

이산화탄소 · 할로젠화물 소화설비의 구조 원리 및 점검 방법

옥내·옥외 소화전 설비 또는 스프링클러 설비 등 주수하여 소화하는 설비를 주수 소화설비라고 하는데 반해 불연성 가스 등 가스계 소화약제를 이용하여 소화하는 설비를 가스계 소화설비라고 하며 그 종류는

- (1) 이산화탄소 소화설비
- (2) 할로젠화물 소화설비
 - (가) 할론 1301 소화설비
 - (나) 할론 2402 소화설비
 - (다) 할론 1211 소화설비

가 있다.

이들 소화설비는 특수장소의 규모, 위험물 등 가연물의 저장 또는 취급량에 따라서 화재발생의 우려가 있는 부분, 실, 장소에는 법규에 맞는 소화설비를 설치하도록 의무화되어 있다.

가스계 소화설비의 소화약제는 어느것이나 저장 용기 등에 저장되어야 하고 방출은 자체의 증기압 또는 가압용 가스(질소 또는 이산화탄소)의 힘에 의해 이루어진다.

가스계 소화설비의 장점으로서는

- ① 소방대상물의 오손이 적다.
- ② 전기 절연성이 좋으므로 전기화재에 적합하다.
- ③ 자체의 증기압 또는 가압용 가스(질소 또는 이산화탄소)의 힘에 의해 방출되기 때문에 펌프 등을 작동하는 전력이 불필요하다 등이 있다.

한편 결점은 소화약제는 통상 1회를 소화할 수 있는 양 밖에 비치되어 있지 않기 때문에 1회의 방출만으로 끝나며 또한 고농도 가스는 인체에 위험을 주는점 등이다.

여기에서는 가스계 소화설비중 비교적 많이 설치되어 있는 이산화탄소 소화설비와 할로젠화물 소화설비 중 할론 1301 소화설비를 중심으로 설명하고자 한다.

1. 적용법규, 기준 등

이산화탄소 소화설비 할로젠화물 소화설비를 설치하는데 필요한 적용 법규, 기준 등에는 다음과 같은 것이 있다.

가. 소방법

소방대상물의 내용에 따라 2가지로 분류된다.

- (1) 소방법 제14조 : 위험물 등을 저장 및 취급하는 소방대상물

(2) 소방법 제29조 : (1)항 이외의 소방대상물

이하 본문의 설명상 (1)을 「위험물 관계」 (2)를 「일반소방대상물 관계」라고 한다.

나. 시·군 화재예방조례

다. 한국손해보험요율산정회의 소화설비 규정.

라. NFPA기준. 기타

이 가운데 가. 소방법, 나. 시·군 화재예방조례는 반드시 준수하지 않으면 안되는 기준이고 나머지 다른 것은 시설주에 대한 권장사항이다.

2. 연소와 이론

연소의 3요소라고 하면 종래에는 가연물, 산소 및 열이었다. 그러나 최근에는 연소가 계속해서 진행되는 현상은 산화반응이 연쇄적으로 진행되는 것으로 생각하여 오늘날에는 이 연쇄반응을 포함한 4가지를 연소의 요소라고 한다.

소화에 대해서는 앞에서 언급한 4요소중 어느 것인가를 제거하면 된다. 그 소화방법을 크게 분류하면 물리적인 작용에 의한 것과 화학적인 작용에 의한 것으로 나눌 수 있다.

가. 물리적 작용에 의한 소화

- (1) 연소물을 제거하는 방법
- (2) 연소기체의 조성변화(산소농도를 낮춘다)에 의한 방법.
- (3) 연소물을 냉각하는 방법.

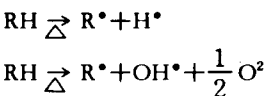
나. 화학적 작용에 의한 소화 : 연소의 연쇄반응을 억제하는 방법.

이산화탄소 소화설비는 “가”의 (2), (3)에 의한 소화방법으로서 이산화탄소를 방출하여 공기중의 산소 농도를 21%에서 약15% 이하로 감소시켜서 소화한다. 또 증발 잠열에 의한 냉각효과도 겸해 갖고 있지만 이 효과는 물에 의한 소화설비에 비하여 1/4정도 밖에 되지 않는다. 할로젠화물 소화설비는 “나”의 소화 방법 즉, 연소의 연쇄반응을 억제하는 방법(부촉매작용이라고 함)에 의해 소화를 하는 것이다.

