2023-중앙사고조사단-622

일터안전에서 국민안심으로

중대사고 이슈 리포트

重大事故 Issue Report

2023. 11

산업재해예방
안전보건공단
중앙사고조사단

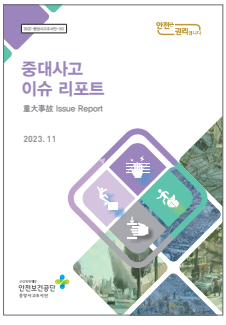
Contents

중대사고 이슈 리포트
重大事故 Issue Report

2023. 11

1 산업용 로봇의 중대재해 및 위험성 감소방안 고찰 ····· 1

2 저장탱크 폭발사고 분석 ····· 10



중대사고 이슈 리포트 2023. 11

[2023-중앙사고조사단-622]

발행인 안종주

발행처 한국산업안전보건공단
울산광역시 중구 종가로 400(성안동)

문의처 052)703-0126

편집디자인 한국장애인문화인쇄협회
Tel. 02)2683-0955

NOVEMBER 2023

중대사고 이슈리포트

01 산업용 로봇의 중대재해 및 위험성 감소방안 고찰

산업용 로봇의 중요성 증가 및 새로운 도전

국내 산업현장에서 고임금과 고령화 시대에 생산효율성 향상을 통한 제조업의 어려움 극복을 고려할 때 산업자동화는 되돌릴 수 없는 흐름이라고 판단되지만 제조공정 자동화에 따른 문제점으로 다수의 심각한 재해가 발생하고 있다.

그럼에도 불구하고, 현재 국내에서 제조공정 자동화 설비의 안전관리 실태 및 안전성 향상 방안 등에 대한 논의는 미흡한 실정이다.

특히, 산업용 로봇의 경우 지속적인 설비 증가 및 '23년 7월 공단과 고용노동부에서 협동작업 산업용 로봇과 관련하여 안전방책을 대신하는 새로운 안전가이드를 제시하는 등 향후 생산공정 변화와 기술발전에 따른 영향으로 많은 변화가 예상된다.

따라서, 본 리포트에서는 제조공정 자동화의 핵심요소이고 향후 중요성 증가가 예상되는 산업용 로봇을 대상으로 중대재해 현황, 국내·외 관련 안전법규 및 위험성 감소방안 등을 검토하였다.

그림 1

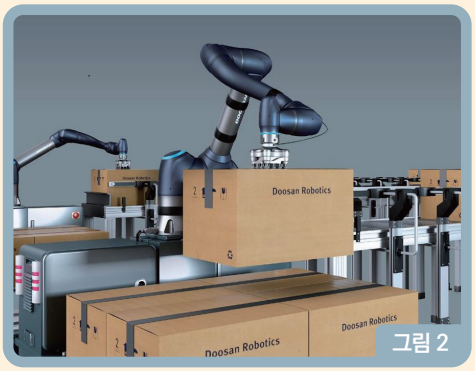


그림 2

[그림 1] 차체 용접 산업용 로봇 자동화 라인

[그림 2] 협동운전용 산업용 로봇

산업용 로봇에 의한 중대재해 현황

최근 산업용 로봇 중대재해 현황(`20~`23.8.)

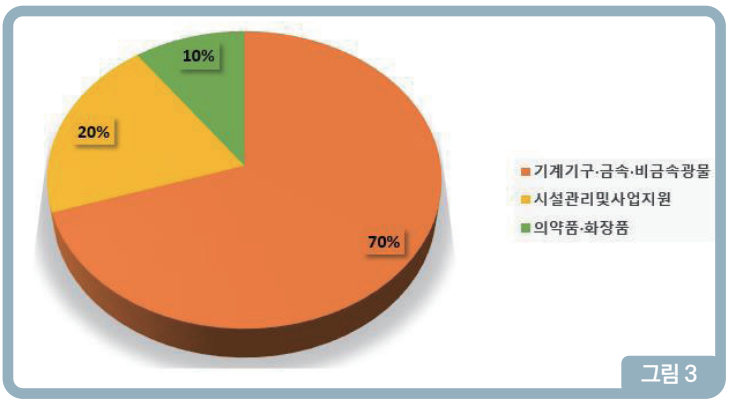
- 2020. 5. 로봇용접기의 용접팁(스폿공구의 끝부분) 교체 작업중 **끼임**. <사망 1명>
- 2020. 5. 산업용 로봇 운전중 안전방책 내부 진입하여 **끼임**. <사망 1명>
- 2020. 9. 안전방책 내부에서 수리작업 중 타작업자의 임의 기동으로 **끼임**. <사망 1명>
- 2021. 6. NC선반과 산업용 로봇사이에 **끼임**. <사망 1명>
- 2021. 6. 제품이 넘어지면서 산업용 로봇의 기동스위치 눌러 오작동으로 **끼임**. <사망 1명>
- 2021. 9. 출입문 안전플러그를 무효화하고 안전방책 내부에서 수리작업 중 **끼임**. <사망 1명>
- 2021. 9. 안전방책 내부에서 로봇용접기의 용접팁 교체 작업 중 **끼임**. <사망 1명>
- 2022. 2. 산업용 로봇 운전 중 안전방책 내부 진입하여 **끼임**. <사망 1명>
- 2022. 8. 사출성형기 금형에 붙은 불량품 제거작업 중 취출로봇에 **끼임**. <사망 1명>
- 2023. 5. 안전방책 내부에서 로봇용접기의 센서 확인 중 **끼임**. <사망 1명>

☞ **최근(`20~`23.8.) 산업용 로봇에 의한 사고사망자(10명)는 모두 끼임에 의해 발생함.**

〈업종별〉

`20년부터 `23년 8월까지 산업용 로봇에 의한 사고사망자는 총 10명으로 한해 평균 약 2.7명이 발생하였으며, 대부분 기계기구·금속·비금속광물제품제조업(7명, 70%)에서 발생하였다.

중업종명	합계	'23년 8월	'22년	'21년	'20년
합계	**10**	1	2	4	3
기계기구·금속·비금속광물 제품제조업	**7**	0	0	4	3
의약품·화장품제품제조업	**1**	0	1	0	0
시설관리및사업지원서비스업	**2**	1	1	0	0



[그림 3] 산업용 로봇에 의한 중업종별 사고사망자 현황

〈작업내용별〉

작업내용별 산업용 로봇에 의한 사고사망자(10명) 현황은 수리·검사·준비 등 작업 시 사망자 6명(60%), 일반운전 1명(10%), 기타 3명(30%)으로 나타났다.

