

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. 재해발생 사업장 개요

원 청	회사명	진형건설(주)		주 소	본사	충남 태안군	전화번호 (FAX)	
	현장명	**취약시설물 보강공사			현장	경남 합천군		
	대표자	B		면허업종		건설업	근로자수	14명
	관리번호 (사업개시번호)				발주처		공사기간	2022.02.~ 2025.01.
	공사종류		토목공사		단위공종			
	공사금액(천원)		11,546,000				공정율	65%

하 청	회사명	신도종합건설(주)		주소	경남 진주시		전화번호 (FAX)		
	대표자	C		전문업종	철근 콘크리트 공사업		근로자수	2명	
	사업자등록번호							공사기간	2022.02.~ 2024.12.
	공사종류		골조 공사	단위작업	타설 작업				
	하도금액(천원)		2,334,000					공정율	70%

2. 재해자 인적사항 및 상해정도

연번	성명	출생년도	소 속	고용형태	상해정도
1	A	1976	신도종합건설(주)	일용직	사망

3. 재해발생 경위

발생형태	맞음	기인물	콘크리트 펌프카
○ 2024. 4. 18.(목) 12:18경 경남 합천군소재 「**취약시설물 보강공사」 현장에서, ○ 재해자(남,48세,콘크리트 타설원)가 배수로 설치를 위해 콘크리트 타설 작업 중, ○ 콘크리트 펌프카의 붐대 링크 부분이 파단되어 붐대가 낙하하면서 재해자를 타격하여 사망한 재해임			

4. 재해조사 내용

가. 사고의 경위

○ 재해발생 공정

- 배수로 구조물 콘크리트 타설 작업 중 콘크리트 펌프카 붐대의 2, 3단 사이 링크 부분이 파단되어 붐대가 낙하하면서 재해자를 타격함

<콘크리트 타설 공정>



○ 재해발생 과정

【표1】 사고 당시 콘크리트 타설 수행업무

성 명	콘크리트 타설 작업 수행업무	비고
D	- 콘크리트 펌프카 붐대 조종 및 선단 호스 이동	펌프카 운전자
A (재해자)	- 콘크리트 타설 위치로 진동기를 옮김	타설보조공
E	- 콘크리트 타설 부위를 진동기를 사용하여 다짐	타설공
F	- 진동기 연료를 가지러 타설 구간을 이탈함	타설공
G	- 현장 공사 및 안전 관리	진형건설(주) 부장

- 2024. 4. 18.(목) 【10:00경~】 타설공 3명, 펌프카 운전자 1명이 사고 발생 장소와 30m 떨어진 구간에서 콘크리트 타설을 시작함
- 【11:30경~】 사고 발생 타설 구간으로 이동하여 점심 식사 및 휴식
- 【11:50경~】 배수로 벽체, 슬라브 콘크리트 타설을 시작함
- 【12:18경~】 선단 호스를 움직이던 F가 진동기의 연료를 가지러 이동한 사이 D가 선단 호스를 움직이며 콘크리트를 타설하던 중 붐대가 파단되어 진동기를 들고 있던 재해자를 타격함
- 【12:19경~】 재해자를 구출하여 병원으로 후송하였으나 사망함

나. 사고발생 설비 : 콘크리트 펌프카

- 차량계 건설기계로 붐 형식은 4단 굴절식, 최대 지상고는 31.6m임
- 제작년도가 1996년으로 사용 연수가 28년 된 기계임

		건설기계명	콘크리트 펌프
		제조사	
		제작년도	1996년
		형식	
		규격	80m ³ /hr
붐	형식	4단 굴절식	
	최대 지상고	31.6m	
		선단호스길이	약 3.3m
		검사유효기간	2024.08.28.
		등록번호	
		소유주(상호)	E(사업장 ㉔)

