

# 가스계 청정소화약제의 소화특성과 첨가제에 따른 영향

신창섭<sup>†</sup> · 김성민

충북대학교 안전공학과

(2008. 10. 31. 접수 / 2008. 12. 8. 채택)

## Flame Extinguishing Characteristics of Clean Gaseous Agents and Effects of Additives

Changsub Shin<sup>†</sup> · Sung-Min Kim

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received October 31, 2008 / Accepted December 8, 2008)

**Abstract :** Halon was known as a cause of the ozone layer destruction. In 1987, it was designated as one of the ozone-layer-destroying materials in the Montreal Protocol. Therefore substitutes of Halon agent has been developed including inert gas extinguish system, which is one of the most widely used fire extinguishing system. This study intended to increase the efficiency of inert gas extinguishing agent by using inert gas additives. As IG-541 shows high extinguishing power, the experiment was performed to measure the effects of gaseous additives to it. Cup-burner fire extinguishing apparatus was used with n-Heptane fuel. Among many of pure inert gaseous agents, Helium showed the most excellent extinguishing power. When Helium was added to IG-541, fire extinguishing power was increased and the concentration of oxygen in chimney also risen. By adding Helium to IG-541, the effectiveness of inert gas fire extinguishing system is able to be increased.

**Key Words :** fire extinguishing system, Helium, IG-541

### 1. 서론

가스계 소화약제의 대표적인 물질인 할론은 오존층파괴물질에 관한 몬트리얼의정서에 의해 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 1994년부터 생산이 중단되었고 이 의정서에 개발도상국 조항으로 가입한 우리나라는 1991년에 제정된 “오존층 보호를 위한 특정물질의 제조규제 등에 관한 법률”에 의해 해마다 생산량을 제한하고 있으며, 2010년에는 완전히 생산을 중단할 예정이다. 따라서 이를 대체하기 위하여 HFC-23, HFC-227ea, HFC-236fa, IG-541, IG-55, IG-01, HCFC-Blend A 등의 청정소화약제가 개발되어 사용되고 있다. 그러나 이들은 오존파괴지수(ODP, Ozone depletion potential)와 지구온난화지수(Global warming potential)와 같이 환경에 미치는 악영향이 적으며, 인체에 미치는 급성 및 만성독성이 낮아야 하는 등 많은 조건을 충족하여야 하지만 HFC등은 이러한 조건을 만족시키지 못하고 있는 실정이다.

따라서 앞으로 개발될 청정소화약제는 이러한 조건을 충족시키는 물질이어야 하며, 이를 위하여 최근에는 대기 중 존재물질로서 환경영향성과 독성에 대한 위험이 낮은 불활성가스를 이용한 소화약제에 대한 연구가 주목되고 있으며 이에 개발된 소화약제가 IG-541, IG-55, IG-01등이 있다.

본 연구에서는 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar 등 환경영향성이 적으며 인체에 미치는 독성이 적은 불활성가스 소화약제 중 효율이 높은 것으로 알려진 IG-541을 기준으로 하여 소화 성능을 높이기 위한 첨가제의 영향을 분석하였다. IG-541이 가지는 소화능도를 측정하고 이를 기초로 하여 첨가물의 조성을 변화하여 불활성가스계소화약제의 소화성능을 높이고자 하였으며, 이를 위하여 국제적으로 통용되는 실험방법이며 비교적 빠른 시간 내에 정확한 측정이 가능한 cup-burner를 이용한 불꽃소화법(flame extinguish test)으로 상대적 소화능도를 측정하였다.

