

**B-15**

## 불활성가스계 소화약제의 불꽃소화 특성에 관한 연구 A Study on the Flame Extinguishing Characteristics of Inerting Gaseous Agents

김성민\* · 신창섭\*\* · 박재만\*\*\*  
Sungmin Kim · Changsub Shin · Jaeman Park\*

### Abstract

Halon gas agent has been widely used as the extinguishing agent for B class and C class fires because of its excellent extinguishing power. But Halon was found to contribute to the ozone layer destruction, eventually Halon designated as one of ozone-layer-destroying materials in the Montreal Protocol in 1987. In this study, in the context of such researches, we measured the characteristics of flame concentrations of inert gaseous agents by Cup-burner method.

**key words** : Extinguishing concentration, Inerting gas, Cup-burner

할로겐 화합물 소화약제는 뛰어난 소화능력으로 B급 및 C급 화재에 대한 소화약제로서 가장 널리 사용되었으나 오존층 파괴물질로 규정되어 그 사용이 단계적으로 제한되기 시작하였다. 따라서 이를 대체할 청정소화약제의 개발이 중요한 필요한 상황이며, 본 연구는 청정소화약제로 사용할 수 있는 불활성가스계 소화약제의 불꽃소화능도와 소염시 화염의 온도변화를 관찰하여 각 소화약제가 가지고 있는 소화특성에 대해 알아보고자 하였다.

### 1. 서 론

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 할론을 대체하기 위한 소화약제의 개발이 필요하며 대표적으로 대기 중 존재물질로서 환경영향성과 독성에 대한 위험이 낮은 불활성가스를 이용한 소화약제의 개발이 주목되고 있다. 본 연구에서는 퍼지가스로 일컫는 N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>, 화학주기율표 18족 원소 중 Ar과 He을 소화약제로 사용하였을 때 소화특성에 대해 알아보고자 하였다. 소화약제로 사용될 물질의 절대적 소화특성을 알기 위해선 full scale test를 거쳐야 하지만, 막대한 시간과 비용이 소모되므로 비교적 빠른 시간 내에 정확한 측정이 가능한 cup-burner를 이용한 불꽃소화법(flame extinguish test)으로 상대적 소화특성을 관찰하는 방법이 1차적으로 사용된다.

### 2. 연구내용 및 방법

#### 2.1 연구 내용

n-Heptane을 연료로 한 cup-burner test장치를 NFPA 2001 Standard에서 제시하는 기준으로 제작하여

\* 학생회원·충북대학교 안전공학과

\*\* 정회원·충북대학교 안전공학과

\*\*\* 정회원·신화전자

설치하고 N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Ar, He의 불꽃 연소에 대한 소화 농도를 측정하였다. 소화농도는 이미 형성되어 있는 불꽃에 소화제가 확산되어 불이 꺼질 때 소요되는 소화제의 최소농도로 정의되며, 방호구역에 필요한 가스계 소화약제의 양을 산정하는 기초가 되는 값으로 소화농도가 낮을수록 더 우수한 소화능력을 갖는다. 소화농도를 측정하는 방법으로는 여러 가지가 있지만, NFPA, ISO, UL 등의 Fire code에서 명시하는 cup-burner 시험방법을 통해서 측정하도록 권장하고 있다. Fire code 및 연구기관에 따라 다소 소화농도의 결과치가 차이를 보이지만, 실용적 관점에서는 그 차이는 크지 않다. 소화농도는 NFPA 2001의 기준에 따라 공기유량(F<sub>2</sub>)을 일정하게 고정시켜 두고 측정하고자하는 소화약제의 유량(F<sub>1</sub>)을 서서히 증가시킬 때 소화되는 조건에서의 유량 F<sub>1</sub>과 F<sub>2</sub>를 측정한 후 식(1)에 대입하여 소화농도를 구한다.

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

### 2.2 실험장치 및 실험방법

실험장치는 cup-burner(시료공급부, 소화약제 공급부, 소화농도 측정부), 연소가스 측정부, 연소온도 측정부 등 크게 세 가지의 부분으로 나누었으며, 개략도는 Fig.1과 같다.

본 연구에 사용된 공기와 소화약제들의 종류 및 물성치를 Table 1에 나타내었다. 측정 순서는 먼저 연료(n-heptane)를 metering pump를 사용하여 cup에 공급하고 levelling jack의 높이를 조절하여 cup의 액위를 원하는 높이에 고정시킨다. 다음에 공기를 일정유량으로 통과시키고 연료를 점화하여 연소반응이 정상상태에 유지될 수 있도록 1분30초간 불꽃을 유지시킨 후 소화약제를 최소소화농도로 공급하였다. 눈으로 불꽃의 소화여부를 관찰하여 3분 내에 불꽃이 꺼지면 소화농도로 간주하였다. 실험 후 cup-burner실험 장치는 다시 실온으로 냉각한 후 소화약제의 종류를 변화시키며 불꽃 소화여부를 측정하였다.

