

# 시스템안전 관점에서의 건설안전 사고분석 정책의 효과성 및 타당성 분석

## Analysis of the Effectiveness and Feasibility of Accident Analysis Policy for Construction Safety from the Perspective of System Safety

이선진<sup>1</sup> · 이훈기<sup>2</sup> · 신동일<sup>3\*</sup>Sunjin Lee<sup>1</sup>, Hunggi Lee<sup>2</sup>, Dongil Shin<sup>3\*</sup><sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Disaster and Safety, Myongji University, Yongin, Republic of Korea<sup>2</sup>Graduate student, Department of Disaster and Safety, Myongji University, Yongin, Republic of Korea<sup>3</sup>Professor, Department of Disaster and Safety, Myongji University, Yongin, Republic of Korea

\*Corresponding author: Dongil Shin, dongil@mju.ac.kr

### ABSTRACT

**Purpose:** The construction industry is a complex mechanism in which multiple processes are carried out at the same time, and the frequency and severity of accidents account for a higher proportion than other industries, and the accident fatality rate also accounts for more than 50% of all industries. In order to reduce such accidents, the government's disaster investigation method analyzes the limitations from the system safety point of view and proposes improvement plans. **Method:** The main contents of the government's serious accident investigation were identified, and the effectiveness/adequacy was analyzed from the system safety point of view. **Result:** Disaster investigation and analysis techniques tailored to violations and compliance were limited in providing fundamental solutions, and alternatives for accident prevention were possible for each component of the system when safety constraints, controls, and hierarchical interactions were combined. **Conclusion:** When combining the disaster investigation and analysis method from the current accident analysis method from the perspective of system safety, it is possible to identify the problems of interaction by class and communication process, so it is possible to suggest alternatives to prevent accidents from an integrated perspective.

**Keywords:** Severe Disasters, Safety Constraints, Control, Layered Interactions, System Safety

### 요약

**연구목적:** 건설업은 복합공정이 동시에 진행되는 복잡한 메커니즘으로 사고 발생 빈도와 강도가 다른 산업보다 높은 비중을 차지하고 있으며, 사고 사망만인을 포함한 전 산업의 50% 이상 차지하고 있다. 이런 사고 감소를 위해 정부의 재해조사 방법에 대해 시스템 안전 관점에서 한계를 분석하여 개선방안을 제시하고자 한다. **연구방법:** 정부의 중대 재해조사에 대한 주요 내용을 파악하고, 시스템 안전 관점에서 효과성/타당성을 분석하였다. **연구결과:** 법규 위반 및 준수에 맞춰진 재해조사 및 분석기법은 근원적인 해결방안을 제시하기에 한계가 있었으며, 안전 제약, 제어, 계층별 상호작용을 접목할 때 시스템 전체의 구성 요소별로 사고 예방을 위한 대안 제시가 가능했다. **결론:** 현재의 사고분석 방법에서 시스템 안전 관점의 재해조사 및 분석 방법을 접목할 때 계층별 상호작용의 문제점과 의사소통 과정의 문제점을 확인할 수 있어 통합적 관점에서 사고 예방을 위한 대안 제시가 가능하다.

**핵심용어:** 중대 재해, 안전 제약, 제어, 계층별 상호작용, 시스템 안전

Received | 27 January, 2023

Revised | 20 March, 2023

Accepted | 23 March, 2023

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

### 연구의 배경 및 목적

대한민국은 1980년 이전까지 재해보상 문제에 중심을 두고 있었으나 1990년대에 이르러 산업 고도화로 인해 다양한 산업 재해가 발생하면서 정부는 이러한 한계를 극복하고 산업재해 문제를 해결하고자 정책의 변화를 하게 된다. 2000년대에는 제1차 산업재해 예방 5개년 계획을 수립하여 시행하였으며, 5년마다 지속해서 정책을 수립, 2022년에 현재에는 제5차 산업재해 예방 5개년 계획이 추진 중이다. 하지만 중대 산업 사고의 발생률은 여전히 높은 실정이며 건설업은 지속해서 사고 사망만 인율이 전산업의 50% 이상 비율을 차지하고 있어 사고 인과관계 및 정책 프로세스에 대한 시스템적 관점 접근이 절실한 실정이다. 한편, 정부는 2010년 제3차 산업재해 예방 5개년 계획을 기점으로 위험성 평가제도 정착을 위한 기반 구축을 위한 안전보건경영시스템 보급·확산, 민간의 산재 예방 사업참여 촉진을 시행하는 등 자율 안전보건 관리 시스템 정착을 위한 법체계 개편을 시도하고 있다. 그 결과 건설업은 2020년 기준 KOSHA 18001(현 KOSHA-MS) 인증 취득 사업장이 종합건설업 23개 사, 전문건설업은 74개 사업장이 인증 유지되고 있다. 하지만 정부 주도의 시스템 확산 정책은 교육 인프라 구축 한계, 정책에 대한 충분한 정보와 동기부여가 되지 않으며, 이는 산업현장에서 정책 수용에 대한 부정적인 인식과 태도를 발생하는 문제점도 지적되고 있다. 그런데도 최근 중대재해 처벌 등에 관한 법률이 제정되는 등 사업장에서의 안전보건에 대한 정부와 민간의 관심은 계속해서 커지고 있다. 하지만 시스템 구성요소의 상호작용에서 프로세스 안전이 시작된다는 것을 반영하지 않고서는 많은 투자와 관심에도 재해를 줄이기에는 역부족이며, 특히나 복합공정이 동시에 진행되는 건설업은 단일 공사 종류가 안전해도 혼합 공정 시 안전하지 않을 수 있기에 공사 종류별 구성요소를 분리하여 안전성 평가를 하는 것은 의미가 없다고 볼 수 있다. 또한 과거 사고의 반복은 작업자의 결함, 구성요소 고장, 관리·감독 부실, 유지관리 불량 등으로 인과관계 및 사고 프로세스를 지나치게 단순화하는 경향이 있었다. 그로 인해 사고는 지속해서 발생하였으며, 아차 사고 또한 지속해서 증가했다(Lee et al., 2018).

### 연구 방법

따라서 본 연구에서는 이러한 반복적 사고의 단절과 프로세스 안전을 연계한 정책을 추진하기 위해 정부의 중대 사고 재해 분석기법과 시스템 이론에 기반한 인과 분석 방법의 사고조사 분석 방안을 비교 분석하고, 이를 활용하여 건설안전 확보를 위한 방안을 연구하고자 한다.

## 이론적 배경

### 사고통계

2018년 정부는 ‘국민생명 지키기 3대 프로젝트 자살 예방, 국가건강검진 중 우울증 검진 강화, 도심 도로 제한속도 50km/h, 발주자의 공사단계별 안전조치 의무 법제화 등 다양한 대책을 추진 중이다. 특히, 2022년 1월 27일 중대재해 처벌 등에 관한 법률이 시행되면서 업무상 재해로 인해 발생한 사망사고에 대한 처벌이 강화되었고 전산업 사고사망률의 50% 이상 발생하고 있는 건설업은 사고 감소를 위해 많은 투자와 관심이 집중되고 있다. 건설업의 선두 주자인 10대 건설사는 본사 전담 안전 조직을 대표 이사 직속으로 변경, 전담 안전 조직의 증원, 본부별 안전팀 운영 등 기업들의 조직 변화가 먼저 일어

