

이산화탄소 소화설비 현장 방출시험 방법론에 관한 고찰

박준현[†] · 강태석 · 김재환 · 김위경*

(주)스탠더드시험연구소, *한국원자력안전기술원

A Study on On-site Discharge Testing for Carbon Dioxide Fire Extinguishing Systems

Jun-Hyun Park[†] · Tae-Seok Kang · Jae-Hwan Kim · Wee-Kyong Kim*

Standard Testing & Engineering Inc.

*Korea Institute of Nuclear Safety

(Received May 19, 2015; Revised August 7, 2015; Accepted August 11, 2015)

요 약

이산화탄소 소화설비는 질식소화가 주된 소화작용이므로 제한된 시간 내에 소화약제를 방출하여 방호구역의 산소농도를 기준치 이하로 유지시키는 능력이 확보되어야 한다. 국내에서 이산화탄소 소화설비는 국민안전처 고시에 따라 인증된 설계프로그램을 사용하여 소화설비를 설계하고 있다. 그러나 소화설비가 설치된 방호구역의 기하학적 구조는 성능인증 단계의 모의실험장치와 차이가 있기 때문에 설계프로그램 적용 범위를 벗어난 소화설비 설계가 이루어질 수 있다. 특히, 저압식 이산화탄소 소화설비는 배관 내 유동현상에 따라 소화약제 방출량이 변하므로 소화설비 설치 후에 현장 방출시험을 통하여 성능을 확인할 필요가 있다. 현재까지 국내·외 기술기준에는 방출시험에 대한 방법론이 구체적으로 명시되어 있지 않다. 본 논문에서는 국내의 기술기준을 비교·분석하고, 방출시험 사례분석을 통하여 현장 방출시험 방법론을 제시하였다.

ABSTRACT

Carbon dioxide principally extinguishes fires by smothering, but an acceptable amount of extinguishing agent is needed. To assure the performance of carbon dioxide systems in Korea, computer programs certified by NEMA are being applied in system design. But the design errors can occur because the geometry of a model test facility is not the same as that of the actual fire area. Since the discharge rate tends to vary considerably with the flow pattern in a pipe, an on-site discharge test is necessary to ensure the performance of the system, especially with low pressure carbon dioxide. Technical standards for carbon dioxide systems do not give detailed guidelines for discharge tests at present. Based on comparative analysis of standards and practical tests, this paper suggests a methodology for on-site discharge tests.

Keywords : Gaseous fire extinguishing systems, Carbon dioxide extinguishing systems, Performance test, Discharge test, Door fan test

1. 서 론

이산화탄소 소화설비는 화재가 발생되었을 때 소화약제를 방출하여 산소농도를 연소에 필요한 최소산소농도 이하로 저하시킴으로써 소화기능이 발휘한다. 따라서 이산화탄소 소화설비는 해당 기술기준에 부합되도록 설계되어야 하며 설치 후에도 설비의 소화약제 방출능력과 방호구역의 기밀도 등을 확인하여 소화능력이 보장되어야 한다.

국내에서 이산화탄소 소화설비는 국민안전처 고시 제 2012-11호⁽¹⁾에 따라 모의실험장치에서 방출시험을 통하여

설계프로그램을 인증하고 있으며 이 인증된 설계프로그램을 사용하여 소화설비를 설계하도록 제도화되어 있다. 그러나 성능이 인증된 프로그램을 사용하여 소화설비를 설계하였다 하더라도 소화설비가 설치된 현장의 방호구역은 기하학적 구조, 크기, 형상 등이 설계와 다를 수 있으므로 설계 프로그램 적용범위를 벗어난 설계가 이루어질 수 있다.

고압식 이산화탄소 소화설비의 경우에 약제 방출량은 개방된 고압용기의 수에 의해 결정되는 반면에 저압식 이산화탄소 소화설비는 Figure 1에 나타낸 바와 같이 주밸브가 개방된 동안에만 약제가 방출되고 약제 방출량은 배관

[†]Corresponding Author, E-Mail: jh45park@stdte.co.kr
TEL: +82-42-867-6453, FAX: +82-42-867-6454

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2015.29.4.026>

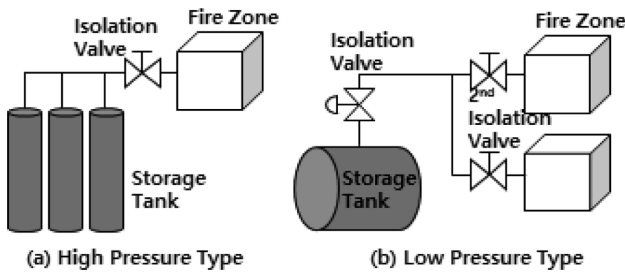


Figure 1. A comparison of high and low pressure type.



