

건설업 화재·폭발사고 예방을 위한

핸드북





건설업 화재·폭발사고 예방을 위한 핸드북

목차

01. 화재·폭발의 이해 01

1. 화재·폭발 발생 메커니즘 및 사고발생 형태
2. 화재위험작업 시 고려사항

02. 화재·폭발 재해 현황 및 사고 사례 03

1. 화재·폭발 재해 발생현황
2. 화재·폭발 대형사고 사례
3. 기인물질별 화재·폭발사고 사례

03. 용접·용단 작업 화재·폭발사고 위험관리 07

1. 용접·용단 불티에 따른 화재·폭발 발생 메커니즘
2. 훈소 화재사례 및 발생 시간
3. 취급 시 안전관리 수칙

04. 우레탄폼 작업 화재사고 예방대책 13

1. 우레탄폼 반응 메커니즘 및 발화 시의 특징
2. 우레탄폼 화재에 대한 대책

05. 핵심 실천사항 및 관련 법규 17

1. 핵심 실천사항
2. 건설현장 화재·폭발 관련 주요 법규

1



화재·폭발의 이해

1. 화재·폭발 발생 메커니즘 및 사고발생 형태
2. 화재위험작업 시 고려사항

2



화재·폭발 재해 현황 및 사고 사례

1. 화재·폭발 재해 발생현황
2. 화재·폭발 대형사고 사례
3. 기인물질별 화재·폭발사고 사례

화재·폭발 재해 발생현황



최근 5년간 화재·폭발로 인한 재해현황

(단위: 명)

구분	계	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
계	699	148	170	108	162	111
사망자	64	11	15	14	13	11
부상자	635	137	155	94	149	100

재해발생 기인물(착화물) 및 공사종류별 중대재해 현황

재해발생 기인물(착화물)			공사종류별			
	건수	비율(%)	개소수	비율(%)		
계	64	100.0	계	64	100.0	
인화성가스	21	32.8	주거 상업겸용	16	25.0	
우레탄 단열재	13	20.3	공장창고	12	18.8	
인화성 물질	드럼·용기 관련	9	14.1	아파트	8	12.5
	부주의	6	9.4	토목기타	8	12.5
전기스파크	6	9.4	단독다세대	6	9.4	
원인불상	5	7.8	철도	4	6.3	
기타 발화재	4	6.3	기타	10	15.6	

- » 최근 5년 동안 건설공사 화재·폭발 중대재해 분석 결과, 착화물은 인화성가스(32.8%), 우레탄 판넬류(20.3%), 재해발생 공사종류는 주거 상업 겸용(25.0%), 공장창고(18.8%) 순으로 나타남
- » 단위 공종별로는 용접·용단작업(28.1%), 절단작업(15.6%) 순으로 나타남

화재·폭발 대형사고 사례



▲ 부산 냉동창고 신축공사 화재
(’98.10.29. 사망27, 부상16)



▲ 이천 물류 냉동창고 신축공사 화재
(’08.1.7. 사망40, 부상10)



▲ 서울 종로 미술관 신축공사 화재
(’12.8.13. 사망4, 부상9)



▲ 폐수 환경설비 구축공사 중 폭발
(’15.7.3. 사망6, 부상1)



▲ 북선전철 교량 하부보강 중 LPG폭발
(’16.6.1. 사망4, 부상10)



▲ 상가매장 복구공사 중 화재
(’17.2.4. 사망4, 부상47)



▲ 세종 주상복합 신축공사 중 화재
(’18.6.26. 사망3, 부상 37)



▲ 이천 물류센터 신축공사 중 화재
(’20.4.29. 사망38, 부상10)