나고 있다. 물론 본사 조직이 강화된다고 해서 사고가 줄어드는 것은 아니지만 사고 예방을 위한 다양한 정책 수립과 사업장 사고 예방 강화를 위한 대책으로 보인다. 하지만 2022년 상반기 건설업 사고 사망 건수는 147건(155명)으로 여전히 가장 높은 비중(48%)을 차지하고 있으며, 10월 기준 10대 건설사는 1개사를 제외한 9개사에서 25명의 중대 재해가 발생했다. 공사금액별 전 사업장 규모별 사고사망자 수는 1억~20억 미만 44명(28.0%), 1억 미만 41명(26.5%), 20억~50억 미만 19명(12.3%) 등 50억 미만 중·소규모 현장에서 전체의 66.8%를 차지했으며, 50억 이상 현장의 이상 현장의 경우, 800억 이상 21명(13.5%), 50억~120억 미만 18명(11.6%), 120억~800억 미만 12명(7.7%) 순으로 발생했다. 상위 5대 재해유형별 발생 현황은 떨어짐 91건(58.7%), 끼임 16건(10.3%), 물체에 맞음 14건(9.0%), 무너짐 11건(7.1%), 깔림·뒤집힘 10건(6.5%), 기타 13건(8.4%) 조사되었다(Korea Occupational Safety and Health Agency, 2019). 건설업 사고 사망 분석 유형은 매년 유사한 형태로 보고되어 있으며, 규모별로는 중·소규모 사업장의 사고 감소와 떨어짐 사고에 대한 정책 필요성이 반복적으로 대두되고 있다. 2022년 상반기 50억 이상 건설업 사고원인별 주요 안전조치 위반 내용은 Table 1과 같다.

**Table 1.** Violation of major safety measures by cause of accidents in the construction industry worth more than 5 billion in the first half of 2022(Korea Occupational Safety and Health Agency, 2019)

구분	계	작업절차 및 기준 미수립	추락위험방지 미조치	건설·하역기계 등 안전기준 미준수	위험 기계·기구 안전기준 미준수	양중기 사용 시 안전기준 미준수	기타
위반건수*	69	25	17	5	5	4	13
비중(%)	100.0	36.2	24.6	7.2	7.2	5.8	18.8

### 선행연구

Table 1의 사고원인별 조사는 인과관계 및 산업안전보건법 위반 여부에 관한 조사에 치우쳐 단순화되어 있으며 복합공정이 동시에 진행되는 건설업 프로세스 특성에 비춰볼 때 “왜” 발생했는지, “어떻게 발생했는지”에 초점이 되어 근본적인 원인 분석보다는 규칙 또는 절차 위반 조사에 중점을 두고 있음을 알 수 있다. 이러한 재해분석에 대해서 Lee et al.(2018)은 현재까지 대부분의 연구가 재해 요인분석과 건설 현장 근로자의 안전에 대한 인식이나 행동, 현장 안전관리 실태 분석 및 관리방안에 대해서 제안하였으며 현실에 대비 다양한 안전관리 기법의 연구가 부족함을 언급하였다(Lee et al., 2018). (Koo et al., 2021)은 공정 간 연관성이 높은 작업 및 사고를 예방하기 위하여 사고분석 시 사고의 원인을 제거하기 위해 기존의 순차적인 사고분석기법뿐만 아니라 사회, 기술, 조직 등 전체적인 시스템의 관점에서 접근할 필요가 있음을 언급하였다(Koo et al., 2021). 기존 사고원인 분석 방법은 FTA(Fault Tree Analysis), ETA(Event Tree Analysis), HAZOP(Hazard and Operability Study) 등이 있다. 위험을 복합적 시각으로 접근하는 방식이 아닌 시스템 구성요소의 문제에 기인함을 전제로 하여 복합적 시각에서 분석하는 데에는 한계점을 가지고 있었다. 이런 기존 순차적 사고분석기법들이 지니는 한계를 극복하기 위해 미국 MIT 대학의 Nancy G. Leveson는 STAMP(System Theoretic Accident Model and Processes) 모델 이론을 제시한다(Leveson et al., 2014). 이 모델 이론은 인적오류를 기계 고장과 같이 처리하지 않고 인적오류를 줄이기 위한 시스템 설계를 위해 개념적 구조를 제공하고, 거시적 관점에서 사고의 원인을 구조화하고 식별하는 관점과 절차를 제시하는 모델이자 프로세스라 볼 수 있다. Fig. 1은 STAMP의 전형적인 사회·기술적 제어 모델로 두 가지 계층적 제어구조의 상호작용을 보여줍니다. 왼쪽은 시스템 개발용과 오른쪽은 시스템 운영용으로 구성되어 있습니다. 구조의 각 수준에는 구성요소 간의 상호작용

용과 동작을 제어하는 컨트롤러가 포함되어 있으며, 하향 흐름으로 전반적인 안전 정책, 표준 및 절차를 제공하고 상향 흐름을 통해 사건 및 사고 보고서를 포함한 다양한 유형의 보고서와 그 영향에 대한 피드백을 얻을 수 있습니다.

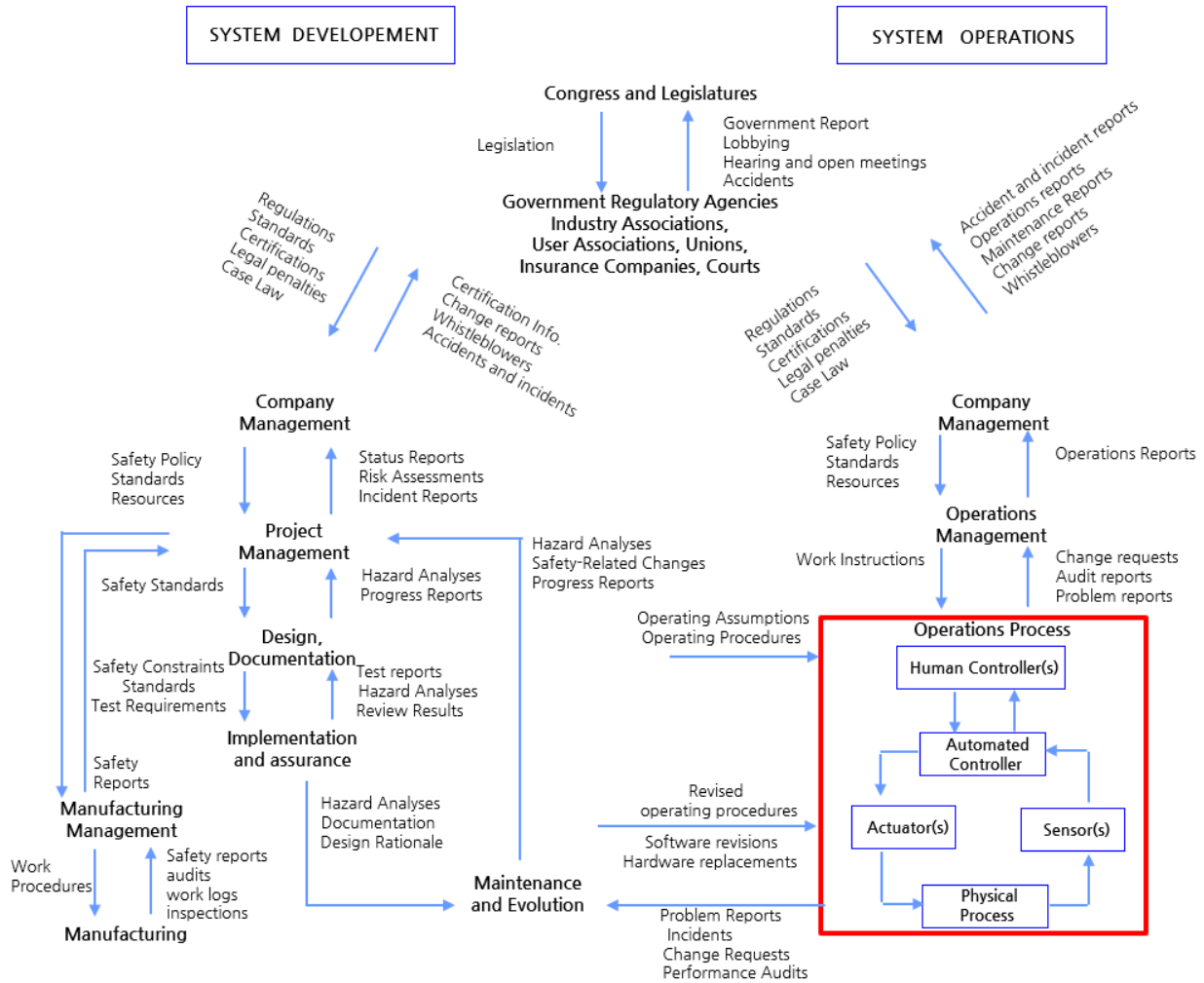


Fig. 1. Typical socio-technical control model of STAMP, adapted from Koo et al.(2021)

