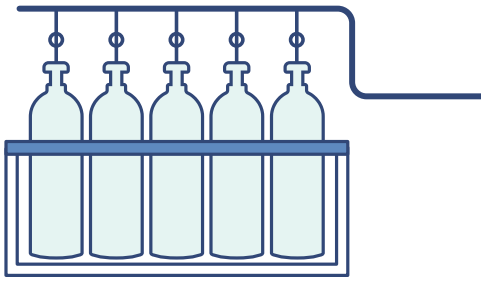
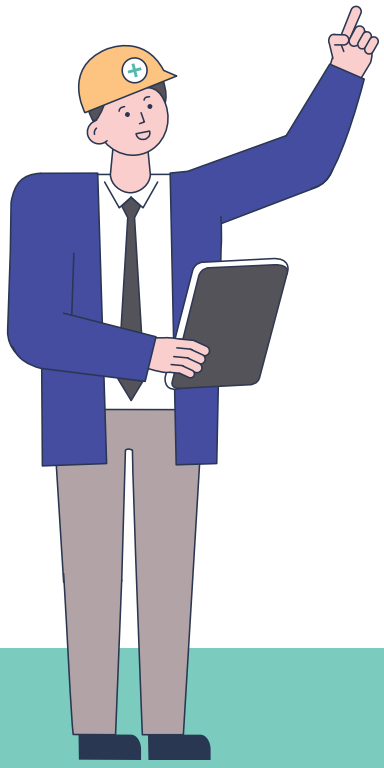
안전은 권리입니다

이산화탄소



소화설비에 의한 질식·중독재해 예방

안전조치 매뉴얼



고용노동부

산업재해예방 안전보건공단

CONTENTS

Ⅰ. 총 칙 04

Ⅱ. 이산화탄소의 특성 07

Ⅲ. 이산화탄소 소화설비 09

1. 소화원리 09
2. 이산화탄소의 소화효과 09
3. 이산화탄소 소화설비 개요 10
4. 이산화탄소 소화설비 위험성 12
5. 사고 원인 13

Ⅳ. 이산화탄소 소화설비에 의한 질식·중독 예방조치 16

1. 이산화탄소를 대체할 수 있는 저위험 소화약제 사용 16
2. 방호구역 내 출입제한 17
3. 방호구역 내 대피로 확보 17
4. 점검·작업자 교육·훈련 17
5. 경고표지 부착 18
6. 방호구역 내 작업 시 조치사항 19
7. 소화설비 점검 및 검사 시 안전조치 22
8. 이산화탄소가 방출되었을 때 조치사항 23

참고 25

1. 이산화탄소 소화설비로 인한 질식사고 사례 25
2. 이산화탄소 소화설비 질식재해 예방점검표 26
3. 이산화탄소 소화설비 수동조작함 27
4. 참고문헌 28

I

총 칙

1 목적

- 이산화탄소(CO_2) 소화설비로 인한 질식재해를 예방하고 이산화탄소가 방출, 누출 및 확산될 수 있는 작업공간의 근로자 안전을 확보하기 위하여 이산화탄소 소화설비 안전대책 및 작업현장의 안전조치에 필요한 사항을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2 적용범위

- 이산화탄소 소화설비가 설치되어 있는 모든 사업장 및 건축물 내의 장소에서 실시하는 작업과 이산화탄소 소화설비 점검·검사 및 유지보수 작업을 실시할 때 적용한다.

3 용어의 정의

- 이 매뉴얼에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.
- **단열팽창** : 상온·상압에서 기체가 팽창하면 냉각되며, 작은 구멍으로 분출될 때 주위 온도가 떨어지는 현상으로 냉장고, 에어컨 같은 냉각설비의 작동원리가 이에 해당한다.
- **운무현상** : 고압의 액체 상태 이산화탄소가 대기 중에 방출되면 액체의 상당부분이 즉각적으로 기화된다. 이때 단열팽창으로 온도가 매우 낮아져 일부는 극히 미소한 입자(드라이아이스)로 변하고 주위 공기 중의 수증기를 응축시켜 하얀 운무의 모습을 띄게 된다.

[그림1] 이산화탄소 방출 시 발생하는 운무현상

3 용어의 정의

- **드라이아이스** : 이산화탄소를 압축, 냉각시켜 만든 눈 모양 고체
- **방호구역** : 평상 시 소방감지 설비로 화재를 감시·통제하고 화재발생 시 소화설비를 작동시켜 불을 끄도록 설정한 구역
- **전역방출방식** : 고정식 이산화탄소 공급장치에 배관 및 방출헤드를 고정설치하여 밀폐된 방호구역에 이산화탄소(소화약제)를 방출하는 설비. 이 밖에 국소방출방식과 호스릴방식도 있으나, 이 매뉴얼에서는 전역방출방식 이산화탄소 소화설비를 다룬다.
- **최소설계농도** : 이산화탄소를 방출하여 산소 농도를 낮춰 불을 끄기 위해 필요한 이산화탄소의 농도(34 %)로서, 소방설계 시 소화설비에 요구되는 이산화탄소의 양을 산정할 때 반영한다
- **부촉매소화** : 연소가 지속되지 않도록 부촉매를 이용하여 가연물의 연쇄반응을 억제시키는 효과. 억제소화, 화학적 소화와 같은 의미이다.
- **가스압력식** : 별도의 기동용기를 설치하여 용기의 가스 힘으로 소화약제 저장용기 밸브가 열리는 방식. 국내의 이산화탄소 소화설비는 대부분 이 방식을 적용하고 있으며, 이 매뉴얼에서는 가스압력식 소화설비를 다룬다.
- **교차회로** : 소화설비의 자동 작동을 위해 화재감지기를 2개 이상으로 병렬 설치하여 화재시 서로 다른 감지기 2개 이상이 감지하여야 작동하는 방식. 소화설비의 오작동을 피하고 실제 화재 발생 시 정확하게 동작시켜 신뢰성을 확보하기 위한 목적이 있다.
- 그 밖의 이 매뉴얼에서 사용하는 용어의 정의는 매뉴얼에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 안전보건규칙 및 고시에서 정하는 바에 따른다.

