

## 산업보건 분야에서 시스템적 사고 분석 방법의 활용성 검토 – STAMP를 이용한 메탄올 중독사고 분석을 중심으로 –

서동현\* · 박장현 · 현종수<sup>1</sup> · 김진현<sup>2</sup>

안전보건공단 산업안전보건연구원, <sup>1</sup>안전보건공단 중앙사고조사단, <sup>2</sup>안전보건공단 경기서부지사

## Application Review of a Systemic Accident Analysis Method in the Field of Occupational Health – Focused on the Analysis of Methanol Poisoning Accidents Using STAMP –

Dong-Hyun Seo\* · Jang-Hyun Park · Jong-Soo Hyun<sup>1</sup> · Jin-Hyun Kim<sup>2</sup>

Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA

<sup>1</sup>Accident Investigation Board, KOSHA

<sup>2</sup>Western Gyeonggi Area Office, KOSHA

### ABSTRACT

**Objectives:** Methanol poisoning accidents in smartphone parts manufacturing facilities were analyzed using a systemic accident analysis method, and the necessity and possibility of the application of this systemic method in the field of occupational health were reviewed.

**Methods:** A STAMP model for accident analysis was created based on the previously published literature. CAST analysis was performed to find the causal factors of the components and between the components.

**Results:** The STAMP model visually showed the abstract and complex system control structure. The CAST analysis results could include all the causal factors from the previously published literature, and presented them holistically. Additional causal factors that were not presented in the literature were found.

**Conclusions:** The holistic accident analysis results in this study will be helpful to establish comprehensive measures to prevent methanol or other chemical poisoning accidents. Therefore, it will be necessary to use systemic accident analysis methods in the field of occupational health.

**Key words:** CAST, STAMP, methanol poisoning, systemic accident analysis

### 1. 서 론

2015년과 2016년에 휴대전화 제조사업장의 3차 협력업체에서 CNC(computer numerical control) 절삭기를 이용하여 휴대전화용 알루미늄 부품을 가공하던 중 메탄올(메틸 알코올)에 의한 중독사고가 발생했다. CNC는 컴퓨터를 이용해 사전에 입력한 수치에 따라 기계나 금속 소재를 정밀하게 절삭·가공할 수 있는 공

작기계이다. CNC 절삭기로 금속을 절삭 가공할 때는 절삭 공구 및 가공부를 냉각시키고 가공된 면을 깨끗하게 정리하기 위해 절삭유를 사용한다. 사고가 발생한 사업장에서는 알루미늄 부품을 절삭 가공할 때 고농도(99.9%)의 메탄올을 절삭유로 사용하였다(Seoul Central District Court, 2021).

메탄올은 고인화성의 물질로 흡입, 피부접촉 및 섭취 시 독성이 있으며, 시신경 손상과 호흡기계 자극 및 중

\*Corresponding author: Dong-Hyun Seo, Tel: 042-869-0332, E-mail: seodh93@kosha.or.kr

30 Expo-ro 339beon-gil Yuseong-gu Daejeon 34122

Received: April 7, 2023, Revised: May 31, 2023, Accepted: June 29, 2023

 Dong-Hyun Seo <http://orcid.org/0000-0002-4711-0093>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

추진경계에도 손상을 일으키는 물질로 알려져 있다 (Lee, 2016; Kim et al., 2017). 작업자들은 CNC 절삭기로 가공된 알루미늄 부품에 남아 있는 메탄올을 제거하기 위해 에어건을 이용하였다. 이때 보안경, 보호장갑, 방독마스크 등을 착용하지 않아 메탄올이 작업자들의 눈, 피부 등에 튀었다. 그리고 작업자들은 작업장 공기 중에 분산된 메탄올 증기를 호흡기를 통해 흡입하게 되었다(Seoul Central District Court, 2021). 이로 인해 유사한 작업을 수행하는 3개 사업장의 근로자 6명이 실명 및 뇌손상 등의 피해를 입었다(Kim, 2021). 피해 근로자 6명은 모두 파견업체 소속의 근로자였다 (Lee et al., 2016).

이 메탄올 중독사고는 당시에 사회적으로 큰 이슈가 되었기 때문에 여러 연구보고서와 관련된 논문, 기사 등이 발표되었다. 각 문헌마다 차이가 있긴 하지만 이들 자료에서는 메탄올의 독성 인식 부족, 부적절한 작업방법, 환기 불량과 같은 기술 및 관리적인 원인과 함께 근로자 파견과 다단계 하도급이라는 사회구조적인 문제가 제기되었다(Park et al., 2016a; Shin, 2016; Lee et al., 2017).

그러나 메탄올 중독사고가 발생한 후 6년이 지난 2022년 2월에 창원 소재 전자제품용 부품 생산공장에서 근로자 16명이 세척제에 함유된 트리클로로메탄(클로로포름)에 노출되어 독성간염이 발생했다(KOSHA, 2022a). 같은 해 3월에는 인천에 소재한 전자제품 분체도장 사업장에서 세척조를 청소하던 근로자 1명이 세척조 내에 잔류된 디클로로메탄(MC)에 중독되어 사망했다(KOSHA, 2022b). 그리고 사고를 예방하기 위한 예방대책을 마련하기보다는 국내 사업장의 위험한 공정을 국외로 이전하면서 외국에 있는 한국업체에서 유사한 사고가 발생하고 있다. 그 예로 2023년 3월에 베트남 북부 박닌성의 한 한국회사에서 다수의 근로자들이 절삭유에 포함된 메탄올에 중독되는 사고가 발생했다 (Inside Vina, 2023).

현대의 복잡한 사회구조와 첨단기술 시스템 속에서 이와 같은 사고를 예방하기 위해서는 사고와 관련된 기술적이고 관리적인 문제점 외에 그 이면에 있는 사회구조적인 문제점과 관련 기관이나 업체의 문제점까지 통합적으로 분석하고 그에 따른 종합적인 대책을 마련하여 시행할 필요가 있다. 그러나 기술적 또는 관리적인 문제점에 치우쳐 종합적인 문제점을 도출하지 못하고, 단편적인 문제를 중심으로 해결책이 제시되면 앞의

사고사례와 같이 유사한 사고가 재발할 가능성이 높다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기술과 과학뿐만 아니라 사회 시스템을 포함하는 사회기술 시스템(socio-technical systems)의 관점에서 문제를 바라보고 사고 원인을 분석할 필요가 있다(Leveson, 2019).

“사회기술 시스템은 사회와 기술을 서로 연결된 하나의 통합시스템으로 인식하며, 기술뿐만 아니라 사회·문화적 요소를 전체 시스템 안에서 고려한다. 그리고 사회기술 시스템은 기술 성과만큼 개인 삶의 질이나 사회·제도적 환경 등을 함께 고려하는 관점으로 기술의 생산이나 공급뿐만 아니라 그러한 기술의 확산과 사용에 초점을 두며, 연구자와 기술생산자, 소비자, 대중매체, 정부, NGO까지도 주요 행위자로서 고려한다”고 말하고 있다(Kim & Son, 2017).

사고를 예방하기 위해서는 이와 같은 사회기술 시스템 개념을 바탕으로 기존의 기술적인 측면을 포함하여 시스템 통합적인 측면에서 종합적으로 사고원인을 찾고 해결책을 마련할 필요가 있다. 이에 따라 1990년대 후반 이후부터 사회기술 시스템에 기반한 AcciMap, STAMP-CAST(System Theoretic Accident Model and Processes - Causal Analysis on Systems Theory), FRAM(Functional Resonance Analysis Method) 등과 같은 시스템적 사고 분석 방법이 개발되었다. 시스템적 사고 분석 방법을 이용하면 기존의 기술적, 관리적인 부분에 맞추어져 있던 관점을 사회적인 부분으로까지 확대해서 통합적으로 사고원인을 분석할 수 있다. 그러나 우리나라 산업보건 분야에서 시스템적 사고 분석 방법을 적용하여 그 원인을 분석한 사례는 아직까지 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 사회기술 시스템 이론에 기반한 시스템적 사고 분석 방법 중 복잡한 시스템에 적용이 용이한 STAMP를 이용하여 과거에 이슈가 되었던 메탄올 중독사고의 원인을 시스템 통합적으로 분석해 보고, 그 결과를 바탕으로 산업보건 분야에서 시스템적 사고 분석의 활용 가능성에 대해 검토해 보고자 하였다.

## II. 분석 모델 및 방법

### 1. STAMP-CAST

사고 분석 모델은 순차적(sequential) 모델에서 역학적(epidemiological) 모델과 시스템적(systemic) 모델로 발전해 왔다. 순차적 사고 분석 모델은 시간의 흐름

에 따라 연쇄적으로 발생하는 사건의 관점에서 사고를 설명하며, 도미노 이론에 영향을 받은 모델이라 할 수 있다(Leveson, 2004; Yang and Yoon, 2019). 이 모델은 기계 고장이나 단순한 작업자 실수로 인한 사고에 잘 들어맞았지만, 시스템이 복잡해지는 1900년대 후반의 사고를 설명하는데 한계를 보였다(Yang and Yoon, 2019). 이에 따라 나타난 것이 역학적 모델이다. 역학적 사고 분석 모델은 시스템 내의 다양한 영향 요소들과 방어벽의 잠재적 결함들이 조합되어 사고가 발생한다고 설명하며, 스위스 치즈 모델(swiss cheese model)이 대표적이다. 그러나 시스템의 복잡도가 증가하여 명확한 사고 요인이 존재한다는 가정으로는 사고를 설명하기 어려운 상황이 되어 시스템적 모델이 등장했다(Yang and Yoon, 2019). 시스템적 사고 분석 모델은 시스템에 대한 부분적 이해를 넘어서 전체론적(holistic) 관점에서 사회기술 시스템(socio-technical systems)을 바라보고 내부의 복잡한 관계를 고려하여 사고를 분석한다(Leveson, 2004). STAMP, FRAM, AcciMap 등이 대표적이다(Seo et al., 2021). STAMP 모델은 시스템의 구성요소를 계층으로 나타내고, FRAM 모델은 시스템의 기능과 그 연결 관계를 나타내며, AcciMap 모델은 사고원인의 연결 관계를 나타낸다(Seo et al., 2021; Seo et al., 2022). 본 연구에서는 시스템의 구성요소와 그 구성요소들 간의 관계를 중심으로 분석을 수행하고자 하였기 때문에 STAMP를 이용하여 분석하였다.