## 사고조사 방법론

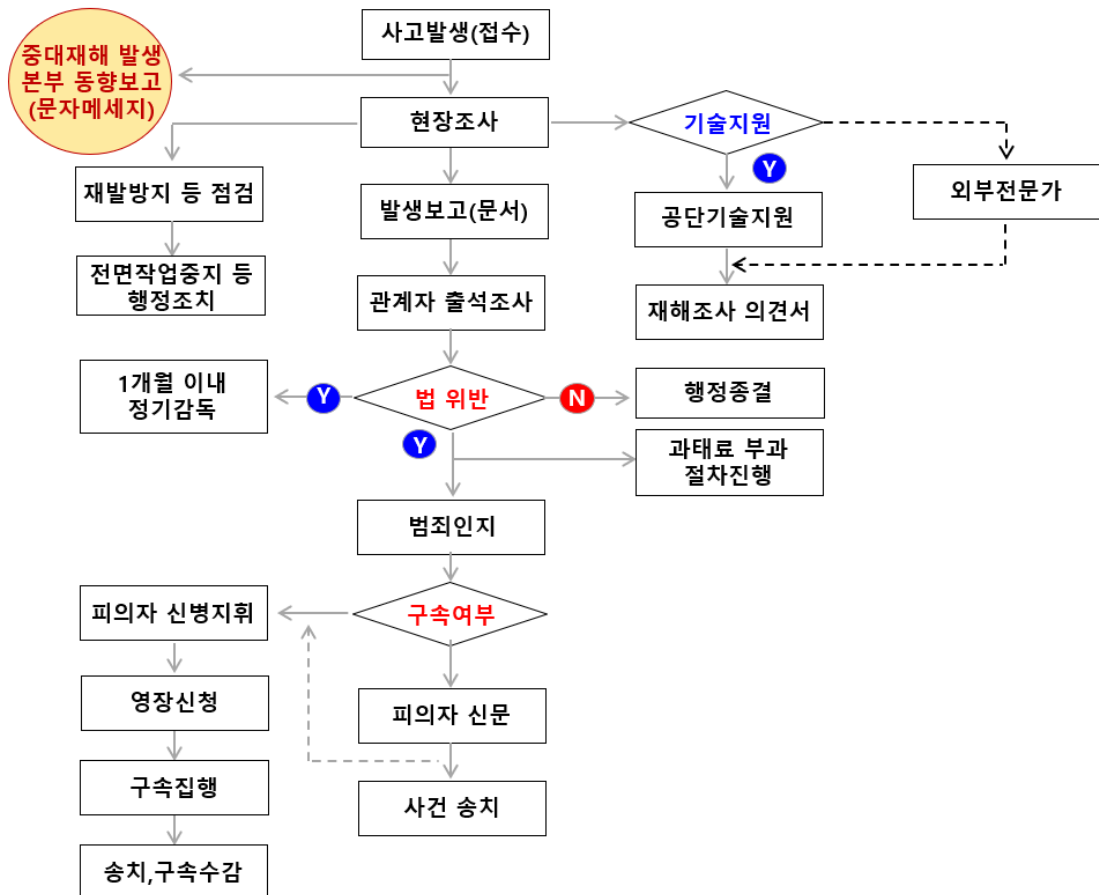
### 정부의 중대 재해조사

정부 정책의 대표적인 안전 제약사항(Safety Constraints)은 산업안전보건법(Occupational Safety and Health Act)이라고 볼 수 있다. 이 법률은 12장으로 구성되었으며, 목적 정의 등을 규정한 총칙, 안전보건 관리체제, 안전보건관리규정, 유해·위험의 예방조치, 근로자의 보건관리, 감독과 명령, 산업재해예방기금, 보칙, 벌칙 등이 규정되어 있다. 또, 이 법률은 산업안전보건법 시행령, 산업안전보건법 시행규칙, 산업안전 기준에 관한 규칙, 산업보건 기준에 관한 규칙 등의 기준으로 구성되어 있다. 이러한 법률적 기준에서, 중대 재해 발생 시 산업현장에 대한 재해조사 법적 근거는 Table 2와 같다.

**Table 2.** Legal basis for investigation of serious accidents at industrial sites

구분	내용
산업안전 보건법	① 고용노동부 장관은 중대 재해가 발생하였을 때는 그 원인 규명 또는 산업재해 예방대책 수립을 위하여 그 발생 원인을 조사할 수 있다 ② 고용노동부장관과 중대 재해가 발생한 사업장의 사업주에게 안전보건 개선계획의 수립 이행, 그 밖에 필요한 조치를 명할 수 있다. ③ 누구든지 중대 재해 발생 현장을 훼손하거나 제1항에 따른 고용노동 부장관의 원인 조사를 방해해서는 아니 된다. ④ 중대 재해가 발생한 사업장에 대한 원인 조사의 내용 및 절차, 그 밖에 필요한 사항은 고용노동부령으로 정한다.
시행규칙	제56조 (중대 재해 원인 조사 등) 제71조 (중대 재해 원인 조사의 내용 등)
	법 56조 제1항에 따라 중대 재해 원인 조사를 하는 때에는 현장을 방문하여 조사해야 하며 재해조사에 필요한 안전보건 관련 서류 및 목격자의 진술 등을 확보하도록 노력해야 한다. 이 경우 중대 재해 발생의 원인이 사업주의 법 위반에 기인한 것인지 등을 조사해야 한다.

정부의 산업재해 조사는 산업안전보건법 시행규칙 제71조에 의거 법 위반에 기인한 것인지 등에 대한 조사가 대부분의 조사 방향이 되어 왔으며 Fig. 2와 같이 재해조사 프로세스를 갖추고 있다.



**Fig. 2.** Severe accident investigation workflow of the Ministry of Employment and Labor (Ministry of Employment and Labor, 2022)

하지만 Fig. 2와 같이 사고가 발생한 사업장의 법 위반 여부를 중요 제어 기능으로 보는 재해조사 프로세스는, ‘적절한 제어(control)가 왜 이루어지지 않았는가?’ 또는 ‘왜 부적절한 제어가 일어났는지?’의 관점에서 떨어질 수밖에 없다. 물론 안전 보건공단과 외부 전문가의 기술지원이 있지만, 이 또한 건설사에 합리적이고 포괄적인 구조에 대한 시스템 이론적 관점과 접근방식을 하지는 못하고 있다. 최근 고용노동부와 안전보건공단은 2021년 중대 재해 6건과 22년 1분기에 2건의 중대 재해가 발생한 H 건설사의 감독 점검하였다. 고용노동부 보도자료에 의하면 대상 현장은 총 36개였고, 주요 감독 점검 초점은 산업 안전보건법 준수 여부였다. 조사 결과를 아래 Table 3에 나타내었다.

