

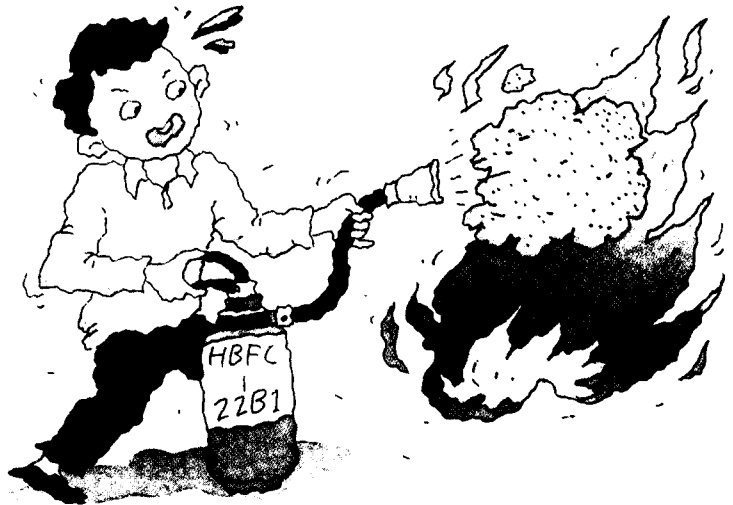
# 할론 대체물질 개발동향

김재덕, 이운용  
(한국과학기술연구원 CFC대체기술센터)

## 1. 머리말

할론은 인체에 미치는 독성이 적고 소화후에 잔사를 남기지 않으며, B급 화재나 C급 화재에 뛰어난 소화 능력을 갖고 있는 강력한 소화제이다. 그러나, 오존층 보호를 위한 몬트리올 의정서에 의해 선진국에서는 1994년부터 이의 생산이 중단되어 지금까지 할론1301과 할론1211을 사용하여 화재의 위험으로부터 귀중한 인명과 재산을 보호하던 곳은 새로운 대응 방안을 강구하지 않으면 안 되게 되었다. 그 대응 방법으로는 물, 이산화탄소, 분말 소화제, 포소화제 등 기존 소화제의 사용, 새로운 할론 은행 관리 제도에 의한 할론의 효율적 이용, 새로운 소화 시스템의 개발 등이 검토되고 있으나, 궁극적으로는 기존의 할론을 대체할 수 있는 대체 소화제가 개발되는 것이 가장 바람직하다.

이를 위해 1980년대 후반부터 미국에서는 연구소, 대학, 할론 생산 업체 및 이용 업체 등이 할론 대체 물질의 개발을 위한 Consortium을 형성하여 HBFC, HCFC, HFC 및 혼합 소화제 등의 제1세대 대체 물질을 개발하여 상품화가 이루어졌고 이것보다 소



화 성능이 우수한 FIC 등의 제2세대 할론 대체 물질을 개발중이다. 또한 1993년 5월 환경 보호청(EPA, Environmental Protection Agency)에서는 SNAP program (Significant Now Alternatives Policy Program)을 통해 총괄 소방 시스템과 휴대용 소형 소화기용으로 사용 가능한 대체 소화제의 종류를 확정하여 발표하였고, 1994년 2월에는 NFPA(National Fire Protection Association)에서는 Clean Agent에 대한 표준인 NFPA 2001을 확정하였다.

또한, 스웨덴은 Halotron이라는 할론 대체물질을 개발하여 시

판중이고, 일본도 공업기술연구소에서 할론 대체물질을 개발중이다.

이와같은 배경하에 본 고에서는 할론 대체 소화제의 요건 및 최근 할론 대체소화제의 개발 동향에 관해 기술하였다.

## 2. 대체후보 소화제

몬트리올 의정서에 의해 규제되는 할론의 대체물질 개발 연구가 1980년대 중반기부터 계속되어 지금까지 몇 가지 유력한 후보물질이 선정되어 시판되고 있다. 특히, 가장 활발하게 대체 청정소화제를 개발하고 있는 미국의 경우 다음과 같이 몇 가지 단계를 거친 후보 물질만이 시판될 수 있다.

