 작업을 시작하였다.

점심식사 후, 12:30분경부터 보강토 옹벽 배면에서 굴착기(0.2m³)로 우수관로를 인양하여 굴착저면으로 내린 후, 재해자가 우수관로를 연결(이중벽관 전용 조임식 밴드 체결)하는 작업을 하던 중, 13:40분경 터파기 사면과 보강토 옹벽이 갑자기 붕괴되면서 토사와 보강토 옹벽에 매몰되어 사망하였다.



토사붕괴 사고 현장 공사현황(단면도)

● 사고원인 추정 및 대책

00농장 개축공사의 설계 및 시공 중 시추조사 등 지반조사를 실시하지 않아 보강토 옹벽 기초 및 터파기 구간의 토층의 종류 및 상태 등을 정확히 알 수 없고 현장조사 시 육안관찰 추정된 옹벽기초 및 터파기 구간의 지반은 풍화토 정도로 판단되었다.

그리고 지층의 역학적 특성 및 물리적 특성 확인을 위한 시험을 실시하지 않아, 본 공사 시 설치 및 시공되는 토목구조물(보강토 옹벽, 절토 및 성토사면 등)에 대한 안전성 확보 여부를 확인하기 어려웠을 것으로 판단되었다.

현장에 시공된 보강토 옹벽은 시공중 설계변경에 의해 설치된 시설물로, 지자체에 건축신고 된 설계도에는 계획되지 않은 구조물이며, 현장 확인결과 상세 도면이 없이 시공된 것으로 조사되었다.

또한, 기초지반 상태에 따른 적정기초 형식*, 보강토 높이 및 뒷채움재 특성을 고려한 보강재**, 그리고 보강재의 적정 길이 및 간격**, 보강토체의 우수 침투방지 및 배수층 설치** 등이 고려되지 않았고, 시공 및 사용 중 안정성검토***도 미수행하여, 현장에 시공되어 있는 보강토 옹벽의 안정성확보 여부를 확인할 수 없는 상태였다.

* 적정기초 형식 : 기초지반 특성, 보강토옹벽 자중·상재하중(차량 및 장비 등) 및 향후 시공계획(보강토 완료 후 옹벽기초 근접 터파기 등)을 고려한 지지력 및 침하검토를 통한 적정기초 형식(직접기초 또는 말뚝기초) 검토

** 국가설계기준 KDS 11 80 10 참조

*** 안정성검토 : 외적안정(활동, 전도, 지지력, 전체안정성) 및 내적안정(인발파괴, 보강재파단) 미검토

4.4 안전율 기준

(1) 보강토 옹벽의 안정해석에 적용하는 기준 안전율은 다음과 같다. 지진 시는 지진하중을 고려하여 검토한다.

표 4.1-1 보강토 옹벽의 설계안전율

구분	검토항목	평상시	지진 시	비고
외적안정	활 동	1.5	1.1	
	전 도	2.0	1.5	
	지지력	2.5	2.0	
	전 체 안정성	1.5	1.1	
내적안정	인발파괴	1.5	1.1	
	보강재 파단	1.0	1.0	

* 전도에 대한 안정은 수직하력의 편심거리 e 에 대한 다음 식으로도 평가할 수 있다.

평상시, $e \leq L/6$: 기초지반이 흙인 경우,

$e \leq L/4$: 기초지반이 암반인 경우

지진 시, $e \leq L/4$: 기초지반이 흙인 경우,

$e \leq L/3$: 기초지반이 암반인 경우

* 보강재 파단에 대한 안전율은 보강재의 장기설계인장강도를 적용하므로 1.0으로 한다.

그리고 우수관로 설치를 위한 터파기는 보강토 옹벽의 기초가 노출 될 정도로 매우 근접하여 굴착이 이루어졌고 터파기 굴착면의 경사가 거의 직각(90°)으로 굴착되는 등 터파기에 대한 설계도서, 안전성 검토 없이 시공된 것으로 조사되었다.



토사붕괴 사고현장 상황

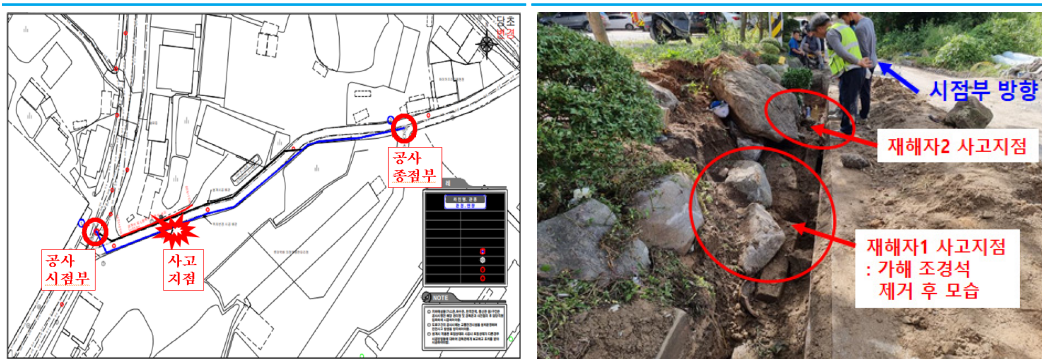
상기 내용을 토대로 토사 및 옹벽 붕괴 사고 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 사업주는 기존 시설물 근접시설 굴착 시에는 붕괴 및 전도 등의 우려가 있는 시설물에 대해 사전조사 및 안전성 검토를 하여 지반의 지지력 약화 방지 및 침하량 증가 방지를 위한 조치 철저
 - 보강토 옹벽의 기초를 지지력 및 침하량을 허용값 이내로 유지하기 위해 말뚝기초로 시공 하거나, 터파기 시공 전 지반을 그라우팅 등으로 보강한 후 흙막이보공을 적용하여 굴착
 - 옹벽과 근접한 터파기 공사 시에는 터파기를 선시공하고 보강토 옹벽을 후시공하여 근접 굴착에 따른 옹벽 및 터파기 사면의 안정성을 확보
- ▶ 사업주는 안전진단 등 안정성 평가를 실시하고 근로자에게 미칠 위험성을 미리 제거한 후, 굴착작업 실시
- ▶ 사업주는 상기 굴착면의 법정 기울기를 유지하기 곤란하고 지반의 붕괴 또는 토석의 낙하에 의하여 근로자에게 위험을 미칠 우려가 있는 경우 미리 흙막이보공 등을 설치하여 그 위험을 방지하기 위하여 필요한 조치를 하여야 함
- ▶ 사업주는 차량계 건설기계를 이용하여 굴착 및 중량물의 취급 작업을 하는 경우 해당 작업, 작업장의 지형·지반 및 지층 상태 등에 대한 사전조사를 실시하여야 함
 - 보강토 옹벽과 같은 기존시설물에 근접하여 터파기 등 굴착작업을 하는 경우 지반 및 지층 상태를 고려하여, 보강토 옹벽 기초에서의 적정 이격거리, 적정 굴착경사 등 붕괴방지를 고려한 작업계획서를 작성하고,
 - 차량계 건설기계를 이용하여 기존 시설물에 근접하여 양중작업을 할 경우 근로자안전 뿐만 아니라, 구조물에 작용하는 하중 최소화 및 구조물과의 충돌 방지 등 구조물 안정성 측면의 작업계획서를 작성하고 작업자들이 이를 준수하여 작업하도록 관리감독 철저

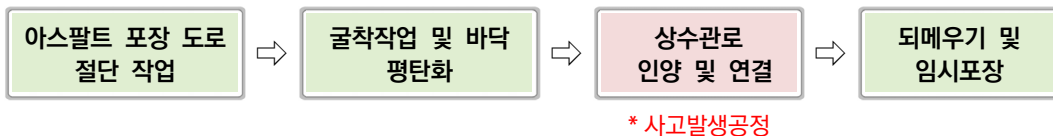
3-2. 토사 및 석재 붕괴사고 사례

• 현장 개요 및 사고발생 상황

사고 현장은 지자체가 발주한 00 상수관로 신설공사로 전체 공사 구간 143.3m 중 상수도관 매설 시점부로 부터 약 55m 떨어진 지점에서 사고가 발생했고 재해 당시 관로 굴착 및 상수도관 매설 작업이 동시에 이루어졌으며 전체적인 공정율은 약 47% 진행 중이었다.



토사붕괴 사고현장 노선도 및 붕괴 구간

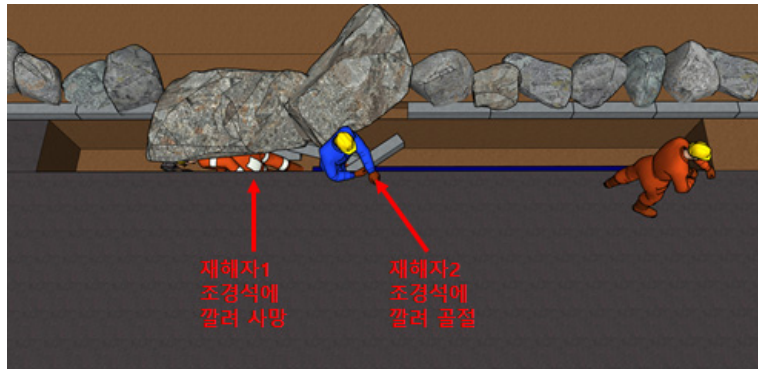


토사 및 석재 붕괴사고 재해발생공정

사고 당일 12:00분경* 재해자들 및 동료 작업자가 현장에 출근하여 당일작업 지시사항을 전달 받고 상수도관 자재를 준비하였고 12:30분경 굴착기로 전에 작업이 완료된 부분부터 도로 포장 절단 및 관로 굴착작업을 시작하였다.

* 출퇴근시간 도로 통제 시 많은 민원이 발생하여 정오에 공사를 시작함

13:30분경 재해자들이 굴착된 장소에 진입하여 바닥면 평탄화 및 상수도관 매설작업을 시작하고 굴착기는 시점부 반대 방향으로 계속해서 굴착작업을 진행하였다. 14:25분경 관로 바닥면 평탄화 작업을 위해 시점부 반대 방향으로 이동하던 재해자1이 굴착 선단부에 조경용으로 시공된 석재가 굴착 작업장 안으로 무너지면서 깔려 사망하였고 6m 길이의 상수도관 매설 작업을 마치고 굴착 작업장 밖으로 나오려던 재해자2는 무너진 석재에 깔려 골절상을 당하였다.



재해상황도

● 사고원인 추정 및 대책

현장소장에 따르면 재해발생 전일 및 당일 양일간 상수도관 매설을 위한 관로 굴착 시 굴착기를 이용하여 도로경계석과 평행한 방향으로 「줄파기」를 하여, 굴착 시 사유지 훼손과 조경석재가 굴착기 버킷과 접촉되지 않도록 굴착한 것으로 조사되었다.

관로 굴착의 규모는 폭 0.7m, 깊이 0.8m이고 관로 측면은 지면과 수직으로 굴착하였으며 굴착기로 관로 굴착 시 바닥면을 평평하게 할 수 없으므로 상수도관 매설 전 작업자가 굴착 작업장 안으로 들어가 삽, 갈퀴 등의 수공구를 사용하여 바닥면 평탄작업을 해야 하는 상황이었다.

현장소장은 굴착 폭이 약 0.7m로 좁고, 깊이가 약 0.8m로 상대적으로 깊지 않아 지반 붕괴의 위험이 적다고 판단하여 흙막이지보공 설치 없이 상수도관 매설 작업을 실시하였다고 했는데 사고 전날 약 35mm, 사고 당일 약 2mm의 비가 내려 토사의 함수율이 높아졌고 결과적으로 토사 붕괴에 일정부분 영향을 주었다고 판단되었다.

상기 내용을 토대로 토사 및 석재 붕괴사고 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 사업주는 굴착작업을 하는 경우 관리감독자로 하여금 작업 시작 전 작업 장소 및 그 주변을 점검하여 지반 붕괴에 영향을 미칠 수 있는 위험성을 파악하고
- ▶ 지반 붕괴 위험이 있는 경우에는 미리 흙막이지보공의 설치 등 지반 붕괴를 방지하기 위한 조치를 하여야 함

4. 이슈 & 시사점

트렌치 굴착작업 시 인접해있는 보강토 옹벽이나 조경 석재 등 구조물에 대한 사전조사, 안전성 검토는 거의 수행되지 못하고 있는 실정이다. 왜냐하면 트렌치 굴착작업이 대부분 소규모 건설 현장이고 원형, 하청의 시공역량이 부족하기 때문이다.

특히, 보강토 옹벽은 일견 간편한 시공으로 축조되는 구조물로 인식되는 경향이 있으나, 뒷채움재의 조건, 뒷채움재 내부 및 상부의 배수조건 그리고 뒷채움재와 배면의 원지형 조건에 따른 보강재의 적용문제 등 매우 까다로운 설계·시공 상의 문제점을 갖고 있는 공법이라고 할 수 있다.

그러나 강수 등에 의한 부등침하 발생 시 보강토 옹벽의 안정성은 매우 취약해 집에도 현재 일반적으로 적용되는 무근 콘크리트 패드의 기준이 보강토 옹벽의 높이 및 중요도, 기초지반 상태 등을 고려하여 철근을 배근하고 두께 및 폭을 크게 증가시켜 기초로서의 충분한 역할이 가능하도록 하는 설계기준은 미비한 실정이다.

또한 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표11에서 규정하고 있는 굴착사면 기울기의 기준 중에서 보통흙 습지, 건지의 판단기준이 모호하고 보통흙 건지의 기울기가 연암의 기울기인 1:0.5까지 가능한 부분은 판단 오류에 의한 토사붕괴 위험성을 높여주는 측면이 있다고 판단된다.

5. 법 제도 & 사업 개선방안

상기 굴착공사 표준안전작업지침에서 굴착작업 시 원칙적으로 흙막이보공을 설치하고, 굴착 깊이가 1.5미터 이하인 경우에만 흙막이보공을 설치하지 않을 수 있도록 규정하고 있는바 지자체 등 발주처는 굴착 깊이가 1.5m 이상 관로공사 시 흙막이보공을 설계에 반영하고 시공하도록 조치해야 할 것이다.

또한 보강토 옹벽 인접 굴착작업 시 토사 및 옹벽의 붕괴를 예방하기 위해 현재 일반적으로 적용되는 무근 콘크리트 패드의 설계기준을 보강토 옹벽의 높이 및 중요도, 기초지반 상태 등을 고려하여 철근을 배근하고 두께 및 폭을 크게 증가시켜 기초로서의 충분한 역할이 가능하도록 관련 설계기준을 개선해야 한다.