II

이산화탄소의 특성

1 물리적 성질

- 하나의 탄소원자에 두 개의 산소원자가 결합한 화합물이며, 분자식은 CO_2이다.
- 무색·무취 가스이며, 고체 상태는 드라이아이스라고 한다.
- 비중은 공기를 1로 기준할 때 1.529로 무거운 가스이며, 이산화탄소가 방출되어 확산하면 바닥에 깔리는 경향이 있다.
- 밀도는 1.976 g/ℓ , 끓는점은 -78 ℃이다
- 이산화탄소 가스를 20 ℃에서 대기압의 50 배 크기 압력까지 압축하면 액체로 변화시킬 수 있어, 소화약제 저장용기에 이산화탄소를 고압의 액체 상태로 저장한다.
- 액체에서 가스로 변할 때 부피가 539 배로 팽창하며, 기화잠열도 커서 온도를 떨어뜨리는 냉각효과가 크다.

2 인체에 미치는 영향

- 이산화탄소는 신체 내에서 호흡을 조절하여 적당한 산소를 체내에 공급하는 역할을 한다.
- 3~4 % 농도 미만에서는 노출되어도 정상적인 환경에서 회복 가능하며, 잠시 실신했어도 즉시 신선한 공기가 있는 옥외로 옮기면 의식을 회복하고 후유증도 남지 않는다.
- 이산화탄소를 고농도로 흡입하여 순환계에 이상이 발생하면 혼수상태가 되거나 사망에 이를 수 있다.
- 이산화탄소 농도에 따른 생리적 현상은 다음과 같다.

농도(부피%)	시간	생리적 반응
2	수 시간	두통, 호흡곤란, 피로감
3	1시간	뇌혈관 확장, 호흡수 증가, 세포로의 산소전달 증가
4~5	수 분	가벼운 두통, 발한, 호흡곤란
6	1~2분	청력 및 시력 장애
	< 16분	두통 및 호흡곤란
	수 시간	오한
7~10	수분	의식 상실에 다다름
	1.5분~1시간	두통, 심장박동수 증가, 숨이 가파짐, 현기증, 발한
10~15	1분 이상	현기증, 졸림, 심각한 근육 경련, 의식 상실
17~30	**1분 미만**	**신체 제어능력 상실, 의식상실, 경련, 혼수상태, 사망**

※ 출처 : KFS-1023 이산화탄소 소화설비기준(한국화재보험협회)

- 방호구역에 사람이 있는 상태에서 이산화탄소가 방출되는 경우(60 초내에 최소 이산화탄소 농도 34 %까지 방출)에 즉시 대피하지 않으면 질식 및 중독에 의해 사망에 이른다.

III

이산화탄소 소화설비

소화원리

이산화탄소의 소화효과

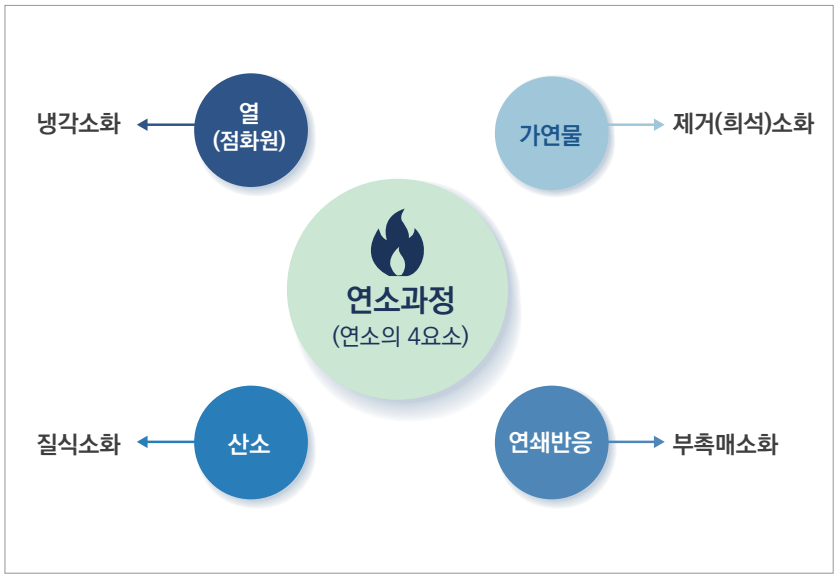
이산화탄소 소화설비 개요

이산화탄소 소화설비 위험성

사고 원인

1 소화원리

- **소화개요** 연소과정은 열(점화원), 산소, 가연물, 그리고 연쇄반응의 상호작용이며, 이 4가지 요소 중 하나라도 제거되면 연소하지 못하고 소화(불이 꺼짐)가 된다.
- **소화방법** 산소를 차단하는 방법은 질식소화, 열을 제거하는 방법은 냉각소화, 연쇄반응을 차단하는 방법이 부촉매소화이다.



[**그림 2**] 연소의 4요소 및 이와 관련한 소화방법

2 이산화탄소의 소화효과

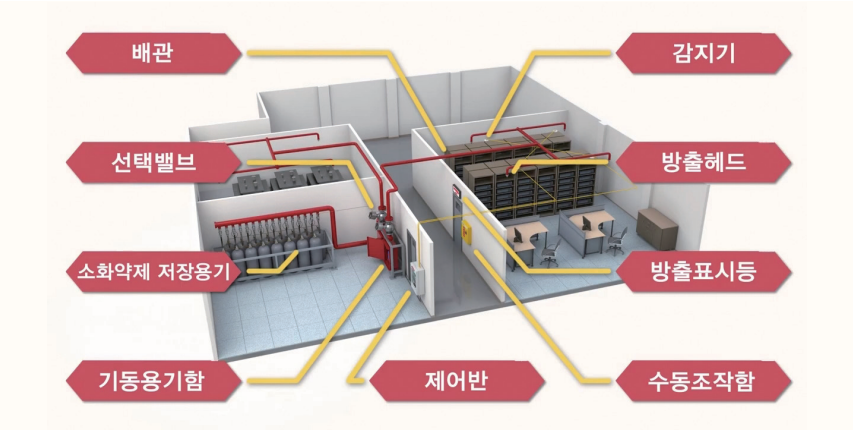
- **질식소화** 공기 중 이산화탄소 농도가 30 %로 높아지면, 산소 농도는 15 % 미만으로 떨어져 불이 꺼진다.