〈표 1〉 유력한 할론 대체 후보물질

Group	Formula	Freon Name	상품명	제조회사
제 1 세대 할론 대체 물질	CHF <sub>2</sub> BR	HBFC-22B1	FM-100	GLCC
	CF <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>	HCFC-123	FE-232	Du Pont
	CF <sub>3</sub> CFHCl	HCFC-124	FE-241	Du Pont
	CF <sub>3</sub> H	HFC-23	FE-13	Du Pont
	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> H	HFC-125	FE-25	Du Pont
	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>	HFC-227ea	FE-200	GLCC
	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	FC-2-1-8	CEA-308	3M
	C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	FC-3-1-10	CEA-410	3M
	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	FC-5-1-14	CEA-614	3M
	N <sub>2</sub> 50~52% Ar 40% Co <sub>2</sub> 8~10%	IG-541	Inergen	Ansul
	HCFC-123 4.75% HCFC-22 82% HCFC-124 9.5% C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> 3.75%	HCFC Blend A (R-595)	NAF S-III	NAFG
	HCFC-123(Main) SF <sub>6</sub>	HCFC-Blend H	Halotron-1	APC
	제 2 세대 할론 대체 물질	CF <sub>3</sub> I	FIC-1311	Triodide

註) GLCC : Great Lakes Chemical Co.

NAFG : North American Fire Guardian Technology, Inc.

Ansul : Ansul Fire protection

APC : American Pacific Corp.

〈표 2〉 유력한 할론 대체 후보물질의 공인기관 등재현황

Freon Name	SNAP Program				NFPA 2001	UL	FMRC
	휴대용 소화기	총괄소방시스템					
		Occupied	Un-Occupied	Inerting			
HBFC-22B1	0	0	0	0	0		
HCFC-123	0						
HCFC-22		0	0				
FCFC-124		0	0		0		
HFC-23		0	0	0	0		
HFC-125			0	0	0		
HFC-134a		0	0				
HFC-227ea		0	0	0	0	0	
FC-2-1-8		0	0	0			
FC-3-1-10		0	0	0	0	0	
FC-5-1-14	0						
IG-541		0	0	0	0	0	
HCFC Blend A		0	0		0	0(ULC)	
HCFC-Blend B	0						
SF <sub>6</sub>		Test Use only					
FIC-1311			0				

註) UCL : Underwriter's lab. Canada

① 환경 영향성 : 대기청정법의 규정에 의한 SNAP Program<sup>1)</sup>

② 소방규격 : NFPA 2001 Standard<sup>4)</sup>

③ 소방 시스템 및 약제의 형식 승인

UL(Underwriter's Lab.):UL. 1058,

FMRC(Factory Mutual Research Corporation)

할론 대체 소화제는 특성에 따라 크게 제1세대 대체 물질과 제2세대 대체 물질로 구분된다. 현재 시판되고 있는 물질들은 CF<sub>3</sub>I를 제외하고 나머지는 모두 제1세대 대체 물질이다.

• 제1세대 대체 물질 : ODP는 낮지만 소화 성능이 낮은 물질 또는 소화 성능은 우수하지만 ODP가 높은 물질

• 제2세대 대체 물질 : ODP도 낮고 소화 성능도 우수한 물질

현재까지 대체 소화제로서 시판 중이거나 시판을 계획중인 물질들은 〈표1〉에 나타내었고, 대체 후보물질의 공인 기관에의 등재 현황을 〈표2〉에, 주요 물성은 〈표3〉에, 소화 성능은 〈표4〉에, 환경 영향성은 〈표5〉에, 대체물질의 독성은 〈표6〉에 나타내었다.

지금까지 개발된 할론 대체물질의 특성을 제품별로 검토하면 다음과 같다.

#### 가. HBFC-22B1

기존의 할론 소화제가 성층권의 오존을 파괴하는 이유는 안정한 화합물인 할론이 분해되지 않고 쉽게 성층권에 도달하여 할론에 함유된 브롬 원자가 오존과 반응하기 때문이다. 따라서 기존의 할론 소화제에 수소를 첨가하여 대

기권에서 이 물질이 쉽게 분해되어서 성층권에 도달하지 못하게 하는 의도로 개발된 물질이다. 다만 이 물질의 ODP가 1.1로 기존의 할론에 비해서는 현저히 낮긴 하지만 다른 대체 물질보다는 훨씬 높기 때문에 1996년 1월 1일부터는 사용이 금지되어 있다. 따라서 이 물질은 제한된 용도에서의 단기적인 drop-in 대체 소화제이다.

이 물질의 끓는 점이 영하 15.1°C로 할론1211과 할론1301의 중간 정도에 속해 있어 총괄 소방 시스템은 물론, 소형 소화기용으로도 사용될 수 있다. Heatane 불꽃의 소화 농도가 3.9~4.4%로 기존 할론1211에 비해 소화 성능이 약간 떨어지나, 끓는 점이 더 낮아 불꽃으로 더 잘 분사되기 때문에 일부는 보상이 된다. 사실 GLCC에서 수행한 소화 성능 시험 결과에 의하면 HBFC-22B1이 할론1211보다도 더 우수한 소화 성능을 보였다. 이처럼 우수한 소화 성능을 갖고 있는 이유는 분자내에 브롬 원자가 함유되어 있어 화학적 소화 성능을 갖고 있기 때문이다.