구분	합계	수리·검사·준비 등	일반운전 (제품생산)	기타
발생 건수 (비율)	10 (100.0%)	6 (60.0%)	1 (10.0%)	3 (30.0%)

수리·검사·준비 등 작업 시 발생한 사고사망자 6명중, 5명(83.3%)은 운전정지를 미실시한 상태로 작업을 수행하던 중 발생하였고, 1명(16.7%)은 타작업자 오조작에 의해 발생한 것으로 나타났다.

수리·검사·준비 등 운전정지 구분	합계	운전정지 미실시	타작업자 오조작
발생 건수 (비율)	6 (100.0%)	5 (83.3%)	1 (16.7%)

〈안전방책 내·외부〉

안전방책 내·외부 구분별 산업용 로봇에 의한 사고사망자(10명) 현황은 안전방책 내부 사망자 6명(60%), 불명확 4명(40%)으로 나타났다.

구분	합계	안전방책 내부	불명확
발생 건수 (비율)	10 (100.0%)	6 (60.0%)	4 (40.0%)

* **검토결과 :** 최근(`20~`23.8.) 산업용 로봇에 의한 사고사망자(10명)는 모두 끼임에 의한 것으로 기계기구·금속·비금속광물제품제조업(7명, 70%)에서 대부분 발생하였고, 사고사망의 주요 원인은 수리·검사·준비 등 작업 시 해당 로봇의 운전정지 미실시와 안전방책 내부 임의 출입에 의한 것으로 나타났다.

국내 · 외 산업용 로봇 관련 안전법규

국내 안전보건기준에 관한 규칙[1)]

산업용 로봇의 운전 중 위험방지를 위해, 안전방책을 설치할 수 없는 일부 구간에 감응형 방호장치(안전매트, 광전자식 방호장치 등)를 설치토록 규정한 내용과 협동작업 산업용 로봇을 고려한 단서를 제외하면, 원칙적으로 높이 1.8미터 이상의 안전방책을 설치토록 규정하고 있다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제223조「운전 중 위험 방지」

사업주는 로봇의 운전(제222조에 따른 교시 등을 위한 로봇의 운전과 제224조 단서에 따른 로봇의 운전은 제외한다)으로 인하여 근로자에게 발생할 수 있는 부상 등의 위험을 방지하기 위하여 높이 1.8미터 이상의 울타리(로봇의 가동범위 등을 고려하여 높이로 인한 위험성이 없는 경우에는 높이를 그 이하로 조절할 수 있다)를 설치해야 하며, 컨베이어 시스템의 설치 등으로 울타리를 설치할 수 없는 일부 구간에 대해서는 안전매트 또는 광전자식 방호장치 등 감응형 방호장치를 설치해야 한다. 다만, 고용노동부장관이 해당 로봇의 안전기준이 한국산업표준에 정하고 있는 안전기준 또는 국제적으로 통용되는 안전기준에 부합하다고 인정하는 경우에는 본문에 따른 조치를 하지 않을 수 있다.

1) “산업안전보건기준에 관한 규칙”, accessed October 13, 2023, https://www.law.go.kr/법령/산업안전보건기준에 관한 규칙

산업용 로봇의 수리·검사·조정·청소·급유 등을 위해, 원칙적으로 해당 로봇의 운전을 정지하고, 기동스위치를 열쇠로 잠근후 열쇠를 별도 관리하거나 기동스위치에 "작업 중" 표지판을 부착토록 규정하고 있다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제224조「수리 등 작업 시의 조치 등」

사업주는 로봇의 작동범위에서 해당 로봇의 **수리·검사·조정**(교시 등에 해당하는 것은 제외한다)·**청소·급유 또는 결과에 대한 확인작업**을 하는 경우에는 **해당 로봇**의 **운전을 정지함**과 동시에 그 작업을 하고 있는 동안 로봇의 **기동스위치를 열쇠로 잠근 후 열쇠를 별도 관리하거나** 해당 로봇의 **기동스위치에 작업 중이란 내용의 표지판을 부착**하는 등 해당 작업에 종사하고 있는 근로자가 아닌 사람이 해당 기동스위치를 조작할 수 없도록 필요한 조치를 하여야 한다. 다만, 로봇의 운전 중에 작업을 하지 아니하면 안 되는 경우로서 해당 로봇의 예기치 못한 작동 또는 오조작에 의한 위험을 방지하기 위해 제222조 각 호의 조치를 한 경우에는 그러하지 아니하다.

일본 노동안전위생규칙[2)]

산업용 로봇의 운전 중 위험방지를 위해, 난간, 안전방책 등을 설치토록 규정하고 있다.

노동안전위생규칙 제150조의 4「운전 중 위험 방지」

사업주는 산업용 로봇을 운용함에 있어서(교시 등을 위해 산업용 로봇을 운용하는 경우와 산업용 로봇의 운용 중에 다음 조항에서 규정하는 작업을 하여야 하는 경우는 제외한다) 해당 산업용 로봇과의 접촉으로 인해 근로자가 위험에 처할 수 있는 경우, 위험을 방지하기 위해 **난간, 울타리 등**을 제공하는 등 필요한 조치를 하여야 한다.

산업용 로봇의 수리·검사·조정·청소·급유 등을 위해, 원칙적으로 해당 로봇의 운전을 정지하고, 기동스위치를 열쇠로 잠근후 기동스위치에 "작업 중" 표지판을 부착토록 규정하고 있다.

노동안전위생규칙 제150조의 5「검사 등」

사업주는 산업용 로봇의 동작범위 내에서 검사, 수리, 조정(교시 등의 작업은 제외), 청소, 급유 등의 작업을 수행하거나 그 결과를 확인하는 작업을 할 경우 해당 로봇의 운전을 정지시키는 조치를 취하여야 한다. 해당 작업수행 중에는 기동스위치를 잠그고, 작업에 종사하는 작업자 이외의 사람이 조작하지 못하도록 산업용 로봇의 기동스위치에 작업 중임을 알리는 표시를 하여야 한다. 다만 산업용 로봇의 운전 중에 작업을 수행해야 하는 경우에 산업용 로봇의 예상치 못한 작동이나 작동 오류로 인한 위험을 방지하기 위해 다음과 같은 조치를 취한 경우에는 그러하지 아니하다.

