

연구보고서

화학공장 정비보수 중 화재·폭발 사고의 사회기술적 원인분석

서동현·최이락·정기혁·이한희·김천동

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요약문

- 연구기간 2023년 03월 ~ 2023년 11월
- 핵심단어 STAMP, AcciMap, 화학공장, 화재·폭발, 정비보수
- 연구과제명 화학공장 정비보수 중 화재·폭발 사고의 사회기술적 원인분석

1. 연구배경

최근 17년(2005년~2021년) 동안 발생한 중대산업사고에서 83명의 사망자가 발생하였는데, 정비보수작업 중에 발생한 사망자가 36명으로 가장 많은 것으로 나타났다. 사고 건수 기준으로는 130건의 중대산업사고가 발생하였는데 이 중 44건이 정비보수작업 중 발생하였고, 정상운전 중에는 58건이 발생한 것으로 보고되었다.

공정안전보고서 심사 사업장을 기준으로 정비보수작업 중 발생한 사고의 주요 원인은 안전작업허가(25건), 안전운전절차(12건), 위험성평가(3건)가 미흡하거나 제대로 이행되지 않은 것으로 제시되었다. 이러한 사항은 기술적인 문제 이외에도 원청과 협력업체의 구조적인 관계에서 문제를 찾아볼 수 있으며, 협력업체 단독으로 해결하기에는 한계가 있다.

따라서 화학공장의 정비보수 협력업체에서 발생한 사고에 대한 안전대책을 마련하기 위해서는 원청과 협력업체를 하나의 시스템 범위 안에 포함시켜 시스템 통합적인 측면에서 사고에 기여한 요인을 파악할 필요가 있다. 기술적인 측면과 함께 도급 관계와 같은 사회구조적인 측면에서도 사고와 관련된 요인(변수)과 문제점을 찾고 각 요인간의 연관성을 분석하여 사고예방대책을 마련할 필요가 있다.

2. 주요 연구내용

1) 화학공장 정비보수 관련 규정 및 지침

산업안전보건법, 중대재해 처벌 등에 관한 법률, 사업장 위험성평가에 관한 지침에서는 화학공장의 정비보수작업과 관련하여 도급인(이하 원청)에게 여러 가지 의무를 부여하고 있고, 공정안전보고서 제출·심사·확인 및 이행상태평가 관련 규정에서는 공정안전보고서 심사 시 이와 관련된 여러 사항을 확인하고 심사하도록 되어있다. 또한 화학공장의 정비보수와 관련하여 많은 안전보건기술 지침이 제정되어 있어 대부분의 사업장에 관련 규정, 지침 등에 따라 정비보수를 수행하는 절차가 마련되어 있는 것으로 나타났다.

2) 화학공장 중대산업사고 현황

2005년부터 2022년까지 18년간 발생한 중대산업사고 149건에서 사망자가 89명, 부상자가 455명이 발생한 것으로 나타났다. 작업상황을 기준으로 보면 정상운전(65건), 정비보수(54건) 순으로 발생하였다. 설비별로는 저장설비(38건), 반응(혼합)설비(34건), 이송(배관)설비 (33건) 순으로 발생하였다. 정상운전 중 사고는 반응설비(24건), 저장설비(13건) 순으로, 정비보수 중 사고는 저장설비(16건), 이송(배관)설비(15건) 순으로 발생한 것으로 나타났다. 정비보수작업 종류별로는 배관작업(18건), 밀폐공간작업(14건), 탱크정비작업(11건) 순으로 발생하였다.

3) 화학공장 정비보수 중 화학사고 분석

분석대상 사고(21건)에 대해 화학공장의 정비보수 절차를 기준으로 사고기여 요인을 원청과 협력업체로 구분하여 정리하였다. 작업계획서, 위험성평가, 작업 표준, 작업감독 관련 요인은 원청과 협력업체별로 해당되는 내용이 차이점이 있었고, 작업 전 안전조치, 공정 및 물질안전보건정보 제공, 작업허가서 승인

및 발급 관련 사항은 주로 원청의 사고기여요인으로 구분되었다. 정비보수작업을 수행할 때에는 작업자가 작업표준을 준수하지 않거나 정비보수작업 방법 및 결과가 부적정하거나 잘못된 공구나 보호구를 사용하는 등과 같은 요인이 있는 것으로 나타났다. 정비보수작업과는 별개로 기계설비의 설계, 설치, 관리 문제는 원청의 사고기여요인으로 구분하였다.

화학공장 정비보수업무 처리절차를 이용한 분석 외에 STAMP와 AcciMap을 이용한 분석을 수행하였다. 화학공장에서 정비보수작업을 수행하는 업체에 따라 5개의 STAMP 모델로 구분하였고, 협력업체가 포함된 모델 4종을 이용하여 원청과 협력업체의 관계에서 발생할 수 있는 문제점을 중심으로 분석하였다. 그리고 업무처리절차 분석에서 나타난 사고기여요인과 STAMP 분석에서 나타난 사회구조적인 문제점을 종합하여 사고기여요인 간의 관계를 AcciMap으로 나타내어 사고기여요인 간의 연결 관계를 나타내었다. 그 결과를 보면 정비보수작업 중에 발생한 화학사고의 기여요인은 그 자체가 하나가 사고의 원인으로 작용하는 것이 아니고, 여러 요인들이 서로 연결되어 작용하고 있음을 보여주었다.

3. 연구 활용방안

- 안전보건기술지침 개정
- 사업장 교육 및 기술자료로 활용 및 학술지 논문 발표

4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 산업안전연구실 연구위원 서동현
 - ☎ 042) 869. 0332
 - E-mail : seodh93@kosha.or.kr

목 차

I. 서 론	1
1. 연구배경 및 목적	3
2. 연구내용	4
3. 연구방법	5
4. 문헌분석	6
II. 화학공장 정비보수 관련 규정 및 절차	19
1. 화학공장의 정비보수 관련 규정	21
2. 화학공장의 정비보수 절차	40
III. 화학공장 중대산업사고 현황	51
1. 중대산업사고 현황	53
2. 화학공장 정비보수 중 중대산업사고 현황	58

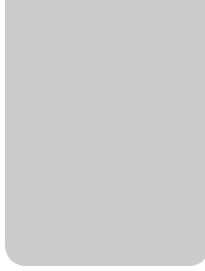
IV. 화학공장 정비보수 중 협력업체 화학사고 분석 .. 65

1. 분석 대상 화학사고 67
2. 분석 대상 화학사고별 주요 원인 69
3. 정비보수업무 단계별 사고기여요인 75
4. STAMP 모델을 이용한 분석 91
5. AcciMap 분석 95
6. 요약 및 소결론 101

V. 화학공장 정비보수업무 개선안 및 모형화 변수 .. 105

1. 정비보수업무 단계별 개선안 제안 107
2. 화학사고 모형화를 위한 변수 제안 111

VI. 결 론 115



목 차

참고문헌 121

Abstract 123

표 목차

〈표 I-1〉 화학공장의 화재·폭발 사고 분석 연구 사례	6
〈표 I-2〉 AcciMap의 계층 정의 및 예시	11
〈표 II-1〉 화학공장 정비보수작업 관련 산업안전보건법의 주요 내용	24
〈표 II-2〉 화학공장 정비보수작업 관련 중대재해처벌법의 주요 내용	32
〈표 II-3〉 화학공장 정비보수작업 관련 공정안전보고서 관련 고시의 주요 내용	33
〈표 II-4〉 사업장 위험성평가에 관한 지침 중 협력업체 관련 사항	37
〈표 II-5〉 화학공장의 정비보수 관련 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE)	39
〈표 II-6〉 화학공장의 정비보수 절차(예)	41
〈표 II-7〉 도급에 의한 화학공장의 정비보수업무 절차 및 관련 규정 및 지침	42
〈표 II-8〉 도급에 의한 화학공장의 정비보수업무 절차 및 업체별 역할(예) ..	46
〈표 III-1〉 운전(작업) 상황별 재해자 발생 현황(2005~2022년)	55
〈표 III-2〉 운전(작업) 상황별 및 설비별 사고 발생현황	56
〈표 III-3〉 운전(작업) 상황별 및 업종별 사고 발생현황	57
〈표 III-4〉 정비보수작업 종류별 사망자 및 부상자 수	58
〈표 III-5〉 화학공장 정비보수 중 발생한 주요 중대산업사고(2010~2021년) ..	59

표 목차

〈표 IV-1〉 분석 대상 중대산업사고(2017~2022년)	67
〈표 IV-2〉 화학공장 정비보수 중 발생한 화학사고의 주요 원인	69
〈표 IV-3〉 화학공장 정비보수 중 발생한 사고의 업무단계별 사고기여요인 ...	77
〈표 IV-4〉 협력업체를 통한 정비보수작업 수행 시 업무 단계별 문제점	94
〈표 IV-5〉 계층별 사고기여요인	99
〈표 V-1〉 화학공장의 정비보수업무 단계별 개선 제안	108
〈표 V-2〉 화학공장 정비보수 중 화학사고 모형화를 위한 변수	111

그림목차

[그림 I-1] 위험 관리에 포함된 AcciMap 모델의 사회-기술 시스템	9
[그림 I-2] Rasmussen의 위험 관리 체제 및 AcciMap 모형화 방법	10
[그림 I-3] 간략화한 AcciMap 모형	10
[그림 I-4] STAMP의 일반적인 사회-기술 제어 모형	14
[그림 I-5] 작업장 안전을 위한 사회기술적 시스템 모델	17
[그림 II-1] 도급사업 시 화재위험작업 허가절차(예시)	45
[그림 III-1] PSM 대상 사업장 수 및 중대산업사고 현황(2005~2022년)	54
[그림 IV-1] 사내 협력업체가 정비보수를 수행하는 모델	92
[그림 IV-2] 사외 협력업체가 정비보수를 수행하는 모델	92
[그림 IV-3] 사내 및 사외 협력업체가 정비보수를 수행하는 모델	93
[그림 IV-4] 2차 수급인(협력업체)이 정비보수를 수행하는 모델	93
[그림 IV-5] AcciMap 분석을 이용한 사고기여요인 간의 관계	98
[그림 IV-6] 화학공장 정비보수작업 중 발생한 화학사고의 사회기술적 원인 ..	103

I. 서론

.....

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

국내 화학공장이 노후화됨에 따라 각 화학공장에서는 지속적으로 정비보수를 시행하고 있다. 대표적으로 울산 및 여수석유화학단지는 1960년대, 대산은 1980년대 조성을 시작하였고, 이들 설비에 대한 정비보수와 개보수작업이 계속 진행되고 있다. 이에 따라 울산과 여수 등의 화학공장에서 정비보수작업 중 화재·폭발사고가 지속적으로 발생하고 있다.

최근 17년(2005년~2021년) 동안 발생한 중대산업사고¹⁾에서 83명의 사망자가 발생하였는데, 정비보수작업 중에 발생한 사망자가 36명으로 가장 많은 것으로 나타났고, 이 사망자 중 협력업체 소속 근로자가 더 많은 것으로 보고되었다(안전보건공단, 2022). 사고 건수 기준으로는 130건의 중대산업사고가 발생하였는데 이 중 44건이 정비보수작업 중 발생하였고, 정상운전 중에는 58건이 발생한 것으로 보고되었다(안전보건공단, 2022).

화학공장에서 수행하는 정비보수작업은 자체적으로 수행하는 경우와 협력업체(하청)에서 수행하는 경우의 2가지로 나눌 수 있다. 자체적으로 정비보수를 수행하는 경우는 수행 직원이 모두 같은 회사의 소속 직원이기 때문에 정보 교류 및 업무 협조가 비교적 원활하게 진행될 것으로 볼 수 있다. 그러나 협력업체가 정비작업을 수행하는 경우에는 정비 대상 설비의 위험 정보 확인 및 위험성평가와 작업 전 안전 조치 등을 도급인(원청)의 지원 없이는 제대로 수행하기가 어렵다. 그러나 현실적으로 협력업체가 도급인(원청)에게 적극적으로 안전 조치를

1) 중대산업사고란 산업안전보건법 제44조에 따른 공정안전보고서 제출 대상 설비로부터 위험물질 누출, 화재 및 폭발 등으로 인하여 사업장 내의 근로자에게 즉시 피해를 주거나 사업장 인근 지역에 피해를 줄 수 있는 사고로서 산업안전보건법 시행령 제43조제3항에 해당하는 누출·화재·폭발 사고를 말한다.

요구하기 어려운 상황이다. 이와 같이 원청이나 협력업체가 수행하거나 담당하는 작업이나 업무가 개별적으로는 문제가 되지 않을 수 있지만 원청과 협력업체를 합친 하나의 시스템 관점에서 보면 문제가 될 수 있다.

따라서 화학공장에서 협력업체 작업자가 정비보수작업 중에 발생하는 사고를 예방하기 위해서는 도급인(원청)과 협력업체를 하나의 시스템 범위 안에 포함시켜 시스템 통합적인 측면에서 사고에 기여한 요인을 분석할 필요가 있다. 그리고 기술적인 측면과 함께 도급 관계 및 정부정책과 같은 사회구조적인 측면에서도 사고와 관련된 요인(변수)과 문제점을 찾고 각 요인간의 연관성을 분석할 필요가 있다. 즉, 사회와 기술을 서로 연결된 하나의 통합시스템으로 바라보고, 기술뿐만 아니라 사회·문화적 요소를 전체 시스템 안에서 고려하는 사회기술시스템 개념에서 문제점과 해결방안을 모색할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 화학공장에서 정비보수작업 중 발생한 화재·폭발사고 원인을 사회기술시스템의 통합적 측면에서 분석하고 사고기여요인 간의 상호 연관성을 찾아 화학공장 정비보수작업 중 발생 가능한 화재·폭발사고를 사회기술 시스템 관점에서 모형화 및 시뮬레이션 분석을 위한 요인(변수)을 도출하고자 하였다.

2. 연구내용

본 연구의 내용은 다음과 같다.

- 국내 화학공장 정비보수작업 중 발생한 화재·폭발사고사례 조사 및 특성 분석
- 화학공장 정비보수작업 중 발생한 사고의 사회적 및 기술적 사고기여요인 도출 및 상호 연관성 분석
- 화학공장 정비보수작업 중 발생 가능한 화재·폭발사고의 모형화를 위한 변수(사고기여요인) 식별 및 정의

3. 연구방법

본 연구과제의 주제별 연구방법은 다음과 같다.

- 화학공장 정비보수 중 발생한 중대산업사고 사례 조사 및 분석
 - 최근 5년 동안 발생한 사고 중 협력업체(하청)에서 정비보수작업 중 발생한 사고를 중심으로 재해조사의견서 분석
 - 사업장 관계자 및 재해 조사자 면담을 통한 추가 정보 수집 및 분석
- 화학공장 정비보수작업 중 발생한 주요 사고를 선정하여 정비보수 절차를 이용한 분석, STAMP²⁾ 및 AcciMap³⁾ 방법으로 분석하여 사회기술적⁴⁾ 사고기여요인 도출 및 사고 모형화를 위한 변수 식별 및 정의
 - 화학공장의 정비보수업무 단계별 사고기여요인 분석
 - STAMP를 이용한 안전제어구조도 작성 및 분석
 - AcciMap을 이용한 계층별 사고기여요인 간의 관계 분석
 - 도출된 사고기여요인과 그 연관성을 중심으로 사고예방대책 제시
 - 도출된 사고기여요인을 통합하여 사고 모형화를 위한 변수 식별 및 정의

2) 시스템 이론 기반의 사고원인 모델 및 분석 절차(System-Theoretic Accident Model and Processes)

3) 사회기술시스템 기반의 시스템적 분석방법으로 사고기여요인을 다이어그램으로 작성하여 연결 관계를 나타냄

4) 정부(법률, 정책 등), 공단/협회(사업, 지침 등), 사업장(경영, 기술관리, 작업표준(작업절차서) 등), 협력업체(하청), 작업자, 설비(종류, 노후화 등), 공정, 환경, 취급물질 등 사회와 기술의 통합 시스템적 관점

4. 문헌분석

1) 과거 연구사례

기존 화학공장 화재·폭발사고에 대한 연구는 통계분석, 위험성평가, 실태조사 중심으로 수행되었고, 정비보수작업 등과 같은 특정 업무 수행 중에 발생한 사고에 대한 연구를 찾아보기 어렵고, 관련 연구도 사회기술적인 측면에서의 세부적인 분석은 수행되지 않았다. 과거 연구의 수행 내용은 <표 I-1>과 같다.

<표 I-1> 화학공장의 화재·폭발 사고 분석 연구 사례

연번	연구과제명 (연구년도)	연구자	연구목적 및 방법	주요내용
1	화학공장의 사고사례를 활용한 정상 및 비정상 작업 시의 화재·폭발사고 원인조사(2018)	서동현 외 3명	화학공장을 포함한 제조업에서 과거 10년간 화학사고에 의한 사망사고 사례 수집, 분석	제조업에서 발생한 329건의 화학사고를 일상(정상)작업과 비일상(비정상)작업 중 사고로 구분하고, 사고와 연관된 기계·기구·설비와 작업내용을 기준에 따라 구분 및 특성 분석
2	PSM 대상 사업장에서 비일상 작업 시의 재해 조사 연구(2019)	서동현 외 4명	국내 PSM 대상 화학제품 제조업에서 과거 10년 동안 발생한 재해사례를 분석하여 비일상작업 중 사고를 예방하기 위한 대책을 마련할 수 있는 기초 통계 자료 제공	PSM 대상 화학제품제조업에서 발생한 1,483건의 사고사례를 수집하여 일상작업과 비일상작업 중의 사고로 구분하고, 비일상작업 중에 발생한 사고를 대상으로 작업내용, 작업대상 기계·설비, 사업장 운영기간 등과의 연관성을 분석
3	화학공장 화재·폭발사고 사례의 시스템적 원인분석에 관한 연구(2020)	서동현 외 2명	현재까지 제안된 시스템적 사고분석기법들의 방법론을 조사하고, 그 방법을 이용하여 국내 화학공장에서 발생한 화재·폭발 사고사례 분석	시스템적 사고분석기법 중 AcciMap, STAMP, FRAM의 사고분석 방법론을 조사 및 비교하고, 화학공장에서 발생한 사고 사례 3건을 선정하여 3개의 시스템적 방법으로 분석

연번	연구과제명 (연구년도)	연구자	연구목적 및 방법	주요내용
4	화학공장의 위험작업관리 효율화와 사고에 대한 시스템 이론적 분석 연구 (2021)	서동현 외 3명	원청과 협력업체의 관계 를 사회와 기술의 통합 시 스템 관점에서 분석하고, 그에 따른 문제점을 찾아 해결 방안 모색	제조업 협력업체의 현황 및 재해 현황을 분석하고, 화학공장 및 철 강공장에서 발생한 협력업체 사 고 각 1건에 대해 시스템적 방법 으로 분석 및 비교
5	화학설비의 수리, 개조 등의 작업에 대한 도급 시 화학물질의 유해성위험성 정보전달방안 연구(2011)	임상혁 외 5명	화학설비 정비작업 관련 국내 제도 실태 파악 및 제 도 개선안 제안	화학설비 관련 업체 및 담당자 등에 대한 설문조사 및 국내외 관련 법 고찰을 통해 화학설비 정비작업에 투입되는 하수급 근 로자 보호를 위한 문서 생산 및 교부 등의 제도 제안
6	현장적용이 용이한 화학공장의 위험성 평가 기법 개발 - K-PSR의 개발 및 적용사례(2005)	유철진 외 3명	PSM 대상 사업장에서 사 용하기 쉬운 현장적용이 용이한 위험성평가 기법 개발	기존 위험성평가 방법의 문제점 도출 및 개선방안을 검토하고 기 존의 HAZOP을 대체할 새로운 위험성평가 방법과 매뉴얼 개발
7	화학공장의 휴먼에러 분석에 관한 연구(1998)	김두환	화학공장의 휴먼에러 인 자 분석	휴먼에러의 이론적 감소방안을 정립하고, 사업장 설문 및 중대재 해 원인 분석을 통해 휴먼에러 인자 도출

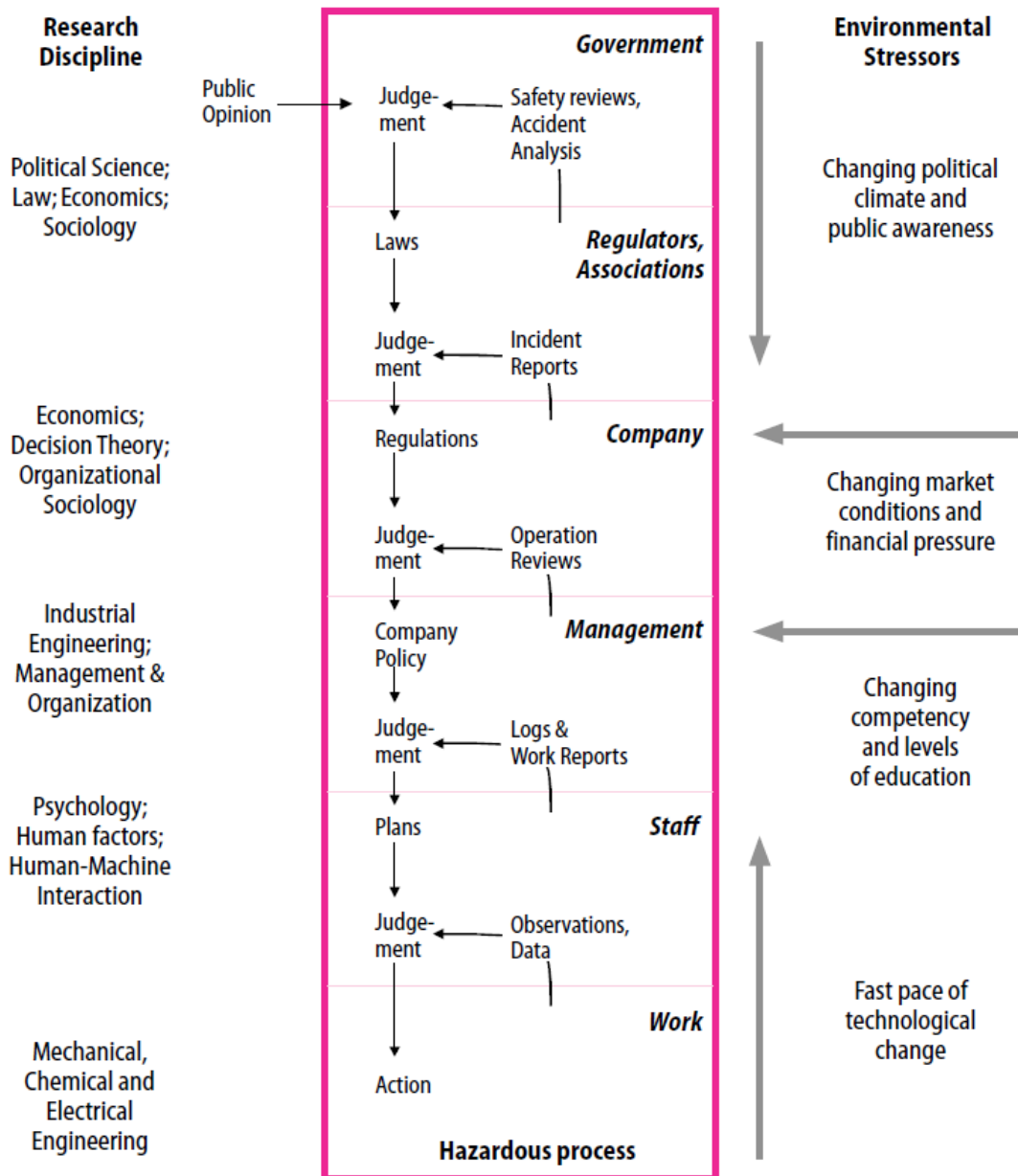
2) 시스템적 사고 분석 방법과 사회기술시스템

(1) AcciMap

AcciMap은 “Jens Rasmussen”이 1997년에 발표한 사고분석 모델로 복잡한 사회-기술적 시스템이 개인과 조직 및 관계자의 계층적 구조 구성되어 있다고 보고 있다. AcciMap에서 제시하고 있는 계층 구조는 [그림 I-1] 및 [그림 I-2]와 같이 정부(Government), 규제자/협회(Regulators, Associations), 회사(Company), 관리자(Management), 직원(Staff), 작업(Work)으로 이루어져 있다. 이 모델에서의 안전 개념은 각 계층 또는 수준 간의 상호작용으로부터 나타나는 속성으로 취급하고 있다. 즉 사고가 발생하는 현장만 볼 것이 아니라 전체 시스템 간에 어떠한 상호작용이 있었는지의 문제를 살펴봐야 한다는 것이다(Rasmussen, 1997; Grant 등, 2018). [그림 I-3]에는 [그림 I-2]의 구조를 간략하게 나타내어 정부와 규제자/협회 등의 요인을 외부적 요인, 회사 내부의 경영 및 관리적인 문제를 내부적 요인으로 구분하고, 작업 및 환경과 관련된 부분을 별도로 구분하여 나타내었다(Brandford 등, 2009). <표 I-2>에는 AcciMap의 계층 정의 및 예시를 나타내었다.

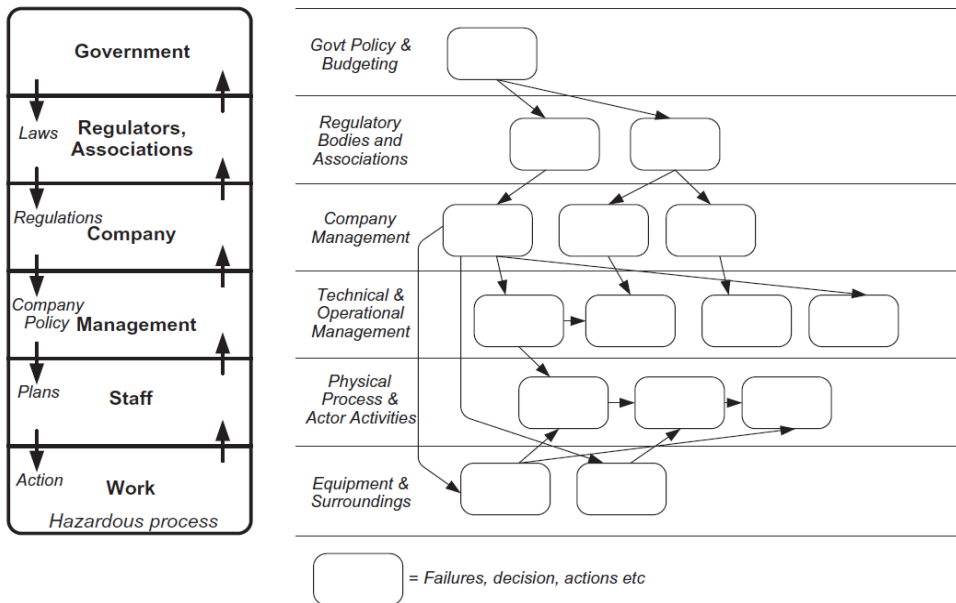
AcciMap은 사회기술적 시스템의 모든 부분에 있는 요인들이 어떻게 조직 사고⁵⁾에 기여했는지를 입증하는 데 특히 유용하다. 또한, 결과물을 산출하기 위해 요인들이 어떻게 상호작용하는지 표현하는 연관성 도표로 원인을 배열하기 좋다. 이러한 방식으로 인과적 요인과 이들 간의 상호 관계를 식별함으로써 시스템의 안전성을 개선하고 향후 유사한 사고 발생을 방지하기 위해 해결해야 할 문제 영역을 식별할 수 있다(Hopkins, 2009). 그리고 AcciMap은 사고를 명확하고 간결하게 요약한 정보를 제공할 수 있으며, 전체 시스템 구조에 걸친 사건의 전파를 시각화할 수 있는데 이것은 상위 수준에서 안전에 대한 개입을 쉽게 할 수 있다(Underwood, 2012).

