

재해원인조사 의견서

한국 산업 안전 보건공단

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

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

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

1. 사업장 개요

사업장명	주식회사해넌광고	전화번호 (FAX)	
소재지	인천 부평구	대표자	C
업종	광고업	근로자수	2명
산재관리번호 (사업개시번호)		생산품 (사업내용)	간판 (간판, 광고물설치)

2. 재해자 인적사항

연번	성명	출생년도	소속	고용형태	상해정도 (사망/부상)
1	A	1972	주식회사해넌광고	일용	사망
2	B	1973		상용	부상

3. 재해발생 경위

발생형태	갈림	기인물	아크릴원판
2024. 4. 8.(월) 10:26경 인천광역시 계양구 소재 사업장 ㉠의 간판 교체를 위해 차량탑재형 고소작업대를 이용 기존 간판을 철거하던 중 고소작업대의 작업대 수평 조정 실린더의 연결핀이 이탈되면서 작업대가 급속히 기울어지면서 작업대에 탑승하고 작업하던 재해자A(사망)가 약 10m 아래 바닥으로 떨어진 재해임 ※ 재해자B(부상)는 안전난간 때문에 추락하지 않음			

4. 재해조사 내용

가. 사고의 경위

- (재해발생 공정) 주식회사해냄광고 (이하 ‘해냄광고’)는 간판 및 광고물을 제작·설치하는 업체로 주문을 받으면 ①설치광고판 제작, ②기존광고판 철거, ③제작 광고판 설치 순으로 작업을 수행
- 해냄광고는 사업장 ㉮의 수평간판 2개, 창문 래핑 12개소의 교체 작업을 수행하고 있었으며, [사진 1]에 표시된 간판 철거작업 중 재해가 발생함



[사진 1] 재해 발생 작업 간판

- (재해발생 위치) 사업장 ㉮는 인천 계양구 소재 4층 건물의 4층에 위치하고 있으며, 재해는 건물의 남쪽 외벽에서 발생함
- (재해발생 과정) 사업장 ㉮ 간판 교체 작업은 재해당일(2024. 4. 8.) 시작하여 당일 종료될 예정이었음
- 10:00 경 해냄광고의 대표의 부(父)인 재해자B(부상) , 재해자A(사망), 재해자B의 형(兄)인 D가 현장에 도착. 차량탑재형 고소작업대 아웃트리거 설치 등 본작업 전 사전 준비 실시
- 10:20 경 재해자B(부상) 및 재해자A(사망)가 고소작업대를 타고 올라가 간판 분리 작업을 실시함

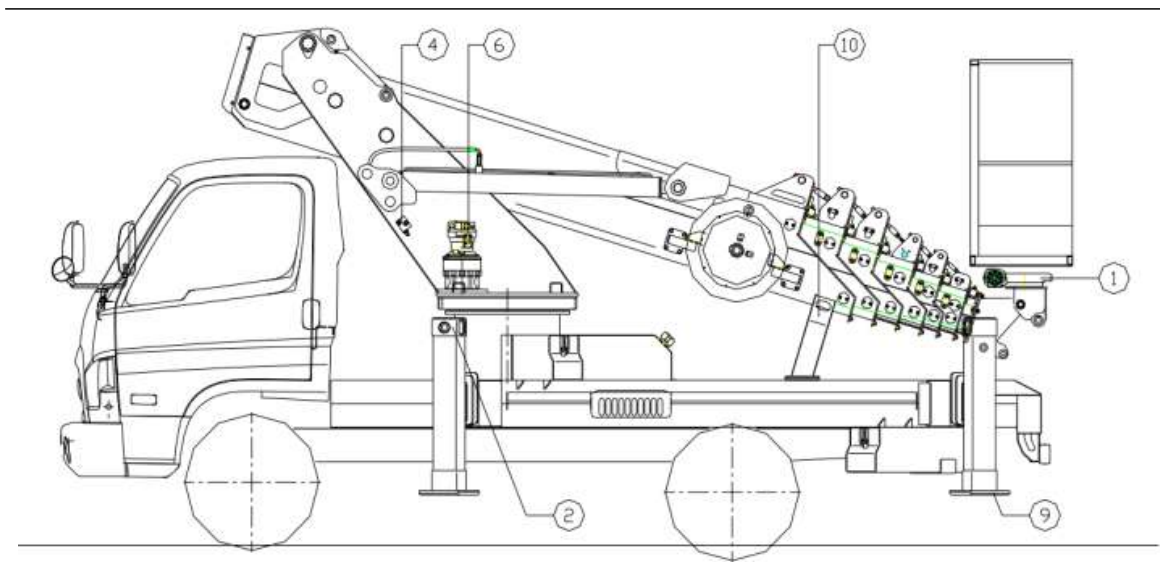
- 10:26 경 간판 벽고정 하부 나사 3개를 분리 후 상부 나사를 제거하기 위해 고소작업대의 작업대 위치를 조정하고 15초 뒤 고소작업대의 작업대가 순식간에 기울어지면서 재해자가 바닥으로 추락함

나. 기인물(고소작업대)

○ (개요) 사고 관련 고소작업대의 주요 제원은 <표 1>과 같음

<표 1> 고소작업대 제원

구분	사양	비고
정격하중	2인 또는 300kg	-
장착차량		-
축간거리	2,820mm	
총중량	8,010kg	
최대작업높이/최대작업반경	25m/20m	최대작업반경@200kg
연장구조물(이하 '붐')	7단8각	
작업대	1,600×560×1,100	3,000×1,100×1.100(확장시)
조작	무선리모콘(붐, 작업대, 선회, 엔진시동)	지상(아웃트리거, 메인)