**Table 3.** Results of supervision of 36 construction sites of construction company H (Ministry of Employment and Labor, 2022)

구분	전체 (위반 건수)	사법 조치 (위반 건수)	과태료		
			위반 건수	과태료(천원)	
계	254	67	187	371,258	
원청	137	67	70	204,608	
하청	156	39	117	163,650	
산업안전보건법 위반			원청	하청	합계
① 현장 안전관리 시스템					
1-1. 안전보건 책임자와 관리감독자 등 직무수행, 산업안전보건위원회(노사협의체), 안전보건관리규정 등			18	20	38
1-2. 안전교육(근로자 교육, 직무교육, 화학물질 교육 등)			15	40	55
1-3. 유해 위험방지계획서			12	-	12
1-4. 기타(위험성 평가, 산업안전보건관리비, 산재 보고 등)			25	57	82
② 직접적 안전조치					
2-1. 안전난간, 작업 발판 등 추락 및 전도 방지 조치 등			59	32	59
2-2. 거푸집 등바리 등 붕괴 예방조치			6	6	6
2-3. 작업계획서			1	1	1
③ 도급에 따른 재해예방 조치(순회점검, 대피훈련 등)			1	-	1
총 계			137	156	254

실제로 우려한 바와 같이, Table 3과 같은 감독 점검 결과는 법 위반에 국한되어 제어 및 feedback이 이루어지고 있다. 따라서 안전 제약 위반에 관여한 인력, 사회적·조직적 구조, 제도·정책 등 전체 프로세스 문제점 검토가 이루어지지 않았으며, 이는 표면적인 증상만 파악해 고칠 뿐 근본적인 사고의 원인이 해결되지 않기 때문에 사고는 계속 발생할 수밖에 없다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 시스템적 사고분석으로의 전환이 필요하다.

### 시스템적 사고분석

사고가 일어나지 않도록 하거나 그 피해를 경감 하기 위해 관리해야 할 위험과 그 원인을 미리 식별하는 활동으로서 안전을 보장하기 위한 시작점은 사고분석이라 할 수 있다. 사고모델 유형에 따른 사고분석 모델의 종류는 Fig. 3과 같다. 사고를 유발하는 원인과 시나리오를 개념적으로 모델화한 것으로, 어떤 관점에서 바라보느냐에 따라 다양한 사고모델이 존재한다.



사고를 예방하거나 재발 방지를 위해서 근본 원인을 차단하면 사고가 일어나지 않는다고 가정하는 순차적 모델(Sequential model)과 조직요인이 현장과 불안정한 행동에 영향을 주는 전제 조건에 영향을 미쳐 불안정한 행동(에러와 위반)에 최종 영향을 준다고 가정하는 역학적 모델(Epidemiological model)이 있으며, 시스템 구성요소와 상황 간 상호작용의 결과로 설명하고 상호작용에 대한 피드백 루프를 적용하고 이해하는 시스템 모델(Systemic model)이 있다. MIT의 Leveson G. Nancy에 의해 발표된 STAMP는 시스템 이론에 기반을 둔 대표적인 사고분석 모델이며, STAMP 기반의 2가지 도구는 STPA (System Theoretic Process Analysis)와 CAST(Causal Analysis based on System Theory)이다. STPA는 개발단계에서 사고의 잠재적 원인을 분석하여 위험을 제거하거나 제어하기 위한 사전적인(proactive) 분석 방법이며, CAST는 발생한 사고/사건을 조사하고 관련된 요인을 식별하는 사후적인(retroactive) 분석 방법이다(Koo et al., 2021).

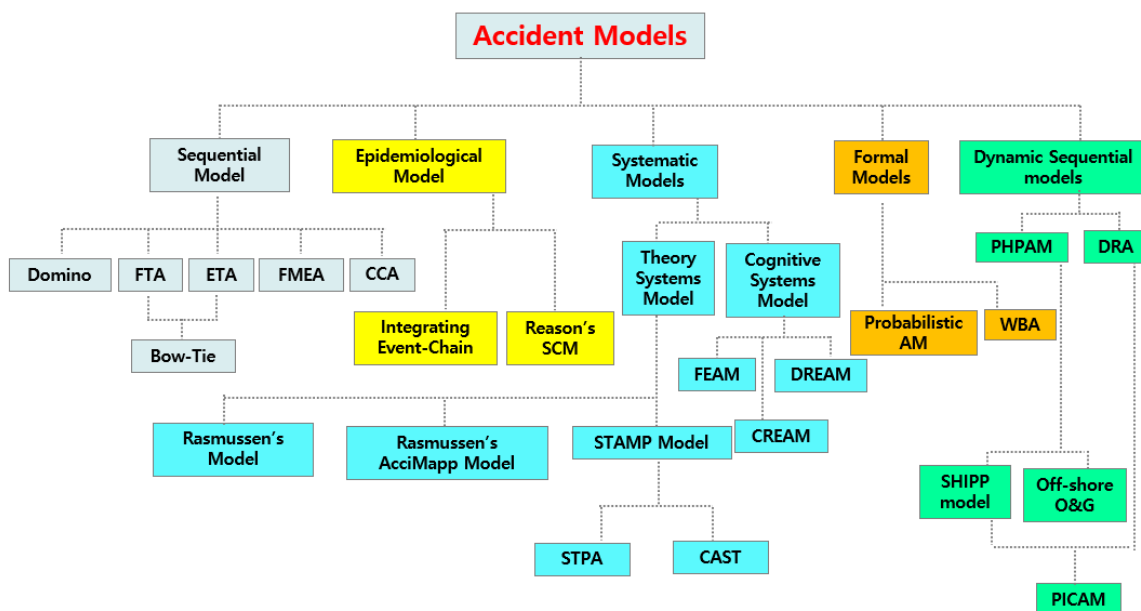


Fig. 3. Risk analysis technique according to accident model type, adapted from (Al-shanini, et al.,2014)

### CAST

CAST(Causal Analysis on System Theory)는 시스템 이론에 기반을 둔 원인분석 방법의 하나로 시스템 관점에서 사고의 인과관계 분석을 위한 구조화된 기술이며, 시스템 이론에 기초한 원인분석 방법으로 STAMP를 사용하고 있다. CAST는 조사 기법이 아닌, 분석 방법의 하나로 CAST를 통해 분석을 진행하게 되면, 손실의 원인에 대한 포괄적인 내용 작성이 가능하며, 추후 유사한 관련 사고의 예방을 위한 권고사항을 공식화하기 위하여 조사 중 어떤 유형의 질문에 답변을 작성해야 하는지 또는 어떤 유형의 정보를 수집해야 하는가에 대한 판단에 유리하다(Leveson, 2019). CAST의 구성요소 및 분석 절차는 Fig. 4와 같다. 분석에 필요한 기초자료 수집 단계로 사고에 영향을 미치는 모든 상황적 요인을 분석 후 언급된 종류의 위험과 관련하여 현재의 안전 제어구조를 모형화한다. 제어구조의 구성요소를 조사 사고 방지에 효과가 없었던 이유를 파악하여 사고에 영향을 준 각 구성요소의 역할과 동작을 설명하고 사고에 영향을 준 결함을 개별 시스템 제어구조의 구성요소를 포함하여 식별, 제어구조 변경에 대한 권고 및 지속적인 개선 프로그램의 설계 순으로 분석한다.