STAMP는 시스템 이론 기반의 사고원인 모델 및 분석 과정으로 Leveson이 2004년에 발표하였다. Leveson (2004)에 따르면, 이 방법은 과거의 순차적(sequential) 사고 분석 방법의 한계를 고려하여 사고에 대한 시스템적 접근을 시도한 방식이다. STAMP는 안전을 브레이크의 라인이나 신호 제어 케이블이 끊어져 정상적으로 작동할 수 없는 것과 같은 실패(failure)의 예방에 대한 문제가 아닌 제어(control)의 문제로 보고 있으며, STAMP에서 사고의 원인은 손실(loss)을 방지하지 못한 안전 제어 구조(safety control structure)로 정의된다. 여기서의 제어는 공학적 제어와 그 이상의 사회적 제어도 포함한다. 따라서 STAMP에서 사고 조사의 목표는 안전 제어 구조에서 위반된(violated) 안전 제약 사항(safety constraints)이 제대로 시행되지 않은 이유를 파악하고, 향후에 관련 손실을 방지하기 위해 안전 제어 구조에 어떠한 변경이 필요한지를 결정하는 것이다. 안

전 제약 사항은 환경적 또는 재정적 조건, 규정(규칙), 절차, 장비, 기술 설계 등이 될 수 있다(Leveson, 2019).

STAMP 모델의 기본 안전 제어 구조는 계층으로 구성되어 있다. 상위 구조(계층)에서는 안전 정책, 표준, 절차 등을 결정하고, 하위 구조(계층)에서는 정책이나 절차를 실제로 수행하는 역할을 한다(Leveson, 2019). 실제로 동작하는 운영 절차나 제어 구조도 하위 구조에 포함된다. 시스템 모델은 시스템의 구성요소를 계층별로 나타낸 후 상위 레벨의 결정사항과 하위 레벨의 피드백을 표시하는 방식으로 작성할 수 있다(Leveson, 2019). Figure 1은 계층적 안전 제어 구조에 대한 전형적인 예시로 시스템 개발 구조(왼쪽)와 운영 구조(오른쪽)의 두 가지 기본 계층적 제어 구조와 이들 간의 상호작용을 보여준다. 제어 구조의 각 레벨에는 하위 수준 구성요소 간 상호작용 및 동작을 제어하는 컨트롤러(controller)가 포함되어 있다. 상위 수준의 컨트롤러는 전반적인 안전 정책, 표준 및 절차를 제공하고(아래 방향 화살표), 사건 및 사고 보고서 등 다양한 유형의 보고서를 통해 그 효과를 피드백 받을 수 있다(위 방향 화살표)(Leveson, 2019).

CAST는 시스템 이론 기반의 사고원인 분석 방법으로 시스템적 관점에서 사고 인과관계를 분석하는 구조화된 기술이다(Leveson, 2019). CAST는 분석 방법이며 조사기법은 아니다(Leveson, 2019). 그러나 사고 조사 과정에서 CAST 분석을 수행하면, 사고가 발생한 이유에 대한 포괄적인 설명 자료와 사고 예방을 위한 권고사항을 작성하기 위해 어떤 질문에 답해야 하고 어떤 정보가 수집되어야 하는지를 파악하는 데 도움이 될 수 있다(Leveson, 2019).

정리하면, STAMP는 사고가 어떻게 발생하는지에 대한 모델(model) 또는 가정들의 집합이라 할 수 있으며, CAST는 시스템 이론에 기초한 사고원인 분석 방법으로 STAMP를 사용하고 있다(Leveson, 2019). STAMP는 상향식이 아니고 하향식이기 때문에 매우 복잡한 시스템에도 적용할 수 있고, 사고나 손실의 원인 요소가 될 수 있는 사람, 조직, 소프트웨어, 안전문화 등을 모두 포함하고 있다. 따라서 이러한 사항들을 다른 방법으로 별도로 다루지 않아도 되는 장점이 있다(Leveson, 2019). STAMP를 이용한 사고 분석 순서는 'CAST Handbook(2019)'에 제시되어 있으며, 다음과 같이 정리할 수 있다.

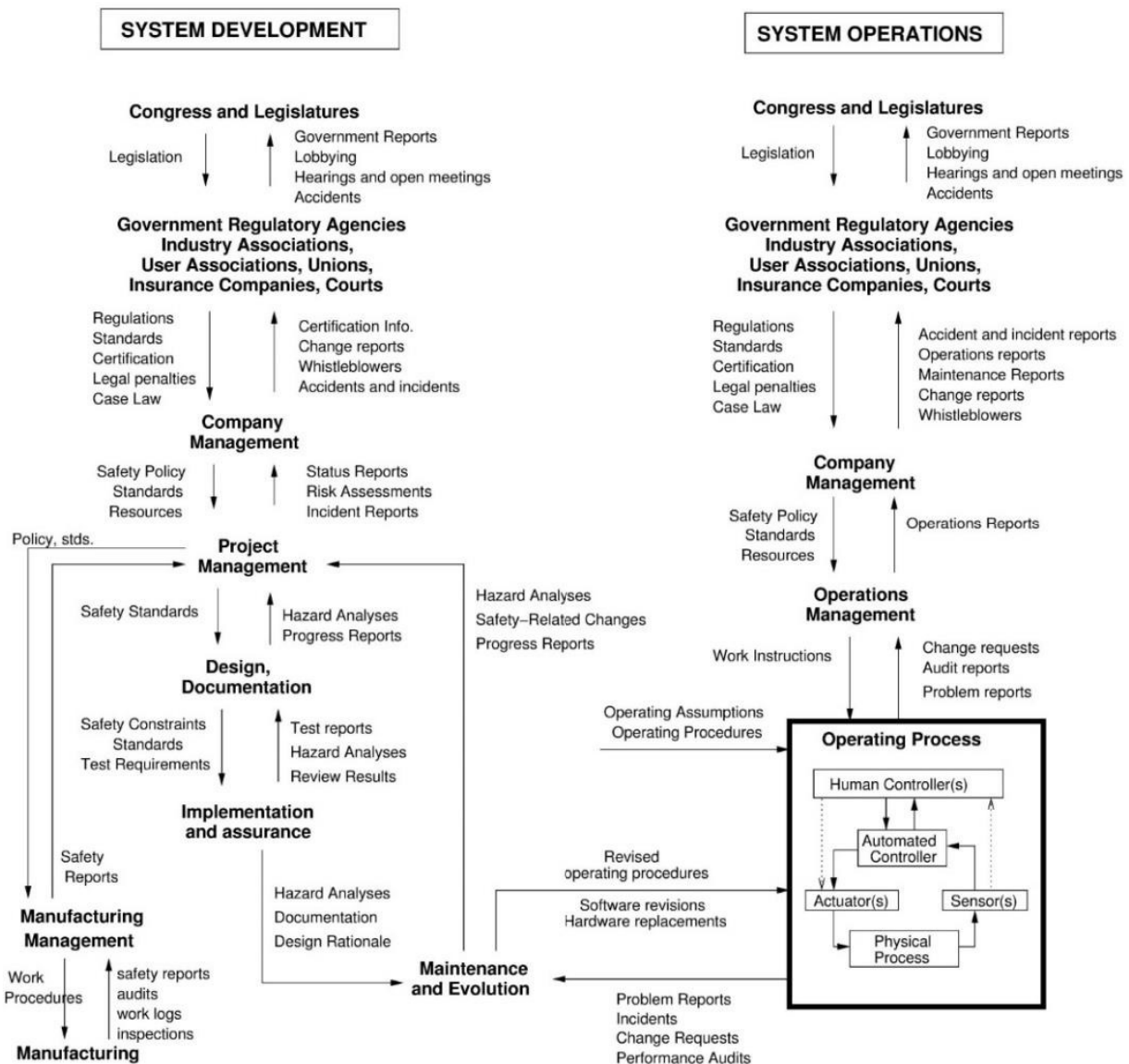


Figure 1. A generic safety control structure of STAMP (Leveson, 2019)

- ① 분석에 필요한 기초자료 수집
- ② 안전 제어 구조 모델링
- ③ 안전 제어 구조의 구성요소를 조사하여 손실 방지에 효과가 없었던 이유 파악
- ④ 손실에 기여한 안전 제어 구조의 결함을 전체적 관점에서 파악
- ⑤ 유사 손실 방지를 위한 권고사항 작성

## 2. 분석 대상 사고

분석 대상 사고는 2015년과 2016년 초에 휴대전화 생산업체의 3차 협력업체인 휴대전화 부품을 가공하는

사업장 3개사에서 발생한 메탄올 중독사고이다. 이 3개 협력업체에서 CNC 절삭기를 이용하여 알루미늄 부품의 절삭 및 검사작업을 수행하던 6명의 파견근로자가 고농도의 메탄올에 노출돼 시력 및 뇌손상이 발생하였다. 자세한 내용은 서론에 이미 설명되어 있다. Table 1에는 Lee et al.(2017)의 논문에 제시된 메탄올 중독에 의한 재해자 관련 정보를 나타내었다.

## 3. 분석 대상 문헌

연구자들이 메탄올 중독 관련 사고조사에 직접 참여하지 않았기 때문에 기존에 발표된 문헌자료를 중심으로



**Table 1.** Subject cases with non-oral occupational methanol poisoning during aluminum CNC cutting (Lee et al., 2017)

Case	Age	Gender	Period of employment	Employer of labor	Labor supply agency	Date of first visit to hospital
A	27	F	2015.9.21. ~ 2016.1.16.	YN	NJ	2016.1.16
B	27	M	2015.9.2. ~ 2016.1.22.	YN	NJ	2016.1.22
C	25	F	2016.2.11. ~ 2016.2.16.	BK	DR	2016.2.17
D	28	M	2015.12.22. ~ 2015.12.30.	TY	SS	2015.12.30
E	27	M	2015.1.13. ~ 2015.2.2.	TY	PH	2015.2.2
F	33	M	2015.9.11. ~ 2016.1.16.	BK	DS	2016.1.16

로 사고 분석을 수행하였다. 사고 분석에는 모두 인터넷을 통해 공개적으로 취득할 수 있는 논문, 연구보고서, 전문지의 기사, 법원 판결문 등을 활용하였다. 연구보고서를 바탕으로 작성하여 연구보고서와 동일한 내용을 다룬 논문이 있으면 동료 심사를 통과한 논문을 이용하여 분석하였고, 연구보고서는 참고자료로 활용하였다. 신문기사는 그 수가 너무 많고, 일반적인 내용을 다루고 있어 분석 대상에서 제외하였다.