또한 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표11에서 규정하고 있는 굴착사면 기울기의 기준 중에서 보통흙 습지, 건지의 판단기준을 명확하게 하고 보통흙 건지의 기울기가 경암의 기울기인 1:0.5 까지 가능한 부분은 일부 개선이 필요하다고 판단된다.

| 사회적 이슈(Issue) 사고 사례집 |

II

선진 사고조사 기법 적용 사례



1

DOE (U.S. Department Of Energy)

■ DOE 분석기법 사례 1(질식재해)

가. 사건 및 사고요인 차트(Events & Causal Factors Chart) 분석

○ 목적

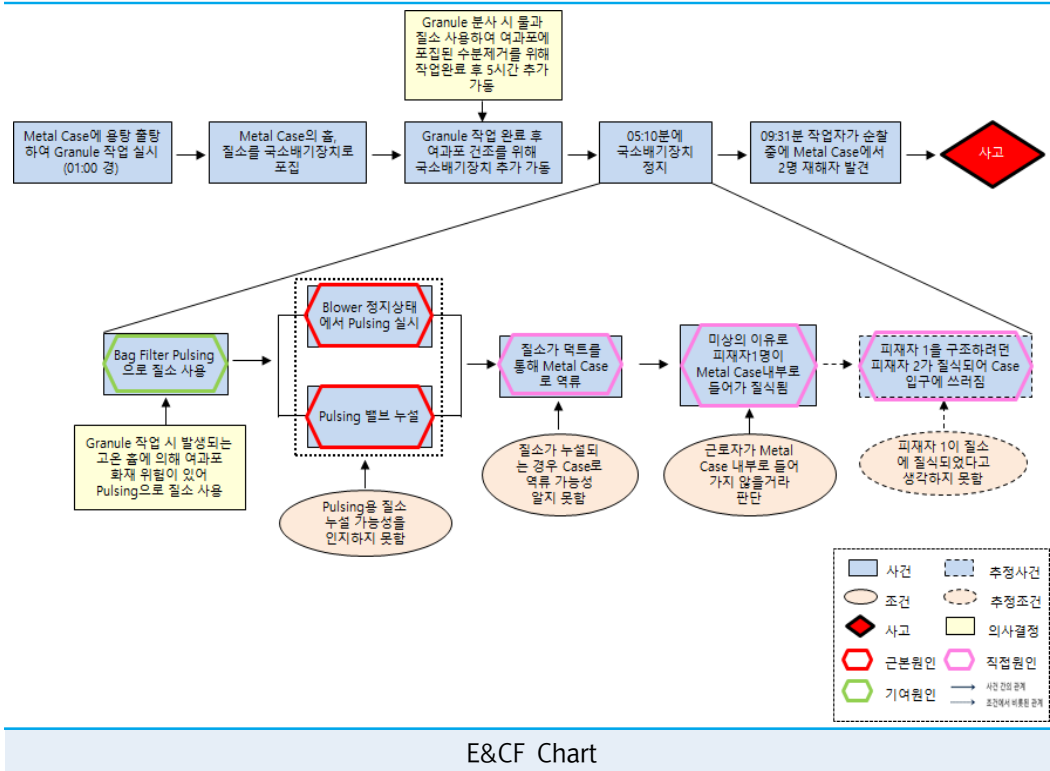
- 사고에 영향을 준 사건과 여건(사고가 발생하게 된 원인요소) 파악

○ 방법

- 재해발생 전 선행된 사건(Event) 및 조건(Condition)들을 발생 순서대로 나열하여 Flow Chart 형식으로 작성

○ 주요 확인내용

- 여과포 탈진 시 화재의 위험을 예방하기 위해 질소를 사용함
- 재해자가 Metal Case 내부로 들어가는 가능성을 고려하지 않음
- Metal Case 내부로 질소의 역류 가능성을 인지하지 못함
 - Blower 정지 상태에서 Pulsing 실시하는 경우
 - Pulsing 밸브가 누설되는 경우



나. 방호체계 분석(Barrier Analysis)

○ 목적

- 사고는 유해·위험요인(Hazard)이 표적(Target)과의 접촉을 통해 발생하므로, 이를 예방하기 위해 사고현장에서 시행된 방호벽(Barrier)의 종류와 방호벽이 작동하지 못한 이유 파악

○ 범위

- 사고에 영향을 준 방호벽과 영향을 줄 수 있는 방호벽

○ 목표

- 제 기능을 하지 못한 방호벽과 사용되지 않은 방호벽, 설치되지 않은 방호벽을 확인하고 이 같은 사항이 사고에 어떤 영향을 주었는지 파악

○ 종류

- 물리적 방호체계와 관리적 방호체계로 구분



[관리적 방호체계]

- Pulsing 밸브 누설 여부 확인하지 않음
- 자체 점검일에 국소배기장치 미가동, 우천 등으로 일상점검을 실시하지 않음

[물리적 방호벽]

- Metal Case 개구부가 근로자가 들어갈 수 있는 정도 크기임
- Blower와 Pulsing 연동장치가 구성되지 않음
- Pulsing 밸브가 누설되는 경우 질소 역류를 차단하는 시스템이 없음

[재해 대상(Target)]

Tapping 작업자

[관리적 방호체계]

방호체계(Barrier)

- Pulsing 밸브 누설 여부 확인 미실시
- 일상점검 미실시

[물리적 방호벽]

- Metal Case에 근로자가 들어갈 수 있는 크기의 개구부가 있음
- Blower와 Pulsing 연동 미실시
- Pulsing 밸브 누설 시 역류 차단 시스템 없음

[위험요인(Hazard)]

Pulsing용 질소 역류로 Metal Case 내부에 질식분위기 형성

방호체계 분석표 1

○ 방호벽 분석결과

[관리적 방호체계]

- ① Pulsing 밸브 누설 여부 확인 미실시
 - Bag Filter의 탈진 시 다이어프램 밸브 20개를 통해 질소를 공급하며, 다이어프램 밸브가 누설되는 경우 질소가 역류될 수 있다는 것을 인지하지 못해 누설 여부를 확인하지 않음
- ② 일상점검 미실시
 - 일상점검에서 Pulsing 밸브 상태를 확인하여야 하나 점검일에 국소배기장치의 미가동, 우천 등의 사유로 점검을 실시하지 않음

[물리적 방호체계]

- ① Metal Case 개구부 크기 부적절
 - Granule 분사작업 및 Pulsing으로 질소를 사용하고 있으며 Metal Case 내부로 근로자가 들어갈 수 있다는 위험성을 예측하지 못해 개구부 크기를 부적절하게 제작함
- ② Blower와 Pulsing 연동장치 미실시
 - Blower가 정지된 상태에서 Pulsing만 작동되는 경우 질소가 Metal Case로 역류될 수 있다는 것을 예측하지 못해 연동장치를 구성하지 않음
- ③ Pulsing 밸브 누설 시 질소 역류 차단 시스템 부재
 - Pulsing 다이어프램 밸브가 누설되는 경우 질소가 Metal Case로 역류될 수 있다는 것을 예측하지 못해 역류 차단 시스템을 설치하지 않음



(유해·위험요인) 질소 역류		(재해대상) Tapping 근로자		
방호벽 종류	방호벽의 실제 작동상태	방호 실패 이유	사고에 미친 영향	정황
■ Pulsing 밸브 누설 여부 (관리적)	■ Pulsing 밸브가 국소배기장치의 3층에 설치되어 있으며 밸브 누설 여부에 대해 확인하지 않음	■ Pulsing 밸브가 누설여부를 현장 순찰시 확인하지 않음	■ 사전에 밸브 누설을 발견하여 조치할 수 있는 기회를 놓침 ■ Pulsing 밸브가 누설되는 경우 질소가 역류되어 Metal Case로유입될 수 있는 위험성을 예측하지 못함	■ 위험성 예측 부족
■ 점검 항목 (관리적)	■ 국소배기장치 미가동, 우천 등으로 일상 점검을 하지 않음	■ 일상점검 점검 일에 국소박이 장치가 가동되지 않아 점검을 하지 못함	■ 사전에 밸브 누설을 발견하여 조치할 수 있는 기회를 놓침	■ 형식적인 점검 실시 ■ 관리감독 소홀
■ 개구부 크기 (물리적)	■ 메탈케이스 개구부가 근로자가 들어갈 수 있을 정도의 크기로 설치됨	■ 메탈케이스 내부로 근로자가 들어간다는 예측을 하지 못함	■ 메탈케이스 내부로 근로자가 진입함	■ 위험성 예측 부족
■ 연동장치 (물리적)	■ Blower가 정지된 상태에서 Pulsing만 작동이 가능함	■ 위험성을 예측 하지 못해 Blower와 Pulsing 연동 장치를 구성하지 않음	■ Blower 정지 상태에서 Pulsing만 실시하여 메탈 케이스로 질소가 역류함	■ 위험성 예측 부족 ■ 위험요소 분석 미실시
■ 역류 차단 시스템 (물리적)	■ Pulsing 밸브 누설로 질소가 메탈케이스로 역류됨	■ 위험성을 예측 하지 못해 밸브 누설 시 역류 차단 시스템을 설치하지 않음	■ 밸브 누설로 질소가 역류하여 메탈케이스로 유입됨	■ 위험성 예측 부족 ■ 위험요소 분석 미실시

방호체계 분석표 2

다. 변화요인 분석(Change Analysis)

○ 방법 및 순서

- 사고발생 상태와 안전작업 상태의 비교
- 차이점(Difference) 확인
- 확인된 차이점이 사고에 미친 영향 분석
- (분석결과 활용) 사건 및 사고요인 차트 (Events and Causal Factors Chart) 작성에 활용

○ 분석 결과

- (질소 역류)
 - Pulsing 밸브 누설여부를 점검을 통해 인지하여 조치를 취하지 않음
 - Blower와 Pulsing 연동장치를 미구성함
- (Metal Case 작업자)
 - Metal Case 내부로 근로자가 진입이 가능한 크기의 개구부가 설치됨

요소	사고현장 상태 (Present Condition)	안전(이상적)작업 상태 (Ideal Condition)	차이 (Difference)
(WHAT) 질소 역류	■ Pulsing밸브 누설여부를 확인하는 점검이 있었으나 국소배기장치 미가동 등으로 실시하지 않음 ■ Blower와 Pulsing 연동장치가 없어 Pulsing만 실시되는 경우 메탈케이스로 역류가 가능했음	■ 생산팀 직원 입회하에 국소 배기장치를 가동 하면서 이상여부를 확인 ■ 1회/월 또는 현장 순찰 시 밸브 누설여부를 확인하고 이상이 있는 경우 교체 ■ Pulsing은 Blower가 작동되는 경우에만 작동되도록 연동장치 구성	■ Bag Filter의 Pulsing용 질소가 역류되어 메탈케이스로 유입될 수 있다는 예측을 하지 못해 적절한 조치가 없었음
(WHO) 메탈케이스 작업자	■ 이유는 알 수 없지만 메탈 케이스 개구부를 통해 근로자가 내부로 들어감	■ 메탈케이스 내부로 근로자 진입이 불가능하도록 개구부 크기 설치	■ 근로자는 메탈케이스 내부가 질식분위기라고 생각하지 못한 상태에서 내부로 들어감

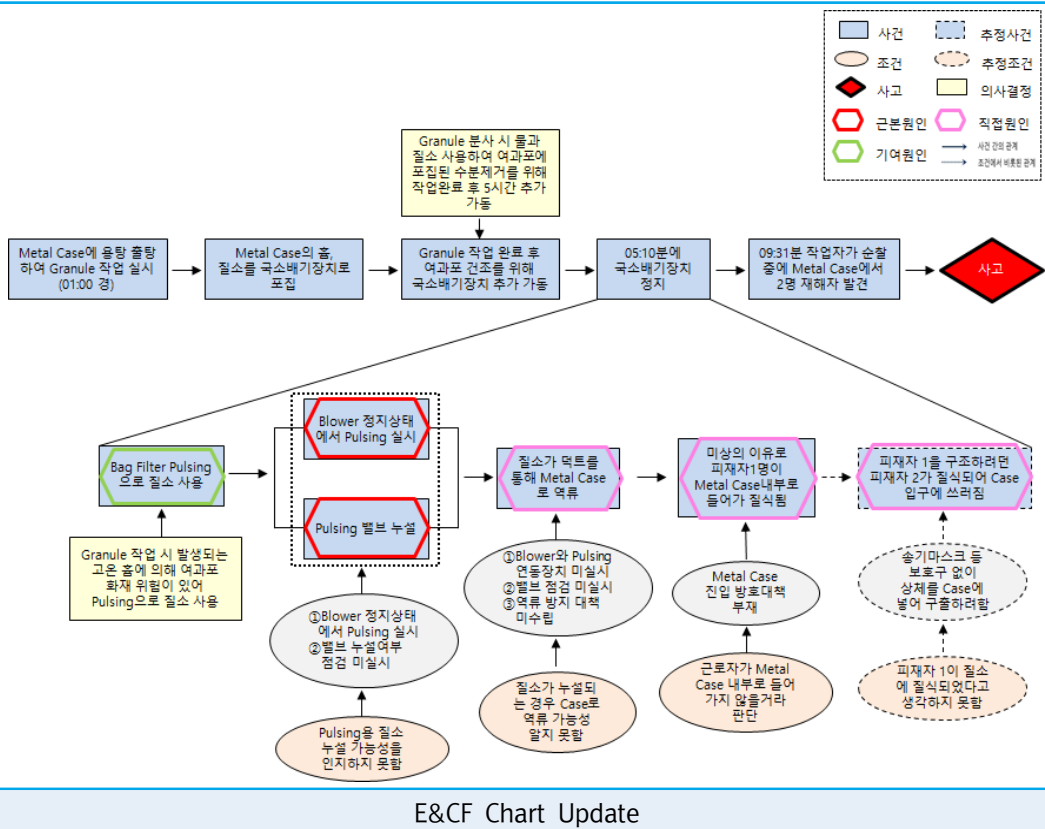
변화요인 분석표



라. 사건 및 사고요인 차트(E&CF Chart) Update

○ 목적

- 재해발생에 영향을 미친 사고요인 도출 및 사고요인 간 연관성 분석을 통해 재해발생 메커니즘(mechanism)을 이해함으로써 재해발생 근본원인(Root Cause) 발견



