

[Research Paper]

이산화탄소를 가압원으로 하는 할론대체 소화기용 청정소화약제에 대한 연구

정기신

세명대학교 소방방재학과 교수

A Study on Clean Agents for Halon Replacement in the Portable Extinguisher with CO₂ as an Expellant Gas

Keesin Jeong

Professor, Dept. of Fire & Disaster Prevention, Semyung Univ.

(Received March 11, 2019; Revised March 28, 2019; Accepted April 2, 2019)

요 약

CFC의 오존층 파괴로 인해 이를 대체할 냉매, 세정제, 발포제의 개발과 더불어 소방분야에서는 할론대체소화약제 개발에 주력하여 왔다. 특히 소화기분야에서는 할론1211 소화기를 대체할 청정소화약제를 개발하여 왔다. 그 결과로 개발된 소화기용 청정소화약제 중 가장 널리 사용되는 소화약제가 HCFC-123이다. 대부분의 청정소화약제들은 자체 증기압이 약하기 때문에 어떠한 가압원을 사용할 것인가가 중요한 문제 중 하나이다. 본 연구에서는 소화기용 소화약제들 중 HCFC-123, HCFC-124, HFC-125, Novec-1230을 선정하여 이들 약제에 대한 가압원으로 보조소화효과를 기대할 수 있는 CO₂를 사용하였다. 각 소화약제별로 약제량과 CO₂량을 조절하며 시험을 실시한 결과 HCFC-123 소화약제로부터 기대한 소화효과를 확인할 수 있었다. 현재 시중에 판매되고 있는 소화기인 HCFC-123 2.5 kg을 질소로 가압하여 소화능력 ABC 각 1단위인 소화기보다 소화약제가 적은 HCFC-123 1.5 kg과 CO₂ 1.5 kg을 혼합한 소화기로 동일한 소화능력시험에 성공하였다. 이러한 소화시험의 결과는 가압원인 CO₂의 보조소화효과를 확인한 것이라 할 수 있다. 이는 중간대체물질로 분류되어 있는 HCFC계열의 소화약제를 줄일 수 있어 기존의 소화기보다 친환경적이고 경제적이라 할 수 있으며 B,C급 화재용 소화기인 CO₂ 소화기로 A급 가연물이 많은 전기, 전자 관련 시설을 방호하는 불합리함을 해결하는데 기여할 수 있으리라 기대한다.

ABSTRACT

To prevent ozone depletion caused by CFCs, the replacement of Halon with clean agents has been developed in the fire protection field along with refrigerants, detergents, and foaming agents. The alternatives for Halon 1211 have been developed in the portable fire extinguisher area and HCFC-123 is used widely as a clean fire extinguishing agent. The type of expellant gas is important because their own vapor pressure is low. In this study, HCFC-123, HCFC-124, HFC-125, and Novec-1230 were selected as fire extinguishing agents and CO₂, which is expected to improve the fire extinguishing ability, was chosen as the expellant gas. For each agent, experiments changing the agent and CO₂ amount were carried out and HCFC-123 showed a good result, as expected. The extinguisher, HCFC-123 of 1.5 kg, showed the same ability to suppress a class A and B fire as the extinguisher, HCFC-123 of 2.5 kg, which is currently sold on the market. According to this result, the expellant gas has a subsidiary fire extinguish effect. This can reduce the amount of HCFC fire extinguishing agent, which is categorized in the phase-out alternatives, and is a more eco-friendly and economical fire extinguisher than the previous one. This study can also help solve the problems of CO₂ fire extinguishers for class B and C fires, and can be used to extinguish electric and electron facilities fire, which contains large amounts of class A fire combustibles.