Figure 2. A discharge testing of carbon dioxide systems.

의 형상과 비정상상태 이상유동에 의해 크게 영향을 받는다. 원자력발전소에서는 장거리 방출배관이 설치된 저압식 소화설비에서 방출능력이 설계기준을 만족시키지 못한 사례가 현장 방출시험에서 수차례 확인되었으며 공기조기방출장치를 적용하여 이를 해결한 바가 있다^(6,7,10). 따라서 약제 방출량이 배관의 형상에 의하여 크게 좌우되는 저압식 소화설비의 경우에는 시공 후에 완전방출시험을 수행하여 설비의 방출능력을 재차 확인하는 것이 바람직하다. 이러한 이유로 인해 국내 원자력발전소에서는 미국의 경우와 같이 이산화탄소 소화설비를 설치한 후에 Figure 2⁽¹²⁾와 같은 완전방출시험을 수행하여 소화설비의 최종 성능을 확인하도록 하고 있다.

본 논문에서는 원자력발전소 저압식 소화설비의 현장 방출시험 경험을 바탕으로 방출시험에 대한 기술기준을 비교·분석하고 완전방출시험에서 고려사항, 주요 문제점 등을 고찰하고 국내·외 방출시험 사례 분석을 통하여 바람직한 현장 방출시험 및 평가 방법론을 제시하고자 한다.

2. 저압식 이산화탄소 방출시험시 고려사항

2.1 성능인증 및 방출시험에 대한 기술기준

미국에서 이산화탄소 소화설비 완전방출시험은 소화설비 성능인증단계와 소화설비 설치후 성능시험단계에서 각각 이루어지고 있다. 기술기준으로 성능인증단계에서는 FM 5420⁽³⁾ 등이, 설치후 성능시험단계에서 NFPA 12⁽⁴⁾ 등이 적용된다. 성능인증단계의 완전방출시험은 설계프로그램 및 소화설비의 성능을 확인하는 것으로 모의시험실에

Table 1. Requirements for Discharge Test of Carbon Dioxide Extinguishing Systems

Code	Content
NFPA 12	A full discharge test shall be performed on all systems.
ISO 6183	A discharge test for carbon dioxide is not mandatory, however, it is generally accepted that a full discharge test best demonstrates all aspects of system performance.

Table 2. Discharge Times for Total Flooding System of Carbon Dioxide Extinguishing System

Code	Discharge times
NFPA 12 NFSC 106 ISO 6183	Surface fires : 1 min Deep seat fire : 7 min (but the rate shall be not less than that necessary to develop a concentration of 30% in 2 min)
ISO 6183	Low pressure system (surface fires) : max. 2 min (but max. 60 s pre-liquid vapour flow time)

서 이루어지는 반면에 현장 방출시험은 소화설비가 현장에 설치된 후에 방출능력을 확인하는 것으로 현장에서 이루어진다. NFPA 12와 달리 ISO 6183⁽⁵⁾에서는 이산화탄소 소화설비 설치 후의 현장 방출시험을 의무사항으로 규정하고 있지 않지만 방출시험이 소화설비의 성능확인을 위한 최선의 방법이라는 입장을 표명하고 있다. 두 기술기준에 대한 비교는 Table 1과 같다.

국내에서 이산화탄소 소화설비는 제2012-11호에 따라 설계프로그램과 소화설비의 성능을 인증하고 있으며 이는 미국과 유사한 제도이다. 미국에서는 소화설비 설치 후에도 NFPA 12에 따라 방출시험을 요구하고 있는 반면에 국내 이산화탄소 기술기준(고시 2013-56)⁽²⁾에는 소화설비 설치 후의 방출시험은 규정하고 있지 않다.

이산화탄소 소화설비 설치기준에는 가연물의 종류 및 형태에 따라 소화약제 설계농도가 설정되어 있으며 방호구역의 크기를 고려한 전역방출계수를 사용하여 방출되는 약제의 무게를 결정하도록 하고 있다. 또한, 설치기준에는 제한된 시간 이내에 약제의 농도가 설계농도에 도달할 수 있도록 분배장치를 설계하도록 하고 있다. 전역방출방식의 소화설비의 방출시간은 Table 2와 같이 표면화재와 심부화재로 구분하고 있다. 다만, ISO 6183에는 표면화재의 경우에 액상방출시간을 1분으로 제한하고 있으며 저압식 소화설비에 대해서는 최대 2분까지(기상방출시간 1분 포함) 허용하고 있다.