1. 다음 사항에 관한 규칙을 정하고 근로자가 규칙에 따라 작업을 수행하도록 한다
   가. 산업용 로봇의 조작 방법 및 절차
   나. 2명 이상의 근로자가 작업을 수행할 때 신호를 보내는 방법
   다. 비상시 조치
   라. 긴급 상황 발생 시 작동을 중단한 로봇의 작동을 재개하기 위한 조치
   마. 산업용 로봇의 예상치 못한 작동이나 오작동에 따른 위험을 예방하기 위해 기타 필요한 조치
2. 작업에 종사하는 근로자 또는 근로자를 감독하는 사람이 긴급 상황 발생 시 산업용 로봇의 작동을 즉시 중단할 수 있도록 조치를 강구하는 것
3. 작업 중에 로봇의 작동 조건을 변경하는 스위치 등에 작업 중이라는 표시를 하는 등 작업에 종사하는 근로자 이외의 사람이 해당 스위치 등을 조작하지 못하도록 조치를 취할 것

2) "勞動案全衛生規則_Ordinance on Industrial Safety and Health", accessed October 17, 2023, https://www.japaneselawtranslation.go.jp/en/laws/view/3878

[미국 OSHA]

현재 산업용 로봇의 안전조치를 직접적으로 다루는 OSHA Standard은 없지만 관련 OSHA Standard와 산업용 로봇 관련 ANSI(American National Standards Institute) /RIA(Robotic Industries Association) /ISO(International Standards Organization) 표준 등을 적용 가능한 규정으로 제시하고 있다[3)4)5)].

관련 OSHA Standards	주요 내용
29 CFR 1910.22 General Requirements Walking Working Surface	– 미끄러짐, 넘어짐, 추락 등으로부터 통행바닥과 작업장 바닥을 보호
29 CFR 1910 Subpart I Personal Protective Equipment	– 개인보호구의 요구사항을 설정하고 필요에 따라 사용토록 조치
29 CFR 1910.95 Occupational Noise Exposure	– 작업장에서 소음노출의 영향을 평가하고 보호조치
29 CFR 1910.147 The Control of Hazardous Energy_Lockout/Tagout	– 유지 관리 또는 서비스활동 등 수행 시 로그아웃/태그아웃 실시
29 CFR 1910.212 General Requirements for all Machines	– 작동 기계의 움직이는 부분으로부터 작업자를 보호하기 위해 기계 가드(Guard) 등의 방호장치 제공
29 CFR 1910 Subpart S Electrical	– 배선, 도관, 차단기, 모터 등과 같은 전기장비를 안전표준에 따라 제공 및 설치

*** 검토결과:**

- 국내 산업안전보건기준에 관한 규칙과 일본 노동안전위생규칙은 안전방책 설치 및 수리·검사·조정·청소·급유 시 해당 로봇의 운전을 정지하고 잠금/표지판을 설치토록 하는 등 유사성을 가지는 것으로 나타났다.
  - 하지만, 국내 산업안전보건기준에 관한 규칙이 일본 노동안전위생규칙에 비해 구체적*이고, 단서조항을 통해 새로운 형태의 산업용 로봇인 협동작업 산업용 로봇의 안전조치 등에 능동적으로 대응하고 있는 것으로 사료된다.
    * 안전방책의 높이 1.8미터 이상으로 규정하고, 안전방책을 설치할 수 없는 구간에 감응형 방호장치를 설치토록 규정
- 미국 OSHA의 경우 현재 산업용 로봇의 안전조치를 직접적으로 다루는 OSHA Standard은 없지만, 관련 OSHA Standard 및 산업용 로봇 관련 ANSI/RIA/ISO 표준 등을 적용 가능한 규정으로 제시하고 있는 것으로 나타났다.

3) OSHA Technical Manual(OTM) SectionⅣ:Chapter4.Industrial Robot Systems and Industrial Robot System Safety

4) http://www.osha.gov/robotics/standard, accessed October 18, 2023.

5) http://www.robotsdoneright.com/Articles/OSHA-safety-requirements-for-robots.html, accessed October 18, 2023.

일반 산업용 로봇 관련 위험성 감소방안[6)7)8)9)10)]

산업용 로봇의 운전 중에는 작업자를 산업용 로봇과 물리적으로 분리하여야 하고, 이러한 물리적 분리는 안전방책과 감응형 방호장치(라이트 커튼, 안전매트, 안전스캐너 및 비전시스템 등)와 같은 안전장치를 통해 달성될 수 있다.

안전방책 내부 등의 보호영역(Safeguarded Space) 안으로 작업자가 임의로 들어가면 산업용 로봇의 운전이 안전하게 정지되도록 연동조치(Interlock) 되어야 하며, 별도의 기동조작에 의해 재기동 되어야 한다.

작업자가 안전방책 내부 등의 보호영역(Safeguarded Space) 내에서 수리·검사·조정·청소·급유 등을 하여야 하는 경우 해당 로봇의 운전을 정지하고 로그아웃/태그아웃 조치 등을 하여야 한다.

비상정지장치는 각 제어반 및 그 밖에 비상정지장치가 필요한 곳에 설치하되, 작업자의 접근이 용이하게 배치되어야 하며, 로봇 시스템*은 시스템의 모든 관련부분에 대하여 작동되는 단일 비상정지 기능을 가져야 한다.
* 로봇, 말단장치(그리퍼·용접건·스프레이건 등) 및 작업수행에 필요한 센서 등으로 구성된 시스템을 말함

산업용 로봇의 작동범위 및 작업영역과 건물 기둥 등의 장애물 사이에 작업자 끼임을 예방하기 위한 여유 공간 제공 및 위험에 자유로운 작업자 통로를 제공하여야 한다.

작업의 변경, 교시, 유지보수 등을 위한 시스템 설정 변경은 권한이 있는 사람만이 해야 하며, 잠금장치 또는 비밀번호 등을 사용하여 임의로 설정 변경을 할 수 없도록 하여야 한다.

또한, 관리적 조치를 통해 산업용 로봇 관련 위험성을 줄일 수 있다.
- 산업용 로봇 관련 표준절차서(SOP) 작성·준수·교육
  · 산업용 로봇의 조작방법 및 순서
  · 안전방책 내부에서 행하여지는 작업의 절차
  · 로그아웃/태그아웃 절차 등
- 위험성평가(Risk Assesment) 및 도출된 위험성 감소조치
- 산업용 로봇 관련 안전교육
- 개인보호구 착용 관리 등

그 밖의 일반 산업용 로봇 관련 위험성 감소 방안은 산업안전보건기준에 관한 규칙, 안전검사 고시(별표12. 산업용 로봇 검사기준), KOSHA GUIDE M-61-2017(산업용 로봇의 사용 등에 관한 안전 기술지침), KS B ISO 10218(로봇 및 로봇장치-산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항) 등을 참고하여야 할 것이다.