  ※ 공기 중의 산소 농도는 21 % 이지만 이 농도가 15 % 아래로 떨어지면 연소를 더 이상 지속할 수 없기 때문에 불이 꺼지는 것이다.

- **냉각소화** 소화설비 방출헤드의 작은 구멍으로 고압의 이산화탄소가 대기로 방출될 때 온도가 급격히 낮아지는 냉각작용으로 불을 끄는 것을 도와주는 보조효과도 있다.

3 이산화탄소 소화설비 개요

● 전역방출방식 소화설비(가스압력식)의 구성



[**그림 3**] 이산화탄소 소화설비 구성요소

※ 출처 : 한국소방안전원 동영상 교육자료(「가스계소화설비」)

구성요소	기능 및 역할
감지기	• 방호구역 내 화재를 감지, 교차회로 방식으로 설치
수동조작함	• 근로자가 화재를 발견하여 이산화탄소(소화약제)를 방출시키고자 할 경우, 기동스위치 버튼을 누르면 설정된 시간(보통 20초~30초) 초과 시 약제를 방출
제어반	• 감지기에서 화재 신호를 수신하여 소화약제 방출 또는 지연 등의 제어신호를 보냄
기동용기함	• 기동용 가스용기(내용적 5ℓ 이상)·솔레노이드 밸브·압력 스위치 내장, 방호구역마다 1개씩 설치, 기동용 가스의 압력으로 선택밸브 및 소화약제 저장용기 밸브를 개방
선택밸브	• 기동용기에서 방출된 가스에 의해 개방, 방호구역이 2개 이상인 경우에 각 방호구역마다 1개씩 설치
소화약제 저장용기	• 이산화탄소를 저장하는 용기(보통 내용적 68ℓ 에 약 47kg를 저장), 저장용기실은 방호구역 외의 장소에 설치
배관	• 저장용기의 소화약제를 방출헤드까지 이동시키는 관
방출헤드	• 방출된 소화약제를 30초 이내 방사하여 방호구역 전체로 균일하게 확산시키는 역할
방출표시등	• 소화약제가 방출될 때 문자표시등(“소화약제 방출중”)이 켜짐, 방호구역 출입문 바깥쪽 상단에 설치

3
이산화탄소 소화설비 개요

• 전역방출방식 소화설비(가스압력식) 작동순서

1

교차회로의 열, 연기감지기가 자동으로 화재를 감지하거나 화재 발생을 알게된 사람이 수동조작함의 기동스위치 버튼을 누름

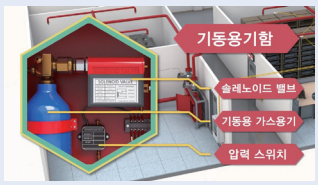
2

감지기 또는 수동조작함 작동스위치에서 제어반으로 작동신호를 전송

3

제어반에서 작동신호를 받은 지연타이머가 미리 설정된 시간(보통 20초 이상)이 지나면 기동용기함의 솔레노이드 밸브로 기동신호 전송

4

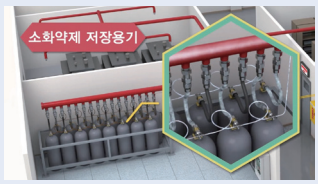


솔레노이드 밸브에서 파괴핀이 튀어나와 기동용 가스용기의 마개판을 뚫어 가스 방출

5

기동용기에서 방출된 가스의 힘으로 선택밸브 개방

6



기동용기에서 방출된 가스의 힘으로 소화약제 저장용기 밸브를 개방

7

소화약제 저장용기에서 배관으로 이동한 이산화탄소가 방출헤드로부터 방출

8

저장용기에서 방출된 가스 중 일부가 기동용기함의 압력 스위치를 작동시켜 방출표시등이 켜짐

※ 출처 : 한국소방안전원 동영상 교육자료(「가스계소화설비」)

4 이산화탄소 소화설비의 위험성

- **질식** 소화설비 작동으로 방호구역에 이산화탄소가 최소설계농도(34 %)로 방출되었을 때, 산소 농도가 14 %까지 떨어져서 산소결핍이 발생하게 되고 방출된 장소에 이산화탄소가 고농도로 체류하면서 근로자가 질식으로 사망까지 이를 수 있다.

- **중독** 또한, 이산화탄소 농도 10 % 이상에서 수분이내, 이산화탄소 농도 30 % 이상에서 8~12 회 호흡시 의식을 상실하고 그 후 단시간 내에 생명의 위험이 발생한다.

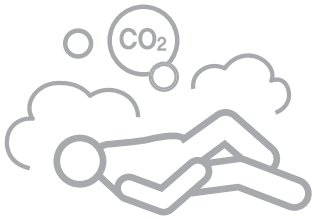
- **동상** 이산화탄소가 방출될 때 -83 ℃까지 온도가 급격히 떨어져 저온의 이산화탄소에 접촉되면 동상을 입을 수 있다.

- **상해** 사람에게 직접 방출된 이산화탄소 가스는 눈과 귀를 손상시킬 수 있고, 방출가스의 충격으로 균형을 잃고 넘어질 정도로 인체에 해로워 충분히 상해를 입힐 수 있다.