메탄올 중독 환자 2명의 사례를 보고한 논문(Ryu et al., 2016)에서는 사고와 관련된 3가지 시스템적 문제점을 요약하여 제시하였으나, 이 논문은 사고원인 분석보다는 메탄올 중독 환자의 진단사례에 초점이 맞춰져 있고, 제시된 사고의 원인도 다른 보고서에 모두 포함되어 있어 분석 대상에 포함시키지 않았다.

안전보건공단에서 작성한 재해조사의견서는 공개 대상이 아니어서 분석 대상에서 제외하였고, 참고자료로만 활용하였다. 그리고 안전보건공단 웹사이트에 게시된 메탄올 취급근로자 및 급성중독 관련 자료는 재해예방을 위한 목적으로 메탄올과 관련된 전반적인 내용이 포함되어 있어 분석 대상 목록에서는 제외하였다. Table 2에는 분석에 활용한 문헌의 목록을 나타내었으며, 분석 대상 문헌의 내용은 다음과 같이 요약할 수 있다.

① Lee et al.(2017)은 사고원인을 하돈 매트릭스(Haddon matrix) 방법을 이용하여 사고원인을 분석하고, 그 결과를 인적 요인, 물질·기계 요인, 물리환경 요인, 사회·경제·환경 요인으로 구분하여 제시하였다. 이 논문은 노동건강연대(Lee et al., 2016)에서 작성한 “2016년 스마트폰 제조 하청사업장에서의 메탄올 급성중독 직업병 환자군 추적조사 및 사후관리 방안”에 대한 연구보고서를 정리한 내용과 추가적인 분석 내용을 포함하고 있다.

② Park et al.(2016a)은 사고원인을 “1) 사업주가

산업안전보건법을 모름, 2) 상시 근로자 5인 미만 사업장의 산업안전보건법 적용 제외로 인한 사업장 내부 안전보건관리체제의 부재, 3) 일시적 물량과다로 불법파견근로자 사용”의 세 가지로 제시하였으며, 이를 개선하기 위한 정책적 대안을 제시하였다. 이 논문은 산업안전보건연구원(Park et al., 2016b)에서 발간한 “영세소규모 제조업체와 종사근로자의 산업보건학적 취약성 원인과 대책”에 대한 연구보고서의 내용을 토대로 작성하였다.

③ Lee(2016)는 휴대전화 부품 제조업체 3개소에서 발생한 사고와 관련하여 메탄올의 독성학적 정보와 메탄올 급성중독과 관련된 전반적인 발생원인과 그에 따른 사고 예방방안을 제시하였다.

④ 서울대저널에 게재된 기사는 메탄올 중독사고와 관련된 사회구조적 문제점을 제시하였고(Shin, 2016), Kim(2018)에 의해 게재된 기사는 메탄올 중독사고 발생 후 일정 시점이 지난 후 사회적 문제점 등을 기술하였다.

⑤ 서울중앙지방법원(Seoul Central District Court, 2021)의 판결문은 근로자 3명의 메탄올 중독에 대한 판결문으로 사고와 관련된 전반적인 내용과 사업주의 산업안전보건법 위반에 관련된 내용을 사실에 근거하여 제시하고 있다.

#### 4. 분석 모델 작성

Table 2에 제시된 ①~④의 논문과 보고서는 3개의 3차 협력업체 사업장에서 발생한 6건의 사례 모두를 대상으로 분석한 결과를 제시하고 있어 본 연구에서도 하나의 사업장이 아닌 3개 사업장에 공통으로 적용 가능한 모델을 작성하고, 분석을 수행하도록 하였다. 3개 사업장의 규모와 운영방식이 서로 다를 수 있으나 소규모 사업장의 구조가 단순하기 때문에 소규모 사업장을 중

**Table 2.** List of literature on methanol poisoning in 2015 ~ 2016

No.	Author (Year)	Subject	Source
①	Lee et al. (2017)	Why did non-oral occupational methanol poisoning occur in South Korea in the 21st century?	Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene
	Lee et al. (2016)	Tracking investigation of methanol acute poisoning occupational disease patients in 2016 and post-management plans at smart phone manufacturing subcontractors	Solidarity for Worker's Health, Korean Industrial Hygiene Association
②	Park et al. (2016a)	What caused acute methanol poisoning and what are the countermeasures?	Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene
	Park et al. (2016b)	Occupational health and safety vulnerability of workers in micro and small enterprises: Causes and measures	OSHRI, KOSHA
③	Lee (2016)	Toxicological hazards of methanol and causes of acute poisoning accidents	Work Law
④	Shin (2016)	Workers' rights evaporated with methanol, all that remains is the wound	Seoul National University Journal
	Chung (2018)	Workers' health is still a long way off after the methanol poisoning accidents	
⑤	Seoul Central District Court (2021)	Civil Division Judgment 48. Incident 2016 Gahap 535017 Compensation for damages (San (Occupational accident)). 2021.2.4.	Court of Korea

심으로 모델을 작성하였다.

모델에는 우선 업무의 흐름에 따라 분석이 필요할 것으로 판단되는 기관을 나타내었다. 그리고 분석 대상 문헌에서 언급된 기관을 추가로 반영하여 완성하였다. 분석 대상 문헌에서 사고원인이 제시되어 있는 기관은 실선으로 표시하였고, 모델에 반영되어 있으나 문헌에 사고원인이 언급되지 않은 기관은 일점쇄선으로 표시하였다. 그리고 실제로 업무 수행과정에 포함되어 있어야 하지만 업무를 수행하지 않은 기관은 점선으로 작성하였다. 분석 모델에서 기관 또는 업체(부서 포함) 간의 지시 또는 결정사항과 그에 따른 피드백은 실제 수행여부 등을 확인하여 실선, 점선, 일점쇄선의 화살표로 구분하여 표시하였다.

## 5. 사고 분석 방법

분석 대상 문헌을 기반으로 STAMP-CAST 분석을 위한 모델을 작성하고, 이 모델을 기반으로 시스템 구성요소별로 분석 등을 수행하였다. 사고 분석에는 기존에 발표된 논문이나 보고서의 내용이 모두 사실임을 가정하고 별도의 검증 없이 이용하였다. STAMP-CAST 분석 방법에 따라 당시 상황 및 배경 설명 등 사고원인과 관련된 내용은 모두 분석에 활용하였다.

분석 결과에는 관련 내용이 언급된 보고서 번호를 표시하여 어느 보고서에서 언급된 내용인지 확인이 가능하도록 하였다. 분석 대상 문헌에서 다른 문헌의 내용을 인용한 경우에는 분석 대상 문헌의 번호를 출처로 표기하였다. 분석 대상 문헌에서 언급되었지만, 사고원인과 관계가 적은 산재발생 이후의 내용은 분석 대상에서 제외하였다. 다만, 병원(의사)과 관련된 사항은 병원(의사)의 조치가 추가 재해자 발생에 영향을 준 것으로 확인되었기 때문에 관련 내용을 포함하여 분석을 수행했다. 시스템 구성요소의 안전 책임과 관련된 사항은 일부 보고서에 언급되긴 하였지만, 대부분 법적인 내용을 풀어서 설명한 내용이었기 때문에 보고서의 내용을 활용하지 않고, 법적인 내용을 중심으로 작성하였다.

## III. 결 과

### 1. 사고 분석 모델

Figure 2에는 메탄올 중독사고와 관련된 시스템의 구성요소들을 반영하여 작성한 사고 분석 모델을 나타내었다. 모델의 구성요소는 “공장설립 → 기계설비 설치 및 인증 → 부품발주(납품계약) → 공정설계 및 생산 / 안전관리”와 같은 휴대전화 부품 생산업무의 흐름에

따라 배치하려고 하였으며, 분석 대상 문헌에서 구성요소에 대한 사고원인이 제시되어있는지 여부에 따라 세 가지로 형태로 구분하였다.

첫째, 분석 대상 문헌에 사고원인이 제시되어 있는 조직 또는 업체로 실선의 상자로 표시하였다. 휴대전화 부품을 생산하고 있는 3차 협력업체의 사업주 및 관리부서, 생산부서, 생산공정, 인력파견업체와 파견된 근로자(생산작업자), 원청인 모기업과 그 1차 및 2차 협력업체, 고용노동부, 병원(의사) 등으로 구성되어 있다. 사고가 발생한 3개의 3차 협력업체 사업장에는 사업장 상시 근로자수가 5인 미만인 소규모 사업장도 있는 것으로 확인되어 사업주와 관리부서를 통합하여 나타내었고, 생산부서는 별도로 표시하였다. 병원(의사)은 사고가 발생한 이후에 작업자가 찾아가는 곳이어서 사고원인과 관련이 적다고 할 수 있지만, 재해 발생 이후 제대로 된 조치가 이루어지지 않아서 다른 재해자가 추가로 발생하는 계기를 제공하였기 때문에 사고 분석 모델에 포함하였다. 그리고 분석 대상 문헌에서 여러 병원(의사)이 언급되었지만 병원(의사)과 관련된 전체적인 문제점을 찾기 위해 하나의 구성요소로 나타내었다. 생산공정은 재료입고, 지그 이물질 확인, 지그에 재료 안착, CNC 가공, 제품 확인, 제품 탈착, 칩 제거 및 건조, 검사의 순으로 진행되며, CNC 가공을 제외한 대부분의 작업은 작업자에 의해 수동으로 진행된다. 사고 분석 모델에서는 이 사항을 생산작업자와 연결시켜 나타내었다.

둘째, 분석 대상 문헌에서는 사고원인을 제시하지는 않았지만 휴대전화 부품을 생산하기 위한 업무의 흐름에서 보면 사고 발생에 기여할 수 있는 업체 또는 기관들로 일점쇄선의 상자로 표시하였다. 휴대전화 부품 제조공장의 승인에 관여하는 산업통상자원부와 지자체, 사업장의 국소배기장치 관련 유해위험방지계획서를 심사하는 안전보건공단, 산재보험을 운영하는 근로복지공단, 사업장에 안전보건기술지원을 수행하는 안전 및 보건관리 전문기관, 사업장에 필요한 기계·설비를 제작하고 납품하는 협력업체, 휴대전화 부품 가공에 필요한 재료와 자재를 납품하는 협력업체 등이다.