E&CF Chart Update

마. 사고원인 분석

○ 직접원인

- Metal Case 내부로 이유는 알 수 없지만 근로자가 들어감
- Pulsing용 질소가 역류하여 Metal Case로 유입·정체됨

○ 기여원인

- Bag Filter의 Pulsing으로 질소를 사용함

○ 근본원인

- Pulsing용 질소가 Metal Case로 역류할 수 있다는 예측을 하지 못함
 - Blower 정지 상태에서 Pulsing 실시로 질소 역류됨
 - Pulsing 밸브가 누설되어 국소배기장치 정지 상태에서도 역류됨

○ 재발 방지대책

- 화재·폭발의 위험이 없는 경우 질소를 Air로 대체
- Metal Case 개구부 크기 조절
- Blower와 Pulsing 연동장치 구성
- Pulsing 밸브 누설의 경우 역류 차단 시스템 설치
- 국소배기장치 점검 내실화

■ DOE 분석기법 사례 2(폭발재해)

가. 사건 및 사고요인 차트(Events & Causal Factors Chart) 분석

○ 목적

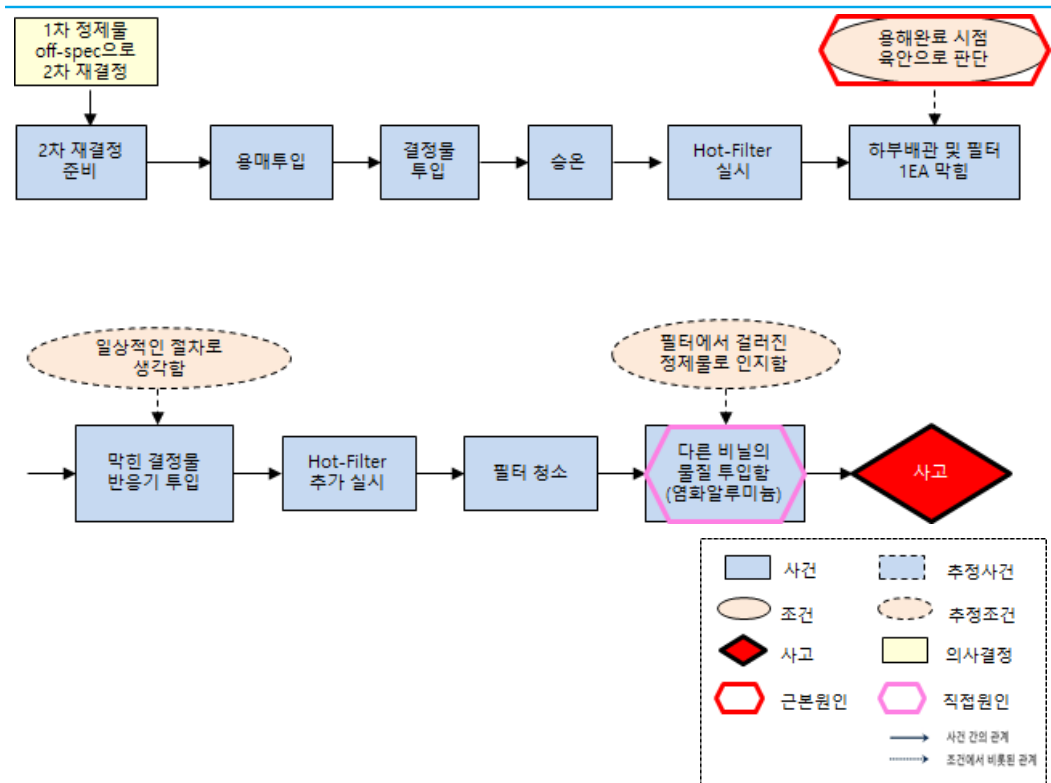
- 사고에 영향을 준 사건과 여건(사고가 발생하게 된 원인요소) 파악

○ 방법

- 재해발생 전 선행된 사건(Event) 및 조건(Condition)들을 발생 순서대로 나열하여 Flow Chart 형식으로 작성

○ 주요 확인내용

- 주변에 있던 원재료를 담아 놓은 비닐을 필터에서 걸러진 정제물로 인지하고 반응기에 투입
- 필터에서 걸러진 정제물과 주변에 놓은 원재료를 보관하는 비닐이 동일한 소재, 색깔로 구별하기 어려움
- 용해도 차이에 의해 필터에서 정제물이 걸러지는 횟수가 상이하며 육안으로 용해도 완료 시점을 판단함
- 과거에도 반응기 맨홀을 열고 정제물을 투입한 경우가 있어 일상적인 작업으로 생각함



E&CF Chart

나. 방호체계 분석(Barrier Analysis)

○ 목적

- 사고는 유해·위험요인(Hazard)이 표적(Target)과의 접촉을 통해 발생하므로, 이를 예방하기 위해 사고현장에서 시행된 방호벽(Barrier)의 종류와 방호벽이 작동하지 못한 이유 파악

○ 범위

- 사고에 영향을 준 방호벽과 영향을 줄 수 있는 방호벽

○ 목표

- 제 기능을 하지 못한 방호벽과 사용되지 않은 방호벽, 설치되지 않은 방호벽을 확인하고 이 같은 사항이 사고에 어떤 영향을 주었는지 파악

○ 종류

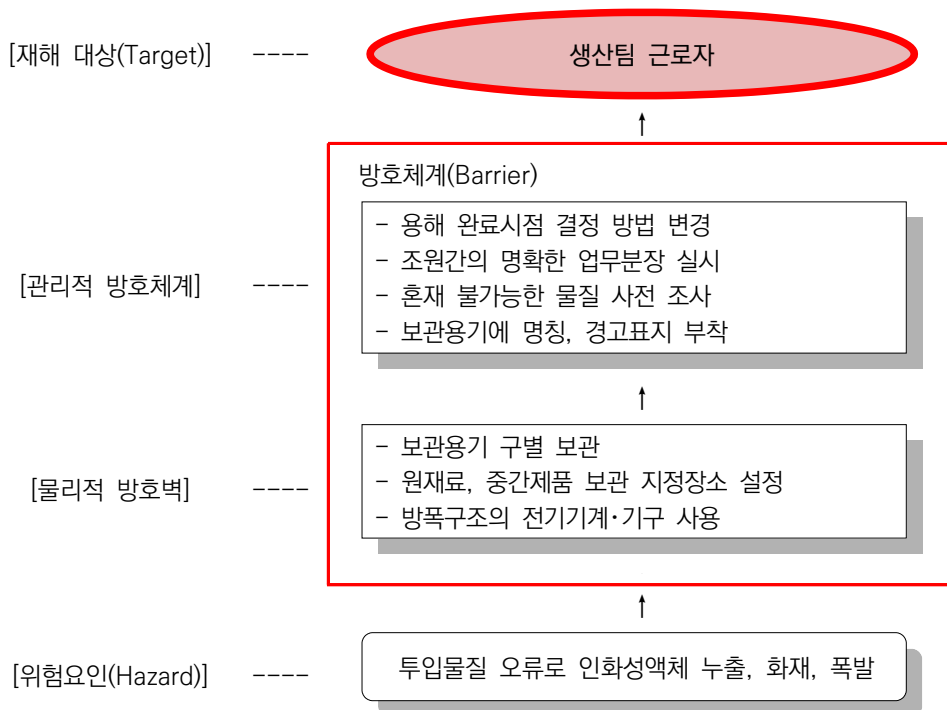
- 물리적 방호체계와 관리적 방호체계로 구분

[관리적 방호체계]

- 용해 완료 시점 결정하는 방법 변경
(예시. 육안으로 용해도 완료시점을 결정하는 대신 실험실에서 분석을 통해 결정)
- 조원 간의 명확한 업무분장 실시
(예시. 필터에서 정제물 꺼내는 사람, 반응기에 투입하는 사람 등 JSA를 통한 업무분장)
- 사용하는 원재료와 중간제품에 대한 혼재 불가능 물질 사전 조사 및 교육
- 보관용기에 명칭, 경고표지 부착

[물리적 방호벽]

- 보관용기가 서로 다른 것을(색깔, 모양 등) 사용하여 원재료, 중간제품을 지정된 장소에 보관
- 방폭구조의 전기기계·기구 사용



방호체계 분석표 1



○ 방호벽 분석결과

[관리적 방호체계]

① 용해 완료 시점 결정 방법

- 반응이 완료된 정제물이 용매에 포화용액이 된 시점에 Hot Filter 작업을 수행하는 경우 필터에 정제물이 걸러지는 경우가 없어지거나, 횟수가 줄어들어 근본적으로 반응기 맨홀을 열고 투입하는 작업 자체를 제거하거나 줄일 수 있음. 현재는 육안으로 용액의 색깔을 보고 완료 시점을 판단하고 있어 반응기에 재투입하는 경우가 발생함

② 명확한 업무분장

- 조장을 제외한 조원 4명의 업무가 명확하게 정해지지 않아 필터에서 정제물을 꺼내서 낚 둔 사람, 반응기에 정제물을 투입하는 사람이 다른 경우 잘못된 물질을 투입하는 경우가 발생함

③ 물질별 반응성 사전 조사

- MSDS를 참고하여 사용하는 원재료, 중간제품, 제품에 대해 다른 물질과 혼재되는 가능성이 있을 시에는 반응에 의한 화재·폭발, 독성물질이 발생 가능한 경우를 사전 조사하고 근로자에게 교육을 실시하는 절차가 생략됨
- 정제과정 진행 중에 반응공정의 원재료가 투입되는 경우 등 위험성을 예측하지 못함

④ 보관용기에 명칭, 경고표지 부착

- 원재료 용기에는 제조사에서 명칭, 경고표지가 부착되어 입고되나 소분된 원재료, 중간 제품에는 부착되어 있지 않아 근로자의 착각으로 잘못된 물질이 투입될 가능성이 높음

[물리적 방호체계]

① 물질별 보관 용기 구별

- 소분된 물질에 대해 보관 용기(비닐)가 같아 인적오류로 인한 투입 실수가 발생함

② 원재료, 중간제품, 제품 보관장소 지정

- 회분식 반응의 경우 수작업으로 물질을 투입하는 경우가 많아 지정된 장소에 보관하지 않은 경우 잘못된 제품을 투입할 수 있는 가능성이 높음

③ 방폭형 전기기계·기구 사용

- 인화성액체를 사용하는 장소 주변에서 비방폭형 이동식콘센트를 사용하여 점화원으로 작용할 수 있는 가능성이 있음

(유해·위험요인) 잘못된 물질 반응기 투입		(재해대상) 생산팀 근로자		
방호벽 종류	방호벽의 실제 작동상태	방호 실패 이유	사고에 미친 영향	정황
■ 용해 완료시점 결정 방법 (관리적)	■ 반응기 내부 용액의 색깔에 의해 용해 완료 시점 결정함 - 작업자의 개인 판단에 따라 용해도 차이 - 용해도가 상이하여 필터에서 정제물이 걸러지는 경우가 빈번하게 발생함	■ 용해도의 차이는 있지만 필터에서 걸러진 정제물을 재투입하는 것을 공정의 일부분이라 생각함	■ 정제물이 아닌 다른 물질을 투입할 수 있는 가능성이 있음	■ 용해도 차이에 따라 정제물을 재투입하는 것을 공정의 일부분이라 생각함
■ 명확한 업무분장 (관리적)	■ 4명의 조원에 대해 명확한 업무분장이 없음 ■ 상황에 따라 정제물을 반응기에 투입하는 근로자가 다름	■ 업무분장이 없어도 상황에 따라 생산 업무가 가능하다고 생각함 - 어려운 업무가 아닌 단순 작업이라고 생각함	■ 필터에서 걸러진 정제물을 놓아둔 사람과 반응기에 투입한 사람이 동일하지 않아 다른 물질 투입함	■ 잘못된 물질을 투입할 수 있다는 가능성 무시 ■ 위험성 예측 부족
■ 반응성 사전 조사 (관리)	■ 원재료, 중간제품 등에 대해 혼재 불가능한 물질에 대한 사전 조사를 하지 않음	■ 운전절차에 따라 물질을 투입할 거라는 안일한 생각으로 - 정제공정에 반응 초기 물질이 투입될 수 있다는 가능성 무시	■ 혼재되는 경우 격렬한 반응이 있는 물질 투입함	■ 지식부족
■ 보관 용기 관리 (관리적)	■ 소분된 물질에 대해 명칭, 경고 표지를 부착하지 않고 동일한 크기, 색깔의 비닐을 사용함	■ 잘못된 물질의 투입 가능성을 예측하지 못함	■ 보관 비닐의 색깔이 동일하여 다른 물질을 반응기에 투입함	■ 위험성 예측 부족
■ 보관장소 (물리적)	■ 원재료, 중간제품, 제품, 소분제품 등을 구획하여 보관하지 않고 공장 바닥에 비치함	■ 물질이 섞여 잘못된 물질이 투입될 수 있음을 예측하지 못함	■ 근로자의 착각으로 필터에서 걸러진 정제물로 착각하고 다른 물질 투입함	■ 위험성 예측 부족
■ 비방폭형 이동식콘센트 (물리적)	■ 인화성액체를 사용하는 반응기 주변에 비방폭형 이동식콘센트를 사용함	■ 이동식콘센트 등 비방폭 전기기계·기구의위험성 무시	■ 직접적인 점화원으로 단정할 수는 없지만 폭발의 점화원 가능성은 있음	■ 위험성 무시

방호체계 분석표 2



다. 변화요인 분석(Change Analysis)

○ 방법 및 순서

- 사고발생 상태와 안전작업 상태의 비교
- 차이점(Difference) 확인
- 확인된 차이점이 사고에 미친 영향 분석
- (분석결과 활용) 사건 및 사고요인 차트 (Events and Causal Factors Chart) 작성에 활용

○ 분석 결과

- **(타 공정의 사용 물질 유입)** 정제공정 진행 중에는 반응기에 투입되는 물질은 필터에서 걸러진 정제물만 가능하나, 이상반응이 발생할 수 있는 물질을 P3공장에서 P1 공장으로 들어오면서 다른 물질이 투입됨. P3공장의 저울을 사용하고 있거나 고장이 난 경우 P1공장의 저울을 가져가서 사용했어야 하나 지게차로 염화알루미늄을 이송하여 P1공장 에서 무게를 측량함
- **(필터 정제물 투입 시점)** 필터에서 걸러진 정제물을 받아 낸 작업자가 바로 반응기에 투입해야 하나 약 1시간이 지난 시점에 다른 작업자가 투입하다 보니 동일한 색깔의 비닐을 정제물로 착각하고 투입함