### 2. 연구내용

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
csshin@chungbuk.ac.kr

Table 1. Flame extinguishing concentration<sup>2)</sup>(vol%)

Agents	Flame extinguishing concentration (n-Heptane)	Inerting concentration (Propane)
CO <sub>2</sub>	33.3	-
IG-541	29.1~34.9	50.0(40.0)
Halon-1301	2.9~3.9	4.3~6.0(3.1)
Halon-1211	3.8	-

Note : ( ) is Heptane inerting concentration

가스계 소화약제의 불꽃소화농도를 International Standard Organization(ISO), National Fire Protection Association, Standard(NFPA), Underwriters Laboratories(UL) 등의 국제 규격의 fire code에서 권장하고 있는 cup-burner test장치로 측정하였다. Cup-burner test장치는 1961년 Creiz가 발표한 NBS장치, Hrist와 Booth가 발표한 ICI장치, Moore 등이 발표한 NMERI장치 등이 있으나<sup>1)</sup>, 이 장치들에 의해 측정된 불꽃소화농도는 연료의 종류나 액위 흔들림, 연료나 주위환경의 온도, 주입되는 공기와 소화약제의 혼합정도 등의 영향을 받기 때문에 발표자에 따라 약간의 차이가 있다. Table 1에는 이들 장치로 측정된 가스계 소화약제의 소화농도를 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 Halon의 소화농도는 헵탄의 경우 4%이내이나 IG-541은 35% 정도로 매우 큰 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 n-Heptane을 연료로 한 cup-burner test장치를 NFPA 2001 Standard에서 제시하는 기준으로 제작하고, 이들 소화농도 측정장치들이 가지는 단점을 보완하여 실험장치를 설치하였으며, IG-541 (N<sub>2</sub>: 52vol%, Ar: 40vol%, CO<sub>2</sub>: 8vol%)과 불활성 가스 중 단일 성분으로 현재 소화약제로 사용 중인 N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Ar의 불꽃 연소에 대한 소화 농도를 측정하였다. 그리고 첨가제로는 환경에 대한 영향성과 인체에 대해 독성의 위험이 적은 가스인 He과 소화 성능이 우수한 CO<sub>2</sub>를 각각 추가하여 그 영향을 측정하였으며, 보정과정을 거쳐 실험장치의 건전성을 높였다.

NFPA 2001의 기준에 따라 소화농도는 공기유량(F<sub>2</sub>)를 일정하게 고정시켜 두고 측정하고자 하는 가스소화약제의 유량(F<sub>1</sub>)을 서서히 증가시킬 때 소화되는 조건에서의 유량(F<sub>1</sub>)과 (F<sub>2</sub>)를 측정된 후 식 (1)에 대입하여 소화농도를 구하였다.

$$\text{소화농도} = \frac{F_1}{F_1 + F_2} \times 100\% \quad (1)$$

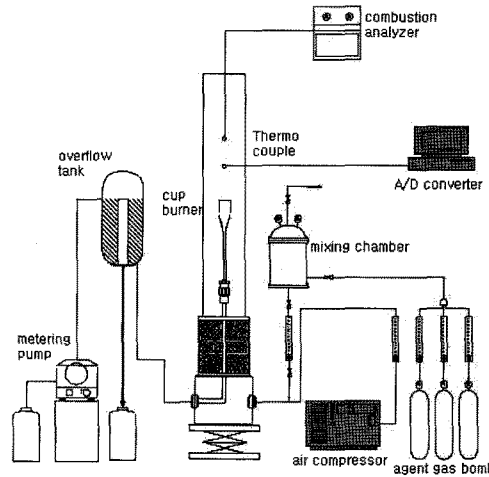


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus for flame extinguishing concentration.

### 3. 실험

#### 3.1. 실험장치

실험장치는 소화농도를 측정할 수 있도록 산소 공급부와 시료공급부로 구성된 cup-burner와 산소농도 측정부, 불꽃온도 측정부의 세 가지의 부분으로 나누었으며 개략도는 Fig. 1과 같다.

##### (1) Cup-burner

Cup-burner는 시료공급부, 소화약제공급부, 소화농도 측정부 등으로 구성하였으며, 시료공급부는 측정하고자 하는 액체시료를 일정량씩 지속적으로 시료조절장치로 공급한다. 액체를 연료로 사용한 cup-burner 방식의 단점인 액위변경시의 소화농도 값의 변화를 방지하기 위해, 유리로 된 용기를 제작하여 일정높이가 되면 액체연료가 넘치도록 하여 cup의 높이와 맞추어 액위를 일정하게 조절하였다. 소화약제 공급부는 불활성가스 봄베, 유량계, 혼합조로 구성하였다. 각 봄베로부터 유입된 가스는 유량계를 통해 필요한 비율만큼의 유량을 일정하게 공급하도록 하였으며, 각 유량계로 부터 유입되는 가스는 혼합조를 통해 소화농도측정부로 공급된다. 소화농도 측정부는 cup-burner, 유리굴뚝 등으로 구성되어 소화시 약제의 확산이 원활하게 하였다.

