

가스계 소화설비의 개구부 보충량 추정에 대한 연구

정기신

세명대학교 소방방재학과

A Study on Estimating of Additional Gas for the Unencloseable Openings of The Gaseous Extinguishing Systems

Keesin Jeong

Dept. of Fire & Disaster Prevention of Semyung Univ.

(Received September 22, 2011; Revised October 18, 2011; Accepted December 7, 2012)

요 약

이산화탄소의 소화설비에는 개구부에 대한 소화약제 보충에 대해 구체적인 지침이 있다. 하지만 다른 가스설비, 청정 소화약제 설비에는 필요한 경우 적용하라는 원칙 외에 구체적인 조항이 없다. 따라서 이 연구는 이산화탄소의 개구부 약제 추가 공식을 우리가 현재 사용하고 있는 다른 가스계 소화약제에 적용하는 것을 제시하였다.

ABSTRACT

There are specific indications about additional gas for the unencloseable openings of the carbon dioxide extinguishing systems. But there are no indications for other gas extinguishing systems including clean agent extinguishing systems only have the principle when it need, apply it. Therefore, this study suggested applying the equation of additional gas for the unencloseable openings of the carbon dioxide to all of the other fire suppression gas that we are use.

Keywords : Additional gas, Unencloseable opening of enclosure, Carbon dioxide extinguishing system, Clean agent extinguishing system

1. 서 론

가스계 소화설비 중 이산화탄소소화설비에는 화재실 개구부의 약제량 보충에 대해 NFPA12에는 구체적인 지침이 있다⁽¹⁾. 하지만 청정소화약제설비 등 기타 가스설비에 대하여는 필요한 경우 연장방출 하라는 조항만 있을 뿐 구체적인 적용지침이 없는 상황이다⁽²⁾. 따라서 구체적인 지침을 제시하고 있는 이산화탄소소화설비의 경우를 청정소화약제 등 이산화탄소소화설비 이외의 가스소화설비에 적용시켜 보고자 한다. 이산화탄소소화약제가 화재실로 방출된 경우의 밀도와 화재실 밖의 공기밀도와의 차에 의해 개구부를 통하여 고밀도에서 저밀도로 유체가 흐르는 질량 유량에 근거한 식을 청정소화약제와 기타 가스소화약제에 적용하는 것은 유체역학적으로 문제가 없다. 이미 언급한 NFPA12에서 제시하는 방법에 의해 이산화탄소 심부화재와 표면화재에 적용하여 약제량을 산출 후 현재 우리가 사용하고 있는 이산화탄소소화설비의 화재안전기준에 의한 산출량과 비교하여 보고 또한 이 식을 이산화탄소 이외의

가스설비에 적용하여 보고자 한다⁽³⁾. 적용할 가스소화약제들은 현재 화재안전기준에서 승인된 것들로 한국소방산업기술원에서 FI인정을 받은 것 중 A급 화재에 대한 최소설계농도를 적용하여 보충량을 산출하였다. 화재실의 조건은 가스계소화설비의 설치대상 최소면적이 300 m²이므로 300 m²인 전기실로 가로 20 m 세로 15 m 높이 3.7 m를 적용하였고 개구부는 개구부중앙으로부터 천장까지의 높이가 1.5 m 이고 크기가 0.3 m×0.3 m인 것으로 하였다. CO₂의 설계농도는 심부화재는 50 %, 표면화재는 34 %로 하였고 기타 소화약제로 NAF-S는 8.6 %, FM-200은 7 %, FE-13은 12.4 %, HFC-125는 7.2 %, INERGEN은 37.5 %의 최소설계농도로 개구부 보충량을 산출하였다. 설계농도 유지시간의 적용은 이산화탄소 소화설비 심부화재의 경우는 약제방출7분에 농도유지시간을 20분으로 하는 것과 화재실의 이산화탄소 농도가 2분 내에 30 %에 도달하는 것 중 큰 방출량을 기준으로 하였으며 표면화재의 경우는 약제방출 1분에 농도유지시간 1분으로 하였다⁽¹⁾. 청정소화약제는 소화시험 시 재 발화방지 시간을 적용하여 10분간 설계농도

를 유지하는 것으로 하였다⁽²⁾.

