

전역방출방식 CO₂ 소화설비의 설계농도 및 유지시간 검증을 위한 직접방사시험에 관한 연구

이세명[†] · 문성웅 · 유상훈

주식회사 페스텍 화재시험연구소

A Study on the Direct Discharge Test for Verifying Design Concentration and Soaking Time for CO₂ Fire Extinguishing System of Total Flooding

Se-Myeoung Lee[†] · Sung-Woong Moon · Sang-Hoon Ryu

Fire Testing Laboratory, Festec International Co., Ltd.

(Received March 28, 2012; Revised November 5, 2012; Accepted December 7, 2012)

요 약

CO₂ 소화설비의 소화성능 시험방법에는 직접시험방법이 가장 좋지만, 고비용과 환경문제 그리고 시험절차의 어려움으로 간접시험방법을 사용하는 경우가 많다. 그러나 석유화학플랜트나 원자력발전소와 같은 국가 중요위험시설은 화재가 발생하면 대형피해가 발생할 수 있으므로 직접방사시험을 통해 소화성능을 검증할 필요가 있다. 본 연구는 국가 중요위험시설에 설치된 전역방출방식의 CO₂ 소화설비 중에서 표면화재 방호구역과 심부화재 방호구역을 각각 선정하여 CO₂ 소화설비의 소화성능을 검증해 보았다. 소화성능은 방호구역 내에 방사된 CO₂의 농도가 설계농도기준(NFSC 및 NFPA)에 만족해야 그 성능을 인정받을 수 있다. 여기서, 설계농도는 CO₂ 소화약제가 화염을 제어할 수 있는 소화농도에 여유를 20%를 감안한 농도를 의미한다. 시험결과 표면화재와 심부화재 방호구역 모두 CO₂ 설계농도를 확보하고 있음을 확인하였고 심부화재의 경우에는 20분 이상 설계농도가 유지되었다. 본 연구를 통해 국가 중요위험시설에 대한 직접방사 시험 방법 및 판정방법을 소개하였고 향후 이와 같은 국가 중요위험시설에는 직접방사시험을 통해 소화설비의 신뢰성을 검증해야 할 필요성을 제기하였다.

ABSTRACT

Indirect Test Method is often used instead of direct test method in test method for extinguishing performance of CO₂ extinguishing facility because of high cost, environment problems and difficulties of procedure. But in the danger facilities for a unit of nation, such as a petrochemical plant, a nuclear power plant, or etc. is better to verify the performance of the extinguishment through direct discharge test. In CO₂ extinguishing system for total flooding system installed in dangerous facilities in Korea, each protected area in surface fire and deep-seated fire had selected and verified of extinguishing performance of CO₂ extinguishing facilities. To get recognized as extinguishing performance, discharged CO₂ concentration to protected area should be equivalence with design concentration standards (NFSC and NFPA). The Design Concentration means that CO₂ extinguishing agent is considerate of concentration for percentage of allowance (20%) from extinguishing concentration which available to control of flame. As test result, surface fire and deep seated fire in protected area is obtained CO₂ design concentration and maintained design concentration more than 20 minutes as deep-seated fire. Through this study, we introduced direct discharging test method and decision method. And furthermore, especially in the dangerous facilities as a unit of Nation, we suggested necessity about reliability of extinguishing facilities to use direct test method.

Keywords : Fire extinguishing systems, Direct test method, Design concentration, Soaking time

1. 서 론

CO₂ 소화약제는 부식성이 없고 화재진압 후에 잔류물을

남기지 않으며, 또한 전기 전도성이 없기 때문에 통전 중인 전기설비 화재에서도 사용될 수 있는 장점이 있다⁽¹⁾. 또한, 별도의 가압원이 없어도 자체압력으로 원활하게 소

[†]Corresponding Author, E-Mail: smllee@festec.co.kr
TEL: +82-10-3198-8431, FAX: +82-2-575-5971

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.6.015>

화약제를 방사할 수가 있다. 그러나 CO₂ 소화약제를 비롯한 가스계 소화약제는 질식소화를 주로 하므로 방호구역의 밀폐도가 낮으면 소화성능을 제대로 발휘할 수가 없어 재발화의 위험이 높다는 단점도 있다. 따라서 CO₂ 소화설비는 설계의도대로 소화성능을 발휘할 수 있을 지를 확인하기 위해서 주기적인 성능시험 및 확인이 필요하다⁽⁶⁾.

CO₂ 소화설비의 소화성능 시험방법은 크게 직접시험방법과 간접시험방법으로 구분한다. 직접시험방법은 해당 방호구역에 CO₂ 소화약제를 방사하여 설계농도 및 설계농도유지시간을 확보하는지를 직접 확인하는 방법이며, 간접시험방법은 CO₂ 소화약제를 직접 방사하지 않고 Door Fan Test를 통해 간접적으로 설비의 신뢰성을 확인하는 시험이다. CO₂ 소화설비의 소화성능을 검증하기 위해서는 직접시험방법이 가장 좋다고 할 수 있으나, 고비용과 환경문제 그리고 시험절차의 난이성 등으로 인해 직접시험방법의 대안으로 Door Fan Test를 활용하는 경우가 많다^(2,6). 우리나라에서도 고가의 장비가 있는 전산실, 반도체공장, 석유화학플랜트 등에서 Door Fan Test를 시행하기도 하지만, 소방 관련법에서 Door Fan Test를 의무적으로 실시하도록 규정하고 있지 않아 일반건축물의 경우에는 거의 시행하지 않고 있다. 일반건축물의 경우에는 CO₂ 소화설비의 점검을 위해 솔레노이드 밸브의 격발시험 및 외관점검만을 실시하고 있어 실질적인 CO₂ 소화설비의 소화성능을 제대로 확인할 수가 없어서 큰 문제점으로 지적되고 있다. 또한, 석유화학플랜트나 원자력발전소의 경우에는 화재가 발생하였을 때 대규모 피해가 발생할 수 있기 때문에 소화설비의 성능을 최상으로 유지해야만 한다. 따라서 이러한 국가 중요위험시설의 경우에는 직접방사시험을 통해 CO₂ 소화설비의 신뢰성을 검증하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