##### (2) 산소농도 측정부

소화농도측정 실험시 소화약제에 의하여 불꽃이 꺼졌을 때의 산소농도를 측정하기 위한 장치로, 연소가스분석기의 센서를 연소가 이루어지는 유리 굴

Table 2. Main chemical and physical properties of pure agents<sup>2)</sup>

Name	Molecular weight (g/mol)	Boiling point (°C)	Specific gravity (Air=1)	Purity (Vol. %)
Argon	39.95	-185.8	1.38	99.9
Carbon dioxide	44.01	-78.5	1.521	99.5
Helium	4.003	-268.9	0.138	99.9
Nitrogen	28.01	-195.8	0.967	99.9

독의 중앙부에 위치하도록 하여 불꽃 주위의 산소 농도를 측정하도록 하였다.

**(3) 불꽃온도 측정부**

불꽃에 소화약제가 확산되어 소화가 진행될 때의 온도변화를 측정하기 위하여 열전대를 유리 굴뚝의 중앙부에 설치하여 불꽃의 온도변화를 측정하였다.

**3.2. 실험재료**

본 실험에서 사용된 소화약제로서 각각의 불활성 가스에 대한 물성치를 다음 Table 2에 나타내었다.

불활성가스로는 고순도의 질소(N<sub>2</sub>), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 아르곤(Ar), 헬륨(He)을 사용하였으며, 연소에 사용된 표준시료는 NFPA 2001 standard의 불꽃 소화농도 실험방법에 제시된 기준시료인 n-Heptane (Molecular weight: 100.2, boiling point: 98.4, 순도: 99%, Junsei Chemical Co., Ltd.)을 사용하였다.

**4. 결과 및 고찰**

**4.1. 불활성가스계 소화약제의 소화농도**

Cup-burner를 이용하여 공기 유량을 10L/min부터 시작하여 50L/min까지 증가시키며 소화약제의 소화농도를 측정한 결과 IG-541은 33.3vol%, CO<sub>2</sub>는 32.1vol%, He은 21.6vol%의 소화농도를 나타내었다. Fig. 2에는 공기의 유량에 따른 소화약제의 불꽃소화 유량에 대하여 나타내었으며, 이를 소화농도로 환산하여 Table 3에 나타내었다.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 단일 소화약제로 He이 소화능력이 우수한 것으로 나타났으며, CO<sub>2</sub> 복합소

Table 3. Flame extinguishing concentrations with gaseous Agents

	IG-541	CO <sub>2</sub>	Ar	N <sub>2</sub>	He
Concentrations (vol %)	33.3	32.1	37.9	39.4	21.6

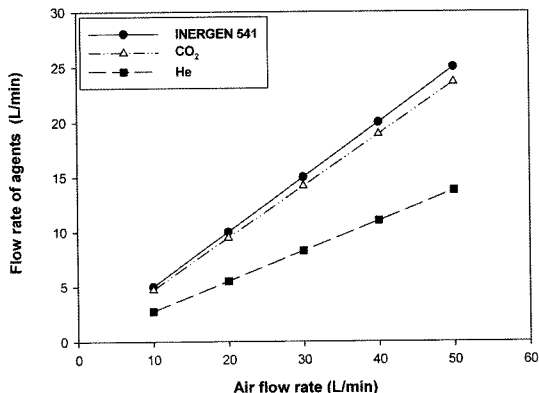


Fig. 2. Flow rate of agents for flame extinguishment.