5) 조직사고(AcciMap에서 분석하도록 설계된 이벤트 유형)는 복잡한 사회기술시스템(예: 원자력 발전소, 화학 공정 시설 및 항공, 해상 및 철도 운송 시스템)에서 발생하는 사고임



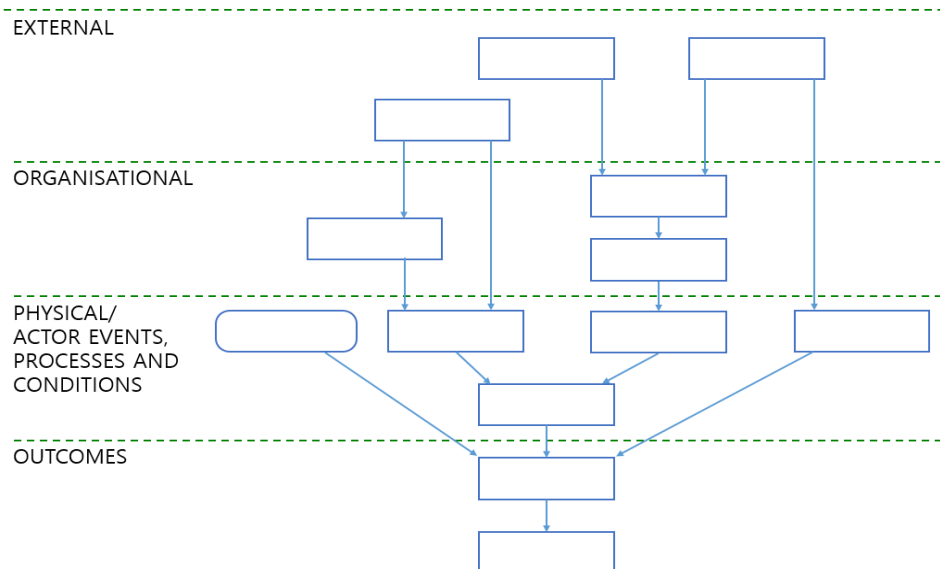
[그림 I -1] 위험 관리에 포함된 AcciMap 모델의 사회-기술 시스템

[출처: Jens Rasmussen, Risk Management in an Dynamic Society: A Modelling Problem, 1997]



[그림 I -2] Rasmussen의 위험 관리 체제 및 AcciMap 모형화 방법

[출처: P.M. Salmon et al., Systems-based accident analysis methods: A comparison of AcciMap, HFACS, and STAMP, 2012]



[그림 I -3] 간략화한 AcciMap 모형

[출처: Guidelines for AcciMap Analysis, 2009]

〈표 I -2〉 AcciMap의 계층 정의 및 예시

1. Level definitions	2. Categories of cause		
The EXTERNAL: level includes causes that are beyond the control of the organization(s). This level includes factors relating to →	GOVERNMENT, for example: • budgeting issues, government cost cutting • inadequate legislation • privatisation, outsourcing • inadequate provision of services	REGULATORY BODIES, for example, inadequate: • regulations, communication of regulations • certification, permits • safety standards • enforcement of regulations • auditing	SOCIETY for example: • market forces • societal values, priorities (such as the public's requirement for quality, efficiency, comfort, affordability) historical events • global politics
The ORGANIZATIONAL: level incorporates causes relating to organizational processes. Factors are placed in this level if they are within the control of the organization(s) involved, for example →	ORGANIZATIONAL: CULTURE, for example: • incompatible goals (between safety and production or safety and budget, etc) • organizational acceptance or encouragement of short cuts, non-compliance, etc RISK MANAGEMENT, for example, inadequate: • hazard identification or risk assessment hazard or defects reporting processes for learning from past mistakes • awareness of risks • security (such as protection from unauthorised access) MANUALS AND PROCEDURES, for example: • inadequate, ambiguous, conflicting, outdated,		

1. Level definitions	2. Categories of cause	
PHYSICAL / ACTOR EVENTS, PROCESSES AND CONDITIONS are the immediate precursors to the outcome(s) and should include factors relating to →	- reactive system defences (such as hazard containment, protection, escape and rescue systems) COMMUNICATION AND INFORMATION, for example, inadequate: - information or knowledge - flow or organization of information - communication of instructions, hazards, priorities, objectives, etc AUDITING AND RULE ENFORCEMENT, for example, inadequate: - implementation and enforcement of rules, regulations or procedures - internal auditing, inspection	absent or difficult to follow procedures, rules, regulations or manuals HUMAN RESOURCES, for example, inadequate or insufficient: - supervision, management, coordination, staff numbers - delegation, accountability - staff selection procedures or criteria TRAINING, for example, inadequate or insufficient: - training, training equipment, training exercises - training needs analysis
	PHYSICAL EVENTS, PROCESSES AND CONDITIONS, for example: - physical sequence of events (including technical failures) - environmental conditions and factors relating to physical surroundings which are necessary for making sense of the sequence of events	ACTOR ACTIVITIES AND CONDITIONS, for example: - human errors, mistakes, violations, actions, activities, etc - false perceptions, misinterpretations, misunderstandings, loss of situational awareness, etc - physical and mental status of actors (such as fatigue, ill health, inattention, unconsciousness, intoxication)

[출처: Guidelines for AcciMap Analysis, 2009]

(2) STAMP

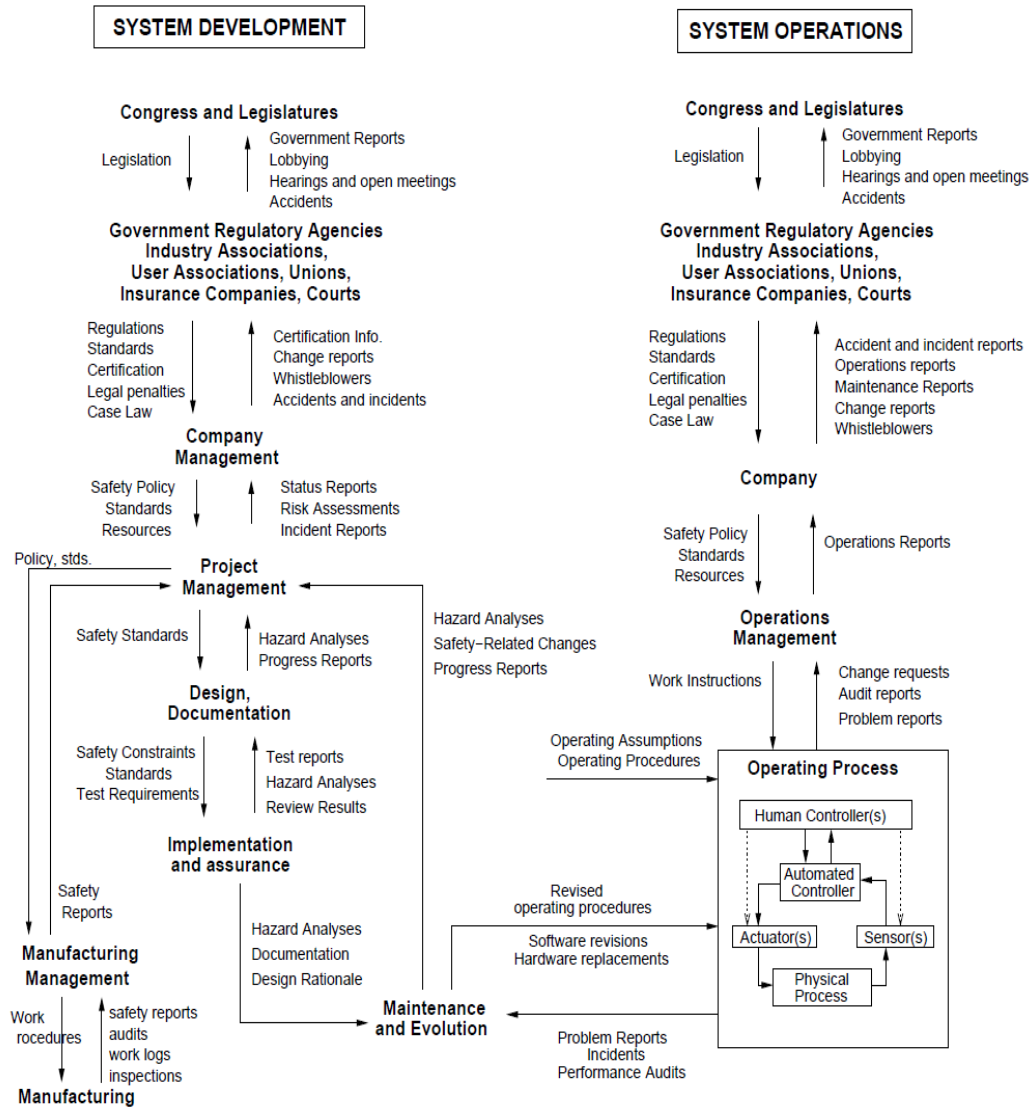
STAMP(System Theoretic Accident Model and Processes)는 Leveson이 2004년에 발표한 사고 원인 모델과 분석과정으로 과거의 순차적 사고분석기법에서 나타난 문제점에 대응하기 어려운 한계를 고려하여 사고에 대해 시스템적으로 접근을 시도한 방식이다(Leveson, 2004).

STAMP에서 사고는 설계·개발 및 운영단계에서 상호 작용하는 시스템의 구성요소 사이에서 시스템 안전계약 조건을 부적절하게 시행한 결과라는 개념을 도입하고 있다. STAMP에서는 안전을 실패(failure)의 예방 문제가 아닌 제어의 문제로 보고 있으며, 계약 조건은 환경적 또는 재정적 조건, 규칙, 절차, 장비, 기술 설계 등이 될 수 있다(Leveson, 2004).

STAMP에서는 사고의 원인을 “손실을 막지 못한 안전제어구조(safety control structure)”로 정의하고 있기 때문에, 사고조사의 목표는 안전제어구조가 훼손되어(violated) 있는 안전 제한 조건을 시행할 수 없는 이유를 식별하고 향후 관련 손실을 방지하기 위해 제어구조의 어떤 변경이 필요한지 결정하는 것이다(Leveson, 2019).

STAMP 모델의 기본 제어구조는 시스템 개발 구조 및 시스템 운영 구조를 포함하고 있으며, 각 제어구조는 계층으로 구성되어 있다. 상위 구조에서는 안전정책, 표준, 절차 등을 결정하고, 하위 구조에서는 정책이나 절차를 실제로 수행하는 역할을 하며 실제로 동작하는 운영 절차나 제어 구조도 하위 구조에 포함되어 있다. 시스템의 구성요소를 계층별로 나타낸 후 상위 레벨의 결정사항과 하위레벨의 피드백을 표시하는 방식으로 시스템을 모형화한다. [그림 I-4]는 STAMP의 일반적인 사회-기술 제어 모델을 나타내고 있다.

STAMP는 상향식이 아닌 하향식이므로 매우 복잡한 시스템에 적용할 수 있고, 사고나 손실의 원인 요소가 되는 소프트웨어, 사람, 조직, 안전문화 등을 모두 포함하고 있어, 이러한 사항들을 다른 방법으로 별도로 다루지 않아도 되는 장점이 있다.



[그림 I -4] STAMP의 일반적인 사회-기술 제어 모형

[출처: Nancy Leveson, A new accident model for engineering safer system, 2004]

(3) 사회기술시스템 모델⁶⁾

사회기술시스템(Sociotechnical systems) 이론은 처음에 런던의 타비스톡 연구소(Tavistock Institute) 구성원에 의해 개발되었으며, 주요 목표는 전반적인 근로 생활의 질을 향상시키는 것이었다. 사회기술시스템은 주어진 기업을 구성하는 인간, 기계, 환경, 작업활동, 조직구조, 프로세스의 시너지 조합이다. 이 개념화는 주로 많은 인간이 공통의 목표를 향해 협력하는 복잡한 시스템을 포함한다. 사회기술시스템에는 두 개의 상호 관련된 하위 시스템이 있다(Carayon 등, 2015). 첫째로 기술 하위 시스템에는 장비, 기계, 도구 및 기술뿐만 아니라 작업조직도 포함된다. 두 번째로 사회적 하위 시스템에는 개인과 팀이 포함되며 조정, 통제 및 경계 관리가 필요하다(Carayon 등, 2015).

사회기술시스템의 목표는 ‘사회 및 기술 시스템의 공동 최적화’, 즉 다양한 하위 시스템 또는 다양한 시스템 구성요소를 이해하고 설명하는 것이다. 공동 최적화에는 시스템 구성요소 간의 상화작용과 시스템과 외부 환경 간의 상호 작용이 포함된다(Carayon 등, 2015).

Carayon 등(2015)은 작업장 안전에 기여하는 복잡한 다단계 시스템 요소를 설명하는 사회기술적 시스템 접근법을 옹호하였고, 작업시스템, 사회-조직적 맥락 및 외부 환경의 동심원 계층을 사용하여 [그림 I-5]와 같은 작업장 안전의 사회 기술 모델을 제시하였다.

작업장 안전을 위해 제안된 이 사회기술적 시스템 모델은 작업활동과 관련된 다양한 요소를 나타낸다. 더 큰 사회-조직적 맥락은 작업 시스템(활동)을 중심으로 존재하며 조직 구조 요소와 고용 관계 측면을 포함한다. 모델의 외부 계층은 외부 환경을 나타내며 이러한 모든 시스템의 궁극적인 목적과 글로벌 통합 가능성에 대한 질문을 포함한다. 사회기술적 시스템은 동심원 레이어 세트로 표현되므로 STAMP 모델의 일부인 계층적 수준이 제거된다. 외부 계층의 요소는

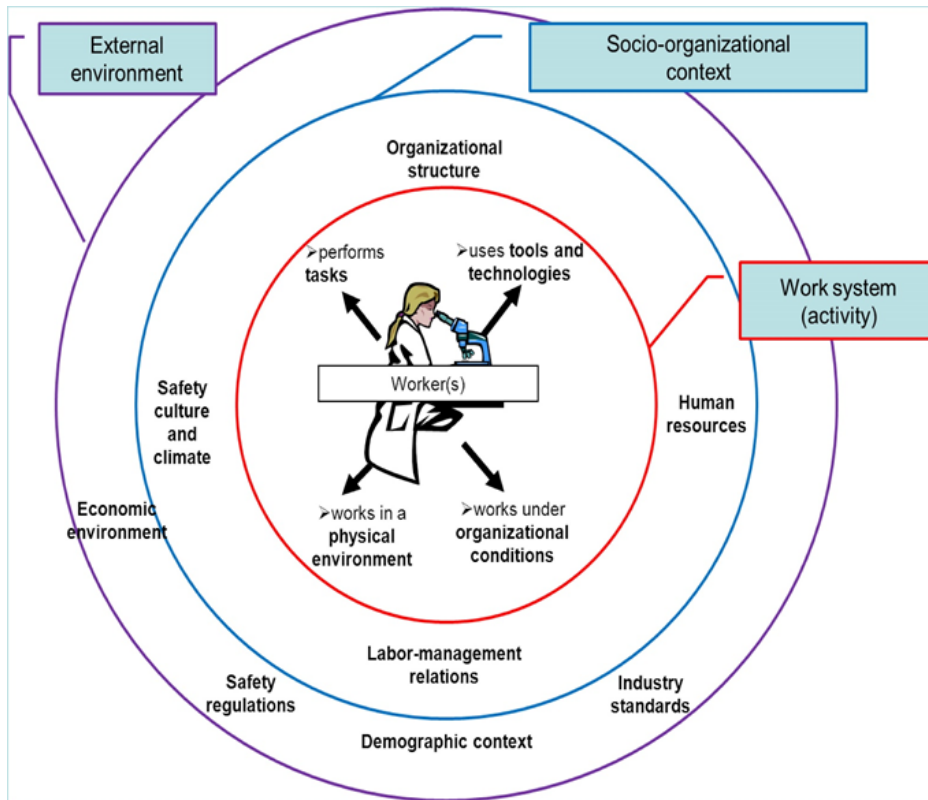
6) Carayon 등(2015)이 작성한 논문 “Advancing a sociotechnical systems approach to workplace safety - developing the conceptual framework”의 일부를 발췌해서 정리함

근접 계층 원위의 계층 모두를 통해 안전에 영향을 미친다(Carayon 등, 2015).

가장 안쪽 계층에는 **작업 시스템(Work system)**이라는 라벨이 붙어 있으며 작업활동이 수행되는 지역적 맥락을 설명한다. 이 수준에서 시스템은 인간 중심의 관점에서 보여지며 작업, 도구 및 기술, 물리적 환경 및 조직 문제와 같은 시스템의 다른 요소와 관련하여 인간의 다면적인 역할을 정의하는 복잡성을 반영한다. 인간은 작업 시스템의 중심에 있으며 상호 작용하는 일련의 요소로 둘러싸여 있다. 각 시스템 요소는 다른 요소와 상호 작용하고, 이로 인해 사용자의 관련 요구 사항, 기능 및 제한 사항을 해결하는 일련의 하드웨어 및 프로세스 사양과 기준을 정의하는 특정 인터페이스 요구 사항이 발생한다. 통합은 각 시스템 요소 내에서 인간과 관련된 문제를 해결하고 전체 시스템 수준과 인터페이스에서 경쟁 요구를 해결하는 프로세스를 의미한다(Carayon 등, 2015).

사회-조직적 맥락(Socio-organizational context)이라고 불리는 두 번째 계층은 기업 내에서 널리 퍼져 있는 사회 및 조직 문화와 구조를 나타낸다. 이러한 맥락은 작업 시스템 설계의 효율성을 조절한다. 즉, 지배적인 문화(핵심 가치 및 신념 집합)와 구조가 인간의 행동, 특히 인간이 기존 시스템 요소와 실제로 상호 작용하는 방식에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 시스템 설계자가 구상한 방식으로 상호 작용하는 것과는 반대이다. 예를 들어, 안전 문화와 분위기에 관한 문헌에서 안전 문화나 분위기가 현지 작업 시스템에서 근로자 행동에 미치는 영향을 조사하기 위한 개념과 측정 기술을 제공할 수 있다. 조직 설계에 관한 문헌은 조직 구조에서 안전 책임의 위치와 같이 작업장 안전에 중요한 조직 구조를 설명하는 데 도움이 될 수 있다(Carayon 등, 2015).

외부 계층(External environment)은 사회적, 경제적, 법적, 정치적 환경 또는 외부 환경을 나타낸다. 광범위한 작업 및 직업적 인구통계학적 맥락은 개별 기업, 조직 문화 및 특정 시스템 인터페이스에 영향을 미친다. STAMP 모델은 의회와 입법부, 정부 규제 등과 같은 두 가지 수준의 외부 환경을 설명한다. 외부 환경에는 이러한 모든 요소와 인구통계학적 맥락이 포함된다. 이러한 사항이 전반적인 성능과 안전에 영향을 미치는 만큼 이를 더 잘 이해할 필요가 있다(Carayon 등, 2015).



[그림 I -5] 작업장 안전을 위한 사회기술적 시스템 모델

[출처: P. Carayon et al, Advancing a sociotechnical systems approach to workplace safety – developing the conceptual framework, Ergonomics Volume 58, 2015 – Issue 4: Sociotechnical Systems and Safety]

Ⅱ. 화학공장 정비보수 관련 규정 및 절차



II. 화학공장 정비보수 관련 규정 및 절차

1. 화학공장의 정비보수 관련 규정

산업안전보건법과 중대재해 처벌 등에 관한 법률에서 협력업체를 통한 정비보수작업을 수행하는 경우와 관련된 내용과 공정안전보고서 제출·심사·확인 및 이행상태평가 관련 규정(고용노동부 고시)과 사업장 위험성평가에 관한 지침(고용노동부 고시)에서 정비보수작업 관련 내용을 정리하여 제시하였다.

1) 산업안전보건법

화학공장의 정비보수작업을 협력업체를 통해 수행하는 경우에 발생할 수 있는 화재·폭발 등의 화학사고 예방과 관련된 산업안전보건법의 주요 내용을 <표 II-1>에 정리하였다. 산업안전보건법에 따라 화학공장에서 정비보수작업을 도급하는 사업주는 다음과 같은 의무가 있다.

- (1) 산업재해 예방을 위한 조치를 할 수 있는 능력을 갖춘 사업주에게 도급하여야 하는 적격 수급인의 선정 의무가 있다.
- (2) 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우에는 그 사업장의 안전보건관리책임자를 도급인의 근로자와 관계수급인 근로자의 산업재해를 예방하기 위한 업무를 총괄하여 관리하는 안전보건총괄책임자로 지정하여야 하는 안전보건총괄책임자의 지정 의무가 있다.
- (3) 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우에 자신의 근로자와 관계수급인 근로자의 산업재해를 예방하기 위하여 안전 및 보건 시설의 설치 등 필요한 안전조치 및 보건조치를 하여야 한다.

- (4) 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우 도급인과 수급인을 구성원으로 하는 안전 및 보건에 관한 협의체의 구성 및 운영, 관계수급인이 근로자에게 하는 안전보건교육의 실시 확인, 경보체계 운영과 대피방법 등 훈련, 같은 장소에서 이루어지는 도급인과 관계수급인 등의 작업에 있어서 관계수급인 등의 작업시기·내용, 안전조치 및 보건조치 등의 확인, 관계수급인 등의 작업 혼재로 인하여 화재·폭발 등 위험이 발생할 우려가 있는 경우 관계수급인 등의 작업시기·내용 등의 조정, 도급인 자신의 근로자 및 관계수급인 근로자와 함께 정기적으로 또는 수시로 작업장의 안전 및 보건에 관한 점검 등의 업무를 수행하여야 한다.
- (5) 도급인과 수급인을 구성원으로 하는 안전 및 보건에 관한 협의체에서는 작업 또는 작업장 간의 연락방법, 재해발생 위험이 있는 경우 대피방법, 작업장에서의 위험성평가의 실시에 관한 사항, 사업주와 수급인 또는 수급인 상호 간의 연락 방법 및 작업공정의 조정 등을 협의하여야 한다.
- (6) 도급인은 해당 작업 시작 전에 수급인에게 안전 및 보건에 관한 정보를 문서로 제공하여야 한다. 여기서 해당 작업은 폭발성·발화성·인화성·독성 등의 유해성·위험성이 있는 화학물질 중 고용노동부령으로 정하는 화학물질 또는 그 화학물질을 포함한 혼합물을 제조·사용·운반 또는 저장하는 반응기·증류탑·배관 또는 저장탱크로서 고용노동부령으로 정하는 설비를 개조·분해·해체 또는 철거하는 작업과 앞에 언급된 설비의 내부에서 이루어지는 작업, 질식 또는 붕괴의 위험이 있는 작업으로서 대통령령으로 정하는 작업이 해당된다.
- (7) 공정안전보고서 제출대상 사업장에 대해서는 화학공장의 정비보수와 관련하여 공정안전보고서에 설비점검·검사 및 보수계획, 유지계획 및 지침서, 안전작업허가, 도급업체 안전관리계획 등을 포함하도록 정하고 있다.

- (8) 사업주는 화학설비와 그 부속설비를 사용하는 작업의 경우 근로자의 위험을 방지하기 위하여 해당 작업, 작업장의 지형·지반 및 지층 상태 등에 대한 사전조사를 하고 그 결과를 기록·보존하여야 하며, 조사결과를 고려하여 작업계획서를 작성하고 그 계획에 따라 작업을 하도록 하여야 한다.

산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 위험장소에서의 화기 사용 금지, 위험물 취급 배관이나 용기의 용접 작업 주의사항, 화재위험작업 시의 준수사항, 화재감시자의 지정 및 배치 등에 관한 사업주의 의무를 제시하고 있다. 이러한 사업주의 의무는 실제로 정비보수작업을 수행하는 협력업체 사업주의 의무에 해당된다고 볼 수 있지만, 의무 사항 중 일부는 협력업체가 단독으로 수행하기 어려운 부분도 있다. 화재위험작업 시의 준수사항으로는 작업 준비 및 작업절차 수립, 작업장 내 위험물의 사용·보관 현황 파악, 화기작업에 따른 인근 가연성 물질에 대한 방호조치 및 소화기구 비치, 용접불티 비산방지덮개, 용접방화포 등 불꽃, 불티 등 비산방지조치, 인화성 액체의 증기 및 인화성 가스가 남아 있지 않도록 환기 등의 조치, 작업근로자에 대한 화재예방 및 피난교육 등 비상조치 등이 있다. 협력업체가 정비보수작업을 수행하는 경우 이러한 준수사항 대부분은 협력업체가 수행해야 한다.

화학설비와 그 부속설비의 개조·수리 및 청소 등을 위하여 해당 설비를 분해하거나 해당 설비의 내부에서 작업하는 경우에 사업주는 작업책임자를 정하여 해당 작업을 지휘하도록 하고, 작업장소에 위험물 등이 누출되거나 고온의 수증기가 새어나오지 않도록 하며, 작업장 및 그 주변의 인화성 액체의 증기나 인화성 가스의 농도를 수시로 측정하도록 하고 있다.

〈표 II-1〉 화학공장 정비보수작업 관련 산업안전보건법의 주요 내용

이행 사항	관련 법 또는 규정	내용
적격 수급인 선정	산업안전보건법	제61조(적격 수급인 선정 의무) 사업주는 산업재해 예방을 위한 조치를 할 수 있는 능력을 갖춘 사업주에게 도급하여야 한다.
안전보건총괄책임자의 지정	산업안전보건법	제62조(안전보건총괄책임자) ① 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우에는 그 사업장의 안전보건관리책임자를 도급인의 근로자와 관계수급인 근로자의 산업재해를 예방하기 위한 업무를 총괄하여 관리하는 안전보건총괄책임자로 지정하여야 한다. 이 경우 안전보건관리책임자를 두지 아니하여도 되는 사업장에서는 그 사업장에서 사업을 총괄하여 관리하는 사람을 안전보건총괄책임자로 지정하여야 한다. ② 제1항에 따라 안전보건총괄책임자를 지정한 경우에는 「건설기술 진흥법」 제64조제1항제1호에 따른 안전총괄책임자를 둔 것으로 본다. ③ 제1항에 따라 안전보건총괄책임자를 지정하여야 하는 사업의 종류와 사업장의 상시근로자 수, 안전보건총괄책임자의 직무·권한, 그 밖에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.
도급인의 안전조치 및 보건조치	산업안전보건법	제63조(도급인의 안전조치 및 보건조치) 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우에 자신의 근로자와 관계수급인 근로자의 산업재해를 예방하기 위하여 안전 및 보건 시설의 설치 등 필요한 안전조치 및 보건조치를 하여야 한다. 다만, 보호구 착용의 지시 등 관계수급인 근로자의 작업행동에 관한 직접적인 조치는 제외한다.
도급에 따른 산재 예방 조치	산업안전보건법	제64조(도급에 따른 산업재해 예방조치) ① 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우 다음 각 호의 사항을 이행하여야 한다. 1. 도급인과 수급인을 구성원으로 하는 안전 및 보건에 관한 협의체의 구성 및 운영 2. 작업장 순회점검 3. 관계수급인이 근로자에게 하는 제29조제1항부터 제3항까지의 규정에 따른 안전보건교육을 위한 장소 및 자료의 제공 등 지원 4. 관계수급인이 근로자에게 하는 제29조제3항에 따른 안전보건교육의 실시 확인 5. 다음 각 목의 어느 하나의 경우에 대비한 경보체계 운영과 대피방법 등 훈련 가. 작업 장소에서 발파작업을 하는 경우 나. 작업 장소에서 화재·폭발, 토사·구축물 등의 붕괴 또는 지진 등이 발생한 경우

이행 사항	관련 법 또는 규정	내용
		6. 위생시설 등 고용노동부령으로 정하는 시설의 설치 등을 위하여 필요한 장소의 제공 또는 도급인이 설치한 위생시설 이용의 협조 7. 같은 장소에서 이루어지는 도급인과 관계수급인 등의 작업에 있어서 관계수급인 등의 작업시기·내용, 안전조치 및 보건조치 등의 확인 8. 제7호에 따른 확인 결과 관계수급인 등의 작업 흔적으로 인하여 화재·폭발 등 대통령령으로 정하는 위험이 발생할 우려가 있는 경우 관계수급인 등의 작업시기·내용 등의 조정 ② 제1항에 따른 도급인은 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 자신의 근로자 및 관계수급인 근로자와 함께 정기적으로 또는 수시로 작업장의 안전 및 보건에 관한 점검을 하여야 한다. ③ 제1항에 따른 안전 및 보건에 관한 협의체 구성 및 운영, 작업장 순회점검, 안전보건교육 지원, 그 밖에 필요한 사항은 고용노동부령으로 정한다.
도급에 따른 산업재해 예방조치	산업안전 보건법 시행령	제53조의2(도급에 따른 산업재해 예방조치) 법 제64조제1항제8호에서 “화재·폭발 등 대통령령으로 정하는 위험이 발생할 우려가 있는 경우”란 다음 각 호의 경우를 말한다. 1. 화재·폭발이 발생할 우려가 있는 경우 2. 동력으로 작동하는 기계·설비 등에 끼일 우려가 있는 경우 3. 차량계 하역운반기계, 건설기계, 양중기(揚重機) 등 동력으로 작동하는 기계와 충돌할 우려가 있는 경우 4. 근로자가 추락할 우려가 있는 경우 5. 물체가 떨어지거나 날아올 우려가 있는 경우 6. 기계·기구 등이 넘어지거나 무너질 우려가 있는 경우 7. 토사·구축물·인공구조물 등이 붕괴될 우려가 있는 경우 8. 산소 결핍이나 유해가스로 질식이나 중독의 우려가 있는 경우
안전 및 보건에 관한 협의체의 구성 및 운영	산업안전 보건법 시행규칙	제79조(협의체의 구성 및 운영) ① 법 제64조제1항제1호에 따른 안전 및 보건에 관한 협의체(이하 이 조에서 “협의체”라 한다)는 도급인 및 그의 수급인 전원으로 구성해야 한다. ② 협의체는 다음 각 호의 사항을 협의해야 한다. 1. 작업의 시작 시간 2. 작업 또는 작업장 간의 연락방법 3. 재해발생 위험이 있는 경우 대피방법 4. 작업장에서의 법 제36조에 따른 위험성평가의 실시에 관한 사항 5. 사업주와 수급인 또는 수급인 상호 간의 연락 방법 및 작업공정의 조정 ③ 협의체는 매월 1회 이상 정기적으로 회의를 개최하고 그 결과를 기록·보존해야 한다.

이행 사항	관련 법 또는 규정	내용
수급인에게 안전 및 보건에 관한 정보 제공	산업안전 보건법	제65조(도급인의 안전 및 보건에 관한 정보 제공 등) ① 다음 각 호의 작업을 도급하는 자는 그 작업을 수행하는 수급인 근로자의 산업재해를 예방하기 위하여 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 해당 작업 시작 전에 수급인에게 안전 및 보건에 관한 정보를 문서로 제공하여야 한다. 1. 폭발성·발화성·인화성·독성 등의 유해성·위험성이 있는 화학물질 중 고용노동부령으로 정하는 화학물질 또는 그 화학물질을 포함한 혼합물을 제조·사용·운반 또는 저장하는 반응기·중류탑·배관 또는 저장탱크로서 고용노동부령으로 정하는 설비를 개조·분해·해체 또는 철거하는 작업 2. 제1호에 따른 설비의 내부에서 이루어지는 작업 3. 질식 또는 봉괴의 위험이 있는 작업으로서 대통령령으로 정하는 작업 ② 도급인이 제1항에 따라 안전 및 보건에 관한 정보를 해당 작업 시작 전까지 제공하지 아니한 경우에는 수급인이 정보 제공을 요청할 수 있다. ③ 도급인은 수급인이 제1항에 따라 제공받은 안전 및 보건에 관한 정보에 따라 필요한 안전조치 및 보건조치를 하였는지를 확인하여야 한다. ④ 수급인은 제2항에 따른 요청에도 불구하고 도급인이 정보를 제공하지 아니하는 경우에는 해당 도급 작업을 하지 아니할 수 있다. 이 경우 수급인은 계약의 이행 자체에 따른 책임을 지지 아니한다.
도급인의 안전보건 정보제공	산업안전 보건법 시행규칙	제83조(안전·보건 정보제공 등) ① 법 제65조제1항 각 호의 어느 하나에 해당하는 작업을 도급하는 자는 다음 각 호의 사항을 적은 문서(전자문서를 포함한다. 이하 이 조에서 같다)를 해당 도급작업이 시작되기 전까지 수급인에게 제공해야 한다. 1. 안전보건규칙 별표 7에 따른 화학설비 및 그 부속설비에서 제조·사용·운반 또는 저장하는 위험물질 및 관리대상 유해물질의 명칭과 그 유해성·위험성 2. 안전·보건상 유해하거나 위험한 작업에 대한 안전·보건상의 주의사항 3. 안전·보건상 유해하거나 위험한 물질의 유출 등 사고가 발생한 경우에 필요한 조치의 내용 ② 제1항에 따른 수급인이 도급받은 작업을 하도급하는 경우에는 제1항에 따라 제공받은 문서의 사본을 해당 하도급작업이 시작되기 전까지 하수급인에게 제공해야 한다. ③ 제1항 및 제2항에 따라 도급하는 작업에 대한 정보를 제공한 자는 수급인이 사용하는 근로자가 제공된 정보에 따라 필요한 조치를 받고 있는지 확인해야 한다. 이 경우 확인을 위하여 필요할 때에는 해당 조치와 관련된 기록 등 자료의 제출을 수급인에게 요청할 수 있다.