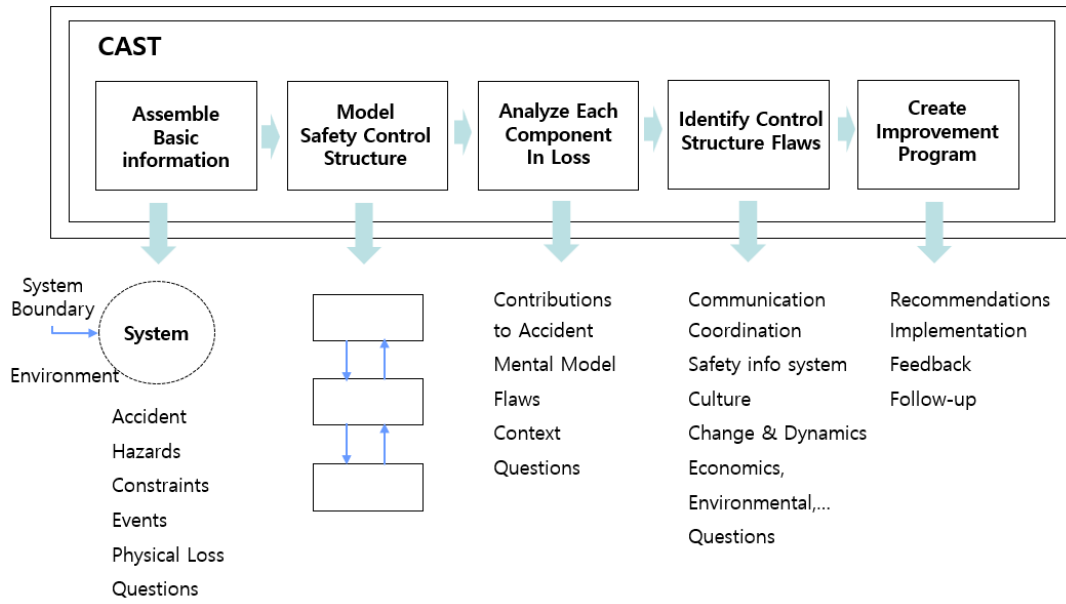


Fig. 4. Analytical procedures and step-by-step components of CAST (Leveson, 2019)

### 사례연구를 통한 CAST와 한국산업안전보건공단 조사분석 비교

중대 재해 발생 재해조사 의견서 작성에 기술지원을 하는 한국산업안전보건공단(Korea Occupational Safety and Health Agency)은 중앙사고 조사단을 신설하여 과거 10년간 발생한 대형사고 심층분석을 통해 대형사고 감소를 위한 정보를 제공하고, 예방 활동을 체계적으로 추진하기 위해 대형사고 현황 통계분석, 사고 원인분석 사례를 2019년 12월 사례집 통해 발간 하였다. 대형사고 사례집을 통해 나타난 사고원인 분석 프로세스는 Fig. 5와 같다(Korea Occupational Safety and Health Agency, 2019).

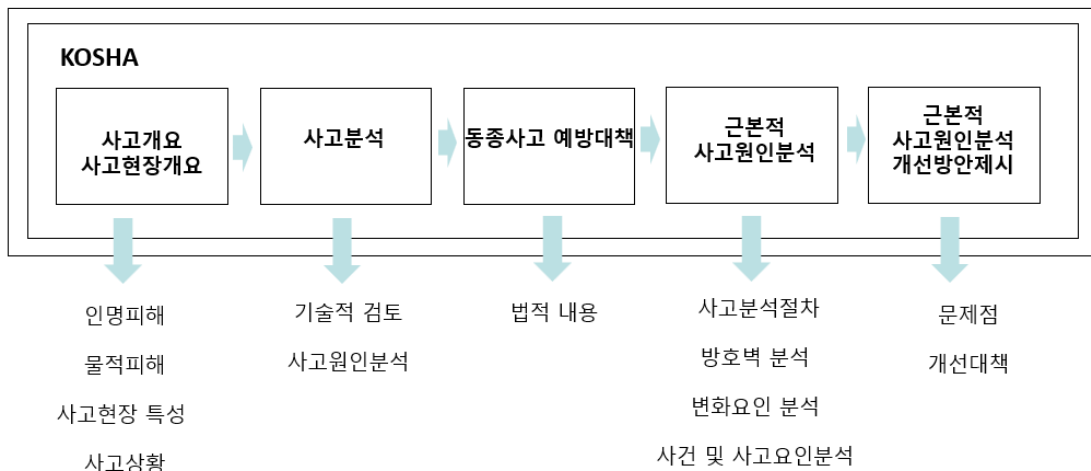


Fig. 5. Korea Occupational Safety and Health Agency major accident cause analysis process



사고에 대한 인명피해, 물적 피해, 사고상황, 사고 원인분석 등 기본적인 조사 후 사고 발생 상태와 안전 작업 상태의 비교를 통해 근본적 사고 원인분석, 문제점 및 개선대책을 제시하는 방법이다. 안전관리 계획에 따라 운영되는 시스템의 방호벽(Barrier)을 확인하고, 균형을 깨뜨리는 변화요인(Change)을 도출, 적절히 관리(Control) 되었는지 확인하며, 확인된 차이점이 사고에 미친 영향을 분석하는 방법이다. 이와 같은 프로세스로 2019년 타워크레인 운반 자재가 안전난간에 걸려 낙하하여 추락에 의한 사망 2명이 발생한 사고에 대한 근본적 사고 원인분석 사례와 콘크리트 타설 후 일산화탄소에 질식한 중독 2명이 사망한 사고 사례에 대한 분석은 아래와 같다.

## 추락 사망사고

### 사고 개요

2019년 00월 00일 00시 소재(주)0000 지식산업센터 신축공사 현장의 주차타워 내부 비계 위에서 비계공 2명이 타워크레인으로 인양되는 비계 재료(강관 등)를 받기 위해 신호 및 대기하던 중 주차타워 개구부 단부에 설치된 안전난간에 인양화물이 걸려 기울어지면서, 강관 파이프 등 비계 재료가 이탈되어 약 26.8m 아래에 있던 비계공 2명이 떨어지는 비계 재료에 맞거나 피하던 중 지하층 바닥으로 추락·사망한 재해로 Fig. 6과 같이 분석될 수 있다(Korea Occupational Safety and Health Agency, 2019).

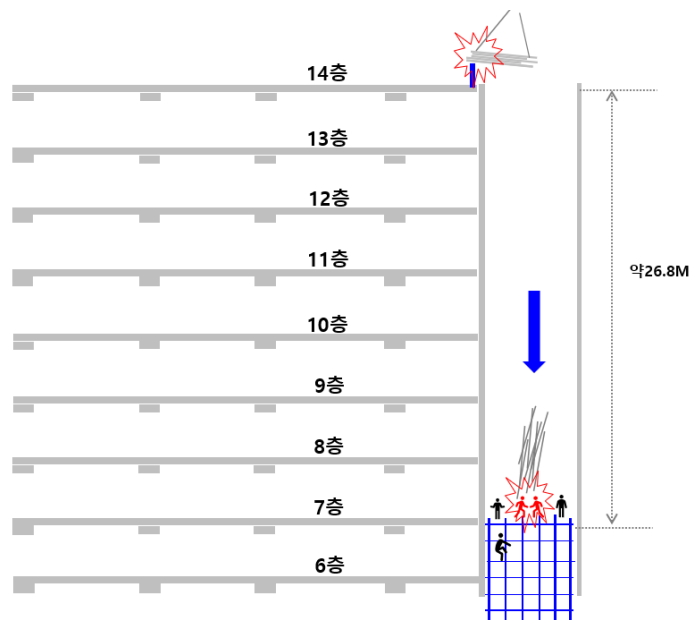


Fig. 6. Disaster situation map

### 사고 현장 특성 및 사고상황

사고 현장은 지하 1층, 지상 14층의 지식산업센터 2개 동으로 구성되어 있으며, 기계식 주차 타워 내부에서 사고가 발생하였다. 사고 발생 구간은 주차타워 내부 비계설치 중이었으며, 용도는 주차타워 상부 슬래브 시공 및 단열재 부착을 위한 작업이었다. 사고 구간의 구조 배치 및 공사 진행 현황은 Table 4와 같다