- **수증기로 착각** 이산화탄소가 방출될 때 발생하는 운무현상으로 인해 수증기(스팀)가 유출되는 것으로 착각하고, 이산화탄소가 방출되어 체류하는 장소로 들어가면 질식사고가 발생 수 있다. 그리고 시야를 제한할 수 있어 작업 중인 근로자들이 신속히 대피하지 못할 경우 대형 사고로도 이어질 수 있다.

- **소음** 방출헤드에서 이산화탄소가 고압으로 방출될 때 나는 소음 때문에 깜짝 놀랄 수도 있지만, 외상을 줄 수 있는 수준은 아니다.

- **유동** 배관 내부에서 고압의 이산화탄소 가스 흐름으로 배관설비에 진동이 발생하며 때로는 강한 힘으로 작용하여 배관이나 밸브 같은 부속설비를 손상시킬 수도 있다.



5 사고 원인

※ 사고 10건의 구체적인 내용에 대해서 [참고 1] 이산화탄소 소화설비로 인한 질식사고 사례 (20페이지) 참고

✓ 최근 10년간 이산화탄소 소화설비 관련 사망사고('11년~'21.10월)

현황

- 이산화탄소 소화설비 점검, 소화설비가 설치된 장소에서 정비보수 작업 중 10건의 사고가 발생하여 14명이 사망

년도	계	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22.10월
재해건수	11	1	2	0	1	2	0	0	1	0	1	2	1
사망자수	15	1	2	0	1	2	0	0	2	0	1	5	1

형태

- 방호구역에서 배관설치 등 작업 중 **사고 발생 4건 사망7명**
- 점검을 위해 방호구역 내 진입 중 **사고 발생 3건 사망3명**

* 방호구역·소화용기 보관실 외부에서 작업중 소화설비 작동 사고도 有(2건, 사망 3명)

장소

- 소화설비가 설치된 방호구역 내 **사고 발생 8건 사망11명**
- 소화용기 보관실에서 **사고 발생 1건 사망1명**
- 기타 장소(복도)에서 **사고 발생 1건 사망2명**

원인

- 방호구역에서 장시간 작업을 수행하며 소화설비 공급배관 등을 잠그지 않고 작업 중 화재감지기 오작동으로 신호를 받은 소화설비가 작동하여 **사고 발생 4건 사망7명**
- 소화설비 작동을 인식하지 못하고 방호구역으로 들어가 **사고 발생 3건 사망3명**

5 사고 원인

✓ 사고사례에서 보는 사고의 원인

- 소화설비 작동으로 방출된 이산화탄소를 수증기(스팀)로 착각하고 이를 확인하여 조치하려고 가스 방출 장소로 들어감
- 옥외에 설치된 수동조작함으로 빗물 또는 이물질이 유입되었거나, 옥내의 제어반 회로가 부식되어 고장이 발생하여 소화설비가 오작동
- 소화설비 기능 점검 및 정비 중 부주의로 인한 소화약제(이산화탄소) 불시 방출
- 작업하던 근로자의 오조작으로 인한 소화설비 불시 작동
- 소화설비 시공이 미흡하여 소화약제가 고압으로 방출될 때 설비 구성품(배관 및 밸브 등)이 파손되어 이탈하면서 근처에서 작업하던 근로자가 이에 맞아 상해를 입음
- 건설공사, 정비보수 작업 중 발생한 연기, 불꽃, 먼지 등에 감지기가 화재신호를 보내 소화설비가 작동하여 소화약제 방출

✓ 현장 상황 및 관리시스템에서 기인하는 사고 유발요인

- 소화약제 방출 관련 위험경고 표지가 미흡하거나 설치되지 않음.
- 대피경보 방송 미실시 및 대피동선이 확보되지 않음.
- 작업 소음으로 인해 음향경보를 제대로 인지할 수 없음.
- 사고대응 매뉴얼이 없고 안전교육 및 훈련이 실시되지 않아, 사고발생 시 현장 대응이 미흡함.
- 방호구역 내에서 작업 전 소화설비 배관 차단 및 잠금조치를 실시하지 않음.
- 사고 현장에 공기호흡기 등 구조장비가 비치되어 있지 않음.
- 출입문이 안쪽으로 열리게 되어 사고 시 긴급 대피가 제한됨.
- 수동조작함에 게시된 스위치 조작요령이 불명확하고, 조작요령에 대해 숙지되지 않음.

Ⅳ

이산화탄소 소화설비에 의한 질식·중독 예방조치

이산화탄소를 대체할 수 있는 저위험 소화약제 사용

방호구역 내 출입제한

방호구역 내 대피로 확보

점검·작업자 교육·훈련

경고표지 부착

방호구역 내 작업 시 조치사항

소화설비 점검 및 검사 시 안전조치

이산화탄소가 방출되었을 때 조치사항

1 이산화탄소를 대체할 수 있는 저위험 소화약제 사용

- 이산화탄소 소화약제를 사용하는 경우에는 이산화탄소 방출 시 미쳐 대피하지 못한 사람의 생명에 치명적이므로 가능하면 저위험 소화약제를 사용하는 것이 바람직하다.

- 아래와 같이 이산화탄소 외에도 사용할 수 있는 가스계 소화약제가 많이 있다.

구 분	이산화탄소	할론	할로겐화합물	불활성 기체
소화효과	질식소화	부촉매소화	부촉매소화	질식소화
약제 가격	비교적 저렴	가장 고가	비교적 고가	가장 저렴
대표약제	CO_2 (이산화탄소 1종)	할론1301 ❶ 1301, 1211, 2402 3종이 있으며, ❷ 오존파괴 문제로 생산·제조 중단 되어 재활용품만 사용 중	HFC-125 ❶ HCFC, HFC(FE, FM계열) 계열과 NOVEC 등의 생산 제품이 있음 ❷ HCFC계열은 오존파괴 문제로 생산·소비량 단계적 감소 중	IG-541 IG-01(순수아르곤), IG-100(순수질소), IG-55 (질소50%,아르곤 50%)이 있으며 IG-541 (질소52%, 아르곤40%, CO_2 8 %)을 주로 사용

- 물론 다른 소화약제에도 질식, 독성 위험이 없는 것은 아니지만, 이산화탄소 만큼 크지 않아 불을 끄기 위한 최소설계농도에서도 상대적으로 호흡 제한이 적고 독성 영향이 낮은 편이다.