2. 방사시간(Discharge Time) 및 설계농도 유지시간(Soaking Time)

CO₂ 소화설비는 주로 질식을 통해 화재를 소화시키기 때문에 화재 초기에 빠르게 방사하지 않으면 화재를 제어하기가 어렵다. 또한, 일정시간 동안 그 설계농도를 유지

해야만 재발화를 방지할 수가 있다. 미국의 NFPA 12 (Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems) 와 우리나라의 NFSC 106(Codes on Carbon Dioxide Extinguishing Systems)에서는 CO₂ 소화약제가 표면화재의 경우 1분 이내 그리고 심부화재의 경우 7분 이내에 방사되도록 규정하고 있다. 그리고 심부화재의 경우에는 설계농도가 2분 이내에 30 %에 도달해야 한다⁽⁸⁾.

또한 설계농도유지시간(Soaking Time)에 대해서는, 미국의 NFPA 12에서는 설계농도를 표면화재의 경우 1분 이상, 심부화재의 경우 20분 이상을 유지하도록 권장하고 있으나 우리나라 NFSC 106에서는 관련 규정이 없다.

3. 표면화재 및 심부화재의 설계농도 및 저장량 산정식

화재는 크게 표면화재(Surface Fire)와 심부화재(Deep seated Fire)로 구분할 수가 있다. 표면화재는 가연물의 표면에서 불꽃을 발생하며 신속하게 연소가 진행되는 반면에 심부화재는 가연물 내부에서 서서히 화재가 진행되어 간다. 이러한 화재의 특징에 따라 CO₂의 설계농도와 필요 소화약제량은 달라질 수밖에 없다.

3.1 설계농도

3.1.1 표면화재

공기 중 산소농도를 한계산소농도(15%) 이하로 낮추기 위해 필요한 CO₂의 최소이론농도는 식(1)로 구할 수가 있다⁽¹⁾.

$$CO_2(\%) = \frac{21 - O_2(\%)}{21} \times 100 \tag{1}$$

식(1)에서 O₂(%)에 15%를 대입하면 CO₂의 최소이론농도는 28%가 된다. 그리고 CO₂의 설계농도는 CO₂의 최소이론농도에 20%를 가산한 34%가 된다. 따라서 표면화재를 위한 CO₂의 설계농도는 어떤 경우에도 34% 미만인 되어서는 안 된다⁽³⁾.

3.1.2 심부화재

심부화재에 필요한 이산화탄소 설계농도는 표면화재와

Table 1. Design Concentration of Deep Seated Fire in a Protected Area⁽¹⁾

Design Concentration	Volume Factor				Specific Hazard
	[ft ³ /lb CO ₂]	[m ³ /kg CO ₂]	[lb CO ₂ /ft ³]	[kg CO ₂ /m ³]	
50	10	0.62	0.100	1.60	Dry electrical hazards in general [Spaces 0~2,000 ft ³ (56.6 m ³)]
50	12	0.75	0.083 (200 lb) minimum	1.33 (91 kg) minimum	[Spaces greater than 2,000 ft ³ (56.6 m ³)]
65	8	0.50	0.125	2.00	Record (Bulk paper) Storage, ducts, covered trenches
70	6	0.38	0.166	2.66	Fur storage vaults, dust collectors

달리 명확히 결정될 수는 없지만, NFPA 12에서는 다음과 같이 심부화재 대상물에 대한 설계농도를 Table 1과 같이 제시하고 있다.

3.2 저장량 산정식

CO₂ 소화약제는 해당 방호구역에 동일한 양(kg)의 소화약제를 방사하더라도 실내 온도에 따라 농도가 달라진다. 때문에, 설계농도를 확보하기 위해 필요한 CO₂ 소화약제량을 산출하기 위해서는 기준온도를 설정해야 할 필요가 있는데 NFPA에서는 30°C(표면화재)와 10°C(심부화재)를 기준으로 하고 있다.

CO₂ 소화약제의 저장량을 구하는 공식은 식(2)와 같다. 이 공식은 Figure 1과 같이 자유유출 방식에 근거하여 방호구역 내 설계농도를 유지할 수 있는 CO₂ 소화약제량을 구하는 공식이다⁽¹⁾.

$$w = 2.303 \times \log\left(\frac{100}{100 - C}\right) \times \frac{1}{S} \quad (2)$$

- w: 방호구역 1 m³당 CO₂ 약제량(kg/m³)
- C: 방사 후 CO₂ 농도(%)
- S: 비체적(m³/kg)

기체의 비체적은 부피/질량으로 구할 수가 있다. 그런데, 샤를의 법칙에 따르면 압력이 일정할 때 기체의 부피는 온도가 1°C 올라갈 때마다 0°C일 때 부피의 1/273씩 증가한다.

따라서 임의의 온도에서의 기체의 비체적은 식(3)으로 구할 수가 있다.

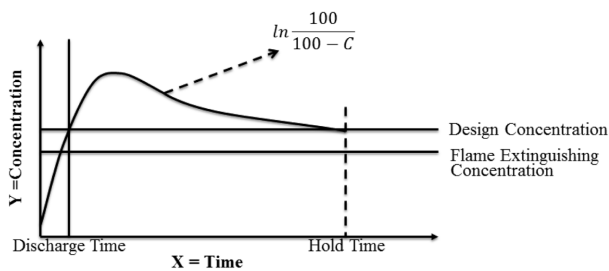


Figure 1. Design concentration of free extinguishment method⁽⁴⁾.

$$S = \frac{V_x}{M} = \left(V_0 + V_0 \times \frac{x}{273} \right) \times \frac{1}{M} \quad (3)$$

- S: 비체적(m³/kg)
- V_x: 임의의 온도 x °C에서의 기체의 체적(m³)
- V₀: 0 °C에서의 기체의 체적(m³)
- x: 임의의 온도(m³)
- M: 기체의 분자량(kg)

3.2.1 표면화재

아보가드로법칙과 샤를의 법칙에 따라 30°C에서의 CO₂ 비체적은 식(3)에서 CO₂의 분자량 M은 44, 임의의 온도는 30 그리고 0°C에서의 기체의 체적은 22.4를 대입하면 약 0.56 m³/kg이 된다.