**Table 4.** Accident site characteristics

구조 및 배치현황	공사 진행내용
구조: 철근콘크리트조 지하 1층, 지상 14층(2개 동) 배치: 주차장, 전기·물탱크실: 지하 1층 기계식 주차타워 (사고 발생): 지하 1층~지상 14층	사고 발생 동 지상 14층 골조 공사 - (사고 발생 구간) 주차타워 내부 비계설치 (용도) 주차타워 상부 슬래브 시공 및 단열재 부착

사고 당시 작업상황은 용량 2.9ton, 설치 높이 약 71.2m의 무인 타워크레인을 사용하여 무선리모컨 조작을 통해 4m 강관 약 70분 및 부속 재료(연결핀 등)를 철선으로 고정하여 지상 14층 주차타워 개구부(8.2x8.2m)를 통해 비계 조립구간으로 내리는 작업을 진행 중이었다. 사고 당시 시간대별 작업 현황은 Table 5와 같다.

**Table 5.** Accident situation

시각	작업 현황
07:00경	비계공 13명 투입
07:30~10:25	주차타워 내부 비계 조립 및 비계 재료 결속 및 양 중 - T/C 운전원이 무선리모컨으로 T/C 조작, 지상 14층 주차타워 개구부(8.2x8.2m)로 인양 - 25m 아래 비계공 5명이 비계 재료를 받아 조립작업 진행
10:25 분경	비계 재료 낙하 및 비계공 추락 - T/C로 인양된 비계 재료가 주차타워 개구부 단부 안전난간에 걸림 - 비계 재료가 기울어지면서 섬유 벨트에서 이탈→하부 작업 구간으로 쏟아짐 - 약 26.8m 아래에 있던 비계공 2명이 쏟아지는 비계 재료에 맞거나 피하는 과정에서 하부로 추락

**사건 및 사고요인 분석 비교**

한국산업안전보건공단의 재해 발생에 영향을 미친 사고요인 도출 및 사고요인 간 연관성 분석은 Fig. 7과 같이 나타낼 수 있다. 사고 발생 전 선행된 사건(Events), 의사결정(Decision Making), 조치사항(Action) 및 조건(Conditions)들을 시간적인 순서에 따라 나열·도식화함으로써 사고요인 도출 및 사고요인 간 연관성 분석을 통해 재해 발생 사건 및 사고요인 분석을 하는 방식이다.

사건이 발생한 흐름을 도식화하고 사건의 조건을 별도로 표기하였다. 사고가 발생한 조건은 위험성 평가 미시행, 작업지휘자 미배치, 작업자의 역할 및 책임 불분명, T/C 운전원과 비계공 소통오류, 작업자 인양 자재 하부 위치, 안전대 미착용 원인이 도출되었지만 상호 작용 및 제어에 관한 문제점은 확인되지 않았다.

사고원인을 바탕으로 STAMP CAST에 의한 안전 제어구조 모형을 Fig. 8과 같이 작성하였다. 각 구성요소의 사고에서의 역할과 서로 어떤 영향을 미치는지 확인할 수 있었다. 위험성 평가 주체 평가를 반영하지 못한 각 구성요소들의 피드백 부재 발생이 안전 제약 요건 기준 불분명으로 나타났다. 비계설치 협력 업체의 위험성 평가 미시행과 미시행에 대한 원청사의 제어 기능이 미작동 되었으며, 관리감독자 등에 대한 교육 및 피드백 기능도 작동되지 않았음을 알 수 있었다. 그로 인해 하부 조직인 작업팀까지 위험요인 전파가 이루어지지 않았고 위험요인에 대한 제어구조의 구성 요소별 책임이 불분명해지는 것을 알 수 있었다. 문제점 및 개선대책의 비교는 아래 Table 6과 같이 나타내고 있다.