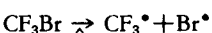
여기서, 이 부촉매 작용의 이해를 돕기 위하여 예를 들어 설명하면 우선 탄화수소를 가연물로 하여 이 연소계에 할론 1301을 방사한 경우의 연소 및 자유 라디칼 설에 의한 소화 과정에 대하여 설명하고자 한다.

먼저, 탄화수소는 열에 의해 분해하여 공기중의 산소와 산화반응을 일으키고 수소 라디칼(H•)과 수산기 라디칼(OH•)이 생성된다.

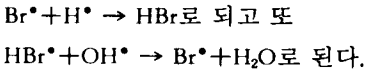
여기서 이들이 연쇄적인 반응으로 탄화수소에 작용해서 다음과 같이 계속하여 연소가 확대된다.



이 연소계에 할론 1301을 방사하면 할론은 가열 분해되어 브롬 라디칼(Br•)이 생성된다.



그리고 이 브롬 라디칼은 연소계의 생성물 수소 라디칼과 반응해서



이상과 같이 연소계의 활성화된 수소 라디칼과 수산기 라디칼은 브롬 라디칼의 부촉매작용에 의해 불활성으로 되어 연소의 연쇄반응이 억제되는 것이다.

※ 라디칼 : 화학 반응시에 분해되지 않는 하나의 분자에서 다른 분자로 이동할 수 있는 원자의 집단을 말함.

3. 소화약제의 특징

가. 이산화탄소

이산화탄소는 상온에서 무색, 무취의 기체로 전기 전도성이 없다. 또한 상온에서 액화되기 때문에 액화 가스로서 저장 또는 운반이 용이하다.

소화약제로서 분사헤드에서 방출할 때에는 급격히 기화되므로 일부는 드라이 아이스가 되어 방출되고 경우에 따라서는 결로되는 것도 있다.

가스 자체에 독성은 없지만 공기중에 다량으로 존재하면 산소부족(산소결핍)으로 질식한다. 통상 화재 시 이산화탄소 농도는 34%로서 그때의 산소농도는 약 14%가 되어 그 가스 속에서는 사람에게 위험하다. 비교적 제조가 용이하고 값이 싸며 구입하기도 쉽다.

이산화탄소의 주요 성질은 <표-1>과 같다.

<표-1> 이산화탄소의 주요성질

화 학 식	CO ₂
분 자 량	44.01
밀 도 (기 체)	1.9768 g/l 0°C, 1 atm
(액 체)	0.9088 g/ml 0 °C
(고 체)	1.56 g/ml -79 °C
용 점	-56.6 °C 5.2 atm
비 점 (승 화)	-78.5 °C
임 계 온 도	31.0 °C
임 계 압 력	72.9 atm
용 해 열	45.2 cal/g
증 발 열	137.04 cal/g

나. 할론 1301

할론 1301의 역사는 비교적 짧다. 1960년 미국에서 개발되어 1970년 NFPA에서 소화약제로 받아들여져 규격이 제정되었다. 국내에 도입된 것은 1973년 2월 8일 개정된 소방법에 증발성 액체 소화설비라는 이름으로 처음 도입되었으나 직접 할로젠화물 소화설비라는 기준은 없었다. 그후 1979년 4월 16일자로 제정된 소방검정규칙 중 증발성 액체 소화설비 점검기준에 할로젠화물 소화약제가 명기되었고 실용화된 것은 1980년대 초 이후부터 이다.

할론 1301은 상온, 상압에서 무색, 무취, 투명한 기체이며 전기 전도성이 없고 밀도는 공기의 5.3배이다.

67℃ 이하에서 압축하면 액화가스가 된다. 할론 1301과 이와 유사한 할로겐화물 소화약제의 주요 성질은 <표-2>와 같다.