2.2 방출배관에서 이산화탄소 거동 특성

저압식 이산화탄소에서 소화약제는 포화상태로 용기에 저장되어 있다가 소화약제 방출 시에 Figure 3과 같이 기

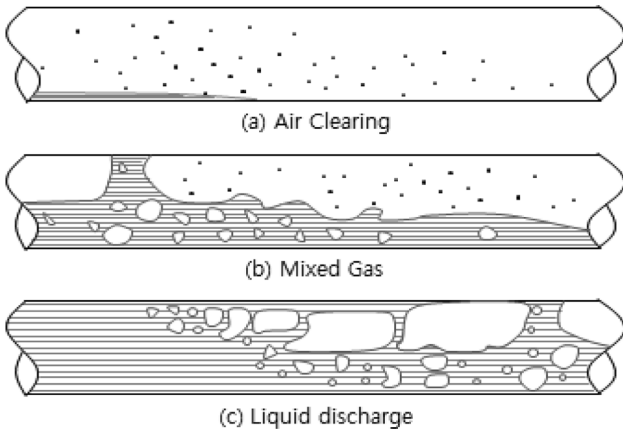


Figure 3. Flow patterns of low pressure carbon dioxide.

Table 3. Pressure and Temperature of Carbon Dioxide Systems

	Storage tank	Discharge piping	Discharge nozzle		
	P (Mpa)	T (°C)	P (Mpa)	T (°C)	P (Mpa)
High pressure	5.86	20	5.17	16	2.07 ≤
Low pressure	2.09	-18	1.96	-21	1.03 ≤

체(공기 + 이산화탄소)상태, 기체·액체혼합상태 및 액체 상태 순으로 변화하며 방출된다. 액상 이산화탄소에 비해 소화설비 배관 온도는 상대적으로 높으므로 액체 이산화탄소는 배관의 현열을 흡수하여 배관 내에서 증발하여 기체가 되며 배관의 온도는 낮아진다. 액체 이산화탄소가 배관에서 증발되면 이산화탄소 체적이 급격히 증가하여 방출노즐에서 액체 이산화탄소가 방출되기까지 증발지연시간(vapor delay time)이 발생하게 된다. 증발지연시간 동안에는 주로 기체가 방출되고, 기체가 방출된 후에는 평형유동(equilibrium flow)상태에 도달한 기체·액체혼합 이산화탄소가 방출되게 된다^(4,5).

고압식은 용기에 상온상태로 저장되므로 방출배관에서 증발되는 이산화탄소 양이 작아 증발지연시간이 짧은 반면에, 저압식은 저장온도가 낮아 고압식에 비해 증발량이 많으며 증발지연시간이 상대적으로 긴 편이다. Table 3은 일반적인 고압식 및 저압식 이산화탄소 소화설비의 구간별 온도와 압력을 정리하여 나타내고 있다.

증발지연시간은 정해진 시간 내에 소화약제를 방출하여 화재를 진압하여야 하는 소화설비의 고유 기능을 저해하는 요인으로 작용하며 저압식 이산화탄소 설비에서 특별히 고려하여야 하는 현상이다. 따라서 저압식 설비에서는 이산화탄소 증발량과 증발지연시간을 계산하여야 하며 증발지연시간을 포함한 방출시간동안 충분한 소화약제가 방출되도록 유량을 증가시켜 설계하여야 한다. 공기조기방출

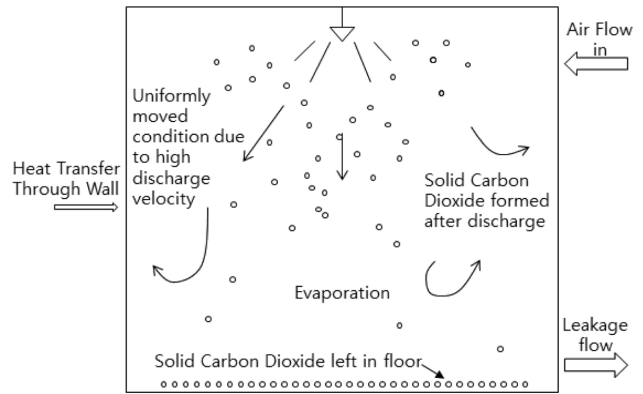


Figure 4. A schematic diagram of process during discharge.

장치를 적용한 원전의 저압이산화탄소 소화설비에서 증발 지연시간은 약 23초로 계산된 바 있다⁽¹⁰⁾.

2.3 방호구역에서 이산화탄소 거동 특성

Figure 4⁽⁸⁾는 방호구역에 이산화탄소가 방출될 때 거동 특성을 보여주고 있다. 기체 이산화탄소는 공기보다 1.5 배 무겁기 때문에 분사노즐에서 방출되면 방호구역 하부부터 농도가 높아지기 시작한다. 따라서 방호구역 개구부가 낮은 위치에 있을수록 소화약제의 손실률이 크다.