식(2)에서 C는 34%(설계농도), S는 0.56을 대입하면 표면화재 방호구역의 단위체적당 CO₂ 소화약제 저장량은 약 0.75 kg/m³가 된다.

즉, 표면화재 방호구역(기준온도 30°C)에서 CO₂ 농도를 34%로 유지하기 위해서는 0.75 kg/m³의 CO₂ 소화약제 저장량이 필요하다.

더 나아가, 표면화재 방호구역(기준온도 30°C) 내에 CO₂ 농도가 34% 되었을 때 O₂ 농도는 식(1)에 의해 약 13.86%가 된다.

이와 같이 표면화재 방호구역의 실내온도에 따른 CO₂ 농도 및 O₂ 농도를 계산하면 Table 2와 같은 결과를 얻을 수가 있다.

Table 2에 따르면, 방호구역 단위체적당 0.75 kg/m³의 CO₂ 약제량을 방사하였을 때 기준온도인 30°C에서는 CO₂ 농도가 34%(O₂ 농도는 13.86%)인 반면에 동일한 CO₂ 약제량을 0°C에서 방사하였을 때에는 CO₂ 농도가 31.7%(O₂ 농도는 14.34%)가 된다는 것이다. 즉, 표면화재 방호구역에서 CO₂ 소화약제 직접방사시험을 할 때, 방호구역내의 온도를 측정하여 그 온도에서의 CO₂ 농도가 Table 2의 값보다 높으면 기준온도 30°C에서의 CO₂ 농도도 34%(O₂ 농도는 13.86%) 이상이 된다고 판단할 수가 있다.

3.2.2 심부화재

표준화재와 동일한 방법으로, 아보가드로법칙과 샤를의

Table 2. CO₂ Concentration and O₂ Concentration According to Indoor Temperature for Protected Area (Surface Fire)

Indoor Temperature of Protected Area [°C]	CO ₂ Concentration [%]	O ₂ Concentration [%]	Note
30 (reference temperature)	34.0 (S=0.56)	13.86	It is concentration of CO ₂ and O ₂ according to change of indoor temperature when CO ₂ extinguishing agent discharges to 0.75 kg/m ³ of CO ₂ extinguishing agent per unit volume in protected area.
0	31.7 (S=0.51)	14.34	
-30	28.5 (S=0.45)	15.01	
-60	25.9 (S=0.40)	15.56	
-70	24.6 (S=0.38)	15.83	

법칙에 따라 10 °C에서의 CO₂ 비체적은 식(3)에서 CO₂의 분자량 M은 44, 임의의 온도는 10 그리고 0 °C에서의 기체의 체적은 22.4를 대입하면 약 0.52 m³/kg이 된다.

식(2)에서 C는 50 %(설계농도), S는 0.52를 대입하면 심부화재 방호구역의 단위체적당 CO₂ 소화약제 저장량은 약 1.33 m³/kg가 된다.

즉, 심부화재 방호구역에서 CO₂ 농도를 50 %로 유지하기 위해서는 1.33 kg/m³의 CO₂ 소화약제 저장량이 필요하다. 더 나아가, 심부화재 방호구역(기준온도 10 °C)의 CO₂ 농도가 50 %가 되었을 때 O₂ 농도는 식(1)에 의해 10.5 %가 됨을 확인할 수 있다.

그리고 2분 내에 설계농도가 30 %가 되기 위해서는 CO₂ 약제를 2분 내에 0.69 kg/m³를 방사하여야 하고 그때의 O₂ 농도는 14.7 %가 된다.

심부화재 방호구역의 실내온도에 따른 CO₂ 농도 및 O₂ 농도를 계산하면 Table 3과 같다.

Table 3에 따르면, 방호구역 단위체적당 1.33 kg/m³의 CO₂ 약제량을 방사하였을 때 기준온도인 10 °C에서는 CO₂ 농도가 50.0 %(O₂ 농도는 10.5 %)인 반면에 동일한 CO₂ 약제량을 -30 °C에서 방사하였을 때에는 CO₂ 농도가 45.0 %(O₂ 농도는 11.5 %)가 된다는 것이다. 즉, 심부화재 방호구역에서 CO₂ 소화약제 직접방사시험을 할 때, 방호구역내의 온도를 측정하여 그 온도에서의 CO₂ 농도가 Table 3의 값보다 높으면 소화성능을 확보하고 있다고 판단할 수가 있다.

그리고 Table 4는 기준온도(10 °C)에서 2분 내에 설계농도가 30 %가 되기 위해 방사해야 하는 CO₂ 약제량이 방호구역 실내온도 변화에 따라 어느 정도의 농도를 확보하

게 되는지를 보여준다.

4. CO₂ 소화설비 직접방사시험

국가 중요위험시설에 설치된 전역방출방식 CO₂ 소화설비의 소화성능을 검증하기 위해 직접방사시험을 수행하였다. 방사시험은 표면화재 방호구역과 심부화재 방호구역으로 구분하여 실시하였으며, 해당 방호구역 내에 CO₂ 설계농도가 확보되는지를 확인하기 위해 O₂ 농도를 측정할 수 있는 가스 분석기(Gas Analyzer)를 사용하였다. 가스 분석기의 사양은 Table 6과 같다. 즉, 방호구역 내 O₂ 농도를 가스 분석기를 이용하여 측정한 후에 식(1)에 대입하면 CO₂ 농도값을 계산해 낼 수 있다.