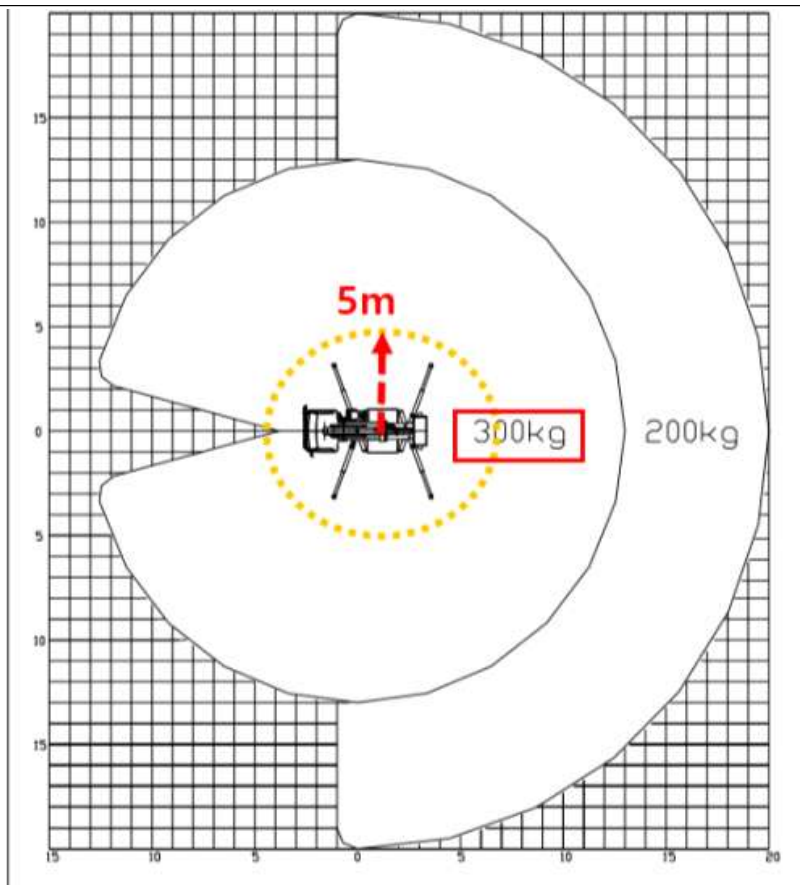


[그림 1] 고소작업대 외형

다. 조사·확인 내용

(1) 재해발생 작업

- (개요) 재해 당시 작업은 가로 6.6m, 세로 1.6m, 무게 약 25~30kg의 간판을 탈거하는 작업으로 고소작업대를 이용하여 작업을 수행
- (작업위치) 작업 간판은 건물 4층 창외 상부에 설치되었으며, 작업위치는 고소작업대 붐 포스트로부터 수평 5~6m, 높이 약 10m 상부에서 이루어지는 작업이었음
- (조작) 고소작업대는 재해자B(부상)가 리모컨을 사용하여 조작 운전함
- (세부작업사항) 사고 직전 재해자A(사망)와 재해자B(부상)는 기존 설치 간판을 분리하기 위해 건물 벽에 설치된 간판고정대와 간판 간 연결 나사 제거 작업을 수행하였음. 붐을 상부로 약간 이동시키고 약 15초 후 사고 발생
- (장비적합성) 사고 당시 고소작업대 붐의 작업반경은 약 5m, 작업대 탑승자는 2명으로, 장비 허용하중(300kg) 미만으로 고소작업대의 성능 범위를 초과하지 않았음



[그림 2] 고소작업대 작업반경도

- 차량의 좌측 아웃트리거는 인도 폭 때문에 완전히 인출하지 못하였으나, 작업이 이루어지는 차량 우측 아웃트리거는 인출한 상태로 작업하여, 안정도 관련 장비의 설치 상태에는 문제가 없었음

○ (기상상태) 사고 당시 인천지역의 고도 10m 풍속은 1.1 ~ 1.5m로 미풍*이 불었음

* 미풍은 초속 1.3~1.5m의 바람으로 풍향이 연기방향과 일치하는 정도의 바람세기이며, 제조사의 최대허용풍속은 12.5m/s 이상임

시:분	광수	광수15M	광수60M	광수3H	광수6H	광수12H	일광수	기온℃	풍향1M	풍속1M(m/s)	풍향10M	풍속10M(m/s)	습도%	해면기압hPa		
10:30	○	0	0	0	0	0	0	17.9	274.2	W	2.0	243.9	WSW	1.5	29	1016.9
10:29	○	0	0	0	0	0	0	17.9	273.4	W	1.0	239.6	WSW	1.5	29	1016.9
10:28	○	0	0	0	0	0	0	17.8	241.7	WSW	1.2	236.0	SW	1.6	29	1017.0
10:27	○	0	0	0	0	0	0	17.8	247.7	WSW	1.7	235.6	SW	1.5	28	1017.0
10:26	○	0	0	0	0	0	0	17.7	236.3	WSW	1.3	233.1	SW	1.5	28	1017.0
10:25	○	0	0	0	0	0	0	17.8	243.4	WSW	2.0	232.7	SW	1.5	29	1017.1
10:24	○	0	0	0	0	0	0	17.8	234.5	SW	1.4	234.2	SW	1.4	31	1017.1
10:23	○	0	0	0	0	0	0	17.7	238.2	WSW	1.3	238.8	WSW	1.3	30	1017.1
10:22	○	0	0	0	0	0	0	17.8	225.8	SW	1.9	235.1	SW	1.3	31	1017.1
10:21	○	0	0	0	0	0	0	17.7	226.1	SW	1.6	234.6	SW	1.2	31	1017.1
10:20	○	0	0	0	0	0	0	17.7	230.9	SW	1.6	230.8	SW	1.1	29	1017.1