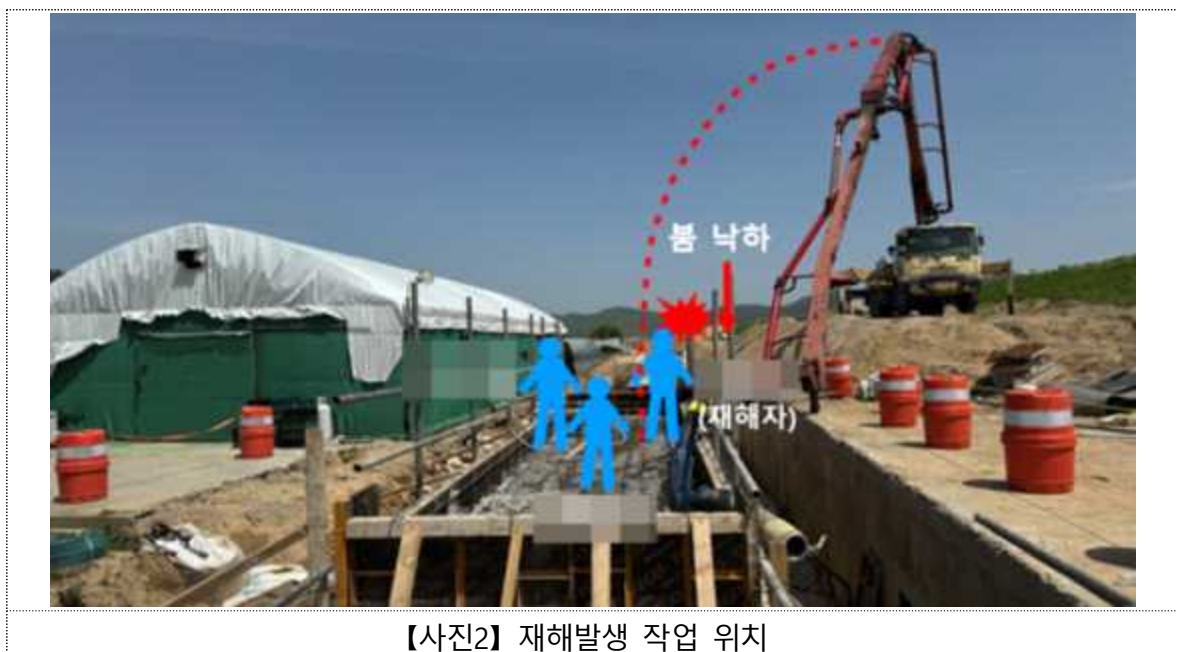
【사진1】 콘크리트 펌프카

【표2】 제원표

다. 조사 · 확인내용

1) 재해발생 작업 위치

- 재해자는 붐 하부에서 진동기를 들고 다니며 타설공을 보조하는 역할을 하였으며 펌프카의 붐대가 파단되자 선단 호스 및 붐대가 수직으로 낙하하여 재해자를 타격함



【사진2】 재해발생 작업 위치



【사진3】 붐대에 맞은 후 재해자의 위치(추정)

2) 파단된 붐의 낙하 형태

- 펌프카의 붐은 4단 굴절식으로 붐 사이의 링크를 유압 실린더가 왕복 운동하여 붐을 펼치거나 접음
- 재해 당시 4단 붐을 모두 펼친 상태에서 콘크리트 타설 중 붐의 2단과 3단 사이의 링크가 파단되어 붐이 수직으로 낙하하였음

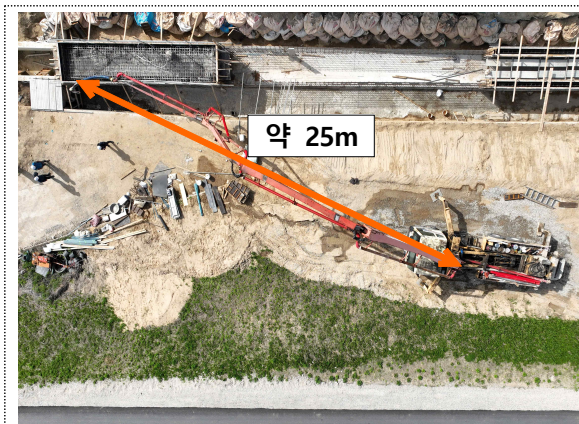


【사진4】 펌프카 붐대 파단 및 낙하 형태

3) 콘크리트 펌프카 붐의 파단 원인 추정

(1) 작업반경 초과로 인한 과부하에 따른 파단 가능성

- 펌프카에서 타설 장소까지 수평거리는 약 25m, 붐의 각도는 약 25~30° 임
 - 제원표 상 붐의 최대 수평거리는 확인할 수 없었으나, 작업 당시 펌프카의 붐을 포물선 형태로 뻗어서 타설하였던 것으로 보아 작업 반경(수평)을 초과한 것으로 보기는 어려움
 - 수직 방향 사용각도는 0~92° 로 재해 당시 붐 각도는 약 25~30° 로 제원 내에 있어 작업반경 초과로 인한 과부하에 따른 파단 가능성은 희박한 것으로 판단됨



