

건설업 안전사고의 원인과 사고발생원리의 분석을 통한 안전관리 합리화 방안의 고찰

-매몰(埋沒), 화사(火事), 폭발(爆裂), 화상(火傷)을 대상으로-

A study on the Rationalization of Safety Management through the Analysis of Accident Cause and Occurrence Principles for Safety Accidents in the Construction Industry
-Focused on Burial, Conflagration, Explosion, Burn-

김진호

Kim, Jin-Ho

Abstract

In recent years, the number of high-rise building construction projects has grown, and the number of construction safety accidents has also been increasing. Therefore, the objective of this study is to propose plans to prevent accidents by systematically organizing accident principles and developing a tree diagram for the process of safety accidents that occur in the construction industry.

This study aims to show the diverse characteristics of construction accidents based on KOSHA's annual reports on safety accidents(burial, conflagration, explosion, burn) from 1993 to 2009. To achieve these objectives, in this study we first examined the risk factors for burial, conflagration, explosion, and burn. We then systematically organized the classification viewpoint of accident causes, and suggested a methodology for the rationalization of safety management through an analysis of the primary causes of accidents by work type.

The results of this study based on this methodology can be divided into three areas: 1)the types of facilities were divided into 43 categories by analyzing the information of KOSHA's annual reports; 2)the causes of burial, conflagration, explosion, and burn were divided into 63types; 3)the types of work were divided into 29 categories.

Keywords : Work Type, Accident Cause, Occurrence Principle of Accident, Tree Structure of Accident

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근, 경기도 이천시 냉동창고 화재사건 및 김천 공장 폭발사고 등, 대형 참사가 발생하여 안전문제가 사회이슈로 부각되고 있다. 국토해양부에서는 2010년초 7대 지하건설 시설물(상수도, 하수도, 전기, 통신, 난방, 가스, 송유)을 대상으로 데이터를 통합 관리하는 시스템을 구축하여 안전사고 예방을 효율적으로 추진하고자 하였다.

건설 현장의 경우도 작업의 특성상 인화성(引火性)이나 가연성(可燃性)을 가진 다수의 물질과 자재가 존재하고, 용접불꽃이나 가스절단화기 등, 다양한 점화원이 이용된다. 이런 점에서 건설현장에서도 화재나 폭발의 위험성이 매우 높으므로 사고예방을 위

한 조치가 시급히 검토되어야 한다.

이런 배경으로 산업안전보건법 제49조의 2 제1항에서는 “유해 위험설비를 보유한 사업장의 사업주는 그 설비로부터의 위험물질의 누출, 화재, 폭발 등으로 인하여 사업장 내의 근로자에게 즉시 피해를 주거나 사업장 인근지역에 피해를 줄 수 있는 중대산업사고를 예방하기 위하여 공정안전보고서를 작성하여 노동부장관에게 제출하고, 사업장에 갖춰 두어야 한다.” 라고 규정하고 있다.

게다가 최근에는 건설 환경 및 기후의 변화로 초고층화가 가속화 되어 지하굴착심도가 깊어져 토공사의 위험도가 증가, 매몰사고의 발생 가능성이 높아졌다. 그리고 우리나라의 기후도 겨울철의 심한사온현상이 다소 사라져 장기간 추위가 이어져 폭설이 내리거나, 여름철에는 집중호우가 발생하는 등 이상기온이 이어지고 있다.

이러한 변화에 따라 강우유입수 증가에 의한 굴착토사의 이완으로 대형 건설현장에서의 토사붕괴가 우려되며, 매몰사고가 증

* 동명대학교 건축대학 건축공학과 전임강사, 공학박사
(교신저자, jhkim386@tu.ac.kr)

가할 가능성이 크고, 공정상 동절기에도 공사를 실시, 한파에 따른 화재나 폭발사고의 위험성이 높아지게 되었다.

이런 유형의 사고에 의해 작업자의 사망이 발생한 경우, 건설 현장 전체 작업은 장기간 중지되고, 공기지연을 초래하여 엄청난 금전적 손실과 발주자로서의 손해배상으로 시공자는 큰 손해를 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 건설업에서의 사고사례를 대상으로 사고종류별 사고원인을 분석하고, 작업별로 사고발생원리를 고찰함으로써 사고예방의 방법론을 제시하는 것을 연구의 목적으로 하였다.

1.2 연구의 방법 및 범위

기존연구를 ‘건설재해 발생실태 분석’ 과 ‘안전관리 방법론 고찰’ 의 관점으로 구분하여 연구의 동향과 주요 내용을 파악하였으며, 본 연구의 신규성(新規性)을 고찰하였다.

건설업 안전사고의 분석은 1993년부터 2009년까지 17년간 한국산업안전공단의 산업재해사례중, 건설업분야 사고로서 매몰(埋沒), 화재(火事), 폭발(爆裂), 화상(火傷)을 대상으로 총 85건의 사례를 도출하였다. 그리고 분석작업은 각 사례를 연도별로 구분한 이후 MS-EXCEL를 이용하여 ‘시설1(대분류)-시설2(중분류)-직업유형-사고종류-기인물-사고원인-사고개요’ 의 형태로 DB를 구축하였다.

안전사고의 분석은 우선 사고가 발생된 각 시설물별로 사고의 종류 및 건수를 파악하였고, 사고발생실태의 차이점을 도출하여 사고에 관련된 작업내용을 분석하였다. 그리고 작업별로 사고건수를 집계하고, 사고다수 작업에서의 기인물을 도출하였다. 이러한 분석내용을 토대로 총 85건의 사례별로 사고의 원인을 파악하였고, 원인별로 사고를 초래한 해당건수를 집계하여 시설물별 사고원인과 기인물을 체계화하였다.

분석된 시설물 및 작업별 사고정보를 토대로 다수사고 작업을 도출한 이후, 사고발생 Tree구조 및 사고발생원리, 각 사례별 사고원인을 토대로 사고예방 방안을 제시하였다.

2. 기존연구의 동향과 본 연구와의 차이점

2.1 기존연구의 동향

표 1은 기존연구의 내용을 요약하여 나타낸 것이다.

- 1) 최근 건설 현장환경의 변화로 매몰, 화재, 폭발사고의 가능성이 높아져 가고 있지만, 건설현장 재해의 특성과 발생실태를 분석한 4편의 연구에서는 이러한 사고의 발생현황 및 분석에 관한 심층적인 접근이 수행되지 않았다. 그리고 프로젝트의 유형 또는 시설물의 관점 보다는 직종(職種)이나 공종(工種) 등, 작업의 특성이나 작업자의 관점에서 주로 중대재해를 대상으로 분석이 이루어져 시설물(施設物:

Facility)별 안전사고의 실태는 검토되지 않았으며, 사고원인도 충분히 분석되지 않았다.

표 1. 기존연구의 내용 요약

구분	주요 연구내용
건설현장 재해의 특성과 발생실태 고찰	
김현호(2007)	· 건설현장 중대재해를 대상으로 공사규모에 따른 발생형태별, 직종별, 사고발생시점(월별, 요일, 시간대) 분석
박경훈(2007)	· 건설공사 중대재해를 대상으로 공사종류별, 세부직종별, 발생유형별로 발생건수를 분석하여 재해의 발생특성 고찰
이정철(2007)	· 고령층인구의 경제활동정보를 파악하고, 건설근로자의 고용현황을 분석한 후 산업재해 원인을 규모별, 형태별, 질병별로 특징 고찰
김흥현(2007)	· 중대재해사례를 대상으로 크레인별, 재해형태별로 분류, 재해원인을 분석하였고, 재해패턴별로 FMEA기법을 적용하여 양중단위작업별로 위험등급을 산출
건설현장 안전관리 방법론 고찰	
임지영(2008)	· 건설현장 재해현황을 파악하고, 설문조사 분석을 바탕으로 안전관리에 대한 단계별 발주자의 역할을 제안
이종빈(2003)	· 기존 건설현장의 안전수준평가방법의 문제점과 한계점을 분석하여 실질적인 안전관리수준 평가항목과 배점을 제시

- 2) 사고의 원인을 고찰한 2편의 연구에서도 ‘고령작업자’나 ‘크레인’으로 연구범위가 다소 제한적으로 설정되어 건설현장 안전사고의 특성에 따른 원인분석이 포괄적으로 수행되지는 못했다.
- 3) 안전관리 방법론을 고찰한 2편의 연구는 발주자의 역할을 단계별로 제시하거나 효율적인 안전수준 평가척도의 개발이라는 관점에서 연구가 수행되어 현장 안전사고의 원인분석을 통한 예방방안을 도출하기에는 다소 무리가 있다.