2. 이산화탄소소화설비의 개구부 보충량 계산

2.1 심부화재

2.1.1 NFPA12 A.5.5.2의 식에 의한 계산

강제배기가 없는 구획실에서 개구부를 통한 가스누출속도는 주로 약제 방출 시 구획실의 농도와 구획실외부의 대기농도 차에 의해 발생한다. 식(1)은 이산화탄소의 손실속도를 계산하는 식으로 구획실의 상부에서 외부공기가 자유롭게 실로 들어와 가스누설이 충분히 이루어진다고 가정한다.

$$R=60C\rho A \sqrt{\frac{2gh(\rho_1-\rho_2)}{\rho_1}} \quad (1)$$

식(1)을 가로 20 m 세로 15 m 높이 3.7 m인 전기실로 폐쇄 불가한 개구부는 개구부중앙으로부터 천장까지의 높이가 1.5 m이고 크기가 0.3 m×0.3 m인 실의 심부화재에 적용한다. 식(1)우변에서 60은 kg/sec의 단위를 kg/min로 단위변환하기 위한 값이다. C는 CO₂의 농도비로 심부화재농도를 50 %로 하였으므로 0.5이다. ρ는 21 °C에서의 CO₂ 증기밀도로 이상기체상태방정식인 식(2)로부터 유도된 식(3) 좌변에 의해 계산된다.

$$PV=\frac{W}{M}RT \quad (2)$$

$$\frac{MP}{RT}=\frac{W}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (3)$$

따라서 CO₂의 증기밀도는 식(4)와 같이 1.824 kg/m³이다.

$$\frac{44 \times 1}{0.082 \times 294.15} = 1.824 \text{ kg/m}^3 \quad (4)$$

A는 개구부의 면적으로 0.09 m²이고, g는 중력가속도로 9.81 m/s²이다. h는 개구부 중앙에서 천장까지의 높이로 1.5 m이며 ρ₁은 약제방출 후 실의 밀도로 식(3)의 우변에 의해 계산되며 분모 V는 21 °C에서 이상기체의 체적으로 Charles's law인 식(5)에 의한다.

$$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2} \quad (5)$$

식(5)에서 21 °C에서 이상기체의 체적 V를 구하면 식(6)과 같이 계산된다.

$$\frac{22.4}{273.15}=\frac{V_2}{294.15} \quad V_2=24.12 \text{ m}^3 \quad (6)$$

실의 CO₂ 가스농도가 50 %이므로 나머지 50 %는 공기이다. 따라서 실내기체의 몰 무게 W는 식(7)에 의하며 식(6)과 식(7)의 결과로 약제방출 후 화재실 내의 밀도는 식(8)과 같이 된다.

$$28.84 \times 0.5 + 44 \times 0.5 = 36.42 \text{ kg} \quad (7)$$

$$\frac{36.42}{24.12} = 1.51 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (8)$$

식(7)에서 공기의 몰무게 28.84는 공기 중 질소가 79 %, 산소가 21 % 존재하는 것으로 가정한 것이다. ρ₂는 21 °C에서 대기의 밀도로 식(9)에 의하여 계산하였다.

$$\text{대기밀도} = \frac{\text{산소몰수} \times \text{산소비} + \text{질소몰수} \times \text{질소비}}{21 \text{ }^\circ\text{C에서 기체체적}} \quad (9)$$

따라서 식(9)에 해당 값들을 대입하면 식(10)이 된다.

$$\rho_2 = \frac{32 \times 0.21 + 28 \times 0.79}{24.12} = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (10)$$

이들을 식(1)에 대입하면 식(11)과 같다.

$$R = 60 \times 0.5 \times 1.824 \times 0.09 \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 1.5(1.51 - 1.2)}{1.51}} = 12.1 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \quad (11)$$