【사진5】 펌프카 타설 거리(수평)



【사진6】 펌프카 붐 각도

(2) 지반 침하로 인한 과부하에 따른 파단 가능성

- 펌프카의 아웃트리거는 모두 지반에 정상적으로 지지된 상태로 바닥이 침하된 흔적은 확인되지 않아, 지반 침하에 의한 장비 전도에 따른 충격으로 붐이 파단될 가능성은 없는 것으로 판단됨



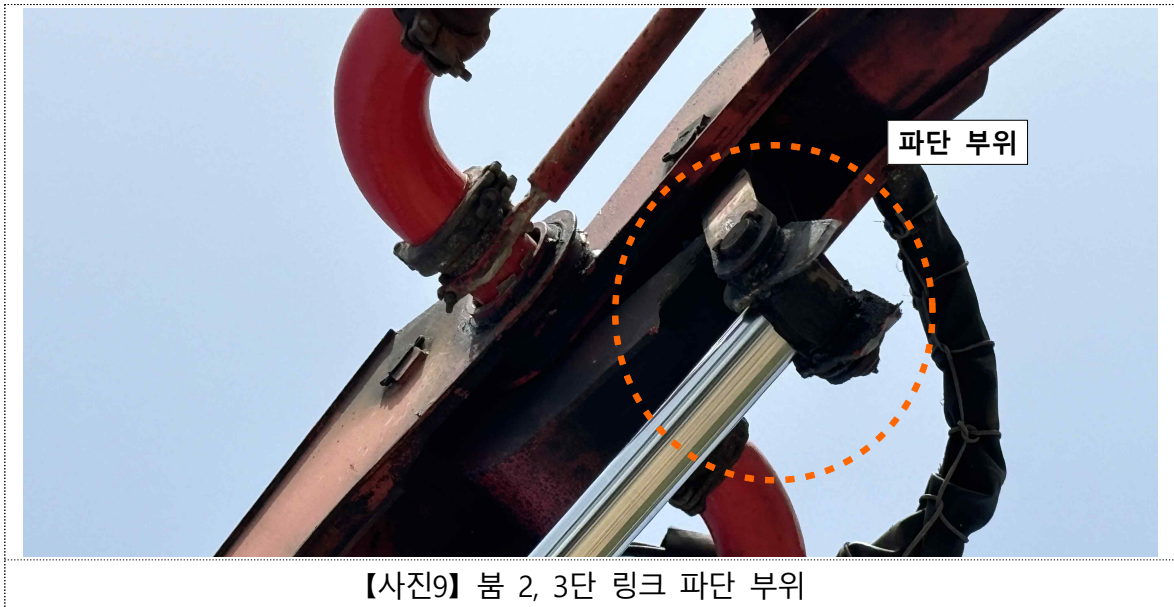
【사진7】 펌프카 전면 아웃트리거



【사진8】 펌프카 후면 아웃트리거

(3) 피로 누적 등 붐 자체 결함으로 인한 파단 가능성

- 사고 발생 콘크리트 펌프카는 사용 연수가 28년 된 건설기계로 장기간 콘크리트 압송에 따른 진동, 붐 하중 지지 등으로 피로가 누적되어 파단 부위의 강도가 저하되었을 가능성이 있음



- (①번 단면) 'a'에서 피로 균열¹⁾의 무늬(Beach mark)가 관찰되어 균열이 시작되고 'b'에서 전단 파단면²⁾이 발생하며 최종 파단된 형상임
 - 'a'에서 용접 비드³⁾가 관찰되는 것으로 보아 링크에 용접 구간이 있음