(표-2) 할로겐화물 소화제의 주요성질

구 분 \ HALON명	HALON 1301	HALON 1211	HALON 2402
FLON 명	FLON 13B1	FLON 12B1	FLON 114B2
화 학 명	Bromotrifluoro-methane	Bromochlorodifluoromethane	Dibromodetrafluoroethane
화 학 식	CF ₃ Br	CF ₂ ClBr	C ₂ F ₄ Br ₂
분 자 량	148.9	165.4	259.8
비 점 (1기압)	-57.8℃	-3.4℃	47.3℃
응 점	-168.0℃	-160.5℃	-110.5℃
임 계 온 도	67.0℃	153.8℃	214.5℃
임 계 압 력	40.4 kg/cm ² abs	41.8 kg/cm ² abs	35.0 kg/cm ² abs
임 계 밀 도	0.745 g/cc	0.745 g/cc	0.790 g/cc
포화증기압 (21℃)	14.0 kg/cm ² G	1.7 kg/cm ² G	0.4 kg/cm ² G
액체밀도 (25℃)	1.499 g/cc	1.820 g/cc	2.160 g/cc
가스밀도 (1기압 21℃)	6.20 kg/m ³	6.86 kg/m ³	10.8 kg/m ³
가스비용적 (1기압 21℃)	0.16 m ³ /kg	0.15 m ³ /kg	0.09 m ³ /kg
증 발 잠 열	28.4 Kcal/kg	32.0 Kcal/kg	27.6 Kcal/kg
독성 (ALC 농도)	5,070 mg/l	2,220 mg/l	1,340 mg/l

할론 1301의 장점은 이산화탄소에 비하여 저농도에서 소화가 가능하므로 이것은 산소농도의 감소가 적다는 것을 나타내고 있다. 예를들면 할론의 농도가 5%일 때 산소농도는 약19%가 되어 만일 사람이 이 정도의 가스를 들며 마셔도 큰 위험은 없다.

이 가스의 독성에 의한 인체에 미치는 영향은 <표-3>과 같다.

한편 할론 1301은 가열분해하면 플루오르화수소(HF), 브롬화수소(HBr), 브롬(Br)등의 유독물질을 생성하기 때문에 가스 방출시에는 가능하면 빨리 대피할 필요가 있다.

(표-3) Halon농도의 인체에 미치는 영향

Halon 1301	Halon 1211	폭로시간	영 향
7 V% 이하	2 ~ 3 V%	3 분	가벼운 지각 이상, 현기증
7 ~ 9 V%	3 ~ 4 V%	3 분	불쾌한 현기증, 맥박수 증가, 심전도는 변화없음
10 V%	-	1 분	가벼운 현기증과 지각 이상, 심전도는 연이어 혈압이 내려간다. 연이어 계속 폭로에 견딜 수 있음을 느낀다. 변화없음.
12 ~ 15 V%	5 V%	1 분	심한 현기증과 지각 이상, 심전도 파고가 낮아진다. 1분이상은 폭로에 견딜 수 없다. 폭로 중지 후 1 ~ 5분 동안에 회복된다.

Halon농도별 인체의 마비를 일으키는 시간(분)

〈표-3-1〉

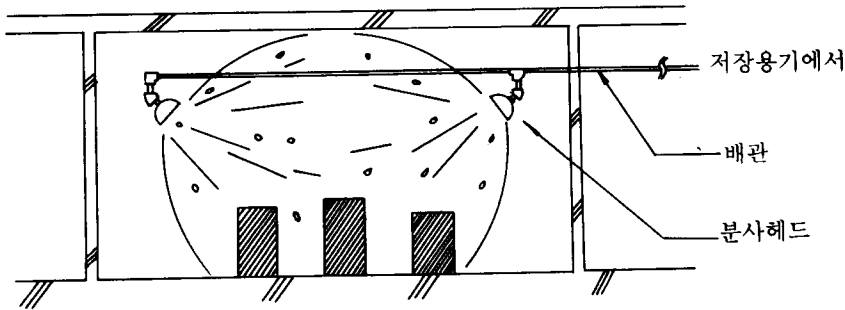
농도 (P.P.M)	Halon 1301	Halon 1211
122,000	-	8
200,000	-	3
320,000	15	1
500,000	11	
610,000	5	
700,000	2	

4. 방출방식의 종류와 적용

가스계 소화설비의 방출방식에는 전역 방출방식, 국소 방출방식 및 호스릴 방식이 있다.