요소	사고현장 상태 (Present Condition)	안전작업 상태 (Ideal Condition)	차이 (Difference)
(What) 물질 보관 비닐	■ 원재료의 소분 비닐, 필터 에서 걸러진 정제물 비닐의 크기, 색깔이 동일함	■ 물질별 담는 용기 종류를 다르게 하고 명칭을 붙여 작업자가 쉽게 구별할 수 있도록 관리	■ 물질별로 담는 용기를 구별하지 않고 명칭을 미부착함
(When) 투입시점	■ 필터에서 걸러진 정제물을 약 1시간이 경과한 후에 투입함	■ 비닐의 크기와 색깔이 동일 하여 다른 물질이 투입될 가능성이 있음으로 필터 에서 정제물을 받아낸 이후 바로 반응기에 투입	■ 정제물을 투입 시점 늦음
(Where) 정제물 비닐 보관 위치	■ 필터에서 걸러진 정제물 비닐과 원재료 소분 비닐을 별도의 지정된 보관장소가 없이 관리함	■ 원재료, 중간제품, 제품 등의 보관장소를 지정하여 관리	■ 지정된 보관장소 미설정
(Who) 업무분장	■ 4명의 조원에 대한 명확한 업무가 분장되지 않은 채 작업함	■ 개인별 역할, 작업범위 등에 대한 명확한 업무 지정 - 필터에서 정제물 받아낸 사람과 투입한 사람이 동일해야 함	■ 작업자 업무분장 미실시
(How) 유해·위험 요인 관리	■ 다른 물질이 투입될 가능성, 혼재되는 경우 반응성 등 사전 위험성 평가가 미흡함	■ 각 물질에 대한 MSDS를 참고하여 혼재해서는 안되는 물질을 파악하고 작업자에게 교육 등 실시	■ 위험요인 사전파악 여부
(Other) 옆 공장 물질 이동	■ P3 공장에서 사용해야 할 물질이 P1공장의 저울에서 무게 측정함 ※ 정제공정에서는 염화알루 미늄 사용 안함	■ 해당 공정에서 사용하는 물질만 보관 및 사용	■ 위험요인 사전파악 여부

변화요인 분석표



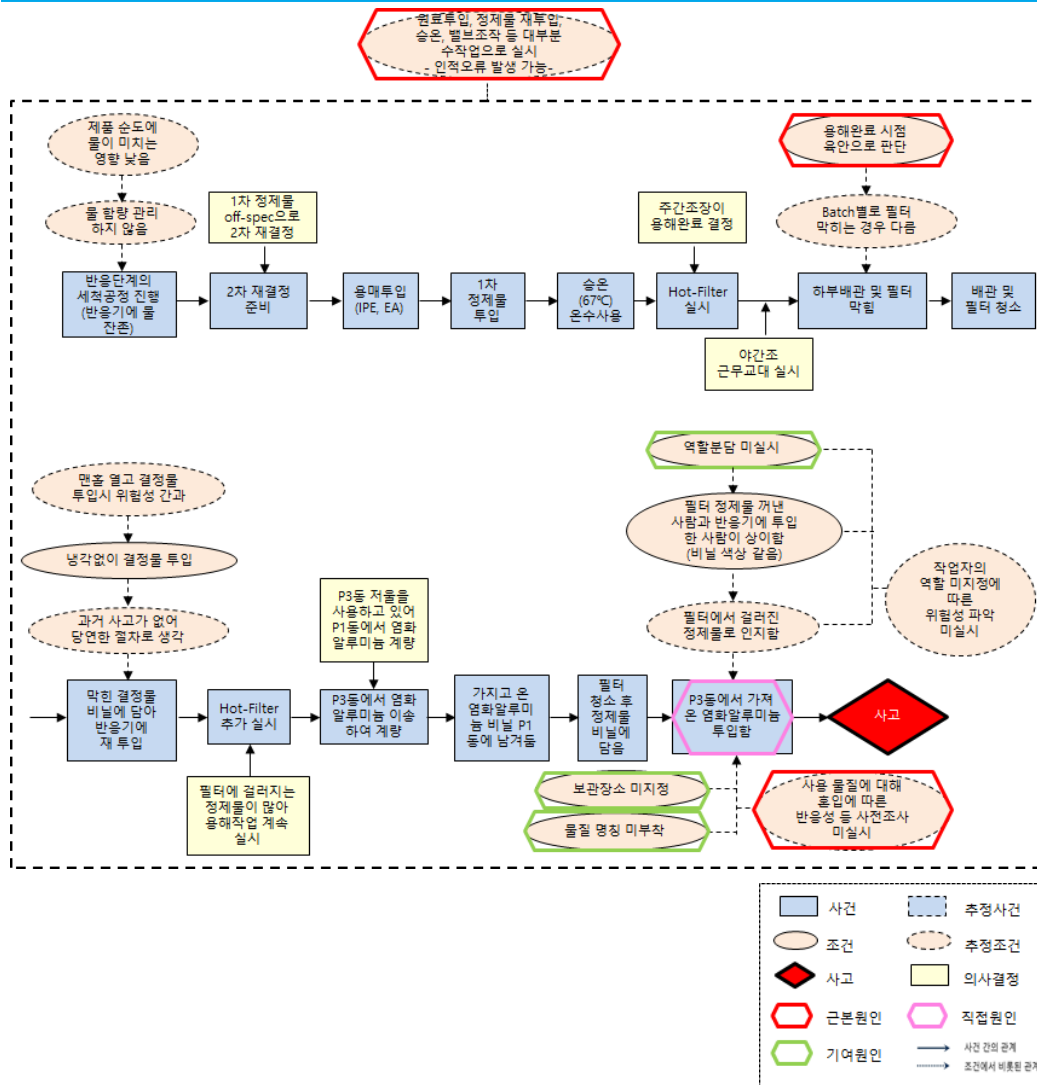
라. 사고원인 분석

- 직접원인 : 잘못된 물질 반응기 투입
 - 필터에서 걸러진 정제물이 아닌 다른 물질인 염화알루미늄을 반응기에 투입하여 용액이 분출되고, 이에 형성된 유증기에 의해 폭발 발생함
- 기여원인 : 명확한 업무분장 미실시, 비방폭형 이동식콘센트 사용
 - 작업자 간에 명확한 업무분장이 없어 필터에서 걸러진 정제물을 받아낸 사람과 반응기에 투입한 사람이 달라 잘못된 물질을 투입함
 - 인화성액체를 사용하는 장소 주변에서 비방폭형 이동식콘센트를 사용함
- 근본원인 : 용해 완료 시점 결정 방법
 - 정제물이 용매에 포화된 시점에 Hot-Filer 작업을 수행하는 경우 반응기에 재투입하는 절차가 없어지거나, 횟수를 줄일 수 있으나, 반응기 내부 용액의 색깔 변화를 작업자의 육안으로 판단함에 따라 재투입하는 절차가 발생하고, 보관 비닐의 구별 없이 관리되고 있어 다른 물질이 투입함
- 재발 방지대책
 - 용해 완료 시점을 작업자의 육안이 아닌 실험실에서 샘플 분석을 통해 결정하여 필터에서 근본적으로 정제물이 걸러지지 않도록 방법을 변경하고, 재투입이 필요한 경우에는 반응기의 온도를 냉각한 후 자동투입설비를 사용하여 투입 바람
 - 원재료, 소분 제품 등의 용기에 명칭을 부착하고 지정된 장소에 보관
 - 작업자의 명확한 업무분장 실시

마. 사건 및 사고요인 차트(E&CF Chart) Update

○ 목적

- 재해발생에 영향을 미친 사고요인 도출 및 사고요인 간 연관성 분석을 통해 재해발생 메커니즘(mechanism)을 이해함으로써 재해발생 근본원인(Root Cause) 발견



E&CF Chart Update



■ Check List 예시

[산소 취급 사업장 점검 체크리스트]

확인항목	점검결과		비고
	유	무	
☐ 다음의 사항을 알고 있었는가? - 최대 사용 압력에 따른 재질 선정 기준 - 고압산소 배관의 유속 제한 기준 - 균압 조치의 이유			
☐ 차단밸브 전·후단 균압 배관, 압력계는 설치되었나?			
☐ 균압배관이 없는 경우 - 균압 조치의 중요성 알고있는가?			
- 차단밸브 열기 전 균압 조치 방법이 있는가? (자체적으로 실시중인 내용)			
- 차단밸브 열기 전 후단에 질소를 공급하여 위험을 감소하고 있는가?			
☐ 차단밸브 조작 시 작업표준, 안전매뉴얼은 있는가?			
☐ 산소 작업 관련하여 보유하고 있는 작업표준, 매뉴얼은 있는가?(설계자료, 안전 운전 매뉴얼 등) - 자료는 Licenser 에서 제공 받아 작성하였는가?			
☐ 위의 내용에 대해 근로자에게 안전교육은 하였는가?			
☐ 정비, 보수 등 작업 시 관리 담당자는 누구이며, 산소 위험성에 대한 충분한 지식이 있는가? - (협력업체가 작업하는 경우) 관리감시자 배치, 사전 안전 조치, 정보제공 등 절차가 있는가?			
☐ 산소배관의 재질은 무엇인가? (제조공장 / 이송배관) - 탄소강의 경우 스테인리스스틸로 교체할 계획은 있는가? - 탄소강의 경우 두께 측정 주기는?			
☐ 차단밸브 타입은? - (볼밸브인 경우) 볼밸브를 설치한 이유는? - 볼밸브의 위험성은 알고 있는가? - 교체할 계획은 있는가?			
☐ 산소관련 사고의 경험이 있었는가? - 사고 원인과 대책은 무엇인가?			

회분식 반응기(혼합기, 추출기 등) 점검 체크리스트

구분	점검항목	규정	비고
1. 위험물			
1-1.	원료, 촉매, 부원료, 용매, 제품은 어떤 위험물인가? * 인화성액체, 인화성가스, 부식성물질, 급성독성물질, 가연성 분진 등	규칙 별표-1	
1-2.	원료, 제품 등의 물질안전보건자료 확보 및 교육 실시 여부?	법 114조	
1-3.	원료, 제품 등의 경고표지 부착 여부? * 물질명칭, 그림문자, 신호어, 유해위험문구, 예방조치문구, 공급자 정보 등	법 114조	
2. 반응기 등			
2-1.	반응식, 반응열, 최대단열온도(냉각실패시 최대온도) 등의 확보 여부? * 흡열반응시 반응폭주 등의 위험은 없음(일부 확인 생략 가능)	Guide P-38,53	
2-2.	원료, 제품 등의 최대단열온도에서 이상반응 또는 분해 여부?		
2-3.	냉각실패, 원료과투입, 원료오염, 교반기정지 등의 발생할 경우 반응은?		
2-4.	설계온도는 적정한가?(운전온도+30℃)	Guide D-37	
2-5.	설계압력은 적정한가? (운전압력*1.1 또는 운전압력+0.18 MPa)		
3. 절차			
3-1.	퍼지 또는 충분한 환기 후 원료를 투입하는가?		
3-2.	원료(가연성분진, 인화성액체 등) 등을 반응기 등의 노즐을 통해 투입하는가? * 맨홀을 개방하지 않고 원료 등 투입		
4. 과압방지			
4-1.	안전밸브 또는 파열판 설치 여부? * 반응폭주, 독성물질 취급 및 안전밸브에 점착 가능시 파열판 설치	규칙 261조, 262조	
4-2.	안전밸브와 파열판이 직렬로 설치된 경우 사이에 압력계 설치 여부? * 반응폭주가 가능할 경우 직렬로 설치 금지, 압력계 "Zero" 확인	규칙 263조	



구분	점검항목	규정	비고
4-3.	반응폭주가 가능할 경우 배출용량 산출은 적정한가? * 외부화재 등을 고려한 경우보다 훨씬 커야 함	규칙 265조	
4-4.	안전밸브 등의 전·후단에 차단밸브 설치 여부? * 복수의 안전밸브 등을 제외하고 차단밸브 설치금지 (CSO형으로 설치)	규칙 266조	
4-5.	안전밸브 등의 방출물은 안전하게 처리하고 있는가? * 흡착탑, 흡수탑 등에서 대량 또는 비수용성 위험물 처리가 어려움	규칙 267조	
4-6.	자켓에 안전밸브 설치 여부?		
4-7.	상압운전으로 안전밸브 등이 설치되지 않은 경우에는 충분한 크기의 통기관에 차단밸브 없이 화염방지기 설치 여부?	규칙 268조, 269조	
5. 계측 등			
5-1.	온도계, 압력계 등의 설치여부?	규칙 273조	
5-2.	온도경보장치, 압력경보장치, 교반기 정지 경보장치 등의 설치 여부?	규칙 274조	
5-3.	불활성가스 공급설비가 설치되어 있는가?	규칙 275조	
5-4.	원료 공급배관에 긴급차단밸브 설치 여부?(Fail close형)	규칙 275조	
5-5.	반응억제제 공급설비가 설치되어 있는가? * 반응억제제 충전 상태, 반응기 압력이상의 압력공급원 유무	규칙 275조	
5-6.	교반기 등에 비상전원 연결 여부? (정전으로 화재/폭발이 가능한 경우)	규칙 276조	
6. 정전기			
6-1.	반응기(혼합기 등) 접지 여부?	규칙 325조	
6-2.	원료 투입설비의 접지 및 본딩 여부?	규칙 325조	
6-3.	액상원료 투입배관 및 제품 이송배관의 침액(Dipping) 구조 여부?	규칙 325조	
6-4.	제품을 드럼 등 이동식용기로 이송할 경우 접지 및 본딩 여부?	규칙 325조	
6-5.	제품을 드럼 등 이동식용기로 이송할 경우 유증기 제거 여부?	규칙 232조	
6-6.	원료 투입 및 제품 이송 설비의 도전성재질 여부?	규칙 325조	

구분	점검항목	규정	비고
6-7.	제전복, 제전화, 제전장갑, 도전성바닥 등 인체의 정전지 제거 여부?	규칙 325조	
7. 기타			
7-1.	반응기(혼합기 등) 주변을 폭발위험장소로 구분 여부?	규칙 230조	
7-2.	반응기(혼합기 등) 주변에 가연성 및 독성가스 감지기 설치 여부? * 인화성액체/가스-LEL25%이하, 독성물질-TWA이하, 비상전원 연결 여부	규칙 232조	
7-3.	반응기(혼합기 등)의 지지대, 건축물의 기둥 및 보 등의 내화 조치 여부?	규칙 270조	
7-4.	조정실의 안전거리(20 m) 확보 여부? * 안전거리가 확보되지 않을 경우 방호구조	규칙 271조	
7-5.	전기설비를 방폭형으로 설치 여부?	규칙 311조	



2

FRAM(Functional Resonance Analysis Method)

1. 선진 사고조사 기법 도입 배경

최근 사업장 규모 및 작업형태가 대형화, 복잡화됨에 따라 사고가 발생하면 근본원인을 규명하는게 점차 어려워지고 있다. 건설현장의 경우에도 발주처, 설계자, 감리자, 원청, 하청, 재하청, 작업자 등 다단계 사업구조로 인해 사고를 유발하는 요인이 증가하여 과거의 1차원 선형적인 사고조사 방법으로는 설명되지 못하는 부분이 많아지고 있다.