[그림 3] 사고당일 기상 상태

(2) 작업 중 충돌 등 발생 조사

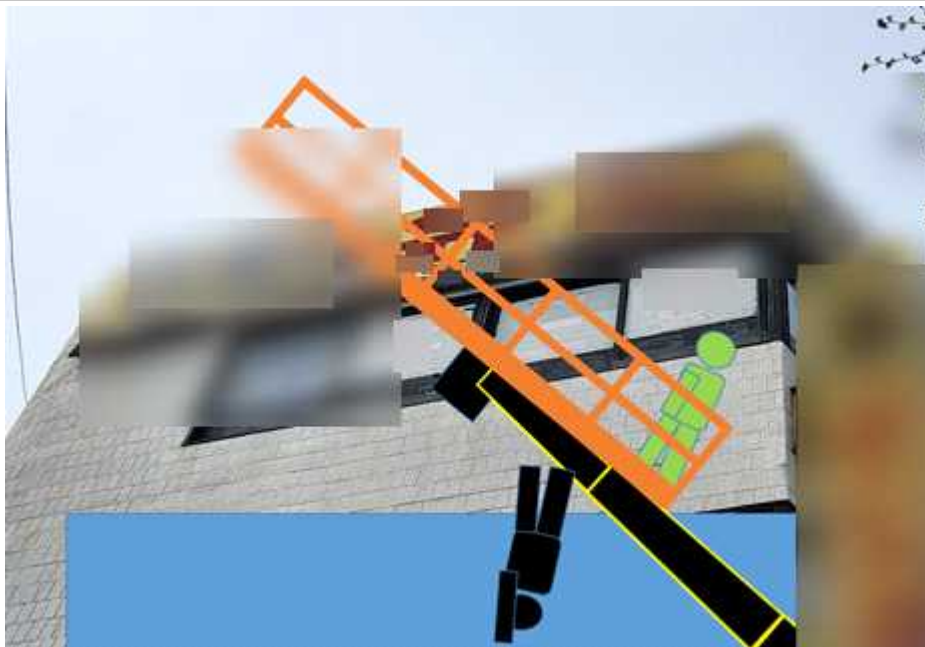
- (CCTV) 사고 장소 옆 건물에 찍힌 CCTV에는 고소작업대 차체와 붐대 하부 일부만 촬영됨
 - 10시 20분 30초 재해자A(사망)와 재해자B(부상)가 고소작업대에 탑승 이후 26분 47초 경 사고 발생 전까지 고소작업대 차체 및 붐에서 이상 충격, 진동 등이 관찰되지 않았음
- (동료작업자 목격) 하부 작업자 D는 사고당시 바닥에 있었으며 고소작업대와 벽체와의 충돌 등은 없었다고 말함

(3) 사고 이후 상황

- (작업대) 작업대는 완전히 기울어져 붐 쪽으로 기댄 상태였으며, 리모컨의 작업대 수평조절 버튼을 조작하여도 수평조절 운전이 불가하였음
 - ※ 재해자A(사망)와 같이 작업대에 있던 재해자B(부상) 탈출을 위해 고소작업대 위치를 조정하였기 때문에 사고당시 정확한 상태를 알 수 없으나 [그림 4]와 유사한 상태였을 것으로 추정됨



사고발생 전



사고발생 후

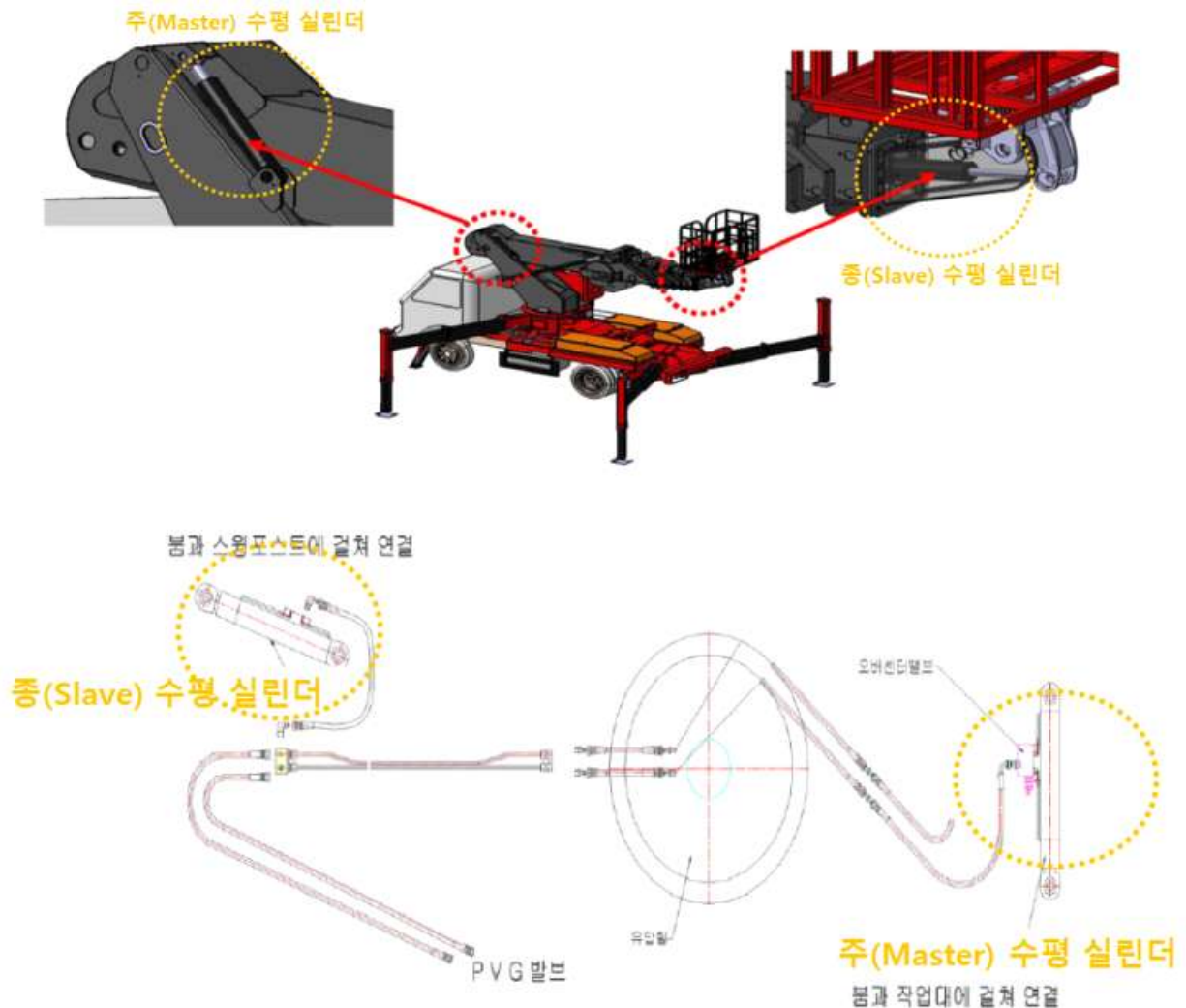
[그림 4] 재해발생 상황(모사)