셋째, 관련 법 또는 규정 등에 따른 역할이 있었지만 실제로는 업무를 수행하지 않은 기관들은 점선의 상자로 표시하였다. 사업주의 요청에 따라 특수건강진단기관 및 작업환경측정기관은 특수건강진단과 작업환경측정을 수행해야 했지만 사업주의 요청이 없었기 때문에 실제로는 역할이 없었다.

분석 모델에서 실선의 화살표는 실제로 수행되었거나 수행한 업무 중에서 사고원인이 제시된 사항이다. 일점쇄선의 화살표는 실제로 수행되었지만 분석 대상 문헌에서 관련 내용이 제시되어 있지 않은 사항이다. 점선의 화살표는 관련 법 또는 규정 등에 따라서 실제로 수행되었어야 하지만 수행되지 않은 사항을 나타낸다.

## 2. 시스템 구성요소별 사고 기여 요인

사고 분석 모델(Figure 2)의 구성요소 중에서 실선 상자는 분석 대상 문헌에서 문제점들을 제시하였거나 관련 내용이 언급된 시스템 구성요소이다. 이 구성요소에 대한 분석을 수행하고, 그 결과를 통합하여 글상자에 기술하였다. 모델에서는 사업주 및 관리부서와 생산부서를 구분하여 제시하였지만, 5인 미만의 소규모 사업장은 사업주, 관리부서, 생산부서가 별도로 조직되어 있지 않거나 책임과 역할을 구분하기 애매하기 때문에 이들을 하나로 통합하여 분석하였다. 그리고 분석 모델에서 점선 또는 일점쇄선의 박스로 표시된 구성요소는 5건의 참고자료에서 사고원인에 대한 언급이 없었다. 따라서 산업통상자원부, 지자체, 안전보건공단, 근로복지공단, 공장 임대/설치인, 기계설비 설계 및 시공업체, 기계기구 납품업체, 재료 및 부자재 납품업체, 특수건강진단기관, 작업환경측정기관, 안전 및 보건관리 전문기관에 대한 분석 결과는 이번 장에 포함되어 있지 않다. 이와 관련된 내용은 이후에 별도로 기술하였다. 다만, 1차 및 2차 협력업체 대한 내용은 문헌에 일부 언급되어 있었으나 사고원인으로 보기는 어렵기 때문에 글상자만 작성하고 내용은 기술하지 않았다.

분석 결과에는 STAMP-CAST 분석 방법에 따라 시스템의 구성요소 각각에 대해서 안전보건 관련 책임, 결정 오류, 결정배경, 결함 등이 구분되어 제시되어 있다. 그리고 각 요인별로 분석 대상 문헌 번호를 표기하여 어느 문헌에서 제시된 원인 또는 문제인지 확인할 수 있도록 하였다. 구성요소별 안전 관련 책임 부분은 문헌에 일부 제시되어 있었지만 이 내용을 활용하지 않고, 산업안전보건법(산안법)과 파견근로자 보호 등에 관한 법률(파견법), 의료법 등의 법적 의무사항을 중심으로 작성하였기 때문에 번호를 표시하지 않았다. 법적 내용은 사고 발생 당시인 2016년을 기준으로 작성하였다.

분석 결과를 보면 시스템적 분석을 시도했던 ①번 문헌에서 가장 많은 원인을 제시한 것을 알 수 있다. 이 문헌에는 다른 문헌에서는 포함되지 않은 병원(의사)과

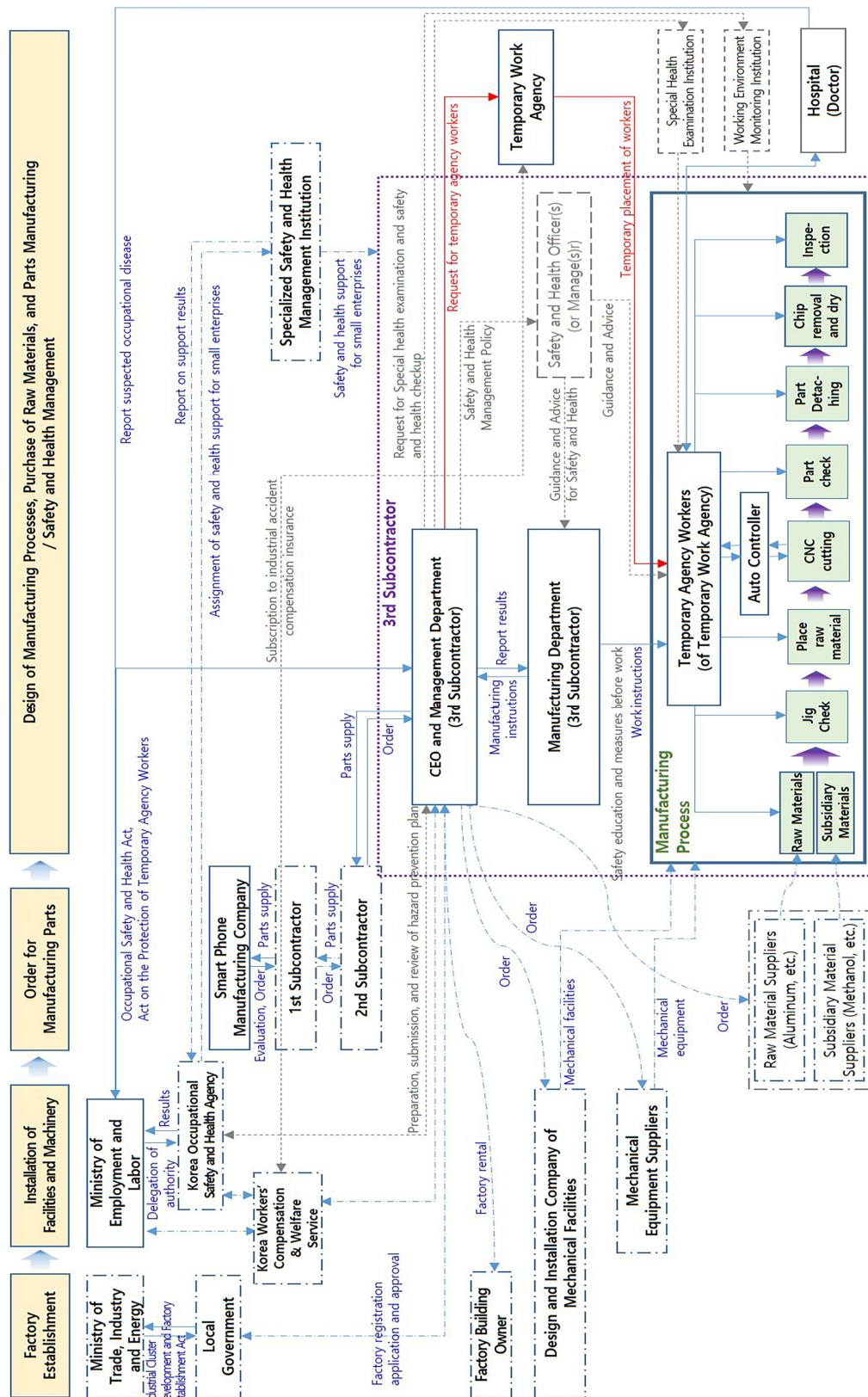


Figure 2. A safety control structure for methanol poisoning accident analysis



관련된 문제점도 제시하고 있다. 그러나 인체에 대한 유해성이 상대적으로 적은 에탄올 대신 메탄올을 선택한 이유가 논문에는 언급되지 않았고, 연구보고서에 제시되어 있었다. ②번 문헌에서는 고용노동부와 3차 협력업체 사업주의 문제를 체계적으로 제시하고 있다. 그러나 생산작업자의 고충 사항이나 원청의 문제, 병원(의사)과 관련된 문제 등은 거의 제시하고 있지 않았다. ③번 문헌에서는 정책적, 관리적, 기술적 원인 등 전반적인 문제를 제시하고 있지만 근로자 불법파견과 같은 문

제에 대해서는 언급되지 않았다. ④번 문헌에서는 주로 다단계 하도급 및 불법파견과 같은 사회구조적인 문제와 작업자의 인식부족과 같은 문제를 제시하였다. ⑤번은 연구문헌이 아니고, 법적 판결문이기 때문에 사고 발생과 관련된 작업환경, 작업방법, 보호구 제공, 정보 제공 등과 관련된 사업주의 법적 위반 사실을 자세하게 설명하고 있다.

Figure 2의 시스템 구성요소별로 분석한 결과를 다음과 같이 각각의 글 상자에 기술하였다.

## ■ 정부(고용노동부)

### (법적 책임)

(산업법) 산업안전 · 보건정책의 수립 · 집행 · 조정 및 통제

(산업법) 사업장에 대한 재해 예방 지원 및 지도

(파견법) 파견근로자를 보호하고 근로자의 구직과 사용자의 인력확보를 쉽게 하기 위하여 고용정보의 수집 · 제공 및 직업지도 등의 시책을 마련 · 시행

### (행정적 결점)

① 산재보험 가입사업장 또는 작업환경측정 대상 사업장을 사업 대상으로 선정함에 따라 행정 및 감독의 사각지대가 발생

③ 정부차원의 직업병 감시체계 미흡(화학물질관리 정책과 중독성 질환 발생 모니터링 등)

① 휴대전화 모델 변경 등으로 불법파견과 야근이 빈번한 시기에 대응하는 정부의 계획 및 감독 미흡

④ 메탄올 중독사고가 발생하기 전까지 해당 사업장을 대상으로 한 정부의 근로감독 미흡

① 정부의 미온적인 근로시간 및 근로자 파견 감독(감독시스템이 제대로 가동되지 않음)

④ 파견업체 단속 시 미약한 처벌 부과

① 사고와 관련하여 전반적인 잠재 원인 조사보다는 수사 중심

② 특수건강진단제도가 급성 메탄올 중독의 예방이나 조기발견에 역할을 하지 못함

① 노동법과 같은 인권교육을 방치하는 국내의 교육 제도 미흡

### (배경 및 상황)

④ 제조업 중심의 종신 · 직업 고용이 대부분이던 시절 만들어진 산업안전보건법이 변화된 산업구조와 노동시장을 반영하지 못함

② 근로기준법 상 파견근로자는 상시근로자수에 포함하지 않도록 되어 있어 법 적용이 제외되는 조항이 많음

② 근로기준법이 일부 예외조항을 제외하면 기본적으로 5인 이상을 대상으로 하기 때문에 사고발생 사업장이 아닌 경우 고용노동부의 감독 및 점검에서 제외되기 쉬움