---

6) OSHA Technical Manual(OTM) SectionⅣ:Chapter4.Industrial Robot Systems and Industrial Robot System Safety

7) KS B ISO 10218-1 "로봇 및 로봇장치-산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항-제1부:로봇"

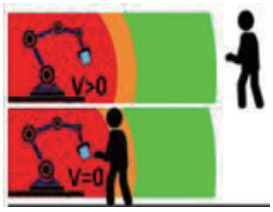
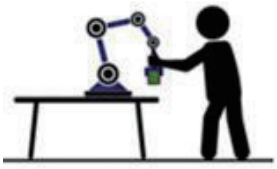
8) KS B ISO 10218-2, "로봇 및 로봇장치-산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항-제2부:로봇시스템 및 통합"

9) KOSHA GUIDE M-61-2017, "산업용 로봇의 사용 등에 관한 안전 기술지침"

10) 고용노동부고시 제2023-4호 "안전검사 고시 (별표12) 산업용 로봇 검사기준

협동작업 산업용 로봇 관련 위험성 감소방안[11)12)]

산업용 로봇을 이용한 협동작업(Collaborative Operation)의 기본 개념은 로봇과 사람이 같은 작업공간을 공유하는 작업을 말하며 협동작업 형태별 특징은 아래와 같다.

협동작업 형태	특 징	개념도
속도 및 위치감시 (Speed and separation monitoring)	- 지정된 속도 및 운전자와의 이격거리 유지 - 일정 이격거리 이내로 작업자 접근 시 자동으로 속도를 줄이거나 멈추는 보호조치 실행	
핸드가이딩 (Hand guiding)	- 작업자가 로봇의 몸체를 직접 손으로 붙잡고 움직이며 작업 - 작업자가 로봇 몸체를 놓았을 경우 로봇 정지	
동력 및 힘 제한 (Power and force limiting)	- 사람과 로봇 접촉시 사람에게 상해를 가하지 않는 제한된 크기의 힘과 압력만 전달	

로봇의 비정상적인 작동 시 긴급히 정지시킬 수 있도록 작업자가 조작할 수 있는 위치에 비상정지장치를 설치하여야 한다.

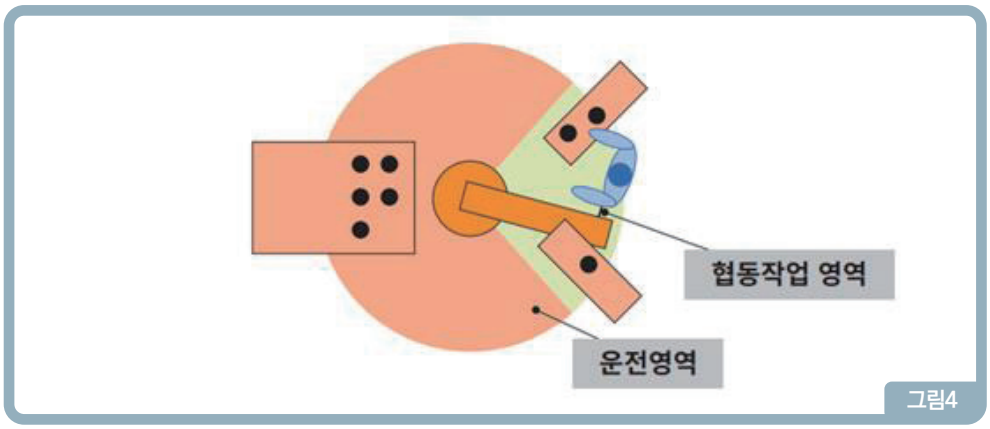
협동운전에 필요한 하나 이상의 협동작업 안전기능이 적용되어야 한다.

협동작업 안전기능	위험도 감소의 주요 수단	필요센서 또는 방호장치
안전 감시 정지(Safe Monitored Stop)	- 사람이 협동작업 영역에 존재할 경우 로봇은 움직이지 않는다.	사람이 협동작업영역에 진입했는지, 잔류하는지 감지할 수 있는 센서 (라이트 커튼, 안전스캐너, 카메라 등 비젼시스템 등)
핸드가이딩 (Hand guiding)	- 로봇은 작업자가 직접적으로 주는 압력에 따라서만 움직인다.	사람이 잡고 있는지를 검출할 수 있는 스위치
동력 및 힘 제한 (Power and force limiting)	- 로봇과 작업자 사이의 간격이 안전거리 이상인 경우에만 로봇이 움직인다	사람과 로봇 사이의 거리와 상대속도를 감지할 수 있는 센서(안전스캐너, 근접센서, 카메라 등 비젼시스템 등)
동력 및 힘 제한 (Power and force limiting)	- 사람과 로봇 접촉시 사람에게 상해를 가하지 않는 제한된 크기의 힘과 압력만 전달	사람과 로봇 사이의 접촉력을 감지할 수 있는 센서(힘/토크 센서 등)

11) 산업용 로봇의 협동작업 안전 가이드(고용노동부·안전보건공단, 2023.7)

12) KS B ISO TS 15066, "로봇 및 로봇장치-협동로봇"

운전자와 로봇이 직접 접촉할 수 있는 협동영역은 바닥표시, 표지판 등으로 표시하여야 한다.



[그림 4] 협동작업 영역의 예시

협동로봇 사용 작업 및 그 위험에 관한 사항을 평가하여 작업자에게 주지시켜야 하며, 작업자의 안전한 사용을 위해 조작 및 안전에 대한 교육을 하여야 한다.

설치된 보호 장치(종류, 안전거리 등)의 적정성을 확인하고 보완대책(보호구 착용, 교육, 작업 절차 등)을 마련하여야 한다.

작업의 변경, 교시, 유지보수 등을 위한 시스템 설정 변경은 권한이 있는 사람만이 해야 하며, 잠금장치 또는 비밀번호 등을 사용하여 임의로 설정 변경을 할 수 없도록 하여야 한다.

