

CO₂ 소화약제

김 동 일
(위험관리정보센터 과장)

1. 머리말

물을 사용하여 소화할 수 없거나, 소화 효과가 적은 소방대상물 즉, 전기시설·컴퓨터시설·위험물시설 등에는 흔히 가스계 소화설비를 설치하여 화재를 방호한다. 가스계 소화설비로는 이산화탄소 소화설비·할론 1301소화설비 등이 있으나, 할론 1301소화설비의 경우는 지구 환경에 나쁜 영향을 미치는 것으로 나타나, 그 사용이 점차 감소하는 추세이다. 선진국에서는 이미 설비의 대체가 활발히 이루어지고 있다.

본고에서는 대표적인 가스계 소화설비로 이용되고 있는 이산화탄소 소화설비의 소화약제의 소화특성, 소화약제량의 산출, 약제량 측정방법 등에 관하여 고찰하였다.

2. CO₂ 소화약제의 특성

가. 소화특성

CO₂ 소화설비의 소화약제로 사용되는 CO₂(이산화탄소, 탄산가스)는 소화원리 가운데 산소의 희석에 의한 질식작용을 주 효과로 하고 있다.

일반 가연물 화재에서는 공기 중의 산소농도가 16% 이하가 되면 소화되거나 또는 연소를 중지하게 된다. 대기중의 산소농도 21%(vol)를 산소농도인 16%(안전율을 감안하여 14%) 이하로 낮추기 위하여, 약제의 표준 설계농도를 34%로 정하고 있다.

즉, $21\% \times (1-0.34) = \text{약 } 14\%$ 가 된다.

CO₂ 소화약제는 KS M1105에서 정한 액체 이산화탄소(액화탄산가스) 2호 즉, 순도 99.5% 이상, 수분 함유율 0.05% 이하의 것을 사용하여야 하며 (<표 1 참조>), 이 액상의 CO₂는 분사헤드를 통하

여 기체로 방출될 때 534배의 체적 팽창을 한다.

즉, CO₂의 방출 체적은

$$\frac{\text{CO}_2\text{의 중량(g)}}{\text{CO}_2\text{의 질량(g/mol)}} \times \text{압력(atm)} \times \text{가스정수}(0.082) \times \text{절대온도로 계산된다.}$$

<표 1> 액체 이산화탄소 규격(KS M1105)

구 분	81호	2호	3호
이산화탄소(vol %)	99.5 이상	99.5 이상	99.0 이상
수 분(%)	0.005 이하	0.05 이하	-
냄 새	-	-	냄새가 없을 것

CO₂는 표준상태(STP : Standard Temperature Pressure)에서 기체로 존재하며, 무색, 무취, 무독성이다. 전기 절연성은 공기의 1.2배 정도이고, 기체의 무게는 공기보다 1.5배 가량 무겁다.

지구의 평균기온(15°C)에서 약 53kg의 자체 압력을 갖고 있어 별도의 가압원이 필요하지 않으므로 설비가 간단한 이점이 있다.

CO₂약제는 고압가스안전관리법에서 정한 2kg/cm² 이상의 액화가스에 해당되므로 약제 용기는 매 3년마다 검사를 받아야 하나, 소화설비용으로 설치되어 사용하지 않은 상태에서는 예외로 한다.

나. 충전비

국내에서 유통되고 있는 CO₂ 저장용기는 거의 68ℓ 형으로 되어 있다. 저장용기의 내용적 68을 충전 약제량으로 나눈 수를 충전비라고 하며, 소방법에서는 이를 1.5 이상, 1.9 이하로 규정하고 있다.

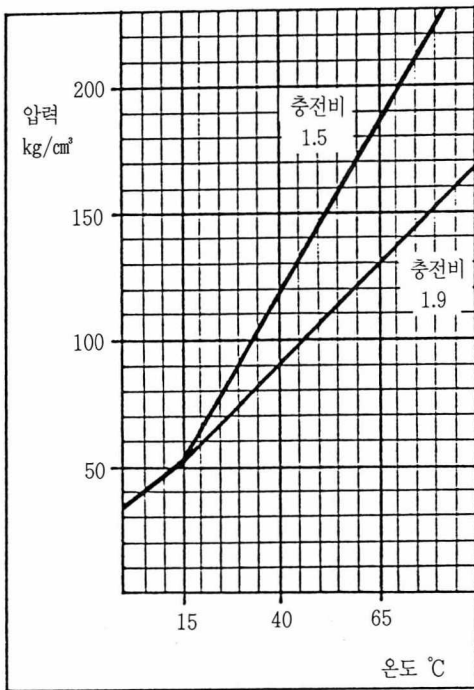
$$\text{즉, 충전비} = \frac{\text{용기의 내용적}(\ell)}{\text{충전 약제량(kg)}}$$

충전비를 충전밀도라고도 하는데, 충전밀도가 크면 온도의 상승에 비례하여 용기 내부의 압력도 높아지

기 때문에 이를 1.5 이상으로 규제하였다.

〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 허용되는 최대 충전비 1.5인 경우, 15°C에서는 용기 내부 압력이 53kg/cm²이지만, 40°C에서는 약 120kg/cm², 65°C에서는 약 180kg/cm²이 된다. 고압식 저장용기에 설치된 안전장치는 180kg/cm²에서 파괴되는 봉판으로 제작되어 있으므로 용기 저장소의 온도가 65°C 이상이 되면 이 봉판이 파괴되어 약제가 방출되고 만다.

〈그림 1〉 충전비에 따른 온도-압력 선도



3. 소요 약제량 계산

CO₂소화설비의 소화 효과를 얻기 위해 약제량은 가장 중요한 요소가 된다. 최근(95. 5. 27) 소방기술기준의 개정에 따라 약제량 산출 기준이 바뀌었다. 특히, 표면화재와 심부화재의 개념을 명확히 하여 적용상의 혼동을 배제할 수 있게 되었다.

개정된 기술기준에 따른 약제량 산출 방법을 요약하면 다음과 같다.

가. 전역방출방식

(1) 표면화재 : (① 방호구역의 체적 × ② 체적당 약제량) × ③ 보정계수 + ④ 개구부 보정

〈표 2〉 표면화재 방호구역의 체적당 약제량

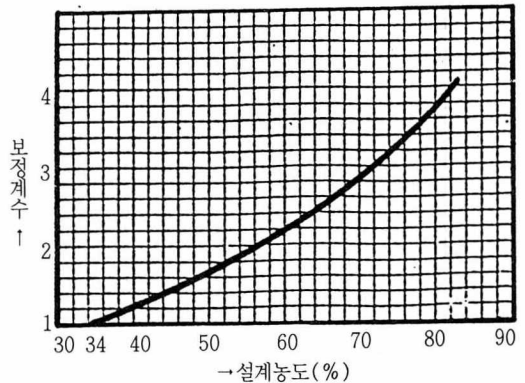
①방호구역의 체적	②체적당 약제량	최소 저장량
45m ³ 미만	1.00kg	45kg
45m ³ 이상 150m ³ 미만	0.90kg	
150m ³ 이상 1,450m ³ 미만	0.80kg	135kg
1,450m ³ 이상	0.75kg	1,125kg

③ 보정계수

—설계농도가 34% 이상인 방호대상물에 한하여 적용

—〈표 2〉의 설계농도를 참조하여, 아래 그림에서 보정계수 도출

* 불연성의 밀폐된 구조물의 체적은 계산에서 제외



④ 개구부 보정 : 1m²당 5kg 이상

※ 개구부 보정시의 유의사항

CO₂가스는 공기보다 무거우므로, 방출 후 시간의 경과에 따라 방호구역 아래쪽의 밀도가 높게 되어, 아래쪽에 개구부가 있으면 상대적으로 약제 손실이 커지게 된다. 따라서 출입문 등과 같이 벽면의 하부에 있는 개구부는 약제 방출 이전에 폐쇄되어야 한다.

소방법에서는 바닥으로부터 1/3 이하이거나 천정면에서 1m 아래부분에 있는 개구부는 반드시 자동 폐쇄 하도록 규정하고 있다.

(2) 심부화재 : (① 방호대상물의 체적 × ② 체적당 약제량) + ③ 개구부 보정

〈표 3〉 심부화재 방호대상물별 체적당 약제량

①방호 대상물	②체적당 약제량	설계농도
유압기기를 제외한 전기설비, 케이블	1.3kg	50%
55m ³ 미만의 전기설비	1.6kg	50%
서고, 전자제품, 목재가공품 창고, 박물관	2.0kg	65%
고무류, 면화류, 석탄창고, 집진설비	2.7kg	75%

③ 개구부 보정 : 1㎡당 10kg 가산

(표 4) 위험물 등의 소화에 필요한 이산화탄소 설계농도
(소방기술기준 별표 6의 2)