- 또한 저위험 소화약제로 대체하는 경우에 허용되는 노출시간도 길어 소화약제가 방출되었을 때 충분한 대피시간을 확보할 수 있는 장점이 있다.

- 그러므로 이산화탄소 보다 위험이 적은 다른 가스계 소화약제를 선택하여 사용하는 것이 바람직하다.

2 방호구역 내 출입제한

- 이산화탄소 소화설비는 사람이 상주하지 않는 곳에 설치하는 것이 원칙이다.
- 따라서 방호구역 내에는 점검 및 작업과 관련된 제한된 인원만이 출입할 수 있도록 관리하여야 한다.

  * CCTV 등을 설치하여 상시 모니터링을 하거나 제한된 인원만 출입할 수 있도록 출입자 전용 key를 지급하고 관리하는 것도 하나의 방법임

- 아울러, 이산화탄소 소화설비가 설치된 전기실, 발전기실 등의 방호구역을 근로자들의 휴게장소 또는 사무실 등으로 사용하지 않도록 관리하여야 한다.

3 방호구역의 대피로 확보

- 방호구역 내에는 화재경보시 근로자 들이 즉각 대피할 수 있도록 대피로에는 불필요한 물품이나 장치 등을 보관하거나 방치하지 않도록 하여야 한다.

  * 많은 사업장에서 전기실 또는 발전기실 내에 대피로로 사용하는 공간에 사무집기 또는 작업용 공구들을 보관하여 비상시 대피로 역할을 하지 못하는 경우가 발생

- 또한, 출입구 및 비상구에도 화재경보시에 방호구역 내 근로자들이 즉시 사용할 수 있도록 물품을 적재해 놓는 일이 없도록 하여야 한다.
- 방호구역·소화용기실의 출입구 및 비상구는 수동으로 열리는 구조이고 내부자가 외부로 쉽게 열 수 있는 구조로 되어 있어야 한다.

4 점검·작업자 교육·훈련

- 방호구역 내에 출입하는 점검 및 작업 근로자를 대상으로 이산화탄소 소화설비의 위험성, 화재경보시 대피방법, 대피장소, 방호구역 내 작업 시 이산화탄소 작동금지 조치요령, 수동조작함 조작방법, 공기호흡기 착용방법 등에 대한 교육을 주기적으로 실시한다.

  * 또한, 방호구역 내 화재 경보시 '즉시 대피' 및 방호구역 내 운무현상, 스팀발생 등과 같은 현상이 발생할 경우에 '절대 출입금지' 하도록 한다.

- 소방훈련시에는 방호구역 내에서 화재발생시 상황을 가정한 훈련을 진행하여 이산화탄소 방출 전에 신속한 대피가 이루어질 수 있도록 숙달하여야 한다.

5 경고표지 부착

- 이산화탄소 소화설비가 설치된 장소 출입구, 내부 및 외부의 인접한 공간에는 누구나 쉽게 알아볼 수 있도록 경고표지를 부착한다.

방호구역 내부

방호구역 입구 바깥쪽

고농도 이산화탄소 축적이 우려되는 장소

소화약제 저장용기실 바깥쪽

수동조작함

[**그림 4**] 이산화탄소 소화설비 경고표지와 부착위치

사고사례

소화약제 용기보관실 외부로 이산화탄소 누출

2018년 9월 4일(화) 전자제품 공장 이산화탄소 소화약제 용기보관실에서, 소화설비 작동 중 선택밸브가 이탈되어 누출된 고압의 이산화탄소가 보관실 상부 벽체를 파손시키고 보관실 외부로 누출되면서 인접한 이동통로에서 작업 중이던 근로자 2명 사망, 1명이 부상당한 사고

선택밸브 이탈

보관실 벽체 파손

6 방호구역 내에서 작업 시 조치사항

✓ 작업 전 준비사항

- 도면 등을 통한 소화설비 기능, 구조 및 성능을 확인할 것

  * 작업장소에 설치된 소화설비, 배치도, 화재감지기의 종류 및 형식 등

- 소화설비 또는 소화설비의 작동 위험이 있는 전기, 배관 등의 작업 시에는 작업계획*을 수립·이행하도록 할 것

  * 작업계획서 포함 내용 : 작업일정, 소화설비 설치도면 검토, 작업방법, 소화설비 작동금지 조치, 방호구역 등에 근로자 출입금지 조치, 작업 근로자 교육, 대피로 확보

- 작업공구를 사전에 준비하고 관리상태를 확인할 것
- 안전모 및 안전화 등 안전보호구를 착용할 것
- 작업내용 및 작업 중 주의사항을 근로자에게 주지시킬 것

  * 방호구역에서 정해진 작업 외 다른 행위(흡식, 취식, 흡연 등) 금지

- 관계자와 작업내용, 범위, 시간 등을 충분히 협의하고 사내방송 등을 통해 미리 알려줄 것
- 작업 중 비상시 대응방법, 대피경로 및 비상구 위치 등을 철저히 교육하는 한편, 비상 연락망을 구축할 것
- 작업 중 화재가 발생하면 신속히 인지하고 대처할 수 있도록 자동화재탐지설비 등 화재감시 및 경보설비의 정상가동 상태를 항상 유지할 것
- 비상구 및 대피통로 주변에 보관된 물품 등 대피 제한사항을 반드시 확인하여 정리할 것
- 이산화탄소 방출 시 미처 대피하지 못한 근로자 구출을 위해 공기호흡기를 비치하고 착용요령을 숙지할 것

※ 이산화탄소 소화설비가 설치된 인근에는 1대 이상의 공기호흡기를 항상 비치한다. 특히 보조마스크는 구조자의 공기호흡기에 연결하여 피구조자에게 공기를 공급하는 반면형 마스크이며, 이산화탄소가 방출된 작업구역에서의 대피와 인명 구조 시 큰 도움을 줄 수 있다.