○ (탈출) 재해자B(부상)는 기울어진 작업대에서 붐을 통해 바닥으로 내려옴

(4) 사고 원인

- (작업대 수평조절 원리) 붐 끝에 작업대가 완전 고정으로 연결되면, 붐이 기복 또는 하강함에 따라 작업대의 수평이 틀어지게 됨
 - 붐의 기복 운전에 상관없이 작업대 수평을 유지하기 위해 [그림 5]와 같이 주(Master) 수평 실린더와 종(Slave) 수평 실린더를 설치

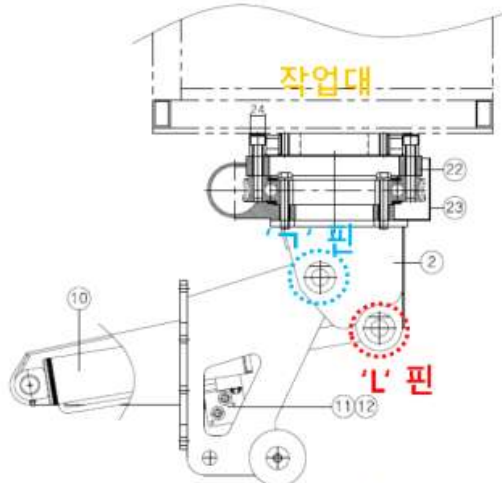
- 주 수평 실린더가 붐의 기복 또는 하강에 의해 인출 또는 인입할 경우, 붐 끝단과 작업대 연결부에 설치된 종 수평 실린더는 주 실린더의 움직임과 반대로 인입 또는 인출시키며, 양 실린더 스트로크 변위를 동일하게 하면 작업대는 수평으로 유지됨



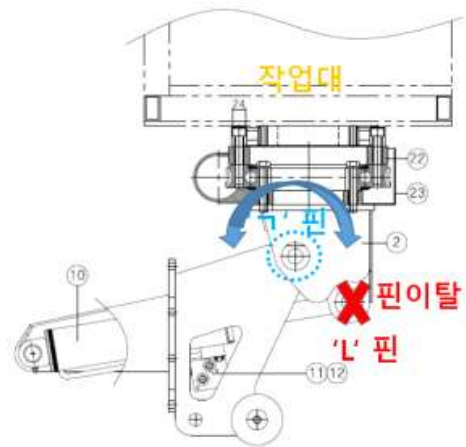
[그림 5] 수평 실린더 동작원리

※ 작업대의 수평은 작동중의 하중과 힘에 의하거나, 붐의 움직임에 의해서 수평 또는 작업대 평면으로부터 $\pm 5^\circ$ 를 유지해야 함

- (작업대 수평조절 실패 원인) 종 수평 실린더 로드 단부와 작업대 사이의 연결 핀([그림 6]의 ‘ㄴ’ 핀)이 핀 고정브라켓에서 이탈됨에 따라 작업대 수평조절 능력 상실
- 작업대는 [그림 6]의 ‘ㄱ’ 핀을 힌지로 작업대 상부 무게 분포에 따라 시소처럼 기울어지게 됨



정상운전 중: 'ㄱ' 핀 및 'L' 핀에 의해 작업대 수평 유지 및 조정



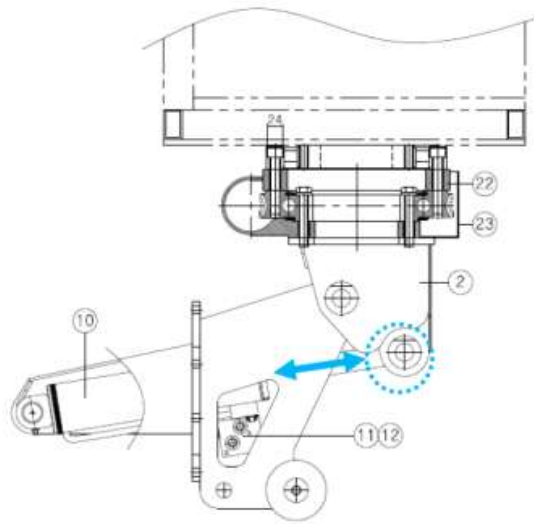
'L' 핀 이탈 시 'ㄱ' 핀을 힌지로 하여 작업대 무게 분포에 따라 시소처럼 기울어짐