이행 사항	관련 법 또는 규정	내용
도급인의 관계 수급인에 대한 시정조치	산업안전 보건법	제66조(도급인의 관계수급인에 대한 시정조치) ① 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우에 <u>관계수급인 또는 관계수급인 근로자가 도급받은 작업과 관련하여 이 법 또는 이 법에 따른 명령을 위반하면 관계수급인에게 그 위반행위를 시정하도록 필요한 조치를 할 수 있다.</u> 이 경우 관계수급인은 정당한 사유가 없으면 그 조치에 따라야 한다. ② 도급인은 제65조제1항 각 호의 작업을 도급하는 경우에 수급인 또는 수급인 근로자가 도급받은 작업과 관련하여 이 법 또는 이 법에 따른 명령을 위반하면 수급인에게 그 위반행위를 시정하도록 필요한 조치를 할 수 있다. 이 경우 수급인은 정당한 사유가 없으면 그 조치에 따라야 한다.
공정안전보고서의 정비보수 및 도급업체 안전관리 관련 내용	산업안전 보건법 시행규칙	제50조(공정안전보고서의 세부 내용 등) ① 영 제44조에 따라 공정안전보고서에 포함해야 할 세부내용은 다음과 같다. 1. 공정안전자료 2. 공정위험성평가서 및 잠재위험에 대한 사고예방·피해 최소화 대책 3. 안전운전계획 가. 안전운전지침서 나. 설비점검·검사 및 보수계획, 유지계획 및 지침서 다. 안전작업허가 라. 도급업체 안전관리계획 마. 근로자 등 교육계획 바. 가동 전 점검지침 사. 변경요소 관리계획 아. 자체감사 및 사고조사계획 자. 그 밖에 운전에 필요한 사항 4. 비상조치계획
사전조사 및 작업계획서의 작성	산업안전 보건 기준에 관한 규정	제38조(사전조사 및 작업계획서의 작성 등) ① 사업주는 다음 각 호의 작업을 하는 경우 근로자의 위험을 방지하기 위하여 별표 4에 따라 해당 작업, 작업장의 지형·지반 및 지층 상태 등에 대한 <u>사전조사를 하고 그 결과를 기록·보존하여야 하며, 조사결과를 고려하여 별표 4의 구분에 따른 사항을 포함한 작업계획서를 작성하고 그 계획에 따라 작업을 하도록 하여야 한다.</u> 4. 화학설비와 그 부속설비를 사용하는 작업 [별표4] 사전조사 및 작업계획서 내용

이행 사항	관련 법 또는 규정	내용						
		<table> <tr> <th>작업명</th><th>사전조사 내용</th><th>작업계획서 내용</th></tr> <tr> <td>4. 화학설비와 그 부속설비 사용작업</td><td>-</td><td> 가. 밸브·콧 등의 조작(해당 화학설비에 원 재료를 공급하거나 해당 화학설비에서 제품 등을 꺼내는 경우만 해당한다) 나. 냉각장치·가열장치·교반장치(攪拌裝置) 및 압축장치의 조작 다. 계측장치 및 제어장치의 감시 및 조정 라. 안전밸브, 긴급차단장치, 그 밖의 방호장치 및 자동경보장치의 조정 마. 덮개판·플랜지(flange)·밸브·콧 등의 접합부에서 위험물 등의 누출 여부에 대한 점검 바. 시료의 채취 사. 화학설비에서는 그 운전이 일시적 또는 부분적으로 중단된 경우의 작업방법 또는 운전 재개 시의 작업방법 아. 이상 상태가 발생한 경우의 응급조치 자. 위험물 누출 시의 조치 차. 그 밖에 폭발·화재를 방지하기 위하여 필요한 조치 </td></tr> </table>	작업명	사전조사 내용	작업계획서 내용	4. 화학설비와 그 부속설비 사용작업	-	가. 밸브·콧 등의 조작(해당 화학설비에 원 재료를 공급하거나 해당 화학설비에서 제품 등을 꺼내는 경우만 해당한다) 나. 냉각장치·가열장치·교반장치(攪拌裝置) 및 압축장치의 조작 다. 계측장치 및 제어장치의 감시 및 조정 라. 안전밸브, 긴급차단장치, 그 밖의 방호장치 및 자동경보장치의 조정 마. 덮개판·플랜지(flange)·밸브·콧 등의 접합부에서 위험물 등의 누출 여부에 대한 점검 바. 시료의 채취 사. 화학설비에서는 그 운전이 일시적 또는 부분적으로 중단된 경우의 작업방법 또는 운전 재개 시의 작업방법 아. 이상 상태가 발생한 경우의 응급조치 자. 위험물 누출 시의 조치 차. 그 밖에 폭발·화재를 방지하기 위하여 필요한 조치
작업명	사전조사 내용	작업계획서 내용						
4. 화학설비와 그 부속설비 사용작업	-	가. 밸브·콧 등의 조작(해당 화학설비에 원 재료를 공급하거나 해당 화학설비에서 제품 등을 꺼내는 경우만 해당한다) 나. 냉각장치·가열장치·교반장치(攪拌裝置) 및 압축장치의 조작 다. 계측장치 및 제어장치의 감시 및 조정 라. 안전밸브, 긴급차단장치, 그 밖의 방호장치 및 자동경보장치의 조정 마. 덮개판·플랜지(flange)·밸브·콧 등의 접합부에서 위험물 등의 누출 여부에 대한 점검 바. 시료의 채취 사. 화학설비에서는 그 운전이 일시적 또는 부분적으로 중단된 경우의 작업방법 또는 운전 재개 시의 작업방법 아. 이상 상태가 발생한 경우의 응급조치 자. 위험물 누출 시의 조치 차. 그 밖에 폭발·화재를 방지하기 위하여 필요한 조치						
위험 장소에서의 화기 사용 금지	산업안전 보건 기준에 관한 규칙	제239조(위험물 등이 있는 장소에서 화기 등의 사용 금지) 사업주는 위험물이 있어 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소 또는 그 상부에서 불꽃이나 아크를 발생하거나 고온으로 될 우려가 있는 화기·기계·기구 및 공구 등을 사용해서는 아니 된다.						
위험물 취급 배관이나 용기의 용접	산업안전 보건 기준에 관한 규칙	제240조(유류 등이 있는 배관이나 용기의 용접 등) 사업주는 위험물, 위험물 외의 인화성 유류 또는 인화성 고체가 있을 우려가 있는 배관·탱크 또는 드럼 등의 용기에 대하여 미리 위험물 외의 인화성 유류, 인화성 고체 또는 위험물을 제거하는 등 폭발이나 화재의 예방을 위한 조치를 한 후가 아니면 화재위험작업을 시켜서는 아니 된다.						
화재위험작업시의 준수사항	산업안전 보건 기준에 관한 규칙	제241조(화재위험작업 시의 준수사항) ① 사업주는 통풍이나 환기가 충분하지 않은 장소에서 화재위험작업을 하는 경우에는 통풍 또는 환기를 위하여 산소를 사용해서는 아니 된다. ② 사업주는 가연성물질이 있는 장소에서 화재위험작업을 하는 경우에는 화재예방에 필요한 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다. 1. 작업 준비 및 작업절차 수립 2. 작업장 내 위험물의 사용·보관 현황 파악 3. 화기작업에 따른 인근 가연성물질에 대한 방호조치 및 소화기구 비치						

이행 사항	관련 법 또는 규정	내용
		4. 용접불티 비산방지덮개, 용접방화포 등 불꽃, 불티 등 비산방지조치 5. 인화성 액체의 증기 및 인화성 가스가 남아 있지 않도록 환기 등의 조치 6. 작업근로자에 대한 화재예방 및 피난교육 등 비상조치 ③ 사업주는 작업시작 전에 제2항 각 호의 사항을 확인하고 불꽃·불티 등의 비산을 방지하기 위한 조치 등 안전조치를 이행한 후 근로자에게 화재위험작업을 하도록 해야 한다. ④ 사업주는 화재위험작업이 시작되는 시점부터 종료 될 때까지 작업내용, 작업일시, 안전점검 및 조치에 관한 사항 등을 해당 작업장소에 서면으로 게시해야 한다. 다만, 같은 장소에서 상시·반복적으로 화재위험작업을 하는 경우에는 생략할 수 있다.
화재감시자의 지정 및 배치	산업안전 보건 기준에 관한 규칙	제241조의2(화재감시자) ① 사업주는 근로자에게 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 장소에서 용접·용단 작업을 하도록 하는 경우에는 화재감시자를 지정하여 용접·용단 작업 장소에 배치해야 한다. 다만, 같은 장소에서 상시·반복적으로 용접·용단작업을 할 때 경보용 설비·기구, 소화설비 또는 소화기가 갖추어진 경우에는 화재감시자를 지정·배치하지 않을 수 있다. 1. 작업반경 11미터 이내에 건물구조 자체나 내부(개구부 등으로 개방된 부분을 포함한다)에 가연성물질이 있는 장소 2. 작업반경 11미터 이내의 바닥 하부에 가연성물질이 11미터 이상 떨어져 있지만 불꽃에 의해 쉽게 발화될 우려가 있는 장소 3. 가연성물질이 금속으로 된 칸막이·벽·천장 또는 지붕의 반대쪽 면에 인접해 있어 열전도나 열복사에 의해 발화될 우려가 있는 장소 ② 제1항 본문에 따른 화재감시자는 다음 각 호의 업무를 수행한다. 1. 제1항 각 호에 해당하는 장소에 가연성물질이 있는지 여부의 확인 2. 제232조제2항에 따른 가스 검지, 경보 성능을 갖춘 가스 검지 및 경보 장치의 작동 여부의 확인 3. 화재 발생 시 사업장 내 근로자의 대피 유도 ③ 사업주는 제1항 본문에 따라 배치된 화재감시자에게 업무 수행에 필요한 확성기, 휴대용 조명기구 및 방연마스크 등 대피용 방연장비를 지급해야 한다.
화기사용의 금지	산업안전 보건 기준에 관한 규칙	제242조(화기사용 금지) 사업주는 화재 또는 폭발의 위험이 있는 장소에서 다음 각 호의 화재 위험이 있는 물질을 취급하는 경우에는 화기의 사용을 금지해야 한다. 1. 제236조제1항에 따른 물질 2. 별표 1 제1호·제2호 및 제5호에 따른 위험물질

이행 사항	관련 법 또는 규정	내용
소화설비의 설치	산업안전 보건 기준에 관한 규칙	제243조(소화설비) ① 사업주는 건축물, 별표 7의 화학설비 또는 제5절의 위험물 건조설비가 있는 장소, 그 밖에 위험물이 아닌 인화성 유류 등 폭발이나 화재의 원인이 될 우려가 있는 물질을 취급하는 장소(이하 이 조에서 “건축물등”이라 한다)에는 소화설비를 설치하여야 한다. ② 제1항의 소화설비는 건축물등의 규모·넓이 및 취급하는 물질의 종류 등에 따라 예상되는 폭발이나 화재를 예방하기에 적합하여야 한다.
화학설비의 사용 전 점검	산업안전 보건 기준에 관한 규칙	제277조(사용 전의 점검 등) ① 사업주는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 화학설비 및 그 부속설비의 안전검사내용을 점검한 후 해당 설비를 사용하여야 한다. 1. 처음으로 사용하는 경우 2. 분해하거나 개조 또는 수리를 한 경우 3. 계속하여 1개월 이상 사용하지 아니한 후 다시 사용하는 경우 ② 사업주는 제1항의 경우 외에 해당 화학설비 또는 그 부속설비의 용도를 변경하는 경우(사용하는 원재료의 종류를 변경하는 경우를 포함한다)에도 해당 설비의 다음 각 호의 사항을 점검한 후 사용하여야 한다. 1. 그 설비 내부에 폭발이나 화재의 우려가 있는 물질이 있는지 여부 2. 안전밸브·긴급차단장치 및 그 밖의 방호장치 기능의 이상 유무 3. 냉각장치·가열장치·교반장치·압축장치·계측장치 및 제어장치 기능의 이상 유무
화학설비의 개조·수리 시 준수사항	산업안전 보건 기준에 관한 규칙	제278조(개조·수리 등) 사업주는 화학설비와 그 부속설비의 개조·수리 및 청소 등을 위하여 해당 설비를 분해하거나 해당 설비의 내부에서 작업을 하는 경우에는 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다. 1. 작업책임자를 정하여 해당 작업을 지휘하도록 할 것 2. 작업장소에 위험물 등이 누출되거나 고온의 수증기가 새어나오지 않도록 할 것 3. 작업장 및 그 주변의 인화성 액체의 증기나 인화성 가스의 농도를 수시로 측정할 것
근로자의 대피	산업안전 보건 기준에 관한 규칙	제279조(대피 등) ① 사업주는 폭발이나 화재에 의한 산업재해발생의 급박한 위험이 있는 경우에는 즉시 작업을 중지하고 근로자를 안전한 장소로 대피시켜야 한다. ② 사업주는 제1항의 경우에 근로자가 산업재해를 입을 우려가 없음이 확인될 때까지 해당 작업장에 관계자가 아닌 사람의 출입을 금지하고, 그 취지를 보기 쉬운 장소에 표시하여야 한다.

이행 사항	관련 법 또는 규정	내용
기밀시험 시의 위험 방지	산업안전 보건 기준에 관한 규칙	제300조(기밀시험시의 위험 방지) ① 사업주는 배관, 용기, 그 밖의 설비에 대하여 질소·탄산가스 등 불활성가스의 압력을 이용하여 기밀(氣密)시험을 하는 경우에는 지나친 압력의 주입 또는 불량한 작업방법 등으로 발생할 수 있는 파열에 의한 위험을 방지하기 위하여 국가교정기관에서 교정을 받은 압력계를 설치하고 내부압력을 수시로 확인하여야 한다. ② 제1항의 압력계는 기밀시험을 하는 배관 등의 내부압력을 항상 확인할 수 있도록 작업자가 보기 쉬운 장소에 설치하여야 한다. ③ 기밀시험을 종료한 후 설비 내부를 점검할 때에는 반드시 환기를 하고 불활성가스가 남아 있는지를 측정하여 안전한 상태를 확인한 후 점검하여야 한다. ④ 사업주는 기밀시험장비가 주입압력에 충분히 견딜 수 있도록 견고하게 설치하여야 하며, 이상압력에 의한 연결파이프 등의 파열방지를 위한 안전조치를 하고 그 상태를 미리 확인하여야 한다.

2) 중대재해 처벌 등에 관한 법률

중대재해 처벌 등에 관한 법률(이하 중대재해처벌법)에서는 화학공장에서 협력업체 작업자가 정비보수작업을 수행하는 경우 원청의 사업주 또는 경영책임자 등이 중대산업재해가 발생하지 않도록 조치해야 한다고 하고 있다. 이와 관련하여 원청의 사업주는 작업자의 안전보건을 확보하기 위해 도급, 용역, 위탁 등을 받는 자의 산업재해 예방을 위한 조치 능력과 기술, 안전보건 조치 능력과 기술에 관한 평가기준과 절차를 마련하고, 그 기준과 절차에 따라 도급, 용역, 위탁 등이 이루어지는지를 반기에 1회 이상 점검하도록 되어 있다.

〈표 II-2〉 화학공장 정비보수작업 관련 중대재해처벌법의 주요 내용

이행 사항	관련 법 또는 규정	내용
사업주와 경영책임자의 안전 및 보건 확보	중대재해 처벌 등에 관한 법률	제4조(사업주와 경영책임자등의 안전 및 보건 확보의무) ① 사업주 또는 경영책임자등은 사업주나 법인 또는 기관이 실질적으로 지배·운영·관리하는 사업 또는 사업장에서 종사자의 안전·보건상 유해 또는 위험을 방지하기 위하여 그 사업 또는 사업장의 특성 및 규모 등을 고려하여 다음 각 호에 따른 조치를 하여야 한다. 1. 재해예방에 필요한 인력 및 예산 등 안전보건관리체계의 구축 및 그 이행에 관한 조치 2. 재해 발생 시 재발방지 대책의 수립 및 그 이행에 관한 조치 3. 중앙행정기관·지방자치단체가 관계 법령에 따라 개선, 시정 등을 명한 사항의 이행에 관한 조치
도급, 용역, 위탁 시 안전 및 보건 확보	중대재해 처벌 등에 관한 법률	제5조(도급, 용역, 위탁 등 관계에서의 안전 및 보건 확보의무) 사업주 또는 경영책임자등은 사업주나 법인 또는 기관이 제3자에게 도급, 용역, 위탁 등을 행한 경우에는 제3자의 종사자에게 중대산업재해가 발생하지 아니하도록 제4조의 조치를 하여야 한다. 다만, 사업주나 법인 또는 기관이 그 시설, 장비, 장소 등에 대하여 실질적으로 지배·운영·관리하는 책임이 있는 경우에 한정한다.
안전관리체계 구축	중대재해 처벌 등에 관한 법률 시행령	제4조(안전보건관리체계의 구축 및 이행 조치) 법제4조제1항제1호에 따른 조치의 구체적인 사항은 다음 각호와 같다. 9. 제3자에게 업무의 도급, 용역, 위탁 등을 하는 경우에는 종사자의 안전·보건을 확보하기 위해 다음 각 목의 기준과 절차를 마련하고, 그 기준과 절차에 따라 도급, 용역, 위탁 등이 이루어지는지를 <u>반기 1회 이상 점검할 것</u> 가. 도급, 용역, 위탁 등을 받는 자의 산업재해 예방을 위한 조치 능력과 기술에 관한 평가기준·절차 나. 도급, 용역, 위탁 등을 받는 자의 안전·보건을 위한 조치 능력과 기술에 관한 평가기준·절차 다. 건설업 및 조선업의 경우 도급, 용역, 위탁 등을 받는 자의 안전·보건을 위한 공사기간 또는 건조기간에 관한 기준

3) 공정안전보고서 제출·심사·확인 및 이행상태평가 관련 규정

공정안전보고서 제출·심사·확인 및 이행상태평가 관련 규정(노동부고시)에서 화학공장의 정비보수작업과 관련된 내용은 설비점검·검사 및 보수계획, 유지계획 및 지침서(제32조), 안전작업허가(제33조), 도급업체 안전관리계획(제34조), 안전작업허가 및 절차(제46조), 도급업체 안전관리 심사(제47조), 공정·운전에 대한 교육·훈련(제48조), 변경요소관리(제50조) 등이 있다<표 II-3>.

이 고시에서는 사업장의 안전보건총괄책임자가 협력업체에 대해 협력업체 선정 시 협력업체의 안전업무 수행실적 및 능력에 관한 자료와 안전작업계획을 평가하고 있는지 여부, 협력업체의 작업시행 이전에 작업자들에게 화재, 폭발, 독성물질 누출 위험과 예방에 관한 교육을 실시하는지 여부, 협력업체가 수행할 작업에 대하여도 원청에서 안전운전지침 및 절차를 규정화하고 협력업체 작업자가 이를 준수토록 감독하는지에 대해서도 심사하도록 하고 있다.

〈표 II-3〉 화학공장 정비보수작업 관련 공정안전보고서 관련 고시의 주요 내용

관련 조항	내 용
제32조 (설비점검·검사 및 보수계획, 유지계획 및 지침서)	규칙 제50조제1항제3호 나목의 설비점검 검사 및 보수계획, 유지계획 및 지침서는 다음 각 호의 사항을 포함하여야 한다. 1. 목적 2. 적용범위 3. 구성 기기의 우선순위 등급 4. 기기의 점검 5. 기기의 결함관리 6. 기기의 정비 7. 기기 및 기자재의 품질관리 8. 외주업체 관리 9. 설비의 유지관리 등
제33조 (안전작업허가)	규칙 제50조제1항제3호 다목의 안전작업허가는 다음 각 호의 사항을 포함하여야 한다. 1. 목적 2. 적용범위 3. 안전작업허가의 일반사항 4. 안전작업 준비 5. 화기작업 허가

관련 조항	내 용
	6. 일반위험작업 허가 7. 밀폐공간 출입작업 허가 8. 정전작업 허가 9. 굴착작업 허가 10. 방사선 사용작업 허가 등
제34조 (도급업체 안전관리계획)	규칙 제50조제1항제3호 라목의 도급업체 안전관리 계획은 다음 각 호의 사항을 포함하여야 한다. 1. 목적 2. 적용범위 3. 적용대상 4. 사업주의 의무: 다음 각 목의 사항 가. 법 제63조부터 제66조까지에 따른 조치 사항 나. 도급업체 선정에 관한 사항 다. 도급업체의 안전관리수준 평가 라. 비상조치계획(최악 및 대안의 사고 시나리오 포함)의 제공 및 훈련 5. 도급업체 사업주의 의무: 다음 각 목의 사항 가. 법 제63조부터 제66조까지에 따른 조치 사항의 이행 나. 작업자에 대한 교육 및 훈련 다. 작업표준 작성 및 작업 위험성평가 실시 등 6. 계획서 작성 및 승인 등
제46조 (안전작업허가 및 절차)	안전작업허가서는 다음 각 호의 기준에 따라서 수행되고 있는지를 심사하여야 한다. 1. 공정지역내에서 또는 공정지역과 가까운 지역에서 용접, 용단 등의 화기작업과 같은 유해·위험 요소가 잠재되어 있는 경우에는 안전작업허가서를 발급받은 후에 작업하고 있는지 여부 2. 안전작업 허가기준, 각 부서의 업무와 책임한계, 허가절차 등을 문서화하여 사업장의 자체 규정으로 제정하고 있는지 여부 3. 안전작업을 하기 전에 안전작업 관리책임자는 안전작업에 필요한 안전상의 조치를 취하고 있으며, 안전작업 허가책임자는 이를 확인한 후에 안전작업허가서를 발급하고 있는지 여부 4. 안전작업 전에 취하여야 할 안전상의 조치는 사업장 특성에 맞게 작성하여 규정화하고 있는지 여부 5. 안전작업허가서에 허가일시와 안전작업일시가 명확히 기재되고 있는지 여부 6. 안전작업허가서는 해당 작업 완료 후 1년간 보관하도록 하고 있는지 여부 7. 안전작업 시작 전에 작업 내용을 해당 지역 및 인접지역의 운전원, 정비원 및 도급업체 등 안전작업으로 인해 영향을 받을 수 있는 작업자에게 알려주고 있는지 여부
제47조 (도급업체 안전관리 심사)	사업주가 공정설비의 보수, 설비의 개선 및 가동 정지 후 일체 정비와 같이 공정과 설비의 안전에 관련된 업무를 도급업체로 하여금 수행하도록 할 경우 다음 각 호의 기준에 따라 안전관리가 수행되고 있는지를 심사하여야 한다. 1. 사업장의 안전보건총괄책임자가 다음 각 목의 안전관리 내용을 도급업체에 대해 시행하고 있는지 여부

관련 조항	내 용
	가. 도급업체 선정 시 도급업체의 안전업무 수행실적 및 능력에 관한 자료와 안전작업계획의 평가 나. 도급업체의 작업시행 이전에 작업자들에게 화재, 폭발, 독성물질 누출 위험과 예방에 관한 교육 실시 다. 도급업체의 작업자들에게 사고 발생시의 비상조치계획 및 도급자가 취해야 할 조치 요령에 관한 교육 실시 라. 도급업체가 수행할 작업에 대하여도 안전운전지침 및 절차를 규정화하고 도급업체 작업자가 이를 준수토록 감독 마. 도급업체 작업자의 사고나 재해발생에 대한 기록 유지와 이행여부에 대한 정기적인 확인 바. 법 제63조부터 제66조까지에 따른 조치사항의 이행 여부 사. 도급업체의 안전관리수준에 대한 정기적인 평가 2. 도급업체의 사업주가 다음 각 목의 안전관리 내용을 준수하고 있는지 여부 가. 작업자들이 안전하게 작업을 수행할 수 있도록 교육 및 훈련이 충분히 실시되었는지를 확인할 것 나. 작업자들이 화재, 폭발, 독성물질 누출 위험과 예방에 관한 사항, 그리고 비상조치 내용을 충분히 숙지하고 있는지를 확인하고 기록하여 보존할 것 다. 작업자가 이수한 교육 및 훈련일시와 내용 그리고 숙지상태를 기록하여 관리할 것 라. 작업자가 안전운전지침 및 절차를 준수하고 있는지를 확인할 것 마. 작업자가 작업 중에 인지된 위험요인이 있을 경우 이를 지체없이 사업장의 안전보건총괄책임자에게 통보할 것
제48조 (공정·운전에 대한 교육·훈련)	공정운전자 및 정비작업자가 해당 공정에 대하여 다음 각 호의 기준에 따라 교육을 이수하였는지를 심사하여야 한다. 1. 공정상세도면의 이해를 위한 제조공정, 안전운전 지침 및 절차 등에 관한 교육내용의 포함 여부 2. 사업장 안전보건총괄책임자는 공정운전원이 충분한 교육과 훈련을 통하여 공정운전에 관한 지식과 기술 그리고 충분히 안전하게 운전할 능력을 갖추었음을 확인하고 해당 공정운전 자격을 부여하고 있는지 여부 3. 사업장에서 최소한 3년마다 1회 이상 교육을 실시하고 있으며, 교육 시 마다 해당 공정운전 능력이 충분함을 확인하고 있는지 여부 4. 사업장 안전보건총괄책임자는 공정운전원, 정비원 및 하도급업자에 대한 교육·훈련 실시 내용과 공정운전 자격부여 현황을 기록 보존하고 있는지 여부
제50조 (변경요소관리)	사업장이 제조공정에서 취급되는 화학물질의 변경이나 제조공정의 변경, 장치 및 설비의 주요구조 변경 또는 각종 운전·작업절차의 변경이 있을 경우에 다음 각 호의 기준에 따라 변경관리가 수행되고 있는지를 심사하여야 한다. 1. 변경관리의 대상에 최소한 다음 각 목의 사항이 포함되어 있는지 여부 가. 신설되는 설비와 기존 설비를 연결할 경우의 기존설비 나. 기존 설비의 변경은 없어도 운전조건(온도, 압력, 유량 등)을 변경할 경우 다. 제품생산량 변경은 없으나 새로운 장치를 추가, 교체 또는 변경할 경우 라. 경보 계통 또는 계측제어 계통을 변경할 경우

관련 조항	내 용
	마. 압력방출 계통의 변경을 초래할 수 있는 공정 또는 장치를 변경할 경우 바. 장치와 연결된 비상용 배관을 추가 또는 변경할 경우 사. 시운전 절차, 정상조업 정지절차, 비상조업 정지 절차 등을 변경할 경우 <u>아. 위험성평가분석결과 공정이나 장치·설비 또는 작업절차를 변경할 경우</u> 자. 첨가제(촉매, 부식방지제, 안정제, 포말생성방지제 등)를 추가 또는 변경할 경우 차. 장치의 변경 시 필연적으로 수반되는 부속설비의 변경이나 가설설비의 설치가 필요할 경우 2. 변경관리 방법에 있어서 먼저 변경 시의 절차를 규정화하여 실행하는 체계를 구축하고 있는지 여부 3. 변경 절차에 변경 전 다음 사항을 검토하도록 하는 내용이 포함되었는지 여부 가. 변경계획에 대한 공정 및 설계의 기술적 근거의 타당성 여부 나. 변경 부분의 전·후 공정 및 설비에 대한 영향 다. 변경 시 안전·보건·환경에 대한 영향 라. 변경 시 뒤따르는 운전절차상의 수정 내용의 타당성 여부 마. 변경 일정의 적합성 여부 바. 변경 시 관련기관에 필요한 보고 업무 등 4. 사업장에서 변경 이전에 변경할 내용을 운전원, 정비원 및 도급업체 등에게 정확히 알려 주고, 변경 설비의 시운전 이전에 이들에게 충분한 훈련을 실시하고 있는지 여부 5. 변경 시 공정안전 기술자료의 변경이 수반될 경우에는 이들 자료의 보완이 즉시 이행되고 있는지 여부 6. 운전절차, 안전작업허가절차 및 도급작업절차 등 안전운전 관련자료의 변경이 수반될 때도 즉시 변경되는지 여부

4) 사업장 위험성평가에 관한 지침

사업장 위험성평가에 관한 지침(노동부고시)에서는 기계·기구, 설비 등의 정비 또는 보수에 대해서도 위험성평가를 수행하도록 하고 있다(표 II-4). 이에 따라 정비보수작업을 도급 받은 수급인 사업주는 정비보수작업에 대해 위험성평가를 수행해야 하는데, 도급을 준 사업주도 위험성평가를 수행하도록 하고 있다. 또한 도급을 준 사업주는 수급사업주가 실시한 위험성평가 결과를 검토하여 도급사업주가 개선할 사항이 있는 경우 이를 개선하여야 한다고 되어 있다.

〈표 II-4〉 사업장 위험성평가에 관한 지침 중 협력업체 관련 사항

관련 조항	내 용
제5조 (위험성평가 실시주체)	① 사업주는 스스로 사업장의 유해·위험요인을 파악하고 이를 평가하여 관리 개선하는 등 위험성평가를 실시하여야 한다. ② 법 제63조에 따른 작업의 일부 또는 전부를 도급에 의하여 행하는 사업의 경우는 도급을 준 도급인(이하 “도급사업주”라 한다)과 도급을 받은 수급인(이하 “수급사업주”라 한다)은 각각 제1항에 따른 위험성평가를 실시하여야 한다. ③ 제2항에 따른 도급사업주는 수급사업주가 실시한 위험성평가 결과를 검토하여 도급사업주가 개선할 사항이 있는 경우 이를 개선하여야 한다.
제5조의2 (위험성평가의 대상)	① 위험성평가의 대상이 되는 유해·위험요인은 업무 중 근로자에게 노출된 것이 확인되었거나 노출될 것이 합리적으로 예견 가능한 모든 유해·위험요인이다. 다만, 매우 경미한 부상 및 질병만을 초래할 것으로 명백히 예상되는 유해·위험요인은 평가 대상에서 제외할 수 있다. ② 사업주는 사업장 내 부상 또는 질병으로 이어질 가능성이 있었던 상황(이하 “아차사고”라 한다)을 확인한 경우에는 해당 사고를 일으킨 유해·위험요인을 위험성평가의 대상에 포함시켜야 한다. ③ 사업주는 사업장 내에서 법 제2조제2호의 중대재해가 발생한 때에는 지체 없이 중대재해의 원인이 되는 유해·위험요인에 대해 제15조제2항의 위험성평가를 실시하고, 그 밖의 사업장 내 유해·위험요인에 대해서는 제15조제3항의 위험성평가 재검토를 실시하여야 한다.
제6조 (근로자 참여)	사업주는 위험성평가를 실시할 때, 법 제36조제2항에 따라 다음 각 호에 해당하는 경우 해당 작업에 종사하는 근로자를 참여시켜야 한다. 1. 유해·위험요인의 위험성 수준을 판단하는 기준을 마련하고, 유해·위험요인별로 허용 가능한 위험성 수준을 정하거나 변경하는 경우

관련 조항	내 용
	2. 해당 사업장의 유해·위험요인을 파악하는 경우 3. 유해·위험요인의 위험성이 허용 가능한 수준인지 여부를 결정하는 경우 4. 위험성 감소대책을 수립하여 실행하는 경우 5. 위험성 감소대책 실행 여부를 확인하는 경우
제15조 (위험성평가의 실시 시기)	① 사업주는 사업이 성립된 날(사업 개시일을 말하며, 건설업의 경우 실착공일을 말한다)로부터 1개월이 되는 날까지 제5조의2제1항에 따라 위험성평가의 대상이 되는 유해·위험요인에 대한 최초 위험성평가의 실시에 착수하여야 한다. 다만, 1개월 미만의 기간 동안 이루어지는 작업 또는 공사의 경우에는 특별한 사정이 없는 한 작업 또는 공사 개시 후 지체 없이 최초 위험성평가를 실시하여야 한다. ② 사업주는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하여 추가적인 유해·위험요인이 생기는 경우에는 해당 유해·위험요인에 대한 수시 위험성평가를 실시하여야 한다. 다만, 제5호에 해당하는 경우에는 재해발생 작업을 대상으로 작업을 재개하기 전에 실시하여야 한다. 1. 사업장 건설물의 설치·이전·변경 또는 해체 2. 기계·기구, 설비, 원재료 등의 신규 도입 또는 변경 3. 건설물, 기계·기구, 설비 등의 정비 또는 보수(주기적·반복적 작업으로서 이미 위험성평가를 실시한 경우에는 제외) 4. 작업방법 또는 작업절차의 신규 도입 또는 변경 5. 중대산업사고 또는 산업재해(휴업 이상의 요양을 요하는 경우에 한정한다) 발생 6. 그 밖에 사업주가 필요하다고 판단한 경우

5) 화학공장의 정비보수 관련 지침(KOSHA Guide)

화학공장의 정비보수 관련 안전보건기술지침은 정비보수업무를 진행하는 단계별로 여러 지침이 제정되어 있다. 세부 지침은 <표 II-5>와 같다. 각 지침이 여러 개의 항목에 해당되는 것이 대부분인데 이러한 경우 제목이 내용과 일치하는 것에 배치하였다.

〈표 II-5〉 화학공장의 정비보수 관련 안전보건기술지침(KOSHA GUIDE)

연번	구분	지침번호	지침명
1	작업계획서	P-154-2016	정비·보수작업계획서 작성에 관한 기술지침
2	작업절차	Z-47-2022 Z-30-2022 P-108-2012 Z-36-2022	안전작업절차에 관한 지침 제조업 등의 정비보수절차에 관한 지침 안전운전절차서 작성에 관한 기술지침 작업(업무)관련 안전보건절차 검토에 관한 지침
3	위험성평가	P-8-2012 Z-41-2022 P-157-2017 P-140-2020	위험성평가 실시를 위한 우선순위 결정기술지침 화재 위험성평가에 관한 지침 정기적인 공정위험성평가에 관한 기술지침 작업위험성평가에 관한 기술지침
4	작업허가	P-94-2019 Z-5-2022	안전작업허가지침 작업허가 및 작업전 안전회의에 관한 지침
5	안전조치	D-56-2016 P-18-2012 X-68-2015	맹판 설치 및 제거에 관한 기술지침 인화성 물질의 누출에 대한 안전조치 기술지침 밀폐공간 위험관리에 관한 기술지침
6	안전교육	H-158-2021 P-96-2020	물질안전보건자료 교육 실시에 관한 지침 공정안전에 관한 근로자 교육훈련 지침
7	협력업체	P-95-2016 P-145-2015 Z-4-2023	도급업체의 안전관리계획 작성에 관한 기술지침 화학공장의 도급업체 자율안전관리에 관한 기술지침 적격 수급업체 선정 및 도급사업 안전보건관리에 관한 지침
8	정보제공	Z-10-2022	조직의 의사소통 및 정보제공에 관한 지침
9	정비보수 작업	O-4-2011 C-109-2017 P-93-2020	화학공장의 정비·보수에 관한 안전관리 지침 화학플랜트 개·보수 공사 안전보건작업 기술지침 유해·위험설비의 점검·정비·유지관리에 관한 기술지침

위와 같은 지침이외에도 화학공장의 정비보수작업과 관련한 사고를 예방하기 위하여 안전보건공단에서는 아래와 같은 다양한 매뉴얼을 제공하고 있다.

