

혼합방식에 의한 전역방출방식의 가스계 소화설비 개구부 누설량 보충

박승민, 안병국, 김미경
(주)안국 이앤씨

Compensation for Leakage by Mixing Mode in Total Flooding Gaseous Systems

Seungmin Park, Byungkug An, Mekyoung Kim
Ankug Engineering & Consulting Co., Ltd

1. 서론

미국의 재보험기관의 하나인 IRI(Industrial Risk Insures)에서 1985년에 현장 검사시 전역 방출방식의 할론설비의 36%가 첫 번째 시험에서 실패하였고, 그 원인의 70%는 소화약제가 방호구역의 개구부를 통하여 누설되는 문제 때문이었다.

또는 UL2166(Standard for Halocarbon Clean Agent Extinguishing System Units)와 UL2127(Standard for Inert Gas Clean Agent Extinguishing System Units)에 의하면 청정소화약제의 A급 화재에 대한 성능평가는 소화약제 방사 후 10분간 설계농도의 유지시간후의 소화성능을 가지고 행하고 있다.

우리나라의 화재안전기준에는 이산화탄소소화설비와 할로겐화합물소화설비에 관하여는 개구부에 관한 소화약제 보상이 규정되었으나 청정소화약제에 관하여는 이와 관련된 규정은 없다. 그러나 어떤 종류의 가스계 소화약제든 소화약제가 방호구역내에 방사되며 시간의 흐름에 따라 소화약제의 농도 또는 방호할 수 있는 높이 즉 설계농도 유지 높이는 감소될 수 밖에 없다.

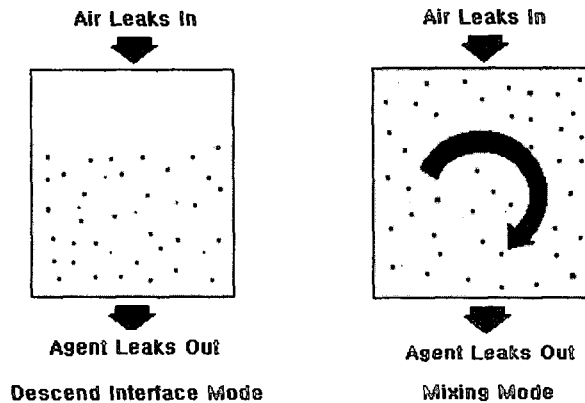
특히 방호구역내에 항온항습기가 설치되어 소화약제가 방사된 후에도 계속하여 작동되는 경우에는 혼합방식(Mixing Mode)에 의하여 방호구역의 소화약제의 농도가 변하는데 이때의 초기소화약제 농도와 설계농도유지시간의 관계와 우리나라 화재안전기준상의 소화약제 보상량의 적정성 여부를 미국 Retrotec Energy Innovation사의 Computer Program을 사용하여 평가해 보고자 한다.

2. 이론적 고찰

가스계 소화약제가 방사되어 가연물을 소화하려면 방호구역내 소화약제 농도가 설계농

도 이상에 도달된 이후에 완전히 소화되어 재발화하지 않도록 하기 위하여 유지되어야 하는 시간 또는 심부화재의 경우에 소화작용을 위해 가연물 내부로 침투하는데 필요한 시간이 있는데 이것은 설계농도시간 이라고 하며 우리나라의 화재안전기준에는 정하고 있지 않으나 미국의 NFPA Code와 IRI Code에서는 가연물질 종류와 가스계소화약제의 종류에 따라 최소 10분에서 30분 정도로 정하고 있다.

그러나 이 설계농도유지시간은 방호구역 내에 존재하는 개구부의 크기와 위치에 따라서도 달라지지만, 또한 소화약제 방사후의 농도유지 방식에 따라서도 달라지며, 크기는 Descending Interface Mode와 Mixing Mode로 나눈다.



2-1 방호구역 내에서의 설계농도유지시간

o 초기의 방호구역내의 소화약제/공기의 혼합물질의 밀도

$$\rho_m = \left[\rho \frac{c}{100} \right] + \left[\rho_a \frac{(100-c)}{100} \right] \dots\dots\dots(1)$$

여기서 ρ_m : 소화약제/공기 혼합물의 밀도 [kg/m³]

ρ : 소화약제의 기체밀도[kg/m³]

ρ_a : 공기의 밀도[kg/m³]

c : 소화약제의 농도 [%]

o 방호구역내의 최 하단의 초기 압력

$$P_c = gHo(\rho_m - \rho_a) \dots\dots\dots(2)$$

여기서 P_c : 방호구역 내의 최 하단의 압력 [Pa]

g : 중력가속도 [9.81m/sec²]