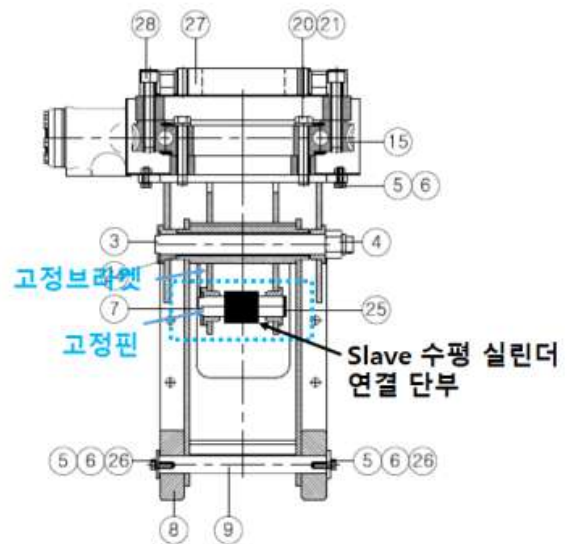
[그림 6] 작업대 지지부 및 파손

○ 종 수평 실린더 핀 이탈 원인

- (하중) 붐 신축, 기복에 대한 작업대 수평보상을 위해 종 수평 실린더는 로드를 인입·인출하며, 이에 따라 작업대의 하중은 작업대 → 연결핀 브라켓 → 실린더 로드 → 붐대로 전달됨
- 정상운전 시 연결핀에는 브라켓 부분에서 전단응력, 수평 실린더 로드로 인한 굽힘응력이 발생하지만, 연결핀 이탈 방향(핀 축방향)의 하중은 작용하지 않음



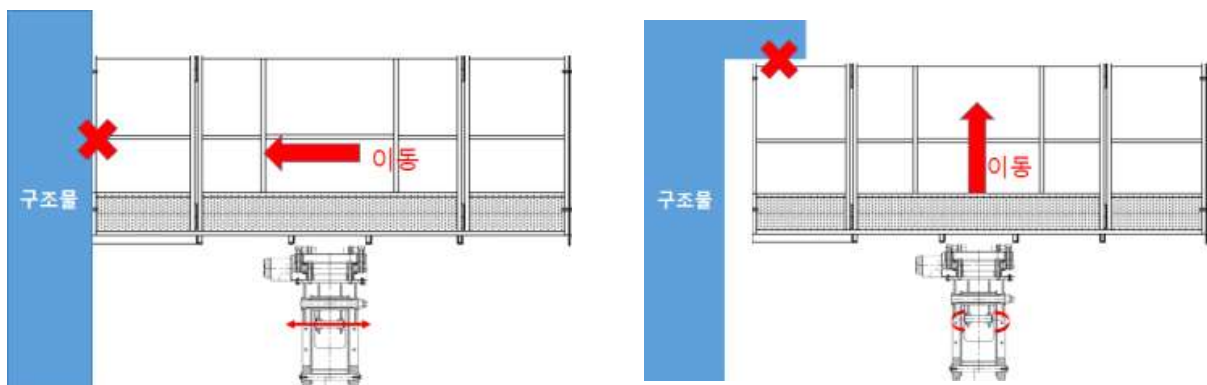
수평 실린더의 전진 후진에 의해 핀에 전달되는 하중 방향



연결핀 및 고정부 구조

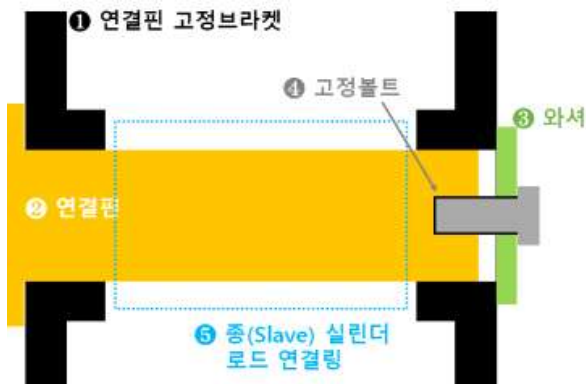
[그림 7] 종 수평 실린더 고정핀의 하중(정상운전 중)

- 하지만 고정볼트 풀림이 있는 경우 또는 연결핀과 브라켓 구멍 간의 유격이 있는 경우 실린더 작동 시 마다 고정 볼트에 하중이 가해질 수 있으며,
- 고소작업대의 작업대가 외부 구조물과 충돌하는 경우 연결핀 이탈 방향으로 강한 하중이 인가될 수 있으며, 작업대 상승, 하강 동작 시 구조물의 돌출부와와의 간섭 등이 발생한 경우에도 핀 고정부에 전단 및 굽힘응력이 가해질 수 있음