화약제인 IG-541과 비슷한 능력을 나타내었다. 각각의 소화약제의 소화농도는 공기의 유량 변화와는 관계없이 일정함을 알 수 있다. 또한, 연소 후 유리 굴뚝내의 산소농도를 측정한 결과 He이 가장 높았으며, 다음으로 CO<sub>2</sub>, IG-541의 순으로 측정되었다. 유리 굴뚝내의 산소농도가 높다는 것은 높은 산소농도에서도 소화가 가능하다는 뜻으로 이의 농도가 높을수록 소화능력이 뛰어난 것을 의미한다.

**4.2. 불꽃 소화시 화염의 온도 및 소염 형태**

각각의 단일 소화약제를 최소소화농도로 불꽃에 확산시켰을 때의 불꽃의 온도변화를 측정하여 Fig. 3에 나타내었다.

소화가 진행될 때 불꽃의 온도변화는 4가지 소화약제가 모두 비슷한 양상을 나타내었으나, 소염의 형태는 He은 불꽃이 요동치다 한순간 꺼지는 형태를 나타내었으며, N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>, Ar은 불꽃의 크기가 점점 작아지다 냉염(冷炎)의 형태를 보이며 소화가

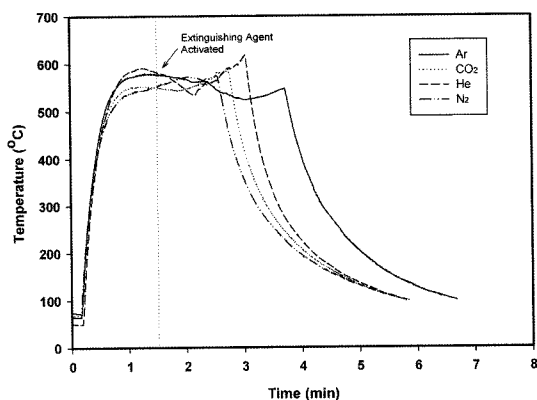


Fig. 3. Flame temperature variation of n-heptane pool fire with gaseous agents.

진행되었다. Fig. 3의 He의 온도곡선에서 그래프가 크게 요동치는 이유가 여기에 있다. 또한 소화시간을 측정된 결과 4가지의 소화약제 중 N<sub>2</sub>가 상대적으로 가장 빠르고 Ar을 소화약제로 사용하였을 때 불꽃이 비교적 오래 지속되었다.

**4.3. 첨가제에 따른 소화농도의 변화**

불활성가스계 소화약제로서 가장 많이 사용되는 혼합소화약제인 IG-541에 단일 소화약제 중 소화 성능이 뛰어난 He과 CO<sub>2</sub>를 첨가하였을 때의 소화 농도의 변화를 측정하였다. Fig. 4에는 IG-541에 He을 첨가하였을 때의 공기유량에 따른 소화약제의 최소소화한계유량을, Fig. 5에는 CO<sub>2</sub>를 첨가하였을 때의 변화를 나타내었다.

공기유량이 30L/min일 때, He을 첨가한 소화약제의 최소소화 한계유량은 IG-541과 He의 첨가량의 비율을 85:15, 70:30, 55:45의 비율로 약 15%씩 증가

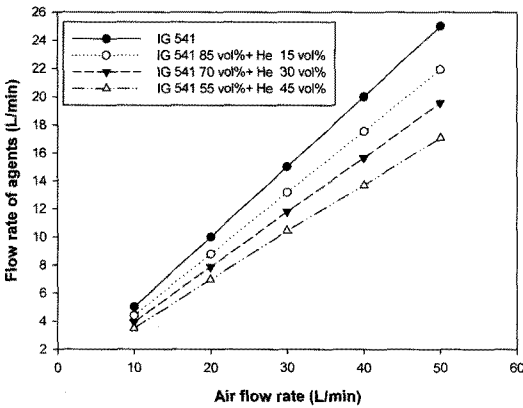


Fig. 4. Flow rate variations of agent for flame extinguishment via He addition to IG-541.