[공기호흡기]

[보조마스크]

[공기호흡기 보관함]

6
방호구역 내에서 작업 시 조치사항

✓ 현장에서의 작업 개시 전 안전조치

- 소화약제 저장용기 보관실과 작업이 예정된 방호구역에 환기를 충분히 실시한다. 지하실 등 환기가 제한되는 장소에는 필요시 배기팬을 이용한 강제환기를 실시하도록 한다.
- 환기 후 출입 전 용기보관실과 방호구역의 산소 또는 이산화탄소 농도를 측정한다.

※ 가능하면 이산화탄소 농도를 우선적으로 측정하는 것이 바람직하다. 만약 산소 농도만 측정한다면 최소 20 %를 초과하는지 확인하여야 한다. 왜냐하면 이산화탄소 농도가 4 %까지 도달하여도 산소 농도는 20 % 이상을 보여줄 수 있기 때문이다. 다음의 적정공기 기준인 산소 농도 18 %에서도 이산화탄소가 약 14 %까지 축적되어 위험한 상태일 수도 있음을 명심하자!

산업안전보건기준에 관한 규칙 **제618조**

적정공기 기준

1. 산소 농도가 18 % 이상 23.5 % 미만
2. 탄산가스(이산화탄소) 농도가 1.5 %미만
3. 일산화탄소 농도가 30 ppm 미만
4. 황화수소 농도가 10 ppm 미만

- 다음의 안전조치를 순서대로 빠짐없이 실시한다.

솔레노이드 밸브 연동스위치를 정지위치로 전환

Step 1
감지기 오지시로 인한 소화설비 불시 작동 방지

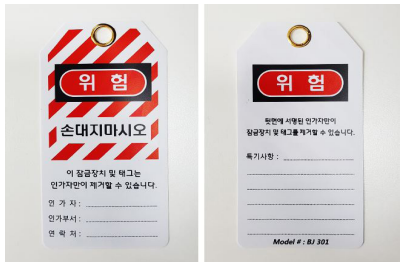
기동용기함의 솔레노이드 밸브에 안전핀을 체결, 안전핀 제거 금지 표시 부착

Step 2
수동조작함 기동 스위치 오조작 등으로 인한 소화설비 작동 방지

※ 출처 : 한국소방안전원 동영상 교육자료(「가스계소화설비」)

Step 3
방호구역 내로
소화약제
불시 방출 차단

수동잠금밸브를 닫고 관계자 외 조작금지 표지(Tag Out)를 부착



※ 수동잠금밸브가 설치된 소화설비에만 밸브를 잠근 후 표지 부착을 실시한다.

- 이산화탄소의 위험성에 대한 근로자 교육을 실시한다.

교육내용

근로자 교육내용

1. 질식·중독 사망 위험
2. 동상 또는 저온화상 상해 위험
3. 시야 미확보로 비상대피 어려움
4. 이산화탄소가 방출될 때 인지 및 대피 요령(큰 방출 소음, 싸이렌 등 음향경보, 천장에서 나오는 흰 연기 또는 안개 등)
5. 소화설비 임의조작 금지조치

[휴대형 가스감지기] [고정식 가스감지기]

※ 방호구역 내 및 소화용기실 내의 이산화탄소 또는 산소 농도를 측정할 수 있는 감지기 및 경보기를 설치하는 것을 권장한다.

- 화재감지 경보 후 이산화탄소가 방출되기 전 까지의 지연시간 안에 모두 대피하고 방호구역 내의 근로자가 안전하게 대피하지 못한 경우, 수동조작함의 비상스위치를 작동시켜 지연시간이 연장되도록 조치함을 반드시 숙지한다. (소화설비 임의조작 금지)

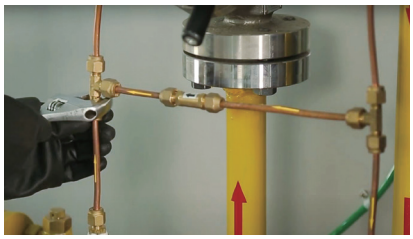
※ 이산화탄소 소화설비 수동조작함 조작방법 참조(참고 3, 22페이지)

7 소화설비 점검 및 검사 시 안전조치

- 소화약제 저장용기 보관실에 들어가기 전 환기를 충분히 실시한다. 지하실 등 환기가 제한되는 장소에는 필요시 배기팬을 이용한 강제환기를 실시하도록 한다.
- 환기 후 점검을 시작하기 전 용기보관실의 산소 또는 이산화탄소 농도를 측정한다.
  ※ 가능하면 이산화탄소 농도를 우선 측정하는 것이 바람직하다. 만약 산소 농도만 측정한다면 최소 20 %를 초과하는지 확인하여야 한다.
- 제어반의 전원스위치를 OFF 하고 다음의 단계를 실행한 후에 본격적으로 점검 및 검사를 실시한다.

Step 1

기동용기와 저장용기를 연동하는 동관 분리

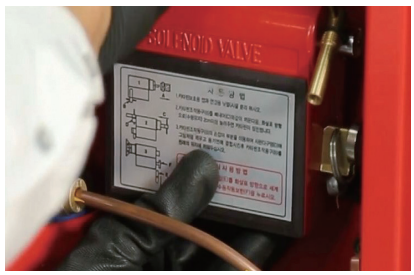


Step 2

솔레노이드 밸브 연동스위치를 정지위치로 전환

Step 3

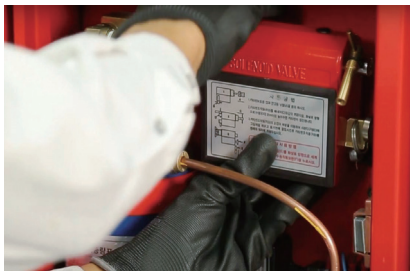
기동용기함의 솔레노이드 밸브에 안전핀을 체결



※ 출처 : 한국소방안전원 동영상 교육자료(「가스계소화설비」)

Step 4

기동용기와 저장용기를 연동하는 동관 분리



※ 점검 및 검사 완료 후에는 반드시 위의 각 단계의 역순으로 조치하여 화재감지시 이산화탄소 소화설비가 정상작동할 수 있도록 하여야 함

- 점검 및 검사 시 이산화탄소가 누출될 수 있는 밸브의 조작 및 배관의 해체 등의 경우에는 공기호흡기를 착용하여야 한다.