3



용접·용단 작업 화재·폭발사고 위험관리

1. 용접·용단 불티에 따른 화재·폭발 발생 메커니즘
2. 훈소 화재사례 및 발생 시간
3. 취급 시 안전관리 수칙

용접·용단 불티에 따른 화재·폭발 발생 메커니즘

◦ 불티 특성

- ▶ 용접·용단 작업 시 다량의 불티가 발생하여 비산
- ▶ 용접 작업 현장 조건(풍속, 풍향, 높이 등)에 따라 비산거리가 늘어남
- ▶ 용접·용단 불티는 약 1,600℃~3,000℃ 정도의 고온체
- ▶ 발화원이 될 수 있는 비산 불티의 크기는 최소 직경 0.3~3mm 정도
- ▶ 가스 용접 시 산소 압력, 절단 속도 및 절단 방향에 따라 비산 불티의 양과 크기가 달라짐
- ▶ 비산된 후 상당 시간 경과 후에도 축열에 의하여 화재를 일으킬 수 있음

◦ 화재발생 메커니즘

용단 작업 시 가연물에 비산된 불티에 따른 축열 등으로 훈소에서 화재로 발생 과정



용단 작업 시작



용단 불티 가연물(단열재 등)에 비산



5분 경과

가연물에서 연기 발생(훈소 진행)



7분 경과

유염연소로 전환 → 화재 발생

◦ 화재 발생 메커니즘

- ▶ 용접·용단 불티가 단열재 내부에 들어가면, 일정 부분 훈소의 형태(연기 발생)로 진행되다가 충분한 산소의 공급과 축열 등으로 온도가 상승되는 경우 불꽃(화염)을 일으키는 화재·폭발로 확산

※ 훈소 : 화재가 발생하기에는 온도가 낮거나 산소가 부족한 상황 때문에 화염 없이 가연물의 표면에서 열이 발생하면서 서서히 연소되는 현상

훈소 화재사례 및 발생 시간



사 례	사고 요약	작업 상황에 따른 화재 발생 시간(추정)
1	○○터미널공사 중 가스배관 가용접 작업 중 용접불티로 화재 발생	5분
2	○○중학교 증축공사에서 고정 철물 용접 작업 중 용접불티로 화재 발생	작업과 동시
3	○○제재소 동력실 기계 철거를 위해 용단 작업 완료하고 철수 후 화재 발생	3시간
4	○○생산공장 집진기 추가 설치공사에 따라 용접 작업 완료하고, 철수 후 집진기 및 덕트 연결된 작업장 화재 발생 (용접불티가 집진기 내부로 비산 되어 훈소 진행됨)	7시간

※ 출처 : 중대재해 보고서(안전보건공단), 용접·화기 작업 위험관리 가이드(한국화재보험 협회)

- ▶ 용접·용단 작업에 의한 화재는 단시간 내에 발생할 수도 있고, 때로는 장시간 경과 후에도 발생할 가능성 있음
- ▶ 단열재 등 가연성 물질에 불티가 비산 될 경우 복합적인 요인(불티 낙하지점, 가연물의 연소특성, 공기흐름 등)에 따라, 즉시 화재 또는 훈소 등에 의한 장시간(2~7시간 이상) 경과 후 발화되는 특성이 있음