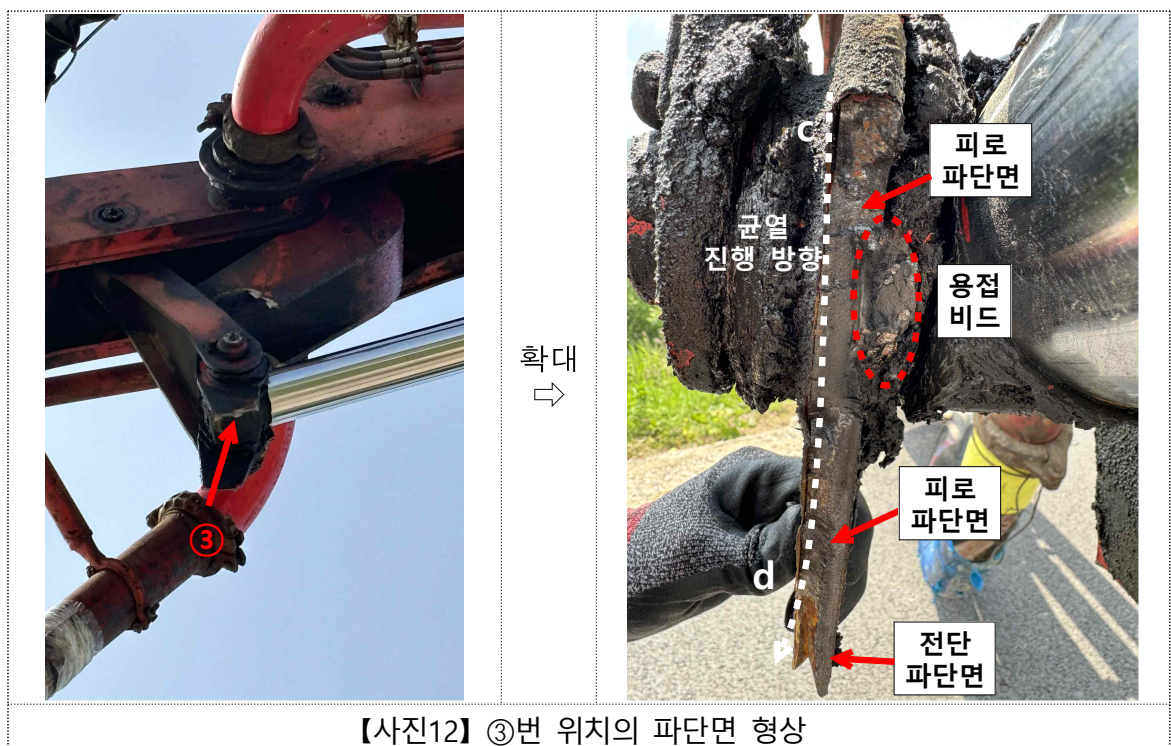
- 1) 피로 균열(fatigue crack) : 재료가 반복하중을 받아 점진적으로 발생하는 균열로 주로 'Beach mark' 또는 'Striation' 등의 줄무늬 형상이 관찰됨
- 2) 전단 파단면 : 사고 발생 시 파단된 면으로 파단면이 응력 방향의 45° 또는 V형태를 띄며 단면 감소가 관찰됨
- 3) 용접 비드(bead) : 용접봉이 모재에 용착하여 생긴 가늘고 긴 띠 모양의 부분



- (②번 단면) ①번 단면에 대응하는 면으로 'a'에서 피로 균열에 의한 파단 형상이 관찰되며 'b'에서 최종 전단 파괴가 발생하였으며 'a' 부근에서 용접 비드가 링크의 단면을 파고들어 단면 감소가 발생함