액상 이산화탄소가 방출되면 액체의 일부분은 순간적으로 기화되어 가스로 변하며 일부는 미세한 드라이아이스로 변화된다. 일반적으로 액체 이산화탄소가 방출될 때 저압식은 액체의 46%가, 고압식은 25%가 드라이아이스 상태로 변환된다⁽¹⁰⁾. 드라이아이스 크기는 저압식은 수백 μm인데 반해 고압식은 이보다 작다. 드라이아이스 크기가 크면 승화되는데 걸리는 시간도 증가된다. 저압식은 고압식에 비해 드라이아이스 생성량도 많고, 입자 크기도 크고, 승화에 걸리는 시간이 상대적으로 길다. 따라서 동일한 액체 이산화탄소를 방출하여도 드라이아이스 생성량의 차이로 인하여 공기 중의 이산화탄소농도는 저압식이 고압식에 비해 낮게 측정된다.

2.4 측정장치의 특성

Figure 5는 이산화탄소 소화설비 방출시험에서 사용하는 일반적인 측정장치의 배열을 나타내고 있다. 방출시험에서 측정할 수 있는 변수는 압력, 온도, 이산화탄소 농도 등이다. 측정기 지연시간은 계측기가 피할 수 없는 고유특성이며 계측기 종류마다 차이가 있다. 압력계는 측정지연시간이 거의 없는 반면에 온도계, 가스분석기 등은 측정지연시간이 발생한다. 계측기의 지연시간을 나타내는 지표로서 응답시간(response time)이라는 용어를 사용하며 응답시간이 작을수록 빠른 응답속도를 갖는 계측기이다. 일반적으로 정확도가 높은 산소농도분석기일수록 응답시간이 길어지는 경향이 있다.

위 시험장치에서는 길이가 40 m 이상이 되는 공기흐스

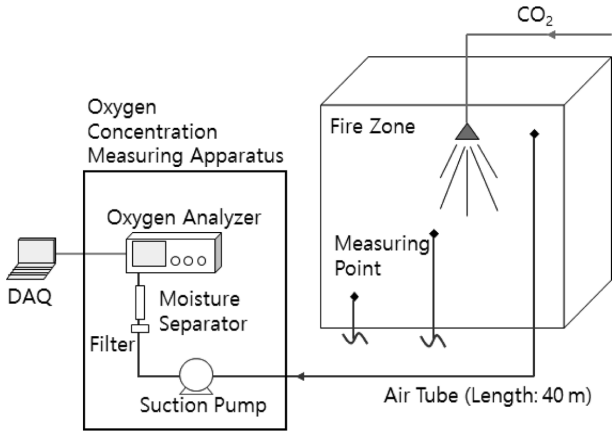


Figure 5. Arrangement of data acquisition device.

를 사용하여 방호구역의 공기가 이 호스를 이동하는 데에 40초 이상이 소요되었다. 공기 이동시간은 흡입펌프의 유량에 좌우되며 흡입펌프의 유량이 동일하지 않으므로 측정시간에 편차가 발생하게 된다. 따라서 방출시험에서는 측정 변수의 특성의 부합되는 계측기를 선정하고 시험 오차를 최소화하도록 측정장치를 설계하고 배치하여야 한다.

3. 이산화탄소 소화설비 성능시험 평가 방법론

이산화탄소 소화설비에서 이산화탄소 유체 거동 특성, 방호구역에서의 물리적 현상, 계측기 특성 등을 고려하여 저압식 이산화탄소 방출시험에서 평가기준 정립이 필요한 사항은 이산화탄소 방출시점 판단, 계측기 특성과 배관내 잔류소화약제 영향, 농도 측정지점의 위치와 수, 소화약제의 농도와 드라이아이스 생성 등이다.

3.1 이산화탄소 방출시점

국민안전처 고시 2013-56과 NFPA 12에서, 표면화재가 발생하는 방호구역은 기체 이산화탄소가 방출되는 것을 감지한 시점부터 1분 이내에, ISO 6183은 노즐에서 액체

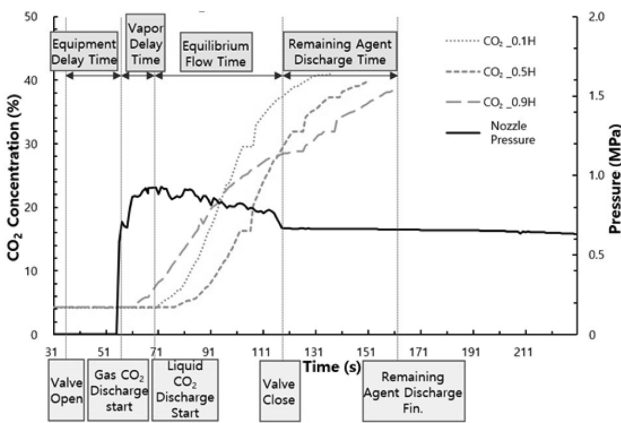


Figure 6. CO₂ concentration and nozzle pressure.