이는 0.09 m²의 개구부를 통하여 분당 12.1 kg의 소화약제가 화재실로부터 외부로 누출된다는 것이다. 총 누출시간은 방출시간 7분에 농도유지시간 20분을 더하여 27분으로 이 시간 동안 개구부에서 누출되는 가스량을 보충하여야 하지만 심부화재의 경우 2분 내에 CO₂ 농도가 30 %가 되어야 하므로 7분 동안 약제를 방출하는 것과 2분에 농도 30 %를 만들기 위해 방출하는 것을 계산하여 큰 것을 적용하여야 한다. 먼저 실의 CO₂ 농도를 50 %로 만들기 위해 필요한 CO₂의 저장량을 계산하기 위해서 Free Efflux Flooding방식에 의한 식(12)을 사용한다⁽⁴⁾.

$$e^x = \frac{100}{100 - \text{CO}_2 \%} \quad (12)$$

x는 화재실 1 m³를 설계농도인 CO₂ %로 만드는데 필요한 CO₂의 체적[m³]이다. x에 관한 식으로 정리하면 식(13)이 된다.

$$x = \ln \frac{100}{100 - \text{CO}_2 \%} \quad (13)$$

전기실의 체적은 식(14)와 같다.

$$30 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 3.7 \text{ m} = 1,110 \text{ m}^3 \quad (14)$$

이 실을 농도 50 %로 만드는데 필요한 CO₂량은 식(13)을 적용하면 식(15)가 된다.

$$1110 \times \ln \frac{100}{100 - 50} = 769.4 \text{ m}^3 \quad (15)$$

이 약제를 7분 동안 방출하려면 방출속도는 식(16)과 같다.

$$\frac{769.4 \text{ m}^3}{7 \text{ min}} = 109.9 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \quad (16)$$

또한 이 실의 농도를 30 %로 만드는데 필요한 CO₂의 량은 식(13)에 의해 식(17)이 되므로 이를 2분 동안 방출하는 방출속도는 식(18)이 되어 더 큰 방출량인 198 m³/min로 약제가 방출되는 것으로 한다.

$$1110 \times \ln \frac{100}{100-30} = 396 \text{ m}^3 \quad (17)$$

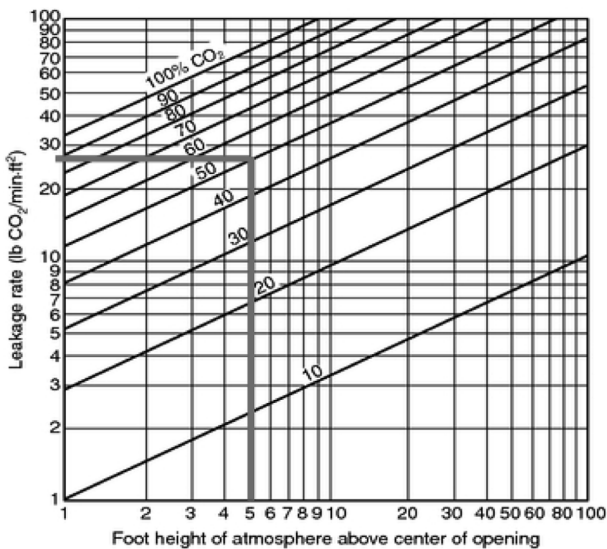
$$\frac{396 \text{ m}^3}{2 \text{ min}} = 198 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \quad (18)$$

따라서 총방출시간은 식(19)와 같이 3.9 min이 되므로 개구부누출을 위한 보충시간은 농도유지시간 20분을 포함하여 23.9분이 된다. 이는 보수적인 계산을 위해 방출시간을 추가한 것으로 방출시간을 무시하고 농도유지시간만을 고려하여도 문제는 없을 것이다.

$$\frac{769.4 \text{ m}^3}{198 \text{ m}^3/\text{min}} = 3.9 \text{ min} \quad (19)$$

따라서 식(1)에 의해 구해진 값인 12.1 kg/min 방출속도로 23.9분 동안 화재실 내에 추가방출하면 개구부를 통하여 내부와 외부의 밀도차에 의해 약제가 누출할지라도 CO₂ 설계농도인 50 %를 유지할 수 있을 것이다. 총개구부보충량은 식(20)과 같이 계산되어 289.2 kg이 필요하게 된다.

$$12.1 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times 23.9 \text{ min} = 289.2 \text{ kg} \quad (20)$$



For SI units, 1 ft = 0.305 m; 1 lb/min-ft² = 4.89 kg/min-m².