방 호 대 상 물	설계농도(%)
수소(Hydrogen)	47
아세틸렌(Acetylene)	66
이황화탄소(Carbon Disulphide)	66
일산화탄소(Carbon Monoxide)	64
산화에틸렌(Ethylene Oxide)	53
에틸렌(Ethylene)	49
에틸에테르(Ethyle Ether)	46
에틸알코올(Ethyle Alcohol)	43
부타디엔(Butadien)	41
에탄(Ethane)	40
벤젠(Benzene)	37
석탄가스, 천연가스(Coal, Natural gas)	37
사이크로 프로판(Cyclo propane)	37
이소부탄(Iso-butane)	36
프로판(Propane)	36
프로필렌(Propylene)	36
헥산(Hexane)	35
펜탄(Pentane)	35
부탄(Butane)	34
가솔린(Gasoline)	34
석유(Kerosene)	34
소입유, 윤활유(Quenching, Lube oil)	34
아세톤(Acetone)	31
메칠알코올(Methyl Alcohol)	31
메탄(Methane)	30
에틸렌디클로라이드(Ethylene Dicloride)	25

나. 국소방출방식

① 위험물, 1·2종 특수가연물의 표면화재
표면적(㎡) × 13kg × 1.4

② 기타화재

방호공간 × Q × 1.4

Q : 특수가연물 → 8-6a/A

위험물 → 16-12a/A

* 방호공간 : 0.6m 가상벽 내의 체적

* a : 0.6m 이내의 실제 벽면적의 합계

* A : 0.6m 가상 벽면적의 합계

다. 호스릴 방식

노즐수 × 90kg

4. 약제량 측정

고압의 저장용기에서는 충전 후 시간의 경과에 따라 누설이 발생한다. 따라서 CO₂ 저장용기는 적어도

1년에 1회 이상 약제량을 검사하여야 하며, 10% 이상의 가스가 누설되면 재충전 하여야 한다.

약제량의 측정 방법으로는 ①액면측정법, ②중량 측정법, ③비파괴검사법 등이 있다.

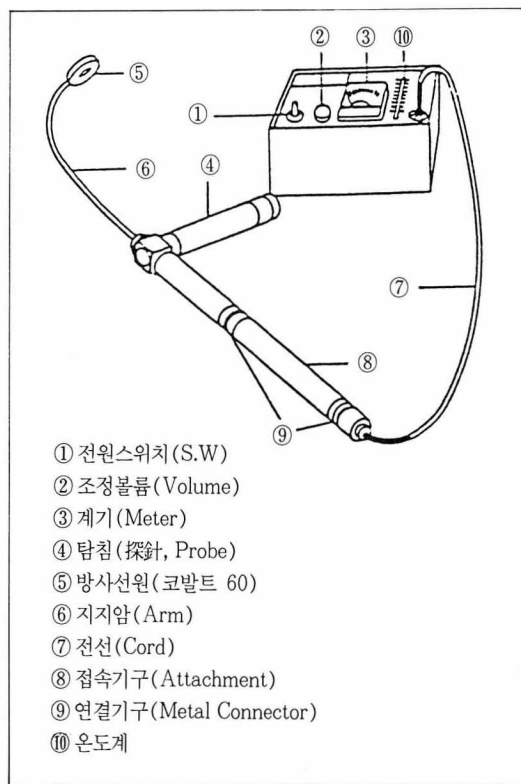
중량 측정방법은 가장 정확한 방법이지만, 약제 무게 약 45kg과 용기 무게 약 76kg 등 합계 121kg 정도의 중량물을 다루어야 하기 때문에 이 방법을 이용하기는 곤란하다.

최근에는 액화가스 레벨미터를 이용하여 액면의 높이를 측정한 후 약제량을 계산하는 방법이 주로 이용되고 있다.