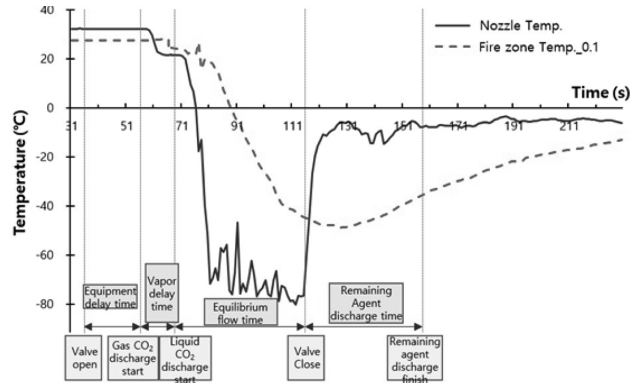


Figure 7. Temperature at nozzle and indoor.

이산화탄소가 방출되기 시작한 시점부터 1분 이내에 설계 농도에 도달해야 함을 규정하고 있다.

Figure 6, 7에서 보는 바와 같이 방출시험에서 선택밸브를 열었을 때 가장 먼저 측정되는 변수는 방출노즐의 압력이다. 높은 압력으로 저장되어 있는 이산화탄소가 방출되면서 배관 내에서 액체 이산화탄소가 증발됨에 따라 노즐에서의 압력이 급상승한다. 배관의 온도는 Figure 3에 제시한 공기방출단계 이후 저온의 이산화탄소가 배출되면서 급격히 낮아지게 된다. 그러나 온도계측기의 측정지연시간과 배관으로의 열전달 시간도 고려하여야 한다. 가스분석기에서는 이산화탄소가 배출되는 혼합방출단계에서 측정되기 시작한다.

ISO 6183에서 규정하고 있는 액체 이산화탄소가 노즐에서 방출되는 시점을 육안으로는 판단하는 것은 쉽지 않다. 고압식은 증발지연시간이 매우 짧기 때문에 노즐 온도가 급감하는 지점을 액체 방출시점으로 판단할 수 있다.

그러나 저압식은 방출지연시간이 길기 때문에 Figure 7에서 보는 것과 같이 노즐 온도가 단계를 거쳐 떨어지므로 액체가 방출된 시점을 정확히 판단하기 어렵다. 이러한 이유로 인해서 이산화탄소 방출시점을 비교적 정확히 판단할 수 있는 기준은 가스 농도이며 가스농도가 변화되는 시점을 방출 개시점으로 보면 된다.

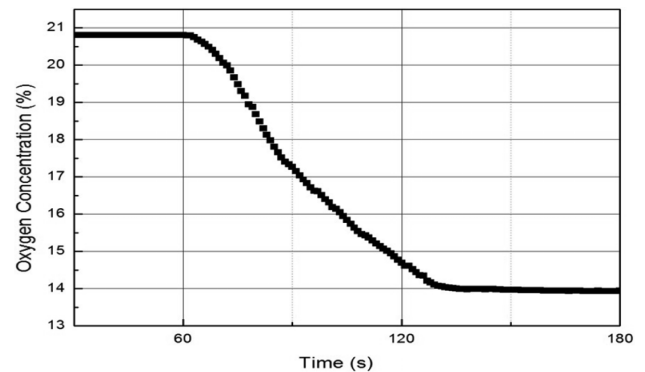


Figure 8. An oxygen concentration change in model test.

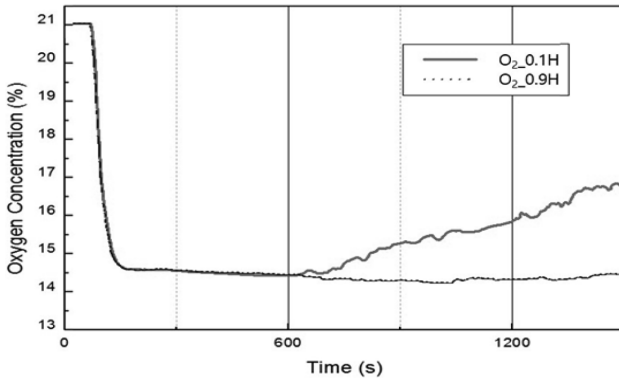


Figure 9. A result of discharge test in small fire area.