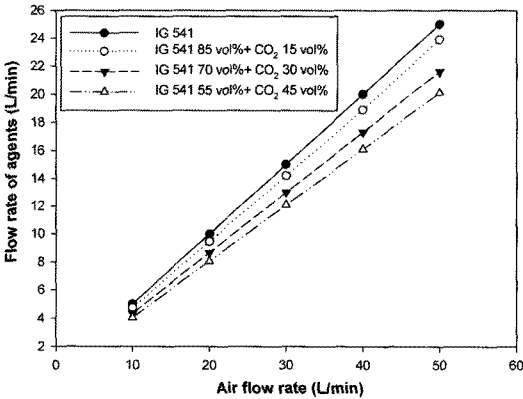


Fig. 5. Flow rate variations of agent for flame extinguishment via CO<sub>2</sub> addition to IG-541.

Table 4. Flame extinguishing concentrations of mixed agent in air(vol%)

concentrations of additives (vol%)	IG-541+He	IG-541+CO <sub>2</sub>
15vol %	30.49	32.09
30vol %	28.14	30.20
45vol %	25.79	28.69

시키며 측정된 결과 각각 13.1, 11.8, 10.4L/min으로 첨가하지 않았을 때의 IG-541의 최소 소화한계유량인 15.0L/min보다 최대 5L/min정도 낮아 졌다. CO<sub>2</sub>의 경우는 동일 조건에서 14.2, 13.0 12.1L/min으로 측정되어 첨가물의 농도가 높아질수록 혼합소화약제의 소화농도가 낮아졌다.

Table 4에는 혼합소화약제의 최소소화한계유량을 소화농도로 환산하여 나타내었다. 표에서 볼 수 있듯이 IG-541에 He과 CO<sub>2</sub> 등 첨가물질을 넣었을 때 소화농도가 급격히 떨어지는 것을 알 수 있다. 즉, 혼합소화약제에 He과 CO<sub>2</sub>의 농도가 높아질수록 소화성능이 좋아지는 것을 의미하며, CO<sub>2</sub>를 첨가하였을 때보다 He을 첨가하였을 때가 성능이 우수한 것으로 나타났다.

CO<sub>2</sub>를 첨가한 불활성계 혼합소화약제는 이의 농도가 높아질수록 인간의 질식에 대한 위험이 커져 사람이 거주하는 지역 내에서 이를 사용하기에 어려운 점이 있다. 반면, He을 첨가하였을 때는 연소 후 굴뚝내의 산소농도가 그렇지 않은 경우보다 상당량 상승하여, CO<sub>2</sub>에 비하여 질식에 대한 위험이 적다고 할 수 있다. 또한 소화농도의 감소율도 CO<sub>2</sub>를 첨가하였을 경우보다 커 첨가제로써 유리함을 알 수 있다. 본 실험에서의 불활성가스에 의한 소화원리를 질식 및 희석소화라는 관점에서 접근할 수 있으며, 냉각소화효과가 높은 CO<sub>2</sub>보다 He을 첨가하였을 때 소화가 더욱 잘되는 것이 이를 반증하는 것으로 사료된다.

**4.4. 첨가제를 첨가한 가스계 소화약제의 소염시 산소농도 변화**

소화약제를 주입하였을 때 발생하는 가스 성분의 농도 변화를 Fig. 6에 나타내었으며, 공기 중 소화약제의 비가 증가할수록 유리 굴뚝내의 산소농도가 높아짐을 확인할 수 있었다. 소화 후 산소농도가 높다는 것은 높은 산소내에서도 소화가 이뤄진다는 것으로 소화능력이 좋은 것을 의미한다. 그리고 CO<sub>2</sub>를 첨가 하였을 경우보다는 He을 첨가하였을 경우 높은 산소 농도를 나타내었다. 또한 유리 굴뚝내 이

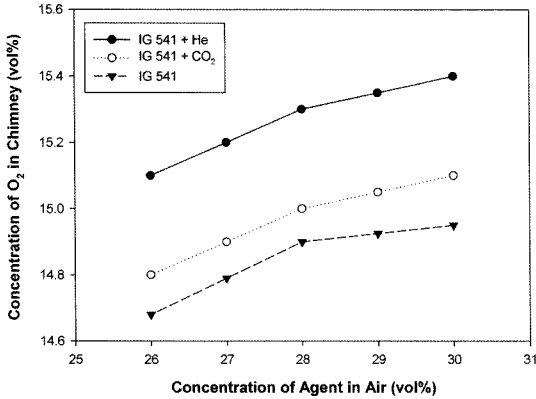


Fig. 6. Effect of IG-541 concentration on the O<sub>2</sub> concentration in chimney.