(2013-중대산업-957) 화학설비 정비보수작업 안전보건관리 매뉴얼

(2020-중대산업사고예방실-10) 화재위험작업 확인·게시 매뉴얼

(2013-교육미디어-399) 화학공장 정비·보수작업

(2021-사업총괄본부-897) 도급사업 안전보건관리 운영 매뉴얼

2. 화학공장의 정비보수 절차

1) 정비보수 절차

화학공장에서 협력업체를 활용하여 정비보수를 수행하는 절차는 사업장마다 조금씩 차이가 있다. 안전보건기술지침의 내용과 일부 사업장을 방문하여 조사한 결과를 종합하여 <표 II-6>과 같은 기본적인 정비보수 절차를 작성할 수 있었다. 표에서 위험성평가와 작업표준 작성은 경우에 따라 순서가 변경되거나 생략될 수도 있다. 공정 및 물질안전보건정보는 일부 사업장의 경우 입찰 설명회에서 제공하기도 하였고, 일부는 정해진 절차가 없는 곳도 있었다. 작업허가서 작성의 경우에도 일부 사업장은 정비부서에서 작성하였고, 일부 사업장은 협력업체가 작성하는 경우도 있었다. 작업허가서의 승인은 설비를 담당하는 생산부서에서 수행하는 경우가 대부분이었다.

2) 정비보수 절차별 관련 규정 및 지침

화학공장에서 협력업체를 활용하여 정비보수를 수행하는 경우 적용되는 규정 및 안전보건지침은 <표 II-7>과 같이 정리할 수 있다. 정비보수업무의 각 단계별로 여러 규정과 지침이 적용되고 있음을 알 수 있다. [그림 II-1]은 도급작업 시 화재위험작업절차에 대한 예시이다. 그림에서는 9건의 작업 전 안전조치사항을 제시하고 있으나 수행주체가 원청과 협력업체별로 명확하게 구분되어 있지 않기 때문에 실제로 정비보수작업을 수행할 때에는 이에 대한 역할과 책임을 명확하게 할 필요가 있는 것으로 판단된다.

〈표 II-6〉 화학공장의 정비보수 절차(예)

연번	업무 단계		수행자 구분	
1	정비보수 계획 수립		원청	
2	입찰 설명회		원청	→ 협력업체
3	입찰 참여		원청	← 협력업체
4	협력업체 평가		원청	→ 협력업체
5	정비보수 계약		원청	↔ 협력업체
6	사전조사 및 작업계획서 작성		협력업체	
7	위험성평가		원청	& 협력업체
8	작업표준 작성		(원청)	& 협력업체
9	작업 전 안전조치		원청	& (협력업체)
10	공정 및 물질 안전보건정보 제공		원청	→ 협력업체
11	안전 교육	작업자 안전보건교육	협력업체	
		작업자 안전보건교육 실시 확인	원청	→ 협력업체
		경보체계 운영 및 대피방법 훈련 등	원청	→ 협력업체
12	작업허가서 작성		원청	or 협력업체
13	작업 전 안전조치 확인		원청	& 협력업체
14	작업허가서 승인 및 발급		원청	→ 협력업체
15	작업 전 안전회의(TBM)		원청	& 협력업체
16	정비보수작업(현장) 및 감독		원청	→ 협력업체
			협력업체	

〈표 II-7〉 도급에 의한 화학공장의 정비보수업무 절차 및 관련 규정 및 지침

업무 단계	수행자 구분	관련 규정 및 지침
정비보수 계획 수립	원청	(안전규칙) 제38조(사전조사 및 작업계획서의 작성 등) (지침) 정비·보수작업계획서 작성에 관한 기술지침 (지침) 유해·위험설비의 점검·정비·유지관리에 관한 기술지침 (PSM고시) 공정안전보고서 제출·심사·확인 및 이행상태평가 관련 규정
입찰 설명회	원청 → 협력 업체	-
입찰 참여	원청 ← 협력 업체	-
협력업체 평가	원청 → 협력 업체	(산안법) 제61조(적격 수급인 선정 의무) (PSM고시) 공정안전보고서 제출·심사·확인 및 이행상태평가 관련 규정 (지침) 적격 수급업체 선정 및 도급사업 안전보건관리에 관한 지침 (중대법) 제5조(도급, 용역, 위탁 시 안전 및 보건 확보) (중대법 시행령) 제4조(안전보건관리체계의 구축 및 이행 조치)
정비보수 계약	원청 ↔ 협력 업체	-
사전조사 및 작업계획서 작성	협력 업체	(산안법) 제63조(도급인의 안전조치 및 보건조치) (산안법) 제64조(도급에 따른 산업재해 예방조치) (산안법) 제65조(도급인의 안전 및 보건에 관한 정보 제공 등) (안전규칙) 제38조(사전조사 및 작업계획서의 작성 등) (안전규칙) 제278조(개조·수리 등) (지침) 정비·보수작업계획서 작성에 관한 기술지침 (지침) 유해·위험설비의 점검·정비·유지관리에 관한 기술지침 (지침) 도급업체의 안전관리계획 작성에 관한 기술지침 (지침) 화학공장의 도급업체 자율안전관리에 관한 기술지침
위험성평가	원청 & 협력 업체	(산안법) 제65조(도급인의 안전 및 보건에 관한 정보 제공 등) (안전규칙) 제300조(기밀시험시의 위험 방지) (위평고시) 사업장 위험성평가에 관한 지침 (지침) 화학공장의 정비·보수에 관한 안전관리 지침 (지침) 작업위험성평가에 관한 기술지침 (지침) 화재 위험성평가에 관한 지침

업무 단계	수행자 구분	관련 규정 및 지침
작업표준 작성	(원청) & 협력 업체	(산안법) 제65조(도급인의 안전 및 보건에 관한 정보 제공 등) (안전규칙) 제300조(기밀시험시의 위험 방지) (PSM고시) 공정안전보고서 제출·심사·확인 및 이행상태평가 관련 규정 (지침) 화학공장의 정비·보수에 관한 안전관리 지침 (지침) 안전운전절차서 작성에 관한 기술지침
작업 전 안전조치	원청 & (협력 업체)	(산안법) 제63조(도급인의 안전조치 및 보건조치) (산안법) 제64조(도급에 따른 산업재해 예방조치) (산안법) 제65조(도급인의 안전 및 보건에 관한 정보 제공 등) (산안법) 제66조(도급인의 관계수급인에 대한 시정조치) (안전규칙) 제239조(위험물 등이 있는 장소에서 화기 등의 사용 금지) (안전규칙) 제240조(유류 등이 있는 배관이나 용기의 용접 등) (안전규칙) 제241조(화재위험작업 시의 준수사항) (안전규칙) 제241조의2(화재감시자) (안전규칙) 제242조(화기사용 금지) (안전규칙) 제243조(소화설비) (안전규칙) 제278조(개조·수리 등) (지침) 맹판 설치 및 제거에 관한 기술지침 (지침) 인화성 물질의 누출에 대한 안전조치 기술지침 (지침) 화학플랜트 개·보수 공사 안전보건작업 기술지침 (지침) 밀폐공간 위험관리에 관한 기술지침
공정 및 물질 안전보건정 보 제공	원청 → 협력 업체	(산안법) 제65조(도급인의 안전 및 보건에 관한 정보 제공 등) (지침) 조직의 의사소통 및 정보제공에 관한 지침
안전교육	협력 업체	(산안법) 제64조(도급에 따른 산업재해 예방조치) (산안법) 제65조(도급인의 안전 및 보건에 관한 정보 제공 등) (PSM고시) 공정안전보고서 제출·심사·확인 및 이행상태평가 관련 규정
	원청 → 협력 업체	(지침) 공정안전에 관한 근로자 교육훈련 지침 (지침) 물질안전보건자료 교육 실시에 관한 지침
작업허가서 작성	원청 or 협력 업체	(지침) 안전작업허가지침 (지침) 작업허가 및 작업전 안전회의에 관한 지침

업무 단계	수행자 구분	관련 규정 및 지침
작업 전 안전조치 확인	원청 & 협력 업체	(산안법) 제64조(도급에 따른 산업재해 예방조치) (산안법) 제66조(도급인의 관계수급인에 대한 시정조치) (안전규칙) 제239조(위험물 등이 있는 장소에서 화기 등의 사용 금지) (안전규칙) 제240조(유류 등이 있는 배관이나 용기의 용접 등) (안전규칙) 제241조의2(화재감시자) (안전규칙) 제242조(화기사용 금지) (안전규칙) 제300조(기밀시험시의 위험 방지) (지침) 밀폐공간 위험관리에 관한 기술지침
작업허가서 승인 및 발급	원청 → 협력 업체	(지침) 안전작업허가지침 (지침) 작업허가 및 작업전 안전회의에 관한 지침
작업 전 안전회의 (Tool Box Meeting, TBM)	원청 & 협력 업체	(지침) 작업허가 및 작업 전 안전회의에 관한 지침
정비보수 작업(현장) 및 감독	원청 → 협력 업체 협력 업체	(산안법) 제64조(도급에 따른 산업재해 예방조치) (산안법) 제66조(도급인의 관계수급인에 대한 시정조치) (안전규칙) 제240조(유류 등이 있는 배관이나 용기의 용접 등) (안전규칙) 제239조(위험물 등이 있는 장소에서 화기 등의 사용 금지) (안전규칙) 제241조(화재위험작업 시의 준수사항) (안전규칙) 제241조의2(화재감시자) (안전규칙) 제279조(대피 등) (안전규칙) 제300조(기밀시험시의 위험 방지)

※ (산안법): 산업안전보건법, (중대법): 중대재해 처벌 등에 관한 법률, (안전규칙): 산업안전보건 기준에 관한 규칙, (PSM고시): 공정안전보고서의 제출·심사·확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정, (위평고시): 사업장 위험성평가에 관한 지침, (지침): KOSHA GUIDE



[그림 II-1] 도급사업 시 화재위험작업 허가절차(예시)

[출처: 안전보건공단, 화재위험작업 확인·게시 매뉴얼, 2020.1]

3) 정비보수작업 도급 시 업무 단계별 업체 역할

화학공장에서 협력업체를 활용하여 정비보수를 수행하는 경우 각 업무단계에서의 업체별 역할의 예를 <표 II-7>에 나타내었다. 그리고 산업안전보건법, 시행령, 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙, 관련 고시에 나타난 원청과 협력업체의 의무를 일부 발췌해서 나타내었다. 일부 사업장을 확인한 결과 정비보수작업을 도급을 주는 경우와 관련하여 정비보수 절차에 업체별 역할이 명확하게 구분된 곳도 있었으나 역할이 모호하게 기술된 곳도 있었다.

<표 II-8> 도급에 의한 화학공장의 정비보수업무 절차 및 업체별 역할(예)

업무 단계	도급인(원청) 역할	수급인(협력업체) 역할
정비보수 계획 수립	(계약/생산/정비/안전부서) 정비보수 계획 수립 직접 또는 도급 수행 여부 결정	(해당 없음)
입찰 설명회	(정비/안전/계약부서) 정비보수 계획 관련 정보 제공	입찰 설명회 참석 및 입찰 참여 계획서 작성
입찰 참여	(계약부서) 입찰서 접수	정비보수 계획 제출
협력업체 평가	(정비/안전부서) 협력업체의 적격성 평가 (입찰서류 등 검토 포함) ※ 산업안전보건법 제61조(적격 수급인 선정 의무) - 사업주는 산업재해 예방을 위한 조치를 할 수 있는 능력을 갖춘 사업주에게 도급하여야 한다. ※ 공정안전보고서 규정(고시) - 사업주가 공정설비의 보수, 설비의 개선 및 가동 정지 후 일체 정비와 같이 공정과 설비의 안전에 관련된 업무를 도급업체로 하여금 수행하도록 할 경우 기준에 따라 안전관리가 수행되고 있는지를 심사하여야 한다.	적격성 평가 수검

업무 단계	도급인(원청) 역할	수급인(협력업체) 역할
정비보수 계약	(계약부서) 협력업체와 계약	원청과 계약
사전조사 및 작업계획서 작성	(생산/정비/안전부서) - 작업 관련 정보 제공 - 협력업체 작업일정 관리	사전조사 및 작업계획서 작성 ※ 산업안전보건법 제38조(사전조사 및 작업계획서의 작성 등) - 작업계획서를 작성하고 그 계획에 따라 작업을 하도록 하여야 하고, 작업계획서의 내용을 해당 근로자에게 알려야 한다.
위험성평가	(생산/정비/안전부서) - 위험성평가 수행 - 협력업체의 위험성평가 결과 검토 및 개선 ※ 위험성평가 규정(고시) - 도급사업주와 도급을 받은 수급사업주는 각각 위험성평가를 실시하여야 한다. - 도급사업주는 수급사업주가 실시한 위험성평가 결과를 검토하여 도급사업주가 개선할 사항이 있는 경우 이를 개선하여야 한다.	위험성평가 수행 ※ 위험성평가 규정(고시) - 도급사업주와 도급을 받은 수급사업주는 각각 위험성평가를 실시하여야 한다. - 도급사업주는 수급사업주가 실시한 위험성평가 결과를 검토하여 도급사업주가 개선할 사항이 있는 경우 이를 개선하여야 한다. ※ 공정안전보고서 규정(고시) - 협력업체 사업주의 의무 가. 산업안전보건법 제63조부터 제66조까지에 따른 조치 사항의 이행 나. 작업자에 대한 교육 및 훈련 다. 작업표준 작성 및 작업 위험성평가 실시 등
작업표준(작업절차서) 작성	(생산/정비/안전부서) 작업표준 작성 지원	작업표준(작업절차서) 작성 ※ 공정안전보고서 규정(고시) - 협력업체 사업주의 의무 가. 산업안전보건법 제63조부터 제66조까지에 따른 조치 사항의 이행 나. 작업자에 대한 교육 및 훈련 다. 작업표준 작성 및 작업 위험성평가 실시 등

업무 단계	도급인(원청) 역할	수급인(협력업체) 역할
작업 전 안전조치	(생산/정비/안전부서) 작업 전 안전조치 수행 - 작업구역 설정(출입금지 표시) - 가연성물질 제거 또는 용접방화포 등 방호조치 - 소화기 등 소화기구 비치 - 인화성 액체의 증기, 가스 환기조치 - 근로자 피난 및 화재예방 교육 지원 - 가스농도 측정 및 분진 잔존 여부 확인 등 ※ 산업안전보건법 제63조(도급인의 안전조치 및 보건조치) - 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우에 자신의 근로자와 관계수급인 근로자의 산업재해를 예방하기 위하여 안전 및 보건 시설의 설치 등 필요한 안전조치 및 보건조치를 하여야 한다. 다만, 보호구 착용의 지시 등 관계수급인 근로자의 작업 행동에 관한 직접적인 조치는 제외한다.	작업 전 안전조치 수행 - 작업구역 설정(출입금지 표시) - 가연성물질 제거 또는 용접방화포 등 방호조치 - 불꽃, 불티 비산 방지조치 - 인화성 액체의 증기, 가스 환기조치 - 가스농도 측정 및 분진 잔존 여부 확인 - 근로자 보호구 지급 등
공정 및 물질 안전보건정보 제공	(생산/정비/안전부서) (산안법) 협력업체에 작업대상 공정 및 물질 등의 안전보건정보 제공 ※ 산업안전보건법 제65조(도급인의 안전 및 보건에 관한 정보 제공 등) - 유해·위험설비를 개조·분해·해체 또는 철거하는 작업을 도급하는 자는 그 작업을 수행하는 수급인 근로자의 산업재해를 예방하기 위하여 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 해당 작업 시작 전에 수급인에게 안전 및 보건에 관한 정보를 문서로 제공하여야 한다.	제공받은 안전 및 보건에 관한 정보 검토

업무 단계	도급인(원청) 역할	수급인(협력업체) 역할
안전교육	(생산/정비/안전부서) 협력업체 안전교육 지원 ※ 산업안전보건법 제64조(도급에 따른 산업재해 예방조치) - 도급인은 관계수급인 근로자가 도급인의 사업장에서 작업을 하는 경우 다음 각 호의 사항을 이행하여야 한다. • 관계수급인이 근로자에게 하는 제29조제1항부터 제3항까지의 규정에 따른 안전보건교육을 위한 장소 및 자료의 제공 등 지원 • <u>관계수급인이 근로자에게 하는 제29조제3항에 따른 안전보건교육의 실시 확인</u> • 작업 장소에서 화재·폭발이 발생한 경우에 대비한 경보체계 운영과 대피방법 등 훈련 ※ 도급업체의 안전관리계획 작성에 관한 기술지침 - 사업주는 도급업체 포함 해당 공정 근로자들에게 비상조치계획(최악 및 대안의 사고 시나리오 포함)의 제공 및 훈련을 실시하여야 한다. - 사업주는 도급업무 시작 전에 도급업체의 사업주 및 근로자에게 사업장내에서 준수해야 할 안전작업요령 및 안전작업허가서 발급절차 등을 알려주어야 한다. - 사업주는 유해·위험작업 중 화재·폭발 또는 위험물질 누출 등 비상사태 발생 우려가 있는 경우에는 KOSHA GUIDE P-101 “비상조치계획 수립 지침”에 따른 비상조치계획에 포함된 내용 중 도급업체의 사업주 및 근로자가 취해야 할 조치요령 등을 교육하여야 한다.	작업자 안전교육 수행
작업허가서 작성	(생산/정비/안전부서) 작업허가서 작성 또는 작성 지원	(관리감독자) 작업허가서 작성(필요시)

업무 단계	도급인(원청) 역할	수급인(협력업체) 역할
작업 전 안전조치 확인	(생산/정비/안전부서) 작업 허가 전 안전조치 확인 ※ 산업안전보건법 제64조(도급에 따 른 산업재해 예방조치) - 도급인은 관계수급인 근로자가 도급 인의 사업장에서 작업을 하는 경우 다음 각 호의 사항을 이행하여야 한다. • 같은 장소에서 이루어지는 도급인 과 관계수급인 등의 작업에 있어서 관계수급인 등의 작업시기·내용, 안전조치 및 보건조치 등의 확인 • 관계수급인 등의 작업 혼재로 인하 여 화재·폭발 등 대통령령으로 정 하는 위험이 발생할 우려가 있는 경우 관계수급인 등의 작업시기· 내용 등의 조정	
작업허가서 승인 및 발급	(생산/안전부서) 작업허가서 승인 및 작업허가서 발급	작업허가서 게시
작업 전 안전회의 (Tool Box Meeting, TBM)	작업 전 회의 시 안전교육 지원	작업 전 회의 시 안전교육 수행 및 참여
정비보수작업 (현장) 및 감독	(생산/정비/안전부서) 작업 감독	작업감독 및 작업 수행 ※ 작업단계 - 작업준비 - 자재준비 - 공구 및 장비 준비 - 작업 전 안전조치 확인 - 자재 및 장비 운반 - 작업 수행
설비 가동 전 점검 (작업 완료 후 점검)	(생산/정비/안전부서) 설비 가동 전 점검 수행	작업 완료 후 점검 수행

Ⅲ. 화학공장 중대산업사고 현황



Ⅲ. 화학공장 중대산업사고 현황

1. 중대산업사고 현황

중대산업사고¹⁾ 현황은 안전보건공단 전문기술실(2023년, 2022년)에서 작성한 자료를 이용하여 분석하였다.

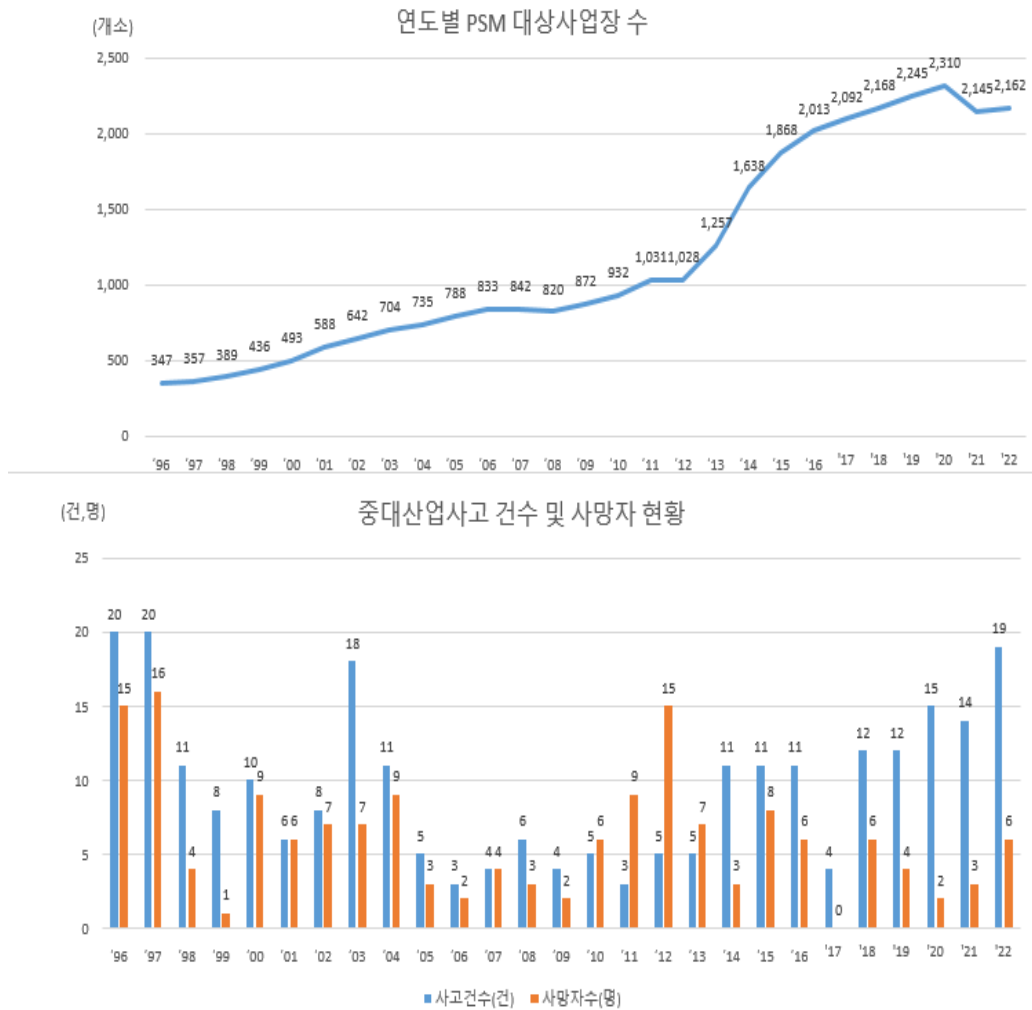
1) PSM 사업장수와 중대산업사고 발생건수

2005년부터 2022년까지 18년간 발생한 중대산업사고 149건에서 사망자가 89명, 부상자가 455명이 발생한 것으로 나타났다[그림 III-1]. 2022년에 전체 공정안전보고서 제출 및 심사 대상 사업장수는 2,162개소였다.

2014년 이후 매년 11~19건 발생('22년 19건 발생)하였고, 2014년부터 2014년 이전보다 다수 발생한 것으로 나타났다. 이러한 이유는 2014년 이후 중대산업사고의 정의가 사망자가 아닌 부상자 1명 이상 발생한 화재, 폭발 및 위험물질 누출사고로 명확해지고 PSM 대상사업장이 확대되면서 급격하게 증가된 것으로 추정할 수 있다.

중대산업사고로 인한 사망자는 정비보수(40명), 정상운전(23명), 재가동(14명) 순으로 발생한 것으로 나타났다. 원청업체 사망자는 정상운전 또는 재가동 중 주로 발생한 것으로 나타났고, 하청업체 사망자는 정비보수 중 더 많이 발생한 것으로 나타났다. 사망자는 '05년 이후 2012년까지 증가하다가 이후 감소하는 추세를 보이고 있다.

1) 중대산업사고란 산업안전보건법 제44조에 따른 공정안전보고서 제출 대상 설비로부터 위험물질 누출, 화재 및 폭발 등으로 인하여 사업장 내의 근로자에게 즉시 피해를 주거나 사업장 인근 지역에 피해를 줄 수 있는 사고로서 산업안전보건법 시행령 제43조제3항에 해당하는 누출·화재·폭발 사고를 말한다.



[그림 Ⅲ-1] PSM 대상 사업장 수 및 중대산업사고 현황(2005~2022년)

2) 운전(작업) 상황별 재해자 발생 현황

중대산업사고 발생건수를 운전 또는 작업상황을 기준으로 보면 정상운전(65건), 정비보수(54건), 재가동(13건) 순으로 발생하였다. 사망자는 정비보수(40명), 정상운전(23명), 재가동(14명) 순으로 발생하였고, 부상자는 정상운전(265명), 정비보수(130명), 시운전(27명), 재가동(26명) 순으로 발생한 것으로 나타났다 <표 Ⅲ-1>. 원청업체 사망자는 정상운전 또는 재가동 중 주로 발생한 것으로 나타났고, 협력업체 사망자는 주로 정비보수작업 중에 발생하여 정비보수작업 중 사망자수와 부상자수는 원청보다 협력업체에서 더 많이 발생한 것으로 나타났다.

〈표 Ⅲ-1〉 운전(작업) 상황별 재해자 발생 현황(2005~2022년)

(단위 : 명)

구분	건수	사망자 수	부상자 수
합계	149	89	455
시운전	8	6	27
재가동	13	14	26
정상운전	65	23	265
정비보수	54	40	130
입·출하	9	6	7

3) 운전(작업) 상황별 및 설비별 발생현황

설비별로는 저장설비(38건), 반응(혼합)설비(34건), 이송(배관)설비 (33건) 순으로 발생하였고, 정상운전 중 사고는 반응설비(24건), 저장설비(13건) 순으로 발생한 것으로 나타났다. 정비보수 중 사고는 저장설비(16건), 이송(배관)설비 (15건) 순으로 발생한 것으로 나타났다.

〈표 Ⅲ-2〉 운전(작업) 상황별 및 설비별 사고 발생현황

(단위 : 건)

구분	합계	시운전	재가동	정상운전	정비보수	입출하
합계	149	8	13	65	54	9
반응(혼합) 설비	34	1	3	24	6	-
분리장치	12	-	1	4	7	-
저장설비	38	3	2	13	16	4
열교환기	6	1	1	2	2	-
가열로	4	-	1	2	1	-
분체 분리장치	3	1	1	1	-	-
펌프(압축) 설비	5	-	-	4	1	-
이송(배관) 설비	33	1	3	11	15	3
폐가스처리설비	2	-	-	1	1	-
분진처리설비	1	-	-	-	-	1
기타	11	1	1	3	5	1

4) 운전(작업) 상황별 및 업종별 발생현황

사업장 업종별로는 규정수량(97건), 석유화학(42건), 화약업종(10건) 순으로 발생하였고, 규정수량 및 화약업종 사업장은 주로 정상운전 중 발생한 것으로 나타났다, 석유화학 사업장은 주로 정비보수 중 발생한 것으로 나타났다.

〈표 Ⅲ-3〉 운전(작업) 상황별 및 업종별 사고 발생현황

(단위 : 건)

구분	합계	시운전	재가동	정상운전	정비보수	입출하
합계	149	8	13	65	54	9
석유화학	42	1	7	11	21	2
화약업종	10	-	-	7	3	-
규정수량	97	7	6	47	30	7

2. 화학공장 정비보수 중 중대산업사고 현황

1) 정비보수작업 종류별 재해자 현황

2005년부터 2022년까지 18년 간 화학공장에서 정비보수작업 중에 발생한 화학사고를 정비보수작업 종류별로 분류하면 <표 III-4>와 같다. 표를 보면 배관작업(18건), 밀폐공간작업(14건), 탱크정비작업(11건) 순으로 발생한 것으로 나타나 있다. 사망자는 밀폐공간작업(18명), 탱크정비작업(11명), 배관작업(7명) 순으로 발생한 것으로 나타났다. 사고발생 빈도로는 배관작업이 가장 높고 사망자수는 밀폐공간작업에서 가장 많이 발생하여 작업종류에 따른 사고발생빈도와 사망자수에는 일부 차이가 있었다.

〈표 III-4〉 정비보수작업 종류별 사망자 및 부상자 수

(단위 : 건, 명)

구분	건수	사망자 수	부상자 수
합계	54	40	130
배관작업	18	7	62
밀폐용기작업	14	18	40
탱크정비작업	11	11	13
회전기기작업	5	0	7
전기작업	2	1	4
충진물 교체작업	2	1	2
도장작업	1	1	0
열교환기 작업	1	1	2

2) 정비보수 중 발생한 주요 중대산업사고

2010년부터 2021년까지 공정안전보고서 제출 및 심사대상 사업장에서 정비보수작업을 수행하던 중 발생한 주요 화재·폭발 및 누출사고는 <표 Ⅲ-5>와 같다.