8 이산화탄소가 방출되었을 때 조치사항

- 소화약제가 방출된 장소에는 출입을 금지시킨다.
- 방출된 소화약제 배출을 위해 배기팬을 가동하여 환기를 실시하도록 한다.
- 환기 후 방출된 장소로 들어가기 전 산소 또는 이산화탄소 농도를 측정하여 방출된 이산화탄소가 완전히 제거되었는지 확인한다.
- 가스 농도를 측정하여 이상 여부를 확인하고 출입문을 개방하는 근로자에게는 공기호흡기를 지급하여 착용하도록 조치한다.

※ 이산화탄소 농도가 1.5 % 미만으로 떨어지기 전까지 임의로 출입하지 못하도록 현장 출입 관리를 철저히하여야 한다.

참 고

이산화탄소 소화설비로 인한 질식사고 사례

이산화탄소 소화설비 질식재해 예방점검표

이산화탄소 소화설비 수동조작함

참고문헌

1 이산화탄소 소화설비로 인한 질식사고 사례

발생일	사망	부상	사고개요
2011.09.11.	1	2	OOOO 부평엔진공장 지하1층 기계실에서 에어 공급배관에 밸브를 설치하기 위해 산소절단기로 배관에 구멍을 뚫던 중 발생된 연기에 의해 소화설비 작동
2012.05.01.	1	0	(주)OOO 포항공장 증설공사 현장에서 냉각유 탱크 배관 설치 부위 바닥 콘크리트 천공작업 중 소화설비 배선 간섭으로 이산화탄소 소화설비가 오작동되어 방호구역(CRM유실)로 방출된 이산화탄소에 해당 장소에서 작업 중이던 공사업체 근로자가 질식
2012.08.28.	1	0	태풍으로 수동조작함이 파손, 오동작되어 이산화탄소 방출, 변전소에서 흰연기가 나는 것을 CCTV로 확인(이산화탄소 소화약제가 방출)하고 현장 확인차 변전소 내로 들어가 질식
2014.03.27.	1	0	OO전자(주) 수원사업장 생산기술 연구소 별관동 기계실내 변전실에서 이산화탄소 소화설비가 오작동, 변전실에서 발생되는 이산화탄소 연무를 스팀배관에서 새어 나오는 스팀으로 오인하여 스팀밸브를 잠그러 진입하여 질식
2015.02.14.	1	7	경주 OOO호텔 1층 보일러실에서 배관 및 벽체 단열재 (그라스울) 제거작업 중 분진과 먼지를 연기로 오인한 감지기와 소화설비가 작동하여 이산화탄소가 방출된 사고
2015.06.19.	1	0	OO제과(주)대전공장에서 배관 후열처리 작업 중의 불꽃을 감지한 감지기 작동, 소화설비 가동으로 이산화탄소가 방출되면서 소화배관에 안면부를 부딪치고 이산화탄소 흡입으로 치료 중 사망
2018.09.04.	2	1	OO전자 기흥공장에서 소화설비 교체작업 중 케이블 오인절단으로 이산화탄소 설비가 오작동 되고, 그 압력에 의해 선택밸브가 파손되면서 인접공간(복도)으로 이산화탄소 방출
2020.08.20.	1	1	빌딩 지하 2층에서 옆건물 관리인과 분출된 이산화탄소 소화설비의 점검을 위해 기계실에 진입하여 질식
2021.08.20.	1	3	발전소 부두에 접안된 석탄운반 벌크선에서 선박 설비업체 소속 근로자가 이산화탄소 용기 호스 교체 작업 중 용기의 실린더 밸브를 건드려 이산화탄소가 누출
2021.10.23.	4	17	금천구 가산메트로지식산업센터 지하3층 발전기실내 작업 현장에서 수동 조작반 작동(추정, 조사 중)으로 이산화탄소 방출
2022.10.7.	1	2	㈜OO모터스 내 변전실에 설치·운영 중인 이산화탄소 소화설비가 작동하여 변전실 내 근로자가 인명피해를 입은 사고