Figure 1. Calculated CO₂ loss rate based on an assumed 21 °C temperature within the enclosure and 21 °C ambient outside, deep seated fire.

2.1.2 NFPA12 Figure A.2.3(b)의 도표에 의한 계산

Figure 1은 CO₂ 가스가 개구부를 통해 단위면적당 방출되는 가스의 속도를 나타내는 것으로 식(1)을 간편화 한 것이다. Figure 1의 x축은 개구부 중심으로부터 천장까지의 높이이고 y축은 단위면적당 가스방출속도이며 내부의 우상향 사선은 CO₂의 설계농도를 나타낸다. 화재실의 개구부 중앙으로부터 천장까지의 높이는 1.5m로 5 foot에 해당하므로 x축 5의 위치에서 y축 방향으로 올라가 설계 농도인 사선 50과 만나는 점의 왼쪽 y축의 값을 읽으면 이것이 단위면적당 가스누출 속도가 된다. 이는 내외부의 온도가 21 °C라고 가정한 것으로 실제 설비에서는 가스방출로 화재실 내부의 온도가 감소하여 밀도가 높아지므로 가스방출속도는 증가한다.

y축의 값을 27.5라하고 MKS 단위로 바꾸면 식(21)과 같이 된다. 이는 단위 면적당 방출량이므로 실제 개구부 면적 0.09 m²를 고려하면 식(22)가 된다.

$$\begin{aligned} 27.5 \frac{\text{lb CO}_2}{\text{min ft}^2} \times \frac{0.4536 \text{ kg}}{\text{lb}} \times \frac{\text{ft}^2}{(0.3048 \text{ m})^2} \\ = 134.3 \frac{\text{kg}}{\text{min m}^2} \end{aligned} \quad (21)$$

$$134.3 \frac{\text{kg}}{\text{min m}^2} \times 0.09 \text{ m}^2 = 12.1 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \quad (22)$$

식(1)에 의한 계산값인 식(11)과 동일하게 산출되는 것을 볼 수 있으며 이를 간편하게 사용할 수 있도록 한 도표이다.

2.1.3 국가화재안전기준(NFSC106)에 의한 계산

이산화탄소소화설비의 화재안전기준(NFSC106)에 의한 개구부의 누설량계산식을 적용하면 식(23)과 같다.

$$0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} \times 10 \text{ kg/m}^2 = 0.9 \text{ kg} \quad (23)$$

2.2 표면화재

2.2.1 NFPA12 A.2.5.2의 식에 의한 계산

CO₂ 표면화재의 최소설계농도인 34 %를 적용하면 심부 화재의 경우와 달라지는 것은 CO₂의 농도비인 C값이 0.34가 되고 약제방출 후 화재실의 밀도인 ρ₁ 값이 식(24)와 같이 변하고 나머지 값들은 동일하게 된다.

$$\rho_1 = \frac{44 \times 0.34 + 28.84 \times 0.66}{24.12} = 1.41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (24)$$

이 값들을 식(1)에 대입하면 약제누출속도는 식(25)와 같이 된다.

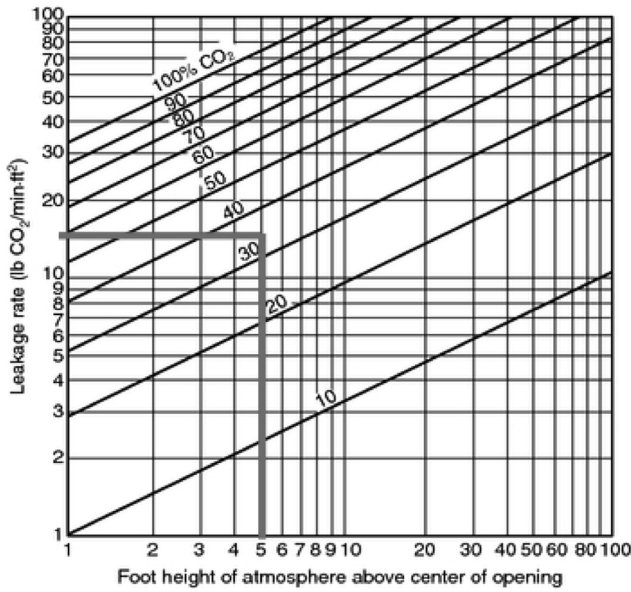
$$\begin{aligned} R &= 60 \times 0.34 \times 1.824 \times 0.09 \\ &\times \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 1.5 \times (1.41 - 1.2)}{1.41}} = 7.01 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \end{aligned} \quad (25)$$