3.2 배관내 잔류 소화약제 영향

Figure 8에는 모의실험장치(방호구역 체적 108.8 m³) 방출시험에서 측정된 산소농도의 변화를 나타내었다. 모의실험장치에서는 배관 내에 잔류하는 소화약제의 영향이 없도록 분사노즐 전단에 밸브를 설치하여 60초 동안 개방하여 액상의 이산화탄소를 방출하였다. 그러나 유로가 차단된 이후에도 산소농도는 계속 낮아졌으며, 60초가 경과한 이후에야 산소농도가 안정되는 것을 확인하였다.

실제 현장에 설치되는 소화설비에는 모의실험장치와 같이 분사노즐 전단에 차단밸브가 설치되지 않으므로 배관에 잔류하는 소화약제가 지속적으로 분사된다. Figure 9에는 비교적 작은 방호구역에서 저압식 이산화탄소 소화설비 방출시험 결과를 나타내었다. 이 시험에서 이산화탄소 저장용기 차단밸브가 닫힌 후 10분이 지나서야 방호구역의 산소농도가 증가하기 시작하였다. 이는 장거리 배관에 남아있는 소화약제가 자체 증기압에 의해 지속적으로 방호구역으로 방출된 결과이다. 따라서 장거리 배관을 사용하는 이산화탄소 소화설비는 배관내의 잔류약제가 지속적으로 방출되므로 소화에 필요한 약제방출량은 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 신속한 화재진압을 위해 제한 시간 내에 설계농도에 도달하는 방출능력에 대해서는 방출시험을 통하여 확인하여야 한다.

3.3 소화약제 농도 측정지점의 위치와 수

Table 4에 나타낸 것과 같이 국민안전처 고시 2012-11 등에서는 높이가 상이한 3개 지점에서 각각 소화약제의 농도를 측정할 것을 요구하고 있다. NFPA 12에서는 이산화탄소 측정 위치 및 개수에 대한 기준이 없으므로 NFPA를 적용하는 미국 원전의 방출시험에서는 Table 5에서 보는 바와 같이 측정 위치와 개수가 상이하다.

이산화탄소 소화원리는 설계농도 이상의 이산화탄소가 가연물을 덮고 있으면 이로 인한 질식작용으로 소화가 되는 것이다. 즉, 가연물을 충분한 농도의 이산화탄소가 정해진 시간동안 덮고 있는가가 방출시험에서 판단 기준이 되어야 한다. 따라서 측정지점의 위치와 수는 방출시험에 대

Table 4. Code's Measuring Point of CO₂ Concentration

Code	Measuring points
NEMA 2012-11	3 Points (0.1 H, 0.5 H, 0.9 H)
FM 5600	Minimum 3 points (0.1 H, 0.5 H, 0.9 H, one at the highest hazard level)
ISO 6183	Minimum 3 points (one at the highest hazard level)
ISO 14520	Minimum 3 points (0.1 H, 0.5 H, 0.9 H, one at the highest hazard level)

Table 5. Measuring Points of CO₂ at On-site Test

Nuclear plants	Measuring points
Susquehanna	0.3 H, 0.6 H, 0.89 H, 0.95 H
Peach bottom	0.5 H
Watts bar #1	0.1 H, 0.45 H, 0.76 H
Watts bar #2	0.1 H, 0.41 H, 0.75 H

한 국외의 기준에서 요구하고 있는 바와 같이 높이가 세 개의 지점(0.1 H, 0.5 H, 0.9 H)으로 하고, 가장 높은 위험수준이 있는 지점에서 추가적으로 측정하는 것이 적절하다.

3.4 소화약제의 농도와 드라이아이스 생성

이산화탄소는 Figure 4에서와 같이 상부에서 하부 쪽으로 분사되고 공기보다 무겁기 때문에 방호구역에서 이산화탄소 농도는 하부가 높고 상부가 낮은 경향이 있다. 따라서 각 높이에서 측정된 값을 평균하여 계산하면 상층부의 농도가 허용치 보다 낮음에도 불구하고 평균농도가 만족되는 상황이 발생할 수 있다. 즉, 모든 높이에서 측정된 이산화탄소 농도가 허용치를 만족시켜야 된다. 그러나 이산화탄소가 방출되는 혼합모드에서는 방호구역의 구조, 가연물의 배치 등으로 인해 이산화탄소가 균일하게 혼합되지 않으므로 동일한 높이에서 측정된 농도를 묶어 평균값을 적용할 수 있다.