협동영역 내 작업자 이동 동선에 있는 위험요소를 제거하여야 하며, 정리 상태를 확인하여야 한다.

그 밖의 협동작업 산업용 로봇 관련 위험성 감소 방안은 산업안전보건기준에 관한 규칙, 안전검사 고시(별표12. 산업용 로봇 검사기준), KOSHA GUIDE M-61-2017(산업용 로봇의 사용 등에 관한 안전 기술지침), 고정식·이동식 산업용 로봇의 협동작업 안전 가이드(고용노동부·안전보건공단, 2023.7), KS B ISO 10218(로봇 및 로봇장치-산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항) 등을 참고하여야 할 것이다.

산업용 로봇 중대재해 및 위험성 감소방안 고찰

본 리포트에서 산업용 로봇 중대재해 및 위험성 감소 방안을 고찰한 내용에 의하면

최근('20~'23.8) 산업용 로봇에 의한 중대재해를 검토한 결과, 재해의 주요 원인은 수리·검사·준비 등 작업 시 해당 로봇의 운전정지 미실시와 안전방책 내부 임의 출입 등에 의한 것으로 나타났다.

국내·외 산업용 로봇 관련 안전법규를 검토한 결과, 국내 산업안전보건기준에 관한 규칙과 일본 노동안전위생규칙은 안전방책 설치 및 수리·검사·조정·청소·급유 시 해당 로봇의 운전을 정지하고 잠금/표지판을 설치토록 하는 등 유사성을 가지나, 국내 산업안전보건기준이 구체성 및 새로운 형태의 산업용 로봇인 협동작업 산업용 로봇의 안전조치 등에 능동적으로 대응하고 있는 것으로 나타났다. 그리고, 미국 OSHA의 경우 산업용 로봇의 안전조치를 구체적으로 다루는 OSHA 규정은 없지만 관련 OSHA 규정 및 ANSI/RIA/ISO 표준 등을 적용하고 있는

것으로 나타났다.

국내·외 산업용 로봇 관련 안전기준 등을 검토한 결과, 일반 산업용 로봇 관련 위험성 감소를 위해서는 안전방책과 감응형 방호장치 등을 활용하여 작업자와 산업용 로봇을 물리적으로 분리하고, 안전방책 내부에서 수리·검사·준비 등 작업 시 해당 로봇의 운전정지 및 로그아웃/태그아웃 조치 등을 철저히 하는 것이 중요한 것으로 나타났다.

국내·외 협동작업 산업용 로봇 관련 안전기준 등을 검토한 결과, 로봇과 사람이 같은 작업공간을 공유하는 협동작업 산업용 로봇 관련 위험성 감소를 위해서는 「협동운전에 필요한 협동운전 안전장치의 적용 적정성과 안전성능 확보」 및 「위험성의 인식·관리·전달을 위한 교육 및 작업절차 관리 등의 보완대책」이 중요한 것으로 나타났다.

그리고, 국내 산업현장에서 지속적인 설비 증가와 신기술 적용 등으로 인해 많은 변화가 예상되는 산업용 로봇의 안전한 사용을 위해, 지속적으로 사업장의 사용 실태를 점검하고 산업용 로봇의 안전성 향상을 위한 조치를 실행하여야 할 것으로 생각된다.

02 저장탱크 폭발사고 분석

'22년 3월 경기도 안산시 소재 폐유기용제 저장탱크 상부에서 배관 연결을 위한 용접 작업 중 탱크가 폭발하며 탱크 위에서 작업 중이던 근로자 2명이 사망하였다. 저장탱크에서 화재나 폭발이 발생하면 인명피해와 물적피해가 크다. 또한 이러한 사고는 제조업 뿐만 아니라 서비스업, 폐기물처리업 등 많은 장소에서 발생하고 있다. 저장탱크가 다양한 업종에서 사용이 되기 때문에, 사업장이 저장탱크를 보유하고 있다면 작업 시 발생할 수 있는 위험을 모든 근로자가 인지할 필요가 있다. 따라서 본 리포트에서는 최근 발생한 저장탱크 폭발사고의 원인을 분석하고, 동종사고 방지를 위해 우리가 준수해야 할 사항을 알아보고자 한다.

탱크 폭발 관련 유사 사고 사례

- 2023년 8월 경기도 화성시 소재 산업폐기물 처리회사 폐수저장탱크 상단에 전동그릴로 구멍을 뚫던 중 탱크 폭발 (사망 1명)
- 2022년 3월 경기도 안산시 소재 폐유기용제 저장탱크 상부에서 배관 연결을 위한 용접 작업 중 탱크 폭발 (사망 2명)
- 2021년 12월 전남 여수시 소재 석유화학단지에서 저장탱크 보수작업 중 탱크 폭발 (사망 3명)
- 2019년 10월 울산시 소재 오일 저장탱크 외벽에 소방설비 설치를 위한 지지대 용접 중 탱크 폭발 (부상 3명)
- 2012년 10월 충남 당진 소재 유류탱크에서 부유식 액위계 수리를 위한 용접 및 그라인딩 작업 중 탱크 내부 유증기에 의한 폭발 (사망 1명)

그림 1

그림 2

[그림 1] 화재·폭발 당시 탱크모습 (CCTV)

[그림 2] 화재 진화 후 탱크

재해 발생 작업 이유

사고가 발생한 사업장에서는 취급하는 물질의 양이 증가함에 따라서 탱크 4기를 2021년에 추가로 설치하였다. 물질의 종류에 따라서 위험물안전관리법에 따른 위험물 취급 허가를 각각 득하였고 탱크에도 위험물 취급 허가 표지가 부착되어있었다. 하지만 탱크를 사용하던 중 처음 설치했을 때의 용도 외에 추가적인 목적으로 물질을 취급하기 위해 펌프를 설치하려고 결정했다. 사고발생 작업이 진행된 이유이다.

공장을 운영하면서 설비가 추가되거나 변경되는 일은 빈번하기 때문에, 사고가 발생하였다고 해서 설비 변경작업을 하지 않을 수 없다. 그럼에도 유사한 사고가 매년 발생하는 이유는 무엇일까.

