

청정소화설비(清淨消火設備)의 최신 동향

1. 머리말

최근 국내 소방업계와 화재분야의 연구 및 실무에 종사하고 있는 분들 사이에서 할론 소화설비를 대체할 청정 소화설비에 대한 논란이 활발히 진행되고 있다. 이것은 지구 환경 파괴의 주범의 하나인 할로겐화물의 규제를 철저히 하고 있는 국내·외적인 추세에 따른 것이라 하겠다.

1989년 1월 1일부터 발효된 몬트리올 의정서(Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer) 및 1992년 11월 개최된 제4회 몬트리올 의정서 체결국 회의 결과에 의하면 미국, EU, 일본 등 선진국 조항을 적용받는 나라는 1994년 1월 1일 이후부터는 특정 할로겐화물의 생산 전폐 및 기존 할론의 대기중 방출을 방지하기 위해 할론을 회수 재생할 것과, 우리나라와 같이 개도국 적용을 받는 나라의 경우에는 그 양을 점진적으로 줄여 2004년 1월 1일 이후에는 선진국의 경우와 같이 전면 금지키로 되어 있다.

본고에서는 소위 청정 소화약제라고 부르는 할론대체 신 소화설비에 관한 국내외의 개발 동향과 각 물질에 대한 특성, 평가 및 향후 대책에 대하여 국내외의 문헌을 참고, 개략적인 사항을 소개하도록 하겠다.

2. 청정 소화설비의 국내외 동향

미국에서는 NFPA가 1994년 NFPA 2001 청정 소화약제(Standard on Clean Agent Fire Extinguishing System)를 제정하는데 이어 할론대체 수계(水系) 소화설비인 NFPA 750 미분무수 소화설비(微噴霧水消火設備, Water Mist Fire Protection)를 1996년도 NFPA 연차총회에서 기준으로 채택할 예정이다.

FMS(Factory Mutual Research Corporation)와 UL(Underwriters Laboratories, Inc.)에서도 미분무수 소화설비를 일부 설비의 제한된 범위내에서의 적용을 인증하고 있다. 한편, 할로겐화물 소화약제의 완전 생산 중단으로 기존 할론의 할론 은행(Halon Bank)관리, 리사이

클(Recycle)제도를 적극 장려 및 활용하고 있다.

청정 소화약제로서는 FM-200, CEA-410, FE-13, Inergen 등이 보급되고 있으며 수계인 미분무수 소화설비도 활발히 연구, 개발중이다.

일본 역시 몬트리올협정의 선진국 조항을 적용받게 됨에 따라 할론뱅크 추진위원회가 설치되어 데이터 베이스 관리, 기존 할론의 적절한 회수 공급 및 유효한 활용을 추진하고 있으며 행정관서인 자치성소방청(自治省消防廳)에서는 '대체 할론의 소화성능과 독성의 평가 방법에 관한 연구'가 1993년부터 시작되어 완료되었다. '신 할론 소화제의 독성 평가 지침' 및 '신 할론 소화제의 소화성능 평가지침'이 공표된 바 있다. 그러나 할론대체 소화제 및 이와 관련된 설비의 기준은 아직 법제화되지 않았다. 다만 '가스계 소화설비의 취급에 관해서'를 1995년 5월 발표하여 설비의 설치에 따른 공사에 대해서는 민간단체인 재단법인 '일본소방안전센터'에 설치된 '가스계 소화설비 평가위원회'의 평가를 거친 약제

를 해당 가스 소화설비 등에 정통한 소방설비사에 일임하여 설비를 설치토록 하고 있다. 한편, '일본 소화장치 공업회', '손해보험요율산정회' 등에서도 많은 연구를 하고 있다.

EU제국에서도 NFC와 유사한 내용의 ISO 제정을 서두르고 있으며 Water Mist에 관한 연구 개발도 활발히 진행되어 실용화 단계에 있다고 한다.

우리 나라에서는 1995년 8월 내무부 고시 제1995-18호로 '할론 1301, 2402, 1211외의 소화약제로서 효과가 있는 물질의 종류 및 그 소화설비에 관한 기술기준'을 마련, 고시한 바 있다.