① 3차 협력업체 사업주가 산재보험에 가입하지 않아 모든 안전보건 감독 대상에서 제외됨

③ 다단계 하청구조의 하단에 있는 소규모 · 영세사업장은 산업안전보건법의 사각지대에 있음

④ 제조업 파견업체 시장이 너무 커져 있음

④ 산업안전보건 담당 감독관 수가 부족하여 사업장을 관리 · 감독하기 어려움

② 특수건강진단을 대체로 1년에 한 번씩 주기적으로 실시하고 있어 최대 6개월 정도 근무하는 파견근로자의 급성 메탄올 중독의 예방이나 조기 발견에 역할을 하지 못함

① 작업환경측정 시 사업주의 물질안전보건자료에 의존하는 관행이 있어 메탄올을 측정하지 못할 수 있음

① 특수건강진단은 작업환경측정을 기반으로 하기 때문에 메탄올을 측정하지 못할 수 있음

### (지식 및 인식의 결함)

④ 공정의 유해성 · 위험성을 인지하지 못함

## ■ 원청(모기업)

### (안전보건 책임)

○ 협력업체의 근로자가 안전하게 작업하도록 적정하게 계도, 권고

**(결정 오류)**

- ① 휴대전화 제조 대기업이 2차 하청업체의 안전보건을 고려한 경영방침을 수립하지 않음
- ④ 하청업체에 낮은 가격으로 계약을 요구함

**(결정 배경)**

- ① 휴대전화 제조 대기업의 안전보건 지원은 일반적으로 공급망 전체가 아닌 계약자 또는 하청업체(1차)에게 제공됨
- ① 휴대전화 모델 변경 주기 단축 및 모델 변경 시 단기간에 휴대전화 수요가 집중됨

■ 1, 2차 협력업체

- 사고원인 관련 내용이 언급되지 않음

■ 3차 협력업체의 사업주 및 관리·생산부서

**(안전보건 책임)**

- (산안법) 근로자(파견근로자 포함)의 안전과 건강을 유지·증진시키고, 국가의 산업재해 예방시책 준수
- (산안법) 산업안전보건법에 따른 산업재해 예방기준 준수
- (산안법) 쾌적한 작업환경 조성 및 근로조건 개선
- (산안법) 사업장의 안전 및 보건에 관한 정보를 근로자에게 제공
- (산안법) 산업안전보건법에 따른 안전·보건 점검 등의 업무(관리감독자로서의 업무)

**(법적 의무 이행 미흡 또는 법 위반 등)**

- ①②④⑤ 근로자를 파견 받아 종사하게 할 수 있는 업무가 아닌 사업장 내 단순 제조·가공 및 제품검사 업무에 파견근로자가 종사하도록 함(근로자 파견 대상 업무가 아닌 업무를 대상으로 상시적으로 근로자 파견 역할을 제공받음)
- ④ 파견근로자 사용업체에서 파견법을 악용하여 6개월 단위로 계약을 반복 체결해 파견근로자들을 상시적으로 사용함
- ① 파견근로자들을 공식적인 기록이 없는 상태에서 일을 시킴(근무일지 미작성 등)
- ① 근로기준법에서 정한 주당 최대 근무시간(68시간)을 초과해서 근로자에게 일을 시킴
- ③ 메탄올 사용에 따른 현장 관리 및 근로자 건강 보호 대책 부재
- ① CNC 절삭기에 국소배기장치를 제대로 연결하지 않음
- ① CNC 절삭기의 덮개를 제거하여 메탄올이 작업장에 비산되도록 함
- ① 메탄올 증기를 배출시키기 위한 환기시설을 설치하지 않거나 정상적으로 가동하지 않음
- ④⑤ 메탄올 증기 발산원을 밀폐하는 설비 또는 그 증기를 사업장 밖으로 배출시킬 수 있는 성능을 가진 국소배기장치를 설치하지 않음
- ①②③④ 산업안전보건법에 따른 작업환경측정을 실시하지 않고(또는 형식적 수행), 특수건강진단을 실시하지 않음
- ②④ 근로자에 대한 안전교육을 하지 않음(산업안전보건법 등)
- ① 파견근로자에게 작업방법에 대해서만 교육하고, 금속가공용(메탄올)의 안전보건(독성)에 대한 정보를 제공하지 않음
- ③ 메탄올 취급 근로자에 대한 보건교육 미실시 및 물질안전보건자료(MSDS) 및 경고표지에 의한 화학물질 유해성 정보전달 미흡(⑤ 작업 배치 전에 메탄올의 특성, 인체에 미치는 영향·증상, 취급주의사항, 착용할 보호구와 착용방법, 위급사항 시 대처방법 등을 알리지 않음)
- ⑤ 메탄올을 저장할 일정한 장소를 지정하지 않음
- ③ 개인보호구 착용에 대한 관리 부실
  - ① 적절한 보호구를 제대로 지급하지 않음(유기화합물용 안전장갑, 보안경 등이 필요하나 면장갑, 일회용 마스크 지급)
  - ②④⑤ 적절한 호흡용 보호구를 지급하지 않아 근로자가 적절한 보호구 미착용(송기마스크, 방독마스크)
  - ⑤ 메탄올 소분작업을 하는 근로자들에게 불침투성 보호복·보호장갑·보호장화 및 피부보호용 바르는 약품을 제공하여 이를 사용하도록 조치하지 않음
- ⑤ 메탄올이 흘날리는 CNC 가공공정에 종사하는 근로자들에게 보안경을 지급하여 이를 착용하도록 조치하지 않음
- ② 사업장 내부 안전보건 관리체계 없음(사업장 내부에 산업안전보건을 담당하는 인력을 선임 또는 지정하지 않음)
- ① 위험성평가를 수행하지 않음
- ③ 화학물질 관리체계 미비

**(잘못된 결정)**

- ①③④⑤ 메탄올 대신 관리대상 유해물질인 메탄올을 CNC 절삭기의 절삭유로 사용함
- ④ 근로자 파견업체와 파견근로자 사용업체가 파견근로자에 대한 의무를 서로에게 떠넘김(다단계 하도급 구조 속에서 파견근로자 사용사업주가

파견근로자를 책임지려 하지 않음)

- ① 작업자에게 작업방법만 간단하게 설명하고, 안전교육은 하지 않음
- ① 근로자들에게 임금, 휴식 등의 기본정보를 제공하지 않음
- ① 파견근로자가 아파서 결근해도 신경 쓰지 않음
- ① 좁은 공간에 여러 대의 CNC 절삭기를 배치함
- ③ 화학물질 중독 초기 증상자에 대한 조기인지와 긴급조치 부실
- ①② 겨울철이어서 전체 환기구인 창문을 닫고 작업하도록 하여 환기가 되지 않음
- ① 에어건으로 잔여 칩과 메탄올을 불어내기 위한 안전지침을 작성하지 않음
- ③ 주문량 증가에 따라 근로자가 장시간 · 야간작업을 수행하도록 하여 위험물질에 과다 노출될 수 있는 분위기를 형성함

#### (잘못된 결정 및 법적 의무 이행 미흡 등의 배경)

- ④ 원청이 낮은 가격으로 계약을 요구함에 따라 재정 압박에 시달림
- ③ 휴대전화 산업의 발달로 알루미늄 제품에 대한 수요량 증가
- ① 원청에서 부품의 새로운 제원을 제시하여 하청업체 공정에 변화가 생김(에탄올 또는 메탄올을 절삭유로 사용)
- ④ 메탄올의 가격이 에탄올의 1/3 수준임
- ① CNC 절삭기의 절삭유로 사용하는 휘발성 에탄올(알루미늄 소재 정밀가공용)이 개발되었으나, 국내 업체들이 CNC 가공을 위한 절삭유로 에탄올 대신 독성이 강한 메탄올을 사용함
- ① 생산량 변동 폭이 매우 큰 휴대전화 시장의 특성(휴대전화 신모델이 출시되는 짧은 기간에 수요가 집중되어 생산물량의 유동성이 편차가 큼, 단기간에 업무량이 정체)
- ④ 휴대전화 제조 관련 물량 변동이 매우 심하여 원청의 요구에 따라 생산량(물량) 증감이 커서 ② 근로자와 정규직 고용계약 체결이 어려워 고용 유연화를 고려함
- ②④ 파견근로를 이용할 경우 인력이 필요한 경우에만 활용할 수 있어 인건비 절감 가능
- ④ 파견근로자의 근로조건 보장 등 근로계약 이행의 의무는 파견근로자와 근로계약을 체결한 파견사업주에게 있고, 사용사업주는 파견근로자의 임금, 4대 보험료 및 관리비 등을 파견사업주에게 지급함에 따라 사용사업주가 근로계약 이행의 의무를 부담하지 않으면서 파견근로자를 자유롭게 사용 · 해고할 수 있는 구조가 형성됨
- ④ 파견근로자가 건강 문제 등을 이유로 파견근로자의 결원이 발생하더라도 또 다른 파견 인력을 사용할 수 있음
- ① 소수의 관리 인력으로 다수의 파견근로자 관리
- ② 근로기준법 상 파견근로자는 상시근로자수에 포함하지 않음
- ② 산업안전보건법에서 상시 근로자수 5인 미만 사업장은 사업장 내부에 안전보건 담당 인력을 별도로 선임 또는 지정할 의무가 없어 사업주가 무관심하면 ②③ 다단계 하청구조를 가진 소규모 · 영세사업장은 산업안전보건법의 사각지대에 놓일 수 있음
- ② 산업안전보건법에 따라 상시 근로자 5인 미만 사업장은 제2장(안전보건관리체제) 및 제3장(안전보건규정)의 모든 규정과 그밖에 여러 규정에 대한 적용을 제외 받음(산안법 제3조)
- ① 사업주가 감독 당국과 상위 공급 라인(원청)으로부터 안전 및 보건에 대한 조언을 들을 수 없음
- ④ 파견법에서는 출산 · 질병 · 부상 등으로 결원이 생기거나 간헐적으로 인력을 확보해야 하는 경우에 한해 예외적으로 제조업 파견을 가장 6개월까지 허용함
- ② 사업주가 파견근로자를 최대 6개월까지 단기간 사용함에 따라 통상 1년에 1회 실시하는 특수건강진단을 받지 않고 넘겨갈 수 있음
- ① 겨울철의 추운 날씨