따라서 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 선진국에서는 사고를 시스템적이고 통합적으로 분석하기 위해 2000년 전후로 AcciMap, STAMP, FRAM 등 시스템적 사고분석 기법*을 활용하고 있으나 아직 국내에서 적용된 사례는 많지 않다.

* 출처 : 「화학공장 화재·폭발 사고사례의 시스템적 원인분석에 관한 연구」, 산업안전보건연구원

[표 1] 선진 사고분석 기법 종류

구분	발표자	발표년도	주요내용
AcciMap	Jens Rasmussen	1997	복잡한 사회적, 기술적 시스템을 개인과 조직 및 관계자의 계층적 구조로 구성되어 있다고 보고 사고가 발생하면 전체 시스템 간의 상호작용을 규명해야 한다고 제시
STAMP	Nancy Leveson	2004	사고는 설계·개발 및 운영단계에서 상호작용 하는 시스템의 구성요소 사이에서 시스템 안전 제약 조건을 부적절하게 시행한 결과라고 제시
FRAM	Erik Hoollnagel	2004	행위 또는 이벤트(event)는 활동을 수행하는데 필요한 기능, 기능 간 잠재적 연결성 및 기능의 변동성 측면에서 설명하고 인적오류 및 사고가 발생하는 발현적 과정을 시스템 기능들의 비선형적인 상호작용을 모형화하여 제시

2. FRAM(Functional Resonance Analysis Method) 개념 및 모델

FRAM의 기본 원칙에 대한 과학적 배경은 일반 시스템 이론, 심리학 및 인공지능학적 연구, 구조화된 소프트웨어 개발의 원리에서 비롯되었다. 그리고 FRAM의 개발은 전통적인 안전 개념에 대한 대안으로 레질리언스** 엔지니어링(Resilience Engineering)의 개발과 일치했으며 안전을 새롭게 바라보도록 하기 위한 도구로 볼 수 있다.

** 조직 내 안전시스템을 모니터링 해 취약점을 분석 진단한 뒤 이에 대한 대응책을 마련하고 필요한 내용을 스스로 학습해 위험을 예측하는 것으로 안전 탄력성이라고 한다.

그리고 FRAM의 목적은 일반적으로 발생하는 정상적인 작업에 대한 간결하고 체계적인 설명을 제공하는 것이다. 즉, 인적오류 및 사고가 발생하는 발현적 과정을 시스템 기능들의 비선형적인 상호작용을 모형화하여 이해하고 예측하는데 도움을 주는 방법이다.

또한 FRAM은 4가지 원칙이 있는데 ①성공과 실패의 동등성 원칙, ②근사 조정의 원칙, ③발현되는 결과의 원칙, ④기능들의 관계에서 기능공명의 원칙이다. 먼저 「성공과 실패의 동등성 원칙」이란 성공과 실패(사고)는 같은 과정에서 발생한다는 것으로 사고는 정상 시스템 기능의 고장이나 오작동을 의미하는 것이 아니고 오히려 복잡한 상황에 대처하고 적응해 가면서 나타난 하나의 현상이라는 것이다.

둘째, 「근사 조정의 원칙」은 사람들이 조건에 맞게 지속적으로 행동을 조정한다는 가정이다. 주어진 작업 상황에 유연하게 적응하고 대처하는 과정에서 작업자가 가진 자원과 시간이 한정적 이므로 이러한 적응, 조정은 불가피하게 완전하지 못하고 대략적으로 진행된다는 것이다.

셋째, 「발현되는 결과의 원칙」은 모든 결과가 특정의 식별 가능한 원인이 있다고 설명할 수 없는 것과 같이 성공적인 또는 실패적인 결과 모두 시스템 내의 어떤 특정 요소의 정상적 기능 혹은 고장으로 단순히 설명될 수 있는 것이 아닌 발현되는 현상의 결과라는 것이다. 여러 기능의 변동성은 예상치 못한 방식으로 서로 일치하고 서로 영향을 줄 수 있으며 부정적 및 긍정적인 의미에서 예상치 못한 불균형적인 영향을 초래할 수 있다.

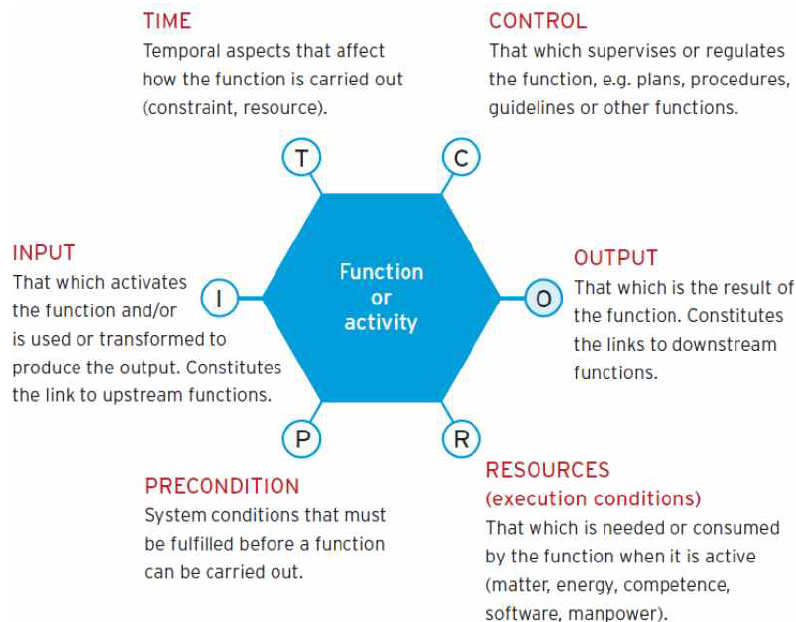
넷째 「기능들의 관계에서 기능공명의 원칙」은 원인-효과(인과성) 원리를 기반으로 설명할 수 없거나 합리적인 경우가 아닌 경우, 기능적 공명(共鳴)을 사용하여 비선형 상호작용 및 결과를 설명할 수 있다는 것이다. 여러 기능의 가변성은 때때로 일치하여 서로 간에 영향을 줄 수 있다. 여기에서 「기능」은 목표를 달성하는데 필요한 수단을 나타내고 보다 일반적으로 기능은 특정 결과를 생성하는데 필요한 행위 또는 활동을 나타낸다.

FRAM을 이용한 사고분석은 다음과 같은 순서로 수행되는데 ①시스템 기능의 도출 및 특성화, ②기능의 수행 변동성 파악, ③기능 변동성의 파급효과 분석(기능 공명 파악), ④기능 변동성 기반의 대응방안 모색 등이다.



여기에서 「시스템 기능의 도출 및 특성화」 방법을 설명하면 시스템 자료수집 및 기능 도출, 기능의 특성화(6개 요인), FRAM 모델의 예시화(Instantiation) 등인데 FRAM 모델의 예시화는 육각형 모양의 그림을 이용하여 기능을 표현하고 기능별로 ①입력, ②출력, ③선행조건, ④자원, ⑤통제, ⑥시간 등 6가지 측면을 육각형의 꼭짓점에 나타낸 후 상호 관계를 선으로 연결하여 모형화*한다.

* FMV(FRAM Model Visualizer)라는 프로그램을 인터넷에서 무료로 내려 받아 작성 가능
(다운로드 주소 : <https://functionalresonance.com/FMV/index.html>)



FRAM에서 기능의 6가지 측면

위 그림에서 I(Input)은 기능 기본상태의 결정, 기능의 시작을 의미하고 T(Time)는 시간적 관계의 조건과 제약, C(Control)는 기능의 수행을 감독하거나 조절하는 규제적 영향 입력, O(Output)는 기능에서의 결과, R(Resource)은 기능 수행에 필요한 자원, P(Precondition)는 기능 시작의 선결조건 또는 수행조건을 말한다.

3. FRAM 적용 사고조사 사례

붕괴 사고는 부산 00동의 기존 지상2층 단독주택 1층을 단독주택에서 근린생활시설로 용도 변경을 위해 내부 리모델링 작업 중 조적내력벽 및 기 설치한 철제 보강재가 상부 구조물의 하중을 견디지 못하고 붕괴되면서 작업자가 매몰되어 2명이 사망하고 2명이 부상하였다.



붕괴 전·후 사고현장 전경

사고발생 건축물은 1974년 지상 1층으로 건축된 후 1979년에 지상 2층을 수직 증축하였고 이번에 주택의 지상1층 주거공간을 근린생활시설로 리모델링(용도변경) 공사 중이었으며 건축물이 상재하중을 견디지 못하고 붕괴되는 대형사고가 발생한 것이다.

먼저 건축주와 사업주는 본 리모델링 공사와 관련하여 구두로 계약하였고 공사범위는 벽체 해체, 슬래브 보강, 조적, 미장, 타일, 전기, 설비, 창호 및 폐기물 처리 등이었고 사고 발생일 기준 전체적인 공정율은 약 30% 진행중이었다.

실제 공사는 건축법 상 내력벽의 해체를 수반하는 「대수선」 공사임에도 건축주가 관할 구청에 「용도변경」*으로 신청함으로써 대수선 공사에 반드시 필요한 구조 내력상 주요 부위에 대한 구조안전 확인을 실시하지 않았다.

* 기존 건축물의 용도를 다른 용도로 변경하는 것으로 용도변경 공사로 허가 신청할 경우 구조 안전 확인 서류(구조도, 구조계산서)가 불필요하여 구조 안전 확인 서류가 필요한 대수선 공사를 이번 사고처럼 용도변경으로 신청하는 경우가 있음

붕괴 사고 전 10일 전부터 내부 벽체 해체작업 및 슬래브 보강작업을 하였는데 보강작업은 철골, 각관, 파이프서포트 등을 슬래브 하부에 설치하는 방법으로 실시하였는데 사고조사 결과 구조 안전성평가는 하지 않았고 현장소장의 경험에 의해 구조 보강재가 설치되었다.



철골



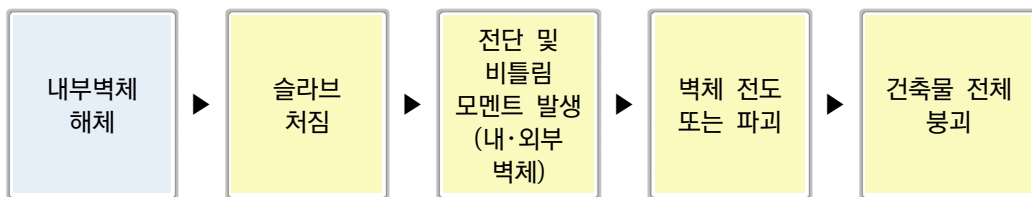
각관



파이프서포트

붕괴 원인 및 매커니즘**을 추정해보면 준공 후 46년 경과에 따른 노후화, 수직 증축에 따른 내하력이 저하된 건축물에 대한 리모델링 사업을 하면서 사전조사, 안전성 평가 미수행, 부적합한 구조보강, 내력벽 임의 해체 등으로 슬래브 처짐 및 벽체의 전단, 뒤틀림 모멘트 발생으로 건축물이 붕괴된 것으로 조사되었다.

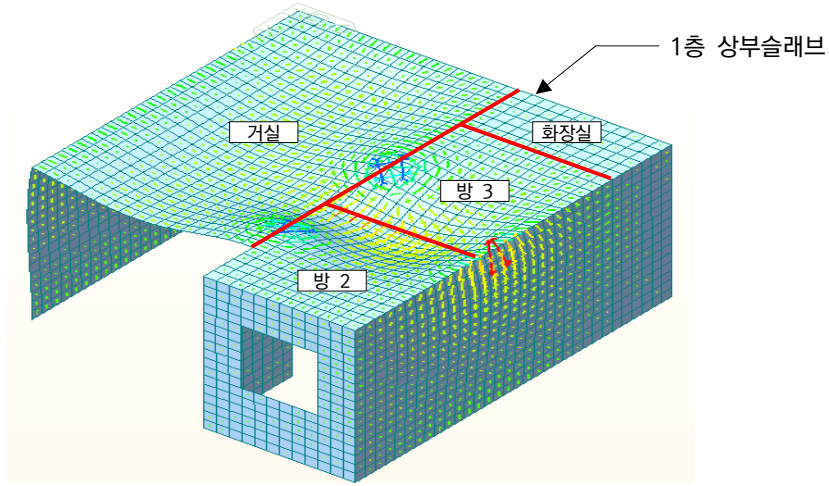
** 붕괴 매커니즘



붕괴된 주택은 46년이 경과한 오래된 건축물로 준공 및 구조변경* 당시의 도면이 없고 붕괴로 인해 현황을 알 수 없는 상황이므로 ‘용도변경 허가신청서’에 첨부된 1층 평면도(실측) 및 붕괴 전 현장사진을 토대로 개략적인 구조해석을 실시하여 붕괴원인을 추정하였다.

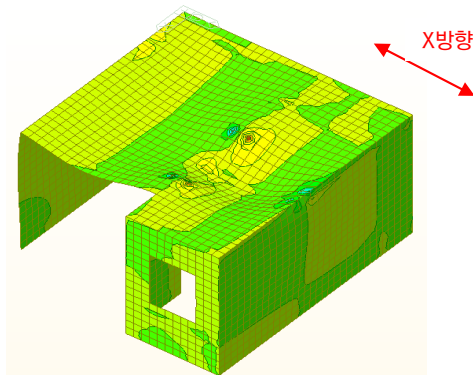
* 1974년 준공(지상 1층) → 1979년 구조변경(지상 2층 수직증축)

구조해석 결과 1층 내부벽체(방2와 방3 사이)가 해체된 부위에 2층 내부벽체를 따라 작용하는 상부하중에 의해 방2와 방3사이 슬래브에 큰 처짐이 발생하였고 콘크리트 채움이나 철근이 배근되지 않은 외부벽체 중 구조적으로 가장 취약한 방2의 외측벽체가 전단 및 비틀림 모멘트로 인해 전도 또는 부분파괴에 이를 수 있을 것으로 검토되었다.