2 이산화탄소 소화설비 자체점검표

	점검항목	점검결과
공통사항	1. 방호구역 및 소화용기실에 출입하는 인원을 제한하고 출입기록을 관리하고 있는지? * 영상정보처리기기(CCTV) 모니터링 및 카드키 출입방식 출입의 경우는 제외	
	2. 방호구역 및 소화용기실 출입 시에는 환기 조치를 수행하는지?	
	3. 방호구역 및 소화용기실에서 작업 시 소화설비 수동밸브의 잠금조치 및 기동장치에 안전핀을 꽂아서 관리하는 내용을 알고 있는지?	
	4. 방호구역 및 소화용기실 출입인원 대상 주기적인(반기 1회 이상) 교육 및 훈련을 실시하는지?	
	5. 소화설비 작동과 관련된 전기, 배관 등의 작업수행시에는 작업계획서를 작성하고 그 계획에 따라 작업을 하는지?	
	6. 방호구역 및 소화용기실에는 이산화탄소 또는 산소농도 감지기 및 경보기가 설치*되어 정상작동하는지? * 출입구 또는 비상구까지 이동거리가 10m 이상인 방호구역과 이산화탄소 소화용기 100개 이상(45kg 용기 기준)을 보관하는 소화용기 보관장소	
	7. 방호구역 내부, 방호구역 입구, 소화용기실 입구, 수동조작함, 이산화탄소 축적 우려장소에는 경고표지가 부착되어 있는지?	
	8. 방호구역 내·외부, 소화용기실 출입구등 대피로에는 신속대피가 가능하도록 장애물, 물건 적재 등이 없는지?	
	9. 방호구역 및 소화용기실 인근에 공기호흡기가 비치(정상작동)되어 있는지?	
방호구역	1. 소화를 위하여 작동하는 경우 외에는 소화설비의 임의조작 금지내용을 출입구 및 수동조작반 등에 게시하고 있는지?	
	2. 방호구역 수동조작함 작동시 기동스위치와 비상스위치의 역할과 조작방법을 알고 있는지?	
	3. 방호구역에 설치된 음향경보장치(싸이렌 등) 및 방출표시등은 정상작동하는지?	
	4. 방호구역에 이산화탄소 방출된 이후에는 출입금지 조치 및 환기 이후 출입여부에 대한 내용을 알고 있는지?	
소화용기실	1. 소화용기실에서 소화용기 및 배관밸브 등의 교체 작업을 하는 경우에는 작업자에게 공기호흡기(또는 송기마스크)를 지급하고 착용하는지?	
	2. 소화용기실의 선택밸브 본체에 변형 또는 손상은 없는지?	

3 이산화탄소 소화설비 수동조작함

- **설치위치** 방호구역 밖의 출입구 인근과 같이 근로자가 대피하여 쉽고 빠르게 조작할 수 있는 위치에 설치한다.
- **기능** 화재감지기가 동작하지 못할 때 근로자가 직접 기동스위치를 눌러 이산화탄소(소화약제)를 방출시킨다. 녹색 전원 램프에 불이 들어와 있으면 정상 상태라는 것을 의미하며 이산화탄소가 방출될 때 빨간 램프가 켜진다. 최근에는 전면 도어를 열면 주의 경보가 자동으로 작동하여 예비 경보로서 울리는 형식이 많다.
- **기동스위치** 전면 도어를 열면 투명아크릴 커버 뒤에 기동스위치 단추가 있다. 단추를 누르면 대피 경보로 싸이렌이 울리고 미리 설정된 시간(지연시간: 보통 30초로 설정하는 경우가 많다)이 경과 후 방호구역으로 이산화탄소가 방출된다.

※ 전면 도어와 투명아크릴 커버는 오조작 방지를 위한 이중 보호구조이며, 예전에 설치된 수동조작함에는 기동스위치 전면에 투명아크릴 커버만 설치된 것도 많다.

사고사례

기동스위치를 오조작하여 이산화탄소가 방출

2001년 5월 28일(월) 서울 종로구 소재 K미술관에서 한 유치원생이 소화설비 수동조작함 기동스위치를 눌러 2층 전시실 안으로 소화약제(이산화탄소)가 방출되어 전시기획전을 관람 중이던 어린이, 보호자 등이 제때 대피하지 못하고 질식에 의해 사망 1명, 부상 59명이 발생한 사고가 있음.

- **비상스위치** 소화설비 작동으로 소화약제 방출 전 제어반의 지연타이머가 작동되고 있을 때, 타이머를 순간 정지시킬 수 있는 자동복귀형 스위치이다. 일반적으로 수동조작함에서 기동스위치 오른쪽에 위치해 있다.

※ 비상스위치라는 명칭 외에도 현장에 설치된 수동조작함에는 Abort switch(Abort S/W), 비상정지스위치, 방출정지스위치, 방출지연스위치, 지연스위치, 일시정지 스위치 등으로 표시되어 있는 경우가 많다.

스위치를 계속 누르고 있어야 소화설비 작동이 지연되고 이산화탄소 방출도 늦출 수 있다! 그러나 이산화탄소가 방출되고 있는 상태를 멈출 수 있다는 의미가 아니다. 화재경보 후 이산화탄소가 방출되기 전까지의 시간(지연시간) 동안에만 비상스위치를 누르는 시간만큼 방출 개시가 늦어진다는 것이다.

3 이산화탄소 소화설비 수동조작함

① 예전에 많이 설치한 형태

② 외함에 탑재하여 벽체에 매립

③ 최근에 주로 설치하는 형태

④ 전용 외함에 탑재하여 외부에 설치

- 수동조작반에는 임의조작을 금지하는 경고표지와 수동조작함을 조작하는 방법을 정확하고 누구나 알기 쉽게 설명한 설명서를 부착하여야 한다.

  * 특히, 비상스위치(Abort switch)를 계속 누르고 있어야만 방출시간까지 지연시간이 연장됨을 알 수 있도록 하여야 한다.

4 참고문헌

- 1. NFSC 106, 이산화탄소소화설비의 화재안전기준, 2019.
- 2. KFS 1023, 이산화탄소 소화설비기준, 2008 edition
- 3. 이산화탄소소화설비의 화재안전기준(NFSC106) 해설, 2019.
- 4. NFPA 12, Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems, 2022 edition
- 5. 화재보험협회 안전점검 매뉴얼 제10판, 2018
- 6. 산업안전보건기준에 관한 규칙, 고용노동부령제337호, 2021.11.19
- 7. 한국소방안전원 동영상 교육자료(「가스계소화설비」)

이산화탄소 소화설비에 의한 질식·중독재해 예방
안전조치 매뉴얼

발행일 2022년 1월 발행

발행인 한국산업안전보건공단 이사장 안 종 주

발행처 한국산업안전보건공단 중대산업사고예방실

주 소 (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

홈페이지 http://www.kosha.or.kr

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함.

이산화탄소

소화설비에 의한
질식·중독재해 예방

안전조치 매뉴얼

산업재해예방
안전보건공단

울산광역시 중구 종가로 400(성안동)
고객만족센터 Tel. 052-703-0500 / 1644-4544

OPEN 공공누리
출처표시 상업용금지 변경금지
공공저작물 자유이용허락