가. 액화가스 레벨미터를 이용한 약제량 측정

(1) 액화가스 레벨미터의 구성

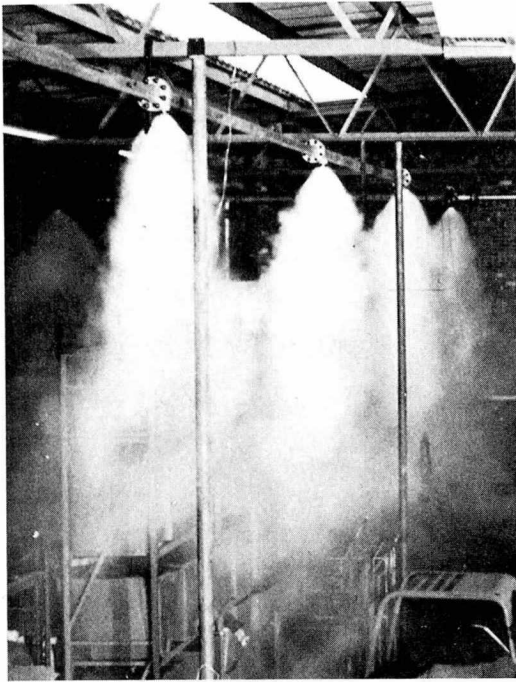
◆ LD 45S형



- ① 전원스위치(S.W)
- ② 조정볼륨(Volume)
- ③ 계기(Meter)
- ④ 탐침(探針, Probe)
- ⑤ 방사선원(코발트 60)
- ⑥ 지지암(Arm)
- ⑦ 전선(Cord)
- ⑧ 접속기구(Attachment)
- ⑨ 연결기구(Metal Connector)
- ⑩ 온도계

(2) 사용방법

- ① 기기 셋팅(방사선원의 캡 제거)
- ② 배터리 체크(조정 볼륨으로 계기 조정)
- ③ 액면 높이 측정(위 아래로 천천히 이동하여 계기의 지침이 많이 흔들린 위치)
- ④ 실내온도 측정
- ⑤ 저장량 계산



(3) 저장량의 계산

$$\text{저장량 (g)} = S \times \text{Pl} \times A \times \text{Pg} (L-A)$$

- S : 저장용기 단면적 (cm²)
- A : 측정된 액면 높이 (cm)
- L : 저장용기의 높이 (cm)
- Pl : 액체 CO₂ 밀도 (g/cc)
- Pg : 기체 CO₂ 밀도 (g/cc)

① 온도별 CO₂ 밀도

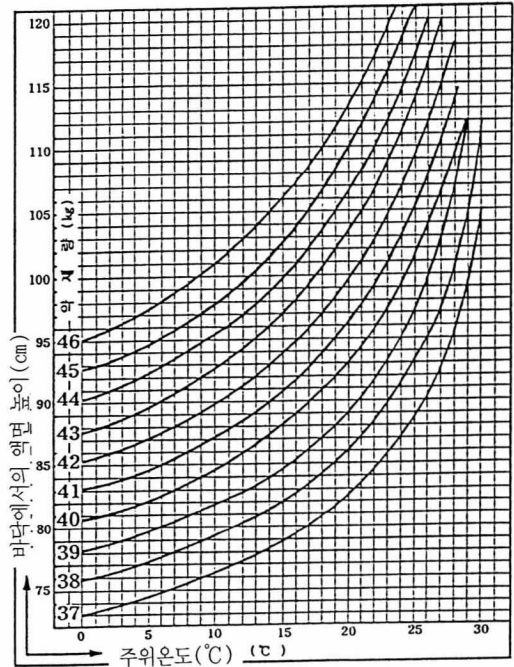
〈표 5〉 온도별 CO₂ 밀도

온도(°C)	액밀도(g/cc)	Gas밀도(g/cc)
0	0.914	0.096
5.0	0.888	0.114
10.0	0.856	0.133
15.0	0.814	0.158
20.0	0.766	0.190
25.0	0.703	0.240
28.0	0.653	0.282
29.0	0.630	0.303
30.0	0.598	0.334
30.5	0.574	0.356
31.0	0.536	0.392
31.25	0.497	0.422
31.35(Tc)	0.464	0.464

② 노모그램(共線圖表)

공식에 의한 약제량의 계산을 보다 간단히 하기 위하여 아래의 환산표를 이용할 수 있다. 표에서, 주의의 온도가 15°C이고 액면의 높이가 100cm로 측정되었다면 약제량은 44kg이다.

〈CO₂ 약제량 환산표〉 (68ℓ형 : 내경 254mm)



③ 사용조건에 대한 제한

CO₂의 임계점은 31.85°C로서, 그 이상의 온도에서는 가스 상태로만 존재한다. 따라서 용기내의 레벨 측정은 이론상은 31.35°C 미만에서 가능하지만, 실제로는 26°C 이하일 때 오차가 없는 것으로 알려져 있다.

5. 맺는 말

CO₂ 소화약제는 인명안전에 위대한 점, 냉해에 취약한 컴퓨터실 등에 사용하기 곤란한 점 등을 제외하면 가장 경제적인 소화약제라고 할 수 있다.

거듭 강조하지만, CO₂ 소화설비에서는 충분한 약제의 확보와 약제 방사의 조건이 적정할 때 소화 효과를 거둘 수 있다.