우리 한국화재보험협회에서도

한국화재안전기준(Korea Fire Safety Standard) KFS 132-1996 '청정 소화약제'가 곧 제정될 예정이다.

소방업계에서는 Y사의 FM-200(미국 KIDDE-FENWAL 기술도입), S사의 NAF S-Ⅲ(캐나다 North American Fire Guardian Technology, Inc. 기술도입), S사의 Inergen(미국 ANSUL사 기술도입) 등이 대표적으로 청정 소화설비를 취급하고 있다.

3. 할론 대체 청정 소화제 정보

가. 가스계 신소화제

(1) 특성

할론은 소화제로서 매우 우수

한 성질을 가지고 있어 통신 기기실, 주차장, 위험물 시설 등에 이용되고 있다. 이들 시설중 일부는 독성 위험이 있는 이산화탄소 소화설비로 대체하여도 문제가 되지 않을 것도 있다. 그러나 박물관, 도서관 등 공공성(公共性)이 높고 안전성이 극히 중요시되는 시설로서 방출시 재실자의 생명 위험 및 문화재의 손상이 예상되는 경우에는 할론 소화설비와 같이 독성이 적고 방호 대상물의 손상이 적은 소화제가 요구된다.

최근, 할론 대체 신소화제의 개발은 주로 미국에서 추진되고 있다. 신소화제는 계통별로 ① 알곤(Ar) 및 질소가스 등 불활성 기체단체(不活性氣體團體)

(표 1) 신소화제 정보(UNEP(유엔환경계획기구), 한국화재안전기준 KFS 132-1996)

소화제	명칭	상품명	화학식	소염농도(Vol%)	ODP	비고
할론계	할론 1301	할론 1301	CF ₃ Br	2.9-3.9	16	미국 3M사
후론계	HFC-23	FE-13	CHF ₃	12~13	0	미국 Dupont
	HFC-227ea	FM-200	C ₃ F ₇ H	5.8~6.6	0	¹¹ GLCC
	FC-3-1-10	CEA-410	C ₄ F ₁₀	5.0~5.9	0	미국 3M사
	HCFC-124	FE-241	C ₂ HClF ₄	?	0.22	미국 Dupont
	HCFC Blend A	NAF S-Ⅲ	HCFC-22 82% HCFC-123 4.75% HCFC-124 9.5% 유기물 3.75%	>11%	0.05	¹² NAFGT
	FIC-1311	Triodide Idogurd	CF ₃ I	2.7~3.2	0.008	¹³ NMERC
인너트계	IG-541	Inergen	N ₂ 52% Ar 40% CO ₂ 8%	29.1		미국 ANSUL사
	IG-55	Argonite	N ₂ 50% Ar 50%	30		
	IG-01	Argon	Ar 100%	30		

註1 : GLCC : Great Lake Chemical Company.

註2 : NAFGI : Canada North American Fire Guardian Technology.

註3 : NMERC : New Mecxico Engineering Research Institute

할론계(Halon) : 취소(Br)가 들어있는 후론가스. 취소는 오존층 파괴능력이 매우 높다. 몬트리올 의정서에 저축, 생산금지 추세
후론계(Fluorocarbon) : 탄화수소의 수소 원자중 적어도 1개를 불소로 치환한 화합물의 총칭. 비분해성이기 때문에 오존층을 파괴하는 것으로 지적, 사용 금지 추세.

또는 혼합물인 인너트(Inert)계 신소화제 ② 불소계 등 할로젠 원자를 분자내에 함유하고 있지만 종전 소화제보다 오존층을 적게 파괴하는 후론계 신소화제로 대별할 수 있다.

②의 신소화제에는 종래형을 개량한 불소계 물질외에 질소, 산소, 인 등 이종원자(異種原子, Hetero)를 함유한 것이 있으나 이들 이종원자를 포함한 신소화제는 아직 실용화 되지는 않고 있다.

유엔환경계획기구에서 발표한 개발 및 상용화된 할론 대체 신소화제는 <표 1>과 같다. 표내의 이너전(Inergen)계 소화제의 오존 파괴 지수(ODP)는 표시되지 않았으나 거의 0에 가깝다고 할 수 있다.

ODP가 0으로서 전역 방출방식 소화설비에 이용될 가능성이 있는 소화제를 <표 2>에 게재하였다.