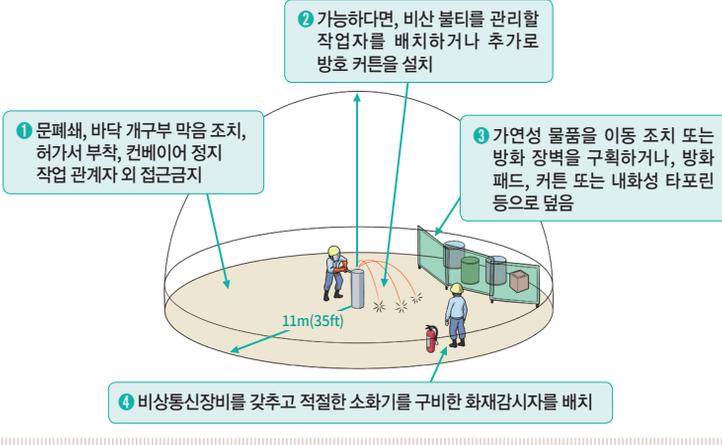


취급 시 안전관리 수칙

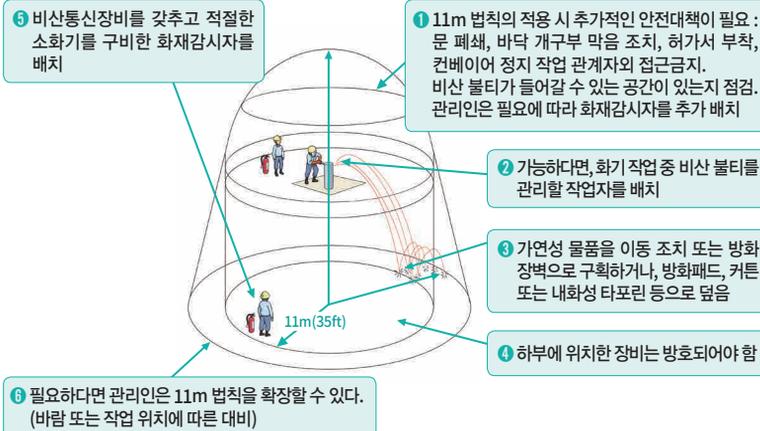


- ▶ 화기 작업이 진행되는 동안에는 안전 작업을 위해 화재감시자를 배치
- ▶ 작업 중 뿐만 아니라 작업 후 일정 시간 비산 불티·훈소 징후 등 감시활동
 - ※ 화재감시자는 작업 완료 후에도 1시간 이상 훈소 발생 징후가 있는지 작업 장소 및 인접한 위·아래층까지 주의 깊게 관찰(감시)
- ▶ 소속 근로자의 화재 등 비상 대응 준비 및 훈련 실시

화재감시자 배치



2층에서 두명 이상 작업 시 화재감시자 배치



◦ 가연물 관리

- ▶ **작업시작 전 가연물의 제거·퍼지·차단 확인**
 - » 제거작업 전 가연물의 물질특성 파악 후 시작
 - » 작업장 주변 가연물 제거, 용기나 배관 내용물 배출 표시 등 안전조치사항 확인
 - » 용접불꽃 비산방지를 위한 각종 개구부 차단 여부 확인
- ▶ **가스 분진 누출 여부 측정**
 - » 독성, 가연성 가스 퍼지 후 가스잔류 여부 확인
 - » 용단 전 냉각 후 테스트 홀을 통하여 가스감지
 - » 비중, 환기상태, 누출원 등을 고려하여 실시
- ▶ **내용물 제거 시 안전대책**
 - » 가연성 가스·분진제거 후 공기로 치환
 - » 진존물 이송 시 철재호스 사용 및 접지
 - » Non-spark 재질의 방폭 공구 사용



◦ 점화원 관리

- ▶ **가연성 물질, 인화성 물질 근처에 화기작업 금지**
 - » 스티로폼 등 가연물 주변, 인화성 물질 취급설비(용기, 배관 등) 근처 및 인화성 물질 취급 밀폐공간에서 화기작업(용접·용단 등) 금지
- ▶ **안전점검 및 화기작업 허가 철저**
 - » 작업 전 안전점검 및 화기작업허가 철저
 - » 작업허가서에 명시된 안전보건조치사항 확인
 - » 작업내용 변동에 따른 추가위험 대응 조치

화기작업 중 확인사항



- 주변 작업조건의 변동 및 위험물질유입 여부
- 작업 중 지속적인 인화성 가스 측정
- 작업 관계자 외 인원의 출입통제
- 불꽃으로 인한 주변의 화재 가능성방지 조치