가. 전역 방출방식

전역 방출방식은 불연재료로 주변을 거의 밀폐해 가깝게 구획된 실내 전체에 소화약제를 방사해서 소화를 하는 방식이다. 따라서 구획된 실내에서 화재발생 부위와는 관계없이 실내 전체를 소화약제로 충만하게 하는 것이다(〈그림-1〉 참조).



〈그림-1〉 전역방출방식의

전역 방출방식을 적용하기 위한 조건으로 소화 대상물의 실(이하 방호구역이라 한다) 이 거의 밀폐상태에 가까워야 한다. 그 때문에 외국(일본)의 경우 밀폐할 수 없는 개구부가 설치된 부분의 면적을 제한하고 있으나(〈표-4〉 참조) 우리나라에서는 개구부의 제한없이 자동폐쇄장치를 설치하거나 개구부 면적에 따른 소화약제량만 가산하여 산출하도록 하고 있다.

〈표-4〉

전역방출방식 개구부제한 (일본 소방법 중에서)

특수 장소의 종류	개구부의 면적
특수가연물을 저장하는 소방대상물 (이산화탄소의 경우 통신실 포함)	$A \leq 0.01 S$
상기 이외의 소방대상물	$A \leq 0.1 V$ 또는 $0.1 S$ 의 작은 값

A : 개구부의 면적 m^2 ,

S : 방호구역 벽면적 (천정과 바닥을 포함) m^2

V : 방호구역 용적 m^3

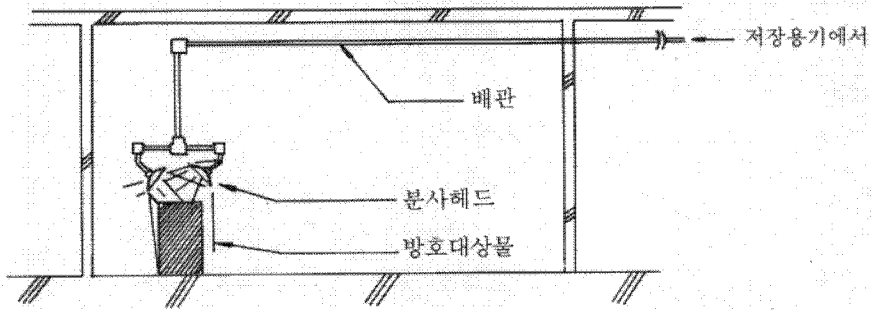
※ 개구부의 위치가 층고의 2/3이하에 있는 개구부는 자동폐쇄 장치를 설치하여야 하고 층고의 2/3를 초과하는 경우 <표-4>를 적용한다.

전역 방출방식을 적용할 수 있는 소방대상물로서 전산실, 주차장, 보일러실, 전기실 등 전기설비가 설치되어 있는 장소를 들 수 있다.

항상 사람이 출입하는 실에 있어서는 이산화탄소 소화설비보다 할론 1301 소화설비가 적합하다.

나. 국소 방출방식

국소 방출방식은 방호 대상물이 넓은 구역 내에 있을 경우 또는 그 하나의 구역이 전역 방출방식 처럼 밀폐할 수 없는 경우에 적용하며 소화약제는 방호대상물 만을 포용하도록 방사하는 방식이다(<그림-2> 참조)



<그림-2> 국소 방출방식

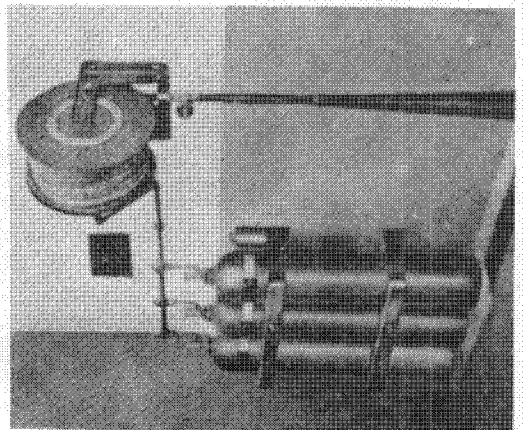
또한 「일반소방대상물 관계」에 있어서 환기장치는 전역 방출방식과 같이 작동 전에 정지되지 않으면 안 된다.