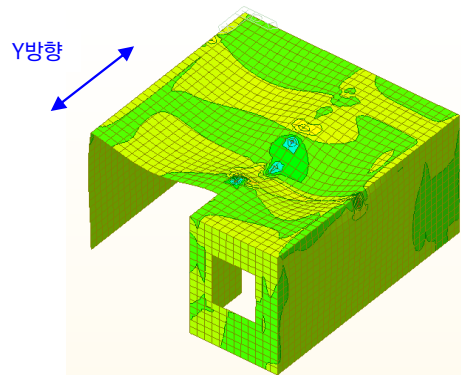


상부하중에 의한 구조물의 인장 및 압축 흐름도(하중의 크기 및 방향)

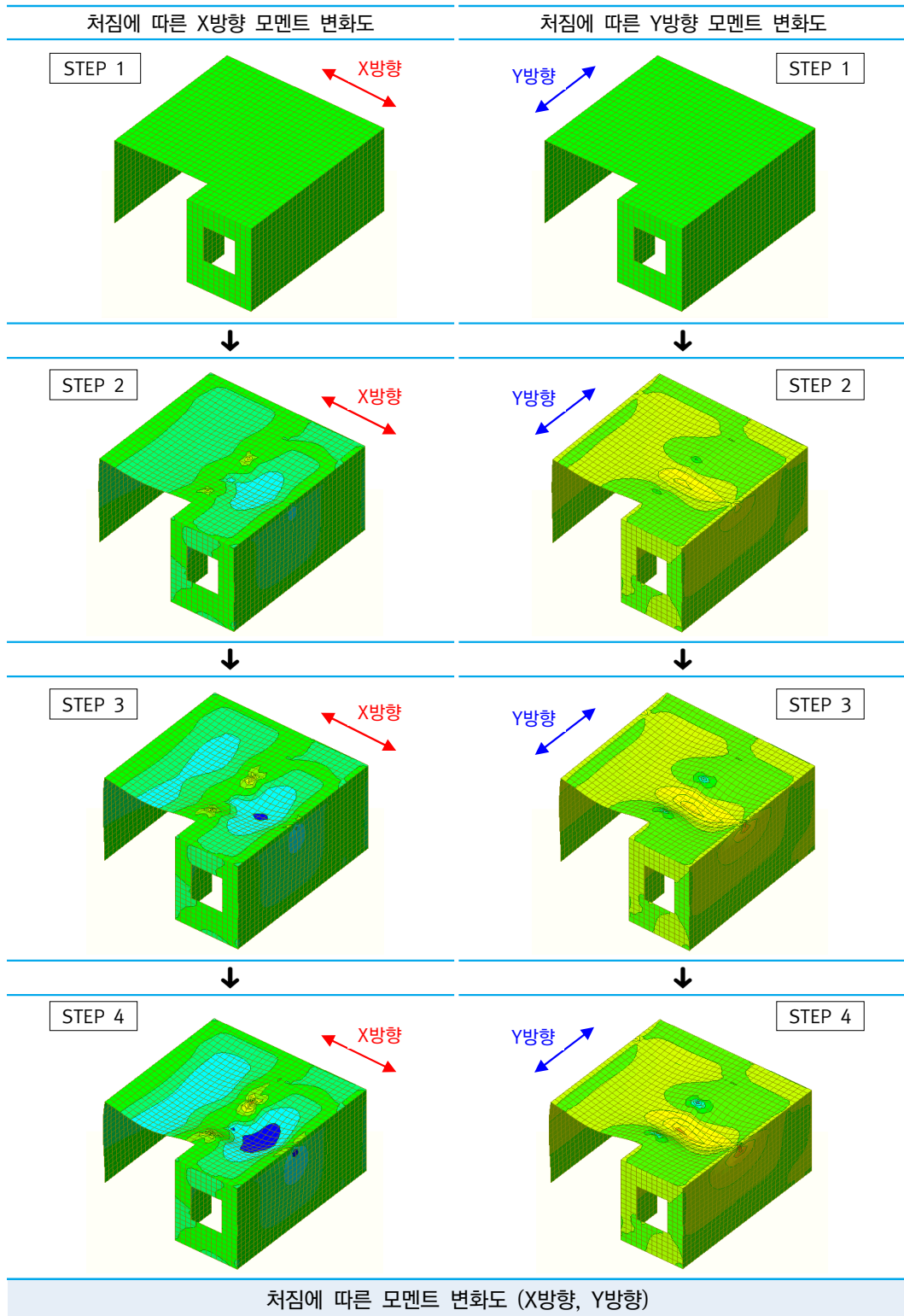
X방향 전단력



Y방향 전단력



상부하중에 의한 전단력

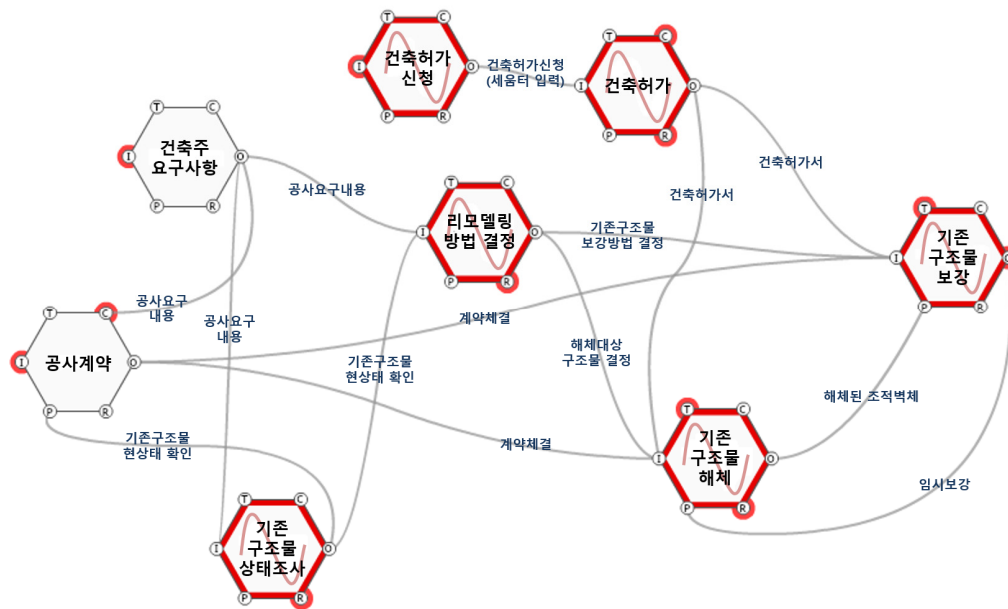


상기 조사내용을 토대로 FRAM에 의한 사고분석을 하면 다음과 같다.

□ FRAM에 의한 시스템 취약성 분석

- (분석목표) 사고와 관련된 시스템 전체적인 관점에서의 분석기법으로서, 기존 주택 리모델링 공사를 사전 상태조사 - 기존 주택 보강방법 결정 - 조적벽 해체 등 세부 기능으로 나눈 후 각 기능별 변동성을 파악하고 기능 간의 상호작용에 의해 변동성이 파급되고 중첩되어 일어나는 취약성을 분석하여 이러한 변동성의 여파를 완화시키는 대책을 수립하는 것이다.

※ 사고의 각 요소들에 대해 양호-불량이라는 이분법적 접근으로 특정 사고원인을 찾아내려는 기존의 방법과 차별화 됨



00동 주택 붕괴사고 FRAM Model

○ 사고현장 리모델링 공사 기능 분류

- 건축주 요구사항
- 공사계약(구두계약)
- 기존 구조물 상태조사
- 리모델링 방법 결정 : 해체대상 조적벽 및 보강방법 결정
- 건축허가신청



- 지자체 건축허가
- 기존 구조물 해체
- 기존 구조물 보강

○ FRAM 분석결과

1) 기능공명(Functional Resonance)

- 해당 사고는 기존 구조물 상태조사 - 해체·보강방법의 결정 - 조적벽 해체 및 보강작업 기능에서 인적수행의 변동성 문제가 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 추정되며,
- 이러한 변동성을 제어할 수 있었던 건축허가제도 또한 건축허가신청 및 건축허가의 변동성 파급에 의해 제대로 관리되지 않았다.

2) 기존 구조물 상태조사업무의 취약성

- 리모델링 대상 주택은 1974년에 지상 1층으로 건축된 후 1979년에 지상 2층을 수직 증축하여 약 40년이 경과한 구조물로서 조적내력벽식 구조이므로 구조적으로 매우 취약한 상태일 것으로 추정되며,
- 구조전문가가 아닌 현장소장이 자신의 경험·지식을 바탕으로 단순 육안조사 만을 진행함으로써 기존 주택의 구조적 상태 파악에 대한 변동성이 클 것으로 추정된다.

3) 기존 구조물 1층 조적벽 해체에 따른 보강방법 선정의 취약성

- 기존 주택의 구조적 상태평가가 제대로 이뤄지지 않은 상태에서, 조적벽체 해체작업에 따른 구조적 취약지점의 파악 및 보강위치 선정, 작용하중에 충분한 강도의 보강재(개수) 선택 등 적합한 보강방법의 선정에 대한 변동성 또한 클 것으로 추정된다.

4) 조적벽 해체 및 기존 구조물 보강작업 진행과정의 취약성

- 작업계획에 의한 작업방법·순서 준수가 아닌 현장소장 주관 하에 조적벽 해체과정에서 작업 상황에 따라 임의적으로 보강재료와 보강위치를 결정하여 작업을 진행함으로써 보강시기 지연 등 작업에 따른 변동성이 있을 것으로 추정된다.

사고현장 상황	바람직한 상황
- 해체 및 보강작업이 임의적으로 동시에 진행 (추정) - 작업방법 및 순서가 불명확하여 기존 구조물 보강미비 상태에서 조적벽 해체 작업 수행 등의 변동성이 있음	- 작업계획 수립 ⇒ 기존 구조물 임시 보강 ⇒ 조적벽 해체 ⇒ 해체부위 영구보강 ⇒ 임시 보강재 해체

5) 지자체 건축허가제도의 취약성

- (일반적인 건축허가절차) 민원인이 건축허가신청서 및 필요증빙서류를 세움터(웹사이트)에 입력 → 지자체 인·허가부서가 서류검토 후 건축허가서를 발급하고 있다.
- (사고현장 건축허가과정) 해당공사는 건축법상 대수선에 해당되나, 현장소장이 소요 비용을 줄이고, 건축허가를 쉽고 빠르게 취득하기 위해 건축설계사를 통해 용도변경으로 신청하였다.
- (문제점) 관할 구청 인·허가부서에서는 세움터에 등재된 신청서 및 첨부서류 검토과정에서 대수선에 따른 기존 건축물 구조 안전성검토 미 실시 사항을 확인할 수 없었다.

구분	대수선	용도변경
특징	- 기둥, 보, 내력벽 등 주요구조나 외부 형태를 수선·변경하는 공사	- 건물의 주요 구조부 변경 없이 인테리어 공사 등을 통해 사용용도 변경
구조안전 검토	- 구조안전 확인 필요 : 구조도 및 구조 계산서 첨부	- 전문적인 구조안전 검토 불필요

상기 조사 내용을 토대로 붕괴 사고 예방대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

- ▶ 건물 내부 내력벽 해체 등 해체작업 시 과거 내력벽의 해체 및 변경사항 등 구조변경 이력, 현재 내력벽의 위치 및 상태, 주요 구조부위의 균열 및 노후화 등 건물 구조안전에 대한 사전조사를 실시하고 구조내력상 주요한 부분이 정확하게 반영된 상세 도면을 작성하는 등 사전조사 결과를 기록·보존해야 함
 - ▶ 사전조사 결과를 기반으로 해체작업에 따른 건물 전체에 대한 총괄적인 구조보강 계획, 세부 작업순서·방법 및 작업 진행 단계별 안전대책 등이 포함된 작업계획서를 작성하고 그 계획에 따라 작업을 해야 하며 작성한 작업계획서 내용을 해당 근로자에게 교육 실시
- ※ 해체 작업계획서 내용(안전보건기준에 관한 규칙 별표4)

- 가. 해체의 방법 및 해체 순서도면
- 나. 가설설비·방호설비·환기설비 및 살수·방화설비 등의 방법
- 다. 사업장 내 연락방법
- 라. 해체물의 처분계획
- 마. 해체작업용 기계·기구 등의 작업계획서
- 바. 해체작업용 화약류 등의 사용계획서
- 사. 그 밖의 안전·보건에 관한 사항

- ▶ 내력벽 해체로 인해 건물의 내력저하 발생 및 편심, 하중 전이로 인한 미해체 벽체에 부가 하중 발생 등으로 건물의 붕괴 위험이 있을 경우 구조 안전진단 등 안전성평가 실시



- ▶ 내력벽 해체에 따른 건물의 붕괴 위험 방지를 위해 구조보강 지지대를 설치하는 경우 지지대 상세 설치방법 등은 구조 기술사의 구조검토 후 해체작업 실시

4. 이슈 & 시사점

최근 노후 건축물이 증가하여 개축, 용도변경, 대수선 등 리모델링 공사가 활성화되고 있으나 구조검토 없이 해체작업이 시행되어 붕괴사고가 계속해서 발생하고 있다. 실제 위와 같은 리모델링 사업을 시행할 때 건축주는 건축시공 및 허가관련 지식이 없으므로 대부분 건축사 사무소에 건축허가를 위임 처리하는 실정이다.

또한 허가권자는 용도변경의 경우 별도의 착·준공신고 절차가 없어 허가사항과 다르게 공사가 진행되더라도 공사 진행내용 확인이 곤란한 실정이다.

대수선 공사의 경우 주요 구조부위의 구조안전 확인 및 구조보강 등으로 추가비용 발생 및 공사기간이 추가 소요되는 점이 있어 소규모 공사의 경우 건축허가가 상대적으로 용이한 용도변경 공사로 신청 후 실제로는 대수선 공사를 진행하는 편법을 쓰는 경우가 있다.

5. 법 제도 & 사업 개선방안

건축주는 공사 진행 전 과정을 시공자에게 일임하나, 건축 허가신청은 건축사 사무소에 위임함에 따라 실제공사 내용과 허가내용이 상이할 수 있으므로 건축주, 시공사, 건축사 사무소 등 3자간 의사결정 상호확인 과정이 필요하다.