Keywords : Halon replacement clean agent, Expellant gas, HCFC-123, CO₂, Fire experiment

† Corresponding Author, E-Mail: sobang1961@gmail.com. TEL: +82-43-649-1320, FAX: +82-43-649-1787

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서 론

1.1 연구배경

Chlorofluorocarbons (CFC)의 오존층 파괴에 의한 Montreal Protocol이 1987년 10월 서명된 이후 CFC 대체냉매와 대체 세정제의 개발과 더불어 소방분야에서는 할론대체 소화약제 개발에 전력을 다하여 왔다. 그 결과로 많은 할론대체 청정소화약제들이 개발되어 왔으나 그 소화약제의 대부분이 밀폐공간에서 사용되는 전역방출방식용 소화약제로 대기 중에서 사용되는 국소방출방식이나 소화기용 소화약제 개발에는 한계를 보여 왔다. 할론대체 청정소화약제의 개발은 Halon 1211소화기를 대체하는 것을 목표로 하고 있다. Halon 1211를 대체할 소화기를 개발하며 충족 시켜야할 조건들로 다음의 사항들을 들고 있다⁽¹⁻³⁾.

- ① Halon 1211이상의 소화효과가 있을 것
- ② 화재진압 후 잔유물이 남지 않을 것
- ③ 오존파괴지수(ODP)가 0일 것
- ④ 비전도성일 것(C급 화재 적용성)
- ⑤ 저장하는데 안정적일 것
- ⑥ 독성이 없을 것
- ⑦ 지구온난화지수(GWP)가 0일 것
- ⑧ 제조원가가 낮을 것

하지만 오늘날까지 이 요구조건들을 모두 충족시킨 소화약제는 아직 개발되지 않았다. 단지 위 조건의 몇 항목만 충족시킨 소화약제들이 개발되었을 뿐이다⁽⁴⁾.

현재 국제적으로 유통되고 있는 소화기용 할론1211대체 청정소화약제는 2~3가지 정도로 그 중 활발하게 사용되고 있는 것이 2가지이다. 하나가 HFC-236fa를 원료로 하여 DuPont사에서 만든 FE-36TM이며 다른 하나는 HCFC-123에 소량의 Carbon tetrafluoride (CF₄)을 첨가하여 이를 Ar으로 가압한 것으로 American Pacific Corp.에서 만든 Halotron ITM이라는 소화약제이다. 소화약제의 성능을 비교하기 위해서는 소화성능 시험조건이 동일해야 비교가 가능하다. 한국과 일본의 소화성능 시험기준은 동일하지만 미국과는 다르다⁽⁵⁾. 소화약제의 성능 비교를 위해 Halon 1211TM과 Halotron ITM,

FE-36을 미국의 소화기 능력 및 시험규정인 ANSI/UL711에 따른 능력단위로 Table 1에 비교하였다⁽¹⁾.

Halon 1211 소화약제 4.1 kg의 소화능력은 A1B10:C이다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 FE-36이나 Halotron I은 소화효과에 있어 Halon 1211의 성능에 상당히 근접하고 있다. Halotron I은 5 kg에 A1B10C의 소화능력을 보이고 있으며, FE-36은 소화약제 4.3 kg에 A1B10C의 능력을 나타내고 있다. 이 이하의 용량으로 만든 소화기에서는 A급 소화에는 적응성이 없고 BC급 화재에만 적응성이 있는 것으로 되어 있다.

국내의 할론대체 청정소화기의 사용 상황으로는 Halotron I이 수입되어 사용되고 있으며 소화기 제조사인 FT사와 HC사 등에서 Halotron I과 동등한 원료인 HCFC-123 2.5 kg을 N₂로 가압하여 CEA-123TM와 FIRE ZERO 123TM으로 국내 소화능력 기준 A1B1C 능력의 소화기를 제조하여 판매하고 있다⁽⁶⁻⁷⁾.

현재 Halon 1211 소화기를 대체하는 전기, 전자 관련 시설에서의 가장 큰 문제점은 이러한 시설에 사용되던 Halon 1211소화기가 CO₂소화기로 대체되고 있는 것이다. CO₂소화기의 문제점은 전역방출방식으로 사용 시에는 A급 화재에 적응성이 있지만 소화기로 사용 시에는 A급 화재에는 적응성이 없다. 하지만 대부분의 전기 전자관련 시설이 상당한 A급 가연물을 가지고 있기 때문에 CO₂소화기로 Halon 1211을 대체하는 것은 불가능하다.