국소 방출방식으로 적합한 것으로는 공장의 압연기, 도장기, 발전기, 변압기 및 상부가 개방된 유류 저장탱크 등을 들 수 있다.

다. 호스 릴 방식

화재시 연기가 중단되지 않아 사람이 용이하게 접근할 수 있는 장소에 사용하는 것으로서 사람이 릴에 감긴 호스를 풀어 방호 대상물에 직접 소화약제를 방사해서 소화하는 방법이다(<사진1> 참조).

호스 릴 방식에 적합한 소방대상물로서 주차장, 전기실 등을 들 수 있다. 다만, 연기가 현저하게 적을 경우이므로 일반적으로 외기에 면한 개구부 부분의 면적이 바닥면적의 15~20% 이상되어야 한다.



<사진-1> 호스릴 방식

5. 소화약제량 등의 결정방법

가. 전역 방출방식

(1) 「일반소방대상물 관계」의 경우 전역 방출방식의 소요 소화약제량의 계산은 다음 식과 같다.

$$W = V \times K + \text{개구부가산량}(A \times K_1) \dots\dots\dots (1)$$

- W : 소요 소화약제량(kg)
- V : 방호구역의 체적(m³)
- K : 체적 1m³당 소화약제량(kg / m³)
- A : 개구부 부분의 면적(m²)
- K₁ : 면적 1m²에 대한 소화약제량(kg / m²)

방호구역의 체적은 건축 구조물의 경우 벽, 바닥, 천정의 내부 길이를 측정하여 계산하며 기둥, 보 등의 체적과 그 구역내에 들어있는 불연재료의 구조물 체적을 공제하는 것이 원칙이지만 그 차이가 극히 적은 것은 그러하지 않는 경우도 있다.

다만 할로겐화물 소화약제의 경우 구역내 들어있는 불연재료의 구조물의 체적이 클 때에는 인체에 위해하지 않는 허용농도를 확인할 필요가 있다.

NFPA의 할로겐화물 소화설비 설계시 허용농도는 할론 1301의 경우 10V%이하, 할론 1211의 경우 5V%이하, 할론 2402는 옥외에서만 사용토록하고 있다.

여기서 할로겐화물의 농도 계산식은 다음과 같다.

$$C = \frac{W_1 \times v_1}{V_1} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

- C : 농도(%) [할론 1301의 경우 10% 이하로, 할론 1211의 경우 5%이하로 한다]
- W₁ : 소화약제 전방출량(kg)
- V₁ : 방호구역 순 체적(m³)
- v₁ : 할로겐화물 소화약제의 체적비(m³ / kg)
(할론1301 : 0.16, 할론 1211 : 0.15임)

식(1)에서 K, K₁의 값 및 소화약제의 방출시간을 정리하면 <표-5>와 같다.

(표-5) 전역 방출방식의 소요 소화약제량(K, K₁) 및 방출시간

구분 약제 종류	소방대상물 또는 그 부분		방호구역의 체적 1 m ³ 에 대한 소화 약제량 (K)	가산량(개구 부면적 1 m ² 에 대한 소화 약제량 (K ₁))	방출시간
이 산 화 탄 소 소 화 설 비	특 수 저 장 · 취 급 장 소	전기실·통신기기실, 전산기기실	1.2 kg/m ³	10 kg/m ²	1 분이내
		고무류·면화류·목모·대패밥·넙 마·종이·조각·사류 또는 벗집류 를 저장 취급하는 것	2.7 kg/m ³	20 kg/m ²	2 분이내 (고무류 제외)
		목재가공품 또는 톱밥을 저장 취급 하는 것	2.0 kg/cm ³	15 kg/m ²	7 분이내 (고무류 포함)
		합성수지류를 저장 취급하는 것	0.75 kg/m ³	5 kg/m ²	1 분이내
	※ 상 의 기 이 장 외 소	방호구역의 체적이 50 m ³ 미만	1.00 kg/m ³	5 kg/m ²	1 분이내
50 m ³ 이상~150 m ³ 미만	0.90 kg/m ³				
150 m ³ 이상~1,500 m ³ 미만	0.80 kg/m ³				
1,500 m ³ 이상	0.75 kg/m ³				