이 물질의 LC<sub>50</sub>은 10.8%이며, NOAEL이 2%, LOAEL이 3.9%이다. 이것은 할론1211보다 독성이 유사하거나 더 강하다는 것을 의미한다. 또한 field 소화 시험 결과, 소화후 생성된 분해 물질의 양은 할론1301보다도 더 작았다.

#### 나. FC-2-1-8

FC(Fluorocarbon)는 탄소원자에 접한 모든 물질이 불소인 물질을 총칭하는 것으로 미국 3M사가

〈표 3〉 주요 할론 대체물질의 물성

Freon Name	분자량	끓는 점 (°C)	밀도 (g/cc) (298K)	증기압 (ber) (298K)	역세 열용량 (kj/kg°C) (298K)	증발잠열 (kj/kg) at NBP
HBFC-22B1	130.9	-15.5	1.55 (15.7°C)	4.31	0.813	172.0
HCFC-123	152.9	27.9	1.475	0.9	1.017	170.0
HCFC-22	86.5	-40.7	1.177	9.39	1.096	233.0
HCFC-124	136.5	-11.0	1.364	3.86	1.13	194.0
HFC-23	70.0	-82.1	0.67	47.29	1.549	239.6
HFC-125	120.0	-48.5	1.249	13.71	1.260	164.7
HFC-134a	102.0	-27.0	1.202	7.1	1.427	215.7
HFC-227ca	170.0	-16.4	1.403 (21.1°C)	4.58	1.184	132.6
FC-2-1-8	188.0	-36.7	1.352	8.6		83.7
FC-3-1-10	238.0	2	1.517	2.90	1.047	96.3
FC-5-1-14	338	56	1.68	0.31		88.4
IG-541	34			150		
HCFC Blend A	92.9	-38.3	1.20	9.48	1.256	225.6
HCFC-Blond B	150.7	27	1.48	154.49		
SF <sub>6</sub>	146.1	-63.7	1.91	22.0		122.6
FIC-1311	195.1	-22.5	2.096	5.33	(V)0.362	112.8
Halon-1301	148.9	-57.8	1.538	15.97	0.873	118.9
Halon-1211	165.4	-3.4	1.85	2.8		193.5

소화제로 개발하여 발표하였다. 이 FC계 물질은 깨끗하고, 안정되어 있고, 독성이 없고, 불활성이며, 비전도성이며, ODP가 0이다.

FC-2-1-8은 끓는 점이 영하 36.7°C로 총괄 소방 시스템의 소화 약제로 적합하나 heptane 불꽃의 소화 농도가 7.3%로 같은 FC계열의 FC-3-1-10의 5.0%~5.9%보다 떨어진다.

다만 FC계 대체 물질은 다른 대체 물질에 비해 대기중 수명이 길어 지구 온난화에 미치는 영향

이 크기 때문에 SNAP Program에서는 제한된 용도에서만 사용이 허용되고 있다.

#### 다. FC-3-1-10

FC-3-1-10는 끓는 점이 영하 2.2°C로 총괄 소방 시스템에 사용되며, 소화농도가 5.0~5.9%로 비교적 소화 성능도 우수하다. 또한 NOAEL이 40%로 소화농도보다도 훨씬 높기 때문에 occupied area에서도 사용할 수 있는 장점이 있다.

같은 화재에 대해 FC-3-1-10

〈표 4〉 주요 할론 대체물질의 소화성능

Agent	불꽃소화농도(%) (n-Heptane)	Interting 농도(%) (Propane)
FC-2-1-8	7.3	
FC-3-1-10	5.0~5.9	9.0~10.3
FC-5-1-14	4.0~4.4	7.3
HBFC-22B1	3.9~4.4	8.0~11.7
HCFC Blend A	7.2	
HCFC Blend B	6.3~7.5	
HCFC-123	7.5	
HCFC-124	6.4~8.2	12.0
HFC-125	8.1~9.4	14.7~15.7
HFC-227ea	5.8~6.6	12.0(7.7)
HFC-23	12.0~12.7	19.8~20.2(14.7)
IG-541	29.1	50.5(40.0)
FIC-1311	3.1	5.1(5.1)
Halon-1301	2.9~3.9	4.3~6.0(3.1)
Halon-1211	3.8	
Halon-2402	2.1	

註) ( )는 Heptane Inerting Concentration(%)

은 할론1301에 비해 무게비로 약 2배의 양을 사용해야 소화할 수 있다.