Table 1. Main chemical and physical properties of pure agent and standard sample

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

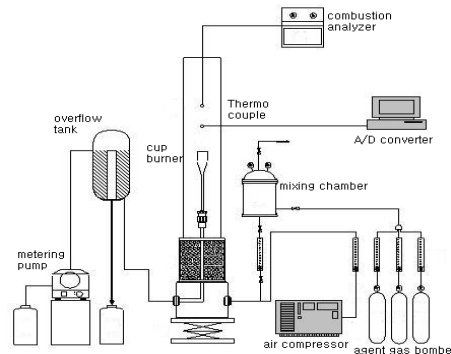


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for flame extinguishing concentration.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 불활성가스계 소화약제의 소화농도 측정결과

본 실험장치를 이용하여 공기 유량을 10 l/min부터 시작하여 30 l/min까지 증가시키며 소화약제의 첨가량의 변화를 측정한 결과 단일 소화약제를 살펴보면 N<sub>2</sub>는 6.5, 13, 19.5 l/min으로, Ar은 6. 12. 18.5 l/min으로, CO<sub>2</sub>는 5, 9.5, 14.5 l/min으로 He은 3, 5.5, 8.5 l/min으로 측정되었다. Fig. 2에 공기의 유량에 따른 소화약제의 불꽃 소화 유량에 대하여 나타내었다. 이를 식 (1)에 대입하여 소화농도로 환산한 결과 CO<sub>2</sub>는

32.1vol%, Ar은37.7vol%, N<sub>2</sub>는 39.4vol%, He은 21.6vol%의 소화농도를 나타내었다. 또한, 연소 후 chimney내의 산소농도를 측정한 결과 He, CO<sub>2</sub>, Ar, N<sub>2</sub>의 순으로 높게 측정되었다.

### 3.2 불꽃 소화시 화염의 온도 및 소염형태 측정

각각의 소화약제의 최소소화농도로 불꽃에 확산시켰을 때의 불꽃의 온도변화를 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. 소화에 진행될 때 불꽃의 온도변화는 4가지 소화약제가 모두 비슷한 양상을 나타내었으나, 소염의 형태를 측정한 결과 He은 불꽃이 요동치다 한순간 꺼지는 형태를 나타내었으며, N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>, Ar은 불꽃의 크기가 점점 작아지다 Cool flame의 형태를 보이며 소화가 진행되었다. Fig. 3의 He의 온도곡선에서 그래프가 크게 요동치는 이유가 여기에 있다. 이는 He의 분자량이 공기의 분자량뿐만 아니라 다른 기체에 비하여 크게 가볍기 때문에 확산이 원활하게 이루어진 것이라고 사료된다. 또한 소화시간을 측정된 결과 N<sub>2</sub>가 가장 빠르고 Ar의 소화시간이 가장 길어짐을 알 수 있었다.

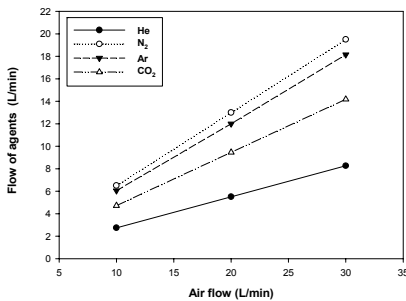


Fig. 2 Flow rates of each single inert gaseous agent for flame extinguishment

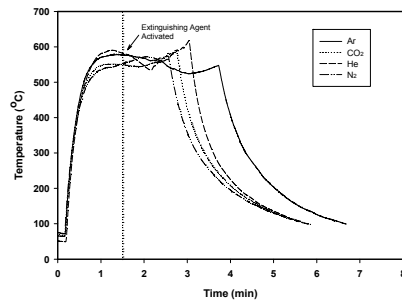


Fig. 3 Flame temperature variation of *n*-heptane pool fire with gaseous agents

## 4. 결 론

Cup-burner test장치로 각 소화약제의 소화농도를 측정된 결과 단일 소화약제로서는 He이 소화능력이 가장 우수한 것으로 나타났다. He은 불활성 가스 중에 가장 낮은 소화농도를 나타내었으나 이의 소화메커니즘은 아직 불분명하다. 많은 문헌에 불활성 가스와 소화능력과의 관계가 보고되고 있으나, 확실하게 결론을 짓지 못하고 있는 실정이다. 단순히 소화농도만으로 생각했을 때 헬륨은 HALON-1301과 비슷한 정도의 성능을 가지고 있는 소화약제라고 할 수 있지만, 이를 소화설비로 적용할 경우 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 본 연구를 통하여 얻은 각각의 불활성가스의 소화특성을 기초로 하룻계 소화약제가 가지고 있는 높은 소화능력을 대체할 수 있는 청정소화약제의 개발 자료로 사용할 수 있는 기대효과를 가질 수 있다. 그리고 이와 같은 연구를 통하여 현재 많은 현장에서 사용 중인 하룻계 가스소화설비를 대체할 수 있는 소화약제로 활용할 수 있을 것이다

### 참고문헌

- 1) 김재덕, 임종성, 이윤우 외, “가스계 혼합소화약제의 불꽃 소화농도”, 화재소방학회 논문지, 2001
- 2) Cup burner를 이용한 불활성 가스의 소화농도에 관한 연구, 부경대석사학위논문, 민철웅
- 3) NFPA, “Clean Fire Extinguishing Systems”, NFPA Standard Code 2001, 65(1996).
- 4) ISO/FDIS 14520 Final Draft, “Gaseous Fire Extinguishing Systems-Physical Properties and System Design”, 2000.