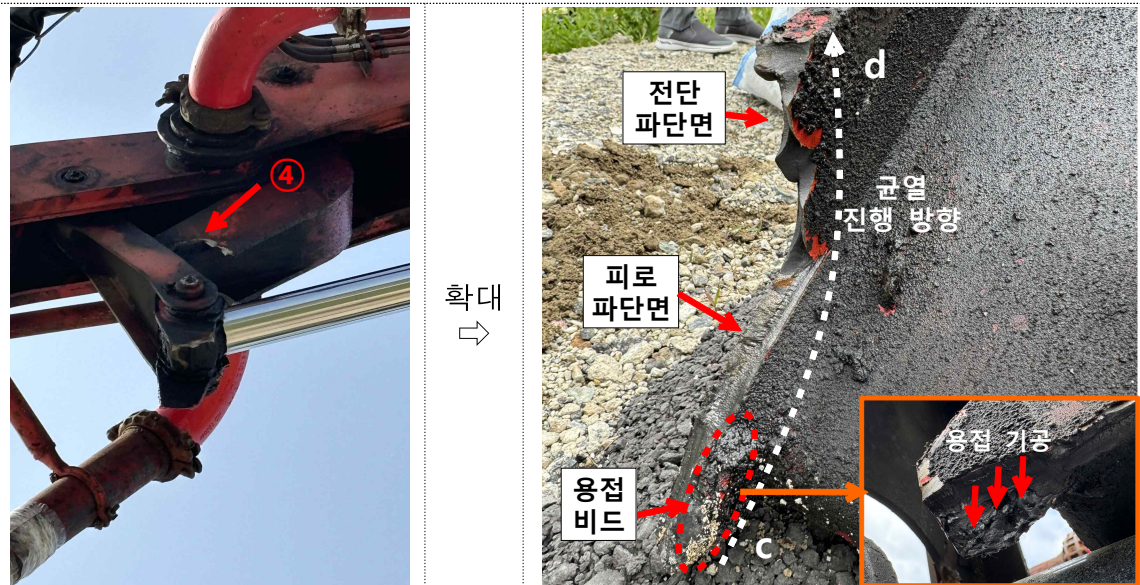
- (③번 단면) 링크의 좌측 파단면으로 ①번 단면과 동일하게 피로 파단 형상이 관찰되고 하부에는 전단 파단면이 관찰되어 균열은 'c'에서 'd'로 진행됨
- 'c'부근에서 용접 비드가 링크의 단면을 파고들어 단면이 감소됨



○ (④번 단면) ③번 단면에 대응하는 파단면으로 균열은 'c'에서 'd'로 진행되었으며 피로 파단 및 전단 파단면이 관찰됨

- 'c'에서 용접 비드가 링크의 단면을 파고들었고 용접 기공⁴⁾이 관찰됨

4) 용접 기공(氣孔) : 용접할 때 용착 금속 속에 생기는 기포로, 국부적인 응력 집중을 일으켜 용접부의 강도를 저하시킴



【사진13】 ④번 위치의 파단면 형상

4) 파단면 분석에 따른 파단원인 종합

○ (반복 하중) 파단부에서 관찰되는 피로 균열의 위치를 볼 때 붐을 전개한 상태에서 콘크리트를 압송할 때 위·아래로 발생하는 하중을 붐의 링크가 지지하여 반복 하중을 장기간 받음

○ (진동) 파단부는 압송관이 붐을 관통하고 있는 곳과 근접한 부위로 콘크리트를 압송하면서 발생하는 진동이 반복적으로 링크에 전달됨

- 붐을 관통하는 압송관 주변 용접부는 균열이 이미 진전되어있음



【사진14】 콘크리트 압송관



【사진15】 압송관 주변 용접부 균열



【사진16】 압송관 주변 용접부 균열

- (용접 결함) 링크와 핀홀을 용접한 부위에서 용접 비드가 링크 단면을 파고들어 단면이 감소하였으며 또한, 일부 부위에서는 용접 기공 등의 결함이 발생하여 링크의 강도를 저하시킴



【사진17】 링크, 핀홀 용접 부위(국과수 감식 사진 참조)

☞ 종합하여 볼 때 콘크리트 펌프카의 붐대에 작용하는 반복 하중, 압송관 등에서 발생하는 진동, 용접 결함 등에 의해 피로 균열이 발생 및 진전 되었으며 사고 발생 당시 피로 균열의 과도한 성장에 따라 강도가 저하되어 붐이 최종적으로 파단된 것으로 판단됨

5) 콘크리트 펌프카 검사 및 점검 이력

(1) 건설기계관리법상 정기 검사

- 펌프카는 건설기계관리법에 따른 건설기계로 사용 연수 20년 이하의 장비는 1년, 20년 초과 장비는 6개월마다 정기검사를 받아야 함
 - 해당 장비는 1996년 최초 등록하였으며, '24년 2월 정기 검사를 받음 (검사유효기간 : '24년 8월, 검사기관 :)
- ※ 해당 장비는 사용 연수가 28년 된 장비로 6개월마다 검사를 받음