현재 이 FC-3-1-10은 SNAP Program은 물론 NFPA 2001에 등재되어 있으며 UL에서 소화 약제 및 소방 설비의 Preengineered System에 대한 검토가 끝나고 현재 Engineered System에 대한 작업이 진행중이다.

**라. FC-5-1-14**

FC-5-1-14는 끓는 점이 56℃로 상온에서 액체인 휴대용 소형 소화기용 소화 약제이다. 소화농도는 4.0~4.4%이고 NOAEL은 18% 이상으로 독성이 비교적 낮다. 또한 소화시 발생하는 독성 열분해물질의 양도 Halon1211에 비해서 약 절반 정도에 불과하다.

이 물질도 다른 FC계 물질과

마찬가지로 GWP가 높아 미국에서는 제한된 용도에서만 사용할 수 있도록 규정되어 있다.

**마. HFC-23(CHF<sub>3</sub>)**

FC(Fluorocarbon)에 수소가 첨가된 HFC(Hydrorofluocarbon)계의 대체 물질로 대기중 Life Time이 FC에 비해 줄어들어 GWP도 작도록 개발된 물질이다. HFC계 물질은 브롬과 염소도 함유하지 않아 ODP가 0이며 독성도 낮다. 다만, 이 물질의 단점은 브롬이 함유되지 않아 화학적 소화성능은 없고 물리적 소화 성능만 발휘하기 때문에 소화 성능이 기존의 할론에 미치지 못하는 점이다.

HFC-23은 미국의 du pont사가 FE-13이라는 상품명으로 개발한 총괄 소방 시스템용의 할론

대체 소화제이다. 이 물질은 처음에 화학 중간 원료, 냉매, etching제 등으로 사용되어 왔다. 4시간 동안 쥐의 50%가 사망하는 농도인 LC<sub>50</sub>은 65% 이상이고, NOAEL도 50%이어서 독성이 낮다.

반면에 불꽃 소화 농도는 14~15%로 할론1301소화 성능의 1/4정도이다. 단지 할론1301 1kg의 소화 성능과 같은 소화성능을 내기 위해서는 1.6kg의 HFC-23이 필요하나 HFC-23의 밀도가 낮기 때문에 부피로 환산하면 약 4배의 저장고가 필요하다.

HFC-23은 증기압이 높고, 밀도가 낮기 때문에 기존 할론1301 시스템을 사용할 수 없고, 다만 HFC-23의 증기압이 이산화탄소와 비슷하고 밀도는 더 커서 이산화탄소의 drop-in대체 물질로는 매우 유망하다. 따라서 이산화탄소에 비해 낮은 소화 농도, 낮은 독성 및 기존의 장치를 이용할 수 있다는 점이 매우 매력적인 장점이다. 다시 말해서 이산화탄소는 소화 농도가 작업 허용 농도보다 높아 사람이 존재하는 곳에서는 사용하기 어렵다. HFC-23은 임계온도가 25.9℃로 낮기 때문에 사용할 때 주의가 필요하다. 미국 NFPA Standard 12에 의하면 이산화탄소 용기의 최대 사용 온도는 54℃이고 영국 BS5306에 의하면 46℃이므로 25.9℃보다 높은 온도에서는 기체 상태로 배출되므로 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

**바. HFC-125**

이 물질도 미국의 du pont사가 FE-25라는 상품명으로 개발한 총

팔 소방 시스템용의 할론 대체 소화제이다. HFC-125는 할론1301과 아주 유사한 물성을 지니고 있다. 다만, 밀도는 1.249g/ml로 할론1301의 1.538g/ml보다 낮고 임계 온도도 비교적 낮기 때문에 용기에 대한 소화제의 저장 비율이 약간 떨어진다. 불꽃의 소화 농도는 8.1~9.4%로 할론1301에 비해 높으며 증발잠열은 27.1cal/g으로 할론1301의 19.7cal/g에 비해 훨씬 크므로 완전히 기화시켜 배출하는데 어려움이 있다.

NOAEL은 7.55, LOAEL은 10.0%이고 4시간 동안 쥐의 50%가 사망하는 농도인 LC<sub>50</sub>은 70%이상으로 독성이 비교적 적다. 그러나 NOAEL이 소화 농도보다 낮기 때문에 occupied area에서는 사용할 수 없다.

HFC-125는 안정성이 뛰어나기 때문에 대부분의 금속과 고무 등에 상용성이 있다. 이 물질은 현재 할론1301 가격의 2~3배이다.