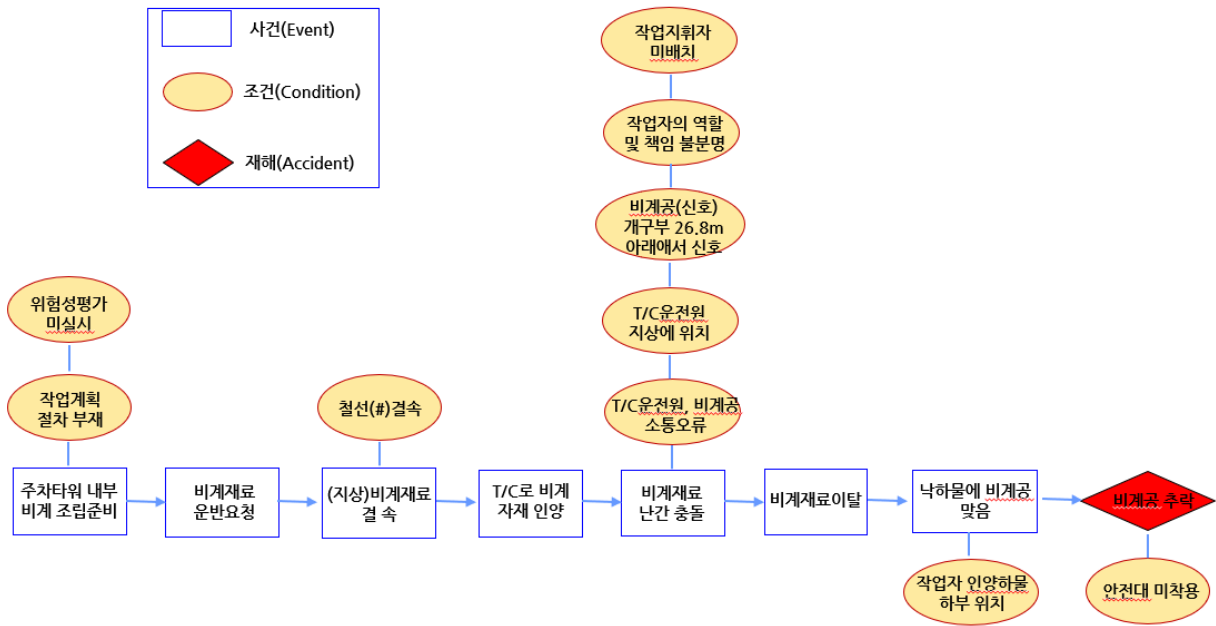


Fig. 7. Incident and accident factor analysis by KOSHA

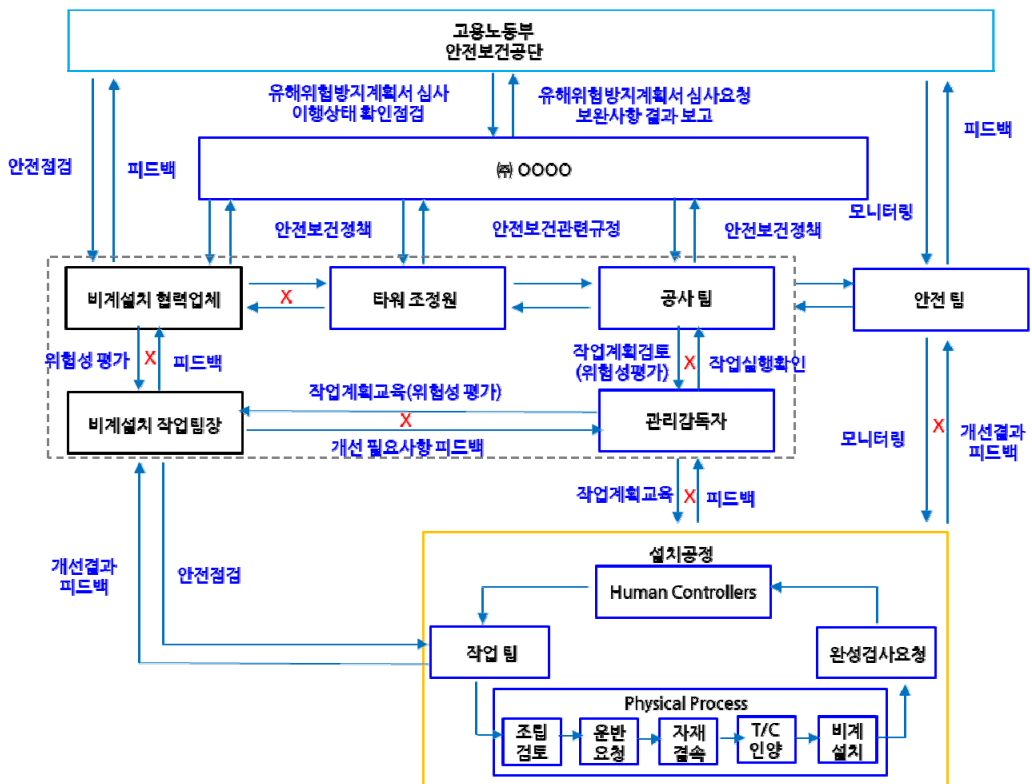


Fig. 8. Incident and accident factor analysis by CAST

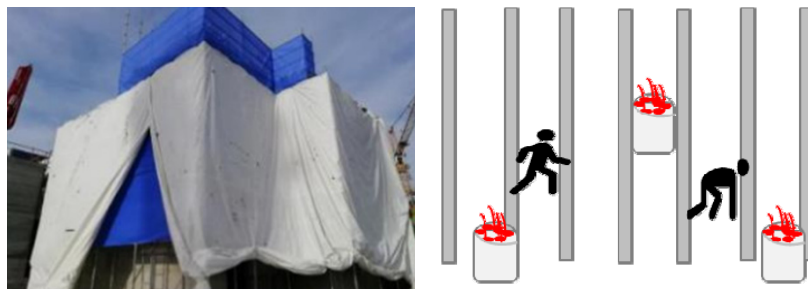
**Table 6.** Comparison of problems and improvement measures

방법론	문제점	개선대책
안전보건공단	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 형식적인 작업계획</li> <li>• 위험작업 관리 감독 미흡</li> <li>• 사전 안전성 검토 미시행</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 위험성 평가에 의한 작업계획 수립·시행</li> <li>• 작업지휘자의 관리 감독 철저</li> <li>• 가 시설물 안전설계</li> </ul>
CAST	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구성 요소별 책임 불분명</li> <li>• 구성 요소별 사고 기여 요인 불분명</li> <li>- 안전 제약 기준 불명확</li> <li>• 제어구조의 구성 요소별 결함 불명확</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작업계획서 수립, 교육, 감독 과정의 명확한 업무 분담</li> <li>• 안전 제약 기준 재정립, 구성 요소별 상호작용 검토</li> <li>- 안전 제약 기준 확인에 대한 피드백 진행</li> <li>• 피드백을 통한 위험성 평가로 구성 요소별 결함 확인</li> </ul>

### 질식 사망사고

#### 사고 개요

2019년 00월 00일 00 건설 공동주택 신축공사 현장에서 콘크리트 타설 후 보온 양생용으로 피워놓은 드럼 난로의 숯 탄 보충 작업을 하던 중 탄이 연소 되며 발생한 일산화탄소에 중독·질식하여 근로자 2명이 사망한 사고로 Fig. 9와 같이 분석될 수 있다(Korea Occupational Safety and Health Agency, 2019).



**Fig. 9.** Disaster situation map

#### 사고 현장 특성 및 사고상황

사고 당시 작업상황은 옥탑 층 타설을 제외한 하부층은 타설이 완료된 상태이었으며, 점화 담당은 2명이 배치되었고, 1차 점화를 13시경 시작하여, 17시 30분에 2차 연료 교체가 이루어졌으며, 18시경 교체 완료 상황을 관리자에게 문자로 보고 후 감시자가 없는 상태에서 23시경에 사고를 인지한 사고상황입니다. 시간별 작업 현황은 Table 7과 같다.

**Table 7.** Accident situation

시각	작업 현황	비고
09:30경	옥탑 층 콘크리트 타설 작업실시	
13:00경	점화 담당자 2명이 드럼 숯 탄 난로에 점화 시작	
15:30경	타설 작업 완료 후 보양 작업실시	
17:30경	숯 탄 보충 작업 (난로 1개당 1포대씩 투입) 실시	
17:58경	현장 소장에게 숯 탄 보충 완료 메시지 전송	
23:00경	숯 탄 보충 작업 도중 일산화탄소에 중독되어 사망한 것으로 추정	

### 사건 및 사고요인 분석 비교

한국산업안전보건공단의 재해 발생에 영향을 미친 사고요인 도출 및 사고요인 간 연관성 분석은 도식화되지 않았으며, 밀폐공간 작업 프로그램 수립·시행 미흡과 유해성 정보 제공 미흡으로 사고원인 분석과 대책을 수립하였다. 사고원인을 바탕으로 STAMP CAST에 의한 안전 제어구조 모형을 Fig. 10과 같이 작성하였다.