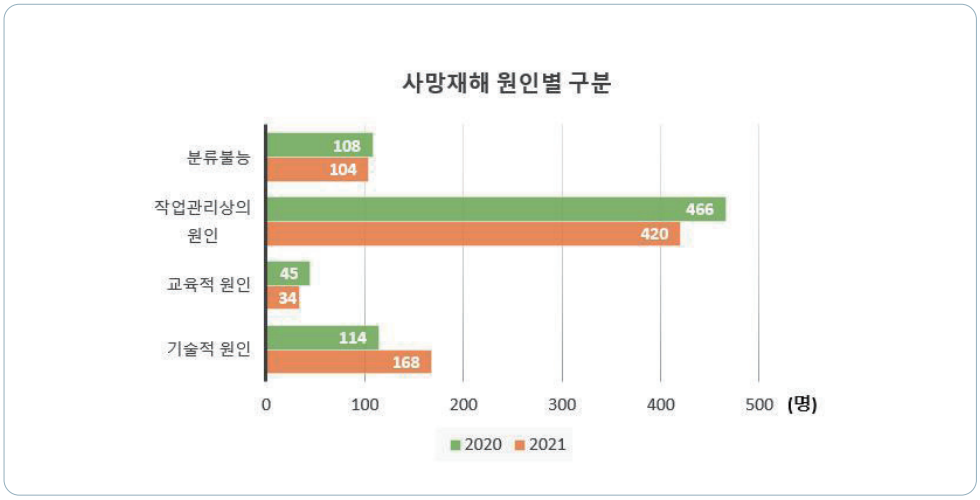
무엇이 잘못되었을까

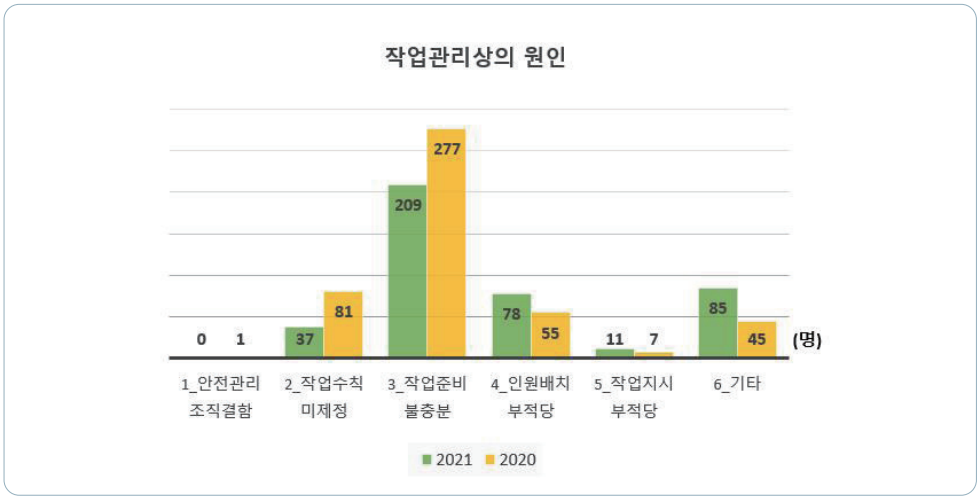
고용노동부에서 발표한 산업재해현황분석[1]을 통해 사망재해[2]를 원인별로 구분해 보았을 때 작업관리상의 원인, 기술적인 원인, 분류불능, 교육적 원인의 순서로 사고를 일으킴을 확인할 수 있었고, 그중 작업관리상의 원인이 가장 많은 사망재해를 발생시켰다.

2021년 조사된 사망재해 원인 중 작업관리상의 원인 중에는 작업준비 불충분으로 인한 사고가 가장 많았고 기타, 인원배치 부적당, 작업수칙 미제정, 작업지시 부적당, 안전관리 조직 결함 순서로 확인되었다. 다른 원인과 달리 '작업준비 불충분'은 지난 2020년, 2021년 모두 가장 많은 사망재해를 발생시킨 원인으로 분류되었다.

1) 2020 산업재해현황분석(고용노동부), 2021 산업재해현황분석(고용노동부)

2) 산업안전보건법 제56조 및 산업안전보건근로감독관집무규정 제27조에 의하여 근로 감독관이 조사한 사망재해를 기준으로 분석한 데이터





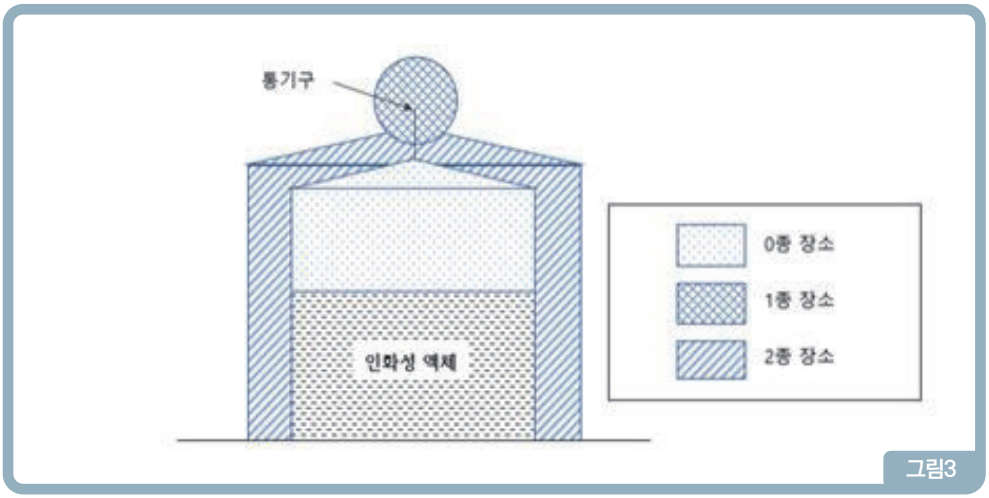
최근 발생한 탱크 폭발 사고 역시 충분하지 못한 사전준비가 영향을 미친 것으로 확인되었다.

① 내부가 비워지지 않은 탱크

저장탱크는 운용 목적이 '물질 보관'이다. 따라서 인화성 물질을 취급하는 탱크라면 탱크 상부 증기구간은 0종 폭발위험장소로 관리되어야 한다. 즉, 탱크 내부 액면 위쪽은 항상 폭발성 가스분위기가 존재하므로 상부에서 작업이 이루어진다면 화재·폭발에 대한 대비를 해야 한다.