청정소화약제에 의한 소화효과는 물리적 소화와 화학적 소화효과가 있다. CO₂, N₂, Ar 등 불연성, 불활성가스 소화약제는 물리적 소화효과를 나타내는 소화약제이며 할론 소화약제는 주로 화학적 소화효과를 나타내는 소화약제이다. 할론1301의 경우는 80%의 화학적 소화효과와 20%의 물리적 소화효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다⁽⁸⁾. HFCs소화약제의 경우는 주로 물리적 소화효과에 의해 화재가 진압되고 화학적 소화효과는 부수적인 소화효과를 보인다. 대략 10~15%의 화학적 소화효과를 보이는 것으로 보고되고 있다⁽⁹⁾.

Table 1. Fire Suppression Efficiency: Halon 1211, Halotron I and FE-36TM

UL Rating	Halon 1211	Halotron I	FE-36	Note
B2:C	.6	1.1	1.1	Unit: kg *Korea Halon1211 4 kg : A1B3C
B5:C	1.1	2.3	2.2	
A1B10:C	4.1 kg	5 kg	4.3 kg	
A2B10:C	-	7	6	
A2B40:C	5.9	-	-	
A4B60:C	-	29.5	-	
A4B80:C	7.7	-	-	
A10B80:C	-	68	-	
A30B240:C	68	-	-	

1.2 연구목적

이러한 국내 상황에 대하여 A, B, C급 화재에 모두 적용 가능하며 특히 A급 화재에 좋은 성능을 보일 수 있는 할론대체 청정소화약제 개발을 목표로 본 연구를 시작하였다. 또한 대부분의 청정소화약제가 자체증기압이 부족하여 약제방출을 위한 가압원으로 질소, 아르곤 등 불활성, 불연성가스를 사용하고 있으나 이들은 소화에 직접적인 영향을 주지 못하는 가스들이다. 따라서 소화약제로 사용되는 CO₂를 가압원으로 사용하여 보조소화효과를 나타내도록 하였다.

2. 시험장치 및 시험방법

2.1 시험용 소화기의 제작

소화시험에 사용할 소화기를 제작하였다. 소화기의 내용적은 3.6 L이고 소화기 상부에는 오리피스구경이 4 mm인 약제방출용 밸브를 설치하였다. 정상적인 소화기의 경우 내부에 사이폰관을 설치하여 가벼운 가압가스는 소화기의 상부에 있고 하부에 있는 소화 약제부터 사이폰관을 통해 방출되나 사이폰관을 설치하는 것이 어려워 이는 생략하고 소화기를 제작하였다. 따라서 이 시험용 소화기를 사용할 때는 방출밸브가 상부에 있으므로 거꾸로 들고 약제를 방출시켜야 한다. Figure 1은 제작된 소화용기의 모습이고 Figure 2는 시험용소화기에 CO₂를 충전하는 모습이다.

2.2 소화시험 방법

시험은 한국소방산업기술원에서 실시하였으며 “소화기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준” 별표2 A급화재용 소화기의 소화능력시험 중 제2모형인 1단위모형과 별표3 B급화재용 소화기의 소화능력시험 중 모형번호수치 1, 2, 3인 1단위, 2단위, 3단위 모형을 적용하였다.



Figure 1. Experimental extinguishers.



Figure 2. Picture of charging CO₂ into the extinguisher.

2.3 약제조성별 소화시험의 종류

각 약제들을 3.6 L의 용기에 각 약제와 CO₂의 비율을 조정하며 혼합하여 A급 1단위와 B급 1, 2, 3단위의 시험을 Table 2와 같이 실시하였다. HCFC-124, HFC-125, Novec-1230의 소화약제는 약제 2 kg + CO₂ 1 kg의 소화시험 실패

Table 2. Kinds of the Fire Suppression Test of Agent Composition

Kinds of Experiment	Agents	Composition (Agent/CO ₂)	Note
A1	HCFC-123	2 kg/1 kg	Experiment Place: Portable Extinguisher laboratory of Korea Fire Institute
	HCFC-123	1.5 kg/1.5 kg	
	HCFC-123	1 kg/2 kg	
	HCFC-124	2 kg/1 kg	
	HFC-125	2 kg/1 kg	
	Novec-1230	2 kg/1 kg	
B3	HCFC-123	2 kg/1 kg	
B2	HCFC-123	2 kg/1 kg	
	Novec-1230	2 kg/1 kg	
B1	HCFC-123	2 kg/1 kg	
	HCFC-123	1.5 kg/1.5 kg	
	HCFC-123	1 kg/2 kg	