2.2 기존연구와 본 연구와의 차이점

본 연구가 기존연구와 차별화되는 점은 다음과 같다.

- 1) 기존연구는 최근 5년간 사고를 대상으로 한 경우가 대부분이며, 최대 10년간 발생한 사고를 분석한 것은 1편에 불과한 반면, 본 연구에서는 최근 17년간을 조사대상으로 하였으므로 장기간 발생한 다양한 작업의 유형을 도출할 수 있었다.
- 2) 국토해양부가 지정한 7대 지하건설시설물중, 상수도, 하수도, 송유, 전기 등의 분야를 포함하여 시설물의 유형에 따른 사고발생을 비교고찰하였고, 작업별 사고발생의 실태를 분석 후 구체적인 사고원인과 다양한 기인물을 도출한 점이 다.
- 3) 이러한 분석과정을 기반으로 사고발생의 논리적인 흐름을 고찰하여 ‘시설물유형-작업유형-사고종류-사고원인-점화원-위험물’ 간의 인과관계를 규명하면서 사고의 예방방안을 제시한 점을 들 수 있다.

3. 건설 안전사고발생 실태의 사례연구

3.1 시설물별 사고발생 현황

표 2는 시설물을 대분류, 중분류로 구분하여 사고종류별로 사고건수를 나타낸 것이다.

표 2. 시설물별 사고발생건수

시설물 분류	사고종류				계
	매몰	화사	폭렬	화상	
건축 (15)	주상복합		2		2
	상가			1	1
	지하주차장	1			1
	근린생활시설			3	3
	스포츠센터		1	1	2
	체육관	1	1		2
	생활관			1	1
	회관		1		1
	학교	3	1	1	5
	학원		1		1
	유치원			1	1
	기숙사	1			1
	병원		1		1
	성당			1	1
	군막사	2			2
주택(1)	아파트	6	2	2	11
	공장		1	2	3
플랜트 (6)	냉동창고		1		1
	유류탱크			2	2
	SILO	2			2
	발전소	1		1	2
	소성로		1		1
토목(8)	교량	1			1
	도로	3	1		4
	터널	1		3	4
	댐	1	1		2
	지하철	1		2	3
	산업단지	1			1
	수관로	1			1
	광관로	1			1
SOC(5)	항만			1	1
	골프장	2			2
	전철	1			1
	고속도로	1		1	2
	하수관거			1	1
환경(8)	상수도	3	1		4
	저수조			1	1
	소화조			1	1
	정화조	1		2	3
	하수처리장	1			1
	폐수처리장		1		1
	가압장	1			1
	오수관	2			2
총 계	39(46%)	17(20%)	28(33%)	1(1%)	85

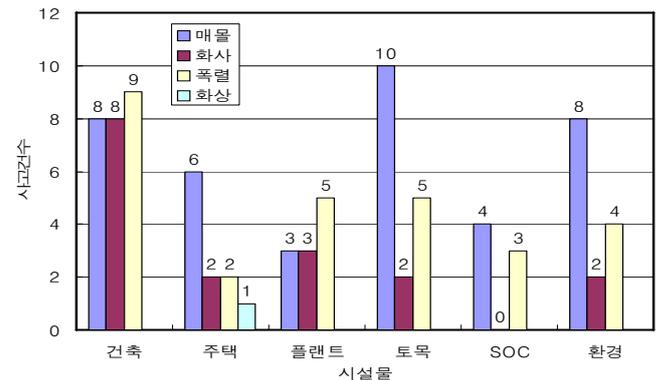
시설물은 건축분야를 포함하여 6가지 카테고리로 구분하였으며, 이것을 세분화하여 보면 중분류는 총 43타입으로 집계되었다. 조사대상 사고건수는 총 85건이며, 매몰이 39건(46%)으로 가장

많고, 화사 17건, 폭렬 28건의 순으로 화상은 1건에 불과하였다. 여기에서 ‘매몰’이란 굴착토사의 붕괴나 콘크리트타설 시 무너진 구조물에 작업자가 파묻히는 현상을 말하며, ‘화사’는 다양한 점화원에 의해 불이 붙거나 그에 따른 손실을 동반한 화재(火災) 사고(事故)를 의미한다. 그리고 어떤 점화원에 의해 물체 등이 터진 사고를 ‘폭발(爆發)’이라고 하지만, 본 연구에서는 물질의 물리적, 화학적 변화에 따라 부피가 커져 폭발을 또는 파괴현상을 동반한 사고가 다수 분석되어 ‘폭렬(爆裂)’이라는 용어를 사용하였다.

한편, 통상적으로 폭렬 이후로 화염이 발생하는 경우가 많아 폭렬과 화사는 다소 유사한 현상으로 보일 수 있지만, 본 연구에서는 폭발음이나 물체 파괴가 주된 현상인 경우는 ‘폭렬’로 화염이 분출되거나 착화현상 중심으로 기술되면서 파괴가 기술되지 않은 사고는 ‘화사’로 구분하였다. 반면, ‘화상’은 점화원(양철통불 등)에 작업자가 근접하여 부주의로 불티가 작업복에 옮겨 발생한 인명적 피해(피부손상 등)를 당한 사고를 말한다.

시설물별 사고건수는 아파트가 11건으로 가장 많고, 학교 5건, 도로, 터널, 상수도가 각 4건의 순이며, 터널(폭렬 3건)을 제외한 시설에서는 매몰이 가장 많았다. 특히 아파트에서는 화상을 포함한 모든 사고유형에서 안전사고가 발생하였고, 각 3건으로 집계된 근린생활시설, 공장, 지하철, 정화조에서는 매몰보다는 폭렬이 차지하는 건수가 많았다.

매몰은 아파트가 6건으로 가장 많고 학교와 도로, 상수도가 각 3건으로 나타난 반면, 화사는 주상복합과 아파트가 각 2건으로 시설물별 사고건수에는 큰 차이가 없었다. 폭렬은 근린생활시설과 터널에서 각 3건으로 타 시설물보다 폭렬사고건수가 많았으며, 화상은 아파트에서만 1건 파악되었다. 그림 1은 표 2의 시설물 43타입을 대분류의 관점에서 사고건수를 나타낸 것이다.



주택은 사고 전반에 걸쳐 발생하였으며, 매몰이 6건으로 가장 많았으며, 건축은 총 25건으로 가장 많고, 토목 17건, 환경 14건의 순이었다. 특히 건축분야는 화상을 제외한 사고별 발생건수에는 큰 차이는 없었다.

한편 건축과 플랜트에서는 폭렬건수가 많은 반면, 주택, 토목,

SOC, 환경분야에서는 매몰이 차지하는 건수가 타 사고에 비해 많은 편이었다. 매몰은 대분류기준으로 모든 시설물에서 발생하였고, 토목에서 10건으로 가장 많았으며, 건축과 환경에서 각 8건으로 동일한 반면, 플랜트에서는 3건으로 가장 적었다. 화사는 SOC를 제외한 시설물에서 발생하였고, 건축에서 8건으로 가장 많으며, 타 시설물에서는 큰 차이가 없었다. 폭렬의 경우는 화사가 1건도 없었던 SOC분야에서도 3건으로 나타났고, 건축이 9건인 반면, 주택분야에서는 2건으로 가장 적었다.

표 3은 총 사고 85건을 시설물 43타입으로 나눈 '평균값(1.98)'을 초과하는 시설물 20타입을 대상으로 사고종류별 작업유형을 나타낸 것이다.

표 3. 시설물별 사고종류 및 작업유형

시설물 분류	사고종류 및 작업유형				비 고
	매몰	화사	폭렬	화상	
건축	주상복합		취침:1 진화:1		가설사무실 취침 빌딩지하진화작업
	근린생활 시설			설비:2 방수:1	도시가스배관... 침투방수
	스포츠헤센터		용단:1	방수:1	철판체 용단...
	체육관	매설:1	근무:1		PVC파이프 매설
	학교	해체:1 매설:2	보수:1	배관:1	흙관매설 벽돌백화제거...
	군막사	거푸집:2			띠장설치
주택	아파트	매설:4 기초:2	용접:1 휴식:1	단열:1 용단:1 철근:1	우수관 매설.. 스페이셔널치...
	공장		설비:1	도장:1 보수:1	가스쿨러설치 암모니아탱크보수
플랜트	유류탱크			보수:2	탱크내부 녹제거..
	SILO	청소:1 보수:1			사이로내부 청소 사이로 코팅제거
	발전소	콘크리트:1		보수:1	슬래브 타설 배관누수보수
토목	도로	매설:1 거푸집:1 철근:1	취침:1		흙관매설 거푸집전도방지 옹벽철근조립...
	터널	철근:1		발파:2 운반:1	천공, 폭약장진 산소용기 운반
	댐	매설:1	취침:1		상수도관 매설...
	지하철	하역:1		소각:1 방수:1	화약소각 시트방수
SOC	골프장	기초:2			버림콘크리트타설
	고속도로	매설:1		발파:1	배수관로 매설 화약장약
환경	상수도	절단:1 매설:2	보수:1		상수도관 절단 탱크내 누수보수
	정화조	매설:1		용접:2	산소LPG용접...
	우수관	매설:2			흙관연결...