폭발위험장소의 구분 (KS C IEC 60079-10-1:2015)

- **0종 장소** : 폭발성 가스 분위기가 연속적으로, 장기간 또는 빈번하게 존재하는 장소
- 1종 장소 : 폭발성 가스 분위기가 정상작동 중 주기적 또는 빈번하게 생성되는 장소
- 2종 장소 : 폭발성 가스 분위기가 정상작동 중 조성되지 않거나 조성된다 하더라도 짧은 기간에만 존재할 수 있는 장소



[그림 3] 인화성 액체 저장탱크의 폭발 위험장소 구분(예시)

하지만, 실제적으로 사고가 발생했을 때를 보면 탱크 내부에 인화성 물질이 잔류하고 있음에도 탱크 상부 또는 옆면에서 작업이 진행된 경우가 많다. 소량의 인화성 물질이 잔류하고 있는 경우, '물질이 제거가 되었다'라는 판단으로 작업을 진행한 경우가 있었다. 하지만 소량이 탱크에 남아있다. 소량이라고 해도 물질은 증발을 일으키므로, **액면 상부 공간 및 인화성 액체가 묻어 있는 탱크 벽면에는 인화성 증기가 존재할 수 밖에 없다.**

개방된 공간에 소량의 인화성 액체가 존재한다면, 공기 유동으로 증기가 희석되므로 점화원이 있어도 화재가 발생할 가능성이 적다. 하지만 인화성 액체가 닫힌 공간 속에 있다면 상황은 달라진다. 발생된 증기가 배출될 곳이 없기 때문에 공간 속에서 일정 농도를 형성하여 평형을 유지하게 된다. 이 증기의 농도가 폭발상·하한의 경계 내에 들어온다면 폭발의 위험이 더 커지게 된다.

② 미흡한 안전관리

사고 당시 현장을 지키고 있는 감독자는 없었다. 사고 현장을 지나치는 많은 근로자가 있었지만 그들은 작업현장을 감시하는 역할을 부여받지 않았다. 그래서 그들에게는 사무실로 가기 위해 늘 지나쳐 가던 현장, 그뿐이었다. 작업 현장에 상주하면서 안전조치를 확인하고, 작업을 감독하는 사람이 없었다. 지나다니는 근로자들에게는 현장 안전관리를 해야 할 의무가 없었다.

③ 미흡한 설비 변경 과정

크기와 재질이 같은 배관 부속품의 단순 교체작업은 도면이 없이 현장에서 이루어질 수 있다. 같은 자리에 같은 제품이 설치되기 때문이다. 하지만 이번 작업에서는 펌프라는 동력기계가 추가되었다. 기계를 공정에서 사용하기 위해서 전 후단 설비와 연결 작업을 해야 했고 배관이 설치되어야 했다. 배관의 크기, 설치 위치, 작업 방법이 체계적으로 검토되었어야 했다. 하지만 사고가 발생한 시점에는 현장맞춤으로 모든 것이 설치되고 있었다. 그래서 사전에 탱크가 비워져야 하는 것이 검토되거나 공유되지 않았다.

위험성 실험

현재 소방서에서 근무하는 전문가(종로소방서 정진항 재난관리과장)의 도움으로 화재 발생에 대한 소규모 실증실험을 진행하였다.

실험조건

- 에탄올을 설비(실험용기) 내부에 묻힌 후 에탄올을 제거
  : 탱크 밖으로 부어냈으며, 닦아내거나 세척하지 않은 상태로 진행
- 설비 입구로 불이 붙은 성냥을 투입

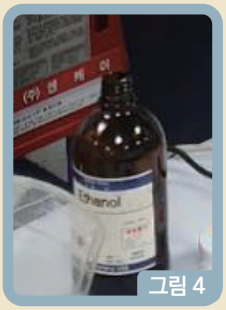


그림 4

그림 5

그림 6

그림 7

[그림4] 실험에 사용된 인화성 액체 – 에탄올

[그림 5] 내부 에탄올을 제거

[그림 6] 점화원 투입

[그림 7] 화염 발생

※ 실험용기의 크기, 입구 형태 등을 고려하여 실험 조건에서 점화 여부를 확인할 수 있는 최소한의 규모로 진행하였으며, 실험장에 소화기 비치, 관계자 외 출입금지 등 사전 안전조치 후 실험 진행

실험결과

- 점화원이 유입되는 순간부터 점화되었으며, 화염과 폭압이 설비 외부로 순간 분출된 후 소멸

위 실험결과를 미루어보면 소량의 인화성 액체라도 설비 내부에 남아있는 상태, 즉, 인화성 증기를 발생시킬 수 있는 액체가 설비 내부에 묻어있다면 있다면 육안으로는 확인할 수 없는 위험한 상황이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

인화성 액체를 보관했던 **드럼통을 세척하지 않은 상태**에서 형태를 변경해서 다른 용도로 재사용하기 위해 화기작업을 진행하던 중 드럼통이 폭발하는 경우, 저장탱크에 채워져 있던 인화성 액체를 **하부에 설치된 펌프만을 이용해서 일부만 제거한 후** 화기작업 시 이와 같은 상황을 발생시킨 것이다.

화기 작업 관련 안전기준

안전보건공단에서 발행하는 KOSHA Guide에서는 다양한 안전기준을 제시하고 있다.

안전작업허가지침에서는 용기에 인접하여 화기작업을 수행할 때에는 작업 전에 용기 내의 가연성물질을 완전히 비우고 세정한 후 가스농도 측정으로 잔류여부를 확인하도록 한다. 화학공장의 정비보수에 관한 안전관리지침에서는 용접·용단작업 중 화재에 대비한 감시원을 두도록 하고 인근에 인화성 물질이 있다면 절단용접작업을 금지하도록 안내하고 있다.

안전작업허가지침(P-94)

용기 등의 내부 또는 인접하여 화기작업을 수행할 때에는 배관 및 용기 내의 가연성물질(독성, 불활성 등 유해물질 포함)을 완전히 비우고 세정한 후 가스농도 측정 및 분진 등의 잔류여부를 확인한다.

화학공장의 정비보수에 관한 안전관리지침(O-4)

용단·용접작업 중에서 화재에 대한 대비로서 감시원을 두어 화재 시 소화기 사용 등을 교육하도록 한다.

- 용단용접작업을 하는 인근장소에서 인화성물질이 있거나 페인트작업을 할 경우에는 절단용접작업을 하지 않도록 한다.
- 용단용접의 불꽃, 스파크, 슬래그가 튀지 않도록 불연성 재료로 차단하고 용접장소에 개구부가 있을 경우 개구부를 막거나 턱을 만들어 용접슬래그가 들어가지 않도록 한다.
- 벽이나, 마루 및 천정에 대하여 용접절단을 할 때에는 그 반대편에도 동일하게 인화성 물질 등 위험을 제거한 후 실시하도록 한다.