4.1 방호구역

AAC DG 발전기는 화재 및 각종 재난으로 인해 상용전원 공급이 중단되었을 때 설비의 정상작동을 유지하기 위해 비상전원을 공급하는 설비이다. 발전기는 사용연료로 경유나 휘발유를 사용하고 있어 표면화재의 발생우려가 있고, Switching Gear Room은 일반적으로 동력구동장치의 차단기 및 케이블이 설치되어 있어 심부화재가 발생할 수 있다.

4.2 방사시험방법

4.2.1 시험장비

- ① Room 내부의 O₂ 농도를 측정하기 위한 가스 분석기
- ② Room 내부의 분석가스를 이송하기 위한 5개의 펌프 및 튜브

Table 3. CO₂ Concentration and O₂ Concentration According to Indoor Temperature for Protected Area (Deep Seated Fire)

Indoor Temperature of Protected Area [°C]	CO ₂ Concentration [%]	O ₂ Concentration [%]	Note
10 (reference temperature)	50.0 (S=0.52)	10.5	CO ₂ and O ₂ concentration according to change of indoor temperature in protected area when discharge CO ₂ extinguishing agent of 0.75 kg/m ³ per unit volume of protected area.
0	49.2 (S=0.51)	10.7	
-30	45.0 (S=0.45)	11.5	
-60	41.1 (S=0.40)	12.3	
-70	39.7 (S=0.38)	12.6	

Table 4. CO₂ Concentration and O₂ Concentration According to Indoor Temperature in Protected Area (Deep Seated Fire) - Design Concentration 30 % in 2 minutes

Indoor Temperature of Protected Area [°C]	CO ₂ Concentration [%]	O ₂ Concentration [%]	Note
10 (reference temperature)	30.0 (S=0.52)	14.7	When CO ₂ extinguishing agent is discharged 0.69 kg/m ³ per unit volume in protected area, CO ₂ and O ₂ concentration according to change of indoor temperature in protected area in 2 minute.
0	29.7 (S=0.51)	14.8	
-30	26.7 (S=0.45)	15.4	
-60	24.1 (S=0.40)	15.9	
-70	22.4 (S=0.38)	16.3	

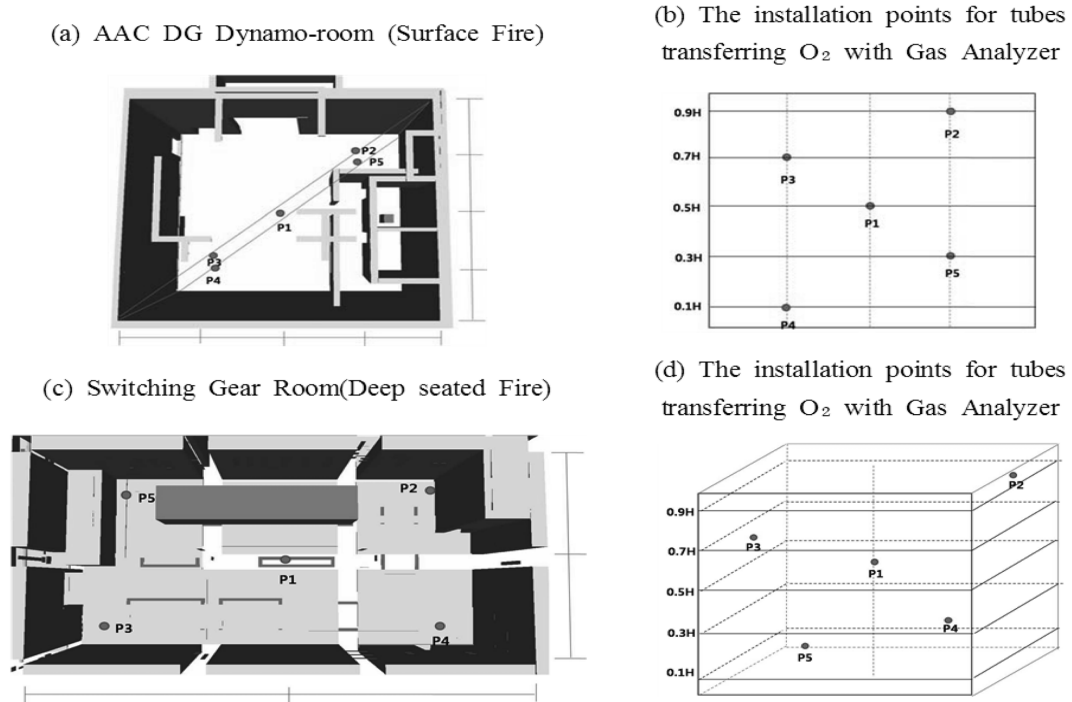


Figure 2. The floor plan of the test area.

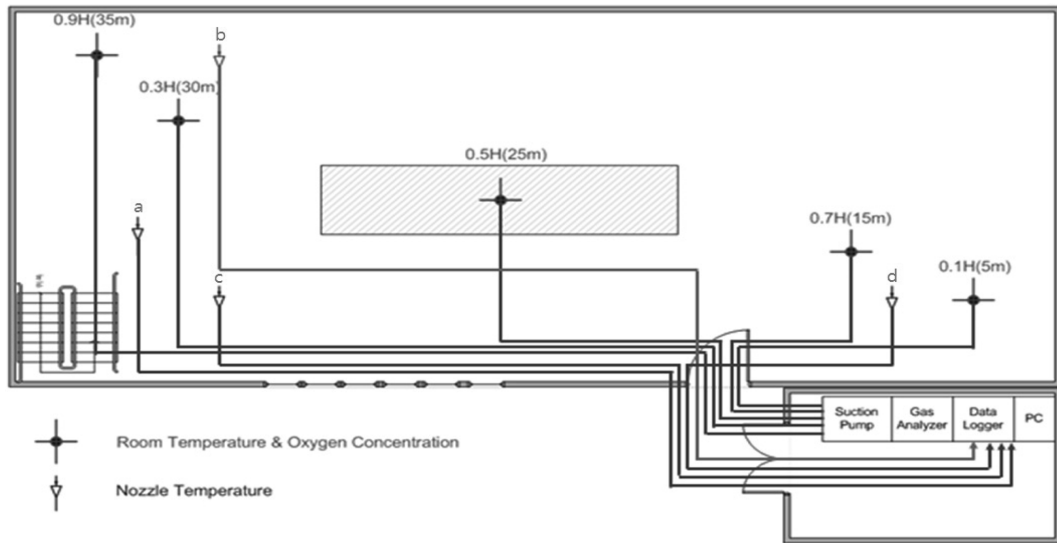


Figure 3. The setting drawing for the testing equipment.