동일시설물에서는 사고별 작업유형은 전부 상이한 것이 특징으로 나타났고, 시설물별 작업유형의 개수는 아파트가 7개, 학교와 도로가 각 4개, 공장, 터널 등이 3가지 순이었다.

9개 시설에서 매설이 파악되었으며, 시설물의 대분류 관점에서 보면 환경에서는 매설이 5건, 주택 4건, 건축 3건의 순이었다. 매설은 아파트가 4건으로 최다, 학교, 상수도, 우수관에서 각 2건이었다.

6개 시설에서 보수가 파악되었으며, 유류탱크가 2건으로 최다였으며, 매설, 방수, 발파는 단독 사고유형에서, 보수, 용단, 철근은 복수의 사고에서 나타난 것이 특징이다.

3.2. 작업별 사고발생 현황

본 절에서는 작업별로 안전사고의 발생실태를 분석하였으며, 표 4는 작업의 유형별로 사고건수를 나타낸 것이다.

표 4. 작업별 사고발생건수

작업명	사고종류				계	비 고
	매몰	화사	폭렬	화상		
거푸집	3				3	옹벽배면 토석 붕괴
굴착	1		1		2	종이BOX내 잔류화약폭렬
근무		1			1	전기과열, 가설사무실착화
기초	5				5	빨구덩이 및 토사붕괴 매몰
단열			1		1	우레탄폼칸 녹이던중
도장			1		1	스프레이건 도장중
매설	18				18	강우, 토사붕괴에 의한 매몰
발파			3		3	전류누설, 절연초치 불량
방수			4		4	시트방수, 침투방수 중
배관			1		1	용기연결부 LPG누출
보수	1	4	5		10	가연성가스 채류 기폭 등
설비		2	3		5	LNG공급관 가스누출 등
소각			1		1	화약소각중 뇌관 기폭
용단		1	1		2	공드럼통 산소용단중...
용접		2	3		5	아크용접, LPG용접...
운반			1		1	산소용기 트럭운반중
이설	1				1	상수도관 이설
절단	1		2		3	톨루엔증기 등 기폭
조적		1			1	내화벽돌 교체중, 불꽃발생
진화		1			1	담뱃불에 의한 화사 진화
철근	2			1	3	점화원불꽃→방화복: 화상
청소	1				1	사이로내 훈분에 빠짐
취사			1		1	가스밸브 가스누출
취침		4			4	전기온열기 및 난로과열
콘크리트	3				3	슬래브하중에 동바리 붕괴
토공사	1				1	흙막이토류판 설치중
하역	1				1	사토하역중 토사붕괴
해체	1				1	철거중 슬래브 붕괴
휴식		1			1	컨테이너창고내 난로전도
총계	39	17	28	1	85	

총 85건의 사례분석을 통해 작업은 29타입으로 파악되었으며, 매설이 18건으로 가장 많고 보수 10건, 설비, 기초, 용접은 각 5건의 순으로 나타났다.

매몰만 발생한 9개 작업중, 거푸집, 기초, 매설, 콘크리트는 매몰사고가 3건 이상으로 나타났다. 그리고 보수와 취침은 화사가 각 4건으로 나타났는데 타 작업에 비해 발생건수가 많았다.

반면, 방수와 보수 시에는 폭렬이 4건 이상 나타났고, 타 작업에 비해 폭렬사고가 많은 편이다.

한편 보수, 설비, 용접 시에는 화사와 폭렬이 각각 나타난 것이 특징이었다. 특히 보수 시 화사 4건과 폭렬 5건은 타 작업에서의 화사 및 폭렬건수보다 많았다. 화상은 1건으로 나타났고, 철근 스페이서설치 시 작업자의 나일론 방한복의 정전기로 인해 점화원인 양철통불의 불꽃이 의복으로 옮겨 사고로 이어졌다.

표 4중, 총 사고 85건을 작업유형 29타입으로 나눈 '평균 값(2.93)' 을 초과하는 12개 작업을 대상으로 기인물의 개수와 주요 작업을 나타낸 것은 표 5와 같다.

표 5. 다수사고 작업의 기인물 개수 및 주요 작업내용

작업명	사고종류				주요 작업내용
	매물	화사	폭렬	화상	
거푸집	○				거푸집의 전도방지, 띠장설치
기초	●				터파기, 버림콘크리트타설 및 면고르기
매설	●				수관로/상수도관/오수관 매설, 흠관설치...
콘크리트	○				교량슬래브/발전소슬래브/가압장슬래브 타설
발파			◎		전기식발파, 화약장약, 천공
방수			●		욕조바닥방수, 시트방수, 침투방수...
보수	○	◆	◆		벽돌백화제거, 바닥마감재보수, 배관누수보수...
설비		◎	●		가스쿨러설치, 도시가스배관, 냉동설비...
용접		◎	●		에어컨배관/아크/산소LPG/저수조사다리 용접
절단	○		◎		상수도관/철제프레임/패드럼등 절단
철근	○			○	스페이서설치, 옹벽철근조립, 터널측면 철근조립
취침		◎			가설사무소내 취침

〈범례〉 ◆: 기인물 4개 이상 ●:기인물 3개 ◎: 기인물 2개 ○: 기인물 1개

사고가 18건으로 가장 많은 매설시의 매몰보다도 보수시 발생한 화사 4건, 폭렬 5건이 오히려 기인물수가 많은 것이 특징이다.

다수사고 작업 중, 발파와 방수는 폭렬, 취침은 화사 단독으로 사고가 발생하였으며, 절단과 철근도 복수로 사고가 발생했지만 관련된 기인물수는 매우 적은 편이다.

사고종류별로 기인물수를 고찰해 보면 매몰은 기초와 매설시

3개 이상이지만, 화사는 보수에서 4개 이상, 설비와 용접에서 2개로 나타났고, 폭렬은 방수, 보수, 설비, 용접작업에서 3개 이상으로 나타났다.

3.3. 사고원인 및 기인물 분석

본 절에서는 사고원인과 기인물에 대해 기술하였다.

3.3.1 사고원인의 분류관점과 차이점

표 6은 사고원인의 분류관점 및 각 원인별 해당건수를 나타낸 것이다.

표 6. 사고원인의 분류관점 및 해당건수

대분류	중분류	건수
작업방법 부적합(21)	1)작업위치선정 부적합	1
	2)방수제 시공위치 오류	1
	3)가연물/인화물 누출되어도 점화원 사용(일부 누출 미인지)	15
	4)가연물/인화물에 근접한 점화원 사용	7
	5)공구사용 한 인위적인 충격으로 점화원 발생	2
	6)폐쇄공간 환기 및 통풍 미흡	9
	7)폭렬우려 공간에서 전기기구 사용	3
	8)폭렬우려 증기배출 없이 작업	1
	9)굴착심도변경 불구 별도의 조치 없이 작업	1
	10)굴착법면선단부에 토사적치(굴착토사 이격거리 미확보)	8
	11)협소공간 내 토사다량 적재	2
	12)동바리보강용 가새설치방법 오류	1
	13)동바리이음부에 볼트나 전용철물 미사용, 각재 고정	1
	14)장약과 뇌관 연결후 점화시간 지연	1
	15)화약뇌관 미제거 소각	1
	16)천공과 장약병행 작업으로 화약 장시간 방치	1
	17)밸브의 오조작 및 개폐여부 확인소홀로 인화물 노출	2
	18)Ball밸브에 중간밸브연결 종량증가로 인한 작업지연	1
	19)성능검사 안된 임의제작용기 사용	1
	20)매설시 폐우수관 매달기 미실시	1
	21)담뱃불방치 및 소화 미확인	1
작업순서 부적합(2)	22)방수작업순서 미준수	1
	23)콘크리트타설순서 부적합(일부 동시타설)	2
안전기구 미설치/미착용 (11)	24)가연물/인화물 존재우려 공간내 소화설비 미설치	4
	25)밀폐공간 환기/강제통풍 장치 미설치	5
	26)도로가압탱크에 압력방출용 안전밸브 미부착	1
	27)가스경보기나 가스차단밸브 미설치	2
	28)메탄가스배출용 벤트 미설치	1
	29)LPG용기 연결부 크립 미체결	1
	30)도로호스 접지선 미설치	1
	31)흠막이지보공(Sheet Pile 등) 미설치	11
	32)동바리 안정성 확보 장치(연결Pin, 가새 등)미설치	2
	33)안전대 미착용	2
	34)개인조명기구 미휴대	1