방호구역에 화재가 발생하는 경우를 가정하면, 화재에 의해 열량이 공급되어 실내 온도가 상승하게 되고, 실내 온도 증가는 드라이아이스의 승화를 촉진시키므로 화재가 없는 경우보다 이산화탄소 농도는 증가할 것이다. 그러나 현장에서 수행되는 완전방출시험은 가열원이 없이 현장온도 조건하에서 이루어지므로 화재가 발생하는 경우보다 이산화탄소 농도가 적게 측정된다고 예상된다. 이와 같이 방출시험에서 실내온도가 이산화탄소 농도에 미치는 영향에 대해서는 국내외 여러 논문에서 지적된 바 있다^(9,10).

NFPA 12에서 방호구역에 공급해야 하는 이산화탄소 약제량은 표면화재의 경우에 30 °C의 이산화탄소 가스 비체적을 이용하여 계산한다. 즉, 기술기준에서는 이산화탄소

액체가 모두 기체로 변하여 방호구역에 공급된다는 가정 하에 설계하고 있으나, 실제 방출시험에서는 이산화탄소 일부가 드라이아이스로 변하므로 측정되는 이산화탄소 농도는 계산치보다 적게 나오게 된다.

실제 화재 상황에서도 드라이아이스가 생성될 수 있으나 가스계 소화설비의 소화가능성은 설계농도 유지시간 확보 여부로 평가하는 것이므로 생성된 드라이아이스도 충분히 소화기능을 수행할 수 있을 것이다. 물론 냉동 창고처럼 저온으로 유지되는 방호구역의 경우에는 드라이아이스의 생성량을 고려하여 약제량을 추가해야 하지만 실내온도가 상온인 방호구역에서 소화약제 측정농도로만 시험 만족여부를 판단하게 된다면 과다한 소화설비 설계의 원인이 될 수 있다. 이산화탄소 소화설비에서 설계농도의 상한값은 규정하고 있지 않으나 과다설계는 방호구역 내에 설치된 중요 설비의 과냉 및 과압 피해 등을 야기할 수 있다.

3.5 한 개의 저압식 설비에 연결된 여러 방호구역의 성능평가 방법

가스계 소화설비의 소화성능을 확인하기 위해서는 소화약제 방출능력과 방호구역의 기밀도를 확인하여야 한다. 완전방출시험은 소화설비가 설치된 이후에 소화약제를 방출하여 배관의 압력 저하, 소화약제 분사량, 소화농도 유지능력 등을 확인하는 소화설비의 종합성능시험인 반면에 기밀도시험은 방호구역의 소화농도 유지능력을 확인하기 위한 부분적인 시험이다. 기밀도시험 방법으로는 Figure 10^(13,14)과 같이 도어팬시험, 추적가스시험 등이 있다. 완전 방출시험이 이산화탄소 소화설비의 성능을 확인하는 가장 확실한 방법이지만 방출시험에는 방호구역 온도 급랭으로 인한 설비 열충격, 중사자 질식 등과 같은 부작용이 따르므로 시험을 최소화하는 것이 바람직하다.

NFPA 12에서는 방출시험을 요구하고 있는 반면에 기밀도시험에 대한 규정이 없다. 청정소화약제 소화설비 기준인 NFPA 2001에는 방출시험 대신에 기밀도시험을 요구하고 있다. ISO 6183에서는 완전방출시험을 대신에 기밀

도시험으로 대체할 수 있다고 규정하고 있다. USNRC IN 92-28⁽¹¹⁾에서는 Vermont Yankee 원전에서 이산화탄소 소화설비가 설치된 후에 초기인수시험을 완전방출시험 대신에 기밀도시험으로 대체하였음을 언급하고 있다.

기밀도시험은 소화설비의 방출능력이 확인된 설비에 한하여 적용하는 것이 바람직하다. 즉, 하나의 액체이산화탄소 크로부터 여러 방호구역으로 연결된 저압식 이산화탄소 소화설비의 경우에는 대표 방호구역에 대해서 완전방출시험을 수행하고 나머지 방호구역에 대해서는 기밀도시험과 공학적 분석을 통하여 완전방출시험을 대체하는 방안을 들 수 있다. 이러한 방안은 소화설비의 성능을 확인하고 방출시험에 따른 위험을 최소화하는 두 가지 목표를 달성하는 합리적인 절충안이라고 판단된다. 완전방출시험을 기밀도시험으로 대체하고자 하는 경우에는 설계프로그램에 입력된 자료와 설치된 소화설비의 형상이 동일한지, 그리고 배관내의 유량, 압력 변화 등 소화약제의 유동특성에 대한 공학적 분석 결과를 제시하여야 한다.