(2) 소화성능

소화제의 소화성능은 그 목적에 따라 액체연료 등의 확산염(擴散炎)을 소화하는 성능으로 평가하는 방법과 연료-공기 혼합기의 예혼합염(豫混合炎)의 성능으로 평가하는 방법이 있다. 일반화재에 대한 소화성능은 확산염으로, 폭발억제 등의 목적에는 예혼합염으로 평가한다.

소화성능 시험은 컵버너 소염농도(消炎濃度)와 대규모 모형실 화재(大規模模型室火災) 소화실험에 의해 측정하는 방법이 있으나 컵버너 시험에 의한 결과치만을 소개한다.

(3) 독성

소화제는 소화에 사용되면 화염과 반응하여 변화되지만 소화설비의 점검시에 실수로 방호구획내에 분사되는 사고도 일어날 수 있기 때문에 소화제는 독성이 낮은 것이 요구된다. 현재 할론 대체로 고려되고 있는 가스계 소화제의 독성은 <표 4>와 같다.

(4) 대체 소화제의 비교 검토

최근 개발 내지는 실용화된 청정 소화약제에는 각각의 특성이 있다. 그러나 그 특성들이 소화제로서의 장점을 어느 정도

가지고 있느냐 하는 것은 실수요자에게 가장 중요한 문제가 아닐 수 없다. 우수한 청정 소화제로서 갖추어야 할 기본적인 특성을 몇 가지 들면,

- ① ODP가 0인 것.
- ② 소화능력이 우수한 것.
- ③ 독성이 낮은 것.
- ④ 지구 온난화 지수가 낮은 것.
- ⑤ 적절한 가격인 것.
- ⑥ 장기간 입수 가능한 것 등이다.

각종 청정 소화제의 특성 비교는 <표 5>와 같다.

<표 2> 입수 가능한 할론 대체 신소화제(한국, 일본)

종 류 별	명 칭	상 품 명	제 조 사
후 론 계	FC-3-1-10	CEA-410	미국 3M
	HFC-227ea	FM-200	미국 GLCC
	HCFC Blend A	NAF S-Ⅲ	캐나다 NAFGI
	HFC-23	FE-13	미국 Dupont
인 너 트 계	IG-541	Inergen	미국 Ansul
	질소	NM-100	일본 能美/고아쓰

<표 3> 각종 소화제의 n-헵탄, 에타놀에 대한 소염농도

연 료	소 화 제	소 염 농 도		소염농도비 (할론대비)
		일본소방연구소	UNEP	
n-헵탄	할론 1301	3.4	2.9~3.9	1.0
	HFC-23	12.4	12~13	3.6
	HFC-227ea	6.4	5.8~6.6	1.9
	FC-3-1-10	5.2	5.0~5.9	1.5
	IG-541	35.6	29.1	10.5
	IG-55	37.8	30	11.1
	IG-01	43.3	30	12.7
	질소	33.6	-	9.9
에타놀	할론-1301	4.1	-	1.0
	HFC-23	16.0	-	3.9
	HFC-227ea	8.2	-	2.0
	FC-3-1-10	6.9	-	1.7
	IG-541	38.7 ⁺¹	-	9.4
	IG-55	41.5 ⁺²	-	10.1
	IG-01	47.6	-	11.6
	질소	36.8	-	9.0

註1: 표는 질소, 이산화탄소, 알콘의 농도로부터의 계산치.

註2: UNEP: 유엔환경계획기구

〈표 4〉 할론대체 소화제의 독성(KFS 132-1996, NFPA 2001 1994년판)

명 칭	상 품 명	화 학 식	LC50 or ALC ¹¹	NOAEL ¹²	LOAEL ¹³
FC-3-1-10	CEA-410	C ₃ F ₁₀	>80%	40%	>40%
HBFC-22B1	FM-100	CHF ₂ Br	10.8%	2%	3.9%
HCFC Blend A	NAF S-Ⅲ	¹⁴	64%	10.0%	>10.0%
HCFC-124	FE-241	CHClFCF ₃	23%~29%	1.0%	2.5%
HFC-125	FE-25	CHF ₂ CF ₃	>70%	7.5%	10.0%
HFC-227ea	FM-200	CF ₃ CHFCF ₃	>80%	9.0%	10.5%
HFC-23	FE-13	CHF ₃	>65%	50%	>50%
IG-541	Inergen	¹⁵	N/A	43%	52%
Halon 1301		CF ₃ Br	>80%	5%	7.5%