안전기준 미준수(2)	35)안전구배기준 미준수(토사 적정구배 인식각 미유지)	20
	36)소단 미구축	3
안전설비 자체결함 (3)	37)소방설비(스프링클러, 방화문)작동불량	1
	38)전기설비 절연불량(절연피복손상)	2
	39)산소용기본체 일부 파손	1
사전안전 관리소홀 (19)	40)전기용량 확인소홀에 의한 전기과열	2
	41)작업장 주변 누설전류 미확인	2
	42)전기식비관 결선부 절연유무 미확인	1
	43)전기설비(누전차단기 등) 주기적 점검 미실시	1
	44)붕괴우려 높은 토사상태 점검 소홀	7
	45)굴착단면에 상재하중(트럭하중 등)작용상태 확인 소홀	2
	46)작업하중 및 충격하중 사전 안전성 평가 소홀	1
	47)누수 또는 지하수유입 확인 미흡	3
	48)강우로 유입수증가 불구 안전점검 미실시	3
	49)유수지 안정화공법 미검토	1
	50)건설기계 유도자(신호수) 미배치	2
	51)가연성/인화성 가스, 증기, 산소농도 측정 소홀	8
	52)폐자재내 가연물/인화물 잔류유무 점검 소홀	3
	53)LPG용기 연결부 가스누출 점검 소홀	1
	54)화기(모닥불 등)취급 점검 소홀	1
	55)난방기구(석유난로 등) 점검소홀	2
	56)시멘트SILO내 혼분마찰에 의한 공동 확인 소홀	1
	57)개인보호구(방독면 등) 미지급	1
	58)해체(철거)작업계획서 작성 소홀	1
현장안전 교육미흡 (5)	59)우레탄폼 파열위험성 인지부족	1
	60)발수제 발화점 미인지	1
	61)불활성기체(질소) 세정효과 미인지	1
	62)나일론작업복 착용시 정전기 또는 착화위험성 미인지	2
	63)소방훈련 교육(대피경로 등) 미흡	1
총 계		171

사고원인의 분류는 총 85건을 대상으로 각 사례별로 사고원인을 전부 도출한 이후 유사한 것은 통합하여 체계화하였다. 대분류항목의 괄호안의 숫자는 중분류 항목수를 의미하며, 사고원인은 총 63타입으로 파악되었다.

표 6에서 ‘안전기준 미준수’란 설계도면에서 지정한 기준을 무시한 것을 말한다. 예를 들면, 설계도면에서 법면경사나 흙막이 설치를 지정하였지만, 현장 공정편의상 수직트렌치굴착을 실시한 것을 들 수 있다.

‘사전안전관리 소홀’은 작업자 개인적 측면보다는 현장측 또는 안전관리자가 작업전에 확인 또는 점검해야 할 사항을 실시하지 않거나 소홀히 한 것을 의미한다. 그리고 ‘현장안전교육미흡’은 광의(廣義)의 개념으로는 ‘사전 안전관리소홀’에 포함할 수는 있지만, 전문적인 작업지식전달이 누락되어 작업자가 위험성을 충분히 사전에 인지하지 못한 것을 나타낸다.

사고원인의 분석결과, 각 원인별 해당건수를 표 6의 우측에 나타내었으며, 총 해당건수가 171건으로 나타난 것은 하나의 사고원인은 총 85건의 사고에서 복수로 관련되어 사고를 초래하였기 때문이다.

다음은 특이할 만한 사고원인이나 유사한 내용의 차이점에 대해 기술하였다.

1) ‘원인 1’은 시멘트 사이로(Silo)내의 시멘트코팅부분(사이로벽에 굳어 있는 것)을 제거 중, 시멘트붕괴를 대비해 측면작업을 실시해야 하지만, 정면위치에서 작업하다 붕괴된 시멘트에 작업자가 매몰된 사고에 관련된 것이다.

반면, ‘원인 56’은 시멘트원료저장 사일로내부 청소중, 저장원료인 혼분의 마찰로 사이로 배출구 주변에 빈공간이 발생, 침하에 의한 매몰의 우려가 있음에도 확인을 소홀히 한 것을 말한다.

‘원인 2’는 외부용 방수제를 내부에 시공하여 밀폐된 공간에서 유기용제가 증발하여 폭발사고로 이어진 사고원인으로 볼 수 있다.

2) ‘원인 3’은 밀폐된 공간 내에 위험물¹⁾(인화성물질 및 가연성물질)이 누출 또는 확산되어 있음에도 불구하고(일부 사례에서는 누출여부를 인지 못하고), 점화원을 사용한 경우이다. 예를 들면, 정화조내 누출된 LPG가스가 존재하지만 라이터로 불을 붙이거나, 지하철 시트방수 중 솔벤트증기가 체류하는데 흡연을 하거나 토오치에 점화한 것을 의미한다.

반면, ‘원인 4’는 가연성 물질과 가까운 거리에서 용접중 부주의로 불꽃이 비산하여 화사를 발생한 하나의 원인으로 볼 수 있다. 예를 들면, 천정에어컨 배관용접 중 불꽃이 비산, 단열마감재인 우레탄폼에 붙어 발화한 사고의 원인이다.

3) ‘원인 5’는 동절기에 폭약이 동결되어 폭약에 뇌관을 삽입한 상태로 만들려고 폭약을 부드럽게 하기 위해 수공구로 폭약을 두드리는 중, 폭약성분인 니트로글리세린이 충격에 민감해져 폭발사고로 이어진 원인이다. 그리고 암모니아회수탱크 위에서 망치로 볼트제거 중, 수공구 사용시 발생한 스파크가 점화원이 되어 암모니아가스 폭발사고의 원인이 되었다.

4) ‘원인 9’는 굴착심도가 최소한 보다 깊어지는 경우 굴착폭을 확대하거나 흙막이지보공을 설치, 토사안정성을 고려해야 하지만, 이러한 조치가 누락된 것을 의미한다.

반면, ‘원인 10’은 굴착토사는 지반붕괴를 방지하기 위해 굴착선단부로부터 굴착깊이이상 토사를 이격하여 적치해야 하지만, 이를 준수하지 않아 주동토압²⁾이 증가, 굴착면이 붕괴되고

1) ‘인화성물질(引火性物質)’이란 불이 잘 붙는 성질(인화성)을 가진 물질이며, 가연성물질(可燃性物質)은 불에 타기 쉽거나 탈 수 있는 성질(가연성)을 가진 물질이다. 가연성물질(가연물)에는 단열재(우레탄폼 등)나 스티로폼 등이 있으며, 메탄가스나 암모니아가스는 가연성가스라고 부른다.

매몰사고가 발생한 원인이다.

- 5) '원인 19'는 외부 철골도장 작업 중, 도로가압탱크가 폭발한 경우로 성능이나 안전검사를 필한 탱크를 선택하지 않고 현장에서 임의로 제작한 용기를 사용하다 발생한 사고의 원인이다.

반면, '원인 30'은 도로가압탱크내의 유기용제인 신나증기가 분출하여 사고위험이 존재하는 경우 작업시의 마찰에 따른 스파크발생을 방지해야 하기 때문에 도로호스에 접지선을 설치할 필요가 있음에도 설치하지 않은 것이다.

- 6) 작업순서 부적합 중, '원인 22'는 저수조에서 앵커볼트부위의 방수성능을 높이기 위해서는 통행용사다리 설치 이후 방수작업을 해야 하지만, 1차방수 종료후 사다리를 설치한 것을 말한다. '원인 23'의 경우는 콘크리트타설 시, 편심하중발생에 의한 사고위험성을 최소화 하려면 한곳에 집중타설 또는 일부 동시타설을 지양해야 하지만, 이를 무시하여 거푸집동바리의 좌굴에 의해 작업자가 매몰된 사고의 원인이다.