산화탄소의 농도는 소화약제의 비가 증가함에 따라 감소하였다.

### 5. 결론

본 연구에서는 소화능력이 우수한 것으로 알려진 혼합소화약제인 IG-541에 He과 CO<sub>2</sub>를 첨가하여 소화농도의 변화를 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 각 소화약제의 소화농도를 측정할 결과 공기 유량의 변화에 관계없이 소화농도가 일정하게 측정되었으며, 소화약제의 소화농도는 IG-541이 33.3vol%, CO<sub>2</sub>는 32.1vol%인데에 비하여 He은 21.6vol%로 크게 낮았다.
- 2) 불활성가스계 혼합소화약제인 IG-541에 He과 CO<sub>2</sub>를 첨가하여 소화농도의 변화를 측정할 결과 He을 첨가제로 넣었을 경우의 소화농도 감소율이 CO<sub>2</sub>를 첨가하였을 경우보다 크게 나타나 효율이 높았다.
- 3) 공기중 소화약제의 비가 증가할수록 소화시 산소의 농도가 높게 나타났으며, IG-541에 CO<sub>2</sub>를 첨가하였을 경우보다는 He을 첨가하였을 때 산소의 농도가 높았다.
- 4) 소화약제를 투여한 후 불꽃이 소화될 때의 온도를 측정할 결과 온도변화는 비슷한 양상으로 나타났으며, 소화시간은 4가지 소화약제 중 N<sub>2</sub>가 가장 빠르고 Ar이 비교적 느렸다.

**감사의 글 :** 이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

### 참고문헌

- 1) Mark L. R. and Thomas F. R., Development of a Standard Cup-Burner Apparatus: NFPA and ISO Standard Methods, Halon Options Technical Working Conference, pp. 284 ~292, 1999.
- 2) NFPA 2001, Standard on Clean Agent Fire Extinguishing System, 1996.
- 3) 청정소화약제소화설비의 화재안전기준(NFSC), 제3조, 행정자치부고시제 2004-15호..
- 4) 김재덕, 가스계 소화시스템의 평가, 한국화재·소방학회, Vol. 1, No. 1, pp. 10~18, 2000.
- 5) 민철용, cup-burner를 이용한 불활성가스의 소화농도에 관한 연구, 부경대학교 대학원, 석사학위논문, 2007.
- 6) 김재덕, 김영래, 홍승태, 이성철, 불활성 가스계 혼합소화약제의 n-Heptane 불꽃소화농도 및 배가스 조성, 한국화재·소방학회, Vol. 16, No. 3, pp. 77~83, 2002.
- 7) 이택구, 가스계 소화설비 기술수준의 비교분석, 경기대학교 산업정보, Vol. 8, No. 2, 2005.
- 8) 김재덕, 가스계 혼합소화약제의 불꽃소화 농도, 화재소방학회지, 제15권, 제1호, 2001.
- 9) ASTM D2863, "Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics, 2000.
- 10) FIS 002, 가스계 소화설비의 성능기준에 관한 인정기준, 한국소방검정공사, 2000.
- 11) ISO/FDIS 14520 Final Draft, Gaseous Fire Extinguishing Systems-Physical Properties and System Design, 2000.
- 12) Zabetakis, M. G., Lambiris, S. and Scott, G. S., Flame Temperatures of Limit Mixtures, Seventh Symposium on Combustion, the Combustion Institute, pp. 484 ~ 487, 1959.
- 13) 신창섭, 김성민, 불활성가스계 소화약제의 소화농도에 관한 연구, 산업과학기술연구소 논문지, Vol. 21, No. 2, pp. 33 ~38, December 2007.