4. 결 론

저압식 이산화탄소 소화설비의 성능을 확보하기 위해서는 국내 기술기준에는 요구하고 있지 않지만 NFPA 12에 따라 현장에서 완전방출시험을 수행하여야 한다. 그러나 현재까지 국내·외 기술기준에는 완전방출시험에 대한 세부적인 방법론이 정립되어 있지 않다. 본 연구에서는 국내 원전에서 수행된 방출시험 경험을 바탕으로 국내·외 기술기준을 검토하고 이산화탄소 소화설비의 유체거동 및 물리적 특성 등을 고려하여 현장 방출시험 평가기준을 수립하였으며 이를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 장거리 배관을 사용하는 이산화탄소 소화설비는 배관 내 잔류 소화약제가 지속적으로 방출되므로 소화성능을 확보하고 있으나 초기 소화성능을 확인할 필요가 있다.
- 2) 방출시점은 농도측정기의 이산화탄소 농도가 최초로 변화하기 시작한 시점을 기준으로 하고, 보조판단변수로 노출온도와 압력을 활용한다.
- 3) 계측기의 측정지연시간을 보상하는 것이 바람직하다.
- 4) 이산화탄소 농도측정위치는 0.1 H, 0.5 H 및 0.9 H로 하고 최상단 측정위치는 화재방호 대상물의 최고 높이 이상으로 하는 것이 바람직하다. 3개 높이에서 측정된 모든 이산화탄소 농도가 기준치를 만족하여야 한다.
- 5) 실내온도가 상온인 방호구역에서는 방출시험시 드라이아이스 생성으로 인해 이산화탄소 농도가 적게 측정되는 것을 감안하여 설비의 소화능력을 평가하는 것이 필요하다.
- 6) 방출시험으로 인한 부정적 효과를 줄이기 위해 여러 개의 방호구역이 하나의 소화설비에 연결된 다중 방호구역은 소화설비의 방출성능이 입증된 경우에 한해서 방출 시험을 기밀도시험으로 대체하는 방안이 고려되어야 한다.

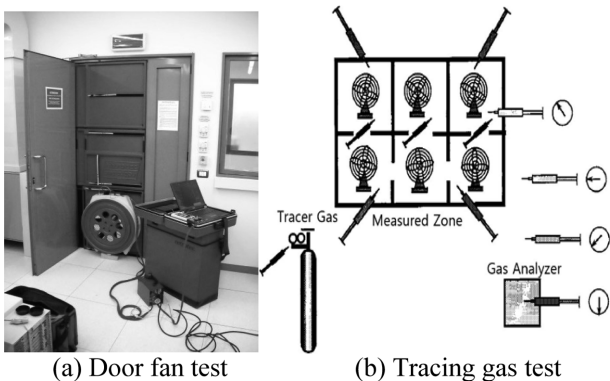


Figure 10. A type of integrity test.

References

1. NEMA, "The Certification Performance of Design Program and the Technical Standard of Product Inspection of Gas Extinguishing Systems", NEMA Notice 2012-11 (2012).
2. NEMA, "National Fire Safety Code of Carbon Dioxide Fire Extinguishing System", NFSC 106 (2013).
3. FM, "Standard for Carbon Dioxide Extinguishing Systems", FM 5420 (2007).
4. NFPA, "Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems", NFPA 12 (2011).
5. ISO, "Fire protection equipment-Carbon dioxide extinguishing systems for use on premises-Design and installation", ISO 6183 (2009).
6. KINS, "Technical Report on Discharge Testing Plan for Shin-kori 2, Shin-wolsong 1&2 Carbon Dioxide Extinguishing Systems" (2013).
7. KINS, "Technical Report on Discharge Testing for Shin-kori 2 Carbon Dioxide Extinguishing Systems" (2010).
8. R. Zalosh and C. W. Hung, "Carbon Dioxide Discharge Test Modeling", Worcester Polytechnic Institute, Fire Safety Science-4th International Symposium, PP 889-900 (1994).
9. W. K. Kim and K. S. Doh, "Theoretical Study and Discharge Testing for Agent Discharge Amount of Gaseous Fire Extinguishing System (I)", 2013 Fall Conference, KIFSE, pp. 69-70 (2013).
10. J. S. Ma, "A Performance Evaluation of Low Pressure Carbon Dioxide System based on Early-Air-Release Method for Emergency Diesel Generator Room in NPPs", Doctoral thesis, Jeonju University (2013).
11. USNRC, "Inadequate Fire Suppression System Testing", Information Notice 92-28 (1992).
12. ANSUL, "Carbon Dioxide Fire Suppression Systems", Brochure (2004).
13. <http://www.witantincendio.it>, "Door Fan Test".
14. ASTM, "Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution", ASTM E 741 (2006).