HFC-125는 기존의 할론에 비해 소화 성능이 현저히 떨어지기 때문에 궁극적인 대체 물질이라기 보다는 drop-in 대체 물질이다. 이 물질은 기존의 총괄 소방 시스템 시설을 약간 보완만 하면 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다. 다만 미국이나 영국에서 할론1301의 설계 농도는 5%이지만 HFC-125의 경우 설계농도는 약 12%를 유지해야 하므로 더 큰 저장 용기가 필요하다.

#### 사. HFC-227ca

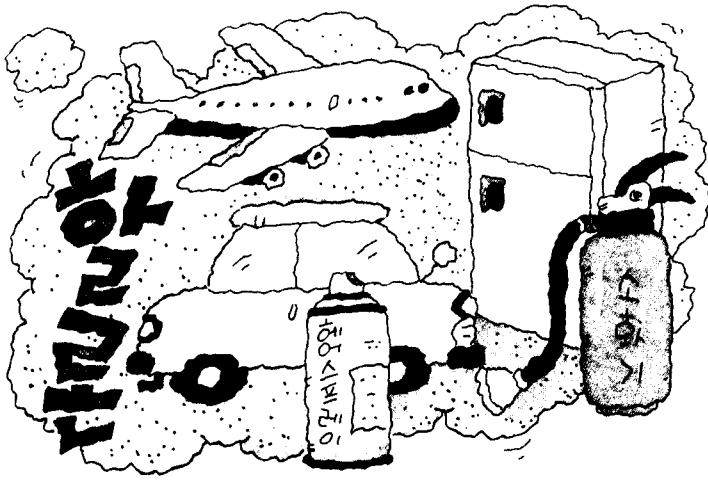
미국의 Great Lakes Chemical 사가 FM-200이라는 상품명으로 개발한 소화제로 ODP가 0이며

(표 5) 주요 할론 대체물질의 환경 영향성

Agent	대기중 수명 (Yr)	100yr GWP	ODP
FC-2-1-8	3,200	6,100	0
FC-3-1-10	2,600	5,500	0
FC-5-5-1-14		5,200	0
HBFC-22B1			1.1
HCFC Blend A	16	1,600	0.044
HCFC Blend B	3.5~11		0.014
IG-541	negligible	0	0
HCFC-123	1.7	85	0.02
HCFC-124	7	430	0.02
HFC-125	41	3,400	0
HFC-227ea	35	2,900	0
HFC-23	300~400	9,000	0
SF <sub>6</sub>	3,200	16,100	0
FIC-1311	1.15 days	<1	<0.008
Halon-1301	107	4,900	14.1
Halon-1211	11		2.4
Halon-2402	20		2.6

(표 6) 주요 할론 대체물질의 독성자료

Agent	LC <sub>50</sub> 4hr or ALC	NOAEL	LOAEL
FC-2-1-8		30%	>30%
FC-3-1-10	>80%	40%	>40%
FC-5-1-14	(1hr)>30%	>18%	
HBFC-22B1	10.8%	2%	3.9%
HCFC Blend A	64%	10.0%	>10.0%
HCFC Blend B	>3.0%		
HCFC-123	8.5%	2.0%	
HCFC-124	23~29%	1.0%	2.5%
HFC-125	>70%	7.5%	10.0%
HFC-227ea	>80%	9.0%	10.5%
HFC-23	>65%	50%	>50%
IG-541		43%	52%
R-595	64%	10.0%	
FIC-1311	(15min)27.4	0.2%	0.4%
Halon-1301	>80%	5%	7.5%
Halon-1211	3.1~10%		



끓는 점이 영하 16.4°C로 총괄 소방 시스템에 적합하다. 이 소화제의 불꽃 소화 농도는 5.8%, 6.6%로 비교적 소화 성능이 우수한 편이다.

독성은 NOAEL이 9.0%, LOAEL이 10.5%, LC<sub>50</sub>이 80% 이상으로 낮아 사람이 없는 곳은 물론, 사람이 있는 총괄 소방 시스템의 전영역에서 사용이 가능하다.

같은 크기의 화재를 소화하기 위해서 사용되는 할론 1301의 양보다 무게비로 1.7배, 부피비로 1.4배를 투입해야 한다. 현재 SNAP program, NFPA 2001, UL 및 FMRC의 Engineered System 및 Preengineered System에서 인증을 취득하였다. 소화 능력, ODP, GWP, 독성 등을 종합적으로 판단할 때 현재 개발된 HFC계 소화제 중에서는 가장 우수한 것으로 판단된다.