용도변경 신청 서류에 “주요 구조부 해체공사가 없음”에 대한 건축주, 시공사, 건축사 사무소 3자간 상호 확인서를 첨부하도록 제도 개선이 필요하다. 또한 건축허가 공문 발송 시 “대수선 공사를 수반할 경우 반드시 구조안전 확인이 필요하며, 이를 어길 경우 3자간 상호 확인서에 근거하여 불이익이 발생할 수 있다”는 안내문을 발송하여 경각심을 부여해야 한다.

그리고 용도변경 공사 진행 중 허가내용 이행여부 및 안전관리 상태 확인을 위한 불시 지도·점검을 강화해야 한다. 또한 용도변경의 경우 별도의 착·준공신고 절차가 없으나 공사 전·중·후 사진 제출을 의무화 하여 공사 진행상황 감시하거나 건축지도원* 제도를 활성화하여 현장점검을 강화해야 한다.

- * 지자체에서 건축민원에 대한 상담과 조연 서비스를 담당하는 제도로 주요업무 내용은 건축법 및 건축관련 인허가에 대한 상담 서비스, 주택 개량에 대한 상담 및 간단한 신고도서 작성, 건축공사장 위법시공 여부 현장확인 및 지도단속, 건축공사장 안전사고 예방 및 지도점검 등이다.

| 사회적 이슈(Issue) 사고 사례집 |

III

부 록



1

사고예방 체크리스트

◆ 냉동·물류창고 건설현장 점검 체크리스트

구 분	확 인 사 항	결 과	비 고
설계변경	○ 구조, 재료, 공법 등 설계변경 시 안전성 검토는 적절히 진행되었는가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	·설계도서
화재감시자	○ 화재감시자를 지정하고 화기사용 장소에 배치 하고 있는가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	·지정서 ·배치사진 등
작업허가제	○ 위험공사에 대한 작업계획 및 사전 작업 허가제 (Permit To Work)는 적절하게 시행되고 있는가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	·작업계획서
단열공사	○ 단열공사 시 사용재료(내화, 준불연), 작업 방법 및 순서는 적절한가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	·작업계획서 ·MSDS
	○ 우레탄폼 붓칠 작업 시 환기설비는 적절하게 설치되었는가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	
	○ 우레탄 보드 대신 발포 우레탄 폼 사용시 시공 방법 변경은 적절한가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	·설계도서
기계·설비 공사	○ 설비공사를 위한 용접·용단 및 절단작업 시 화재예방 조치는 적절한가? - 단열재 등 가연물에 용접방화포 설치	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	·작업계획서
	○ 단열재에 의한 화재예방을 위해 공사 순서를 조정하는가? - 기계·설비공사 선행 후 단열작업 실시	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	·작업계획서
	○ 엘리베이터 설치 시 층별 용접방화포 등 불티 비산방지조치는 적절한가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	
임시소방 시설	○ 간이소화장치는 적절하게 설치 및 사용하고 있는가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	☐ 물 방사설비 ☐ 대용량소화기
	○ 화재감지기, 비상경보장치는 적절하게 설치 및 사용하고 있는가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	
	○ 간이피난 유도선은 필요한 장소에 적절하게 설치 되었는가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	
비상대응 및 피난	○ 화재 등 위험상황에 대비한 비상대응 계획은 적절하게 수립되었는가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	·비상대응계획서
	○ 비상대응계획에 따른 모의훈련을 실시하였는가?	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	·비상대응훈 련결과
	○ 현장에 설치된 피난통로는 적절한가? - 피난계단, 피난거리, 연기배출, 불연재 사용, 비상구 설치 등	☐ 적합 ☐ 부적합 ☐ 해당없음	

◆ 거푸집동바리 붕괴사고 예방 점검 체크리스트

공 종	체크리스트
거푸집동바리 작업	◆ 거푸집동바리 구조검토 및 조립도 작성/준수
	◆ 거푸집동바리 안전인증, 성능검정 여부 확인
	◆ 파이프서포트 수평연결재, 클램프 전용철물 사용
	◆ 갈목의 사용, 콘크리트 타설 등 동바리 침하방지 조치
	◆ 동바리의 상하 고정 및 미끄러짐 방지 조치
	◆ 데크 플레이트 양단 고정(약 20cm 간격) 조치
	◆ 보 거푸집 변형, 탈락, 전도 방지를 위한 보강 조치
	◆ 거푸집긴결재(폼타이, 플랫타이 등) KS 제품 사용
	◆ 시스템동바리의 구조적 안전성이 확보되도록 조립도에 따라 가새재 설치
	◆ 시스템동바리 수직재와 받침철물의 연결부 겹침 길이는 받침철물 전체길이의 3분의 1 이상 되도록 설치
	◆ 작업발판 일체형 거푸집(갱폼, ACS 폼 등)의 지지 또는 고정철물(앵커볼트)의 이상 유무 수시 점검
	◆ 작업계획서 작성/준수, 작업지휘자 지정/지휘
콘크리트 타설 작업	◆ 콘크리트 타설 작업 전 거푸집동바리 이상 유무 점검
	◆ 콘크리트 타설 작업 중 거푸집동바리의 변형·변위 및 침하 유무 등을 점검하는 감시자 배치
	◆ 편심이 발생하지 않도록 콘크리트 분산타설
	◆ 설계도서의 콘크리트 양생기간을 준수하여 거푸집 동바리 해체
	◆ CPB(Concrete Placing Boom) 장비 조립·해체 시 마스트 지지핀, 유압 잭 이상 유무 점검
	◆ 작업계획서 작성/준수, 작업지휘자 지정/지휘



관로공사 토사 붕괴사고 예방 점검 체크리스트

공 종	체크리스트
관로 터파기 작업 전	◆ 현장부근의 제반환경은 어떠한가?
	◆ 도로상황, 교통상황은 어떠한가?
	◆ 지상, 지하의 지장물 위치 및 상태는 어떠한가?
	◆ 매설물의 보호방법은 적정한가?
	◆ 토사의 상태는 어떠한가?
	◆ 용수의 발생유무 및 용수량의 변화는 확인하였는가?
	◆ 우천 또는 해빙으로 토사붕괴 위험에 대한 점검은 실시하였는가?
	◆ 우천시 배수계획은 적절한가?
	◆ 작업중지 시 안전대책은 적절한가?
	◆ 굴착구배 확보가 곤란한 경우 흙막이지보공 설치를 계획하였는가?
	◆ 장비의 선정은 공사의 규모, 주변상황 및 토질조건에 적합한가?
	◆ 작업반경 내 출입금지조치는 하였는가?
간이 흙막이 설치·관리	◆ 지보공 재료의 변형, 부식 또는 심각한 손상은 없는가?
	◆ 조립도는 작성되어 있는가?
	◆ 조립도를 준수하여 작업을 시행하고 있는가?
	◆ 버팀대 및 락는 흙막이판 및 말뚝 등과 확실히 부착되어 있고 탈락되지 않도록 하는가?
	◆ 설계 시 흙막이 배면 굴착도, 자재, 장비 등 상재하중을 반영하여 관리하고 있는가?

◆ 붕괴사고 예방을 위한 중점 확인내용

공 종	확 인 사 항
흙막이 지보공 설치작업	✓ 연약지반 흙막이 지보공 설계에 대한 적정성 검토 ✓ 굴착 진행에 따른 지보재 적합여부 ✓ 굴착 및 흙막이 시공순서도 준수 여부(과굴착 방지) ✓ 흙막이 벽체와 띠장 사이 뒤편 채움 조치 등 부재 폐합조치 ✓ 지반조건이 설계조건과 상이한 경우 대책 수립여부 ✓ 파일 근입깊이 확보 및 벽체 누수현상시 보강여부 ✓ 부재간 경계부 정밀시공(볼팅, 용접, 덧댐 플레이트 등) ✓ 우각부 밀림방지 보강재 상세 준수, 띠장 연장부 폐합조치 ✓ 어스앵커, 쏘일네일링, 레이커 등 지보재 지지력 확보 ✓ 지장물 및 인접시설물 침하 등 발생 여부 ✓ 계측 시 변위량 및 변위속도의 이상변위 발생여부
PC구조물 거치작업	✓ 설계도서 사전검토 여부 확인 ✓ 복합구간(PC-RC등) 선·후행 공정관리 및 도면 검토 확인 ✓ 전도방지용 철근 등 결합부위 임의 해체 여부 확인 ✓ 설계변경 여부 및 후속 검토내용 확인 ✓ 작업계획서 작성 및 적정성 검토 여부
데크플레이트 설치 및 콘크리트 타설작업	✓ 구조검토, 시공상세 조립도 작성 및 준수 여부 (부재재질, 단면규격, 설치간격, 이음방법, 처짐 등) ✓ 데크자재 과적치금지, 보거무집 측판 벌어짐방지 보강 선행 (업체별 특기시방서에 근거 결침길이, 용접 및 설치기준 준수) ✓ 데크플레이트 양단 결침길이 확보 ✓ 콘크리트 타설계획 수립 통한 및 분산타설 여부
거무집 동바리 설치 및 콘크리트 타설작업	✓ 거무집 동바리 Type별 구조검토 및 조립도 작성·준수 여부 (설계변경 발생여부 확인) ✓ 조립도에 준한 설치간격, 존치기간 준수 및 수직도 확보 ✓ (합벽)거무집 지지대 임의보강 금지 및 조립도 준수 ✓ 시스템써포트 조립시 수평재, 가새(Bracing)등 부재 누락 금지 및 U헤드 중심에 멍에재 설치 등 조립기준 준수 ✓ 콘크리트 타설계획 수립 통한 분산 타설 유도



2

추락사고예방 OPS

안전은
관리입니다

건설 개·보수 작업(지붕/달비계/사다리) 추락사망 심층분석



추락사망 현황

- '20년 중대재해조사는 739건이며 그 중 추락재해는 325건이 발생하여 44%를 점유한다. 고소 및 옥외작업이 많은 건설업의 경우 399건의 재해조사를 실시하였고, 그 중 추락재해는 223건으로 56%를 점유하여 타 산업에 비해 추락사고의 비중이 높다.
- 건설업 추락재해의 주요 작업은 지붕, 사다리, 달비계로 추락재해의 36%를 점유하며, 그 특성은 「추락 방호조치 미비」에 의한 단순 반복사고로 볼 수 있다. 또한 상기 작업은 행정규제나 지도·감독이 미치지 못하는 「안전관리 사각지대」로 건물주, 아파트 관리소장 등 발주자, 이해관계자의 적극적인 역할 및 책임이 요구된다.

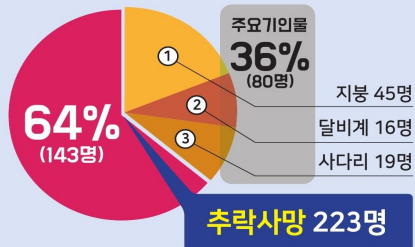
건설업
추락재해
현황

※ '20년 재해일 기준 건설업 중대재해 조사 대상

▶ 건설 사고사망 발생형태별 재해조사 건수

구분	계	추락	맞음	넘어짐· 깔림	부딪힘· 접촉	무너짐	끼임	기타
조사건수	399	223	46	34	29	26	11	30

▶ 건설업 추락재해 주요 기인물별 사망자 수



▶ 전체 추락재해 사망자 223명 중 지붕, 사다리, 달비계에서 추락한 사망자는 80명으로 36%를 점유

- 지붕재 파손 등 지붕에서 추락한 사망자는 45명
- 단순 경작업 등 사다리에서 추락한 사망자는 19명
- 재도장 작업 등 달비계에서 추락한 사망자는 16명

▶ Key Message

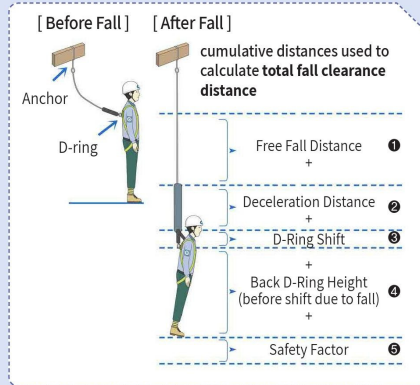
- ㉠ 건물주, 아파트 관리소장 등 발주자도 추락사망에 책임이 있다.
- ㉡ 추락 위험이 있는 작업을 하는 경우 반드시 안전대를 올바르게 착용해야 한다.
- ㉢ 낮은 높이에서 작업 할수록 안전모는 추락 사망을 경감할 수 있다.



추락 관련
국외 자료

※ OSHA Technical Manual(Fall Protection in Construction) 참조

▶ 안전대 착용 시 최소 안전거리
(Total fall clearance distance)



※ 최소 안전거리: ①자유낙하거리 + ②감속거리 + ③고리 이동거리
+ ④발부터 안전대 고리까지 거리 + ⑤안전거리

▶ 추락 높이와 충격력

- ▶ (조건) 무게: 70kg
 - ▶ 추락속도: $mgh = 1/2 mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$
 - ▶ 충격력: $\Delta P / \Delta t \Rightarrow$ 충격량 / Δt (충격시간)
 - ▶ (조건) Δt : 0.05초
(외상성 두부손상의 최대충격시간*)
- * Tea Gon kim, Traumatic Brain Injury, J Neurocrit Care 2008; 1 suppl 1:S56-S62

추락높이	1m	2m	3m	3.5m
속도(m/s)	4.43	6.26	7.67	8.28
충격량(kg·m/s)	310	438	537	580
충격력(kgf)	620	877	1,074	1,160

※ 충격시간(Δt)은 바닥의 종류·상태, 떨어지는 모양 등 다양한 요인에 의해 변화됨

1 지붕작업 분석

- 지붕작업은 지붕재 노후화로 인한 개·보수 현장이 대부분이며, 선라이트*, 슬레이트 등 지붕파손에 의한 사망이 절반을 점유하고 있다.