- 7) '원인 44'는 매몰사고 이전 상당히 토사붕괴의 위험성이 존재하는 연약지반³⁾으로 판단되었음에도 토사상태의 사전 점검을 소홀히 한 경우이며, '원인 47'은 강우(降雨)가 아닌 상수도관에서의 누수나 지하수 유입에 대한 확인 소홀을 나타낸다.

반면, '원인 48'은 빗물에 의해 유입수의 증가가 우려됨에도 불구하고, 안전점검을 실시하지 않은 것을 말한다.

- 8) '원인 45'는 굴착토사주변에 덤프트럭이나 백호우 등, 중량의 장비가 이동하는 경우 굴착단면에 상재하중이 작용하여 토질이완을 촉진, 붕괴의 가능성이 높아지는데 이러한 하중의 확인을 소홀히 한 것이다.

반면, '원인 46'은 건물철거 중, 중량의 건설기계를 이용한 해체 시 작업중이나 충격하중에 의해 건물 일부가 붕괴, 매몰이 발생할 수 있음에도 사전에 안정성평가가 소홀히 이루어진 것을 말한다.

- 9) '원인 49'는 우수지 매립 시 저수량을 배수하지 않으면 뿔구덩이가 형성되어 백호우 등 건설장비가 매몰되기 쉬우므로 사전에 탈수작업을 실시하여 지반의 개량(안정화)이 필요하지만, 이러한 공법을 검토하지 않은 것이다.

- 10) '원인 52' 에서 폐자재란 현장에서 사용후 버린 드럼통이나 속이 빈 화약박스 등을 말하며, 이러한 폐자재가

신속히 반출하지 않고, 폐자재내 위험물 존재유무의 확인을 소홀히 한 것을 의미한다.

- 11) '원인 60'의 경우는 발수제⁴⁾의 발화점은 40~50도 정도로 작업자가 이를 인지하지 못한 채 불이 피워진 드럼통에 발수제를 넣어 폭발을 초래한 원인의 하나로 볼 수 있다.

반면, '원인 61'은 톨루엔과 같은 인화성물질을 보관한 페드럼통을 산소절단기로 절단하는 경우, 충격으로 드럼통에 잔류한 톨루엔증기가 폭발할 가능성이 있기 때문에 사전에 드럼통에 물을 넣거나 질소로 세정처리를 하여야 하지만, 작업자가 이런 전문적인 지식정보를 습득하지 못한 것을 의미한다.

3.3.2 주요 사고원인 및 시설물별 사고원인과 기인물

그림 2는 표 6의 사고원인 중, 총 사고원인 해당건수 171건을 사고원인 항목수 63으로 나눈 '평균값(2.71)' 을 초과하는 주요 사고원인을 도출하여 사고종류별로 해당건수를 나타낸 것이다.

'원인 35'가 20건으로 가장 많았고, 그 다음은 '원인 3'이 15건, '원인 31'이 11건으로 나타났다. 특히 '원인 31'과 '원인 35'는 매몰에만 관련된 것인 반면, '원인 3'은 화사와 폭발에 관련된 것이 특징으로 나타났다.

다음은 전술한 3개 사고원인별로 일부 사고사례를 기술한 것이다.

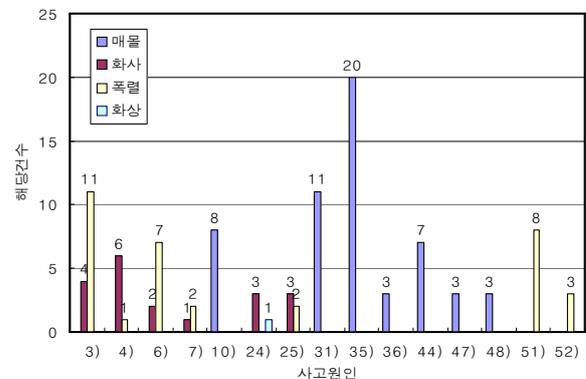


그림 2. 주요 사고원인별 사고해당건수 비교

- 1) '원인 35'의 경우는 보통흙 건지라면 구배기준(1:0.5~1:1)을 준수해야 하지만 급경사(1:0.1구배)로 굴착하거나, 높이 10미터 절토면임에도 불구하고 1:1구배를 준수하지 않고 급경사(1:0.3)로 굴착한 사례를 예로 들 수 있다.
- 2) '원인 3'의 경우는 도시가스배관 중 누출된 LNG가스를 선풍기로 강제배출 하려다 선풍기의 전기스파크에 의해 기폭되거나, 정화조내부에 잔존하는 메탄가스를 인지 못하고 아크용접을 하다가 폭발사고가 발생한 것을 들 수 있다.

2) 'Active Earth Pressure'라고도 하며, 흙의 구조물이나 흙막이를 밀 때 생기는 압력으로 벽에 토압이 작용해서 벽이 움직이기 시작할 때의 토압을 말한다(강경인, 2004)
 3) 호박돌과 점토질토사가 혼합되어 토질성분의 일체감이 부족하거나 저수량이 충분히 배수되지 않은 상태에서 매립된 지반, 또는 압질리 방향이 법면경사 방향으로 존재해 붕괴우려가 높은 지반이거나 쓰레기나 폐자재가 매립되어 있는 매립토지반

4) 수분을 튕겨 내거나 차단하는 합성물질

3) ‘원인 31’은 2.5~3미터 높이의 급구배 비탈면에는 흙막이를 설치해야 하지만 이를 준수하지 않았거나, 상수도관 설치공사에 있어서 굴착깊이가 1.5미터를 초과했음에도 흙막이를 설치하지 않은 사례를 들 수 있다.

그림 2에서 매몰과 폭렬에 관련된 사고원인은 7개로 가장 많고, 화사는 6개로 나타났다.

한편 매몰에 관련된 사고원인항목 전체는 매몰이외에는 타 사고와 관련되지 않은 것인 반면, 화사를 초래한 사고원인은 상당부분 폭렬과도 관계가 있는 것으로 나타났다.

표 7은 표 3의 20타입의 시설물별로 사고원인과 기인물을 나타낸 것으로 중분류 시설명의 괄호안 숫자는 시설물별 기인물 수를 의미하며, 아파트가 7개로 가장 많고 학교 5개, 터널 4개의 순이었다.

표 7에서 시설물별로 파악된 기인물중, 토사가 13개 시설물과 관련이 있었으며, 화약이 3개, 전기기기와 석유난로가 각 2개로 나타났다. 그리고 상기 4개 기인물을 제외하면, 각 시설물별로 동일한 기인물은 파악되지 않았으므로 시설물별 사고에 관련된 기인물이 매우 다양한 것으로 나타났다.

특이한 점은 석유난로를 제외하면 동일 기인물이라도 시설물에 따라 사고원인이 상이한 것으로 파악되었다. 즉 동일 기인물이라도 시설유형과 작업의 상황에 따라서는 상이한 사고원인이 존재하는 것으로 나타났다.

표 7. 시설물별 기인물 및 사고원인

시설물 분류	기인물	사고원인	
건축	주상복합(2)	전기기기 담뱃불	4), 40) 21), 63)
	근린생활시설(3)	도시가스 발수제 방수페인트	3), 18), 27) 4), 60) 3), 25)
	스포츠센터(2)	방수액가스 산소절단기	3), 6) 4)
	체육관(2)	토사 전선	10), 35) 40)
	학교(5)	슬래브 LPG 백화제거재 강우 토사	46), 58) 3), 29), 53) 24), 62) 31), 48) 10), 31)
군막사(1)	토사	10), 35), 36)	
주택	아파트(7)	토사 양철통불 빨구덩이 LPG 석유난로 공드럼통 우레탄폼캔	10), 11), 31), 35), 47), 50) 24), 54), 62) 44), 49) 4), 24) 55) 52) 59)

플랜트	공장(3)	도로가압탱크 암모니아탱크 LNG배관	19), 26), 30) 5), 51) 3)
	유류탱크(2)	신나증기 배수펌프	6), 7), 51) 7), 8)
	SILO(2)	시멘트 혼분원료	1), 33) 33), 56)
	발전소(2)	동바리 폐액처리탱크	23), 32) 6), 51)
토목	도로(2)	토사 석유난로	11), 35), 44), 45), 48) 55)
	터널(4)	토사 폭약 화약 산소용기	31), 35) 5), 41) 38), 41) 39)
	댐(2)	토사 전기기기	9), 35) 38), 43)
	지하철(3)	방수프라이머 토사 화약	3), 6), 51), 57) 44) 15)
SOC	골프장	토사	35), 36)
	고속도로(2)	화약 토사	14), 42) 35)
환경	상수도(3)	토사 부탄가스토치 고인물	31), 35), 47) 3), 25) 31), 47)
	정화조(3)	메탄가스 LPG용접기 토사	3), 25), 51) 3), 17) 35)
	오수관	토사	10), 31), 35)

예를 들면 ‘토사’가 기인물인 경우 다음과 같다.