#### 아. HCFC-123

HCFC(Hydrochlorofluoro-carbon)는 브롬은 함유하지 않은 염화불화탄화수소로 현재 오존층 파괴의 주범으로 여겨지고 있는

CFC에 수소를 더 첨가하여 대기 권으로 방출되면 쉽게 분해되도록 하여 오존 파괴 능력을 낮추려는 관점에서 개발된 대체 물질이다 (ODP : 0.02).

HCFC-123은 Du Pont사에서 FE-232의 상품명으로 개발된 것으로 끓는 점이 27.9°C로서 휴대용 소화기용이며 또, 액체 상태로 분사에 의한 냉각 효과가 있어 A급화재에도 사용될 수 있다. n-Heptane, 불꽃의 소화 농도는 7.5%로 할론1211의 약 1.9배 정도이다. 따라서 계산상으로는 할론1211 2.42 lb와 같은 등급을 받기 위한 HCFC-123의 양은 (2.42×1.9)4.6lb이지만 실제로는 이보다 거의 두배의 HCFC-123이 필요하다. 이것은 이 물질의 휘발성이 낮아 쉽게 기화되지 않음으로 해서 효과적으로 소화에 참여하지 않기 때문이다. 만약, 액체를 미세하게 분사하면 이 단점을 어느 정도 극복할 수 있다. 특히, 분사제로 질소 대신에 HFC-23을 사용할 경우 더욱 미세 구조로 분사된다.

HCFC-123는 심장 운동에 민감한 영향을 보이지만 돌연변이나 기형을 발생시키지 않는다. LC<sub>50</sub>은 32%, NOAEL은 2.0%로 비교적 낮은 독성을 갖고 있다.

HCFC-123의 실용성을 보면 대부분의 일반적인 금속에는 함께 사용할 수 있지만 강한 용해력을 갖고 있어 일부 탄성체는 과도하게 swelling시킨다.

HCFC-123과 같은 HCFC계 물질은 오존층 보호를 위한 몬트리올 의정서에서 경과 물질로 규정되어 있어 2030년에는 생산이 금지된다.

#### 자. HCFC-124

HCFC-124는 HCFC-123과 마찬가지로 HCFC계 물질로 끓는 점이 영하 11.0°C인 총괄 소방 시스템용 소화제이다. HCFC-124는 du Pont사에서 FE-241이라는 상품명으로 판매되고 있다.

n-Heptane 불꽃의 소화 농도는 6.4~8.2%이고, 독성은 LC<sub>50</sub>이 23-29%, NOAEL이 1.0%, LOCAL이 2.5%이다 할론1301과 비교할 때 무게비로 1.6배, 부피비로 2.3배를 투입하여야 효과적으로 소화할 수 있다.

HCFC-124도 오존층 보호를 위한 몬트리올 의정서에서 경과 물질로 규정되어 있어 2030년에는 생산이 금지된다.

#### 차. 혼합소화제

순수한 물질만으로 대체 소화제의 모든 요건을 맞추는 것이 사실상 매우 어렵기 때문에 두 가지 이상의 물질을 함께 사용하는 혼합물을 이용하는 방안도 검토되고 있다. 혼합물을 소화제로 사용할 경우 다음과 같은 장점이 있다.

① 혼합 소화제는 순수 성분에 비해 배합비, 배합 성분의 조정에 의해 물성·ODP·GWP·독성·소화 성능·방사 성능 등을 임의로 조절할 수 있다.

② 혼합 소화제는 서로 다른 성분들의 상승 효과에 의해 예측치보다 높은 소화 성능을 낼 수 있다.

③ 혼합 소화제는 빠른 소화 성능을 가진 성분과 재발화를 억제하는 성분을 적절히 배합할 수 있다.

혼합 소화제는 많은 조합이 있을 수 있으나 주로 HCFC, HFC 및 FC를 기초로 한 혼합물이 개발되어 있으며, 앞으로도 아무 제한 없이 많은 연구가 진행될 것으로 판단된다.

#### (1) NAF-S-III

NAF-S-III는 HCFC-123, HCF C-22, HCFC-124와 Isopropenyl1Methylcyclohexene(C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>)의 혼합물로 이루어진 소화제로서 캐나다의 North American Fire Guardian사가 개발하였다. 이 소화제의 ODP가 0.044이고 대기중에서의 수명이 7년인 할론1301의 대체 물질이다. 소화 농도가 7.2%이다. 독성은 LC<sub>50</sub>이 64%, NOAEL이 10%로 사람이 있는 occupied area에서도 사용이 가능하다. 이 물질은 할론1301과 비교하여 무게비로 1.6배, 부피비로 2.3배를 투입하여야 소화할 수 있다.