[그림 8] 연결핀에 가해질 수 있는 충격하중

- (파손부분) 종 수평 실린더는 [그림 9]와 같이 조립되나, 사고로 인하여 다음과 같은 연결핀 파손 또는 이탈 등이 발생하였음



[그림 9] 연결핀 정상 조립상태 및 사고 후 상태

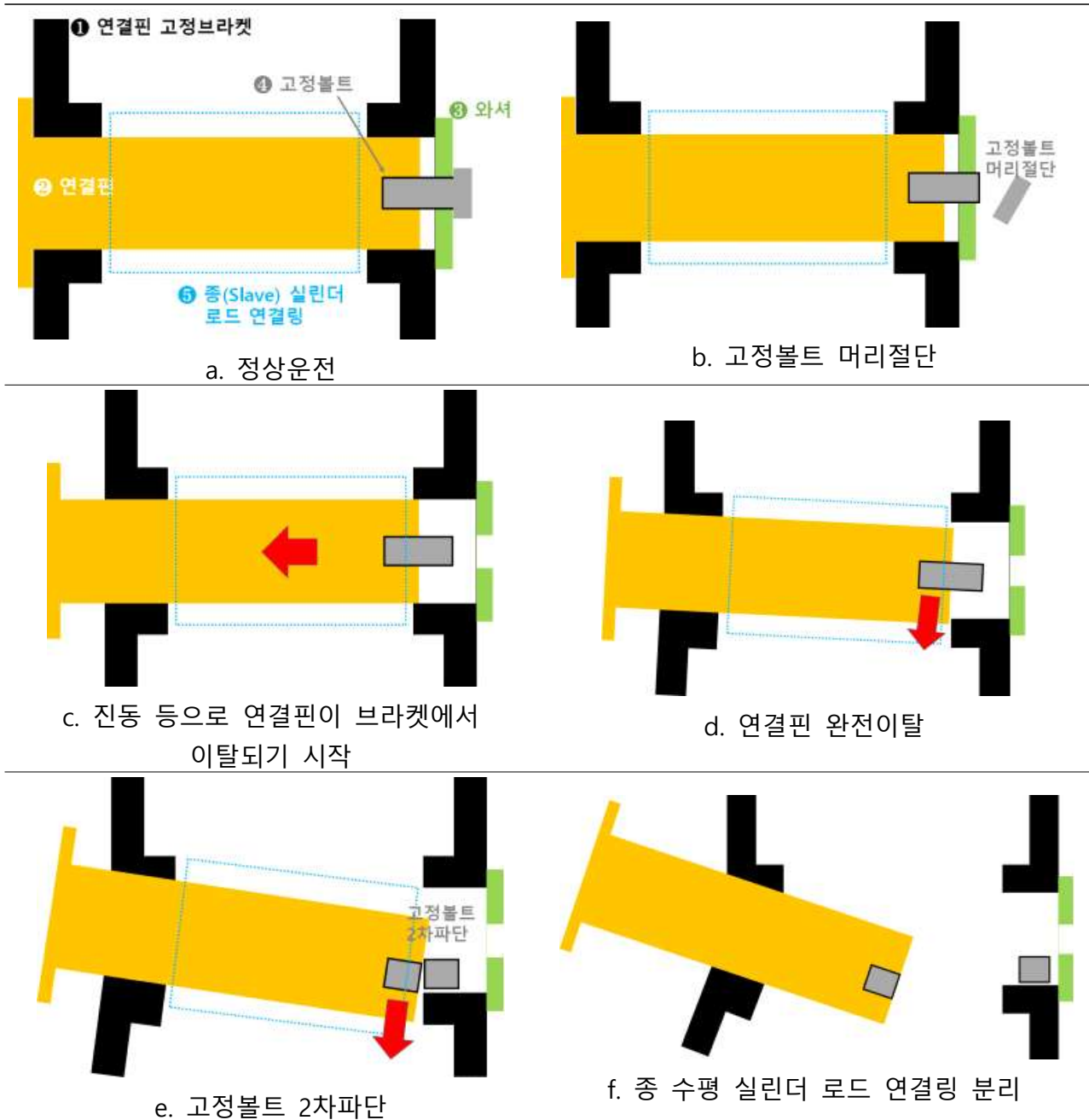
- 우측 고정브라켓은 바깥 방향으로 휨 변형되었음
- 볼트(M8)는 [사진 2]와 같이 3등분 전단되었음

※ 분리된 볼트 머리 부분은 현장에서 발견하지 못하였으며, 사고 이전에 이미 볼트 머리가 절단되었을 가능성이 있음



[사진 2] 파괴된 고정볼트

- 연결핀이 우측 고정브라켓에서 완전히 빠졌으며, 연결핀으로부터 종 실린더 로드의 연결링이 이탈되었음
- (이탈과정) 연결핀에서 종 수평 실린더 로드가 빠지기 위해서는 다음의 과정이 순서대로 발생하여야함. ㉠ 연결핀 고정볼트 파손 또는 완전 풀림 → ㉡ 연결핀이 브라켓에서 완전 이탈됨 → ㉢ 연결핀과 실린더 로드 연결링 분리



[그림 10] 이탈과정

㉓ (고정볼트 파단) 고정볼트(사이즈 M8)는 연결핀이 브라켓으로부터 축방향으로 빠지지 않도록 잡아주는 역할을 수행하며, 사고로 [사진 2]와 같이 절단됨

· (파단면) [사진 2]의 볼트 ①조각과 ②조각 사이의 파단은 전단파괴*로 보이며, ②조각에 남아있는 볼트 머리 사이의 파단은 피로파괴**로 인한 파단으로 추정됨

* 물체를 자르려고 하는 부재의 축에 수직으로 작용하는 힘(전단력)에 의한 파괴

** 재료에 변동하는 외력이 반복적으로 가해지면 어떤 시간이 경과된 후 재료가 파괴되는 현상

· (파단면 분석 및 원인)