할로젠화물 소화설비	차고, 주차장, 전기실, 통신기 기실, 전산실 기타 이와 유사한 전기설비가 설치되어 있는 부분		할론 1301	0.32 kg이상 0.64 kg이하	2.4 kg/m ³	30 초이내	
	※ 제 4 류의 준위험물을 저장 취급하는 장소		할론 2402	0.40 " 1.1 "	3.0 kg/m ³		
			할론 1211	0.36 " 0.71 "	2.7 "		
			할론 1301	0.32 " 0.64 "	2.4 "		
	특수 가연 물	고무류, 목재가공품, 튕밥, 면화류, 목모, 대패밥, 종이조각, 사 류 또는 벗집류를 저 장 취급하는 것		할론 1211	0.60 " 0.71 "		4.5 kg/m ³
				할론 1301	0.52 " 0.64 "		3.9 "
합성수지류를 저장 취 급하는 것				할론 1211	0.36 " 0.71 "	2.7 kg/m ³	
		할론 1301	0.32 " 0.64 "	2.4 "			

(가) 제 4 류 위험물중 이황화탄소·에테르·에틸알콜·벤젠·헥산·펜탄을 저장·취급하는 소방대상물 또는 그 부분에 있어서는 상기표중 소화설비의 소화약제에 따라 "※" 표시가 있는 부분을 적용함.

(표-6) 위험물에 따른 소화약제 할증계수

저장·취급대상 위험물	이산화탄소	에테르	에틸알콜	벤젠	헥산및펜탄
기준수	2.6	1.47	1.35	1.11	1.03

※ 이산화탄소 및 할로젠화물 소화설비에 모두 동일하게 적용함.

(2) 「위험물 관계」의 경우

(가) 제4류 위험물 중 이황화탄소·에테르·에틸알콜·벤젠·헥산 또는 펜탄을 저장·취급하는 소방대상물 또는 그 부분에 있어서는 필요한 소화약제 소요량 산출 계산은 식(1)과 같다. 여기서 K, K₁의 값은 <표-5>와 같다. 다만 소화의 대상이 되는 위험물의 품목에 따라 식(1)에 의해서 산출된 소화약제 소요량에 <표-6>의 위험물에 따른 할증계수를 곱한 양을 소요량으로 한다.

참고로 NFPA의 경우를 예를들면 위험물 품목에 따라 설계농도가 정해져 있다. 할론 1301에 대한 NFPA의 설계농도 기준은 <표-7>과 같다.

(표-7) NFPA기준에 의한 할론 1301의 설계농도

품명	농도 %
아세톤	5.0
벤젠	5.0
에틸알콜	5.0
에틸렌	8.2
메탄	5.0
n-헵탄	5.0
프로판	5.2

※ 우리나라에서는 기준 없음.

(나) 환기장치가 설치되어 있고 그 환기장치가 정지할 수 없는 경우 그 환기장치에 의해 1분간에 환기되는 양 이상의 소화약제를 식(1)에 가산한다.

나. 국소 방출방식

국소 방출방식의 소화약제량 산출은 방호대상물의 상태에 따라 두 가지 방법이 있다.

(1) 면적법

<그림-3>에서 보는 바와 같이 윗면이 개방된 용기에 저장된 유류 등 화재가 1면에 한정되어 있고 가연물이 비산할 우려가 없는 경우에 적용한다.

소요약제량의 산출 계산은 다음 식과 같다.

$$W = S \times K \times \text{국소할증계수} \dots\dots\dots (4)$$

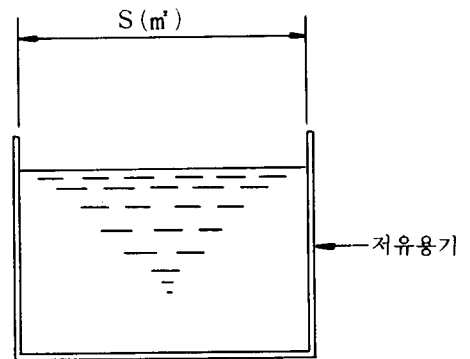
W : 소요 소화약제량 (kg)

S : 소화대상 면적 (㎡)

K : 면적 1㎡당 소화약제량 (kg / ㎡) (<표-8> 참조)

국소할증계수 : <표-8> 참조.