이 물질은 할론1301의 drop-in 대체 물질로 SNAP Program, NFPA 2001, UL Canada에 등재되어 있으며 현재 생산하여 판매 중이다.

이 소화제의 HCFC물질은 오존층 보호를 위한 몬트리올 의정서

에서 경과 물질로 규정되어 있어 2030년에는 생산이 금지된다.

#### (2) Halotron-1

스웨덴에서 개발하여 미국 American Pacific Corp에서 상용화한 휴대용 소화기용 소화약제이다.

주성분은 HCFC-123이며 끓는점이 27°C, 소화농도가 6.3~7.5%, LC<sub>50</sub>이 3.0% 이상이며, ODP가 0.014로 미국 EPA의 최대허용치인 0.2 이하이다.

#### (3) Inergen

Inergen은 50~52%의 질소, 40%의 아르곤 및 8~10%의 이산화탄소로 이루어진 혼합 소화제로서 A급 및 B급 화재의 소화에 적합하다. 이 소화제는 할론이나 분말소화제와 같이 화학적 소화특성을 지니고 있는 것은 아니고 주로 밀폐된 공간에서 산소농도를 낮추는 것에 의해 소화한다. 이 소화제의 장점은 독성이 다른 불활성 기체에 비해 비교적 강한 이산화탄소의 농도가 일정 수준(5%) 이상될 수 없어 사람이 있는 곳에서도 사용할 수 있는 점이다.

#### 가. 제2세대 할론 대체물질

##### (1) FIC-1311(CF<sub>3</sub>I)

미국의 NMERI(New Mexico Engineering Research Institute)에서 개발하여 Pacific Scientific가 Triodid이라는 상품명으로 판매하고 있는 소화제이다. 일반적으로 할로겐 원자의 소화 성능을 순서대로 나열하면 다음과 같다.

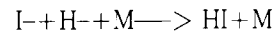
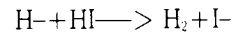


특히, 이 소화성능을 지수로 표시하면 F=1, Cl=2, Br=10, I=16으로 Hirst<sup>7)</sup> 등은 소화제 분자내 F, Cl, Br원자 갯수에 이 소

화 성능수를 곱한 것의 합과 실제 소화 농도와는 매우 밀접한 관계를 갖고 있음을 보여주었다.

CF<sub>3</sub>I는 할론1301의 분자 구조 중 브롬 원자를 요오드 원자로 대체한 형태이며 대기중 수명이 1.15일에 불과하고 GWP가 1 이하, 계산상 ODP가 0.008 이하로 추정된다.

CF<sub>3</sub>I의 장점은 이 소화제가 물리적 소화 성능 뿐만 아니라 다음과 같은 mechanism에 의해 화학적 소화 성능을 지니고 있는 점이다.



여기서 M은 화재가 발생한 지점의 화합물이다.

따라서, 이 소화제의 소화 농도는 3.1%로 매우 우수하다. 다만 이 물질의 NOAEL이 0.2%, LOAEL이 0.4%로 나타나 사람이 존재하는 곳에서는 사용이 곤란하다. 이 약제는 사람이 없는 지역에서 SNAP program에 등재되었고, 앞으로 폭발 방지나 휴대용 소형 소화기 약제로 유력한 대체 물질이다.

CF<sub>3</sub>I의 현재 가격은 \$75/lb로 매우 비싸지만 대량 생산이 이루어질 경우 \$15~20까지 낮아질 것이다.

##### (2) Dibromide

이 물질군의 다른 유력한 후보로서 HBFC-21B2(CHFBr<sub>2</sub>)와 HBFC-123B2(CF<sub>3</sub>CHBr<sub>2</sub>)가 있다.

이 물질들은 할론1202(CF<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>)의 ODP가 0.3으로 할론1211의 2.4나 할론1301의 14.1보다 크게 낮았는데 착안하여 여기에 수소원

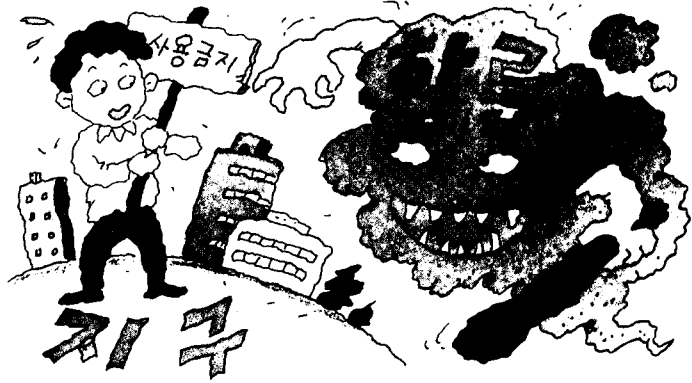
자를 추가시킨  $-CHBr_2$ 기가 함유된 물질이다. 이 기가 함유된 물질의 ODP는 약 0.1 정도로 추정되고 있으며 소화성능은 기존의 할론 소화제보다도 우수하다. 다만 이 물질들은 끓는 점이  $65\sim 73^\circ C$ 로 높아 휴대용 소화제인 할론1211의 대체물질로만 개발되고 있다.