#### (지식 및 인식의 결함)

- ② 사업주가 산업안전보건법의 내용을 모름(또는 산안법의 존재 자체를 모름)
- ②③ 메탄올의 유해성 · 위험성에 대해 모름(또는 인지 부족)
- ④ 공정의 유해성 · 위험성을 인지하지 못함

### ■ 생산 작업자 (파견업체 소속)

#### (안전보건 책임)

- (산안법) 산업안전보건법에 따른 산업재해 예방에 필요한 사항 준수
- (산안법) 사업주, 근로감독관, 안전보건공단 등 관계자가 실시하는 산업재해 방지에 관한 조치 준수
- (산안법) 산업안전보건법에 따른 사업주의 안전 · 보건 조치사항 준수

#### (잘못된 결정)

- ① 구두로 계약을 맺고 근로계약을 작성하지 않음

- ① 파견업체 사업주의 4대 보험 미가입 요구를 수용함
- ① 자신이 어떤 환경에서 어떤 노동을 몇 시간 동안 하는 지 등의 노동조건을 제대로 알지 못하고 작업을 수행함
- ① 자신의 질병의 원인을 업무에서 찾아보려고 하지 않음
- ① 메탄올 중독 증상을 과로로 인한 일시적인 장애로 오인하고 병원에 늦게 감(몸 상태가 평소와 다른 것이 장시간 노동으로 피로가 쌓인 탓이라 생각하고, 시력을 거의 잃었을 때 큰 병원을 찾음)
- ① 동료 근로자가 아파서 출근하지 않아도 신경 쓰지 않음

#### (의도하지 않은 잘못된 행동)

- ② 적절한 개인용 보호구를 지급받지 못해 개인용 보호구를 착용하지 않음
- ④⑤ 적절한 개인보호구 없이 업무 중 피부 및 호흡기로 지속적으로 메탄올에 노출(③ 호흡용 보호구(송기·방독 마스크) 미착용)
- ③ 화학물질용 보호복과 안전장갑 미착용
- ④ 착용한 목장갑이 메탄올로 인해 축축해지도록 작업함
- ④ 면소재의 마스크를 착용하여 메탄올을 차단하지 못함
- ①⑤ 메탄올 농도가 기준치의 5~10배를 초과하는 작업장에서 작업 수행
- ④ CNC 절삭기 옆에서 식사

#### (지식 및 인식의 결함)

- ④ 사용하는 물질에 대한 정보를 모름(메탄올의 유해성·위험성을 인식하지 못함)
- ④ 공정의 유해성·위험성을 인지하지 못함
- ① 제조업 파견 근로자 불법인지 모름
- ① 자신이 근무하는 사업장명을 모름
- ① 자신이 산재보험에 가입하지 않았으므로 산재보험을 적용받을 수 없다고 생각함
- ① 자신의 임금이 어떻게 산정된 것인지 모르고 임금을 받음
- ① 사용자에게 안전보건, 임금, 휴식 등의 정보를 권리로 요구할 수 있다는 내용을 모르거나 요구하지 않음
- ① 시각 이상, 어지러움, 구토 등의 증상이 과로 때문인 것으로 판단하고, 자신의 작업환경을 원인으로 생각하지 못함
- ① 직업병 의심 및 요양급여 신청 절차에 대한 정보가 없음
- ④ 같은 사업장에서 근무한 재해자가 서로의 존재자체와 발병 사실을 모름

#### (생산직업자(파견근로자)의 상황 및 인식)

- ① 인력파견업체를 통해 휴대전화 부품을 만드는 파견근로자 사용업체에 들어감
- ④ 인력파견업체 직원들의 고용주는 휴대전화 부품 제조업체 사업주가 아닌 파견업체 사업주
- ① 인력파견업체에서 파견사업장에 대한 정확한 정보를 제공하지 않아 작업현장에 간 후에 현상이 어떻게 돌아가는지 알게 됨
- ① 청년취업의 어려움 속에 단기간 고소득 보장 집중 아르바이트 선호 추세(청년실업의 만연으로 비교적 괜찮은 벌이라면 단기간의 과로나 열악한 환경의 아르바이트에 참여하는 경향)
- ① 단기간에 조금이라도 더 많은 임금을 받기를 원함
- ④ 단기간 파견이 대부분이어서 근로자들이 사업장을 옮겨 다니면서 근무함
- ④ 하나의 사업장에 서로 다른 파견업체에서 파견된 근로자가 일하고 있어 작업환경이나 안전에 대해 근로자들 간의 정보교환이 없음
- ① 더 좋은 조건의 일자리가 나오면 금방이라도 떠날 생각을 가지고 있어 주변에 누가 근무를 하던지 잘 친해지려고 하지 않고, 주변 근로자에 대해 궁금해 하지 않음
- ①⑤ 취급하는 물질(메탄올)의 유해·위험정보(시각 이상, 어지러움, 구토 등)를 제공받지 못함(안전보건교육을 받지 못함)
- ① 장시간 노동으로 인한 피로 누적
- ① 야근으로 인한 체력 저하
- ① 근로자가 사업주에게 근로자의 권리를 요구하기 어려운 사회구조적 환경
- ② 산업안전보건법에 대한 교육을 받지 못함
- ① 노동법 등 노동인권교육을 받지 못함

### ■ 생산공정 및 기계설비

#### (잘못된 작업방법 및 설비 결함)

[CNC 절삭 가공]

- ① CNC 절삭기 덮개를 열어 놓고 일하도록 하여 메탄올 증기가 사업장 내로 확산



- ④ CNC 절삭기에서 분사되던 메탄올 중 일부가 새어 나옴
- ① CNC 절삭기로 피가공물을 가공할 때 절삭유가 튀거나 비산하지 않도록 덮개가 장착되어 있어야하나 없거나 정상적이지 않음

[가공물 탈착]

- ① 가공된 제품을 만질 때 제품에 묻은 메탄올이 면장갑을 낀 손에 묻어 피부로 다량의 메탄올이 흡수됨(면장갑이 메탄올의 저장소 역할을 함)

[금속칩 제거 및 메탄올 건조]

- ①③④⑤ CNC 절삭기로 가공된 부품을 절삭기 밖으로 꺼내서 메탄올과 금속칩을 에어건으로 불거나 말리도록 하여 작업자 노출 및 사업장 내 확산
- ① 생산량 증가로 인해 메탄올이 마르지 않는 작업장에서 부품을 자연 건조

[절삭유 보충]

- ⑤ 드럼통에서 든 메탄올을 소분하는 작업을 창문이 없는 곳에서 수행하도록 함
- ① CNC 절삭기에 보충하기 위한 메탄올의 보관통을 작업장 내에 보관하도록 함
- ① 메탄올을 사업장 내에서 수동으로 보충하도록 함(⑤ 수동펌프를 이용하여 CNC 절삭기에 부착된 통에 메탄올을 주입)

[유해한 작업환경]

- ① 좁은 공간에 수십 대가 넘는 CNC 절삭기가 설치됨
- ①②③ CNC 절삭기에 국소배기장치가 없거나 정상적으로 작동되지 않아 작업장 내 위험물질 확산
- ④ 공장의 문이 닫혀 있고, 환기구가 없음
- ①② 전체적으로 환기가 부족하여 작업장에 고농도의 메탄올이 작업장에 확산됨
- ① 특정 시간에 많은 양의 메탄올을 빠르게 소비하여 작업장에 고농도의 메탄올이 유지됨
- ①③④⑤ 사업장 내 메탄올 농도가 단기간 노출기준인 250 ppm의 몇 배가 넘는 1000 ppm 이상인 작업환경(노출기준의 5~10배 수준, 최대 2,220 ppm)

■ 근로자 파견업체

(안전보건 책임)

(파견법) 파견근로자의 희망과 능력에 적합한 취업 및 교육훈련 기회의 확보, 근로조건의 향상, 그 밖에 고용 안전을 도모하기 위해 필요한 조치 마련

(파견법) 근로자와 근로자파견계약을 서면으로 체결하고 취업조건을 서면으로 고지

(법적 의무 이행 미흡 또는 법 위반 등)

- ④⑤ 근로자 파견이 금지된 제조업의 직접 생산 공정 업무를 대상으로 근로자를 불법으로 파견하여 직접 생산 공정업무인 CNC 가공 등의 업무에 종사하도록 함
- ① 파견근로자들에게 월급 실수령액 감액을 언급하면서 4대 보험 미가입을 유도함
- ④ 파견근로자들을 4대 보험에 가입시키지 않음
- ① 파견근로자보호 등에 관한 법률에 따른 근로계약의 내용에 들어가야 할 사항을 서면으로 체결해야 한다는 규정을 위반함
- ① 근로자가 일할 시간과 급여 외에 다른 노동조건에 대해서 정보를 제공하지 않음
- ① 근로계약을 작성하지 않음. 근로계약을 작성하더라도 근로자에게 교부하지 않아 파견근로자들이 자신의 노동조건을 알 수 없도록 함

(잘못된 결정 및 결함)

- ① 파견사업장에서 무엇을 하는지에 대한 정확한 정보를 모르고 근로자를 파견함
- ④ 근로자 파견업체와 파견근로자 사용업체가 파견근로자에 대한 의무를 서로에게 떠넘김
- ① 파견근로자의 메탄올 중독 증상을 동료나 사용사업주가 모르게 개인 질병으로 간주함
- ④ 사용업체로부터 나오는 각종 수당을 근로자에게 제대로 지급하지 않음

(잘못된 결정 및 법적 의무 이행 미흡 등의 배경)

- ① 파견근로자들을 4대 보험에 가입시킬 경우 불법행위의 증거가 남음
- ② 근로자 파견업체가 '사업지원서비스업'으로 등록되어 있어 산업안전보건법 제31조(안전·보건교육)의 적용이 제외됨