식(4)에 따른 K 값 및 방사시간 등을 정리하면 <표-8>과 같다.



<그림 - 3> 국소방출방식의 방호대상물 (면적법)

<표 - 8> 국소방출방식의 면적법에 의한 소화약제량 (K) 및 국소할증계수

구 분 약제종류	소화약제량 K (kg / ㎡)	국소할증계수	방 사 시 간 (초)	헤드의 방사 압력 (kg / ㎠)
이 산 화 탄 소	13	고압식 : 1.4, 저압식 : 1.1	30	고압식 : 14 저압식 : 9
할론 2402	8.8	1.1	30	1
할론 1211	7.6	1.25	30	2
할론 1301	6.8	1.25	30	9

※ 국소할증계수, 방사시간, 헤드의 방사압력은 면적법과 체적법에 동일하게 적용됨.

(2) 체적법

전항의 면적법 이외의 경우에 적용하며 방호대상물 주위를 입체적으로 가상한 방호공간의 체적에 따라 소요 소화약제량을 산출한다.

즉 방호대상물 주위의 0.6m 폭을 가상한 방호공간(<그림-4> 참조)으로 하여 그 체적을 산출하며 소요 소화약제량 산출계산은 다음과 같다.

$W = V \times Q \times \text{국소할증계수}$ (5)

W : 소요 소화약제량(kg)

V : 방호공간의 체적(m³)

Q : 체적 1m³당 소화약제량(kg / m³) (<표-9>의 소화약제별 체적당 소요 소화약제량(Q)산출표 참조)

국소할증계수 : <표-8>의 국소할증 계수와 동일함.

<표-9> 소화약제별 체적당 소요 소화약제량(Q) 산출표

소 화 약 제 구 분		산 출 식
이산화	준위험물의 경우	$Q = 8 - 6 \frac{a}{A}$
탄 소	위험물의 경우	$Q = 16 - 12 \frac{a}{A}$
할 로 겐 화 물		$Q = X - Y \frac{a}{A}$

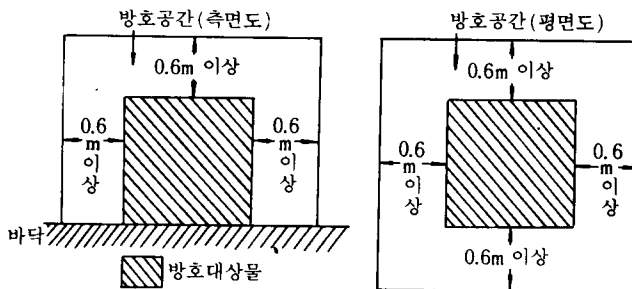
※ Q : 방호공간 1m³에 대한 소화약제의 량(kg/m³)

a : 방호대상물 주위에 설치된 벽의 면적의 합계(m²)

A : 방호공간의 벽면적(벽이 없을 경우 벽이 있는 것으로 가정한 부분의 면적)의 합계

X, Y 수치표

소화약제의 종류	X 의 수 치	Y 의 수 치
할 론 2402	5.2	3.9
할 론 1211	4.4	3.3
할 론 1301	4.0	3.0



<그림-4> 방호 대상물의 방호공간(체적법)

다. 호스릴 방식

소요 소화약제량 및 분당 방사 하는 소화약제량, 포용 범위는 <표-10>과 같다.

<표-10> 호스릴 방식의 소요 소화약제량 및 포용 범위

소화약제 종 별	구 분	노 즐 당 소요소화약제량	분당 방사하는 소화약제량 (20°C, 1노즐 당)	방호대상물의 각 부분으로 부터 하나의 호스 집결구까 지의 수평거리
이산화탄소		90 kg 이상	60 kg	15 m 이하
할 론 2402		50 kg 이상	45 kg	20 m 이하
할 론 1211			40 kg	
할 론 1301			35 kg	

- 다음호 계속 -