Ho : 방호구역의 높이[m]

o 방호구역에서 외부로 누설되는 약제량

$$R = 60 C_f \rho A_L \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho_a)h}{\rho_m}} \dots\dots(3)$$

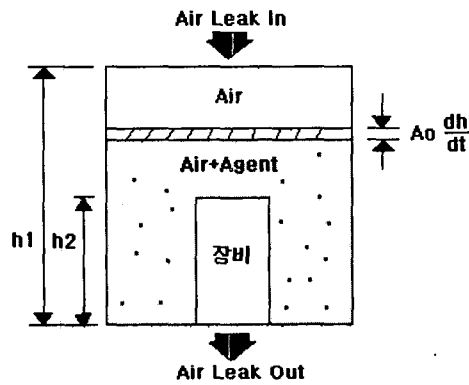
여기서 R : 방호구역에서 누설되는 약제량 [kg/min]

C_f : 소화약제 분율

A_L : 개구부의 크기(방출계수 포함) [m²]

h : 설계농도로 혼합된 소화약제의 높이 [m]

2-1-1 Descending Interface Mode



여기서 A_o : 방호구역의 면적[m²]

Descending Interface Mode에서의 필요한 설계농도 유지시간은 소화약제의 설계 농도가 방호구역의 전체높이(h_1)에서 보호하고자하는 장비의 높이(h_2)까지 내려갈 때까지의 시간이며 다음과 같이 정할 수 있다.

o 설계농도시간

식(3)에서

$$R = C_f \rho A_L \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho_a)h}{\rho_m}} \text{ 이므로}$$

$$C_f \rho A_o \frac{dh}{dt} = C_f \rho A_L \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho_a)h}{\rho_m}} \dots\dots(4)$$

$$dt = \frac{A_o}{A_L} \sqrt{\frac{\rho_m}{2g(\rho_m - \rho_a)}} \int_{h_1}^{h_2} h^{-\frac{1}{2}} dh \dots\dots(5)$$

여기서 $K_1 = \frac{A_o}{A_L} \sqrt{\frac{\rho_m}{2g(\rho_m - \rho_a)}}$ 라면

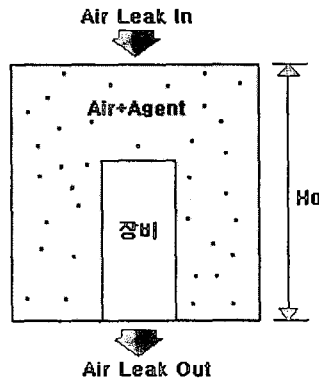
$$t = K_1 \int_{h_1}^{h_2} h^{-\frac{1}{2}} dh$$

$$t = 2K_1 [h_1^{\frac{1}{2}} - h_2^{\frac{1}{2}}]$$

따라서 Descending Interface Mode에서 필요한 설계농도 유지시간

$$t = \frac{A_o}{A_L} \sqrt{\frac{\rho_m}{2g(\rho_m - \rho_a)}} [h_1^{\frac{1}{2}} - h_2^{\frac{1}{2}}] \dots \dots (6) \text{ 이다.}$$

2-1-2 Mixing Mode



Mixing Mode 에서의 필요한 설계농도유지시간은 초기의 소화약제의 농도(C₁)에서 최소 설계농도(C₂)까지 내려갈 때의 시간이며 다음과 같이 정할 수 있다.

식(3)에서

$$C_f \rho A_L \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho_a)H_o}{\rho_m}} = \rho A_o H_o \frac{dc_f}{dt}$$

또 식(1)에서

$$\begin{aligned} \rho_m &= C_f \rho + \rho_a(1 - C_f) \\ &= C_f \rho + \rho_a - C_f \rho_a \\ &= C_f(\rho - \rho_a) + \rho_a \text{ 이므로} \\ C_f A_L \sqrt{\frac{2gC_f(\rho - \rho_a)H_o}{C_f(\rho - \rho_a) + \rho_a}} &= A_o H_o \frac{dc_f}{dt} \end{aligned}$$

$$dt = \frac{A_o H_o}{C_f A_L} \sqrt{\frac{C_f(\rho - \rho_a) + \rho_a}{2g C_f(\rho - \rho_a) H_o}} dc_f \dots\dots\dots(7)$$