▶ 중점관리 철저

- » 산소와 점화원은 제거가 불가능하므로 가연물에 대한 집중관리(격리, 제거, 방호)가 중요

4



우레탄폼 작업 화재사고 예방대책

1. 우레탄폼 반응 메커니즘 및 발화 시의 특징
2. 우레탄폼 화재에 대한 대책

우레탄폼 반응 메커니즘 및 발화 시의 특징

◦ 우레탄폼 개요

건축물에 사용되는 우레탄폼의 종류는 단열재 등으로 미리 성형 제조한 우레탄폼 단열판, 벽체 및 지붕재로 사용하기 위해 제조한 복합재질 샌드위치 패널, 현장에서 직접 시공하는 스프레이 우레탄폼 등이 있음



우레탄폼 단열재(우레탄 보드)



우레탄폼 샌드위치 패널



냉동창고 벽면·바닥 스프레이 시공



일반 건축물 천정부 스프레이 시공

- **용도** : 주로 단열재의 용도로 건설현장의 외장재, 조선소 내장재 등 많은 곳에서 사용
- **특성** : 한번 불이 붙으면 폭열을 일으키며 연소, 특히 1,000℃ 이상 되는 용접불티는 우레탄 속으로 파고 들어가 서서히 연소하고 일정 시간이 경과되어 발화되면 급속히 확산

◦ 반응 메커니즘

- ▶ 폴리우레탄 발포체는 성형할 때 고분자의 상태에 따라 여러 가지로 분류하나, 통상적으로 반응성이 아주 빠른 두 액상 원료[(diisocyanate : A액)와 (polyol : B액)]를 혼합시켜 기체(CO₂) 발생 및 고분자화 반응 진행 시 급격히 점도가 상승하며, 발열반응에 의해 체적 팽창으로 발포체가 형성

◦ 발화 시의 특징

- ▶ 우레탄폼은 할로겐 화합물이나 인(Phosphate)을 첨가시킬 경우 난연성을 띠기는 하나 불연성은 아니며, 한번 불이 붙으면 폭발을 일으키면서 연소하는 특성이 있음. 특히 1,000℃ 이상 되는 용접 불티가 발포 우레탄에 떨어지면 우레탄 속으로 파고 들어가 서서히 연소하고 일정 시간이 경과 되어 발화되면 급속히 확산되는 특성이 있음
- ▶ 우레탄폼 발화 초기에는 흰 연기를 내며 분해반응을 일으키다 발포체가 녹아 타면서 검은 연기를 내뿜으며 급격히 확산되고, 우레탄폼 표면의 피막으로 인해 소화약제 침투가 어려워 일반 화재 보다 화재 진화가 어려움
- ▶ 우레탄폼 연소 시 발생하는 연기에는 염화수소(HCl), 황화수소(H₂S), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 이산화황(SO₂), 시안화수소(HCN) 등의 유독가스가 포함되어 있어 근로자들이 유독 가스를 흡입 시 치사 원인으로 작용

◦ 우레탄폼 착화로 인한 사고 사례



지수관 용접 중 하부 우레탄 보온판 화재로
4명 사상



가설전동 스파크로 인한 우레탄폼 화재로
13명 사상

우레탄폼 화재에 대한 대책

◦ 화재예방을 위한 근원적 대책

- ▶ 화기 작업은 단시간 및 다른 작업과 동시에 이루어지고, 소규모 업체가 도급을 받아 작업을 하고 있어 안전수칙이 제대로 지켜지지 않고 있으며, 건축물의 완공 후 하자 보수 시 인화성물질 제거 및 불티비산방지 조치 등을 소홀히 할 경우 화재로 이어짐
- ▶ 그러므로 화재에 적응성이 뛰어나고 시공이 편리한 **난연성 단열재 사용**이 절대적으로 필요함

◦ 난연성 단열재 적용 사례



(건설업) ○○시 교육청은 ○○중학교 화재를 계기로 기존의 스티로폼 단열재(난연 3급) 대신 난연성능이 우수한 준불연 이상 단열재(난연 2급:폴리우레탄, 그라스울)를 사용하도록 의무화하여 시공 중임