<표 Ⅲ-5> 화학공장 정비보수 중 발생한 주요 중대산업사고(2010~2021년)

연 번	발생 연도	사업장명	근로자 규모	개 요	사 망	부 상	발생 형태
1	20XX	○○○(주)	1000인 이상	공장의 페인트 룸에서 2명의 작업자가 페인터 탱크 내부를 청소하던 중 탱크에 고착된 페인트(고형물)를 제거하기 위해 전동브레이커를 사용하는 순간 “퍽”하는 소리와 함께 화재가 발생함	1	1	화재
2	20XX	(주)○○○	1000인 이상	공장에 순간 정전이 발생하여 송풍기 가동이 정지됨. 송풍기를 재가동하기 위해 흡입밸브를 잠그고, 토출밸브를 연 후 현장에 위치한 기동스위치를 켜고 흡입밸브를 여는 도중, 송풍기가 폭발함	0	2	폭발
3	20XX	○○○(주)	1000인 이상	중질유분해공장 PSA(Pressure Swing Adsorption)에서 정비작업을 마치고 가동 준비 중 배관에서 Off-gas(수소 약 86.5%)가 누출되면서 화재·폭발사고가 발생하였고, 주변의 보온재를 덮은 비닐로 화재가 전파됨	3	4	폭발
4	20XX	○○○(주)	500인 미만	○○공장의 PP(폴리프로필렌) 제조시설에서 정기보수 작업 중 노말-헥산이 체류된 드럼에서 폭발 및 화재가 발생하여 드럼의 측면 맨홀 입구(4층)에서 드럼 세척작업을 하던 작업자가 폭발 과압에 의해 2층으로 추락하여 사망하고, 드럼 하부 배출구(2층)에서 발생한 화재를 진압하던 작업자 2명이 2도 화상을 입음	1	2	폭발
5	20XX	○○○○	50인 미만	저유소에서 소방검사를 받기 위해 저장탱크에 남아있는 휘발유를 이동식 펌프를 사용하여 이송 작업 중에 정전기 또는 스파크로 추정되는 점화원에 의해 폭발·화재가 발생함	0	3	폭발

연 번	발생 연도	사업장명	근로자 규모	개 요	사 망	부 상	발생 형태
6	20XX	○○○(주)	300인 미만	HDPE공장 제품(분진) 저장탱크(사일로) 2층에서 정비보수업체가 맨홀을 붙이는 작업 중 사일로 내부에 잔존한 HDPE 분진이 용접 불꽃에 점화되어 폭발을 일으킴	6	11	폭발
7	20XX	(주)○○○	1000인 이상	고로 개수 공사현장에서 열풍로 정기 보수(내화벽돌 교체 등) 사전 작업으로 열풍로 연료인 Mixing Gas(BFG + COG)를 차단하기 위해 가스 인입측에 설치된 GCV(Gas Control Valve)를 분리하고 맹판 설치를 위한 체결볼트 해체작업 중 배관 내 잔류 가스가 폭발함	0	2	폭발
8	20XX	(주)○○○	1000인 이상	EPS 생산 공장에서는 배수로 설치를 위해 그라 인더를 사용하여 작업장 바닥을 절단하던 중 펜탄 회수탱크 배수밸브에서 펜탄이 배출되어 급격한 화재가 발생함	1	1	화재
9	20XX	○○○	50인 미만	저유소에서 유류 저장탱크의 개방검사를 위하여 내부 혼합유(가솔린, 등유 혼합)를 제거 후, 내부 물청소작업을 완료하는 시점에서 최종 청소완료 여부 확인(탱크내 부유지붕 측면 실(Seal)상태 점검 등)을 하기 위해 협력업체 작업자가 입조한 상태에서 화재가 발생함	1	0	화재
10	20XX	○○○(주)	300인 미만	폐수처리장의 고농도 폐수 집수조 상부에서 외주 협력업체가 환경설비 개선공사를 위해 상부에 설치된 폐수 이송 배관의 연결 작업 등을 하던 중 폐수 집수조 내부에서 폭발이 발생함	6	1	폭발
11	20XX	○○○(주)	1000인 이상	황산공급 캐비닛 안에 설치되어 있는 배관 및 밸브 교체 작업을 준비하기 위해 가압 중인 황산공급 캐비닛 안으로 들어가 사진 촬영을 하던 중 재해자가 착용하고 있던 식별띠 끈 등이 플러싱용 포트 체결 너트에 걸리면서 충격에 의해 너트가 탈락 되어 황산이 누출됨	0	1	누출_접촉
12	20XX	○○○(주)	1000인 미만	포스겐 제조공정 Chamber 내에서 대정비 준비작업을 위해 공무팀 1명, 생산팀 1명과 협력업체 작업자 2명이 송기마스크(전면형)를 착용하고 포스겐 벤트 배관에 설치된 맹판 교체작업(close→open 위치 변경)을 실시 하던 중 작업대상 배관 내부의 가압된 포스겐 가스가 플랜지 사이로 누출됨	1	0	누출_중독

연 번	발생 연도	사업장명	근로자 규모	개 요	사 망	부 상	발생 형태
13	20XX	○○○(주)	1000인 이상	황산제조공정의 순환배관에 설치된 맹판을 분리하는 작업 중 내부의 황산이 누출·비산됨	2	4	누출_접촉
14	20XX	(주)○○○	100인 미만	스테인리스 강관 용접 공정에서 기존에 사용하던 용접용 수소 분배기를 신규 분배기로 교체하기 위해 철거작업을 하던 중 원인미상의 폭발 발생	0	2	폭발
15	20XX	○○○	100인 미만	에탄올 워셔액 탱크(60ton) 이설을 완료하고 물 공급 배관에 드레인 밸브 설치를 위해 용접기로 구멍을 뚫던 중 폭발 발생	0	2	폭발
16	20XX	○○○(주)	1000인 미만	정비공사 중 복수탈열설비 Acid Feed Pump 전단 밸브 및 스트레이너 교체 작업 중 염산 누출	0	1	누출_접촉
17	20XX	○○○(주)	1000인 미만	부타디엔 추출공정에 열교환기 덮개를 크레인으로 설치 중 가동 중인 증류 컬럼에서 혼합 C4 가스 및 디메틸포름아미드 누출	0	1	누출
18	20XX	○○○(주)	500인 미만	NCC공장 내 혼합 C4와 에틸렌의 프로필렌 전환 공정 반응기 후단 열교환기 채널커버(Channel Cover)에서 Mixed C4 및 프로필렌이 누출되면서 점화	0	1	화재
19	20XX	○○○(주)	1000인 이상	공장에서 생산제품 변경(Grade Change)을 위하여 공장을 정지하고 분리기 내부 세정을 위하여 상부 덮개 볼트를 풀고 이동식 크레인으로 30cm정도 들어 올리는 순간 화염 발생	0	9	화재
20	20XX	○○○(주)	100인 미만	공정동 수첨유 이송펌프에 이상현상이 발생하여 예비펌프로 전환하고, 정지된 펌프 내 수첨유를 폐오일 저장드럼으로 이송 후, 단관 내 잔존 수첨유를 배출하기 위하여 드레인 배관에 고무호스를 연결하여 작업 중 고무호스가 이탈되면서 고온의 수첨유 누출	0	1	누출_접촉
21	20XX	○○○	300인 미만	위험물 옥외탱크저장소 내 Slop oil 저장탱크 외벽에서 외주 협력업체가 물 분무 소화설비 설치를 위한 배관 지지대 용접 작업 중 고온에 의해 탱크 내 잔류하던 인화성 증기가 탱크 내부에서 폭발	0	2	폭발
22	20XX	○○○(주)	1000인 미만	공장 황산 순환 펌프를 수리하기 위한 질소 퍼지 작업 중 펌프 후단 배출 배관에 연결된 가압용 질소 호스를 분리하자 황산 비산	0	1	누출

연 번	발생 연도	사업장명	근로자 규모	개 요	사 망	부 상	발생 형태
23	20XX	(주)○○○	100인 미만	반응동 3층에서 협력업체 소속 작업자 3명이 반응기 상부 6인치 노즐에 소포제 투입배관 연결을 위해, 아르곤 용접 중 반응기 내부 유증기에 점화되어 폭발로 인한 급격한 외염 전파	1	2	폭발
24	20XX	○○○(주)	1000인 이상	고로 측면에 설치된 냉각판(Cooling Plate)에 공급되는 냉각수 배관라인을 보수작업 후, 휴식 중이던 협력업체 소속 작업자 2명이 어지럼증을 호소	0	2	누출
25	20XX	(주)○○○	50인 미만	대정비 보수작업 중 부산물 저장조 상부 배관에 신설배관을 추가 설치하기 위하여 기존 배관 (3/4")에 핸드그라인더로 절단중 원인 미상의 점화원에 의해 화재 발생	0	2	화재
26	20XX	○○○(주)	300인 미만	이산화티타늄 제조공정 황산 믹싱탱크 상부 자동밸브 교체 작업중 체결볼트를 여는 순간 황산 누출	0	2	누출
27	20XX	○○○(주)	1000인 미만	공정 내 Scrubber 산 Return Line Leak 보수를 위해 협력업체 소속 근로자 3명이 배관 교체 작업을 완료하고 Leak Test를 위해 이동하던 중 플랜지 볼트 체결부에서 황산 비산	0	1	누출_접촉
28	20XX	○○○(주)	500인 미만	NCC공장 Demethanizer 후단 배관의 기밀 시험 준비를 위해 그라인더를 사용하여 플랜지 볼트 절단작업 중 화재 발생	0	2	화재
29	20XX	○○○(주)	500인 미만	항공유정제공정 CLAY 필터 내부에서 진공 흡입차이용하여 CLAY 제거작업 중 화재 발생	0	2	화재
30	20XX	○○○(주)	300인 미만	가성소다 배관의 스팀 트레이싱 라인(동관) 설치 작업 중 보온재 해체 작업시 사용하던 수공구(용접망치)에 의해 인접한 염산 배관 (PVC) 파손으로 염산 누출	0	2	누출
31	20XX	○○○(주)	500인 미만	라텍스공정 기액분리기(내부물질: SM(styren monomer), MMA(methyl metha acrylate 등)) 후단 폐수집수조에서 폐수처리장으로 보내는 펌프가 작동되지 않아 근로자 2명이 폐수처리조와 펌프 사이 배관 막힘 여부를 확인하던 중 미상의 점화원에 의해 화재 발생	0	2	화재

연 번	발생 연도	사업장명	근로자 규모	개 요	사 망	부 상	발생 형태
32	20XX	(주)○○○	1000인 미만	열처리공정 세척설비 이상으로 세척액 공급 공압밸브 보수작업 중 세척액 누출에 의해 화재가 발생	0	2	화재
33	20XX	○○○	50인 미만	하수처리장 하수슬러지 발효공정 소화조 상부 옥상에서 소화조 교반기 인양용 와이어로프 교체 작업 중 원인미상의 폭발 발생	0	3	폭발
34	20XX	○○○	50인 미만	TSA(트리사일아민) 생산공정에서 저순도 TSA 저장탱크 내부 세척작업을 위해 물을 투입한 후 45% KOH(수산화칼륨)을 투입하자 폭발과 함께 화염이 발생	0	3	폭발
35	20XX	○○○(주)	100인 미만	위험물저장탱크 상부 VOC 배관 연결 작업 중 폭발 및 화재발생	3	0	화재

IV. 화학공장 정비보수 중 협력업체 화학사고 분석



IV. 화학공장 정비보수 중 협력업체 화학사고 분석

1. 분석 대상 화학사고

최근 5년간(2017년 7월~2022년 12월) PSM 대상 화학공장의 정비보수 중 협력업체 직원의 사망 또는 부상이 발생한 사고 중 21건을 선정하여 상세 분석을 수행하였다. 협력업체의 직원이 포함되지 않고 원청의 직원만 부상 또는 사망한 경우에는 분석 대상에서 제외하였다. 또한 일부 사업장은 화학 공장에는 해당되지 않으나 공정안전보고서 작성 및 심사대상에 해당되는 사업장이고, 화학물질을 취급하던 중에 재해가 발생하여 분석대상에 포함시켰다. 분석대상은 화재 또는 폭발사고가 14건, 화학물질 누출에 의한 접촉 또는 중독사고가 7건이었다. 연구 초기에는 화재 또는 폭발사고 14건만을 분석대상으로 설정하였으나 분석 중 화학물질 누출에 의한 사고도 발생 메커니즘이 화재·폭발과 유사한 점이 많아 분석대상으로 포함하였다.

〈표 IV-1〉 분석 대상 중대산업사고(2017~2022년)

연 번	발생 연도	사업장명	작업구분	취급물질	발생 형태	작업 내용
1	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	에탄올	폭발	배관 용접
2	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	혼합C4 및 추출용제	누출 흡입	열교환기 세척 후 덮개 설치
3	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	염산	누출 접촉	부품 탈착 (스트레이너)
4	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	혼합 C4, 에틸렌, 프로필렌	화재	보온작업 (열교환기)
5	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	EVA(Ethylene, Vinyl Acetate Monomer)	화재 폭발	설비 해체 (분리기)

연 번	발생 연도	사업장명	작업구분	취급물질	발생 형태	작업 내용
6	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	수소, 일산화탄소, 이산화탄소, 질소, 산소	중독	배관 교체
7	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	황산	누출 접촉	밸브 교체
8	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	지방족계 C5 석유수지 원료	폭발	탱크에 소화설비 설치 위한 용접
9	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	Styrene Monomer, Poly Styrene 등	폭발	반응기 배관 용접
10	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	Trimethyl chloro silane, Silicon tetra chloride	폭발 화재	탱크 배관 절단
11	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	황산	누출 접촉	밸브 교체 후 누설시험
12	20XX	OOOO	협력업체 (하수급인)가 작업 수행	아세틸렌, 에틸렌, 에탄, 프로필렌, 부타디엔	화재	배관 플랜지 체결 볼트 절단
13	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	염산	누출 접촉	배관 보온재 해체
14	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	등유, Clay (알루미나 규산염)	화재	용기(필터) 내부 물질 제거(clay)
15	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	메탄, 이산화탄소, 황화수소	폭발	교반기 인양용 와이어로프 교체
16	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	이소파라핀C	폭발 화재	탱크 통기 배관 교체(용접)
17	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	압축 공기	폭발	열교환기 기밀시험
18	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	황산	누출 접촉	밸브 및 단관 교체
19	20XX	OOOO	원청, 사내 및 사외협력업체가 작업 수행	톨루엔	화재	탱크 내부 부품 교체(Form Seal)
20	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	이소부탄, 노말부탄	폭발 화재	밸브 개방 점검
21	20XX	OOOO	협력업체가 작업 수행	싸클로헥산 (Cyclohexane)	폭발 화재	차단 밸브 누설 점검

2. 분석 대상 화학사고별 주요 원인

분석을 수행하기 전에 재해조사의견서에 제시된 내용을 기준으로 화재·폭발 및 화학물질 누출에 의한 접촉사고 21건의 주요 사고원인을 <표 VI-2>와 같이 정리하였다. 여러 보고서에서 반복으로 제시된 사고원인은 작업 전 설비 내부의 유해·위험물질 미제거 또는 제거 미흡, 작업표준 미작성 또는 미흡, 위험성평가 미 실시 또는 미흡, 작업허가서 미발행 또는 발행 미흡, 교육 내용 미흡, 보호구 미착용 또는 부적절한 보호구 착용, 부적절한 기기 및 공구 사용 등이었다.

재해원인으로 제시된 내용은 협력업체가 조치하기 어려운 것이 대부분이고, 일부는 협력업체가 조치해야 할 부분도 있다. 따라서 이러한 원인을 원청과 협력업체로 구분하여 분석할 필요가 있으며, 원청과 협력업체 사이에 어떤 관계가 있었는지에 대해서도 분석할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

<표 IV-2> 화학공장 정비보수 중 발생한 화학사고의 주요 원인

연번	연도	사업장명	사고 개요	주요 사고 원인
1	20XX	OOOO	에탄올 워셔액 탱크(60ton) 이설을 완료하고 물 공급 배관에 드레인 밸브 설치를 위해 용접기로 구멍을 뚫던 중 폭발 발생 (부상 2명, 탱크 및 사무실 유리창 파손)	• 화기작업 전 인화성 물질 제거 미흡 • 작업책임자 미지정 • 인화성 가스 및 증기 농도 미측정 • 위험성평가 수행 내용 미흡
2	20XX	OOOO	부타디엔 공장에서 열교환기 세척 후 크레인으로 열교환기 덮개(channel)를 설치하던 중 증류탑의 공기구동 밸브(AOV) 조작기 오조작으로 밸브가 열려 증류탑 내부의 혼합C4 및 추출 용제가 누출되어 작업자가 흡입(4명 흡입/1명 부상)	• 유해위험물질이 있는 배관의 공기구동밸브 구동원(압축 공기) 미차단 • 공기구동밸브 조작 절차 미준수 • 작업발판 설치 미흡 • 안전작업허가서 승인 전 안전조치 확인 미흡(꼬리표(tag) 미부착)

연번	연도	사업장명	사고 개요	주요 사고 원인
3	20XX	○○○○	염산공급펌프 흡입측(Suction) 배관에 위치한 PVC 재질의 스트레이너(Y형)가 손상되어 이를 교체하기 위해 작업자가 스트레이너를 탈착하는 과정 중에 접합부위에서 염산(35%)이 누출 되었으며, 누출을 차단하기 위해 염산탱크 하부에 위치한 차단 밸브를 잠그는 도중에 주변에 누출된 염산(35%)이 작업자의 좌측 눈에 비산됨(부상 1명)	• 위험물질 배관 밸브 미차단 • 배관 내부 위험물질 미제거 • 보호구 미착용(안면보호구, 공간협소 및 조도 미확보로 일시적 미착용) • 작업계획서 작성 시 위험요인을 고려하지 않음 • 원청과 협력업체의 밸브 차단 관련 의사소통 오류 • 안전작업허가서의 안전조치 요구사항 미준수 • 원청의 작업 감독 미흡 • 작업표준 미작성 • (작업)위험성평가 미흡
4	20XX	○○○○	생산제품 변경을 위하여 공장을 정지하고 분리기 내부 세정을 위하여 상부 덮개 볼트를 풀고 이동식 크레인 으로 30cm정도 들어 올리는 순간 화염 발생(부상 9명)	• 화기작업 전 인화성 물질(가스) 제거 미흡 • 인화성 가스 및 증기 농도 미측정 • 작업허가서 발급 부적절 • 작업표준 미흡 • 작업절차(작업표준) 미준수 • 맹판 미설치 • 위험성평가 수행 내용 미흡
5	20XX	○○○○	공정 위험물 옥외 탱크저장소 내 Slope oil 저장탱크 외벽에서 외주 협력업체가 물 분무 소화설비 설치를 위한 배관 지지대 용접 작업 중 고온에 의해 탱크 내 잔류하던 인화성 증기가 탱크 내부에서 폭발(부상 2명)	• 화기작업 전 인화성 물질(슬러지) 미제거 • 작업절차(작업표준) 미준수 • 인화성 가스 농도 미측정 • 작업허가서 승인(허가) 전 안전조치 확인 부적절 • 위험성평가 수행 내용 미흡 • 협력업체 수행 작업에 대한 관리 감독 미흡 • 안전교육 미흡
6	20XX	○○○○	고로에 설치된 냉각판(Cooling Plate)으로 공급되는 냉각수 배관라인을 보수작업 후, 휴식 중이던 작업자가 어지럼증을 호소함 (부상2명)	• 냉각판 보수 지연으로 다수의 크랙 발생 • 작업표준 미준수(가스 농도가 기준이상으로 측정되었으나 적절한 보호구(산소 마스크) 미착용) • 작업자의 적절한 보호구 미착용 등에 대한 관리감독 미흡 • 위험성평가 수행에 따른 안전대책 제시 미흡 • 밀폐공간 작업 프로그램 운영관리 미흡

연번	연도	사업장명	사고 개요	주요 사고 원인
7	20XX	○○○○	이산화티타늄 제조공장에서 작업자 4명이 황산-광석(일메나이트) 혼합탱크 상부의 황산 배관에 설치된 자동밸브 교체작업 중 밸브 플랜지에 체결된 볼트를 해체하는 과정에서 배관에 잔류된 황산(98%)이 누출 되어 내산보호구를 미착용한 작업자 2명이 얼굴에 화상을 입음(부상 2명)	- 정비보수작업 전 안전조치 미흡 (배관 내부에 황산 체류) - 원청과 협력업체 간에 황산 누출 관련 의사 소통 미흡 - 위험성평가 미흡(유해물질에 대한 평가 누락) - 안전작업 허가서 미발행 - 유해위험작업 도급 승인 절차 누락 - 협력업체에 안전보건 정보 제공 미흡 - 작업자 교육 내용 미흡 - 작업표준 내용 미흡 - 원청 교대 근무자 인수인계 미흡
8	20XX	○○○○	반응동에서 작업자 3명이 반응기 상부 6인치 노즐에 소포제 투입 배관 연결을 위해, 아르곤 용접 중 반응기 내부 유증기가 점화되어 폭발(부상 3명)	- 화기작업 전 인화성 물질(펜탄) 제거 미흡 - 맹판 체결 미실시 - 인화성 가스 농도 미측정 - 취급 물질에 대한 안전보건정보 미제공 - 위험성평가 결과 미반영 또는 미확인
9	20XX	○○○○	유기 실리콘(실란트) 제조공장의 증류 공정에서 대정비 보수작업 중 부산물 저장조 상부 배관에 신설 배관을 추가 설치하기 위하여 기존 배관(3/4")을 핸드그라인더로 절단중 화재 발생 (부상 2명)	- 화기작업 전 인화성 물질(액체) 제거 미흡 - 작업표준 미작성 - 화재 예방을 위한 작업 현장 안전조치 미실시 - 안전교육 미흡 - 관리감독 미흡 - 위험성평가 수행 내용 미흡 - 작업허가서 승인(허가) 전 안전조치 확인 부적절
10	20XX	○○○○	OO공장 내 NCC공장 Demethanizer 후단 배관의 기밀시험 준비를 위해 그라인더를 사용하여 플랜지 볼트 절단작업 중 화재 발생(부상 2명)	- 화기작업 전 인화성 물질 제거 미흡 (밸브 누설) - 기밀시험을 위한 안전 조치 및 확인 미실시 - 위험성평가 수행 내용 미흡 - 위험성평가 결과 미반영 - 작업허가서 발급 부적절 - 안전조치 이행상태 확인 미흡 - 협력업체 수행 작업에 대한 관리 감독 미흡

연번	연도	사업장명	사고 개요	주요 사고 원인
11	20XX	○○○○	생산 공정에서 스크러버(Scrubber) 황산 리턴(Return) 배관 부분 교체 작업 후 질소(N ₂)가스를 이용한 누설 시험(Leak Test)을 실시하는 과정에서 배관에 잔류한 98% 황산이 누출되어 작업자가 접촉 (부상 1명)	• 교체용 배관 제작 및 설치 부적정 (설치 후 플랜지면에 간극 발생) • 정비품질 확인절차 부적정 • 누설시험 작업표준 미작성 • 누설시험 전 안전조치 미실시 • 누설시험용 압력계 미설치 • 배관 내 위험물(황산) 잔류 여부 확인 미흡 • 배관 관리 소홀(배관 경사 발생) • 작업계획서 미작성(긴급작업이라는 이유로 작성하지 않음) • 비계 미설치(5m 이상 고소작업) • 보호구 미착용(일시적 미착용)
12	20XX	○○○○	항공유 정제과정 CLAY 필터 내부에서 진공 흡입차를 이용하여 CLAY 제거 작업 중 화재가 발생(부상 2명)	• 설비 교체 주기 또는 기준 미준수 • 작업표준 미흡 • 화기작업 전 인화성 물질(등유) 제거 미흡 • 인화성 증기 농도 측정 방법 미흡 • 부적절한 작업 공구 사용 • 변경 작업에 대한 위험성 검토 및 안전조치 미흡
13	20XX	○○○○	파이프랙 3단(지상에서 8 m 높이)에서 정수 재생제(가성소다 33%) 배관 보온작업 중 동결된 보온재를 해체하는 과정에서 인접한 PVC 재질의 염산배관(35%) 파손으로 누출된 염산(35%)이 파이프랙 2단(지상에서 6.5 m 높이)에서 작업하던 작업자의 목과 등에 접촉(2명 부상)	• 취급설비의 내부의 위험물 미제거 • 보호구(안면보호구) 미착용 • 작업계획서 작성 미흡(염산 등 위험물질에 대한 언급 없고, 위험물질에 의한 위험성이 고려되지 않음) • 작업계획서 통보 시점 늦어 검토 미흡 • (작업) 위험성평가 미흡(보호구, 인접 배관의 파손 위험성, 구체적인 작업절차 등이 제시되지 않음) • 위험성평가에서 고려되지 않은 공구 사용(용접 망치) • 부적절한 작업방법으로 작업(그라인더나 커터 사용 대신 동결된 보온재를 흔들면서 해체) • 작업허가 전 현장의 안전조치 상태 확인 미흡 • 작업 전 안전보건교육 미흡(작업 위험성, 위험물질, 비상 시 대응방안 등)

연번	연도	사업장명	사고 개요	주요 사고 원인
14	20XX	○○○○	○○하수처리장 소화조 ○○현장에서 하수슬러지 발효공정 소화조 상부 옥상에서 소화조 교반기 인양용 와이어 로프 교체 작업 중 폭발 발생 (부상 3명)	• 화기작업 전 인화성 물질 제거 미흡 • 부적절한 작업 공구 및 기계·기구 사용
15	20XX	○○○○	위험물저장탱크 상부 페인트 및 도료의 용제로 사용하는 인화성 액체 배관 연결 작업 중 폭발 및 화재 발생 (사망 3명)	• 부적절한 작업 공구 사용 • 화기작업 전 인화성 물질(액체) 미제거 • 작업허가서 승인(허가) 전 안전조치 확인 부적절 • 작업표준 미흡 • 작업 전 위험성평가 미실시 • 협력업체 수행 작업에 대한 관리 감독 미흡 • 취급 물질에 대한 안전보건정보 미제공 • 작업 전 안전교육 미실시 • 화기감시자(안전관찰자) 역할 미이행 • 공정 변경에 대한 위험성 검토 및 안전조치 미흡 • 부적절한 작업 공구 및 기계·기구 사용 • 설비 안전조치 미흡
16	20XX	○○○○	○○공장 급냉 공정의 열교환기에 대하여 계기용 공기(약 17kgf/cm ²)를 이용해 기밀시험을 하던 중 열교환 기의 Floating Head Cover가 파열 (사망 4명, 부상 4명)	• 기계 부품 및 재료의 안전성 부족 • 기밀시험을 위한 안전 조치 및 확인 미실시 • 작업표준 미흡 • 특별안전교육 미실시 • 작업계획서 미작성 • 위험성평가 수행 내용 미흡
17	20XX	○○○○	톨루엔 저장탱크 개방검사를 위해 내부 청소 후 Foam Seal 제거 작업 중 원인 미상의 화재 발생(사망 2명)	• 정비보수 계획 수립 미흡 • 작업 전 인화성 물질 제거 미흡 • 부적절한 작업 공구 및 기계·기구 사용 • 작업허가서 내용 미이행 • 작업표준 미흡 • 작업 전 위험성평가 미실시
18	20XX	○○○○	황산 탱크 입하 펌프(Unloading pump) 흡입·토출측 밸브 및 단관을 교체하기 위해 밸브를 조작하는 과정에서 흡입측 밸브의 플랜지 부위로	• 작업 전 안전조치 미실시(배관의 황산 제거 미실시) • 작업허가절차 미준수(현장 확인 없이 작업허가서에 서명 등)

연번	연도	사업장명	사고 개요	주요 사고 원인
			황산(98%)이 비산되어 작업을 하던 근로자가 화상을 입음(부상 2명)	• (원청) 황산 취급 설비에 대한 공정위험성 평가 미실시 • (협력업체)작업위험성평가 미실시 • 적격수급업체 선정 절차 미이행 • 작업자들의 보호구 착용 미확인 • 적절한 보호구 미착용(방독마스크, 안면 보호구, 내화학복 등)
19	20XX	○○○○	○○공장 알킬레이션 공정 C4 (Mixed Butane) 컴프레서 후단 밸브 고착해소를 위한 정비 작업 중 원인 미상의 폭발로 화재가 발생 (사망 1명 부상 11명)	• 맹판 미설치 • 작업허가서 내용 미이행 • 위험성평가 수행 내용 미흡 • 공정 변경에 대한 위험성 검토 및 안전조치 미흡 • 작업계획서 미작성
20	20XX	○○○○	Alkylate 생산 공정의 압축기 후단 Anti-surge Valve 고착해소를 위해 정비 작업 중 C4 누출에 의한 폭발·화재 발생(사망 1명, 부상 11명)	• 위험물 누출방지조치 미흡(맹판 미설치, 제어밸브 인터록 Bypass 조치 미흡) • 작업허가서 안전조치 사항 점검 미흡(맹판, 밸브 닫음, 인터록 작업 시 확인사항 조치 미흡) • 물질(C4) 투입방법 변경에 따른 변경관리 미실시(위험성평가, 운전절차서 검토 등) • 작업계획서 미작성
21	20XX	○○○○	싸이클로헥산 정제설비에서, 정제설비 재생계통의 차단밸브 누설(Passing) 여부 확인을 위해 질소 가압 하에 점검하던 중 안전밸브를 통해 분출된 싸이클로헥산에 의해 폭발·화재가 발생(사망 1명, 부상 6명)	• 안전밸브에서 배출되는 위험물 처리방법 부적절 • 작업표준(작업절차서) 미작성에 따른 안전 조치 누락(위험물 드레인 방법 및 절차, 밸브 누설 확인 등) • (작업)위험성평가 미흡(세부 작업내용 미포함) • 작업허가절차 미흡(실제 수행 작업과 관련된 내용 확인 미흡) • 작업허가서 발급 미흡(화재폭발 요인이 고려되지 않은 일반작업허가서가 발급되어 안전조치 미흡) • 교대 시 인수인계 미흡(인수인계 과정에서 잔류 물질로 인한 위험성 검토 미흡)

3. 정비보수업무 단계별 사고기여요인

〈표 II-6〉의 화학공장의 정비보수 절차를 기준으로 분석대상 21건의 사고에 대해 사고기여요인을 원청과 협력업체로 구분하여 〈표 IV-3〉에 정리하였다. 재해조사의견서에 나타난 사고기여요인이 원청 또는 협력업체 중 어느 쪽에 해당되는지 구분하기 모호한 것은 양쪽 모두에 기술하였고, 두 업체에 모두 해당되는 것도 양쪽에 기술하였다. 동일한 사고에 여러 개의 기여요인이 있는 경우 각 기여요인을 모두 기재하였다.

화학공장 정비보수 중 발생한 화학사고의 기여요인을 보면 정비보수 계획 미흡 및 적격 수급업체 선정 절차 미이행은 각각 1건씩 있었고, 입찰 과정이나 정비보수 계약과 관련해서는 제시된 사고기여요인은 확인되지 않았다.

작업계획서와 관련하여 원청에서는 작업계획서를 작성하지 않거나 작업계획서를 제대로 공유되지 않는 경우가 있었고, 협력업체가 작성한 작업계획서를 검토하지 않은 것이 사고발생에 기여한 사례도 있었다. 협력업체는 작업계획서를 작성하지 않거나 작성했더라도 미흡한 부분이 있었고, 작업계획서를 근로자들에게 공유하지 않는 경우도 있었다.

최근(2023.5.22)에 개정된 “사업장 위험성평가에 관한 지침(고용노동부 고시)”을 기준으로 보면 위험성평가와 관련하여 원청의 협력업체 위험성평가에 대한 지원 및 검토가 미흡하거나, 유해·위험요인 파악 및 검토가 미흡한 경우, 유해·위험요인에 대한 안전대책 마련이 미흡한 경우가 있었다. 협력업체는 위험성평가를 실시하지 않거나 유해·위험요인 파악 및 검토가 미흡한 경우가 있었고, 유해·위험요인에 대한 안전대책 마련이 미흡하거나 위험성평가 결과에 따른 안전조치를 하지 않고 작업을 수행하는 경우가 있었던 것으로 나타났다. 위험성평가와 관련해서는 많은 부분이 정비보수작업을 직접 수행해야 하는 협력업체에 해당되는 것으로 구분되었다.

작업표준(작업절차서)과 관련하여 원청에서는 작업표준을 작성하지 않거나 미흡하게 작성한 경우가 있는 것으로 나타났고, 협력업체에서도 작업표준(작업절차서)을 작성하지 않거나 작업표준 작성이 미흡한 경우가 있었다. 작업표준의 경우 협력업체 단독으로 작성하기 어려운 경우가 많기 때문에 많은 사고사례에서 협력업체의 작업표준 미작성 또는 미흡이 사고기여요인으로 작용한 것으로 나타났다. 정비보수와 관련하여 협력업체가 수행해야 하는 작업은 원청에서도 작업표준(작업절차서)을 가지고 있어야 할 것으로 판단되어 일부 요인은 원청과 협력업체에 모두 기술하였다.

작업 전 안전조치 및 작업허가서 승인 관련 대부분은 원청의 역할로 구분하였지만 원청과 협력업체의 계약 관계나 당시의 작업조건을 알 수 없었기 때문에 협력업체가 수행해야 할 부분도 포함되어 있을 것으로 판단된다. 이와 관련하여 도출된 사고기여요인으로서는 유해·위험물질 미제거 또는 제거 미흡, 유해·위험물질 취급 배관 차단 조치 미실시, 비계 또는 작업발판 미흡, 기밀 테스트 관련 안전조치 미흡, 꼬리표 미부착, 작업허가서 미발행 또는 발급 절차 미준수 등이 있는 것으로 나타났다. 많은 사고들이 작업 전 안전조치가 제대로 수행되지 않아 발생하고 있는 것으로 나타났기 때문에 원청과 협력업체가 작업 전에 안전조치 내역을 함께 확인하도록 하는 방안 마련이 필요할 것으로 판단되었다. 참고로, 표에서 “작업 전 안전조치”와 “작업허가서 승인 전 안전확인”은 구분하기 모호한 부분이 있기 때문에 두 항목을 같은 범주로 구분해도 될 것으로 판단된다.

이외에 협력업체 작업에 대한 관리감독이 미흡하거나 관리감독자의 업무수행이 미흡한 경우가 있는 것으로 나타났고, 실제 작업 수행 중에 작업표준 미준수, 작업에 부적절한 공구 및 보호구 사용 등의 사고기여요인이 있는 것으로 나타났다. 또한, 기타 기계설비의 설계, 설치, 관리와 관련된 문제점이나 의사소통 미흡 등이 있는 것으로 나타났다.