여기서 $K_2 = \frac{A_o H_o}{C_f A_L \sqrt{2g(\rho - \rho_a) H_o}}$ 라면

따라서 Mixing Mode에서 필요한 설계농도시간

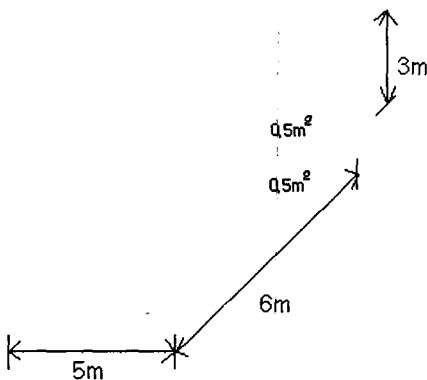
$$\begin{aligned} t &= K_2 \int_{c_{f1}}^{c_{f2}} \frac{1}{C_f} \sqrt{C_f(\rho - \rho_a) + \rho_a} dc_f \\ &= K_2 [2\sqrt{C_f(\rho - \rho_a) + \rho_a} + \rho_a \int_{c_{f1}}^{c_{f2}} \frac{dc_f}{C_f \sqrt{C_f(\rho - \rho_a) + \rho_a}}] \\ &= K_2 [2\sqrt{C_f(\rho - \rho_a) + \rho_a} + \ell_n \left| \frac{C_f}{C_f(\rho - \rho_a)} \right|]_{c_{f1}}^{c_{f2}} \\ &= \frac{A_o H_o}{C_f A_L \sqrt{2g(\rho - \rho_a) H_o}} [2\sqrt{C_f(\rho - \rho_a) + \rho_a} + \ell_n \left| \frac{C_f}{C_f(\rho - \rho_a)} \right|]_{c_{f1}}^{c_{f2}} \end{aligned}$$

.....(8) 이다.

3. Retrotec 사의 Program(Clean Agent Version 2.0)을 이용한 평가

3-1 평가 대상공간의 선정

평가 대상 공간은 NFPA12 Appendix A에서 예시한 공간과 동일한 방호공간을 사용하였다.



- o 방호구역의 체적 : $54\text{m}^3(3\text{m} \times 6\text{m} \times 3\text{m})$
- o 방호구역의 높이 : 3m
- o 개구부의 면적: $1\text{m}^2(0.5\text{m} \times 2\text{개소})$

3-2 화재안전기준에 따른 검토

3-2-1 Halon 1301

- o 최저 설계농도 : 5%
- o 소화약제량
 - = $(54\text{m}^3 \times 0.32\text{kg}/\text{m}^3) + (1\text{m}^2 \times 2.4\text{kg}/\text{m}^2)$
 - = 19.6kg
- o 초기농도 : 5.58%
- o 설계농도 유지시간
 - Mixing Mode : 0.1분
(최저설계농도 5%까지 내려가는데 걸리는시간)
 - Descending Interface Mode : 0.2분(장비높이를 2.5m로 가정시)

3-1-2 이산화탄소 소화설비

1) 심부화재

- o 최저 설계농도 : 50%
- o 소화약제량
 - = $(54\text{m}^3 \times 1.6\text{kg}) + (1\text{m}^2 \times 10\text{kg}/\text{m}^2)$
 - = 96.4kg
- o 초기농도 : 62.23%
- o 설계농도 유지시간
 - Mixing Mode
0.2분(농도 50%까지 내려가는데 걸리는 시간)
0.5분(농도 34%까지 내려가는데 걸리는 시간)
 - Descending Interface Mode : 0.2분

2) 표면화재

- o 최저 설계농도 : 34%
- o 소화약제량
 - = $(54\text{m}^3 \times 0.9\text{kg}/\text{m}^3) + (1\text{m}^2 \times 5\text{kg}/\text{m}^2)$
 - = 53.6kg
- o 초기농도 : 41.81%
- o 설비농도 유지시간
 - Mixing Mode
: 0.2분(농도 34%까지 내려가는데 걸리는 시간)