<참고> 건설기계관리법에 의한 정기 검사 내용

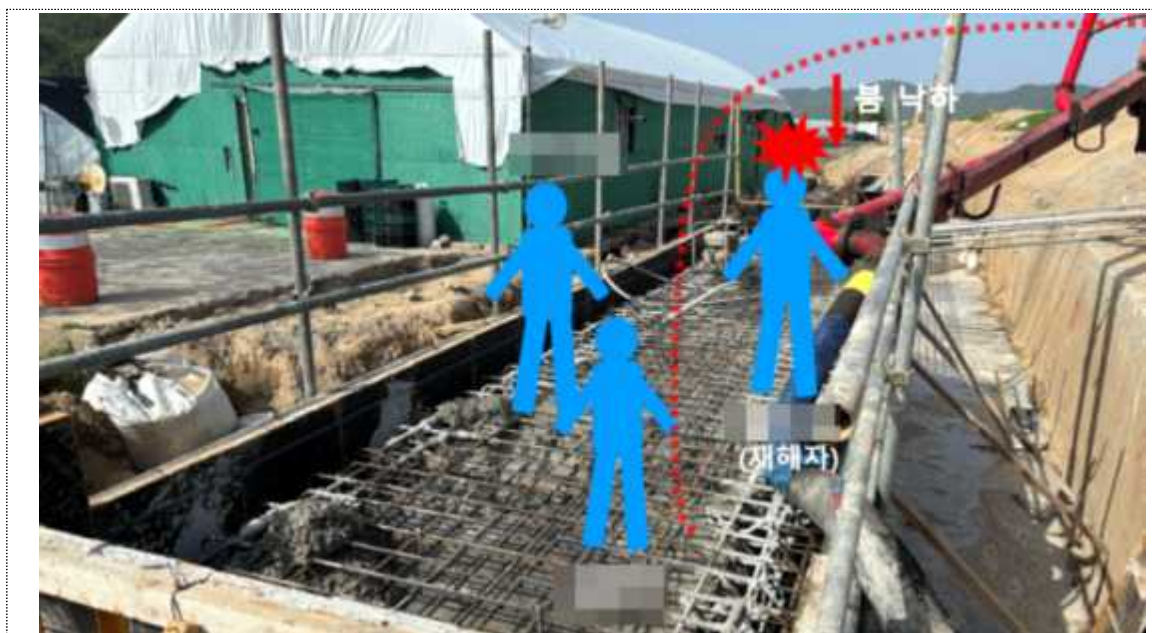
건설기계검사기준(건설기계관리법 시행규칙 별표 8)에는 건설기계별 공통사항 및 원동기의 성능, 하체부, 차체에 대한 검사기준이 나열되어 있으나, **봄에 대한 검사기준은 구체적으로 명문화 되어 있지 않음**

(2) 비파괴 검사(비법정 검사)

- 해당 펌프카는 현장 반입 전 비파괴 검사를 실시하지 않음
- ※ 비파괴 검사는 비법정 검사로 반드시 수행해야 하는 것은 아님

6) 펌프카 봄대 낙하 위험지역의 통제 조치 확인

- (타설작업 시 재해자의 위치) 재해 당시 배수로 코너부를 타설하기 위해 재해자는 4단 봄 아래에 서서 타설공(ㄸ)가 진동기를 자유롭게 사용할 수 있도록 진동기를 들고 있었음



【사진18】 타설 작업 시 재해자의 위치

○ (출입통제조치 미실시) 붐 하부에는 출입을 통제할 수 있는 시설물이 설치되지 않았고, 유도자 또한 배치되지 않음

- 계속 이동해야 하는 붐 하부에는 현실적으로 시설물을 통한 출입 통제조치는 어려워 유도자 배치 등을 통해 작업자들의 출입을 통제하여야 함

7) 작업계획서의 작성 및 준수 여부 확인

○ 펌프카 사용에 대한 운행경로, 작업방법, 펌프카의 종류 및 성능에 관한 차량계 건설기계 작업계획서를 작성하지 않아 작업 방법이 부재하여 작업자들의 임의로 위치를 조정하면서 작업을 실시함

- 타설 작업 시 펌프카 붐의 위치 및 이동 경로, 선단 호스를 사용한 타설 방법 및 순서, 관련 작업자들의 배치 등 해당 장비를 사용한 작업 방법을 작성하고 준수하여야 함