이를 약제방출시간 1분에 농도유지시간 1분을 더하여 2분 동안의 보충량을 구하면 식(26)이 되어 총약제보충량은 14.02 kg이 된다.

$$7.01 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times 2 \text{ min} = 14.02 \text{ kg} \quad (26)$$

2.2.2 NFPA12 Figure A.2.3(b)의 도표에 의한 계산

화재실의 개구부 중앙으로부터 천장까지의 높이는 1.5 m 로 5 foot에 해당하므로 Figure 2의 x축 5의 위치에서 y축 방향으로 올라가 설계농도인 사선 34와 만나는 점의 왼쪽



For SI units, 1 ft = 0.305 m; 1 lb/min-ft² = 4.89 kg/min-m².

Figure 2. Calculated CO₂ loss rate based on an assumed 21 °C temperate within the enclosure and 21 °C ambient outside, surface-type fire.

y축의 값을 읽으면 이것이 단위면적당 가스누출 속도로 약 16이 된다. 이를 MKS 단위로 환산하면 식(27)이 된다. 이에 식(28)과 같이 개구부면적을 곱하면 실에서의 약제누출 속도가 된다.

$$16 \frac{\text{lb CO}_2}{\text{min ft}^2} \times \frac{0.4536 \text{ kg}}{\text{lb}} \times \frac{\text{ft}^2}{(0.3048 \text{ m})^2} = 78.12 \frac{\text{kg}}{\text{min m}^2} \quad (27)$$

$$78.12 \frac{\text{kg}}{\text{min m}^2} \times 0.09 \text{ m}^2 = 7.03 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \quad (28)$$

식(1)에 의한 계산값인 식(25)의 결과 7.01 kg/min와 거의 동일하게 산출된다.

2.2.3 국가화재안전기준(NFSC106)기준에 의한 계산

이산화탄소소화설비의 화재안전기준(NFSC106)에 의한 개구부의 누설량계산식을 적용하면 식(29)과 같다

$$0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} \times 5 \text{ kg/m}^2 = 0.45 \text{ kg} \quad (29)$$

2.3 개구부 보충량 비교

2.3.1 심부화재

Table 2에서 나타나듯이 NFPA12의 개구부보충량 계산 방법인 식(1)에 의한 심부화재의 산출량은 289.2 kg이며 이산화탄소소화설비의 화재안전기준(NFSC106)에 의한 산출량은 0.9 kg이다. 동일한 개구부크기 0.09 m²에 대한 개구부 보충량의 차이는 321배의 차이가 난다.

2.3.2 표면화재

Table 2에서 나타나듯이 NFPA12의 개구부보충량 계산 방법인 식(1)에 의한 표면화재의 산출량은 14.04 kg이며 이산화탄소소화설비의 화재안전기준(NFSC106)에 의한 산출량은 0.45 kg이다. 동일한 개구부크기 0.09 m²에 대한 개구부 보충량의 차이는 31배의 차이가 난다.