- Descending Interface Mode : 0.2분

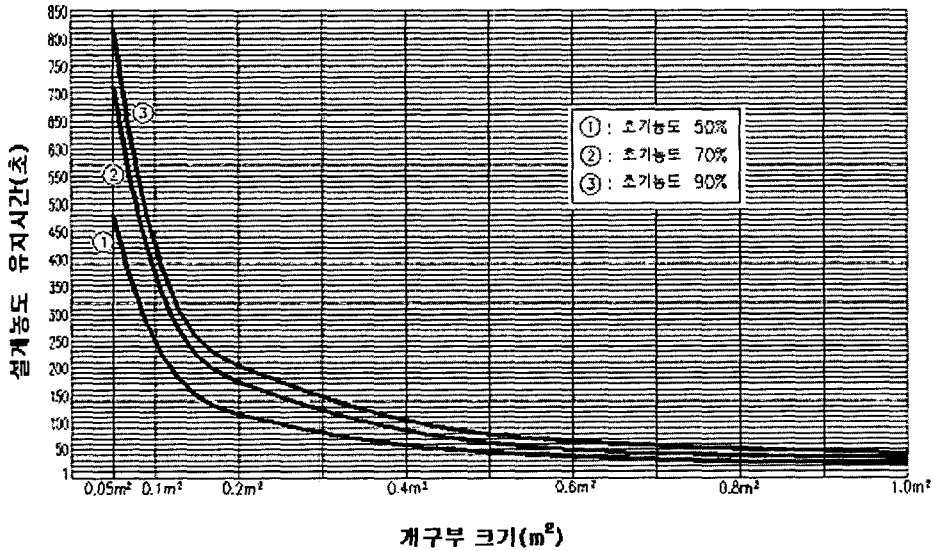
3-3 Mixing Mode에서의 초기농도와 개구부 크기에 따른 설계농도 유지시간의 관계

- o 소화약제 : 이산화탄소
- o 설계농도 : 34%
- o 설계농도 유지시간(초)

개구부 크기(m ²)	초기 농도(%)										*개구율
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
1m ²	24	28	31	33	36	37	39	40	41	42	1.11%
0.8m ²	30	35	39	42	44	47	48	50	51	52	0.89%
0.6m ²	40	46	52	56	59	62	64	66	68	69	0.67%
0.4m ²	59	69	77	84	89	93	96	99	102	104	0.44%
0.2m ²	119	139	155	167	172	186	193	199	204	208	0.22%
0.1m ²	238	278	310	335	355	372	386	397	407	415	0.11%
0.05m ²	476	556	619	670	711	744	772	795	814	831	0.05%

$$* \text{개구율} = \frac{\text{개구부 크기(m}^2\text{)}}{\text{전체방호구역 표면적(m}^2\text{)}} \times 100\%$$

(NFSC106 제52조제1호다목 / 제2호나목에서 정한 규정은 3%이하임)



Mixing Mode에서의 초기농도와 개구부 크기에 따른 설계농도 유지시간의 관계

4. 결과분석 및 결론

4-1 Halon1301 소화설비

할로겐화합물 소화설비의 화재안전기준(NFSC107) 제5조제1호 가목나목에 따르면 할론 1301의 경우 개구부의 면적1m²당 소화약제의 가산량은 2.4kg를 가산하도록 되어있으나, 이 경우 초기농도는 5.58%이며, 이 경우 Mixing Mode의 최저설계농도 5%까지 내려가는데 걸리는 시간 즉, 설계농도 유지시간은 8초에 불과하였고, 이것은 Descending Interface Mode 에서의 설계농도 유지시간 0.2분 보다도 오히려 부족하였으며 어느 경우라도 현재의 개구부에 대한 가산량은 설계농도를 유지시키는데 절대적으로 부족함이 확인되었다.

4-2 이산화탄소 소화설비

이산화탄소 소화설비의 화재안전기준(NFSC106)제5조제1호 다목 및 제2호 나목에 따르면 표면화재의 경우 개구부의 면적 1m²당 소화약제의 가산량은 5kg, 심부화재의 경우에는 10kg로 정하여져 있으나 개구부에 따른 보상량은 개구부의 면적 1m²당 10kg를 가산하여 초기농도 62.23%로 정하고 표면화재의 최저설계농도 34%까지 내려가는데 걸리는 시간도 Mixing Mode에서 불과 32초(0.5분)이었다.

4-3 기타

- 1) Mixing Mode에서의 초기농도를 높임으로써 설계농도 유지시간을 길게하는데 어느정도 도움은 되나 근본적으로는 반드시 개구부의 크기를 줄여야만 한다.
- 2) 특히 Mixing Mode 방식의 소화설비의 경우 화재안전기준에서 정한 개구율 3%는 설계농도유지시간을 지키는데 상당한 어려움이 있는 것으로 보였다. 특히 개구율이 0.1% 이상이 되면 방호구역의 특성에 따라 다소 차이는 있을 수 있으나 초기 농도만으로는 설계농도 유지시간을 확보하는데 상당한 문제가 있어 보인다.
이 경우 반드시 Extended Discharge방식으로 선정하여야만 설계농도유지시간을 확보할 수 있다.

참고문헌

1. 가스계 소화설비의 개구부를 통한 소화약제 누출 및 보상 문제에 관한 소고, 한국화재소방학회, 제1권제1호, 2000, 박승민
2. IRI Information IM.13.0.5.2, March 1, 2001
3. NFPA 12, Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems, 2000
4. NFPA 2001, Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2004