5. 조사자 의견

가. 작업현장의 위험요인

① 콘크리트 타설 중 펌프카 붐 파단에 의한 낙하 위험

- 콘크리트 펌프카 작업 시 붐에 반복하중, 진동 등이 장기간 발생하여 피로 누적으로 인해 붐이 파단되어 낙하할 위험이 있음
- 콘크리트 타설 시 유도자가 배치되지 않아 근로자가 붐 하부에서 작업 중 붐 파단에 의해 맞을 위험이 있음

나. 재해발생원인

① 차량계 건설기계 작업계획서를 작성하지 않음

- (작업계획서 미작성) 콘크리트 펌프카를 사용한 타설 작업 시 펌프카 붐의 위치 및 이동경로, 그에 따른 관련 작업자들의 배치 및 선단 호스 사용 시 타설방법 등을 포함한 작업계획서를 작성하지 않음

② 콘크리트 펌프카 붐 하부 낙하 위험에 대한 안전조치를 실시하지 않음

- (출입금지구역 미설정) 콘크리트 펌프카를 사용한 타설 작업 시 상부에서 물체가 떨어지거나 장비가 낙하할 위험이 있는 작업 장소(붐 하부)임에도,
 - 출입금지구역을 설정하지 않고, 유도자를 배치하지 않는 등 낙하 위험에 대한 안전조치를 실시하지 않음

다. 안전조치 권고

① 차량계 건설기계 작업계획서의 수립 및 실행 철저

- (작업계획서 수립) 콘크리트 펌프카 작업에 대한 작업계획서를 작성하는 경우 타설 작업 시 펌프카 붐의 위치 및 이동경로, 그에 따른 관련 작업자들의 배치 및 타설 방법 등 해당 장비를 사용한 작업 방법에 대한 세부 내용을 포함하여 작성하여야 함
- (계획서 실행 철저) 콘크리트 펌프카 작업에 대한 작업계획서를 작성 후, 작성된 계획에 따라 작업이 이루어지는지 철저히 확인하여야 함

② 콘크리트 펌프카 붐 하부 낙하 위험에 대한 안전조치 철저

- (출입금지구역 설정) 콘크리트 펌프카를 사용한 타설 작업 시 상부에서 물체가 떨어지거나 장비가 넘어질 위험이 있는 작업 장소(붐 하부)에 근로자 출입금지구역을 설정하고 유도자를 배치하여 근로자의 출입을 통제하는 등 낙하 위험에 대한 안전조치를 실시하여야 함

제도 개선 대책(안)

1) 현황 및 문제점

○ 【콘크리트 펌프카 검사 현황】

- 최근 사고다발 건설 기계임에도 불구하고 콘크리트 펌프카 붐에 대한 의무적 검사기준이 없어 안전관리에 어려움이 있음
- [산업안전관리법] 안전인증을 받아야 하는 안전인증 대상 위험기계에 포함되지 않음
- [건설기계관리법] 법 제13조(검사) ①항 2조 정기 검사에 의해서 콘크리트 펌프카 차량에 대하여 1년 주기(20년 이상 6개월 주기)로 검사를 받고 있으나,
- 검사 항목으로 차량 하체부에 대한 동력전달장치, 제동장치, 변속장치, 조향장치, 속도계 등에 대해 정기 검사를 실시하고 있음
- 콘크리트 펌프카 붐 상태에 대한 점검 및 검사 항목은 포함되지 않음

2) 제도 개선 방향

○ 【개선 방향】

- 건설기계관리법에 의한 콘크리트 펌프카에 대해서 정기 검사 시 붐에 대하여 안전 검사(비파괴 검사 등)가 의무적으로 이루어질 수 있도록,
- 콘크리트 펌프카 정기점검 검사 항목에 붐에 대한 검사 내용 추가 등 「정기 검사 항목」의 제도적 개선이 필요함

현행	개선안	관련 법
▶ 건설기계 검사기준 내용 중 콘크리트 기계류에서 펌프카 붐에 대한 검사 내용이 없음	▶ 건설기계 검사기준 내용 중 콘크리트 기계류에서 펌프카 붐에 대하여 외관 및 안전 점검 (비파괴 검사) 내용 포함	▶ 건설기계관리법 시행규칙 제27조 및 별표 8