용접용단 작업 시 화재예방에 관한 기술지침에서는 용접·용단 작업 시 불꽃비산, 열을 받은 용접부분의 뒷면에 있는 가연물로 인해 화재가 발생할 수 있으며, 드럼통이나 탱크 용접, 절단 시 잔류 가연성 가스 증기로 인해 폭발이 일어날 수 있음을 기술하고 있다.

용접용단 작업 시 화재예방에 관한 기술지침(F-1)

- 용접·용단 작업자의 주요 재해발생원인 및 대책

구 분	주요발생원인	대 책
화 재	불꽃비산	·불꽃받이나 방염시트를 사용한다. ·불꽃비산구역내 가연물을 제거하고 정리·정돈한다. ·소화기를 비치한다.
	열을 받은 용접부분의 뒷면에 있는 가연물	·용접부 뒷면을 점검한다. ·작업종료후 점검한다.
폭 발	토치나 호스에서 가스누설	·가스누설이 없는 토치나 호스를 사용한다. ·좁은 구역에서 작업할 때는 휴게시간에 토치를 공기의 유통이 좋은 장소에 둔다. ·호스접속시 실수가 없도록 호스에 명찰을 부착한다.
	드럼통이나 탱크를 용접, 절단시 잔류 가연성 가스 증기의 폭발	·내부에 가스나 증기가 없는 것을 확인한다.
	역 화	·정비된 토치와 호스를 사용한다. ·역화방지기를 설치한다.
화 상	토치나 호스에서 산소 누설	·산소누설이 없는 호스를 사용한다.
	산소를 공기대신으로 환기나 압력 시험용으로 사용	·산소의 위험성 교육을 실시한다. ·소화기를 비치한다

화재 폭발 예방 대책

화재·폭발이 발생하기 위해서는 가연물, 점화원, 산소공급원이 모두 존재하여야 한다.

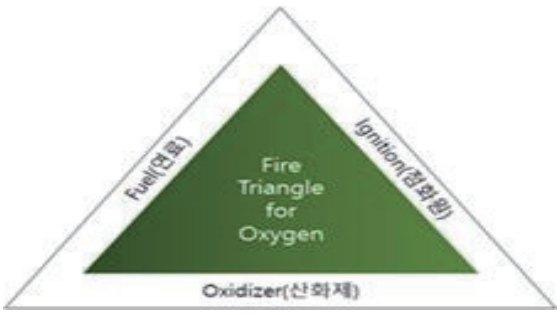


그림8

[그림 8] 화재 3요소

보통의 저장탱크는 지상에 설치되어 있기 때문에 공기와 항상 접하고 있다. 공기에 산소가 포함되어 있으므로, 가연물과 점화원 관리가 중점적으로 이루어진다면 저장탱크의 화재·폭발을 방지할 수 있다. 작업 전 가연물을 제거하거나 점화원 발생을 억제한다면 이러한 사고는 발생하지 않는다.

따라서, 구조변경 등을 위해 탱크에 직접적인 화기 작업이 필요하다면, 작업을 실시하기 전 아래 사항을 다시 한번 확인하고 준수하여 화재·폭발로 인한 사망사고를 줄여가야 한다.

1) 작업 내용을 사전에 검토하여 작업에 따른 유해위험요인을 파악*하고 위험 감소대책을 이행한 후 작업을 실시하고,* 위험물질 잔류 여부, 위험 작업 실시 여부, 위험작업 시 안전조치 여부 등
2) 작업책임자를 정해서 작업을 지휘하도록 한다.
3) 작업장소에 인화성 증기 또는 가스가 누출되지 않도록 조치하고,
4) 작업장 주변의 인화성 가스 농도를 수시로 측정하여 위험상황이 발생하지 않도록 관리한다.

화재 · 폭발과 관련된 산업안전보건기준에 관한 규칙

산업안전보건기준에 관한 규칙 제232조(폭발 또는 화재 등의 예방)

① 사업주는 인화성 액체의 증기, 인화성 가스 또는 인화성 고체가 존재하여 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소에서 해당 증기·가스 또는 분진에 의한 폭발 또는 화재를 예하기 위하여 통풍·환기 및 분진제거 등의 조치를 하여야 한다.

② 사업주는 제1항에 따른 증기 가스에 의한 폭발이나 화재를 미리 감지하기 위하여 가스 검지 및 경보 성능을 갖춘 가스 검지 및 경보 장치를 설치하여야 한다. 다만, 「산업표준화법」의 한국산업표준에 따른 0종 또는 1종 폭발위험장소에 해당하는 경우로서 제311조에 따라 방폭구조 전기 기계·기구를 설치한 경우에는 그러하지 아니하다.

산업안전보건기준에 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.

산업안전보건기준에 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.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제241조의2(화재감시자)

① 사업주는 근로자에게 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 장소에서 용접·용단 작업을 하도록 하는 경우에는 화재의 위험을 감시하고 화재 발생 시 사업장 내 근로자의 대피를 유도하는 업무만을 담당하는 화재감시자를 지정하여 용접·용단 작업장소에 배치하여야 한다. 다만, 같은 장소에서 상시·반복적으로 용접용단작업을 할 때 경보용 설비기구, 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 떨엊여 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 사업주는 제1항에 따라 배치된 화재감시자에게 업무 수행에 필요한 확성기, 휴대용 조명기구 및 방연마스크 등 대피용 방연장비를 지급하여야 한다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제242조(화기사용 금지)

사업주는 화재 또는 폭발의 위험이 있는 장소에 화기의 사용을 금지하여야 한다.

2023-중앙사고조사단-622

중대사고
이슈 리포트

발행일 2023년 11월
발행인 안종주
발행처 안전보건공단 중앙사고조사단
울산광역시 중구 종가로400(성안동)
Tel. 052)703-0126
Fax. 052)703-0130
제작 사)한국장애인문화인쇄협회
02-2683-0955

OPEN 공공누리
출처표시 상업용금지 변경금지
공공저작물 자유이용허락

중대사고 이슈 리포트

重大事故 Issue Report

산업재해예방
안전보건공단
중앙사고조사단

울산광역시 중구 종가로 400(북정동) / www.kosha.or.kr
Tel. 052-703-0126 / Fax. 052-703-0130