③ 펌프의 기체 이송 지연시간을 확인하기 위한 300×300 Cube & Valve

④ 시험시간 동안 방호구역 내 산소농도와 노즐온도 그리고 실내온도를 실시간으로 측정하고 저장하기 위한 프로그램

4.2.2 설치지점

대상 방호구역 내에 O₂ 농도값을 측정하기 위해 0.1H, 0.3H, 0.5H, 0.7H, 0.9H의 5개소에 튜브를 설치하였으며, 시험장비는 Figure 3과 같이 설치하였다.

4.2.3 판정기준

CO₂ 소화설비의 약제량은 30 °C(표면화재)와 10 °C(심부화재)를 기준으로 산정하였으나 실제 방사시험결과 방호구역내의 온도는 -70 °C 이하까지 낮아짐을 확인할 수

Table 5. Fire Type of the Test Area

Type of Fire	Target protected area
Surface Fire	AAC DG Dynamo-room
Deep Seated Fire	Switching Gear Room

Table 6. Gas Analyzer's Specification

Model	Servomex Xentra 4100
Oxygen	0~25 %, ±50 ppm full scale response time of less than 12 s
Max range	0~100 %
Min range	0~0.5 %
Operating range	0~25 %
Response time	< 12 sec.

있었다. 따라서 방사시점에서의 방호구역 실내온도를 기준으로 설계농도를 보정하면 Table 7과 같다.

즉, 표준화재 방호구역에 대해서는 1분 이내에 산소농도가 15.8 % 이하(-70 °C일 경우)로 떨어지면 CO₂ 설계농도가 확보되었다고 판정할 수 있고, 심부화재 방호구역에 대해서는 2분 이내에 산소농도가 16.3 % 이하(-70°C일 경우)로 떨어지고 7분 이내에 12.6 % 이하(-70°C일 경우)로 떨어지면 CO₂ 설계농도가 확보되었다고 판정할 수가 있다. 또한, 심부화재의 경우에는 20분간 12.6 % 이하로 유지되어야 완전소화를 기대할 수가 있다.

4.3 직접방사시험 Data

Figure 4~8은 방호구역 내 혼합가스가 가스 분석기까지 도달하는데 걸리는 시간을 측정한 그래프이다. 5개 지점(0.1H/0.3H/0.5H/0.7H/0.9H)에 각각 튜브를 설치하여 방호구역 밖에 설치된 가스 분석기로 혼합가스가 유입되기까지 소요되는 시간을 측정한 그래프로서 그림에서 약 21 %의 산소농도가 낮아지기 시작하는 시점이 가스 분석기로 방호구역의 혼합가스가 유입되기 시작하는 시점이다.

각 지점마다 15회의 테스트를 하여 얻은 평균값은 약 11초 정도가 되었다.

그리고 Figure 9~14는 표면화재 및 심부화재 방호구역의 노즐온도, 방호구역 온도 및 산소농도 측정 결과치를 나타내는 그래프이다.

4.4 결과분석

4.4.1 AAC DG 발전기실(표면화재)

Figure 9에서 약 40초 시점부터 헤드의 온도가 급격히

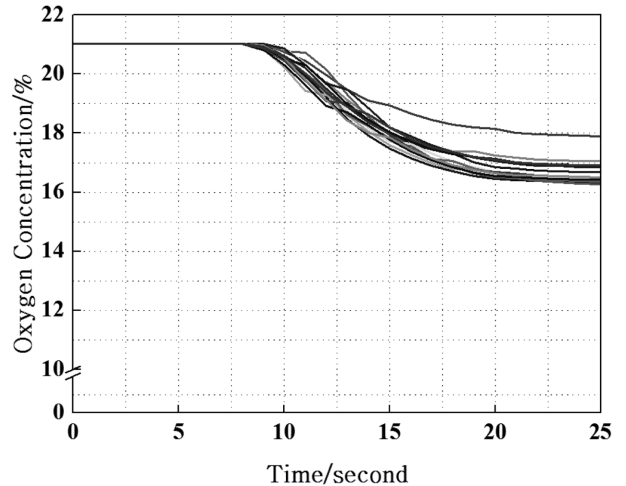


Figure 4. Delay time of gas in protected area to reach the gas analyzer. - 0.1H.

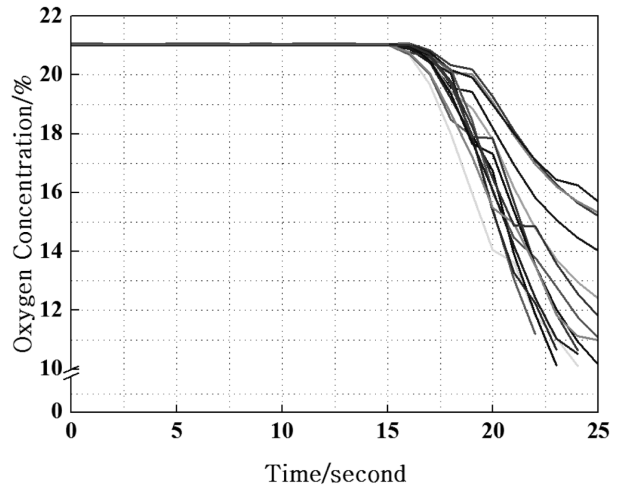


Figure 5. Delay time of gas in protected area to reach the gas analyzer. - 0.3H.