▶ 기대효과

- » 준불연 이상의 단열재를 사용할 경우 초기 시공비는 스티로폼에 비해 높으나, 유지·보수 작업 시 용접·용단으로 인한 화재 발생 위험을 고려하면 준불연 단열재를 사용하는 것이 화재 발생으로 인한 재산 손실을 막을 수 있음
- ※ 재산 손실액 : 이천시 냉동창고 화재(71억원), 안성시 냉동창고 화재(1,366억원)

5



핵심 실천사항 및 관련 법규

1. 핵심 실천사항
2. 건설현장 화재·폭발 관련 주요 법규

🔥 핵심 실천사항

실천사항 1



▲ 환기가연물 제거

1 작업 전 충분한 환기를 실시하고 가연물을 제거

실천사항 2



▲ 불티비산방지포 설치

2 작업 시 용접불티 비산 방지덮개, 용접방화포 등을 설치

실천사항 3



▲ 화재감시자 배치

3 화재감시자 배치

◦ 주요 사고 사례



사례 1



배관라인 용접작업 중 우레탄 폼에 불꽃이 옮겨 붙어 화재 발생

LPG·산소를 사용하여 천장 에어컨 배관라인 용접작업 중 불꽃이 우레탄 폼에 옮겨 붙어 발화되어 연기 등에 의해 질식 사망

사례 2



블록 내부 취부·용접작업 준비 중 화재·폭발

조선소에서 건조 중이던 선박에서 블록내부 취부·용접 작업을 위해 장소로 이동 중 내부에 체류된 에틸렌가스 폭발로 사망

사례 3



지하저수조에서 용접 중 방수제 유기용제 폭발

지하저수조 내부 방수제도포 후 저수조 통행용 스테인리스 사다리를 설치하기 위해 지지용 앵커 볼트를 가용접하던 중 폭발하여 사망

◦주요 위험포인트



NO	위험포인트
1	가연물 등이 있는 장소에서 용접·용단작업에 따른 화재·폭발 위험
2	환기가 불충분한 장소에서 용접·용단작업 시 가스 누출 여부 미확인에 따른 화재·폭발 위험
3	인화성액체의 증기에 대한 통풍 및 환기조치 미실시에 따른 화재·폭발 위험



◦주요 점검사항



환기가연물 제거

- 인화성 액체의 증기, 인화성 가스 등을 제거하기 위한 충분한 환기 실시
- 용접·용단 작업 전 가연성 물질, 인화성·폭발성 위험물 제거·격리



불티비산 방지조치

- 용접불티 비산에 따른 화재·폭발을 예방하기 위한 용접불티 비산방지 덮개, 용접방화포 등 비치 및 사용



화재감시자 배치

- 화재의 위험을 감시하고 화재 발생 시 사업장 내 근로자 대피를 유도하는 업무만을 담당하는 화재 감시자 지정 및 배치

건설현장 화재·폭발 관련 주요 법규

◦ 산업안전보건법



용접 등 불꽃발생 작업 시 불꽃 비산방지, 환기 및 소화기구 비치 미준수로 화재가 빈발함에 따라 화재예방제도 강화

» 불꽃발생 우려가 있는 화기작업장소에 대해 원청의 안전조치 책임 부과 및 가연물이 있는 장소에서 화재위험작업*시 사전 특별교육 실시

* 가연물이 있는 곳에서의 용접·용단 및 금속의 가열 등 화기를 사용하는 작업이나 연삭숫돌에 의한 건식연마 작업 등 불꽃이 될 우려가 있는 작업(시행규칙 제6조 참조)