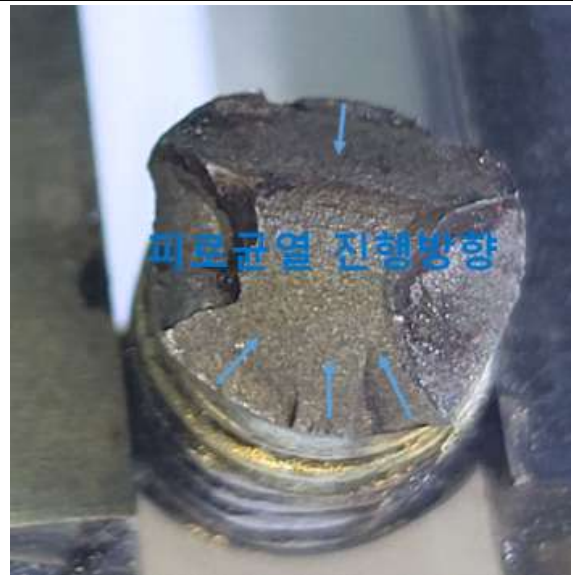
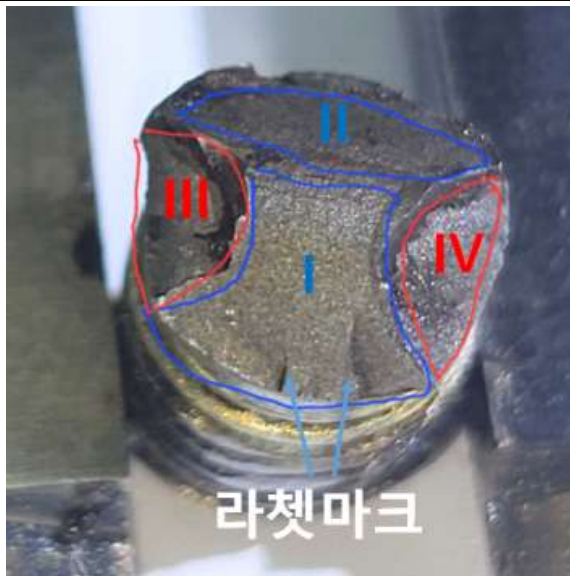
- ① 볼트 머리 부분의 파단면은 [사진 3]과 같으며, 피로파괴 파단면에서 관찰될 수 있는 2개의 라쳇마크*가 보임. 파단면은 피로파괴영역(사진의 I, II구역) 및 최종파단영역(III, IV 구역)으로 구분됨

* 인접한 피로시작점에서 진전된 균열의 경계이며, 일반적으로 높은 하중을 받는 부분 또는 응력집중이 높은 부분에 나타남

- ② [사진 3] I구역 및 II구역의 외곽에서 시작된 피로균열이 볼트 가운데로 진전되어 만나고, 양측면 III, IV구역이 최종 파단면으로 추정됨

- ③ 볼트의 피로파괴는 볼트의 풀림, 표면결함 및 주기적인 응력 등에 의해 발생함. 높은 하중에 노출된 곳에서 발견되는 라쳇마크가 관찰된 점에서, 작업대 충돌 등으로 기인한 높은 하중에 노출되어 피로 균열이 시작 및 진전되었고, 이후 발생한 충격(강한)하중에 의해 최종파단영역이 일시에 파단되어 볼트 머리가 분리 소실된 것으로 추정됨

※ 파단면으로 볼트머리 파단 시점은 특정할 수 없음



[사진 3] 볼트 머리 파단부

④ 고정핀 이탈

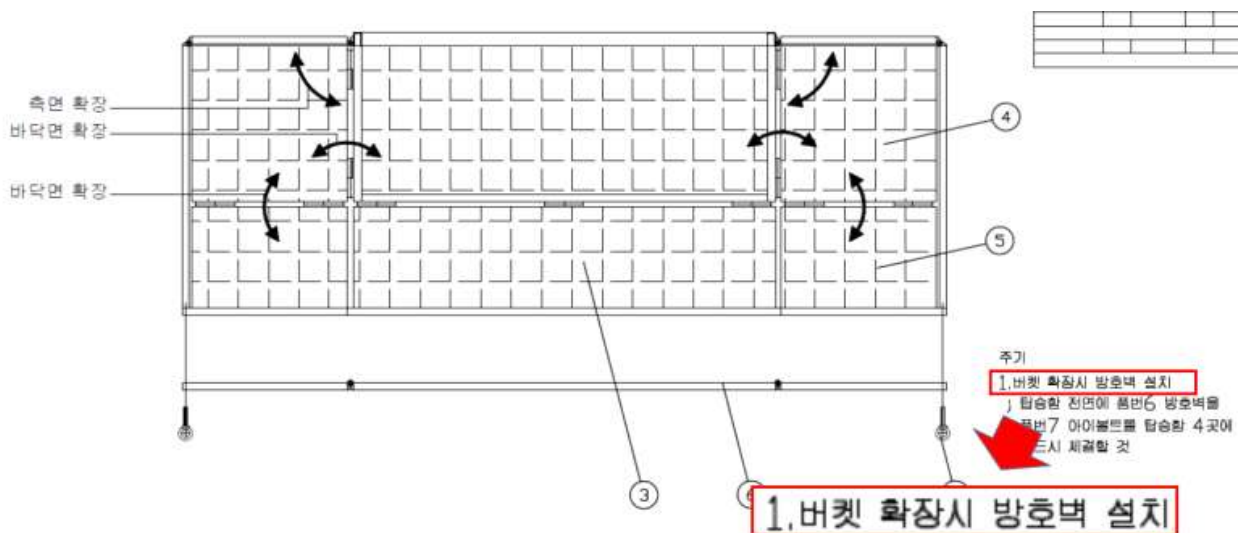
- ① 사고 직전까지 고소작업대의 작업대 수평운전은 정상이었으며,
- ② 연결핀과 브라켓 구멍간의 공차가 크지 않고 점성이 있는 구리스 등이 칠해져 연결핀이 고정브라켓 분리 방향으로 일시에 움직이는 것이 쉽지 않으며, ③ 연결핀은 항시 $\pm 5^\circ$ 이내의 수평 상태로 운전되는 점에서
- 연결핀은 작업 또는 이동 중 발생하는 진동 등에 의해 [그림 10]의 'c' 화살표 방향으로 서서히 이동되었고, 사고 직전에는 고정핀 끝단이 브라켓에 걸쳐있었을 것으로 추정됨