## ■ 병원(의사)

### (안전보건 책임)

(의료법) 최선의 진료를 다함으로써 국민 건강을 보호·증진함에 노력

### (진단 관련 문제)

- ① 메탄올 중독 환자를 다른 병명으로 진단을 내림
- ① 환자가 어떤 일을 하는지와 일하는 환경을 물어보지 않음
- ① 환자가 눈이 보이지 않는 증상의 직업 관련성을 주장했으나 이를 묵살함
- ① 같은 회사의 다른 직원이 눈이 보이지 않는 증상이 있음을 말했는데 이를 환자 진료와 연관시키지 못함
- ⑤ 근로자가 야간근무 중 메스꺼움과 구토 증상을 느껴 내원하였으나 혈액검사 결과 이상이 없다는 소견을 제시
- ① 환례 근로자 E, F는 여러 병원을 전전했으나 원인을 찾아내지 못함
- ① 근로자 E는 처음 병원을 찾은 지 1년 8개월 만에 고용노동부에 공식적으로 환례 근로자로 보고됨

### (지식 및 인식의 결함)

- ① 메탄올 중독에 대한 정보 부재

### (배경 및 상황)

- ① 직업환경의학과의 병원이 많지 않음
- ① 직업을 의심할 수 있는 질병에 대하여 직업환경의학과의 협진 의뢰하는 분위기가 형성되어 있지 않음
- ① 다른 직업병과는 달리 실명이라는 독특한 현증이 있는 중독증임에도 직업을 묻거나 의심하지 않는 우리나라 의료기관의 관행
- ① 의사가 질병의 직업적 관련성을 고려하지 않는 부적절한 의료 시스템 기반의 직업병 감시시스템 및 관행
- ① 환례 근로자들의 직업에 대해 관심을 두지 않는 관행
- ① 나이나 직업 등 타인의 신상이 궁금해도 물어보면 안 된다는 사회문화적 인식
- ① 파견근로자가 자신이 근무하는 사업장명을 몰라 중독사고 신고(확인)가 지연됨

## 3. 기존 문헌에 제시되지 않은 문제점

사고 분석 모델(Figure 2)에서 점선으로 작성된 부분은 분석 대상 시스템 내에서 정상적으로 작동하지 않은 사항이다. 그리고 일점쇄선으로 작성된 선과 박스의 구성요소와 관련된 사항은 분석 대상 문헌에서 사고원인을 제시하지 않았다. 다음 내용에는 분석 대상 문헌에서 언급되지 않아 점선으로 작성된 부분과 일점쇄선으로 작성된 구성요소를 중심으로 STAMP 모델 작성 및 분석 과정에서 추가로 찾은 문제점이나 관련 사항들을 정리했다.

### 1) 지자체, 근로복지공단, 안전보건공단

안전보건공단의 재해조사의견서에는 사고 발생 사업장 3개소 중 1개 사업장은 제조업이 아닌 인쇄업으로 등록한 것으로 나타나 있다(Kim et al., 2022). 정부에서는 특정 업종을 대상으로 감독을 수행하는 경우가 있다. 따라서 근로복지공단과 지자체에서는 사업장의 등록업종을 확인하여 제대로 관리할 필요가 있다. 그러나 담당자가 사업장에 실제로 방문하기 전까지는 등록업종과 실제 업종이 일치하는지 확인하기 어렵다. 또한 소규모 사업장은 수시로 설립 및 폐업하기 때문에 모든 사업장을 전수 확인하는 것은

현실적으로 어려울 것으로 보인다.

안전보건공단에서는 지자체와 협의하여 공장 설립 또는 등록 시 국소배기장치의 유해위험방지계획서나 공정 안전보고서 제출 대상 여부를 확인할 수 있지만 사업장에서 물질에 대한 정보를 제공하지 않으면 현실적으로 확인이 어렵다. 그리고 유해위험방지계획서나 공정안전보고서 제출 대상이 아닌 경우에는 제도적으로 모든 사업장의 안전을 확인하는 것은 현실적으로 쉽지 않다. 따라서 현재는 법적 규제(신고, 허가 등)를 받지 않는 소규모 사업장의 안전은 사업주의 안전 의지와 역량에 의존해야 하는 문제가 있다.

### 2) 협력업체 사업주, 공장 임대(매매)업자, 기계설비 설계 및 시공업자

사업주가 건물주로부터 공장설립을 목적으로 건물을 임대 또는 매입할 때는 설치하는 기계설비와 작업 특성을 고려하여 국소배기장치와 같이 작업에 필요한 설비를 설치할 수 있는지를 고려하여야 한다. 그리고 국소배기장치 등의 설치업체는 발주자의 요구사항과 적정 환기 수준을 고려하여 국소배기장치를 설계 및 제작·설치하고 정상

적으로 작동되도록 관리하여야 한다. 그러나 실제로는 이러한 사항이 제대로 수행되지 않은 것으로 보인다.

### 3) 기계설비(CNC 등) 제작 및 납품업자

CNC 절삭기 납품업체는 가공부 개폐 문쪽에 인터록(Interlock)을 설치하여 개폐 문쪽이 열릴 경우 작동이 멈추도록 하여 절삭유 증기의 확산을 방지하고, 고속 회전부 등 위험 부위가 작업자에게 노출되지 않도록 할 필요가 있다. 사용사업주는 인터록을 무력화하고 장비를 사용해서는 안 된다. 그러나 이러한 사항이 제대로 반영되지 않은 것으로 보인다.

### 4) 메탄올 납품업자

메탄올 납품업체는 메탄올을 사업장에 납품하면서 물질안전보건자료(MSDS)를 제공해야 한다. 그러나 MSDS 제공 여부는 확인되지 않았다. 그리고 부품 생산 사업장의 사업주는 물질안전보건자료를 취급근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 게시하거나 갖추어야 하지만, 재해조사의견서를 보면 이와 관련된 사항이 제대로 수행되지 않은 것으로 나타나 있다.

### 5) 안전 및 보건관리 전문기관

안전보건공단으로부터 안전보건관리를 위탁받은 안전보건 전문기관에서 작성한 기술지원보고서에는 소규모 사업장의 사업장에 방문하여 기술지원 시 메탄올 취급 관련 사항을 확인하지 못하고 자료제공 위주로 사업을 수행한 것으로 나타나 있다(Kim et al., 2022). 그러나 이러한 문제는 사업장에서 정보를 제공하지 않으면 관련 내용을 파악하기 어렵고, 과거에 메탄올에 의한 건강장해가 이슈가 되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

### 6) 특수건강진단기관 및 작업환경측정기관

특수건강진단기관과 작업환경측정기관은 사업주가 신청하지 않으면, 사업장에 방문할 수 없다. 또한, 사업주가 제공하는 자료를 바탕으로 진단과 측정을 수행하기 때문에 사업주가 의도적으로 정확하지 않은 정보를 제공하면 진단 및 측정 결과가 실제와 다를 수 있다. 이 사고에서는 사업주가 두 기관에 신청자체를 하지 않았기 때문에 이 사고의 발생에 개입된 부분이 없어 문제점을 제시하기는 어렵다. 그러나 이러한 부분은 제도적 문제점으로 볼 수도 있다.

### 7) 기타

재해조사의견서에는 생산공정에서 메탄올이 도포되어 있는 가공 완료품(부품)을 에어건으로 에어를 분사하여 지그에서 탈착한다고 되어있다(Kim et al., 2022). 이 부품의 탈착 과정에서도 메탄올이 작업자에게 튀고, 작업장 내에 메탄올이 확산된 것으로 보인다. 그리고 작업장 내에서 메탄올을 갈때기를 이용하여 소분함에 따라 역시 작업자에 노출되고 작업장 내에 확산되었다.

분석 대상 문헌에는 원청의 원가절감 요구에 대해 주로 서술하고 있다. 그러나 1차 협력업체는 원청의 원가절감 요구로 재정압박을 받고, 2차 협력업체는 1차 협력업체로부터 원가 절감에 대한 압박을 받아 최하단에 있는 3차 협력업체에 또한 낮은 가격으로 계약을 요구하는 다단계 구조 자체가 문제가 될 수 있다.

## Ⅳ. 고 찰

본 연구에서는 분석 대상 범위를 공장의 설립부터 생산 단계까지로 확대시키고 각 업무의 단계별로 시스템 구성 요소를 찾아 추상적인 시스템을 모델로 시각화하여 나타내고 이를 기반으로 구성요소의 문제점과 구성요소 간의 문제점을 종합적으로 분석하였다. 이를 통해 기존의 분석 대상 문헌에는 문제점이 제시되지 않았던 지자체, 안전보건공단, 근로복지공단, 공장 임대/설치인, 기계설비 설계 및 시공업체, 기계 기구 납품업체, 재료 및 부자재(메탄올) 납품업체, 안전 및 보건관리 전문기관에 대한 문제점 및 관련 내용이 추가적으로 도출되었다. 그러나 이들 기관에 대한 추가적인 조사를 수행하지 않았기 때문에 보다 구체적인 문제점을 제시하기에는 한계가 있었다.

사고 분석 모델의 구성요소별로 분석한 결과를 보면 기존 문헌에서 제기한 다양한 이해관계자의 문제점을 종합적 또는 병렬적으로 나열한 것처럼 보일 수 있다. 그러나 STAMP라는 분석 방법을 이용하여 각 문헌에서 별도로 제시하였거나 분산되어 있는 모든 사고원인을 하나의 결과로 통합해서 제시하였다는 그 자체에도 의미를 부여할 수 있다. 기존 문헌에서 표면적인 사고원인 이외에 겉으로 드러나지 않은 원인을 찾으려고 하였지만 제시된 사고원인에 제한점이 있었음을 분석 결과를 보면 알 수 있다. 과거의 순차적 및 역학적 분석 방법으로는 이와 같이 통합적이고 체계적으로 사고원인을 제시하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다.

사고 분석 결과를 정리하면 협력업체 사업주가 절삭유로 에탄올 대신 메탄올을 사용한 이유는 다단계 하도급의 하위 단계로 갈수록 기업의 이윤이 적어지는 구조에서 기업의 이윤을 확보하기 위한 목적이 있었다. 메탄올의 가격이 에탄올보다 약 1/3 수준으로 저렴하여 생산원가를 절감할 수 있기 때문이었다. 그러나 협력업체 사업주는 메탄올의 유해성·위험성에 대한 인식이 부족했고, 메탄올의 유해성·위험성으로부터 근로자를 보호하기 위한 적절한 안전보건조치와 안전교육을 실시하지 않았다. 이에 따라 파견근로자는 메탄올의 유해성·위험성을 인지하지 못하고, 적절한 보호구 없이 작업을 수행했다. 협력업체 사업주가 근로자 파견업체로부터 불법으로 파견근로자를 받아 생산작업을 수행한 이유는 휴대전화 부품 생산물량의 변동성이 심해 인력관리를 효율적으로 하기 위함이었다. 그러나 작업현장의 파견근로자는 수시로 바뀌기 때문에 사용사업주는 파견근로자의 안전에는 관심이 없었다. 근로자 파견업체는 불법파견에 대한 근거를 남기지 않기 위해 가급적 파견근로자를 4대 보험에 가입시키지 않았고, 파견사업장에서 수행할 업무에 대한 정보를 제대로 제공하지 않았다. 고용노동부, 안전보건공단, 안전보건 전문기관에서는 해당 사업장에 대한 적절한 감독과 기술지원이 이루어지지 않았다. 재해자들이 찾아간 여러 병원에서는 근로자의 메탄올 중독을 정확하게 진단하지 못해 추가 재해자가 발생한 것으로 볼 수 있다.