〈표 IV-3〉 화학공장 정비보수 중 발생한 사고의 업무단계별 사고기여요인

연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
1	정비 보수 계획	- 정비보수계획 미흡 - 정비보수를 위한 충분한 작업시간 미확보	-
2	입찰 설명회	-	-
3	입찰 참여	-	-
4	협력 업체 평가	- 적격 수급업체 선정 절차 미이행 - 안전관리계획서 검토 및 승인 미실시	-
5	정비 보수 계약	-	-
6	작업 계획서	- 작업계획서 미작성 - 긴급작업이라는 이유로 작업계획서 작성 생략 - 부분적이고 일시적 작업 중지 후 운전 재개 시 작업방법을 포함한 작업계획서를 작성하지 않음 - 작업계획서 공유 미흡 - 원청에서 작성한 작업계획서가 작업 당일에 협력업체에 통보됨 - 원청에서 협력업체의 작업계획서를 검토하지 않음 - 협력업체로부터 작업계획서를 제출받지 않음	- 작업계획서 미작성 - 긴급작업이라는 이유로 작업계획서 작성 생략 - 화학설비와 그 부속설비를 사용하는 작업(기밀시험)에 대해 작업계획서를 작성하지 않음 - 작업계획서 작성 미흡 - 위험물에 대해 구체적으로 언급하지 않음(염산, 가성소다) - 작업(배관 보온 작업 중 동결된 보온재 해체)의 위험성이 충분히 검토되지 않음 - 작업계획서(안전관리계획서) 작성 시 공정 및 물질의 위험성에 대해서 고려되지 않음(염산 배관의 스트레이너 탈착) - 작업계획서 공유 미흡 - 작업계획서 내용을 근로자에게 알리지 않음
7	위험성 평가	- 협력업체 위험성평가 지원 및 검토 미흡 - 원청의 참여 없이 협력업체 직원만 작업 위험성평가를 수행하고, 원청은 위험성평가 실시 여부만 확인(위험성평가 결과 및 안전대책 확인 미흡)	- 위험성평가 미실시 - 작업방법(용기 내부 물질 제거 방법)이 변경되었으나 위험성평가를 실시하지 않음 - 위험물 저장탱크 상부의 통기관 변경 공사 수행 관련 위험성평가 미실시

연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
		- 위험성평가 결과에 대한 원청의 검토나 보완 미 실시 • 유해·위험요인 파악 및 검토 미흡 - 주기적으로 수행하는 작업에 대해 작업 위험성평가 내용 미흡 - 각 작업을 주요 단계로 구분하지 않고 대정비 전체에 대하여 작업위험성평가를 실시하여 일부 작업이 누락됨 - 협력업체가 수행하는 작업에 대해 원청에서 위험성평가를 수행하였으나 세부 내용을 포함하지 않음(드레인 작업, 질소 가압에 의한 밸브 점검) - 작업대상 배관과 인접한 염산 배관의 위험성이 고려되지 않음 - 작업장소(고로)가 밀폐공간에 해당되나 밀폐공간 적용 여부를 검토하지 않음 - 위험물(C4) 누출의 잠재위험이 있었으나 인터록에 의한 밸브 개방 조건이 검토되지 않음	- 위험성검토서(JRA)에 황산 취급 배관 교체 작업의 개괄적인 위험성만 일부 포함하고 위험성평가는 실시하지 않음 - 위험물 저장탱크 내부 작업(Form Seal 교체)에 대해 위험성평가를 실시하지 않음 • 유해·위험요인 파악 및 검토 미흡 - 배관에 용접기로 작업 시의 화재·폭발 위험성을 작업위험성평가에 반영하지 않음 - 공급탱크의 메인 차단밸브 조작 위치의 협소함 및 조도 미확보 내용 미반영 - 고온으로 운전되는 핫볼팅 대상 설비에 대해 인화성 가스 누출 가능성을 고려하지 않음 - 핫볼팅 대상 설비 주변에서 작업 시 인화성 가스 누출 여부 확인 및 검토 미흡 - 부반응에 의해 설비의 운전온도보다 낮은 자연발화점을 갖는 물질이 생성될 수 있으나 그 가능성 검토 미흡 - 가연성가스 누출에 의한 화재폭발 위험 제시 및 대책마련 미흡 - 유해·위험물질(염산) 누출 위험성 미반영 - 유해·위험물질(황산) 관련 평가 내용 누락 - 화기작업에 대한 근로자 안전교육 실시와 같은 일반적인 사항만 검토함 - 현장 작업 조건에 대한 검토가 이루어지지 않음(탱크에 소화설비 설치하기 위한 용접 작업) - 배관 절단 등 작업상황이 구체적으로 반영되지 않음(저장탱크 상부 배관을 핸드그라인더로 절단) - 기밀시험을 위한 압력계 설치 작업에 대한 위험성 미검토 - 작업대상 배관 옆의 염산 배관 파손 시의 위험성 미검토 - 기밀시험 위험성평가에 시험압력 과압이나 설비 파열 등과 관련된 내용이 없거나 형식적으로 작성됨 - 위험물(C4) 누출의 잠재위험이 있었으나 인터록에 의한 밸브 개방 조건이 검토되지 않음

연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
		• 유해·위험요인에 대한 안전대책 마련 미흡 - 유독 가스에 의한 질식에 대한 위험성을 도출하였으나, 가스농도 측정기 착용만을 안전대책으로 제시하고, 공기호흡기 또는 송기마스크 착용에 대한 내용 없음	- 작업위험성평가 시 구체적 작업절차가 반영되지 않음(배관 보온 작업 중 동결된 보온재 해체 작업) - 압력계 설치를 위해 그라인더를 이용한 플랜지 볼트 절단 작업 전 배관 내 인화성 물질 체류 가능성 간과 • 유해·위험요인에 대한 안전대책 마련 미흡 - 노체 유독 가스에 의한 질식에 대한 위험성을 도출하였으나, 가스농도 측정기 착용만을 안전대책으로 제시하고, 공기호흡기 또는 송기마스크 착용에 대한 내용 없음(위험성평가 수행자를 알 수 없어 양쪽에 모두 표기함) - 작업에 적합한 보호구 및 작업방법 미반영 - 안면보호구 및 보호복에 대해 미검토(보안경 착용만 검토) - 비상시 대피방법 미반영 - 위험물 노출 시 대응 방법 미반영 • 위험성평가 결과에 따른 안전조치 확인 미실시 - 작업표준(작업절차서)에 밸브 잠금 및 맹판 설치, 가스 및 산소 농도측정이 포함되어 있으나 작업위험성평가표의 주요 작업절차에 대한 현재안전조치 반영상태 확인 없이 작업을 실시함
8	작업 표준 (작업 절차서)	• 작업표준(작업절차서) 미작성 - 인화성 증기의 잔류 가능성이 있는 배관 용접 작업에 대한 작업표준 없이 작업 수행 - 설비 정비보수 후 재가동 전에 기밀 테스트에 대한 작업표준(작업절차서) 미작성 - 배관 교체 후 기밀테스트(Leak test)를 수행하기 위한 작업표준 미작성(기밀테스트 대상작업 미설정) - 저장탱크 상부에서의 배관 설치 작업에 대한 작업표준 미작성 - 가연성물질이 있는 장소에서 배관 절단 작업에 대한 작업표준(작업절차서) 미작성 - 점검 및 정비를 위한 드레인 방법 작업표준 (방법 및 절차) 미작성	• 작업표준(작업절차서) 미작성 - 인화성 증기의 잔류 가능성이 있는 배관 용접 작업에 대한 작업표준 없이 작업 수행 - 설비 정비보수 후 재가동 전에 기밀 테스트에 대한 작업표준(작업절차서) 미작성 - 배관 교체 후 기밀테스트(Leak test)를 수행하기 위한 작업표준 미작성(기밀 테스트 대상작업 미설정) - 저장탱크 상부에서의 배관 설치 작업에 대한 작업표준 미작성 - 가연성물질이 있는 장소에서 배관 절단 작업에 대한 작업표준(작업절차서) 미작성 - 점검 및 정비를 위한 드레인 방법 작업표준 (방법 및 절차) 미작성

연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
		- 밸브누설(Passing)을 확인하기 위한 작업 표준(방법 및 절차) 미작성 • 작업표준(작업절차서) 작성 미흡 - 인화성가스 농도 측정 누락 - 맹판 설치 누락 - 공정 가동 중지 후 제조설비에서의 황산 드레인 절차 누락 - 황산 드레인 완료 후 잔량 확인 요령 및 현장설비 확인 항목 - 황산 드레인 작업 관련 정보공유를 위한 의사소통 및 기록요령 등 - 정비 후 정비품질을 확인하는 내용이 있느냐 실시주체, 보고체계, 확인항목이 구체적으로 명시되지 않음 - 점검 및 정비를 위한 드레인 방법 작업표준(방법 및 절차) 미작성 - 밸브누설(Passing)을 확인하기 위한 작업 표준(방법 및 절차) 미작성 - 기밀시험 실시 전, 압력계 설치 위치, 설치 방법 등에 대한 검토 및 작성 미흡 - 질소 퍼지 완료 확인 절차 불명확 - 설비 라이선스 매뉴얼에 있는 스팀 퍼지 절차가 사업장의 업무절차서에 포함되지 않음 - 화재폭발 위험성이 있는 장소에서 공기작동식 공구 또는 방폭 공구를 사용하도록 하고 있으나 확인 절차나 관리방법이 누락됨	- 밸브누설(Passing)을 확인하기 위한 작업 표준(방법 및 절차) 미작성 - 주기적으로 수행하는 스트레이너 교체작업 관련 작업표준 미작성 • 작업표준(작업절차서) 작성 미흡 - 인화성가스 농도 측정 누락 - 맹판 설치 누락 - 공정 가동 중지 후 제조설비에서의 황산 드레인 절차 누락 - 황산 드레인 완료 후 잔량 확인 요령 및 현장설비 확인 항목 - 황산 드레인 작업 관련 정보공유를 위한 의사소통 및 기록요령 등 - 정비 후 정비품질을 확인하는 내용이 있느냐 실시주체, 보고체계, 확인항목이 구체적으로 명시되지 않음 - 점검 및 정비를 위한 드레인 방법 작업표준(방법 및 절차) 미작성 - 밸브누설(Passing)을 확인하기 위한 작업 표준(방법 및 절차) 미작성 - 기밀시험 실시 전, 압력계 설치 위치, 설치 방법 등에 대한 검토 및 작성 미흡 - 질소 퍼지 완료 확인 절차 불명확 - 설비 라이선스 매뉴얼에 있는 스팀 퍼지 절차가 사업장의 업무절차서에 포함되지 않음 - 화재폭발 위험성이 있는 장소에서 공기작동식 공구 또는 방폭 공구를 사용하도록 하고 있으나 확인 절차나 관리방법이 누락됨
9	작업전 안전 조치	※ 원청 또는 협력업체 담당 여부를 구분하기 애매한 것은 대부분 원청의 범주에 포함시켰으며, 일부는 원청과 협력업체에 같이 기술함 • 유해·위험물질 미제거 - 배관 내부의 위험물질을 제거하지 않음(배관 연결 시 배관 내 펜탄 체류) - 배관 내부의 위험물질(염산)을 제거하지 않음 - 배관 내부의 위험물질(황산)을 제거하지 않음(자동밸브 교체작업 수행 시 자동밸브 1차측 배관에 황산 체류)	• 작업 전 안전조치 미실시 - 볼티 비산방지조치 미실시 • 소화기 미비치 - 화재위험작업 수행 시 소화기를 비치하지 않음(원청 항목에도 포함) • LOTO 미실시 - 사고 발생 공기구동밸브 및 공기공급밸브에 위험고리표가 부착되지 않음 - 밸브차단표시 미부착

연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
		- 배관 내부의 황산을 제거하지 않음 - 배관 내 위험물을 제거하지 않고 작업 수행 (차단밸브 누설 여부 확인을 위해 질소 가압 하에 점검하던 중 안전밸브를 통해 싸이클 로hexan 분출) - 인접 배관의 위험물(염산) 미제거 - 에탄올 워셔액 탱크 공급 배관에 용접기로 작업 시 탱크 내부의 위험물질을 제거하지 않음 - 탱크 내부의 위험물질을 제거하지 않음(탱크에 물 분무 소화설비 설치를 위한 용접작업, 슬러지 미제거 및 세정 미실시) - 탱크(소화조) 내부의 위험물질을 제거하지 않고 작업 실시(교반기 인양용 와이어로프 교체작업 시) - 탱크 내부의 위험물질을 제거하지 않고 화기작업 실시(인화성액체 저장탱크 상부 통기관에 VOC 처리 배관 설치) - 화학설비(분리기) 덮개 개방 시 내부의 위험물을 제거하지 않음 • 유해·위험물질 제거 조치 미흡 - 탱크 내부의 위험물 제거 미흡(탱크 내부 작업 실링부분 절단 중 인화성액체가 흘러나옴. 탱크 벽면의 인화성액체 제거 미흡) - 배관 내부 위험물질 제거조치 미흡(배관의 기울기로 인해 발생한 저점(Low point) 부분에 존재하는 인화성 액체가 제거되지 않음) - 밸브 누설(Passing)로 인해 배관 내부에 인화성물질이 체류(아세틸렌, 에틸렌, 에탄, 프로필렌, 부타디엔)되었으나 퍼지 작업 시 절단 예정 구간의 퍼지작업 누락 • 유해·위험물질 취급 배관 차단 조치 미실시 (맹판, 밸브 등) - 배관에 맹판을 설치하지 않음(EVA, Ethylene, Vinyl Acetate Monomer) - 배관에 맹판을 설치하지 않음(Styrene Monomer, Poly Styrene 등)	- 원청의 안전작업허가 절차서에 있는 위험 꼬리표(Tag) 부착규정을 준수하지 않음 ※ 협력업체 부분에 기술하였으나 원청의 책임에 해당될 수 있음

연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
		- 밸브 인터록 바이패스(Interlock Bypass) 조치 및 맹판 미설치(이소부탄, 노말부탄) - 작업장소에 위험물이 누출되지 않도록 조치 하지 않음(에탄올) - 위험물(염산)이 있는 탱크 및 배관의 밸브를 닫지 않아 배관에 염산이 있는 상태에서 스트레이너 탈착 작업 수행 - 작업대상 밸브를 차단하지 않음(염산 공급 탱크 하부 메인 차단밸브 미차단 및 꼬리표(Tag) 미부착) • 비계 또는 작업발판 미흡 - 배관 상부에 작업발판을 설치하지 않아 작업자가 배관 위로 올라서다 공기구동밸브를 동작시킴 - 고소작업이나 비계를 설치하지 않아 안전대를 걸고 작업수행 ※ 비계의 경우 계약 관계에 따라 설치주체가 달라질 수 있으나 계약내용을 확인할 수 없어 원청의 범위에 포함시킴 • 기밀테스트 안전조치 미흡 - 기밀테스트(Leaktest) 수행 전 안전조치 미흡(근로자 대피 계획 미수립, 의사소통 수단 미확보, 배관 내부압력을 측정하기 위한 압력계 미설치) - 열교환기 기밀시험 전 열교환기의 파열 방지를 위한 부품 점검 등 미흡 • 소화기 미비치 - 화재위험작업 수행 시 소화기를 비치하지 않음 ※ 협력업체 항목에도 포함 • LOTO 미실시 - 사고 발생 공기구동밸브 및 공기공급밸브에 위험꼬리표가 부착되지 않음 - 염산 공급탱크 하부 메인 차단밸브 미차단 및 꼬리표(Tag) 미부착 - 밸브차단표시 미부착	

연번	구분	사고기여요인	
		원천	협력업체
10	공정 및 물질 안전 보건 정보 제공	• 협력업체에 안전보건정보를 제공하지 않음 - 저장탱크 내부 물질 정보 등 미제공 (이소파라핀C) - 배관 내 잔류 위험물질(펜탄) 정보 미제공 • 협력업체에 안전보건정보 제공 미흡 (주요 내용이 구체적이지 못하거나 누락됨) - 인접 배관 내부의 위험물질에 대한 정보 제공 미흡 - 취급물질의 유해위험성 관련 주의사항 제공 미흡 - 사고 대응 요령 제공 미흡	
11	안전 교육	• 협력업체 교육 지원 및 교육결과 확인 미흡 - 협력업체 작업자들에게 작업 전 사고예방 교육 미 실시 • 경보체계 운영 및 대피방법 등 훈련 미흡 - 협력업체 작업자에 대한 화재예방 및 피난 교육 미 실시 - 협력업체 작업자에 대한 비상시 대응방안 교육 미 실시(비상시 대피방법, 세안세척시설 위치 및 사용방법 등)	• 작업자에 대한 안전보건교육 미흡 - 가성소다 배관의 보온재 제거작업의 위험성 관련 교육 미 실시 • 특별안전교육 미 실시 - 압력용기 취급 작업자에게 특별안전교육을 실시하지 않음
12	작업 허가서 작성	-	-
13	작업 허가서 승인전 안전 조치 확인	• 가스농도 또는 인화성 증기 농도를 측정하지 않음 - 작업장 및 그 주변의 인화성 증기 농도를 측정하지 않음 - 일반작업허가서를 발급 받아 설비(분리기) 상부 등 화재폭발이 발생할 수 있는 장소에서 가스농도를 측정하지 않음 - 화기작업 전 탱크 내부의 가스농도를 측정하지 않음(석유수지 원료) - 용접작업 전 반응기 내부 가연성가스 농도 미측정(Styrene Monomer, Poly Styrene 등)	

연번	구분	사고기여요인	
		원천	협력업체
		- 핸드그라인더를 이용한 배관 플랜지 체결 볼트 절단작업 수행과 관련하여 화기 작업 전 인화성 가스농도를 측정하지 않음 - 작업허가서 승인 시 필요한 안전조치 이행 상태를 확인하지 못함(가연성물질의 가스 농도 미측정) • 가스농도 또는 인화성 증기 농도를 부적절한 방법으로 측정 - 탱크 내부에서 작업 중 위험물질(톨루엔)이 배출되었으나 가스농도 측정을 하지 않음 (오후 작업 시작 전 가스농도 측정을 하지 않음) - 인화성가스 농도를 탱크 주변에서 측정 하고, 작업장소인 탱크 상부에서는 측정 하지 않음 - 취급하는 물질(등유)을 측정할 수 없는 가스 측정기를 이용하여 취급 물질의 증기 농도 측정 - 작업허가서 승인 시 가스농도 측정적정성을 확인하지 않음 • 밸브 차단 및 맹판 설치 상태 미확인 - 작업 전에 메인 차단밸브의 닫힘 상태를 확인하지 않음(염산공급탱크의 메인 차단 밸브) - 작업허가서 승인 시 필요한 안전조치 이행 상태를 확인하지 못함(밸브차단표시 미부착) - 작업허가서에 맹판, 밸브 닫힘 등의 조치 여부를 확인하도록 되어 있으나 “해당없음”으로 처리함 - 인터록 작업 시 확인사항으로 바이패스 설정이 있었으나 “해당없음”으로 체크 • 위험물질 제거 상태 확인 미흡 - 설비(분리기) 내부 치환 작업 후 안전성 확보 여부를 확인하지 않고, 치환 작업 실시 여부만 확인 - 교반기 인양용 와이어로프 교체작업 시 교반기 내부의 위험물질 제거 여부 미확인	

연번	구분	사고기여요인	
		원천	협력업체
		- 탱크에 소화설비 설치를 위한 용접작업 전 가연성물질을 제거하지 않은 상태에서 작업 허가서 승인(석유수지 원료) - 작업허가서 승인 시 필요한 안전조치 이행 상태를 확인하지 못함(배관 내 물질 드레인 미실시) - 질소 가압 및 드레인 완료 후 배관의 설치구조를 고려한 배관 내의 위험물 잔류 여부 미확인 - 저장탱크 내부의 위험물질(가연성 물질) 제거상태를 확인하지 않고 승인 - 저장탱크 내부 작업 시 누출되는 인화성 물질을 제거하기 위한 환기량 부족 및 체류 구간 존재 미인지 • LOTO 완료상태 확인 미흡 - 작업허가서 승인 시 필요한 안전조치 이행 상태를 확인하지 않음(작동금지 밸브에 위험 꼬리표(Tag) 부착 상태) • 보호구 착용 상태 확인 미흡 - 안전보호구 착용 여부 미확인 - 작업허가서 보호구 착용 적정성 등을 확인하지 않음 • 소화기 비치 적정성 미확인 - 작업허가서 승인 시 소화기 비치 적정성을 확인하지 않음 • 위험성평가 적정성 미확인 - 작업허가서 승인 시 작업위험성평가 적정성을 확인하지 않음	
14	작업 허가서 승인 및 발급	• 작업허가서 미발행 - 인화성 증기가 잔류할 가능성이 있는 배관에 대한 용접 작업 시 화기작업허가서를 발행하지 않음 - 황산 취급 배관의 밸브 교체작업과 관련하여 작업허가서를 발행하지 않음	

연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
		• 실제 작업과 다른 작업허가서 발급 - 폭발위험장소(2종)에서 점화원을 발생시킬 수 있는 작업(금속 해머 등)에 대해 일반 작업허가서를 발급하여 가연성 가스 농도 미측정 - 작업허가서 승인 시 일반위험작업으로 허가하여 화재·폭발 위험성에 대한 검토 미실시 - 화기사용 작업을 일반위험작업으로 허가함에 따라 작업허가서 승인 시 화재·폭발 위험성에 대한 검토 미실시 • 작업허가서 발급 절차(방법) 미준수 - 관례적으로 작업허가서를 승인한 후 현장을 점검함 - 작업자들이 현장에 이미 배치되어 작업을 진행하고 있는 상태에서 현장 확인 없이 사무실에서 허가서에 서명(밸브 및 단관 교체 전 밸브 조작) - 작업허가서에 생산부서-정비부서 순으로 서명하여야 하나 정비부서 서명 후 생산부서 서명(밸브 및 단관 교체 전 밸브 조작) - 작업방법이 변경되었으나 작업허가서를 재발행하지 않음 - 전체 범위의 작업 내용을 대상으로 다수의 작업을 한 건의 작업 허가서로 발급 및 승인함에 따라 작업현장 특성을 반영한 구체적인 위험성 검토 미흡	
15	작업전 안전 회의 (TBM)		• 협력업체 관리자를 통한 작업 전 근로자 교육 시 작업 지시 중심으로 교육을 수행하여 작업 위험요인에 대한 근로자들의 인지 미흡
16	정비 보수 작업 감독	• 협력업체 작업에 대한 관리감독 미수행 - 원청 운전부서의 현장 감독자(대리인)가 현장에 부재 - 작업허가서 작성자인 생산팀 직원을 화기 감시자(안전관찰자)로 지정하였으나, 현장에서 해당 작업의 안전관찰자 업무를 수행하지 않음 - 협력업체가 수행하는 작업에 대해 위험요인 확인 및 통제 등의 현장 관리 감독을 수행하지 않음	• 관리감독자 업무 미수행 - 관리감독자가 없는 상태에서 작업자들만 현장에 투입되어 배관 절단작업 수행 • 관리감독자 업무 수행 미흡 - 배관절단 작업에 대한 안전보건 점검 및 이상 유무 미확인 - 적절한 보호구 착용 여부 미확인(유해화학 물질 작업 시 방독마스크, 안면보호구, 내화학복 착용 여부 미확인)

연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
		• 협력업체 작업에 대한 관리감독 미흡 - 다수의 작업이 동시에 시작되어 감독 범위가 넓음 - 안전조치 완료 전에 협력업체 근로자가 화기작업 수행 - 배관 내부에 아세틸렌, 에틸렌, 부탄 등 위험물질이 있었으나 핸드그라인더를 이용한 절단작업 수행, 화기 작업 전 인화성 가스 농도 미측정, 협력업체 작업자의 안전보호구 미착용에 대한 감독 미흡 - 협력업체 작업자가 작업표준에 따른 산소마스크를 착용하지 않았으나 작업중지를 하지 않음 - 협력업체 작업자들이 탱크 상부에서 화기작업을 수행함에도 원청에서 통제하지 않음 - 협력업체 직원의 적절한 보호구 착용 여부 미확인(유해화학물질 작업 시 방독마스크, 안면보호구, 내화학복 착용 여부 미확인)	- 작업 중 인화성액체가 흘러나왔음을 인지하였으나 제거하지 않고 작업 수행 - 원청 생산부서에서 사전 안전조치를 완료하였을 것으로 자의적으로 판단 - 탱크 내부에서 작업 중 위험물질(톨루엔)이 배출되었으나 가스농도 측정을 하지 않음 - 오후 작업 시작 전 가스농도 측정을 하지 않음 - 작업 전에 메인 차단밸브의 닫힘 상태를 확인하지 않음(염산) - 배관 내부에 아세틸렌, 에틸렌, 부탄 등 위험물질이 있었으나 핸드그라인더를 이용한 절단작업 수행, 화기 작업 전 인화성 가스농도 미측정, 협력업체 작업자의 안전보호구 미착용에 대한 감독 미흡
17	정비보수작업	• 작업표준(작업절차서)을 준수하지 않음 - 200℃ 이상에서 운전되는 설비에 대해 핫볼팅(Hot bolting) 미실시, 접속부 누출여부 확인 절차 미준수, 기록관리 미실시 - 저장탱크의 화기작업을 위한 준비 작업으로 질소 또는 스팀 퍼지, 슬러지 제거, 충수 등의 안전작업절차를 작성하였으나 준수하지 않음 - 치환작업절차 미준수 • 업무 인수인계 미흡 - 수일 간 여러 교대조를 거쳐 진행하는 작업 수행 중 작업교대 시 인수인계 미흡하여	• 작업표준(작업절차서)을 준수하지 않음 - 공기구동밸브의 구동원인 공기 공급밸브를 차단하지 않음(원청의 조작 절차서에는 공기 구동밸브의 조작 완료 후에는 공기 공급밸브를 차단하도록 되어 있음) - 공기구동밸브 조작 후 클러치를 수동으로 전환하여야 하나 완전히 전환되지 않음 - 작업표준에 CO 농도가 200ppm 이상일 경우 산소마스크를 착용하도록 되어 있으나, 500ppm 이상으로 측정되었음에도 산소마스크를 착용하지 않고 작업함 - 기밀시험을 위한 작업표준 미준수(기밀시험을 위한 단계적 가압 미실시, 기밀시험 시 시험압력에서 별도의 유지 시간 없이 기밀시험 실시, 작업표준과는 무관하게 이전에 수행한 방식으로 기밀시험 실시, 기밀시험 시 비압축성 유체를 이용한 시험을 원칙으로 하고 있으나 관례적으로 기압테스트를 수행함)(원청의 작업표준 기준) • 정비보수작업 방법 및 결과 부적정 - 배관 교체 시 결합부(플랜지)에 갭이 발생하였으나 강제로 체결함

연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
		밸브 오조작 - 원청의 교대근무자 업무 인수인계 과정에서 수동밸브 차단에 대한 내용이 인계인수되지 않음 • 협력업체 직원에게 작업 요청 - 누설테스트 장소에 접근하기 곤란하여 누설 테스트를 협력업체에 요청함	- 그라인더나 커터로 자르면서 보온재를 해체하지 않고 동결된 보온재를 흔들면서 해체 - 위험성평가에서 검토한 공구 이외의 수공구 사용(용접용 망치) - 열교환기 커버 닫음 조치 후 볼트 체결(조임) 미흡으로 설비 내부의 인화성 가스 누출 • 화재폭발 발생 위험이 있는 비방폭형 기기 및 공구 사용 - 인화성물질이 있는 장소에서 핸드그라인더를 이용한 절단작업 수행 - 위험물이 있는 장소에서 불꽃, 아크, 정전기 등을 발생시키는 기구 및 공구 사용 - 인화성, 가연성 물질이 있는 장소에서 전동 임팩트 드라이버 등 비방폭 전기기계기구 사용 - 폭발위험장소에서 비방폭 수공구 사용 - 인화성 액체가 저장되어 있던 탱크 내부 작업 시 비방폭 휴대용 랜턴 사용 • 개인 보호구 미착용 또는 착용 미흡(부적절한 보호구 착용) - 안면보호구, 보호복 등 미착용 - 안면보호구의 일시적 미착용 - 내산보호구 미착용 - 내산보호구 미착용(작업 중에는 착용하였으나 누설테스트 확인 시 미착용) - 유해화학물질 작업 시 방독마스크, 안면보호구, 내화학복 미착용 - 보안면, 방염성능 보호복 미착용 - 조명이 꺼져 있어 시야 확보를 위해 일시적으로 보호구 미착용 • 탱크 내부의 위험물 제거 및 환기 미흡 - 탱크내부 작업(실링부분 절단) 중 인화성액체가 흘러나왔음을 인지하였으나 인화성액체를 제거하지 않고 작업 수행 - 저장탱크 내부 작업 시 인화성 물질이 누출되었으나 누출되는 인화성 물질을 제거하기 위한 환기량 부족 및 체류 구간 존재 미인지

연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
			• 계획된 작업방법 변경 - Clay Filter 용기의 Clay 적정 교환 시기를 지나 계획된 방법으로 작업이 불가하여 작업방법 변경(맨홀 이용→입조식)
18	기계 설비 설계, 설치, 관리 문제	• 설비 제작 미흡 - 설비에서 강도에 영향을 줄 수 있는 중요부가 설계값보다 작게 제작됨 • 설비 설치 미흡 - 저장탱크 통기관에 화염방지기 미설치(인화점이 영하 9℃로 저장제품이 변경되었으나 인화방지망만 설치함) - 안전밸브로부터 배출되는 위험물 처리방법 부적절(안전밸브 배출 물질을 대기로 배출) • 설비 변경관리 누락 - 저장탱크의 품명(유종) 변경에 따른 변경관리절차 누락 - 위험물(C4) 투입방법 변경에 따른 변경관리 미실시(위험성평가, 운전절차서 검토 미실시) • 정비보수 주기 미준수 - 정상적인 주기 내에 냉각판 보수가 이루어지지 않아 다수의 크랙 발생 - Clay Filter 용기의 차압이 사업장 내부 기준 이상으로 상승한 이후 Clay 교체 작업을 시작하여 정상적인 작업방법으로 작업하지 못함 • 설비 정비 및 관리 미흡 - 과거에 설비 부품의 파단이 있었으나 유사한 설비에 대한 점검이나 수명관리 기준이 마련되지 않음 - 열교환기 부품의 수명관리 미흡 - 열교환기 등 Hot bolting 대상 설비 목록 미작성 및 관련 기록 관리 미실시 • 설비 결함 및 문제점 - 열교환기 부품의 노치부 주변에 표면부식 등에 의한 다수의 균열이 존재함	

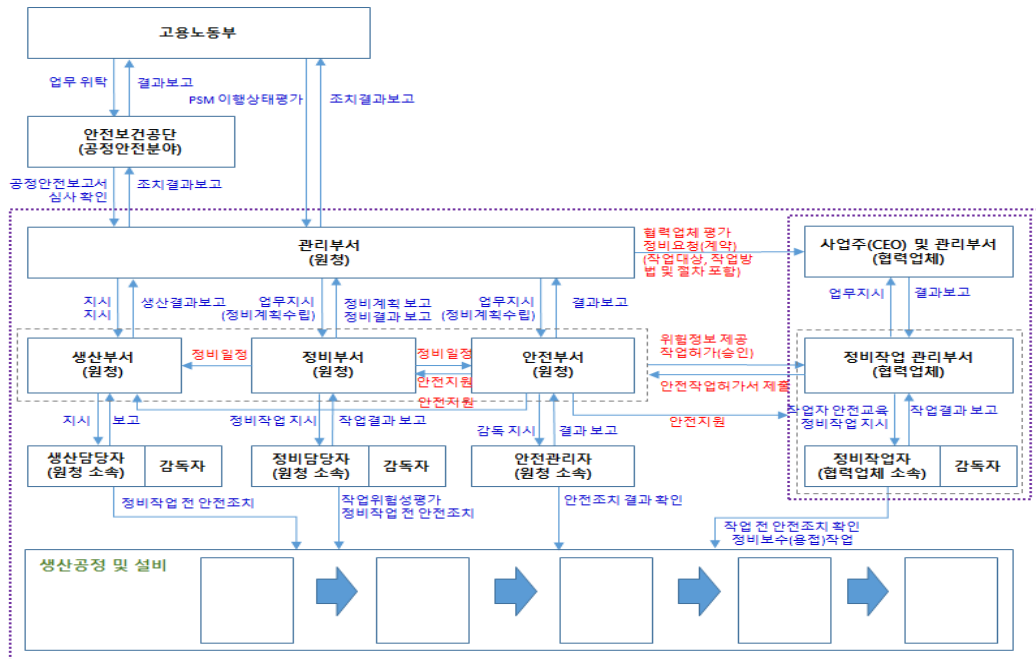
연번	구분	사고기여요인	
		원청	협력업체
		- 배관이 기울어져 있어 저점 부분에 인화성 액체 존재(저장탱크 상부 배관) - 배관의 경사도 관리 미흡(황산 배관)	
19	작업 환경	• 작업 공간 협소 - 설비(열교환기) 세척 후 덮개 설치 시 작업 공간이 협소하여 배관을 밟고 올라감 - 작업 공간이 협소하여 이동에 어려움(염산 배관 스트레이너 탈착) • 작업장 조도 미흡 - 조명 고장으로 작업공간의 조도가 확보되지 않음	
20	의사 소통	• 원청과 협력업체 의사소통 미흡 - 황산 누출과 관련하여 원청 담당자와 협력업체 작업자가 통화 후 내용이 제대로 전달되지 않아 작업을 시작함(협력업체가 원청에게 작업 전 메인 차단밸브를 닫힘으로 유지해 줄 것을 요청했으나 반영되지 않음)	• 원청과 협력업체 의사소통 미흡 - 황산 누출과 관련하여 원청 담당자와 협력업체 작업자가 통화 후 내용이 제대로 전달되지 않아 작업을 시작함(협력업체가 원청에게 작업 전 메인 차단밸브를 닫힘으로 유지해줄 것을 요청했으나 반영되지 않음)
21	법적 절차	• 도급승인 절차 누락 - 황산 취급설비 해체작업에 대한 도급을 승인받지 않음	

4. STAMP 모델을 이용한 분석

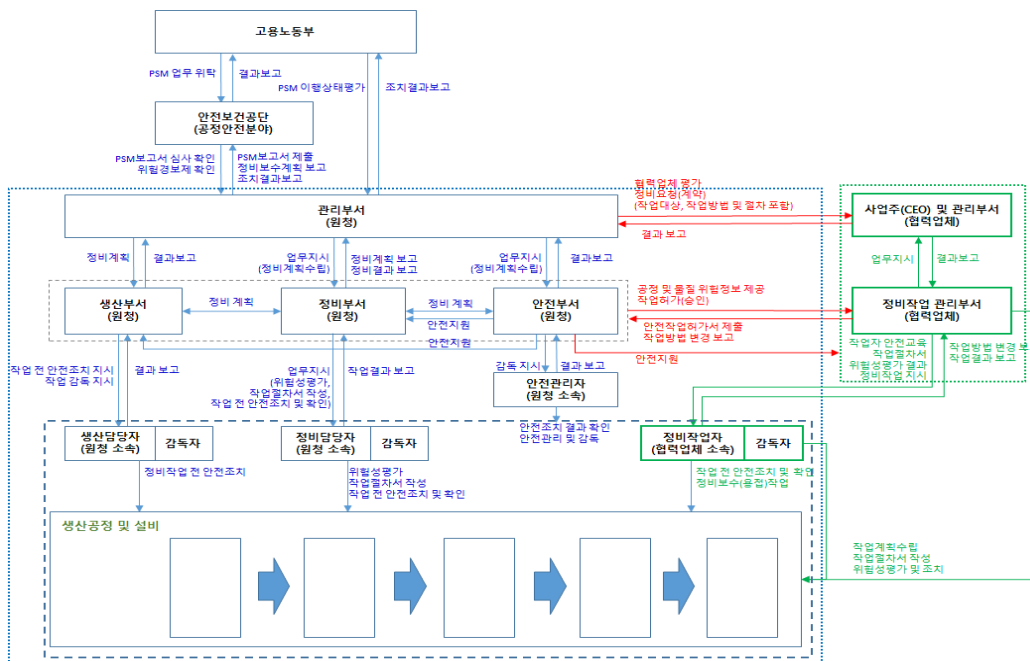
화학공장에서 정비보수 중 발생한 사고사례를 분석한 결과 정비보수작업을 수행하는 업체에 따라 다음과 같은 5개의 모델로 정리하였다.