Table 1. Molecular Weight of Agents

Agent		FK-5-1-12	HFC-227ea	HFC-23	HFC-125	IG-541	HCFC-Blend A			
							HCFC-123	HCFC-22	HCFC-124	C ₁₀ H ₁₆
Chemical Element	Weight	Novoc-1230	FM-200	FE-13		INERGEN	4.75%	82%	9.50%	3.75%
H	1.008		1	1	1		1	1	1	16
C	12.011	6	3	1	2	0.08	2	1	2	10
N	14.007					1.04				
O	15.999	1				0.16				
F	18.998	12	7	3	5		3	2	4	
Cl	35.453						2	1	1	
Ar	39.948					0.4				
Molecular Weight		316.044	170.029	70.014	120.021	34.067	152.931	86.468	136.476	136.234
							96.242			

Table 2. Additional Gas Quantity for Preserving Concentration at 0.09 m² opening of 1,110 m³ Enclosure

Kinds of Gas		Additional Gas [kg]	Design concentration	Concentration Keeping Time	
Carbon Dioxide	Deep Seated Fire	Equation (1)	289.2	50 %	Discharge Agent 7[min] or Agent Discharge Time due to Discharge Velocity of Reaching to 30 % in 2 [min] + Preserve Concentration 20 [min]
		Figure 1	289.2		
		NFSC 106	0.9		
	Flash Fire	Equation (1)	14.04	34 %	Discharge Agent 1 [min] + Preserve Concentration 1 [min]
		Figure 2	14.06		
		NFSC 106	0.45		
Halocarbonated Clean Agents	NAF-S		41.45	8.6	Discharge Agent 10 [sec] + Preserve Concentration 10 [min]
	NOVEC-1230		142.81	6	
	FM-200		73.88	7	
	FE-13		41.16	12.4	
	HFC-125		45.6	7.2	
Inert Gas Clean Agent	IG-541		41.9	37.5	Discharge Agent 1 [min] + Preserve Concentration 10 [min]

Table 3. The Quantity of Leakage Gas for 1 m²

Trade Mark	NAF-S	FM-200	FE-13	HFC-125	Novec-1230	INERGEN	CO ₂	
Agents	HCFC Blend A	HFC -227ea	HFC -23	HFC -125	FK-5 -1-12	IG -541	Flash Fire	Deep Seated
Design Concentration	8.6%	7%	12.4%	7.2%	6.0%	37.5%	34.0%	50.0 %
Gas Concentration Fraction	0.086	0.07	0.124	0.072	0.06	0.375	0.34	0.5
Molecular Weight [g/mol]	96.242	170.029	70.014	120.021	316.044	34.067	44	44
Gas Density [kg/m ³]	3.990	7.049	2.903	4.976	13.103	1.412	1.824	1.824
Density of Enclosure[kg/m ³]	1.436	1.605	1.407	1.468	1.910	1.277	1.41	1.51
Leakage Velocity [kg/min]	45.281	80.714	44.971	49.816	156.027	42.321	77.902	134.504
Additional Gas Discharge Time [min]	Discharge Agent 10 [sec] + Preserve Concentration Time 10 [min] = 10.17 [min]					11 [min]	2 [min]	23.9
Total Gas [kg] for 1 [m ²]	460.51	820.87	457.35	506.63	1586.79	465.53	155.80	3214.63

3. 청정소화약제에 적용

청정소화약제 및 기타 가스에 식(1)을 적용하기 위해서 가장 먼저 알아야 할 사항은 가스의 몰 무게이다. Table 1 이 밀도 차에 의한 개구부로의 약제방출속도를 계산하기 위한 대상가스의 몰 무게를 계산한 것이다. 가스의 몰 무게를 계산한 후 위에서 계산한 방법과 같은 방법으로 각 가스의 방출속도를 계산한다. Table 2가 각 대상가스들에 대하여 개구부 0.09 m²에 대한 보충량을 계산한 것이다. Table 3에는 이산화탄소와 그밖의 가스에 대하여 개구부 단위면적당(1 m²) 필요한 보충량을 계산하였다. 어떠한 소화약제 가스라도 식(1)을 이용한다면 화재실을 지정된 설계농도로 유지하기 위한 개구부의 보충량을 모두 구할 수 있을 것이다.