註1: LC50은 60마리의 쥐에게 4시간 동안 노출시켜 14일간 관찰했을 때 그중 50%가 사망하는 농도이고,

ALC는 15분간 노출시켜 그 반수가 사망하는 농도(Approximate Lethal Concentration)

註2: NOAEL이란 NO Observed Adverse Effect Level의 약자로 무독성 농도(無毒性濃度)이며, 개가 심각한 심장부정맥증(心腸不整脈症)을 나타내는지 여부에 근거한다.

註3: LOAEL이란 Lowest Observed Adverse Effect Level의 약자로 독성이 인정된 최저농도이다.

註4: HCFC-123 4.75%, HCFC-22 82%, HCFC-124 9.5%, C₃H₂C₆H₈CH₃(메틸싸이클로hex산) 3.75%의 혼합물.

註5: 질소 52%, 알곤 40%, CO₂ 8%의 혼합물.

화재시 화염으로 인한 부식성, 유독성 분해 생성물이 생기기 때문에 다음 사항 또한 중요하다.

① 고감도인 화재감지장치가 필요하다. 화재규모가 적으면 적을수록 산성 분해 생성물량이 적다.

그러나 오동작을 최소한으로 하도록 시스템을 설계해야 한다.

② 구획내가 소화농도에 쉽게 도달해야 한다. 방출시간은 짧고(일반적으로 10초) 노즐의 설계 및 배치는 구획내에 균일한 농도에 즉각 도달해야 한다.

③ 실내의 밀폐도는 그 농도를 충분한 시간(사람이 필요한 조치를 할 수 있는 시간으로 보통 10분) 유지해야 한다.

④ 인간이 안정성을 확보하여 연소나 소화제의 분해 생성물에게 기기의 노출을 최소화하기 위하여 화재후 될 수 있는 한 빨리 구획내를 환기하는 수단을 설치해야 한다.

〈표 5〉 청정 소화약제의 소화 및 환경 특성 비교(火災 1995. 12월호)

명칭/상품명	소화농도	오존파괴지수 (ODP)	유독성 ALC/LC50%	할론 1301에 대한 저장량비
할론 1301 ¹¹	3.5%	12	80+	1:1
NAF S-Ⅲ ¹²	10.3%	0.04		
FM-200 ¹³	5.8%	0.04	80+	1.5:1
FE-25 ¹⁴	10.1%	0	70+	
FE-13 ¹⁵	13%	0	65+	2:1
CEA-410 ¹⁶	6.6%	0		
Inergen ¹⁷	약 50%	0	O ₂ 농도 12.5% 이하로 낮춤	10:1
Argonite	약 50%	0	"	10:1
이산화탄소 ¹⁸	최저 32%	0	"	3.5:1

註1: 1993년(한국 2003년) 12월 31일 제조 중지

註2: 1995년 12월 31일 유럽에서 방화설비에 사용불가?

註3: 분해 생성물: 할론 1301의 8배 이상 註6: 대기중의 잔존기간: 500년 이상

註4: 1995년 독성시험 완료 예정(일본)

註7: 이산화탄소는 호흡촉진 효과가 있음.

註5: 분해 생성물: 할론 1301의 30배 이상 註8: 부피농도 10%로 의식불명

〈표 6〉 INERGEN/FM-200/Halon 1301과의 비교(火災 1995년 12월호)

특 성	할론 1301	Inergen	FM-200
설계농도(부피 %)	5	50	7
유인구역에 대한 최대 허용 농도 ¹¹	7.5	560	9
최대 방출시간	10초	60/120초 ¹²	10초
분해 생성물의 발생비 ¹³	1	0	10+
가격비 ¹⁴	1	1	10

註1: 건강 및 안전성에 관한 법률내용에 따라 각국마다 상이함.

註2: 소화농도는 각각 35/60초에 도달함.

註3: 소화제를 적절히 사용하면 거의 문제가 안됨.