Table 3. Experimental Results

Kinds of experiment	Agents	Composition (Agent/CO ₂)	Experiment Times	Success or Failure
A1	HCFC-123	2 kg/1 kg	3	Success All
	HCFC-123	1.5 kg/1.5 kg	2	Success All
	HCFC-123	1 kg/2 kg	2	Failure All
	HCFC-124	2 kg/1 kg	2	Failure All
	HFC-125	2 kg/1 kg	2	Failure All
	Novec-1230	2 kg/1 kg	3	Failure All
B3	HCFC-123	2 kg/1 kg	2	Failure All
B2	HCFC-123	2 kg/1 kg	2	Failure All
	Novec-1230	2 kg/1 kg	2	Failure All
B1	HCFC-123	2 kg/1 kg	2	Success All
	HCFC-123	1.5 kg/1.5 kg	2	Success All
	HCFC-123	1 kg/2 kg	2	Failure All
Experiment Place: Portable Extinguisher Laboratory of Korea Fire Institute				

로 이 약제들에 대한 추가 시험은 실시하지 않았다.

3. 시험결과 및 고찰

소화시험 결과는 Table 3에 시험종류별, 약제의 조성별로 시험회수와 성공여부를 나타냈다. 총 32회의 시험을 실시하여 6번은 시험방법의 문제로 시험이 실패하였고 정상적인 소화시험 26회 중 A급 화재 소화시험은 14회, B급 화재 소화시험은 12회를 실시하였으며 재현성을 위해 각 약제 조성별로 2회씩 소화시험을 실시하였다. 이 중 A급은 14중 5회를 B급은 10회 중 4회를 화재 진압에 성공하였다. 최종 화재시험 결과는 HCFC-123 1.5 kg과 CO₂ 1.5 kg을 혼합한 소화기로 A급1단위와 B급1단위 소화시험에 성공하였다.

소화시험결과로 나타난 성공과 실패원인을 분석하였다. HCFC-123의 약제가 감소함에 따라 소화효과가 감소하는 것은 다음과 같이 판단된다. 청정소화약제를 대기 중의 일산화탄소 화제에 방출 시 기대할 수 있는 소화효과는 화학적 소화효과와 냉각소화효과이다. 소화기가 적용되는 것은 개방된 대기 중의 화재이므로 냉각효과보다는 화학적 소화 효과가 중요하다. 따라서 화학적 소화효과를 내는 염소(CI)가 포함된 HCFC-123약제의 양은 감소하고 소화영향이 작은 CO₂의 양이 증가하여 전체의 소화효과는 감소하는 것으로 나타난다.

HCFC-123 2 kg과 CO₂ 1 kg을 충전한 소화기는 A급 1단위 소화시험에 성공하였으나 HCFC-124, HFC-125, Novec-1230의 경우 동일한 시험에 실패한 것은 다음과 같이 판단된다. 할로젠족 원소 중 소화효과가 우수한 순서는 요오드(I), 브롬(Br), 염소(CI), 불소(F)의 순이다. 브롬과 염소는 수많은 Free radical을 제거한 후 안정된 HCl나 HBr 등이 되어 부촉매효과를 중단하지만 불소의 경우는 Free radical과 반