- 1) 원청의 정비부서에서 직접 정비보수작업을 수행하는 경우
- 2) 사내 협력업체(1개사 또는 다수)가 정비보수작업을 수행하는 경우
- 3) 사외 협력업체(1개사 또는 다수)가 정비보수작업을 수행하는 경우
- 4) 사내(1개사 또는 다수) 및 사외 협력업체(1개사 또는 다수)가 동시에 정비보수작업을 수행하는 경우
- 5) 원청이 자회사에게 전체 정비보수작업을 도급하고, 자회사가 협력업체(1개사 또는 다수)와 계약하여 정비보수작업을 수행하는 경우(다단계 하도급의 형태)

원청이 직접 정비보수작업을 수행하는 경우에는 공정의 위험정보를 파악하기 쉽고, 생산부서 또는 안전부서와 의사소통하기가 용이하기 때문에 사회구조적인 문제보다는 사업장 내부의 관리적·기술적·인적인 문제가 사고의 주요 원인이 될 수 있다. 따라서 위 5개의 모델 중에서 원청이 직접 정비보수작업을 수행하는 경우는 분석대상에서 제외하고, 나머지 4개 모델을 이용하여 원청과 협력업체의 관계에서 발생할 수 있는 문제점을 중심으로 분석하였다. 분석에 사용한 모델은 [그림 IV-1~4]에 나타내었고, 분석결과는 <표 IV-4>와 같다.

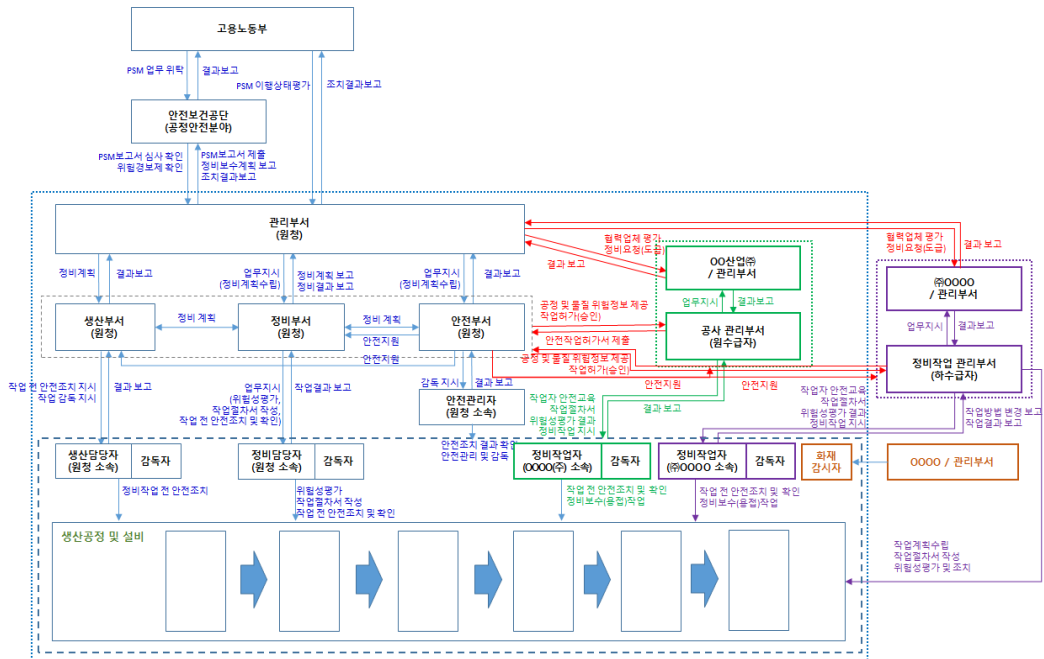


[그림 IV-1] 사내 협력업체가 정비보수를 수행하는 모델

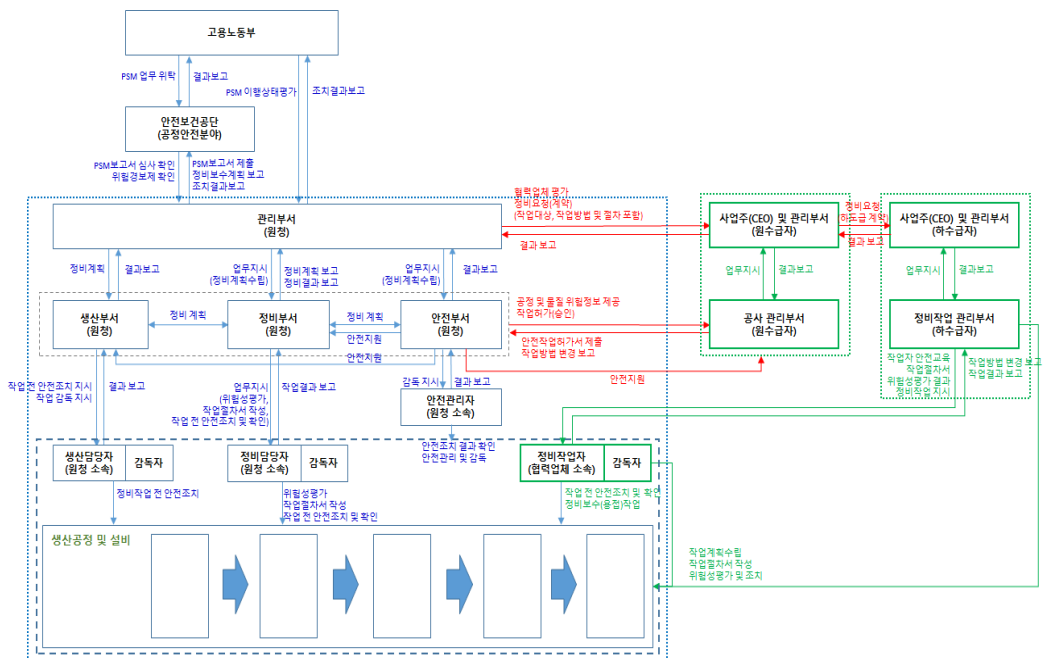


[그림 IV-2] 사외 협력업체가 정비보수를 수행하는 모델

IV. 화학공장 정비보수 중 협력업체 화학사고 분석



[그림 IV-3] 사내 및 사외 협력업체가 정비보수를 수행하는 모델



[그림 IV-4] 2차 수급인(협력업체)이 정비보수를 수행하는 모델

〈표 IV-4〉 협력업체를 통한 정비보수작업 수행 시 업무 단계별 문제점

업무 구분		원청과 협력업체의 관계에서 발생할 수 있는 문제점	해당 모델
정비보수 계약		협력업체는 원청과의 계약에 따른 마감일정을 마치기 위해 시간적 압박을 느끼며 작업할 수 있음	2) 3) 4) 5)
위험정보 제공		원청에서 협력업체에게 위험정보를 제공할 때 작업계획서 작성, 작업표준 작성, 위험성평가 수행 전에 제공하지 않으면 이러한 업무를 형식적으로 수행할 수 있음	2) 3) 4) 5)
작업허가(서)		다수의 협력업체가 동시에 작업허가서 승인을 요청할 경우 원청에서는 작업 전 안전조치를 제대로 확인하지 않고 작업허가서를 형식적으로 발행할 수 있음	2) 3) 4) 5)
작업 전 안전조치 및 확인		원청에서 작업 전 안전조치를 한 경우 협력업체가 원청에 조치 내역을 요청하거나 확인할 수 있는 법적 규정이 없어 협력업체는 원청의 안전조치 결과를 확인하지 않고 작업할 수 있음	2) 3) 4) 5)
협력업체의 운영 및 관리	재하도급	협력업체가 수급 받은 작업을 재하도급을 하는 경우 작업표준 작성, 위험성평가, 안전교육, 작업감독 등이 형식적일 수 있음	3) 4) 5)
	작업 절차서 작성	협력업체가 적절한 작업표준을 작성하기 위해서는 정보 제공 등 원청의 지원이 필요하나 원청의 지원이 미흡할 경우 형식적으로 작성하거나 작성하지 않을 수 있음	2) 3) 4) 5)
	위험성 평가	원청의 지원 없이 협력업체 단독으로 위험성평가를 수행하기에는 한계가 있으며, 협력업체 단독으로 위험성평가를 수행할 경우 전체 시스템에서 발생하는 문제점은 발견하지 못하고 부분적인 문제점만 찾을 수 있음	2) 3) 4) 5)
	안전 교육	원청의 지원 없이 협력업체 단독으로 작업 특성에 맞는 안전교육을 수행하기에는 한계가 있음	2) 3) 4) 5)
	기계·기구 구매 및 제공	원청에서 작업 및 위험정보를 협력업체에 적절하게 제공하지 않으면 작업 특성에 적합한 기계·기구를 선정하여 사용하지 않을 수 있음	2) 3) 4) 5)
	보호구 구매 및 지급	원청에서 작업 및 위험정보를 협력업체에 적절하게 제공하지 않으면 작업 특성에 적합한 보호구를 선정하여 사용하지 않을 수 있음	2) 3) 4) 5)
현장 운영	작업 전 안전회의 (TBM)	TBM에 원청 및 협력업체 담당자가 모두가 참여하여 작업 전 안전교육과 함께 위험정보를 공유할 필요가 있으나 담당자 모두가 참여하지 않을 수 있음	2) 3) 4) 5)
	의사소통 (정보공유)	원청과 협력업체, 협력업체와 협력업체 간의 의사소통체계 마련이 필요하나 원청이 관여하지 않으면 적절한 의사소통체계를 마련하기 어려워 위험정보의 공유가 미흡할 수 있음	2) 3) 4) 5)
	작업 감독	원청과 협력업체의 책임과 역할에 따라 적절한 감독이 필요하지만, 원청의 감독이 미흡할 경우 협력업체도 감독업무를 형식적으로 할 수 있음. 다단계 하도급의 경우 감독체계가 복잡해질 수 있음	2) 3) 4) 5)
	동시 작업	원청에서 동시에 여러 수급인에게 작업을 부여하는 경우 관계 수급인의 작업이 동시에 진행됨에 따른 위험이 발생할 수 있음	2) 3) 4) 5)
작업자의 설비에 대한 지식 및 경험 수준		대정비 기간의 정비보수와 같이 협력업체에 업무가 집중되는 업무의 특성 상 계약직과 일용직을 채용하여 업무를 수행할 수 있음. 계약직과 일용직 활용 시 관련 지식과 경험이 부족한 경우가 많고, 교육 효과가 높지 않을 수 있음	3) 4) 5)

5. AcciMap 분석

업무처리절차 분석에서 나타난 사고기여요인과 STAMP 분석에서 나타난 사회구조적인 문제점을 종합하여 사고기여요인 간의 관계를 AcciMap으로 나타낸 결과는 [그림 IV-5]와 같다. <표 IV-5>에는 AcciMap 분석결과에서 나타난 사고기여요인을 계층별로 구분하여 나타내었다. 원청과 협력업체에는 관리적 문제점이 주로 나타나 있고, 설비와 작업환경과 작업부분에는 작업환경과 설비의 문제점 및 인적 문제점이 나타나 있다.

AcciMap 분석에서는 회사의 관리적 문제점 이외에 규제자와 정부의 문제점도 분석하도록 되어있으나 재해조사의견서에서는 관련 내용이 언급된 부분이 많지 않았기 때문에 그 부분은 생략하고, 회사 내부에서 이루어지는 정비보수작업과 관련된 관리적 요인과 설비·환경적 요인을 중심으로 나타내었다.

AcciMap 분석결과를 보면 여러 가지 원인에 의한 결과는 화학물질 누출 후 화재, 위험물질 누출에 의한 접촉 또는 중독 등으로 이어짐을 알 수 있다. [그림 IV-5]의 AcciMap 분석결과에서 사고원인요소별로 21건의 사고 중에서 몇 건이 해당되는지 그 숫자를 파악하여 원인요소별로 그 비율을 구할 수 있지만, 재해조사자가 재해조사의견서를 동일한 기준으로 작성하였다고 보기 어렵기 때문에 비율 산정은 생략하였다.

[그림 VI-5]의 AcciMap 분석 결과를 모두 모아서 설명하기는 어렵지만, 하나의 예를 들어 설명하면 다음과 같다. 위험물질 누출에 의한 접촉 또는 중독이 나타난 이유는 환경적으로 작업공간이 협소하고, 조도가 부적정하여 일시적으로 보호구를 착용하지 않았기 때문이었다. 이것은 작업 전 안전조치가 미흡하였고, 작업허가서 승인 시 관련내용이 확인되지 않았기 때문인 것으로 나타났다. 이처럼 사고의 원인들이 연결되는 관계를 그림의 사고 지도를 통해 파악할 수 있다.

AcciMap 분석결과에서 주목할 결과는 원청에서 협력업체에 안전보건정보를 제공하지 않으면 협력업체의 작업계획서 작성, 위험성평가, 작업표준 작성, 안전교육 등 여러 측면에서 영향을 미친다는 것이다. 따라서 산업안전보건법에서 작업 전까지 안전보건정보를 제공하도록 되어 있는 규정은 계약 전이나 계약 시에 정보를 제공하도록 개선할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

원청에서 협력업체에 안전보건정보를 제공과 더불어 많은 영향을 미치는 요인은 작업 전 안전조치와 작업허가서 승인 및 발급에 관한 것이었다. 원청에서 수행한 작업 전 안전조치에 대해 협력업체도 확인할 수 있도록 하는 규정이 현재의 산업안전보건법에는 반영되어 있지 않기 때문에 이러한 사항을 산업안전보건법에 반영하는 방안을 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

AcciMap 분석결과에서 그림의 상위 계층에 분포해 있는 붉은색 겹선 박스에 파란색 글자로 작성한 다음의 사고원인요소들이 발생한 이유나 원인은 재해조사의 견서만으로는 파악하기 어려워 추가로 조사 및 분석이 필요할 것으로 판단되었다.

[원청]

- 1) 설비 변경관리 누락
- 2) 설비 제작, 설치 미흡
- 3) 정비보수를 위한 충분한 작업시간 미확보
- 4) 작업표준 미작성, 작성 미흡
- 5) 설비 정비 및 관리 미흡
- 6) 작업계획서 미작성, 공유미흡, 협력업체의 작업계획서 미검토
- 7) 적격 수급업체 선정절차 미이행
- 8) 도급 승인절차 누락
- 9) 설비 정비보수 주기 미준수
- 10) 원청과 협력업체의 의사소통 미흡

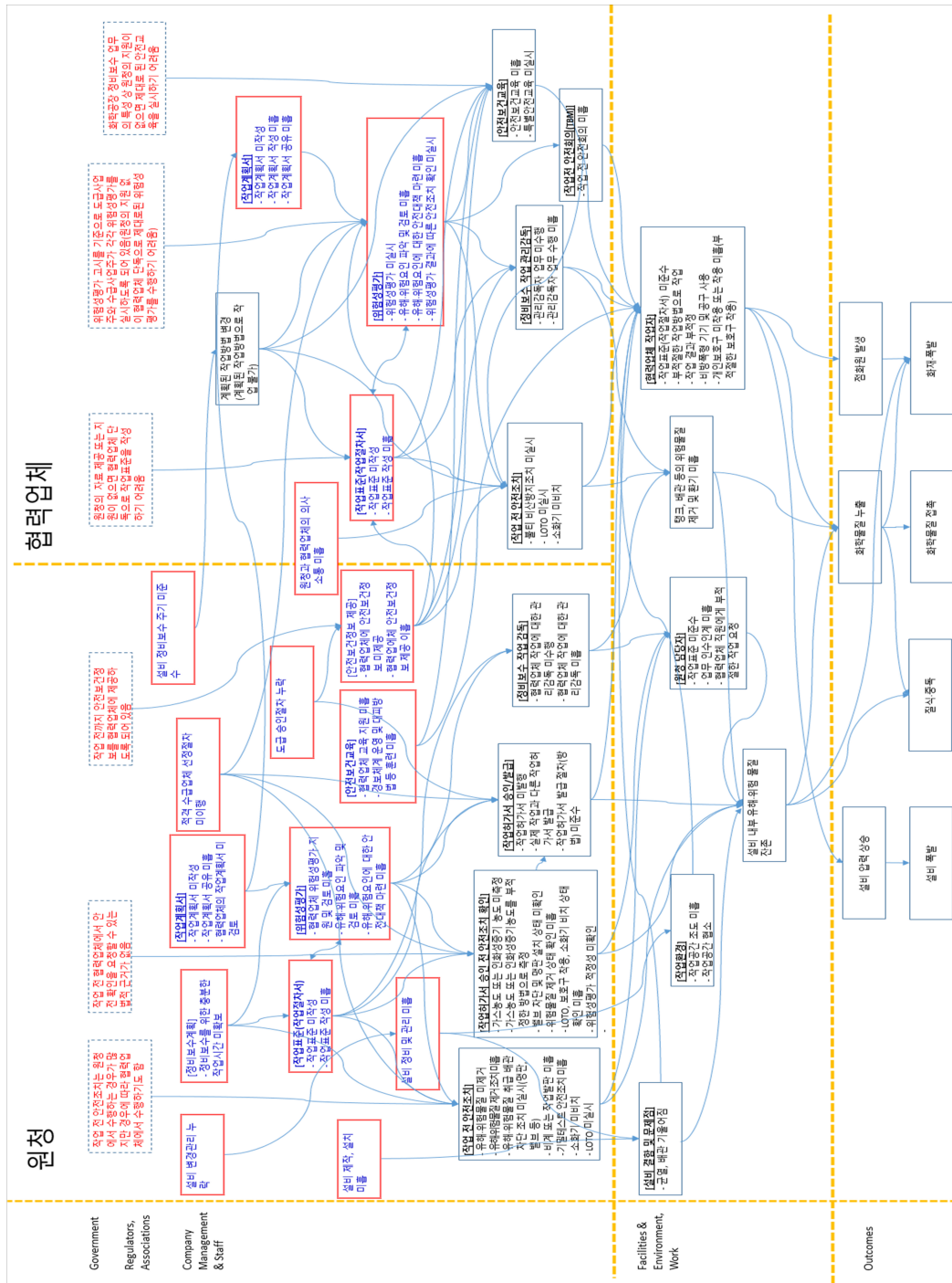
- 11) 협력업체에 안전보건정보 미제공 또는 미흡
- 12) 협력업체의 위험성평가 지원 및 검토 미흡, 유해·위험요인 파악 및 검토 미흡, 유해·위험요인에 대한 안전대책 마련 미흡
- 13) 협력업체에 교육지원 미흡, 경보체계 운영 및 대피방법 등 훈련 미흡

[협력업체]

- 1) 작업계획서 미작성, 작업계획서 작성 및 공유 미흡
- 2) 작업표준 미작성 및 작성 미흡
- 3) 위험성평가 미실시, 유해·위험요인 파악 및 검토 미흡, 유해·위험요인에 대한 안전대책 마련 미흡, 위험성평가 결과에 따른 안전조치 확인 미실시

AcciMap 분석결과에서 점선의 박스에 붉은색 글씨로 작성한 사고기여요인은 재해조사의견서에는 나타나 있지 않지만 사고분석과정에서 찾아진 것들이다.

- 1) 위험성평가 고시를 기준으로 도급사업주와 수급사업주가 각각 위험성평가를 실시하도록 되어 있음(원청의 지원 없이 협력업체 단독으로 제대로 된 위험성평가를 수행하기 어려움)
- 2) 작업 전 안전조치는 원청에서 수행하는 경우가 많지만 경우에 따라 협력업체가 수행하기도 함
- 3) 작업 전까지 안전보건정보를 협력업체에 제공하도록 되어 있음
- 4) 작업 전 협력업체가 안전 확인을 요청할 수 있는 법적 근거가 없음
- 5) 화학공장 정비보수업무의 특성 상 원청의 지원이 없으면 제대로 된 안전교육을 실시하기 어려움
- 6) 원청의 자료 제공 또는 지원이 없으면 협력업체 단독으로 작업표준을 작성하기 어려움



[그림 IV-5] AcciMap 분석을 이용한 사고기여요인 간의 관계

〈표 IV-5〉 계층별 사고기여요인

계층	사고기여요인
원청 (관리 부분)	• 설비 제작·설치 미흡 • 설비 변경관리 누락 • 설비 정비보수 주기 미준수 • 설비 정비 및 관리 미흡 • 작업계획서 - 작업계획서 미작성 - 작업계획서 공유 미흡 - 협력업체의 작업계획서 미검토 • 적격 수급업체 선정절차 미이행 • 도급 승인절차 누락 • 협력업체에 안전보건정보 미제공 또는 제공 미흡 • 작업절차서 - 작업표준 미작성 - 작업표준 작성 미흡 • 위험성평가 - 협력업체 위험성평가 지원 및 검토 미흡 - 유해·위험요인 파악 및 검토 미흡 - 유해·위험요인에 대한 안전대책 마련 미흡 • 작업 전 안전조치 - 유해·위험물질 미제거 - 유해·위험물질 제거 조치 미흡 - 유해·위험물질 취급 배관 차단 조치 미실시(맹판, 밸브 등) - 비계 또는 작업발판 미흡 - 기밀테스트 안전조치 미흡 - 소화기 미비치 - LOTO 미실시 • 작업허가서 승인 및 발급 - 작업허가서 미발행 - 실제 작업과 다른 작업허가서 발급 - 작업허가서 발급 전 확인 절차(방법) 미준수 - 작업 승인 전 안전조치 확인 미흡(가스농도 미측정 또는 측정 미흡, 밸브 차단 및 맹판 설치상태 미확인, 위험물질 제거 상태 확인 미흡, LOTO 미확인, 보호구 착용 상태 미확인, 소화기 비치 상태 미확인, 위험성평가 적정성 미확인 등) • 작업 감독 - 협력업체 작업에 대한 관리감독 미수행 - 협력업체 작업에 대한 관리감독 미흡

계층	사고기여요인
협력업체 (관리 부분)	• 작업계획서 부적정 - 작업계획서 미작성 - 작업계획서 작성 미흡 - 작업계획서 공유 미흡 • 작업표준 미작성 또는 미흡 • 위험성평가 - 위험성평가 미 실시 - 유해·위험요인 파악 및 검토 미흡 - 위험요인에 대한 안전대책 마련 미흡 - 위험성평가 결과에 따른 안전조치 확인 미 실시 • 관리감독 - 관리감독자 업무 미수행 - 관리감독자 업무 수행 미흡 • 안전보건교육 및 특별안전보건교육 미 실시 또는 미흡 • 작업 전 안전조치 - 불티 비산방지조치 미 실시 - LOTO 미 실시 - 소화기 미 비치 • 계획된 작업방법 변경
작업환경	• 작업공간 협소 • 작업공간 조도 부적정
설비	• 균열, 배관 기울어짐 • 설비 내부 유해·위험 물질 잔존
원청 담당자	• 작업절차 미 준수 • 업무 인계인수 미흡 • 협력업체 직원에게 부적절한 작업 요청
협력업체 작업자	• 작업표준(작업절차서) 미 준수 • 부적절한 작업방법으로 작업 • 작업 결과 부적정 • 비방폭형 기기 및 공구 사용 • 개인 보호구 미 착용 또는 착용 미흡 • 비방폭형 기기 및 공구 사용
결과	• 설비 압력 상승에 의한 폭발 • 위험물질 누출에 의한 접촉, 질식·중독 • 화학물질 누출 후 화재, 화재·폭발, 설비 폭발

6. 요약 및 소결론

최근 5년간 화학공장의 정비보수 중 협력업체 직원의 사망 또는 부상이 발생한 사고 중 21건을 선정하여 분석을 수행하였다. 화학공장이 아니지만 공정안전 보고서 작성 및 심사대상 사업장에서 화학물질을 취급하던 중에 발생한 재해는 분석대상에 포함시켰다. 분석대상은 화재 또는 폭발 사고 14건, 화학물질 누출 사고 7건이었다.

여러 보고서에서 반복으로 제시된 사고원인은 작업 전 설비 내부의 유해·위험 물질 제거, 작업표준 작성 및 준수, 위험성평가 수행 및 안전조치, 맹판 설치, 밸브 차단, 가스농도 측정, 작업자 교육, 부적절한 공구 사용, 보호구 미착용 등과 관련된 내용이다. 그러나 사고원인 중 작업에 적절한 공구 사용 및 보호구 착용 관련 사항 등을 제외하고는 협력업체 단독으로 조치를 취하기 어려운 사항들이 대부분이며, 이러한 원인이 나타난 이유에 대해서는 원청과 협력업체로 구분하여 추가로 조사 및 분석이 필요한 부분이 있었다.

이러한 이유로 분석대상 21건의 사고에 대해 화학공장의 정비보수 절차를 기준으로 사고기여요인을 원청과 협력업체로 구분하여 정리하였다. 여러 보고서에서 반복으로 제시된 사고원인 중 작업계획서, 위험성평가, 작업표준, 작업감독 관련 사고기여요인은 원청과 협력업체별로 해당되는 내용이 차이점이 있었고, 작업 전 안전조치, 공정 및 물질안전보건정보 제공, 작업허가서 승인 및 발급 관련 사항은 주로 원청의 사고기여요인으로 구분되었다. 정비보수작업을 수행할 때에는 작업자가 작업표준을 준수하지 않거나 정비보수작업 방법 및 결과가 부적정하거나 잘못된 공구나 보호구를 사용하는 등의 문제점이 있는 것으로 나타났다. 정비보수작업과는 별개로 기계설비의 설계, 설치, 관리 문제는 원청의 사고기여요인으로 구분하였다.

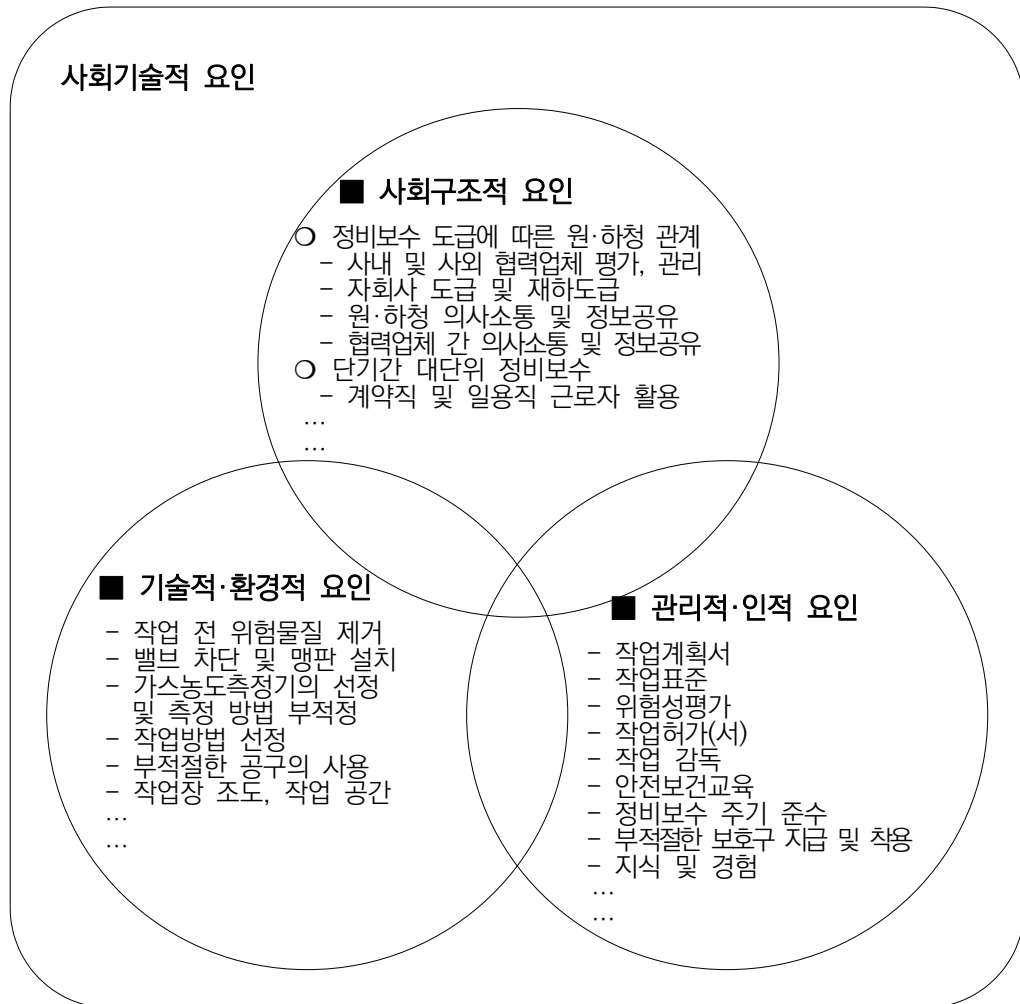
화학공장 정비보수업무 처리절차를 이용한 분석 외에 STAMP와 AcciMap을

이용한 분석을 수행하였다. 화학공장에서 정비보수작업을 수행하는 업체에 따라 5개의 STAMP 모델로 구분하였고, 협력업체가 포함된 모델 4종을 이용하여 원청과 협력업체의 관계에서 발생할 수 있는 문제점을 중심으로 분석하고 그 결과를 표로 제시하였다. 그리고 업무처리절차 분석에서 나타난 사고기여요인과 STAMP 분석에서 나타난 사회구조적인 문제점을 종합하여 사고기여요인 간의 관계를 AcciMap으로 나타내어 사고기여요인 간의 연결 관계를 나타내었다. 그 결과를 보면 정비보수작업 중에 발생한 화학사고의 기여요인은 그 자체가 하나가 사고의 원인으로 작용하는 것이 아니고, 여러 요인들이 서로 연결되어 작용하고 있음을 보여주었다.