* 선라이트(Sunlight): 채광을 위한 반투명 재질의 지붕재로 햇빛에 장기간 노출 시 취약해짐

▶ 최근 지붕작업 「추락사고」 발생 현장

- ▶ 2021. 4. 9(금) 13:10경 ○○공장 지붕에서 보수작업으로 이동 중 선라이트를 밟아 추락(h≒8.0m) <1명 사망>
- ▶ 2021. 3.10(수) 13:23경 ○○농장 지붕 교체공사 현장에서 선라이트를 밟아 파손, 추락(h≒6.4m) <1명 사망>

재해분석

▶ 추락원인별

합계	지붕재 파손	개구부	자재 이탈
45	22	18	5

▶ 지붕재 종류

합계	판넬	선라이트	슬레이트	구조물	기타
45	21	13	6	2	3

시사점

- ▶ 작업이 외부에 직접 노출되지 않아 정부의 지도·감독 사각지대에 놓여있음
- ▶ 건물주의 노력과 안전역량에 의해 재해예방 성과가 극명하게 달라질 수 있음
- ▶ 선라이트, 슬레이트는 밟으면 파손! 된다는 인식강화 필요





지붕작업

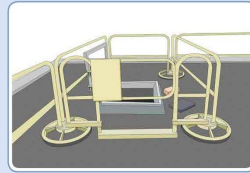
Key Message

- ☞ 선라이트! **밟으면 추락한다!**
- ☞ (건물주/사업주) 설계단계 **추락방호조치 반영** 및 **안전시설 적극 투자**를 통해 작업자의 **추락위험 방지**에 노력해야 한다.
- ☞ (작업자) 선라이트 교체작업 시 **안전대 착용·체결 후 작업**해야 한다.
※ 안전대 착용 시 최소 안전거리 확보



국외기준

- ☞ OSHA Standard Number: 1926.501
- » Duty to have fall protection
 - 사업주(건축주)는 지붕 위에서 작업하는 근로자들이 선라이트를 포함한 개구부로 추락하는 것을 방지하기 위해 안전대착용 또는 덮개, 안전 난간을 설치하여야 한다.



2 달비계작업 분석

- '20년 건설업 달비계작업 중 발생한 사망재해는 총 16건으로, 그 중 아파트 재도장에서 11건, 소규모 근생빌딩 재도장에서 3건 발생하여 재도장 작업이 대다수(87.5%)를 점유하고 있다.

최근 달비계「추락사고」발생 현장

- ▶ 2021. 4. 9(금) 08:17경 ○○아파트 외벽 보수작업 중 달비계 로프가 풀려 추락(h≈50m) <1명 사망>
- ▶ 2021. 3.26(금) 11:00경 ○○아파트 외벽 보수작업 중 달비계에 탑승하는 순간 로프가 풀려 추락(h≈50m) <1명 사망>

재해분석 ▶ 현장작업별

합계	아파트 재도장	근생시설 재도장	신축 등 기타
16	11	3	2

▶ 추락원인별

합계	앵커파손	로프파단	로프풀림	탑승하강	기타
16	4	3	4	3	2

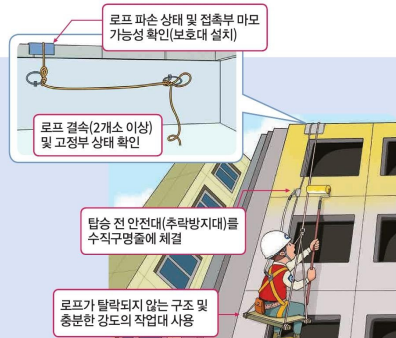
시사점

- ▶ 최근 재도장 작업 활성화로 인한 기능인력 부족으로 경험이 부족한 미숙련공의 재해가 증가함에 따라 양성교육 필요
- ▶ 재도장 현장은 팀 단위 단발성 작업으로 정부의 지도·감독에도 한계가 있으므로 아파트 관리사무소(발주자)의 역할과 책임 중요

달비계 작업

Key Message

- ☞ 로프 한 줄에 당신의 생명을 맡기시겠습니까?
- ☞ (발주자) 달비계 고정점 설치하고 로프 등 설치상태 점검을 독려·지원해야 한다.
- ☞ (작업자) 충분한 강도의 수직구명줄(Lifeline)을 별도로 설치하고 추락방지대를 체결해야 한다.



달비계

▶ 국외기준

OSHA Standard Number: 1910.27

» Scaffolds and rope descent systems

- 달비계 사용 전, 건물주는 반드시 사업주에게 서면으로 고정점이 어느 방향에서나 최소 2,446kgf를 지지할 수 있다는 것을 확인시켜주어야 한다. 그 정보는 반드시 최소 10년에 1회 이상 공인된 검사로 확인할 수 있어야 한다.

OSHA Standard Number: 1926.104

» Safety belts, Lifelines, and Lanyards

- 안전대 짐줄은 최소 1/2인치 나일론 또는 동등한 것으로 해야 하고, 최대 길이는 180cm 이내여야 하며, 강도는 2,446kgf를 갖춰야 한다.
- 안전대 벨트와 짐줄 부속품은 인장력 1,692kgf를 견뎌야하고 균열, 깨짐, 변형 등이 없어야 한다.

3 사다리 사고 분석

- '20년 사다리 사용 사망자 수는 19명으로 안전모 미착용, 머리 상해가 사망사고 대부분을 점유하고 있다.

▶ 최근 사다리 「추락사고」 발생 현장

- ▶ 2021. 3. 1.(월) ○○공단 중층 바닥 설치작업 중 사다리에서 추락(h≈2.5m) <1명 사망>
- ▶ 2021. 1. 20.(수) ○○수목유지관리 현장에서 조경작업 중 사다리에서 추락(h≈3.5m) <1명 사망>

재해분석

▶ 현장작업별

합계	1.2m 미만	1.2m~2.0m	2.0m~3.5m	3.5m 초과
19	3	4	8	4

▶ 안전모 착용여부

합계	착용	미착용
19	3	16 (84.3%)

▶ 상해부위

합계	머리	기타
19	16 (84.3%)	3

시사점

- ▶ (추락) 높이 3.5m 이내 추락 사망 80% 점유
- ▶ (안전모) 사망자의 84.3% 안전모 미착용
- ▶ (머리상해) 사망사고 대부분이 머리에 심각한 상해

사다리 사용

▶ Key Message

사다리 사망사고! 「안전모·안전대 착용」으로 예방할 수 있다!

높이 3m 추락, 약 1톤의 무게가 당신을 가격한다.

» 안전모는 머리가 받는 충격시간(Δt)을 늘려 충격력을 경감시킨다.

※ 투수가 같은 힘으로 공을 던져도 포수가 맨손으로 받을 때와 글러브를 끼고 받을 때 전해지는 충격력이 다른 것과 같은 원리





3

근본원인조사(RCA) 체크리스트

근본원인조사(RCA) 체크리스트(양식)

항 목	원인
1 설계 문제	
1-1 설계단계에서 모든 사항에 대하여 적절한 입력조건을 고려하였습니까? (설계 입력 문제)	○ 해당사항 체크
1-2 설계 출력물/설계도서(도면, 사양서, 시방서 등)의 해석이 잘못되었습니까? (설계 출력/설계도서 해석 문제)	
1-3 설계 및 변경에 대한 검토/검증을 하였습니까? (설계 및 변경 검토/검증 문제)	
2 발주 / 계약 문제	
2-1 건설사업자/감리의 자격 및 역량은 적정했습니까? (건설사업자/감리 자격 및 불법 재하청 문제)	
2-2 공사금액 및 기간은 적정하게 계약했습니까? (저가수주 및 공사기간 문제)	
2-3 발주자가 안전보건조치를 적법하게 수행했습니까? (발주자 안전 문제)	
3 가설공사 문제	
3-1 가설공사 작업 전에 구조검토 후 조립도를 작성하고 적합하게 작업했습니까? (구조검토 및 조립도 문제)	
3-2 가설재는 안전인증 또는 KS 제품을 사용하여 적합하게 설치했습니까? (가설재 안전인증 문제)	
4 설비/장비 신뢰도 확보(유지·보수) 문제	
4-1 설비/장비의 유지·보수 프로그램 계획과 관련된 문제가 있었습니까? (장비 신뢰도 프로그램 계획 문제)	
4-2 정기 유지 보수의 빈도 또는 대상 범위가 부적절했습니까? (유지·보수 주기 및 대상 범위 문제)	
4-3 사건 기반 유지·보수가 적정하게 수행됐습니까? (시작 전, 종료 후 등) (사건 기반 유지·보수 문제)	

항 목	원인
4-4 설비 상태를 기반으로 한 모니터링 시 문제점(결함)을 찾아내는데 실패했습니까? (상태 기반 유지·보수 문제)	
4-5 확인되지 않은 결함을 발견하는데 실패하여 사고가 발생하였습니까? (결함 찾기 유지·보수 및 검사 문제)	
4-6 결함의 진단 또는 그 결함의 수정(교정) 유지 보수가 잘못 수행되었습니까? (수정(교정) 유지·보수 문제)	
4-7 일상적인 장비·설비의 검사 및 점검을 수행하였습니까? (정기 검사 및 서비스 문제)	
4-8 건설장비(타워크레인, 건설용리프트 등) 설치·사용·해체 시 관련 안전기준을 준수했습니까? (건설장비 설치·사용·해체 문제)	
5 문서화 및 기록 문제	
5-1 사용설명서 및 매뉴얼 등의 문제로 설비의 작동, 유지 보수 또는 수리에 문제가 발생했습니까? (장비 기록 및 매뉴얼 문제)	
5-2 장비 운전 및 유지·보수 이력에 대한 내역을 관리하고 있습니까? (운영 및 유지보수 내역 문제)	
5-3 위험성평가의 기록이 부정확하거나 불완전했습니까? (위험성평가 기록 문제)	
5-4 교육훈련(안전보건교육) 시스템에 문제가 있었습니까? (교육훈련 기록 문제)	
5-5 관련 문서 및 기록이 정확하지 않거나 오류가 있었습니까?? (기타 문서 및 기록 문제)	
6 재료 / 부품 및 제품 문제	
6-1 원자재 또는 부품에 문제가 있었습니까? (재료 / 부품 문제)	
6-2 사업장에서 제조한 제품 및 재료에 문제가 있었습니까? (제품 관리 및 승인 문제)	
7 위험 / 결함 식별 및 분석 문제	
7-1 신규장비 작동 전 사양 및 설치 조건이 맞는지 확인하지 않았습니까? (준비 검토 문제)	
7-2 변경 사항에 대한 평가를 잘못했거나 수행하지 않았습니까? (변경 관리 문제)	



항 목	원인
7-3 시스템/작업에 대한 위험성 평가를 잘못했거나 수행하지 않았습니까? (사전 위험/작업 위험/안전/신뢰성/품질/보안 분석)	
7-4 알려진 결함에 대한 조치를 잘못했거나 수행하지 않았습니까? (대응적 위험/안전/신뢰성/품질/보안분석 문제)	
7-5 검사(점검), 감사 및 측정(계측)을 받지 않았거나 결과에 대한 조치가 부적절했습니까? (검사(점검) / 감사 / 측정(계측) 문제)	
8 작업계획 / 관리감독 문제	
8-1 작업계획을 수립하지 않았거나 사용되지 않았습니까? (작업계획 미수립 및 미준수)	
8-2 작업계획에 대한 해석을 잘못했습니까? (작업계획의 부적절한 사용)	
8-3 작업계획이 잘못 작성되었습니까? (작업계획이 잘못되었거나 불안전)	
8-4 작업 수행 전에 작업계획에 따른 적절한 준비, 역할분담, 작업자 교육 등이 제공되었습니까? (작업준비 관리감독 문제)	
8-5 작업계획에 의한 작업과정 중에 적절한 관리감독이 수행되었습니까? (작업 중 관리감독 문제)	
9 작업환경 및 인적요인 문제	
9-1 작업에 적합하지 않은 도구가 제공되었습니까? (도구/장비 문제)	
9-2 작업장 레이아웃 등 잘못된 장비의 배치, 디스플레이, 안전표지 등이 사고의 원인이 되었습니까? (작업장 레이아웃 문제)	
9-3 적합하지 않은 작업환경(산소결핍, 소음, 조명 등)이 사고의 원인이 되었습니까? (작업환경 문제)	
9-4 물리적인 작업부하가 과도하였습니까? (물리적 작업부하 문제)	
9-5 복잡한 상황이나 시스템으로 인해 작업자 오류가 발생했습니까? (정신적 부하 문제)	
9-6 직원(작업자)이 경보 또는 기기 판독 값을 통해 오류를 감지할 수 없었습니까? (오류 완화 문제)	
10 교육훈련 및 자격 문제	
10-1 작업에 대한 기술, 경험, 교육 및 자격이 적합했습니까? (교육 및 자격 문제)	

항 목	원인
10-2 교육 프로그램 설계 및 목표가 적정했습니까? (교육의 적정성 문제)	
11 의사소통 체계 문제	
11-1 팀이나 개인 간의 의사소통을 위한 방법이나 시스템이 있었습니까? (의사소통 부재 또는 시기 부적절)	
11-2 신호 또는 의사소통에 오류(오인)가 있었습니까? (의사소통 오류)	
12 인사 문제	
12-1 작업을 수행하기에 부적절한 직원(작업자)이 투입되었습니까? (회사 문제 : 부적합한 직원(작업자)의 투입)	
12-2 작업자의 신체적 또는 정신적 상태, 태도, 정신적 능력, 주의력 지속 시간, 업무 외 수면 패턴, 약물 남용 등이 작업수행에 부정적인 영향을 미쳤습니까? (개인 문제)	
13 회사표준, 정책 및 관리 지침 문제	
13-1 작업에 적용되는 표준, 정책 또는 관리 지침(SPAC)이 없었습니까? (회사표준, 정책 및 관리 지침 문제)	
13-2 SPAC 또는 지침을 사용하지 않았거나 준수하지 않았습니까? (회사표준, 정책 및 관리 지침(SPAC) 미사용)	



근본원인조사 결과서(양식)

근본원인 코드	근본원인 및 권고사항
※ 체크리스트 원인 항목 기재 예) 1-1 설계입력문제	(근본원인) - ※ 해설서의 근본원인 예시 참조 기재 (권고사항) - ※ 해설서의 개선사항 참조 기재
	(근본원인) - (권고사항) -
	(근본원인) - (권고사항) -
	(근본원인) - (권고사항) -
	(근본원인) - (권고사항) -

이 자료는 안전보건공단(安健公團)의 허락 없이 타 기관에서 부분 또는
전부를 복사, 복제, 전제하는 것은 저작권법에 저촉됩니다.
※ 실제 발생한 사고 사례를 본문 내용에 맞게 각색하였습니다.

작 성 : 안전보건공단 중앙사고조사단

검 토 : 안전보건공단 중앙사고조사단장

사회적 이슈(Issue) 사고 사례집

초판 제작일 : 2021년 12월

발행처 : 한국산업안전보건공단 중앙사고조사단

울산광역시 중구 종가로 400

Tel : 052) 703-0128

Fax : 052) 703-0130

〈비매품〉

2021-중앙사고조사단-900