註4: 일정하지는 않음. 전체적인 시스템 비용의 비는 방화구획의 부피에 좌우됨.

〈표 7〉 수계 자동 소화설비와 할론 대체 가스계 소화설비(할로겐화물)의 환경 및 인체에 대한 영향

영향	수계 자동 소화설비	할론대체 가스 소화설비(할로겐 화물계)
환경에 대한 영향	환경에 미치는 영향은 없다 ^(註1) .	<ul style="list-style-type: none"> • ODP값은 0이고 오존층 파괴문제는 없다. • 100yr, GWP값^(註2)이 큰 것, 분자의 수명이 긴 것이 있고 지구 온난화에 대한 고려 필요
인체에 대한 영향	인체에는 무해	<ul style="list-style-type: none"> • 설계농도를 24% (질식 위험 때문) 또는 NOAEL^(註3) 중 낮은 쪽을 넘지 않도록 할 것. • 소화에 수반하여 발생하는 분해가스(불화수소) 인체에 위험

註1: 소화에 따른 오염발생. 소화 수량이 매우 적어 오염수는 거의 문제가 안됨.

註2: 100년 지구 온난화 계수. 100년 단위로 지구 온난화에 영향을 준 효과가 동등하게 되는 이산화탄소의 증량.

註3: 사람이 가스에 노출될 때 어떤 변화도 관찰되지 않는 최고농도. No Observable Advers Effect Level의 약자.

나. 수계 대체 소화설비

(1) 특성

수계 소화설비는 환경면이나 인체에 대한 영향면에서 가스계 대체 물질보다 훨씬 안전하고, 소화 능력면에서도 개발 여하 및 용도에 따라 매우 유망한 할론 대체 물질이 될 것은 자명한 사실이다.

〈표 7〉은 수계 소화설비의 환경 및 인체에 대한 영향을 할론 대체 물질과 비교 평가하였다.

(2) 연구개발 상황

최근 수계 소화설비중 할론 대체 소화설비로서 대체가 기대되는 미분무수 소화설비(微噴霧水消火設備)에 관한 선진국의 연구개발 상황은 다음과 같다.

4. 맺는 말

할론 대체 물질 즉, 청정 소화 약제로 개발 및 실용화되고 있는 후론계 가스 소화제는 그 특성에 따라 ODP는 낮지만 소화 성능이 낮거나 소화성능은 우수하지만 ODP가 높은 소위 제1세대 물질과, ODP도 낮고 소화성능도 우수한 제2세대 물질로 분류할 수 있다. 현재, 상품화되

고 있는 할론 대체 가스는 제1세대에 속한 것들이 대부분이다. 그러나 제1세대 물질 중 HCFC계열의 약제는 몬트리올 의정서에 따라 단계적으로 생산을 감축하여 2030년에는 생산을 전면 중단하여야 할 잠정물질(Transitional Substance)이거나 기타의 것은 어떤 방식으로든 규제가 예상되므로 한시적 설비에 많은 비용을 투자하는 것은 문제가 있다 할 것이다.

따라서, 앞서 언급한 내용을 참고하여 최적의 청정 소화설비를 할론 대체 설비로 선택, 설치하거나 제2세대 물질 또는 미분무수 소화설비가 실용화될 때까지 선진국에서 시행하고 있는 할론 은행 관리 등을 통해 기존 설비에 할론을 공급하는 방향이 바람직하다 하겠다.

◆ Water Mist System의 소화원리

① 냉각효과(연소열의 제거)

Mist(물안개)상의 물은 미립자(微粒子)로 총 표면적이 크게 되므로 열을 흡수하기 쉽다. 따라서 증발속도가 빠르고 이 증발과정에서 화재로부터 열을 제

거가 필요하다.

② 산소제거 효과(산소농도의 저하)

증발열에 의해 팽창한 수증기는 불 주위의 공기를 밀어내어 산소농도를 저하시킨다.

③ 복사열 차단효과(복사열의 감소)

Mist상의 물은 화원에서 방사된 복사열을 흡수하여 주변으로의 연소 및 플래쉬 오버 발생을 저지한다.☹



홍 세 권
(위험관리정보센터 기준연구팀장)