» 지하층 등 위험장소에서 화재위험작업을 할 때 대피업무를 전담하는 화재감시자 배치

화재감시자의 지정 및 배치장소

- ▶ 작업반경 11m 이내에 건물구조 자체나 내부(개방부분 포함)에 가연성물질이 있는 장소
- ▶ 작업반경 11m 이내의 바닥 하부에 가연성물질이 11m 이상 떨어져 있으나 불꽃에 의해 쉽게 발화 우려가 있는 장소
- ▶ 가연성물질이 금속 칸막이·벽·천장 또는 지붕의 반대쪽 면에 인접해 열전도, 열복사에 의해 발화 우려가 있는 장소

※ 미지정·미배치 : 5년 이하의 징역이나 5천만원 이하의 벌금

◦ 산업안전보건 기준에 관한 규칙(관련 조항)

구분	내용
제232조	폭발 또는 화재의 예방
제236조	화재 위험이 있는 작업의 장소 등
제239조	위험물 등이 있는 장소에서 화기 등의 사용 금지
제240조	유류 등이 있는 배관이나 용기의 용접 등
제241조	화재위험작업 시의 준수사항
제241조의2	화재감시자
제242조	화기사용 금지
제243조	소화설비
제244조	방화조치
제245조	화기사용 장소의 화재방지
제246조	소각장



○ 소방기본법

▶ 특수가연물의 저장 및 취급기준

품명	수량	저장 취급기준
면화류	200kg 이상	1. 저장 및 취급장소에는 품명 최대수량 및 화기취급의 금지 표시 설치
나무껍질 및 대팻밥	400kg 이상	
사료, 볏짚류, 낱마 및 종이부스러기	1,000kg 이상	2. 품명별로 구분하여 쌓아 저장할 것 등
가연성고체류	3,000kg 이상	
석탄·목탄류	10,000kg 이상	※ 위반시 200만원 이하의 과태료 부과
가연성액체류	2m ³ 이상	
합성수지류	목재가공품 및 나무부스러기	10m ³ 이상
	발포시킨 것	20m ³ 이상
	그 밖의 것	3,000kg 이상

○ 화재예방, 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률

(법 제10조의2) 건축·대수선·용도변경 또는 설치 등 공사 시공자는 공사현장에서 화재·위험 작업을 하기 전에 설치 및 철거가 쉬운 임시소방시설을 설치하고 유지관리 하여야 함
※ 위반 시 3년 이하의 징역 또는 3천만원 이하의 벌금 부과

[화재·위험 작업]

시행령 제15조의5(임시소방시설의 종류 및 설치기준 등) <개정'18.6.26.>

1. 인화성·가연성·폭발성 물질을 취급하거나 가연성 가스를 발생시키는 작업
2. 용접·용단 등 불꽃을 발생시키거나 화기(火氣)를 취급하는 작업
3. 전열기구, 가열전선 등 열을 발생시키는 기구를 취급하는 작업
4. 소방청장이 정하여 고시하는 폭발성 부유분진을 발생시킬 수 있는 작업
5. 그 밖에 제1호부터 제4호까지와 비슷한 작업으로 소방청장이 정하여 고시하는 작업



[임시소방시설 설치기준]

- ① 소화기 : 상기의 1~5에 따른 작업을 하는 현장에 설치
- ② 간이소화장치 : 연면적 3천m² 이상 또는 해당 층의 바닥면적이 600m² 이상인 지하층·무창층 및 4층 이상의 층
- ③ 비상경보장치 : 연면적 400m² 이상 또는 해당 층의 바닥면적이 150m² 이상인 지하층·무창층
- ④ 간이피난유도선 : 바닥면적이 150m² 이상인 지하층·무창층

(시행령 제24조) 특정소방대상물의 관계인과 소방안전관리대상물의 소방안전관리자는 화기취급 작업에 대한 사전 안전조치 및 감독 등의 공사 중 소방안전관리사항을 소방계획서에 포함하여 작성·관리하여야 함 <개정'18.6.26.>

※ 위반 시 200만원 이하의 과태료가 부과



건설업 화재·폭발사고 예방을 위한

핸드북