응하면 강한 결합을 형성하여 한 번만 부촉매효과를 나타내는 것으로 되어있다. 이러한 화학적 성질 때문에 소화약제의 할로젠족 원소들 중 염소(CI)의 개수가 줄어들면 소화효과가 크게 감소하게 된다. HCFC-123의 경우는 염소(CI) 원자가 2개나 붙어 있으나 HCFC-124의 경우는 HCFC-123의 염소(CI)원자 1개를 불소(F)로 치환한 것으로 HCFC-123보다 소화효과가 떨어진다. HFC-125의 경우는 HCFC-123의 염소(CI)원자 2개 모두를 불소(F)원자로 치환한 것으로 소화효과는 HCFC-124보다 더 떨어진다. Novec-1230 역시 브롬(Br)이나 염소(CI)원자는 없이 불소(F)가 화학적 소화효과를 나타내기 때문에 HCFC-123보다 소화효과가 떨어진다고 할 수 있다. 따라서 동일 중량의 소화약제라 할지라도 염소(CI)가 있는 HCFC-123은 A급 1단위 소화시험에 성공하였지만 염소(CI)가 부족하거나 없는 나머지 약제들은 실패하였다.

4. 결 론

하론 대체 청정소화약제들에 있어 충분한 자체증기압을 갖는 일부의 약제를 제외하고 대부분의 소화약제에는 어떠한 가압원을 사용할 것이냐가 중요한 문제 중의 하나이다. 본 연구에서는 세계적으로 가장 널리 사용되는 하론 대체 소화기용 소화약제인 HCFC-123 (Halotrom-1™)과 가장 최근에 개발된 소화약제인 FK-5-1-12 (Novec-1230™) 등 4종류의 소화약제를 선정하였으며, 시험용 소화기를 제작하여 실제 화재소화시험을 실시하였다. 각 소화약제별로 약제량과 CO₂량을 조정하며 총 26회의 소화시험을 실시한 결과 HCFC-123소화약제로부터 기대한 소화효과를 확인할 수 있었다. 현재 시중에 판매되고 있는 HCFC-123소화기는 약제 2.5 kg을 질소로 가압하여 A급1단위와 B급1단위를 소화

할 수 있으나 본 시험에 의한 소화기는 약제 1.5 kg과 CO₂ 1.5 kg을 혼합하여 A급1단위와 B급1단위 소화에 성공함으로서 이를 알 수 있었다. 이러한 소화 시험결과는 가압원인 CO₂의 보조소화효과를 시험을 통해 확인한 것이라 할 수 있다. 이는 중간대체물질로 분류되어 있는 HCFC계열의 소화약제 사용을 줄일 수 있어 기존의 소화기보다 친환경적이고 경제적이라 할 수 있으며 BC급화재용 소화기인 CO₂ 소화기로 전기 전자 관련 시설을 방호하는 불합리함을 해결하는데 기여할 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 2007년에 발표된 정기신의 박사논문을 정리하여 작성되었음⁽¹⁰⁾.

References

1. M. L. Robin, "Substitutes for Halon 1211 in Streaming Application", International Fire Protection Magazine, February (2004).
2. P. J. DiNunno, "Direct Halon Replacement Agents and Systems", Fire Protection Handbook 19th. ed., pp. 11-21 (2003).
3. P. J. DiNunno, "Halon Replacement Clean Agent Total Flooding System", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, pp. 4-173 (2002).
4. M. L. Robin, "Clean Agent in Total Flooding Application", International Fire Protection Magazine, August (2012).
5. J. H. Oh and J. J. Choi, "Comparative Study on Korean Standards and International Standards of Fire Extinguisher to Improve Performance and International Competitiveness", Crisisonomy, Vol. 9, No. 12, pp. 125-140 (2013).
6. CEA-123 (HCFC-123) Specifications, 2018. http://www.forttec.co.kr/bbs/board.php?tbl=sub2_4.
7. FIRE ZERO 123 (HCFC-123) Specifications, 2018. http://hanjufire.com/sub/sub03_02.php.
8. R. S. Sheinson, J. E. Penner-Hahn and Doren Indritz, "The Physical and Chemical Action of Fire Suppressants", Fire Safety Journal, pp. 437-450 (1989).
9. R. T. Wickham, "Status of Industry Efforts to Replace Halon Fire Extinguishing Agents", Wickham Associates, pp. 5-18, 35-43, March (2002).
10. K. S. Jeong, "A Study on Clean Agents for Halon Replacement in the Portable Extinguisher with CO₂ as an Expellant Gas", Ph.D. Dissertation, Seoul National Univ., July (2007).