분석결과를 종합하면, 협력업체가 정비보수작업을 수행하던 중 발생한 사고는 기존의 관점에서 보면 기술적, 관리적, 인적 요인이 주로 사고 발생에 영향을 준 것으로 볼 수 있지만, 시스템 통합적인 측면에서 보면 [그림 IV-6]과 같이 사회구조적인 문제와 기술적, 관리적, 인적요인이 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 볼 수 있다. 화학공장의 정기보수작업이라는 단기간에 많은 인력을 투입해야 하는 특성이 협력업체를 통해 정비보수를 수행하도록 하고, 협력업체가 계약직과 일용직을 사용하도록 하는 상황을 만들었으며, 결과적으로 지식과 경험이 부족한 계약직과 일용직 근로자들이 적절한 작업방법과 보호구 착용법을 모르고 작업을 수행하도록 하는 원인이 되었다고도 볼 수 있다.

협력업체가 작성하고 수행해야 하는 작업계획서, 작업표준, 위험성평가는 기본적으로 원청에서 관련 정보를 제공하지 않으면 제대로 작성하고 수행하기 어려운 것들이다. 그리고 협력업체가 정비보수작업을 시작하기 전에 수행해야 할 위험물질 제거, 맹판 설치, 밸브 차단 등의 작업 전 안전조치는 원청에서 수행하거나 지원해 주어야 할 것들이 대부분이다.

따라서 화학공장에서 정비보수작업 수행 중 발생한 사고는 단순히 관리적, 기술적, 인적인 문제뿐만 아니라 앞서 제시한 분석결과와 같이 사회시스템과 기술시스템을 통합한 전체의 사회기술시스템 측면에서 사고의 발생 메커니즘을 분석하고 원인을 찾아 예방대책을 마련할 필요가 있는 것으로 판단된다.



[그림 IV-6] 화학공장 정비보수작업 중 발생한 화학사고의 사회기술적 원인

V. 화학공장 정비보수업무 개선안 및 모형화 변수



V. 화학공장 정비보수업무 개선안 및 모형화 변수

1. 정비보수업무 단계별 개선안 제안

사회기술시스템은 간단하지 않고 매우 복잡하기 때문에 앞에 분석한 결과를 이용하여 일반화하는 일은 어렵고 위험하지만, 사고분석을 통해 파악한 업무 단계별 문제점에 따른 개선사항을 제안하는 것은 가치가 있을 것으로 판단되어 원청과 협력업체로 구분하여 정리하였다. 세부 내용은 <표 V-1>과 같다.

시스템의 상호 연관성은 정보의 흐름과 관련이 있으므로 원청과 협력업체 또는 협력업체와 협력업체 간에 의사소통에 원활하게 이루어지도록 할 필요가 있다. 이와 관련하여 산업안전보건법에 따라서 원청은 협력업체가 작업을 시작하기 전에 안전·보건정보를 협력업체에 제공하도록 되어 있는데, 협력업체가 작업 시작 바로 전에 안전·보건정보를 제공받게 되면 작업표준 작성 또는 위험성평가 시 문제점이 발생할 수 있으므로 정보의 제공시기는 계약 시 또는 작업 계획서 작성 전 등으로 변경할 필요가 있을 것으로 판단된다.

작업 전 안전조치와 관련하여 협력업체는 원청이 수행한 작업 전 안전조치의 적정성 여부를 확인하기 어려우므로 이에 대한 개선방안도 마련할 필요가 있을 것으로 판단된다. 그리고 작업 전 안전회의(TBM) 수행 시에는 원청 및 정비보수 협력업체 담당자와 작업과 관련된 모든 업체 직원이 참여할 수 있도록 하는 방안을 마련할 필요가 있다.

이외에도 안전보건기술지침(KOSHA Guide)과 관련하여 다음과 같이 개선이 필요한 사항이 확인되었다.

- 1) 도급업체의 안전관리계획 작성에 관한 기술지침에서는 도급작업이 시작되기 전까지 안전보건정보를 기재한 문서를 제공하도록 되어 있는데 안전보건정보의 제공 시기를 조정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

- 2) 안전작업허가지침에서는 도급업체와 수급업체에 대한 용어를 개정된 산업안전보건법의 용어와 일치하도록 개정할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- 3) 화학공장의 정비·보수에 관한 안전관리 지침에서는 원청이 협력업체에 대한 교육을 수행하도록 하고 있어 산업안전보건법과 일치하도록 개선할 필요가 있을 것으로 판단된다.

〈표 V-1〉 화학공장의 정비보수업무 단계별 개선 제안

업무 단계	원청	협력업체
정비보수 계획 수립	원청에서 정비보수 일정을 촉박하게 수립할 경우 협력업체가 위험성평가, 작업표준 작성 등을 형식적으로 수행할 수 있으므로 충분한 시간을 확보할 수 있도록 하는 방안이 필요함	
입찰 설명회	- 현재의 산업안전보건법에 따르면 원청은 도급작업이 시작되기 전에 안전·보건 정보를 협력업체에 제공하도록 되어 있음. 그러나 협력업체가 작업 시작 전에 안전·보건 정보를 받으면, 작업계획서 작성, 위험성평가, 작업표준 작성 등을 제대로 수행할 수 없으므로, 입찰 설명회에서 협력업체에게 안전·보건 정보를 제공하도록 하여 입찰 서류에 관련 정보를 반영하도록 할 필요가 있음 - 사업장 보안 유지에 문제가 없는 수준에서 정비보수 계획, 공정, 설비, 물질 정보와 작업내용 등 제공 필요	
입찰 참여		협력업체가 입찰에 참여할 때 원청으로부터 제공받은 안전·보건 정보를 기반으로 기본적인 안전관리계획서를 작성하여 입찰에 참여하도록 할 필요가 있음
협력업체 평가	협력업체와 계약하기 전에 수행하는 협력업체에 대한 안전보건수준 평가에서 협력업체가 제출한 안전관리계획서를 포함하여 평가할 필요가 있음	

업무 단계	원청	협력업체
정비보수 계약	협력업체와 계약 시 작업과 관련된 공정, 설비, 물질 정보 등에 관한 안전·보건 상세 정보를 협력업체에 제공하도록 할 필요가 있음	
사전조사 및 작업계획서 작성	협력업체가 산업안전보건법에서 요구하는 작업계획서를 내실 있게 작성하고 그 계획에 따라 작업하도록 하기 위해서는 원청에서 계약 단계부터 작업계획서를 제출받아 확인하고 검토한 후 보완하도록 요구할 필요가 있으며, 작업계획서 작성을 지원할 수 방안을 마련할 필요가 있음	
위험성평가	- 협력업체의 위험성평가 수행 시 원청의 지원방안 마련 필요 - 현행 규정에 따라 협력업체가 수행한 위험성평가 결과에 대해 원청에서 검토하고, 평가결과를 반영하는 과정이 제대로 진행되도록 할 필요가 있음	협력업체가 원청으로부터 공정, 물질 등과 관련된 안전보건정보를 제공받지 못했을 경우 세부 위험요인 파악에 한계가 있으므로 위험성평가 수행 전에 원청으로부터 공정, 설비, 물질 등의 안전보건정보를 제공받을 필요가 있음
작업 절차서 (작업표준) 작성	협력업체가 수행할 작업에 대한 작업표준(작업절차서)을 작성하고 그에 따라 작업하도록 원청이 미리 작업표준을 작성하여 계약 시 제공하거나 협력업체가 작업표준을 작성할 수 있도록 지원할 필요가 있음	작업표준에 따라서 작업하도록 하고 있으나 대정비 시에 투입되는 협력업체 직원은 계약직이나 일용직인 경우가 많아 작업자에게 작업표준에 준수에 대한 철저한 교육 및 관리감독이 필요함
작업 전 안전조치	- 협력업체는 공정, 설비, 취급 물질 등에 대한 유해·위험성 정보가 부족하므로 정비보수작업 전에 원청이 정해진 절차 및 방법에 따라 안전조치를 할 필요가 있음 - LOTO의 경우 협력업체가 원청의 규정에 따라 수행하기 어려우므로 원청이 협력업체와 같이 참여해 수행할 필요가 있음	협력업체는 원청이 수행한 안전조치 내역과 조치내역의 적정성 여부를 확인하기 어려우므로 작업 전 원청과 함께 안전조치 내역을 확인할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있음

업무 단계	원청	협력업체
공정 및 물질 안전보건정보 제공	현재의 산업안전보건법에 따르면 원청은 도급작업이 시작되기 전에 안전·보건 정보를 협력업체에 제공하도록 되어 있음. 그러나 협력업체가 작업 시작 전에 안전·보건 정보를 받으면 작업계획서 작성, 위험성평가, 작업표준 작성 등을 제대로 수행할 수 없으므로 계약 전 또는 작업계획서 수립 전에 안전보건정보를 제공하도록 할 필요가 있음.	
안전교육	원청의 지원이 없으면 협력업체는 자체적으로 정비보수작업에 필요한 적절한 안전교육을 수행하기 어려울 수 있으므로 강사 및 교육 자료 지원 등 적극적인 협력업체 지원 방안 마련이 필요함	일용직 및 계약직 작업자의 안전을 확보 할 수 있는 적절한 안전교육방안 마련이 필요함
작업 전 안전조치 확인	작업 시작 전에 원청과 협력업체가 함께 안전조치를 확인할 수 있도록 하는 방안 마련이 필요함	원청에서 안전조치 여부를 제대로 확인 하지 않을 경우 협력업체는 원청의 안전조치 수행 내용의 적절성 여부를 확인 및 판단하기 어려우므로, 원청 및 협력업체가 같이 안전조치 내역을 확인 하는 방안을 마련할 필요가 있음
작업허가서 승인 및 발급	-	-
작업 전 안전회의 (TBM)	원청 및 정비보수 협력업체 담당자 및 작업과 관련된 모든 업체 직원이 모두 참여할 수 있도록 하는 방안을 마련할 필요가 있음	원청 및 정비보수 협력업체 담당자 및 작업과 관련된 모든 업체 직원이 모두 참여할 수 있도록 하는 방안을 마련할 필요가 있음
정비보수작업 (현장) 및 감독	계획된 작업방법 이외의 방법으로 작업 하는 경우 작업표준 작성 및 위험성평가를 다시 수행하고 원청으로부터 작업허가서를 다시 발급받아 작업을 수행하도록 할 필요가 있음	계획된 작업방법 이외의 방법으로 작업 하는 경우 작업표준 작성 및 위험성평가를 다시 수행하고 원청으로부터 작업허가서를 다시 발급받아 작업을 수행하도록 할 필요가 있음
의사소통	- 협력업체와 적절하게 의사소통 할 수 있는 방법을 마련하여 사용할 필요가 있음 - 인수인계 절차 및 방법을 마련하여 인수인계가 적절하게 이루어지도록 할 필요가 있음	- 원청과 적절하게 의사소통 할 수 있는 방법을 마련하여 사용할 필요가 있음 - 인수인계 절차 및 방법을 마련하여 인수인계가 적절하게 이루어지도록 할 필요가 있음

2. 화학사고 모형화를 위한 변수 제안

사고분석 및 개선사항 검토를 통해 찾은 화학공장 정비보수 작업 중 발생한 화학사고의 기여요인을 정리하여 <표 V-2>와 같이 화학사고 모형화를 위한 변수로 제안하였다. 이 표는 폭발·화재 및 화학물질의 누출 사고가 어떻게 발생했는지를 기술적으로 규명하는 데에도 도움이 될 것으로 보이며, 기술적 원인규명 이후에 이러한 사고가 발생하기까지 어떠한 관리적 문제점이 있었는지와 사회구조적인 측면에서 어떠한 문제점이 있었는지 조사하고 분석하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

또한, 화학공장의 정비보수작업과 관련하여 안전 관련 사항의 적정성 여부를 확인하기 위한 점검표(Check list)로 활용하거나 사고원인을 조사할 때 참고 자료로도 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 V-2> 화학공장 정비보수 중 화학사고 모형화를 위한 변수

연번	변수명 (사고기여요인)	업체 구분	내용
1	설비 변경 관리	원청	• 설비 변경관리 실시 여부(실시, 미실시)
2	정비보수 주기	원청	• 설비 정비보수 주기 준수 여부(준수, 미준수)
3	정비보수계획 수립	원청	• 정비보수를 위한 충분한 작업시간 확보 여부(확보, 미확보) • 도급 승인 대상 작업여부 검토 여부(대상, 비대상)
4	안전보건정보 제공	원청	• 협력업체에 안전보건정보 제공 여부(제공, 미제공) • 협력업체에 안전보건정보 제공 시기의 적정성 여부(적정(작업 계획서 작성 전), 부적정(작업계획서 제출 이후)) • 협력업체에 제공한 안전보건정보의 적정성 여부(적정, 부적정)
5	작업계획서	원청	• 작업계획서 작성 여부(작성, 미작성) • 작업계획서 공유 여부(공유, 미공유) • 협력업체의 작업계획서 검토 여부(검토, 미검토)
		협력 업체	• 작업계획서 작성 여부(작성, 미작성) • 작업계획서 적정성 여부(적정, 부적정) • 작업계획서 공유 여부(공유, 미공유)

연번	변수명 (사고기여요인)	업체 구분	내용
6	적격 수급업체 선정을 위한 협력업체 평가	원청	• 협력업체 평가 여부(수행, 미수행) • 협력업체 평가 기준의 적정성 여부(적정, 부적정)
7	위험성평가	원청	• 위험성평가 수행 여부(수행, 미수행) • 위험성평가 수행 절차의 적정성 여부(적정, 부적정) • 유해·위험요인 파악의 적정성 여부(적정, 부적정) • 위험요인에 대한 안전대책의 적정성 여부(적정, 부적정) • 위험성평가 안전대책 이행의 적정성 여부(적정, 부적정) • 협력업체 위험성평가 지원 절차 유무(있음, 없음) • 협력업체 위험성평가 지원 절차 적정성 여부(적정, 부적정) • 협력업체 위험성평가 지원 여부(지원, 미지원) • 협력업체 위험성평가 결과 검토 여부(검토, 미검토) • 협력업체 위험성평가 검토 결과의 적정성 여부(적정, 부적정) • 협력업체 위험성평가 결과 반영의 적정성 여부(적정, 부적정)
		협력 업체	• 위험성평가 수행 여부(수행, 미수행) • 위험성평가 수행 절차의 적정성 여부(적정, 부적정) • 유해·위험요인 파악의 적정성 여부(적정, 부적정) • 위험요인에 대한 안전대책의 적정성 여부(적정, 부적정) • 위험성평가 안전대책 이행의 적정성 여부(적정, 부적정)
8	작업표준	원청	• 작업표준 작성 여부(작성, 미작성) • 작업표준의 적정성 여부(작성, 미작성) • 작업표준 공유 및 교육 여부(실시, 미실시)
		협력 업체	• 작업표준 작성 여부(작성, 미작성) • 작업표준의 적정성 여부(작성, 미작성) • 작업표준 공유 및 교육 여부(실시, 미실시)
9	작업 전 안전조치	원청	• 작업 전 안전조치 대상 목록 유무(있음, 없음) • 유해·위험물질 취급 배관 차단 여부(차단, 미차단) • 유해·위험물질 취급 배관 차단 밸브의 누설 여부(있음, 없음) • 배관의 설치 구조에 따른 유해위험물질 잔류 가능성 여부(기울기, 저점의 영향 등)(있음, 없음) • 유해·위험물질 취급 배관 맹판 설치 여부(설치, 미설치) • 유해·위험물질 제거 조치 수행 여부(실시, 미실시) • 유해·위험물질 제거 조치의 적정성 여부(적정, 부적정) • 비계 또는 작업발판 설치 여부(설치, 미설치) • 기밀테스트를 위한 안전조치의 적정성 여부(적정, 부적정)

연번	변수명 (사고기여요인)	업체 구분	내용
			• 작업공간의 적정성 여부(적정, 부적정) • 작업장 조도의 적정성 여부(적정, 부적정) • 소화기 비치 여부(비치, 미비치) • LOTO 실시 여부(실시, 미실시)
		협력 업체	• 작업 전 안전조치 실시 여부(실시, 미실시) • 작업 전 안전조치 사항의 적정성 여부(적정, 부적정) • 불티 비산방지조치 실시 여부(실시, 미실시) • 소화기 비치 여부(비치, 미비치) • LOTO 실시 여부(실시, 미실시)
10	안전교육	원청	• 협력업체 작업자에 대한 화재예방 및 피난교육 실시 여부(실시, 미실시) • 협력업체 안전교육 지원 여부(지원, 미지원) • 협력업체 안전교육 지원의 적정성 여부(적정, 부적정)
		협력 업체	• 작업자에 대한 안전보건교육 실시 여부(실시, 미실시) • 작업자에 대한 특별안전보건교육 실시 여부(실시, 미실시) • 작업자 안전보건교육 내용의 적정성 여부(적정, 부적정)
11	작업허가서 승인 및 발급	원청 (협력 업체)	• 작업허가서 발행 여부(발행, 미발행) • 작업허가서 작업 내용과 실제 수행 작업과의 일치 여부(일치, 불일치) • 작업허가서 발급 전 확인 절차 준수 여부(준수, 미준수) • 작업 승인 전 안전조치 확인 여부(확인, 미확인) - 현장 방문 확인 여부(확인, 미확인) - 가스농도 측정 여부(측정, 미측정) - 가스농도 측정기 및 측정방법의 적정성 여부(적정, 부적정) - 밸브 차단 및 맹판 설치 상태의 적정성 여부(적정, 부적정) - 탱크, 반응기, 배관 등의 내부에 유해위험물질 잔류 여부(있음, 없음) - LOTO 조치 상태의 적정성 여부(적정, 부적정) - 보호구 지급 및 착용 상태의 적정성 여부(적정, 부적정) - 소화기 비치 상태의 적정성 여부(적정, 부적정) - 위험성평가 조치 상태의 적정성 여부(적정, 부적정) - 기밀시험 안전 조치 및 확인 수행 여부(수행, 미수행) - 사용하는 기기·공구의 적정성 여부(방폭 등)(적정, 부적정) - 작업 전 안전조치 확인 시 협력업체 참여 여부(참여, 불참)

연번	변수명 (사고기여요인)	업체 구분	내용
12	작업 전 안전 회의(TBM)	원청 & 협력 업체	• TBM 수행 여부(수행, 미수행) • TBM 참여자의 적정성 여부(원청 및 협력업체의 관련자 모두)(적정, 부적정) • 회의 및 교육 내용의 적정성 여부(적정, 부적정)
13	작업감독 및 작업수행	원청	• 협력업체 작업 감독 실시 여부(실시, 미실시) • 협력업체 간 혼재 작업 수행 여부(있음, 없음) • 협력업체 작업 감독의 적정성(적정, 부적정) • 협력업체 작업방법 변경 여부(유지, 변경) • 협력업체의 작업표준 준수 여부(적정, 부적정)
		협력 업체	• 관리감독자 배치 여부(배치, 미배치) • 관리감독자 업무 수행의 적정성 여부(적정, 부적정) • 작업자 보호구 착용의 적정성 여부(적정, 부적정) • 작업표준 준수 여부(준수, 미준수) • 작업방법 변경 여부(있음, 없음) • 작업방법 변경 시 위험성평가 등 실시 여부(실시, 미실시) • 환기방법의 적정성 여부(적정, 부적정) • 승인된 공구 이외의 공구 사용 여부(사용, 미사용) • 화재감시자 배치 여부(배치, 미배치)
14	의사소통	공통	• 원청과 협력업체의 의사소통 방법의 적정성 여부(적정, 부적정) • 업무 인계인수 방법의 적정성 여부(적정, 부적정)

VI. 결 론



VI. 결 론

화학공장에서 협력업체 작업자가 정비보수 중에 발생하는 사고를 예방하기 위해서는 도급인(원청)과 협력업체를 하나의 시스템 범위 안에 포함시켜 시스템 통합적인 측면에서 사고에 기여한 요인을 분석하고, 기술적인 측면과 함께 도급 관계 및 정부정책과 같은 사회구조적인 측면에서도 사고와 관련된 요인(변수)과 문제점을 찾고 각 요인간의 연관성을 분석할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 화학공장에서 정비보수작업 중 발생한 화재·폭발사고 원인을 사회기술시스템의 통합적 측면에서 분석하고 사고기여요인 간의 상호 연관성을 찾아 사회기술시스템 관점에서 모형화 및 시뮬레이션 분석을 위한 요인(변수)을 도출하였다. 연구결과에 따른 결론은 다음과 같다.

1. 화학공장 정비보수 관련 규정 및 절차

산업안전보건법, 중대재해 처벌 등에 관한 법률, 사업장 위험성평가에 관한 지침에서는 화학공장의 정비보수작업과 관련하여 도급인(원청)에게 여러 가지 의무를 부여하고 있고, 공정안전보고서 제출·심사·확인 및 이행상태평가 관련 규정에서는 공정안전보고서 심사 시 이와 관련된 여러 사항을 확인하고 심사하도록 되어 있었다. 또한 화학공장의 정비보수작업과 관련된 많은 안전보건기술 지침이 제정되어 있어 제도적·기술적인 안전확보 방안이 마련되어 있었다. 그러나 협력업체가 작업하던 중에 계속해서 사고가 발생하고 있는 것을 보면, 원·하청이라는 특수한 관계를 고려하여 제도적·관리적·기술적 문제와 함께 사회적인 측면에서의 문제점도 확인할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

이를 위해 화학공장에서 협력업체를 활용하여 정비보수작업을 수행하는 절차를 파악하고, 각 업무 단계별로 적용되는 관련 규정과 지침을 정리하였다. 그 결과

안전조치사항의 수행주체가 원청과 협력업체별로 명확하게 구분되어 있지 않는 것으로 나타나 이에 대한 역할과 책임을 명확하게 할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

2. 화학공장 중대산업사고 현황

2005년부터 2022년까지 18년간 발생한 중대산업사고 149건에서 사망자가 89명, 부상자가 455명이 발생한 것으로 나타났다. 작업상황을 기준으로 보면 정상운전(65건), 정비보수(54건) 순으로 발생하였다. 정비보수작업 종류별로는 배관작업(18건), 밀폐공간작업(14건), 탱크정비작업(11건) 순으로 발생하였다. 정비보수작업 중 사망자수와 부상자수는 원청보다 협력업체에서 더 많이 발생한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 보면 협력업체 작업자가 상대적으로 위험에 많이 노출되어 있음을 알 수 있다. 따라서 원·하청이라는 사회구조적 문제와 기술적 문제를 통합한 전체의 사회기술시스템 측면에서 사고 발생 메커니즘을 규명하고 예방대책을 마련할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

3. 화학공장 정비보수 중 협력업체 화학사고 분석

업무처리절차 분석, STAMP 분석, AcciMap을 이용하여 사고기여요인 간의 연결 관계를 나타내었다. 그 결과를 보면 정비보수작업 중에 발생한 화학사고의 기여요인은 그 자체가 하나가 사고의 원인으로 작용하는 것이 아니고, 여러 요인들이 서로 연결되어 작용하는 것을 알 수 있다.

협력업체가 정비보수작업을 수행하던 중 발생한 사고는 기존의 관점에서 보면 기술적, 관리적, 인적 요인이 주로 사고 발생에 영향을 준 것으로 볼 수 있지만, 시스템 통합적인 측면에서 보면 사회구조적인 문제와 기술적, 관리적, 인적요인이 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 볼 수 있다. 협력업체가 작성하고 수행해야

하는 작업계획서, 작업표준, 위험성평가는 기본적으로 원청에서 관련 정보를 제공하지 않으면 제대로 작성하고 수행하기 어려운 것들이다. 그리고 협력업체가 정비보수작업을 시작하기 전에 수행해야 할 위험물질 제거, 맹판 설치, 밸브 차단 등의 작업 전 안전조치는 원청에서 수행해야 할 것들이 대부분이다.

또한, 단기간에 많은 인력을 투입해야 하는 화학공장의 정비보수작업이라는 특성이 협력업체를 통해 정비보수를 수행하도록 하고, 협력업체가 계약직과 일용직을 사용하도록 하는 상황을 만들었으며, 결과적으로 지식과 경험이 부족한 계약직과 일용직 근로자들이 적절한 작업방법과 보호구 착용법을 모르고 작업을 수행하도록 하는 원인이 되었다고 볼 수 있다.

따라서 화학공장에서 정비보수작업 수행 중 발생한 사고는 단순히 관리적, 기술적, 인적인 문제뿐만 아니라 앞서 제시한 분석결과와 같이 사회시스템과 기술시스템을 통합한 전체의 사회기술시스템 측면에서 사고의 발생 메커니즘을 분석하고 원인을 찾아 예방대책을 마련할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

4. 화학사고 예방을 위한 분석결과의 활용

사고분석 결과와 업무 단계별 문제점 분석결과를 기반으로 화학공장 정비보수 사고를 모형화 할 수 있는 사고기여요인에 관한 변수를 원청과 협력업체로 구분하여 제시하였다. 이 변수들은 정비보수작업 시작 전 안전조치 결과의 적정성 여부를 확인하기 위한 점검표(Check list)로 활용할 수도 있을 것이며, 정비보수 작업 중 발생한 사고의 조사 및 분석 시에도 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 연구의 한계 및 향후 과제

1) 연구의 한계점

연구결과에서 안전보건정보제공과 같은 산업안전보건법의 문제점을 일부 언급하긴 했지만 사업장 외부적인 문제에 대해서는 수집할 수 있는 자료의 한계로 인해 깊이 있는 검토와 분석을 수행하지 못한 것은 본 연구의 한계로 볼 수 있다. 그리고 사고가 발생한 이후 오랜 시간이 지나 사고가 발생한 사업장을 방문함에 따라 자료를 수집하는 데에도 한계가 있어 사고사례의 추가적인 분석은 수행하지 못하였기 때문에 재해조사의견서의 내용을 주로 활용하여 분석을 수행한 것도 아쉬움으로 남았다.

2) 향후 과제

연구 수행 과정 중 시간적인 제한으로 모형화 할 수 있는 변수만 도출하고 실제 모형화는 수행하지 못했기 때문에 향후에 도출된 변수를 이용하여 사고 모형을 만들고 그에 따른 사고 발생 시나리오를 작성한다면 사업장 관계자 및 다른 연구자들에게 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 또한, AcciMap의 사고기여요인에 대한 분석을 추가로 수행하여 사고기여요인에 대한 빈도 분석을 수행한다면 작업 수행 단계별 문제점을 이용하여 사고 발생 확률을 예측할 수 있는 모형도 작성이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김두환, 화학공장의 휴먼에러 분석에 관한 연구, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 1998.
- 서동현, 이근원, 한우섭, 최이락, 서동욱, PSM 대상 사업장에서 비일상 작업 시의 재해 조사 연구, 안전보건공단 산업안전보건연구원, 2019.
- 서동현, 이근원, 한우섭, 최이락, 화학공장의 사고사례를 활용한 정상 및 비정상 작업 시의 화재·폭발사고 원인조사, 2018.
- 서동현, 한우섭, 최이락, 박장현, 화학공장의 위험작업관리 효율화와 사고에 대한 시스템 이론적 분석 연구, 안전보건공단 산업안전보건연구원, 2021.
- 서동현, 한우섭, 최이락, 화학공장 화재·폭발사고사례의 시스템적 원인분석에 관한 연구, 안전보건공단 산업안전보건연구원, 2020.
- 안전보건공단 전문기술실, 화학사고 사례연구, 2023.
- 안전보건공단 중대산업사고예방실, 중대산업사고 분석을 통한 사고예방, 2022.
- 안전보건공단 중대산업사고예방실, 중대산업사고 분석을 통한 사고예방, 2023.
- 안전보건공단, 화재위험작업 확인·게시 매뉴얼, 2020.
- 유철진, 고재욱, 엄성인, 유진환, 현장적용이 용이한 화학공장의 위험성 평가 기법 개발 - K-PSR의 개발 및 적용사례, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 2005.
- 임상혁, 김원, 강남훈, 스즈키 아키라, 김기선, 박영만, 화학설비의 수리, 개조 등의 작업에 대한 도급 시 화학물질의 유해성위험성 정보전달방안 연구, 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, 2011.

한국산업안전보건공단 중대산업사고예방실, 화재위험작업 확인·게시 매뉴얼. 2020.

Brandford, K., Naikar, N., Hopkins. A., Learning from High Reliability Organisations. Chapter: Guidelines for AcciMap Analysis, CCH, pp. 193-212, 2009.

Carayon, P. et al, Advancing a sociotechnical systems approach to workplace safety-developing the conceptual framework, Ergonomics Volume 58, 2015 - Issue 4: Sociotechnical Systems and Safety.

Grant E., Paul M. Salmon, Nicholas J. Stevens, Natassia Goode, Gemma J. Read. Back to the future: What do accident causation models tell us about accident prediction?, Safety Science 2018;104:99-109.

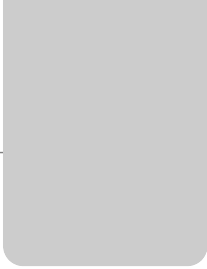
Leveson, N.. A New Accident Model for Engineering Safer Systems. Safety Science 2004;42(4):237-270.

Leveson, N.. CAST HANDBOOK: How to Learn More from Incidents and Accidents. 2019.

Rasmussen, J.. Risk Management in a Dynamic Society: A Modelling Problem. Safety Science 1997;27(2-3):183-213.

Salmon P.M. et al., Systems-based accident analysis methods: A comparison of Accimap, HFACS, and STAMP, 2012.

Underwood, P. and P. Waterson. A critical review of the STAMP, FRAM and AcciMap systemic accident analysis models. Advances in Human Aspects of Road and Rail Transportation. CRC Press. 2012, pp.385-394.



Abstract

Analysis of Socio-technical Causes of Fire and Explosion Accidents during Maintenance and Repair of Chemical Plants

Objectives: The purpose of this study was to analyze the causes of fire and explosion accidents that occurred during maintenance work at chemical plants from the holistic aspect of the socio-technical system and to find interconnections between causal factors. In addition, we attempted to derive variables for modeling and simulation analysis of fire and explosion accidents that may occur during chemical plant maintenance work.

Method: Among the major industrial accidents that occurred during maintenance work at a chemical plant, accidents in which a partner company worker was killed or injured were selected as the subject of analysis. Accident analysis was performed using a method using maintenance work procedures, a method using the STAMP model, and AcciMap to derive causal factors in terms of a socio-technical system centered on the relationship between the main company and partner companies.

Results: The results of analysis of serious industrial accidents that occurred at partner companies showed that although workers at partner companies are relatively exposed to risks, there are limits to the ability

of partner companies to eliminate risk factors on their own without support from the main company. And the causal factors to the chemical accidents that occurred during maintenance work at the chemical plants showed that not one single factor itself was the cause of the accident, but that several factors were interconnected. Additionally, variables for modeling accidents that occurred during chemical plant maintenance were proposed.

Conclusion: For accidents that occur during maintenance work in chemical plants, it is necessary to find causal factors and prepare preventive measures not only from the managerial, technical, and human aspects, but also from the holistic aspect of the socio-technical system.

Key words : AcciMap, Maintenance of chemical plant, Fire and Explosion, Chemical accident

연구진

연구기관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 서동현 (연구위원, 산업안전연구실)

연구원 : 최이락 (연구위원, 산업안전연구실)

연구원 : 정기혁 (차장, 산업안전연구실)

연구원 : 이한희 (차장, 산업안전연구실)

연구원 : 김천동 (과장, 산업안전연구실)

연구기간

2023. 03. 06. ~ 2023. 11. 30.

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

화학공장 정비보수 중 화재·폭발 사고의 사회기술적 원인분석
(2023-산업안전보건연구원-795)

발 행 일 : 2023년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 산업안전연구실 연구위원 서동현

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 042-869-0332

팩 스 : 042-863-9003

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-93642-53-5

공공안심글꼴 : 무료글꼴, 한국출판인회의, Kopub바탕체/돋움체