하강함을 확인할 수 있다. 이때부터 방호구역 내 CO₂ 가스가 방사되기 시작하여 방호구역 내에 설치된 튜브를 통해 가스 분석기까지 이동하는데 걸리는 지연시간 11초를 더하면 51초부터 가스 분석기는 방호구역 내 산소농도를 측정하기 시작한다. CO₂ 소화설비의 설계농도는 방사 후 1분 내에 설계농도에 도달하여야 하므로 51초+60초=111

Table 7. Criteria of Extinguishing Performance of CO₂ Extinguishment Facilities

	Criteria		
	Reference temperature (30 °C/10°C)	-30°C	-70°C
Surface Fire in Protected Area	(1 min.) O ₂ concentration less than 13.8 %	(1 min.) O ₂ concentration less than 15.01 %	(1 min.) O ₂ concentration less than 15.8 %
Deep Seated Fire in Protected Area	(2 min.) O ₂ concentration less than 14.7 %	(2 min.) O ₂ concentration less than 15.4 %	(2 min.) O ₂ concentration less than 16.3 %
	(7 min.) O ₂ concentration less than 10.5 %	(7 min.) O ₂ concentration less than 11.5 %	(7 min.) O ₂ concentration less than 12.6 %

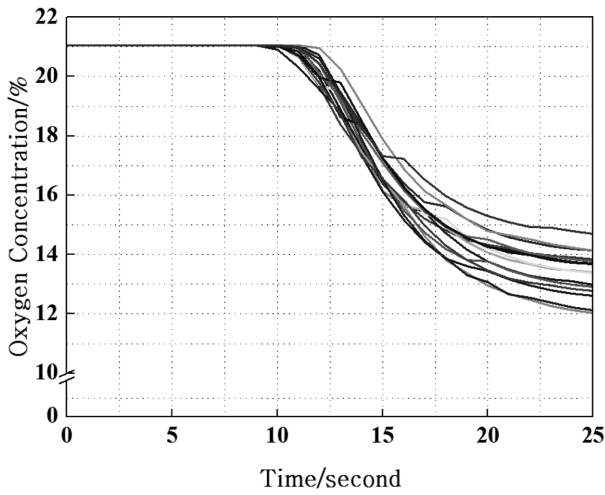


Figure 6. Delay time of gas in protected area to reach the gas analyzer. - 0.5H.

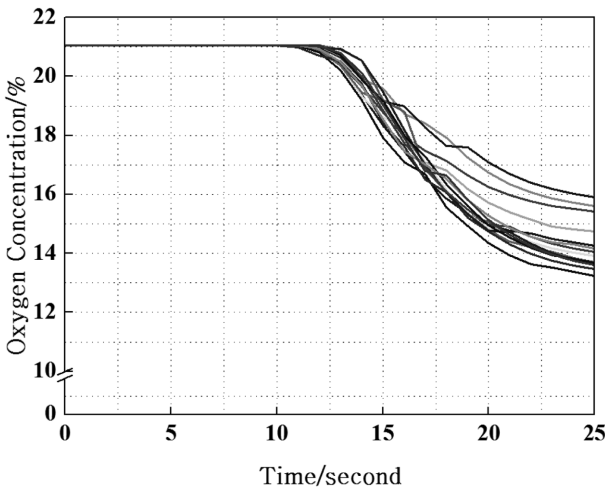


Figure 7. Delay time of gas in protected area to reach the gas analyzer. - 0.7H.

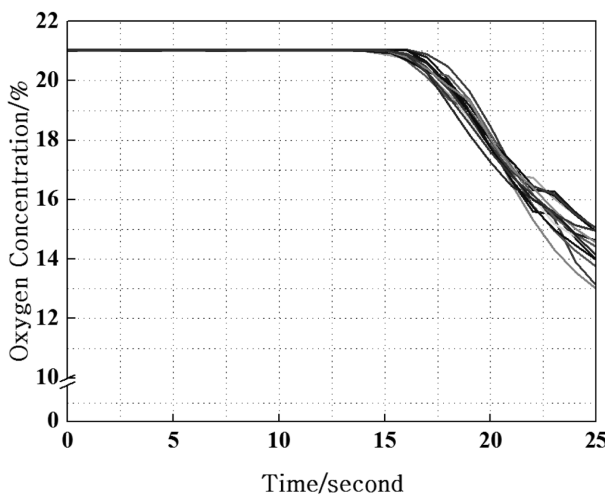


Figure 8. Delay time of gas in protected area to reach the gas analyzer. - 0.9H.

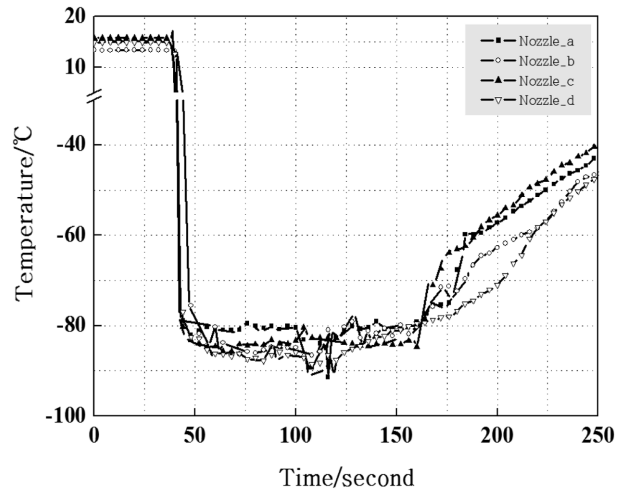


Figure 9. Temperature of CO₂ head installed in protected area (surface fire).