- 1) 토사가 기인물인 시설물은 총 13개(학교 및 지하철 포함)로 가장 많지만, ‘원인 35(안전구배기준 미준수)’의 경우는 상기 13개 중, 학교와 지하철을 제외한 11개 시설과 관련되어 있다.
- 2) 학교의 경우는 ‘원인 35’ 보다는 굴착깊이가 1.5미터 이상임에도 불구하고 흙막이지보공을 설치하지 않았고, 굴착토사를 굴착깊이 이상 선단부에서 이격하여 적치하지 않아 토사가 붕괴되어 매몰사고가 발생한 경우이다.
- 3) 반면, 지하철의 경우는 지하철공사 현장에서 사토를 운반하여 하역한 이후, 가설도로를 주행하던 중, 도로 주변의 토사가 붕괴되어 매몰사고가 발생하였다. 따라서 현장 굴착토사의 안전구배기준 미준수로 사고가 발생한 것으로 볼 수는 없다.

3.4. 다수사고 작업의 사고발생 Tree구조의 고찰

그림 3은 표 5의 다수사고 작업을 대상으로 표 7을 기반으로 사고발생의 Tree구조를 나타낸 것이다. 즉 사고가 다수 발생한

12타입의 작업별로 기인물의 명칭 및 사고원인을 도출하여 사고발생에 이르는 경로를 나타낸 것이다.

그림 3에 의하면, 보수작업 시 매물, 화사, 폭발사고가 발생하였으며, 기인물수는 10개로 사고원인도 다양한 것으로 나타난 반면, 설비와 용접은 화사와 폭발만 발생하였고, 절단은 매물, 폭발이 발생하였다.

그림 3중 각 사고유형(매물, 화사, 폭발) 앞에 위치한 것은 그 사고가 발생하기 직전의 특정현상을 의미하며, 매물과 화사가 5타입, 폭발은 3타입으로 나타났다.

표 8은 그림 3에서 화사 및 폭발사고의 발생원리를 예시(例示)한 것으로 표 3중, '구분'은 그림 3에서 사고발생직전의 특정현상을 나타낸 것이며, 위험물은 가연성물질과 인화성 물질을 의미한다.

표 8에 나타난 예는 대부분 협소하거나 폐쇄공간(지하저수조, 정화조 등)에서 사고를 유발한 점화원과 위험물의 인과관계를 나타낸다. 그리고 사고원인은 안전설비)의 미설치, 방폭형 도구의 미휴대, 작업 중 유해가스농도측정의 소홀 등을 들 수 있다.

4. 다수사고 작업별 사고예방 방안

표 9는 본 연구에서 분석된 사고원인과 조사자료(한국산업안전공단의 건설업분야 사고사례)에서 제시된 안전기준 일부를 토대로 그림 3에서의 다수사고 작업을 대상으로 각 작업별로 사고예방 방안을 나타낸 것이다. 다음은 표 9중, 특히 주의해서 검토할 작업의 사고예방방안을 기술하였다.

4.1 매물사고의 방지

사례조사 결과 매물은 아파트에서 6건으로 최다였고, 거푸집, 기초, 콘크리트, 매설 작업 시 발생빈도가 높았다.

- 1) 기초공사에서는 특히 아파트신축공사 현장의 경우, 터파기 이후 토량을 반출하기 위해 백호우를 가동하는 경우 빨구덩이에 매몰되는 사고를 방지하기 위해서는 빨을 전부 제거하여 양질토량으로 치환하거나 사전에 저수량을 배수시킨 후 매립할 필요가 있다. 만약 이러한 방법이 곤란하면 필터기능을 가진 부직포매트를 이용, 탈수작용에 의한 안정화공법을 적용하는 것도 효과적이다. 그리고 연약지반(각주 3 참고)일 경우 반드시 굴착구배기준을 준수하고, 굴착깊이 만큼 수평방향으로 굴착토사를 이격하여 적치하는 것이 주동토압의 발생을 억제하여 토사붕괴를 방지할 수 있다.

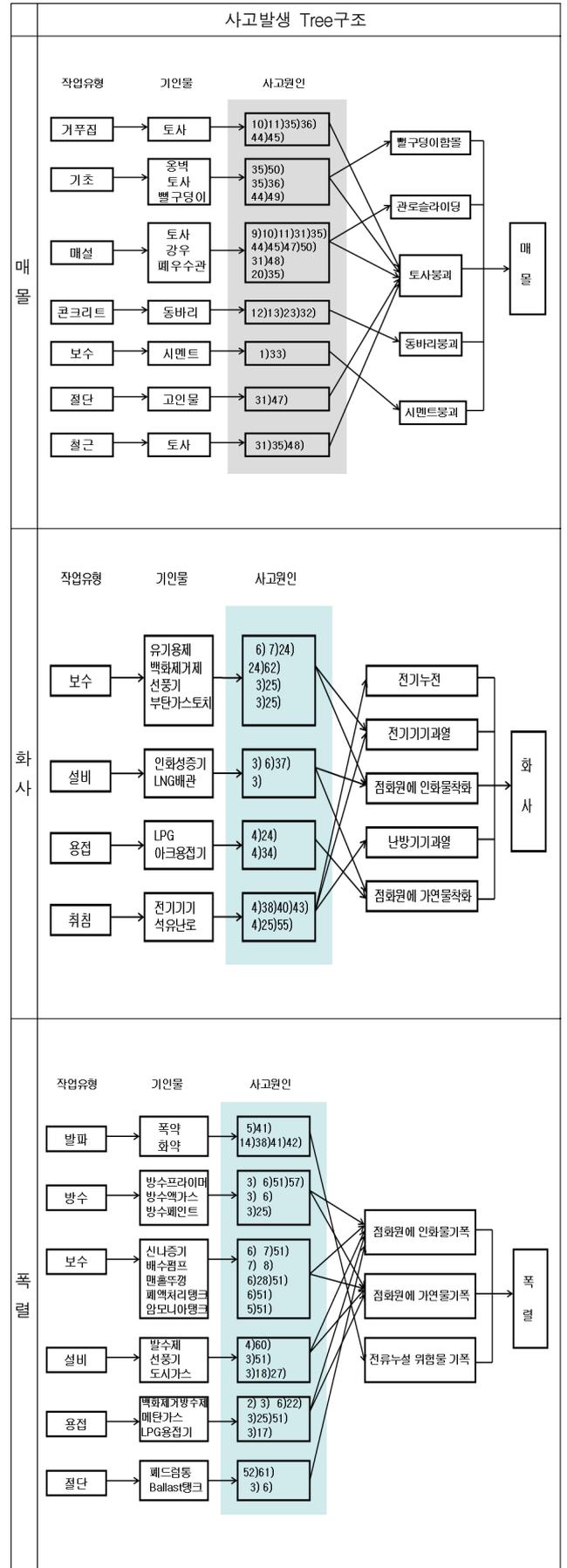


그림 3. 다수사고 작업의 사고발생 Tree구조

5) 국소배기장치, 벤트(통풍구, 환기구), 소화설비 등

표 8. 점화원에 의한 화재 및 폭발의 발생원리 예시(例示)