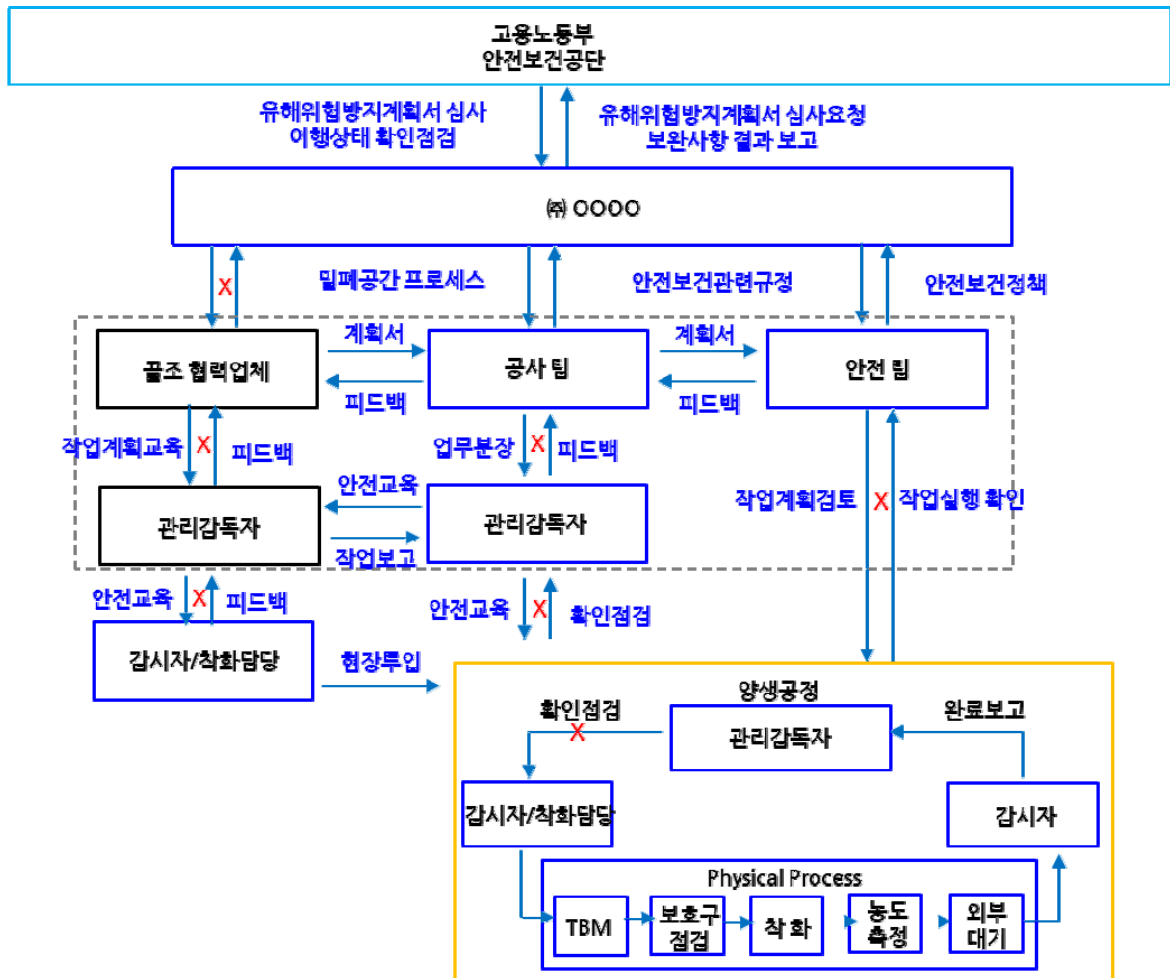


Fig. 10. Incident and Accident Factor Analysis by CAST

작업 단계별 제어가 이루어지지 않은 원인으로 골조 협력 업체 밀폐공간 작업 프로그램 작성 검토 시 원청사와 협력 업체의 명확한 업무 분담이 이루어지지 않았고, 감시자 배치에 확인에 대한 제어 미작동, 작업 투입 전 작업계획교육 피드백 및 작업실행 확인 부재가 발생하여 작업 단계별 제어가 이루어지지 않은 것을 확인할 수 있었다. 한국산업안전보건공단과 STAMP CAST에 의한 분석의 문제점 및 개선대책의 비교는 아래 Table 8과 같이 나타내고 있다.

안전보건공단의 사고원인에 대한 개선대책은 STAMP CAST 이용하여 사고를 분석 개선대책 비교 시 몇 가지 차이점을 볼 수 있다. 첫째, 위험을 방지하는 데 필요한 구성 요소별 안전 관련 책임이 불분명하고, 두 번째 구성 요소별 사고 기여요

인이 명확하지 않으며, 세 번째 행동의 원인이 되는 제어구조의 구성 요소별 결합이 밝혀지지 않는다는 점이다. 따라서, 전체 제어구조에서 사고에 영향을 준 결합 불명확으로 제어구조 변경에 대한 개선과 연계하지 못한 범규 준수 방향으로 문제점 개선대책이 수립되는 것을 알 수 있었다.

**Table 8.** Comparison of problems and improvement measures

방법론	문제점	개선대책
안전보건공단	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 밀폐공간 작업 프로그램 수립·시행 미흡</li> <li>• 유해 정보 제공 미흡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 밀폐공간 작업 시 계획 수립 내실화</li> <li>- 개인보호구, 감시원 배치, 특별안전교육</li> <li>• 제품에 유해 정보 표기, 자재 검수 철저</li> </ul>
CAST	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 밀폐공간 작업계획 시 구성 요소별 역할 불분명</li> <li>- 원청사, 협력 업체 명확한 역할 미수립</li> <li>• 감시자 미배치 등 역할 불분명으로 교육, 점검 피드백 제어 기능 상실</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 밀폐공간 작업계획 시 교육, 점검과정의 명확한 역할 분담</li> <li>• 교육, 점검과정의 명확한 피드백 체계 등 제어 기능 사전 확인</li> </ul>

## 결론

본 연구는 STAMP CAST 분석 모형과 고용노동부, 한국산업안전보건공단의 재해분석에 관한 프로세스를 비교 분석하여 동일 반복 사고 예방 차단을 위한 기존 사고분석 방법 중 개선할 사항들을 확인하였다. 연구 결과, 건설업은 동일·유사 사고가 반복적으로 발생하였고, 작업자의 결합, 구성요소 고장, 관리 감독 부실, 유지관리 불량 등으로 인과관계 및 사고 프로세스를 지나치게 단순화하는 경향이 있었으며, 범규 준수 여부에 대한 사고조사와 분석이 대부분의 방향이었다. 복잡한 공정이 동시에 혼재되어 작업이 진행되는 건설 현장은 각 계층 간의 상호작용에서 새로운 문제점이 발생할 수 있으며, 명확한 안전 제약 부재 및 제어 문제로 사고가 발생할 수 있음을 확인할 수 있었다. 건설업 특성상 단위 사업장의 조직 구성, 협력사, 근로자 수준 등 현장별 조건이 상이할 수 있기에 현재의 사고분석 방법에서 STAMP CAST 분석 모형을 접목하여 안전 제어구조의 모형화를 통한 제어구조의 구성 요소별 문제점 파악, 결합식별, 권고사항 작성 등을 적용하면 안전 제약 요소, 계층별 상호작용에서의 문제점, 각 구성요소 사이의 상호관계와 의사소통 과정의 문제점 파악이 가능하여 정부 기관과 기업이 통합적 관점에서 시스템 전체의 구성 요소별로 사고 예방을 위한 대안 제시가 가능할 것으로 사료 된다.

## Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부 지능정보 기술 기반 효과적인 외국인 노동자 산업안전 교육 서비스 개발사업(20012292)과 산업통상자원부 스마트 디지털 엔지니어링 전문인력양성사업(P0008475-G02P04570001901)의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

## References

[1] Al-shanini, A., Ahmad, A., Khan, F. (2014). "Accident modelling and analysis in process industries." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 32, pp. 319-334.



- [2] Koo, C.C., Seo, D.H., Lee, P.H. (2021). “Analysis of explosion accidents in a chemical plant using STAMP, a systematic cause-and-effect analysis technique.” *Fire Science and Engineering*, Vol. 35, No. 5, pp. 17-23.
- [3] Korea Occupational Safety and Health Agency (2019). *Major Accident Casebook*. pp. 71-82.
- [4] Lee, G.J., Min, Y.G., Chung, K.H. (2018). “Application of desing for safety to improve safety environment on construction site.” *KIEAE Journal*, Vol. 18, No. 5 , pp. 113-120.
- [5] Leveson, N.G. (2019). *Cast Handbook: How to Leran from Incidents and Accidents*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [6] Leveson, N.G., Stephanopoulos, G. (2014). “A system-theoretic, control-inspired view and approach to process safety.” *AIChE Journal*, Vol. 60, No. 1, pp. 2-14.
- [7] Leveson, N.G., Thomas. J.P. (2018). *STPA Handbook*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [8] Ministry of Employment and Labor (2022). *Announcement of Fatal Accidents Subject to Disaster Investigation in the First Half of 2022*. Ministry of Employment and Labor Press Release.
- [9] Ministry of Employment and Labor (2022). *Announcement of Supervision Results of 36 Construction Sites of Hyundai E&C*. Ministry of Employment and Labor Press Release.