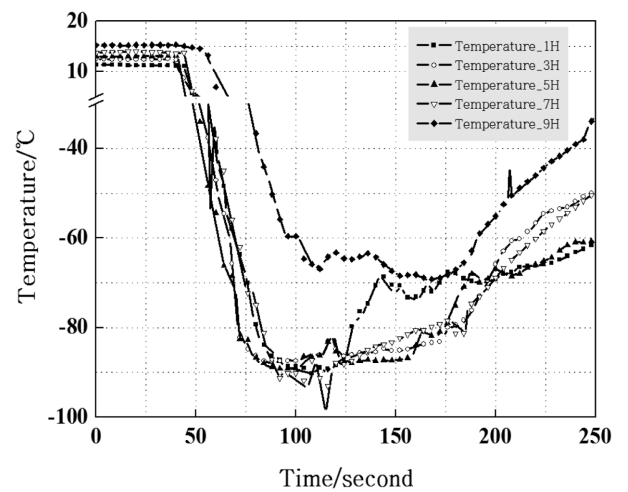


Figure 10. Indoor temperature of protected area (surface fire).

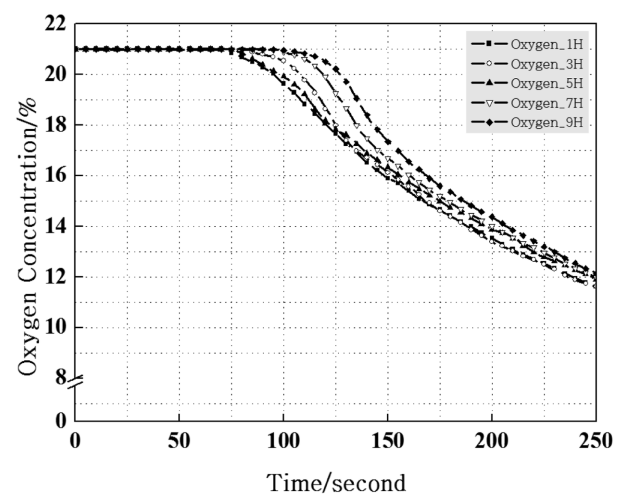


Figure 11. Oxygen concentration in protected area (surface fire).

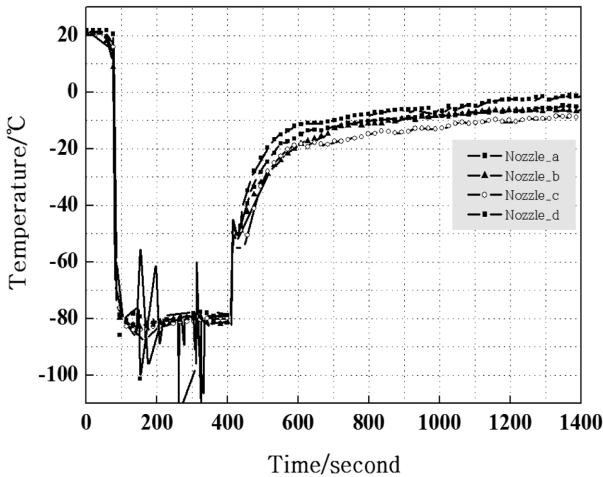


Figure 12. Temperature of CO₂ head installed in protected area (deep seated fire)

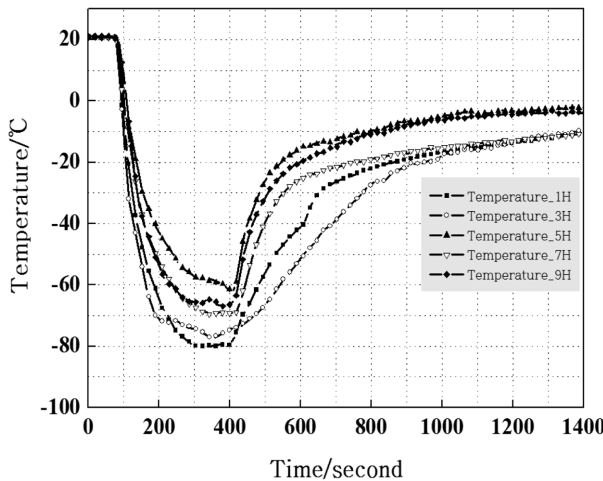


Figure 13. Indoor temperature of protected area (deep seated fire).

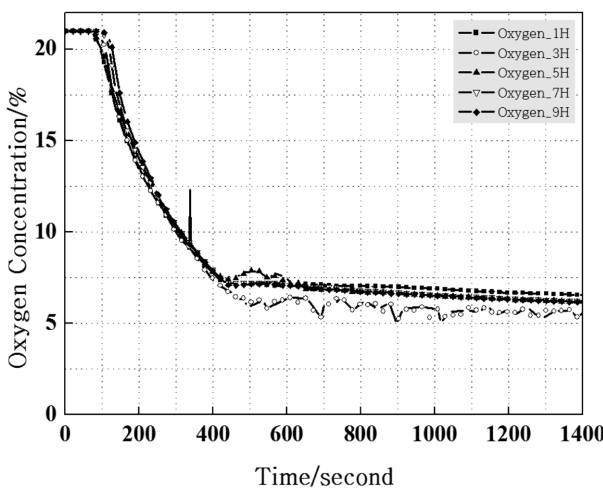


Figure 14. Oxygen concentration in protected area (deep seated fire).

Table 8. Oxygen Concentration in Protected Area after 1 minute

Position [%]	1H	3H	5H	7H	9H
Time [sec]					
111	14.245	14.819	13.977	12.819	15.001

초에서 CO₂ 설계농도에 도달하는지를 확인하면 설비의 신뢰성을 검증해 볼 수 있다. 111초 시점에서의 각 지점의 O₂ 농도는 Table 8과 같다.

그리고 CO₂ 가스가 방사된 후 방호구역 내의 실내온도가 약 -20~100 °C가 되고 있음을 Figure 10에서 확인할 수 있었다. 따라서 Table 7의 CO₂ 소화설비 소화성능 판정기준에 따라 -30 °C의 경우에는 O₂ 농도가 15.01 % 이하, 그리고 -70 °C의 경우에는 O₂ 농도가 15.8 % 이하가 되어야 한다. 따라서 AAC DG 발전기실 내부 5개 지점에 대한 산소농도를 측정해 본 결과(Table 8) 당해 방호구역은 -30 °C와 -70 °C 모두에서 설계농도를 만족하고 있음을 확인할 수가 있으며 결과적으로 CO₂ 소화설비의 신뢰성을 검증할 수가 있었다.