구분	점화원이 위험물에 미치는 영향	비 고
화사	● 나일론정전기→뉴스렛톤+신나	백화제거제
	● 전기스파크→우레탄락카 증기	바닥마감보수재
	● 라이터불꽃→폴리에스테르수지	스티렌모노머 함유
	● 조명기구과열→벽면수지	유기용제
	◎ 아크불꽃→도시가스(LNG)	제강공장가스쿨러설치
	◎ 용접불꽃→단열마감재(우레탄폼)	
	▼ 전기온열기구과열→벽마감재	가설건물내 취침중
	◇ 석유난로불꽃→실내가구	가설건물내 취침중
	▲ 전기설비누전→마감재	가설건물내 취침중
	폭렬	◆ 배터리누설전류→폭약
◆ 전기결선부 누설전류→화약		
◆ 비닐전선 누설전류→화약		
■ 라이터불꽃→방수프라이머증기		하수관거 유량계설
■ 라이터불꽃→욕조바닥방수액증기		누수방수공사
■ 흡연→유기용제(솔벤트)증기		시트방수공사
■ 라이터불꽃→방수페인트증기		침투방수공사
■ 핸드그라인더 스파크→신나증기		유류탱크내부 녹제거
■ 전기스파크→휘발유증기		펌프플러그 분리시
■ 맨홀뚜껑과 파이프충돌스파크→메탄가스		소화조 보수시
■ 정전기→폐액처리탱크내 가스		발전소 PVC배관작업중
■ 수공구타격 스파크→암모니아가스		탱크충전물 교체시
■ 드럼통불꽃→발수제		
■ 선풍기 전기스파크→노출LNG가스		선풍기로 강제배출시
■ 모닥불→누설도시가스		
■ 용접불꽃→방수제 유기용제		저수조사다리 용접중
■ 용접불꽃→메탄가스		정화조 아크용접중
■ 토오치점화불꽃→누출LPG가스		정화조 LPG용접중
■ 산소절단 충격→틀루엔증기		페드럼통 절단중
■ 산소LPG절단충격→Ballast내 증기		

〈범례〉 ■ 인화물기폭 □ 가연물기폭 ◆ 전류누설 위험물기폭
▲ 전기누전 ▼ 전기기기과열 ● 인화물착화 ◎ 가연물착화
◇ 난방기기과열

만약에 현장상황이 여의치 않으면 굴착면 상단 끝부분에서 최소 60cm이상 거리를 확보하여 굴착토사를 적치해야 한다.

2)콘크리트공사 시에는 슬래브하중 등에 의한 동바리(Support)의 좌굴방지가 우선 검토되어야 한다.

예를 들면, 강관파이프 동바리는 2단 이상 연결해 설치하는 것을 지양하며, 만약 설치하는 경우 연결부에 4개 이상의 볼트로 보강해야 비틀림 모멘트 발생을 억제할 수 있다.

또한 슬래브, 벽, 기둥부위의 콘크리트 동시타설을 지양하여 하중이 동바리에 집중되는 것을 피해야 한다. 예를 들면, 먼저 기둥, 보의 순서로 타설한 이후 양생을 거쳐 슬래브를 타설하면 선행 타설한 부위가 슬래브하중을 일부 부담하게 되므로 동바리가 상부하중을 집중적으로 부담하지 않는다. 그리고 특정 부위의 집중타설을 지양하여 편심하중에 의한 동바리의 좌굴을 방지하고,

가새를 설치하여 보강해 둔다.

4.2 화재의 방지

화사는 보수, 설비, 용접, 취침 시 발생빈도가 높았다.

1) 보수공사 중 화사를 방지하려면 특히 작업자가 착용한작업복의 재질을 확인해 두어야 한다.

표 9. 다수사고 작업별 사고예방 방안

사고	사고예방 방안
거푸집 매몰	·굴착단면의 상재하중 및 함수상태 점검 ·높이5미터이상 사면 -굴착구배(1:1)준수 또는 흙막이지보공 설치 ·높이5미터 초과시 5미터 이내마다 소단설치
기초 매몰	·안전구배기준 준수 -보통흙 견지: 1:0.5~1:1 -보통흙 습지: 1:1~1:1.5 ·높이5미터 이상 대단면 절토면은 안전경사(1:1) 유지 ·소단을 높이 5미터 이내마다 폭 2미터로 확보 ·부직포탈수 안정화공법적용
매설 매몰	·트렌치굴착시 안식각이내 고려 -보통흙 습지는 1:1~1:1.5, 보통흙 견지는 1:0.5~1:1 ·굴착선단부에서 최소 60센치 거리확보 토사적치(주동토압 발생억제) ·쓰레기매립토 연약지반: 보통흙 견지는 1:0.5~1:1 ·흙막이지보공 설치 -2.5~3미터 높이 급구배 비탈면 -깊이 1.5미터이상 굴착시(상수도관 설치시)
콘크리트 매몰	·동바리좌굴 방지 -동바리 연결부 보강 및 가새설치 ·콘크리트타설 순서 고려 -편심하중 발생억제
발파 폭렬	·천공작업 종료후 장약실시 ·작업 이전 절연상태 확인 -작업대차 작업발판: 절연재료(고무판) 설치 -전기식뇌관 연결시: 절연재료(비닐절연테이프) 사용 ·수공구에 의한 폭약 인위적 충격 금지
방수 폭렬	·인화성증기 정제 우려시 가스농도 측정 -가스농도가 폭발하한계값의 25%이상: 근로자대피 ·밀폐공간은 전체환기 곤란시 -선풍기로 가연성가스 분산(선풍기 스파크발생 주의) ·지하철 시트방수 -SOLVENT취급시 전체환기 또는 국소배기
매몰	·SILO내부 시멘트제거: 측면작업 실시
보수 화사	·나일론 작업복은 정전기 우려 -면로울러 사용, 면작업복 착용 ·방화형 전기도구 사용 ·유기용제 탱크내 작업시 강제환기 수시 실시 ·국소배기장치 설치
폭렬	·폭발우려공간내 방폭성능 전기기계 사용 ·인화성물질 탱크 -물, 불활성가스로 세정하여 인화성물질 배출 ·소화조 최상부: 메탄가스배출용 벤트설비 설치

설비	회사	야크 또는 불꽃발생 우려 기계나 공구의 사용금지
	폭렬	·발수제 위험성 교육(발화점-40-50도) ·LNG누출 폭발우려시 -선풍기등 점화원 전기기계 사용 금지 ·환기후 가스농도 측정-)폭발하한계미만 확인 ·도시가스배관 공사: Ball밸브 설치시기 고려
안전	회사	·불티비산거리 감안 단열재면에 방호덮개 설치 ·바닥개구부 막아 아래층 비산방지
	폭렬	·밀폐공간(지하저수조 등)내 용접 검 방수 -액체방수 등 내부용 방수제 사용(증기발생억제)
재료	매물	·보통흙 습지: 굴착구배~1:1-1:1.5 유지
	폭렬	·인화성물질 보관한 폐자재절단시 주의사항 -잔류물질(톨루엔 등) 사전 확인 -물을 넣거나 불활성기체(질소등)로 세정처리
절단	매물	·대절토구간 굴착: 연암-굴착구배는 1:0.50이내 ·우수, 절리, 균열로 붕괴우려 -지보공설치 또는 법면보호개 설치 ·1.5미터 이상 굴착시 흠막이지보공 설치
	화상	·작업시 면바지 착용(일반 방한복은 착화 우려)
취침	회사	·인화성물질과 전열기구 이격 배치 ·분전반분기차단기는 누전차단기로 교체

나일론계의 작업복은 정전기 발생이 용이하여 보수공사 시 휘발성성분에 착화될 위험성이 높으므로 면계통의 작업복을 착용하도록 감독지시한다.

- 2) 밀폐된 공간내에서 인화성물질(폴리에스테르수지 등)이 함유된 보수재료를 이용하는 경우 일반전기기구를 사용하면 돌발적인 전기스파크 발생으로 인화성물질이 기폭될 우려가 있으므로 반드시 방폭형전기기구(방폭형 랜턴 등)를 사용하도록 한다.

4.3 폭렬사고의 방지

폭렬은 근린생활시설물이나 터널에서 사고발생건수가 타시설물에 비해 많은 편이었고, 방수와 보수 작업 시에도 타 작업에 비해 발생건수가 많은 편이었다.

- 1) 터널에서의 발파작업 시에는 천공을 전부 종료한 이후, 장약을 실시하여 화약을 장시간 방치하지 않도록 한다. 그리고 노후화된 작업대차의 부품(구동배터리 등)에서 전류누설의 가능성이 높아 화약의 기폭이 발생할 수 있으므로 작업발판은 반드시 고무판 등, 절연성능이 있는 재료로 설치해 둔다. 또 하나 망치 등으로 동결된 폭약을 부드럽게 하기 위해 폭약을 두드리면 충격에 의해 폭약성분이 기폭하기 쉬워 절대로 수공구로 인위적인 충격은 금지하고 따뜻한 물로 폭약을 간접적으로 해동하는 방법을 고려해야 한다.