4. 결 론

이산화탄소소화약제가 화재실로 방출 된 경우의 밀도와 화재실 밖의 공기밀도와의 차에 의해 개구부를 통하여 고 밀도에서 저밀도로 유체가 흐르는 질량유량에 근거한 개구부 보충량 산정식을 이산화탄소소화약제와 청정소화약제 등 기타 가스소화약제에 적용하였으며 산정된 산출량을 국가화재안전기준에 의한 산정량과 비교하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 이산화탄소 소화설비에 적용되는 개구부 보충을 위한 소화약제 계산식과 이를 간편화한 그래프를 통하여 보충량을 계산하였다. 이 두가지 방법에 의한 계산결과가 일치함을 확인하여 다른 가스에 적용할 수 있도록 계산과정을 일반화 하였다.

2) 이산화탄소 소화설비 개구부 보충량 산정식을 이산화탄소설비와 동일한 방법으로 다른 가스소화설비의 개구부 보충량을 산정하는데 적용하였다. 각 가스별 설계농도, 분자량, 가스밀도, 가스방출 시 실의 밀도, 개구부를 통한 가스 방출 속도, 추가방출시간 등을 계산하여 각 가스별 개구부 단위면적당 필요한 가스량을 산출하여 제시하였다. 이산화탄소 이외의 가스에 대하여 폐쇄할 수 없는 개구부에 대한 보충량으로 이를 적용할 것을 추천한다.

3) 이산화탄소 심부화재의 경우 NFPA12 식에 의해 산출한 보충량과 이산화탄소소화설비의 화재안전기준(NFSC106)에 의한 보충량과는 약 321배의 차이가 또 표면화재의 경우는 약 31배의 차이가 난다. 이는 NFPA12 식에 의한 산출이 공학적인 근거에 의한 것이라고 볼 때 NFSC106에 의한 산출이 문제가 있는 것으로 개구부를 폐쇄시키지 않을 경우 개구부를 통한 과도한 약제의 방출로 인해 화재진압이 실패할 수 있으므로 개구부 보충량 규정은 조속한 개정이 필요하다.

명명법

- A: area of opening [m^2]
 C: CO₂ concentration fraction
 R: rate of CO₂ [kg/min]
 P: absolute pressure [atm]
 V: volume [m^3 , l]
 W: mass [kg, g]
 M: molar mass
 R': universal gas constant [atm · m³/kg · °K]
 T: absolute temperature [°K]
 ρ: density of CO₂ vapor [kg/m³]
 ρ₁: density of enclosure [kg/m³]
 ρ₂: density of surrounding air [kg/m³]
 g: gravitational constant [9.81 m/sec²]
 h: static head between opening and top of enclosure [m]
 x: volume of carbon dioxide added per volume of space [$m^3_{CO_2}/m^3_{space}$]
 e: 2.718 (natural logarithm base)

CO₂ %: design concentration of carbon dioxide

참고문헌

1. NFPA, "Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems 2008ed.", 5.3.5.1.1, 5.5.3, A.5.5.2.
2. NFPA, "Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems 2008ed.", 5.7.2, 5.6.
3. NEMA, "NFSC 106 Article 5 Clause 2 of Carbon Dioxide Fire Extinguishing System, Additional Gas for Unencloseable Openings".
4. S. U. Nam, "Design and Installation of Fire-fighting Facilities", 5th Edition, Seongandang, pp. 629-635 (2010).
5. S. M. Park, "A Study on Agent Leakage and Compensation through unencloseable Opening of Gaseous Extinguishing Systems", Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 2-9 (2000).
6. K. S. Jeong, "Estimation of Gaseous Agent for Additional Gas of Unencloseable Openings", Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 32-38 (2007).
7. S. M. Park, B. K. An and M. K. Kim, "Compensation for Leakage by Mixing Mode in Total Flooding Gaseous Systems", Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 101, pp. 160-167 (2004).
8. C. G. Jee, "Study on Comparison of Standards of Korean and American Clean Agent Fire Extinguishing Systems", Disaster Prevention and Insurance, Vol. 107, pp. 22-27, Vol. 108, pp. 24-29 (2005).
9. W. K. Lee, "Alternative Gaseous Fire Extinguishing Systems for Adaptable Electric Room", Korean Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers, Monthly Magazine, Vol. 15, No. 1, pp. 99-103 (1998).
10. C. W. Lee, "A Technical Description on the Safety Aspects related to Gas Suppression Fire Protection System", Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, May 01, pp. 21-29 (2002).