4.4.2 Switching Gear Room (심부화재)

Figure 12에서 약 60초 시점부터 헤드의 온도가 하강하기 시작한다. 이때부터 방호구역 내 CO₂ 가스가 방사되기 시작하여 방호구역 내에 설치된 튜브를 통해 가스 분석기까지 이동하는데 걸리는 지연시간 11초를 더하면 71초부터 가스 분석기는 방호구역 내 산소농도를 측정하기 시작한다. CO₂ 소화설비의 설계농도는 방사 후 2분(60초+11초+120초=191초)과 7분(60초+11초+420초=491초) 내에 해당 설계농도에 도달해야 하고 또한 20분(60초+11초+1,200초=1,271초)간 설계농도를 유지하여야 한다.

CO₂ 가스 방사 후 2분, 7분, 그리고 20분이 경과하였을 때의 각 지점의 O₂농도는 Table 9와 같다

그리고 CO₂ 가스가 방사된 후 방호구역 내의 온도가 약 -20~80 °C가 되고 있음을 Figure 13에서 확인할 수 있었다. 따라서 Table 7의 CO₂ 소화설비 소화성능 판정기준에 따라 -30 °C의 경우에는 2분 이내에 O₂ 농도가 15.4 % 이하, 7분 이내에 11.5 % 이하가 되어야 하고, -70 °C의 경우에는 2분 이내에 O₂ 농도가 16.3 % 이하, 7분 이내에

Table 9. Oxygen Concentration in Protected Area after 2 min, 7 min, 20 min

Position [%]	1H	3H	5H	7H	9H
Time [sec]					
191	13.93	13.843	14.284	14.404	14.794
491	7.13	5.872	7.79	7.221	7.128
1,271	6.631	5.603	6.258	6.303	6.25

12.6 % 이하가 되어야 한다. 따라서 Switching Gear Room 내부 5개 지점에 대한 산소농도를 측정해 본 결과(Table 9) 당해 방호구역은 -30 °C와 -70 °C 모두에서 설계농도를 만족하고 있음을 확인할 수가 있고 20분간 설계농도가 유지되고 있음을 확인할 수가 있다. 결과적으로 CO₂ 소화설비의 신뢰성을 검증할 수가 있었다.

5. 결 론

국가 중요위험시설에 설치된 전역방출방식 CO₂ 소화설비에 대한 직접방사시험을 표준화재 방호구역과 심부화재 방호구역으로 구분하여 실시하였다.

표면화재 방호구역(AAC DG 발전기실)의 경우 CO₂ 방사 후 1분이 경과한 시점에 방호구역내의 각 지점에서의 산소농도가 실내온도 -70 °C에서의 평가기준 농도인 15.8 % 보다 낮아서 CO₂ 소화설비의 신뢰성을 확보하고 있음을 확인할 수 있었다.

심부화재 방호구역(Switching Gear Room)의 경우 CO₂ 방사 후 2분이 경과한 시점에 방호구역내의 각 지점에서의 산소농도가 실내온도 -70 °C에서의 평가기준 농도인 16.3 %보다 낮았다. 또한, 7분이 경과한 시점에서는 각 지점에서 방호구역의 실내온도가 -70 °C에서의 평가기준 농도인 12.6 %보다 낮았다. 그리고 20분간 설계농도가 유지되고 있음을 확인할 수 있었다.

전역방출방식의 CO₂ 소화설비는 방호구역 내 설계농도를 확보하기 위해서는 배관설계 및 억제저장량의 정확한 계산이 필요하다. 그러나 액체 및 기체의 2상계 흐름으로 인해 계산이 상당히 복잡하며 방호구역의 상황에 따라서 설계의도에 반하는 결과가 발생할 수도 있다. 따라서 CO₂ 소화설비가 최상의 소화성능을 유지할 필요가 있는 국가 중요위험시설에는 고비용 및 시험절차의 난이성에도 불구하고 직접방사시험을 통해 설비의 신뢰성을 검증하게 된다면 소화실패로 인한 대형피해 발생을 상당부분 감소시킬 수 있을 것이라 생각한다.

참고문헌

1. NFPA 12, "Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems", National Fire Protection Association, Quincy, MA, p. 5, pp. 14-16, p. 33 (2008).
2. S. M. Park, "A Study on the Agent Compensation for the Leakage through Opening and Unsealed Enclosure Leakage Areas for the Gaseous Extinguishing System", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 2-9 (2000).
3. S. W. Nam, "Design and Construction of Fire Extinguish Equipment", Sungandang, Kor, pp. 706-715 (2008).
4. K. W. Kang, "Introduction to Fire Protection Professional Engineer", DongHwa Technology Publishing Co, Kor, p. 649 (2007).
5. NFPA 2001, "Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems", National Fire Protection Association, Quincy, MA (2008).
6. C. W. Lee, A. Y. Yun, J. S. Na and K. J. Um, "A Study on Gaseous Fire Extinguishing System Adaptability Using the Door Fan Test", Proceedings of the Korea Institute of Fire Science & Engineering Conference, pp. 99-102 (2010).
7. Y. K. Park, "Reliability Assessment for Fire Protection Area of Gas Extinguishing Systems", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 27-31 (2008).
8. K. S. Jung, "A Study on the Compensation through Opening for the Gaseous Extinguishing System", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 32-38 (2007).
9. SFPE, "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", 2th Edition (1995).
10. R. T. Wickham, "Review of the Use of Carbon Dioxide Total Flooding Fire Extinguishing Systems", Wickham Associates (2003).
11. I. S. Jacobs and C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," Schenectady, New York, pp. 271-350 (1963).