- 2) 근린생활시설물에서 설비공사 중 도시가스 배관공사 중의 사고는 주변손상과 막대한 인명피해가 수반되므로 주의해야 한다. 특히 배관설치순서에 유의할 필요가 있는데 다음과 같다. 예를 들면, Ball밸브(차단밸브)를 먼저 설치한 후 각 세대 가스공급용 분기관을 설치하면 배관의 무게가 증가하기 때문에 작업효율이 매우 낮아지고 가스누출 시 폭렬의 위험성이 높아진다. 따라서 세대분기관을 설치할 단계에서 가스차단용 Ball밸브를 시공하는 것이 작업안정성을 높일 수 있다.
- 3) 지하저수조 등 밀폐공간에서의 용접 검 방수작업 시에는 불꽃의 비산에 의해 방수제의 유기용제가 기폭할 수 있으므로 방수작업순서를 사전에 충분히 협의하여야 한다. 예를 들면, 유기용제 증기가 발생하지 않도록 액체방수 등 내부용 방수제를 선정하여 시공한다.

5. 결 론

최근, 건설 현장은 초고층화 및 기후변화 등, 건설 환경의 변화에 따라 과거와 상이한 사고사태가 증가하고 있다. 특히 매물, 화사, 폭렬에 의한 물리적, 인명적 피해는 엄청난 손실을 초래하므로 본 연구에서는 17년간 총 85건의 안전사고(화상 포함)를 분석하였고, 시급히 검토해야 할 사고예방 방안을 제시하였다. 본 연구를 수행한 결과 나타난 주된 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 시설물 중 아파트에서 사고건수가 11건으로 최다였고, 학교가 5건이었으며, 아파트에서는 화상을 제외한 사고가 다발적으로 발생하였다. 특히 아파트에서는 사고 기인물수도 7개로 가장 많았고, 학교도 5개로 파악되었다. 즉 학교는 사고건수와 기인물수가 동일한 것으로 나타났다.

한편 석유난로를 제외하면 동일 기인물이라도 시설유형과 작업의 내용에 따라서 사고원인은 상이한 것으로 나타났다. 특히 토사의 경우가 여기에 해당된다(표 7. 참고).

사고종류별 발생건수는 매물이 39건으로 가장 많고, 그다음은 폭렬이 28건으로 나타났다. 특히 아파트에서는 매물이 6건으로 타 시설물의 매물건수보다 많았다. 그리고 근린생활시설과 터널에서는 폭렬이 3건씩으로 타 시설물 보다 발생건수가 많았다.

시설물을 대분류(표 2. 참고)의 기준으로 보면 건축분야가 25건으로 가장 많았고, 토목이 17건, 환경 14건의 순이었다. 건축과 플랜트에서는 폭렬발생건수가 많은 반면, 토목과 주택, SOC, 환경분야에서는 매물이 차지하는 건수가 타 사고에 비해 많았다.

- 2) 작업별 사고건수는 매설이 18건으로 가장 많았고, 보수가 10건이었으며, 보수 10건 중에는 화사 4건과 폭렬 5건이 포함되어 있었고, 이 발생건수는 타 작업에서의 화사 및 폭렬건수보다 많은 것으로 파악되었다.

매몰만 발생한 9개 작업 중, 거푸집, 기초, 콘크리트, 매설은 매몰사고가 3건 이상으로 나타난 반면, 방수와 보수 시에는 폭발이 4건 이상 이었고, 타 작업에 비해 폭발건수가 많은 편이었다. 그리고 보수, 설비, 용접 시에는 폭발과 화재 사고가 각각 나타난 것이 특징이었다.

- 3) 사고발생의 원인으로는 ‘원인 35’가 해당되는 건수가 20건으로 가장 많았고, 그 다음은 ‘원인 3’이 15건, ‘원인 31’이 11건으로 나타났다. 특히 ‘원인 31’과 ‘원인 35’는 매몰에만 관련된 것인 반면 ‘원인 3’은 화사와 폭발에 관련된 것이 특징이었다.
- 4) 사고발생 실태분석을 기반으로 작업유형과 기인물 및 사고원인 간의 상관관계를 규명하여 사고종류별로 다수사고 작업의 사고발생 Tree구조를 도식화 하였으며, 이를 토대로 다수사고 작업별 사고예방 방안을 제시하였다. 즉 매몰, 화사, 폭발별로 다수사고 작업을 도출하고, 여기에 관련된 기인물 및 사고원인과 사고직전의 현상(토사붕괴 등)을 4단계로 계층화(階層化)하여 사고발생에 이르는 과정을 가시화(可視化)하였다.

이러한 사고발생 Tree구조를 참고하면 현장에서 사고발생 시 안전관리자가 특정작업에 관련된 기인물을 파악한 경우, 사고원인을 추론(推論)하기 용이하기 때문에 사고원인을 신속히 규명할 수 있고, 사고예방방안을 수립하는데 유효한 도구(Tool)로 활용할 수 있다.

- 5) 본 연구결과에 대한 기대효과는 다음과 같다.
 - ① 최근, 초고층화에 따른 지하굴착심도의 증가는 매몰사고를 초래할 가능성을 높게 하고 있다. 그리고 건설현장에는 다양한 인화물 및 가연물이 존재하므로 화재 및 폭발의 위험성이 항상 존재한다. 본 연구에서는 17년간 과거 사고정보를 제공하므로 향후 동일 작업수행 시 유사한 사고의 발생을 최소화하는데 다소 기여할 수 있을 것이다.
 - ② 상수도, 하수처리장, 발전소 등을 포함하여 43타입 시설물별로 사고원인 및 기인물을 분석한 자료는 시설물별 ‘사고예방매뉴얼’의 작성과 국토해양부가 추진하고자 하는 7대 지하건설시설물 ‘통합관리시스템’의 구축에 기초적인 자료로 이용될 수 있다.
 - ③ 산업안전보건법 제49조의 2 제1항의 규정에 의하면 사업장 내의 화재, 폭발 등의 사고를 예방하기 위해 ‘공정안전보고서’의 작성이 필요하며, 본 연구결과는 보고서의 작성 시 유용한 자료로 이용될 수 있다.
 - 6) 향후는 지하건설물 뿐만 아니라, 다양한 시설물별로 안전사고의 종류 및 원인, 기인물, 사고방지대책 등을 검색하고 관리할 수 있는 웹기반 건설시설물 안전관리DB구축에 관한 연구를 수행할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 강경인 외 6명, 건축시공 I(-골조공사-), 도서출판 대가, 2004.8
2. 김현호 외 3명, 건설공사규모별 중대재해 발생현황 비교분석, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.229~232, 2007.10
3. 김홍현 외 1명, FMEA 기법을 활용한 크레인 관련 중대 재해의 정량적 분석에 관한 연구, 한국건축시공학회 논문집, 제7권 제3호, pp.115~122, 2007.9
4. 박경훈 외 3명, 건설공사 중대재해 발생특성 분석, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.297~300, 2007.10
5. 이정철 외 2명, 중고령 건설근로자의 재해분석, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제27권 제1호, pp.797~800, 2007.10
6. 이종빈 외 1명, 건설현장 안전관리수준 평가지수에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 제19권 제3호, pp.171~178, 2003.3
7. 임지영 외 2명, 건설 현장에서 안전재해예방을 위한 발주자의 안전관리 역할, 한국건축시공학회 논문집, 제8권 제5호, pp.75~83, 2008.10
8. 한국산업안전공단, 산업재해사례 건설업재해, 1993~2009

(접수 2010.4.30, 심사 2010.5.26, 게재확정 2010.6.2)

요 약

최근, 초고층건축공사 프로젝트가 증가하고 있으며, 안전사고의 발생이 늘어나고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 건설업 안전사고의 발생원리 및 사고발생Tree구조를 체계화함으로써 사고의 예방방안을 고찰하는데 있다.

본 연구에서는 1993년부터 2009년 까지 17년간 한국산업안전공단의 연도별 재해사례정보를 토대로 사고의 다양한 특성을 분석하였다. 이러한 목적을 달성하기 위해 1)건설업재해중 매몰, 화사, 폭발, 화상의 위험요인들을 파악하였고, 2)사고원인의 분류관점을 체계화하였으며, 3)작업유형과 사고의 주된 원인을 분석하여 안전관리의 합리화 방법론을 고찰하였다.

이러한 연구방법에 의해 본 연구의 결과는 다음과 같이 3가지로 요약하여 나타낼 수 있다.

1) 1993년부터 2009년까지 4타입의 건설업재해를 분석한 결과, 사고에 관련된 시설물은 43타입으로 파악되었다.

2) 매몰, 화사, 폭발, 화상사고를 초래한 사고원인은 63타입으로 분석되었다.

3)사고가 발생한 작업유형은 29타입으로 나타났다.

키워드 : 작업유형, 사고원인, 사고발생원리, 사고발생 Tree구조