㉔ 연결핀에서 실린더 로드 연결링 분리

- 브라켓 단부에 걸쳐있던 연결핀 끝단이 [그림 10]의 ‘d’ 와 같이 빠지면서 고정볼트 2차 파단 → 연결핀 좌측 브라켓 변형 → 연결핀에서 종 수평 실린더 로드 분리 → 작업대가 붕대 측으로 급속하게 기울 → 작업대 상부 작업자 1명 추락, 1명 충돌로 인한 부상 발생이 급속히 이루어진 것으로 추정됨

(5) 추락방지조치 실시 여부

- 사고 작업은 높이 10m 이상에서 이루어지는 고소작업으로 작업대에 추락에 대한 방지조치가 이루어져야 함
- 고소작업대 작업대는 조립식으로 확장되며, 확장 시 측면과 후면의 안전난간은 설치되나 전면의 안전난간은 설치되지 않음
- 따라서 작업대 전면 안전난간을 별도로 고소작업대에 비치하여, 작업대를 확장하여 작업 시 설치하여야 함. 사고 고소작업대는 작업대 전면용 안전난간을 비치하지 않았으며 사고 발생 시 전면에 안전난간이 설치되지 않은 상태로 고소작업이 이루어짐



[그림 11] 작업대 확장 시 전면 안전난간 설치관련 도면



[사진 4] 사고 당시 작업대 전면 안전난간 누락된 상태

- 안전난간 설치가 곤란한 경우, 고소 작업 작업자는 안전대를 착용하고 짐줄을 안전대부착설비에 걸고 작업해야 함. 재해 당시 고소작업을 수행한 재해자 A(사망) 및 재해자B(부상)는 안전난간 미설치 상태임에도 안전대를 착용하지 않고 작업을 수행함

(6) 고소작업대 점검

- 고소작업대 제조사는 사용상의 안전 및 작업능률을 위해 다음의 일반 점검 사항을 수행할 것을 사용설명서에 기재하고 있음

일반 점검

- 가. 핀, 축, 볼트류가 느슨해지지 않았는지의 유무
- 나. 각 부품의 조립 상태, 이상 변형 등의 유무
- 다. 와이어로프의 손상 유무
- 라. 작업 중 이상음, 혹은 고열 등의 발생 유무
- 마. 배관 이음새 등에서 기름이 새는 곳은 없는지의 유무
- 바. 작동유, 윤활유의 유량체크
- 사. 기타 이상유무

[그림 12] 제조사 일반 점검

- 사고당일 10시 20분 고소작업대 작업대에 탑승하여 작업위치에 도달한 이후 대략 **6분 후** 사고 발생까지 3번의 미세한 위치조정을 위한 움직임만 있었음
- 6분의 작업 동안 작업대 충돌 등이 발생하지 않았으며, 고소작업대의 정격 능력 이내로 작업이 이루어졌으며,
- 볼트의 파단면으로 추정된 파단원인이 피로파괴로 추정되는 등 「중 수평 실린더 핀 이탈 원인」의 (이탈과정)에서 기술한 ㉠→ ㉡ → ㉢의 과정이 6분의 작업 동안 발생하였다고 판단할 수 없음
- 따라서 사고 발생일 이전에 볼트 머리가 분리되고, 연결핀이 고정브라켓에서 이탈되기 시작한 것으로 추정되는 바,
- 제조사의 일반점검사항 “핀, 축, 볼트류가 느슨해지지 않았는지 여부”, “각 부품 조립상태, 이상 변형 유무”에 대한 점검이 사고관련 작업 전 이루어지지 않은 것으로 추정됨

5. 조사자 의견

가. 작업 현장의 위험요인

○ 고소작업 추락 위험

- 간판 교체 작업은 10m 이상의 고소에서 이루어지며, 붐의 기복, 신장 및 선회 운전에 의해 지속적으로 작업공간을 이동시키며 작업을 수행해야 하므로 추락위험이 상존하고 있음

○ 고소작업대 고장 파손

- 고소작업대는 유압실린더, 붐, 체인 등으로 구동되며, 주요부위 파손 또는 고정핀 이탈 등 고장 파손 발생 시 작업대에 충격을 줄 수 있음

나. 사고원인

○ 고소작업 추락방지 조치 미흡

- 사용하는 고소작업대의 작업대에는 안전난간을 설치하여야 하며, 안전난간의 설치가 곤란한 경우에는 안전대를 착용하고 작업하여야 하나
- 고소작업대 작업대의 전면 안전난간을 설치하지 않고 안전대 미착용 상태에서 작업 중 작업대 수평 실린더 이탈로 인한 충격으로 약 10m 아래 바닥으로 떨어짐

○ 고소작업대 점검 미흡

- 고소작업대 사용자의 안전을 위하여 핀, 축 볼트 류 풀림여부 등을 점검하여야 하나, 작업대 수평 실린더 고정핀 볼트 파손 및 핀 이탈에 대한 사전 점검이 미흡하여
- 종 수평 실린더 로드와 작업대 연결핀이 고정브라켓으로부터 완전히 이탈하여, 작업대가 순간적으로 기울어져 작업대 위의 재해자가 바닥으로 떨어지게 됨

다. 안전조치 권고

○ 추락방지조치 실시

- 고소작업대 작업대 전면용 안전난간을 설치하며, 설치가 곤란한 경우에는 작업자가 안전대를 착용하고 작업

○ 주기적 고소작업대 점검

- 제조사 지침 등에 따라 주요부분에 대한 점검을 주기적으로 실시