### (3) 불포화 할로겐화물

분자내 탄소-탄소사이의 결합 중 하나가 이중 결합으로 되어 있으며 대부분 불소가 함유된 물질군이다. 이 물질이 대기중으로 방출되면 상온에서도 이중 결합이 대기의 OH기와 쉽게 반응하여 Hydroxyl-Alkyl기를 형성한다. 이 radical은 대류권에서 산소와 반응하여 분해된다. 이 불포화물의 대기중에서의 수명은 단지 수주일 정도이기 때문에 분해되지 않고 성층권까지 도달하는 양은 거의 무시할 수 있다. 따라서 이 알켄이 브롬을 함유하고 있다고 하더라도 ODP는 0.01 이하로 추정하고 있다.

또한 분자내에 이중 결합이 존재할 경우 끓는 점과 열용량이 약간 낮아질 뿐 기본적인 물성은 크게 변하지 않지만 반면에 화학적인 특성은 매우 크게 변화한다. 이 점이 불포화 할로겐화물이 할론 대체 소화제의 후보가 된 주요 이유이다.

불포화 화합물은 일반적으로 포화 화합물에 비해 독성이 더 강한 단점이 있다. 그러나 1, 2-bis(perfluoro-n-butyl)ethylene 이나 bis(di-n-butyl)ethylene과 같이 인조 혈액으로 사용되는 물질은 독성이 없으므로 불포화 할로



겐화물도 특성이 없는 물질이 존재할 가능성이 있다. 1,2-bis(perfluoromethyl)ethylene 이나 tetrakis(perfluoromethyl)ethylene 등의 분자중 불소나 수소를 브롬으로 대체할 경우 소화제로서 적합한 끓는 점을 얻을 수 있다. 또한  $CF_2Cl$ 기가 함유되면 독성이 강해지므로 가능한한 이를 피하고, 브롬은 가능한한 불소 부근에 위치하도록 하며, 이중결합에 관여한 탄소에 할로겐 원자 대신에 수소가 함유되어 있으면 독성은 크게 줄어든다.

이 분자 설계에 의한 물질군중 유력한 후보 물질로는  $CH_2=CHCF_2Br$ ,  $CH_2=CHCF_2CF_2Br$ ,  $CF_2=CHCClCF_2Br$  등이 있다. 소화 성능 시험 결과를 보면  $CH_2$

$=CHCF_2CF_2Br$ 가 3.5%,  $CH_2=CHCClCF_2Br$ 가 4.5의 불꽃 소화 농도를 보였다.

### 3. 맺는 말

지금까지의 연구 결과를 보면 제1세대 할론 대체 물질은 이미 개발 완료되어 시판되고 있으며, 제2세대 할론 대체 물질은  $CF_3I$ 를 중심으로 최근 연구가 급진전을 이루고 있다.

우리 나라는 최근 산업이 고도화되고 규모도 커져 할론의 수요가 증가 추세에 있으며 개발 도상국 중 유일하게 할론을 자체 기술로 생산하고 있는 만큼 선진국의 대체 소화제의 개발 상황을 지속적으로 검토 분석하고 이에 대처해야 할 것이다. ☉

### (참고문헌)

1. UNEP Report, Ozl.Pro.3/5(1991)
2. 상공자원부, 오존층 보호를 위한 특정물질 규제에 대한 국제동향과 우리의 대응방안(1990)
3. 상공자원부, 특정물질 수급조정심의회 회의자료(1993)
4. Proc. of Int. Conf. on CFC & Halon Alternatives(1991)
5. Proc. of Int. Conf. on CFC & Halon Alternatives(1992)
6. Proc. of Int. Conf. on CFC & Halon Alternatives(1993)

7. Proc. of Int. Conf. on CFC & Halon Alternatives(1993)
8. KIST. CFC 대체기술 개발을 위한 사전 조사 연구(1991)
9. Proc. of Halon Alternatives Technical Working Conf.(1992)
10. Proc. of Halon Alternatives Technical Working Conf.(1993)
11. US Federal Register 40 CFR Part 82(1993, 1994)
12. NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems (1994)