그러나 위에 정리한 요인들은 메탄올 중독 사고와 관련된 요인 중 일부일 뿐이다. 그 외에 분석 결과에 제시되어 있는 것처럼 다양한 문제점이 있는 데, 이런 원인 중 어느 하나만으로는 사고를 이해하고 사고를 예방하기에는 충분하지 않다. 따라서 구성요소의 사고원인 요소 중 어떤 것이 사고에 가장 큰 영향을 미쳤는지에 대해서는 설명하기 어렵다. 다만, 안전 제어 구조의 하위 수준에 있는 구성요소일수록 근로자(작업자)와 가깝기 때문에 사고 발생에 보다 직접적으로 영향을 미쳤다고 볼 수 있고, 상위 레벨의 구성요소일수록 간접적인 측면이 강하다고 볼 수 있다. 사고 예방을 위해서는 제시된 모든 요인을 고려하여 우선 순위를 정하고 이를 해결해 나갈 필요가 있다.

STAMP 분석은 분석에 요구되는 자료의 양이 다른 방법에 비해 상대적으로 많고 분석에 오랜 시간이 소요된다는 것이 단점으로 거론된다(Seo et al., 2021; Seo et al., 2022). 또한 모델 자체만으로는 시간의 흐름에

따라 일이 어떻게 진행되었는지 파악하기 어렵다(Seo et al., 2022). 그러나 STAMP 분석을 한 번 수행하면 앞의 분석 결과에서 볼 수 있는 것처럼 많은 문제점을 도출할 수 있기 때문에 사고 예방 대책 수립에 큰 도움이 될 수 있다. 그리고 다른 분석 방법에서도 나타나는 것처럼 분석자의 경험이나 지식수준에 따라라도 분석 결과에 차이가 있을 수 있으므로 전문가의 참여가 중요하다(Kim et al., 2022). 현재까지 STAMP는 항공우주(Johnson & Holloway, 2003; Ball, 2015), 철도운송(Dong, 2012), 보건의료(O'Neil, 2014; Leveson, 2016), 공정산업(Rodriguez & Diaz, 2016), 해운(Kwon, 2016), 식품산업(Helferich, 2011), 야외활동(Salmon et al., 2012), 금융(Spencer, 2012) 등에 주로 사용되었다.

시스템적 사고 분석 방법은 기존의 방법보다 분석에 오랜 시간이 소요되고 분석을 위한 많은 데이터를 필요로 한다(Seo et al., 2021; Seo et al., 2022). 그러나 분석 결과에서 볼 수 있는 것처럼 산업보건 분야에서도 시스템적 사고 분석 방법을 적용하여 사고 분석을 수행하면 사고와 관련된 다양한 요인들을 찾아 제시할 수 있는 것을 볼 수 있다. 그리고 이러한 원인분석을 기반으로 각 원인에 적합한 사고 예방 대책도 수립이 가능할 것으로 판단된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 사고 분석 결과에 따른 사고 예방대책을 제시하지는 않았지만, 제시된 분석 결과를 기반으로 메탄올 중독 사고를 예방하기 위해 기존의 단편적인 대책이 아닌 종합적인 대책을 수립할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 이러한 연구결과는 산업보건 분야의 유사한 재해분석에도 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

국내에서는 현재까지 산업보건 분야에서 시스템적 분석 방법으로 사고원인을 분석한 사례를 찾아보기 어렵지만, 산업보건 분야에서도 복잡한 사회기술 시스템에서의 복합적인 사고원인 도출을 위해 STAMP-CAST와 같은 시스템적 분석 방법의 활용이 필요할 것으로 생각된다.

## References

- Ball A. Identification of leading indicators for producibility risk in early-stage aerospace product development,



- Massachusetts Institute of Technology, Master' thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2015
- Chung MH. Workers' health is still a long way off after the methanol poisoning accidents, Seoul National University Journal, 2018 Dec 16 [Accessed 2023 Mar 10], Available from: <http://www.snujn.com/news/41198>
- Dong A. Application of CAST and STPA to Railroad Safety In China, Massachusetts Institute of Technology, Master' thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2012
- Helferich JD. A systems approach to food accident analysis, Master' thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2011
- Inside Vina. Bac Ninh, Vietnam, Methanol poisoning accident at Korean company, 1 death, 2 blindness crisis, XinChao Vietnam, 2023 Mar 14 [Accessed 2023 Mar 16]. Available from: <http://www.chaovietnam.co.kr/archives/63050>
- Johnson CW and Holloway CM. The ESA/NASA SOHO mission interruption: Using the STAMP accident analysis technique for a software related 'mishap', *Softw: Pract Exp* 2003;33(12):1177-1198 (doi: 10.1002/spe.544)
- Kim BH. Court "Compensation of 3 billion won to workers who went blind due to methanol poisoning", *Anjun Journal*, 2021 Feb 26 [Accessed 2023 Mar 10], Available from: <https://www.anjunj.com/news/article View.html?idno=25151>
- Kim JH, Kang JH, Park JD, Seo DH, Park JH et al. Review of risk assessment participation plans and roles all organizational sectors at industrial sites, OSHRI, 2022
- Kim SJ and Son JY. Urban issues and digital information technology in socio-technical system perspective: Focusing on disaster prevention, Seoul Digital Foundation; 2017, p. 11-12 (ISSN 979-11-962807-2-7)
- Kim SY and Kim YK. Occupational Safety & Health Guideline of Workers handling methanol, KOSHA; 2017
- KOSHA. Fatal accident occurred during the cleaning of the washing tank. Warning of chemical deaths, 2022-2, 2022a
- KOSHA. Warning of acute poisoning in cleaning agent handling process. Warning of chemical deaths, 2022-1, 2022b
- Kwon Y. System theoretic safety analysis of the Sewol-Ho Ferry Accident in South Korea, Master' thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2016
- Lee GS. Toxicological hazards of methanol and causes of acute poisoning accidents, *Work Law*;2016(09): 132-135
- Lee GT, Lee SY, Park HY, Kang TS. Why did non-oral occupational methanol poisoning occur in South Korea in the 21st century?, *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 2017; 27(3):149-162 (doi: 10.15269/JKSOEH.2017.27.3.149)
- Lee SY, Park HY, Jun SK, Yoo SK. Tracking investigation of methanol acute poisoning occupational disease patients in 2016 and post-management plans at smart phone manufacturing subcontractors, Solidarity for Worker's Health, Korean Industrial Hygiene Association, 2016
- Leveson N. A New Accident Model for Engineering Safer Systems. *Safety Science* 2004;42(4):237-270 (doi: 10.1016/S0925-7535(03)00047-X)
- Leveson N, Samost A, Dekker S, Finkelstein S, Raman J. Systems approach to analyzing and preventing hospital adverse events, *J Patient Saf* 2016;16(2): 162-167, (doi: 10.1097/PTS.0000000000000263)
- Leveson N. CAST HANDBOOK: How to Learn More from Incidents and Accidents. 2019, p. 6-35
- O'Neil M. Application of CAST to hospital adverse events, Massachusetts Institute of Technology, Master' thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2014
- Park JS, Kim YH, Kim SG, Park JS, Han BY et al. What Caused Acute Mehtanol Poisoning and What it the Countermeasure?, *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene* 2016a; 26(4):389-395 (doi: 10.15269/JKSOEH.2016.26.4.389)
- Park JS, Kim YH, Kim SG, Park JS, Han BY. Occupational health and safety vulnerability of workers in micro and small enterprises: The causes and measures, OSHRI, KOSHA, 2016b
- Rodriguez M and Diaz I. System theory based hazard analysis applied to the process industry, *Int J Reliab Saf* 2016;10(1):72-86 (doi: 10.1504/IJRS.2016.076355)
- Ryu J, Lim KH, Ryu DR, Lee HW, Yun JY et al. Two cases of methyl alcohol intoxication by sub-chronic inhalation and dermal exposure during aluminum CNC cutting in a small-sized subcontracted factory, *Annals of Occupational and Environmental Medicine* 2016; 28(65), (doi: 10.1186/s40557-016-0153-9)
- Salmon PM, Cornelissen M, Trotter MJ. Systems-based

- accident analysis methods- A comparison of Accimap, HFACS, and STAMP, Saf Sci 2012; 50(4):1158-1170 (doi: 10.1016/j.ssci.2011.11.009)
- Seo DH, Choi YR, Park JH, Han OS. A Study on System-Based Accident Analysis: An Accident at In-house Subcontractor of a Manufacturing Company, Journal of the Korean Society of Safety 2022;37(5): 42-55 (doi: 10.14346/JKOSOS.2022.37.5.42)
- Seo DH, Bae GW, Choi YR, Han OS. Analysis of a Fire Accident during a Batch Reactor Cleaning with AcciMap, STAMP and FRAM, Journal of the Korean Society of Safety 2021;36(4):1-9 (doi: 10.14346/JKOSOS.2021.36.4.62))
- Seoul Central District Court. Civil Division Judgment 48, Incident 2016 Gahap 535017 Compensation for damages(San(Occupational accident)), Court of Korea, 2021
- Shin MS. Workers' rights evaporated with methanol, all that remains is the wound, Seoul National University Journal, 2016 May 3 [Accessed 2023 Mar 10], Available from: <http://www.snujn.com/news/21976>
- Spencer MB. Engineering financial safety: a system-theoretic case study from the financial crisis, Master' thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2012
- Yang JY and Yoon WC. Establishing systemic strategy to introduce innovative safety concepts and methods, OSHRI, 2019

#### <저자정보>

서동현(연구위원), 박장현(과장), 현종수(단장), 김진현(지사장)