

등유의 소화성능 평가를 위한 불활성 가스의 소화농도에 관한 연구

최재욱

부경대학교 안전공학부

(2007. 4. 7. 접수 / 2007. 6. 14. 채택)

A Study on the Extinction Concentration of Inert Gas for Extinction Performance Estimation of Kerosene

Jae-Wook Choi

Division of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received April 7, 2007 / Accepted June 14, 2007)

Abstract : The experiment was done to investigate extinguishing concentrations of different inert gases of varying concentrations made in contact with Kerosene. The experimental results obtained are as follows; at a standard amount of air flow was 40L/min, the extinguishing concentration of Argon, Nitrogen, Carbon dioxide and Helium for Kerosene were 36.5%, 27.3%, 17.4%, 12.3%, respectively. And, according to these results, Helium of 12.3% showed the lowest extinguishing concentration.

Key Words : extinguishing concentration, kerosene, argon, nitrogen, carbon dioxide, helium

1. 서론

현대 산업사회에서는 다른 에너지원 보다 열효율이 높고 취급이 간편한 이점으로 석유에너지의 사용량이 많다. 그러나 석유에너지는 대기오염, 산성비, 지구온난화 등의 문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이다. 또한 석유류는 산업현장에서 연료, 용제, 원료, 중간제품 및 완제품으로 널리 사용될 뿐만 아니라 가정의 연료로도 사용되고 있다¹⁾. 이들 가연성 물질들은 수송·저장·취급 시 공정안전과 손실예방을 위하여 연구자들에게 지속적인 관심사가 되고 있다. 특히 이들 가연물에 대한 위험 특성치로는 인화점, 발화점, 폭발한계, 최소산소농도 등이 있으며, 이 중에서도 연소범위 안에서 공정안전을 확보하기 위해 최소산소농도(MOC: Minimum Oxygen Concentration)가 대단히 중요하다. 가연성가스 또는 증기에 불활성가스를 주입하여 산소의 농도를 MOC 이하로 낮추기 위한 연구노력은 지속적으로 이루어져 왔고, 화재를 진화하기 위한 가스계 소화약제 또한 다양하게 발전되었다. 특히 할로겐 화합물의 소화약제는 그 화학적·물리적인 안정성과

B급 및 C급 화재의 우수한 소화 성능을 갖춘 청정 소화약제로서 가장 널리 사용되어졌다^{2,4)}. 그러나 이들 소화약제가 1987년 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)에서 오존층 파괴 원인물질로 알려지면서 그 사용이 단계적으로 제한되기 시작하였으며, 교토 의정서(Kyoto Protocol)에서는 2008~2012년 기간 중에 선진국 전체의 배출총량을 '90년 수준보다 최소 5% 감축할 것'을 표명하였다⁵⁾.

이와 같이 Halon이 성층권의 오존층 파괴에 영향을 미친다는 점에서 국제적인 협의에 의해 규제되고 있으며, 환경친화적인 연소억제제를 연구할 필요성이 대두되어 질소와 같은 불활성 가스의 혼합물을 이용하는 방법이 계속 진행되고 있다. 그러나 이들 불활성 가스는 Halon 계열에 비해 소화능력이 떨어진다는 점과 용기 및 설비 등에 저장시 그 부피가 Halon에 비해 11~13배 정도 더 크므로 비효율적인 면을 지니고 있다⁶⁾. 그러므로 불활성 가스에 소화 억제제를 추가하여 소화농도를 증가시키거나 불활성 가스와 적절한 혼합비를 구성하여 소화능력과 효율성을 향상시키기 위한 노력이 지속되어야 한다. 이에 관한 연구를 수행하기 위해 이용되는 대표적인 실험장치로는 소화농도 측정장치(Fire Extinguishing

Concentration System)가 있으며, 소화능력을 실험하기 위해서는 국제적인 기준이 필요하다⁷⁾. 그러므로 본 실험에서는 NFPA(National Fire Protection Association) 2001 Standard 6)에서 권장하는 방법을 적용하고 이를 표준에 맞게 장치를 제작하여 불활성가스에 대한 소화능력을 연구하였다.

2. 이론

2.1. 소화농도 계산

소화설비에 사용될 소화약제의 양을 결정하고 방호구역에 필요한 가스계 소화약제의 양을 산정하는 기초가 되는 것이 소화약제의 소화농도이다. 화재로부터 인명과 재산을 보호하기 위한 소화시스템은 1차적으로 화재진압의 성능을 고려하여야 하며, 2차적으로 소화시스템에 대한 신뢰성과 법적타당성을 생각해야 한다. 이를 위해 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 여러제도를 도입하여 운영하고 있다. 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. 또한 소화의 유무를 파악하기 위해서는 소화시간을 어떻게 설정하는가에 대한 문제와 소화농도에 대한 소화에 이르는 데 걸리는 시간은 연구기관과 연구자의 관점에서 약간의 차이는 있다. 그래서 본 연구에서는 IGG System(Inert Gas Generator System)과 소방법규⁸⁾에서 불활성가스 소화약제로 분류될 수 있는 허용 방출시간인 1분을 기준으로 하였다. 따라서 NFPA 2001⁹⁾의 기준에 따라 소화농도는 공기유량(F₂)을 40L/min에 고정시켜 두고 측정하고자 하는 가스소화약제의 유량(F₁)을 서서히 증가시킬 때 소화되는 조건에서의 유량 F₁과 F₂를 측정 후 다음 식에 의하여 소화농도를 구한다¹⁰⁾.

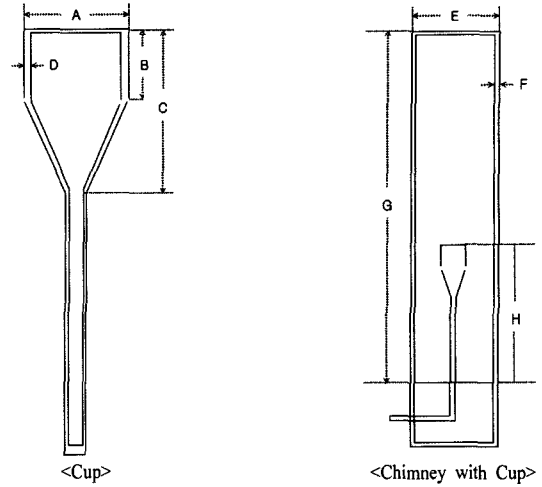
$$\text{소화농도} = \frac{F_1}{F_1 + F_2} \times 100\%$$

F₁ : Amount of inert gas(L/min)

F₂ : Amount of air(L/min)

2.2. Cup Burner 방식의 표준

ISO/FDIS 14520¹¹⁾에서는 가스계 소화시스템에 대한 장치는 다양하게 존재하나, 이들 간에 소화농도



Outside diameter (A)	: 28-31mm	Inside diameter (E)	: 85±2mm
Height (B)	: 25±1.25mm	Wall thickness(F)	: 2-5mm
Taper height (C)	: 70±3.5mm	Height (G)	: 533±26.65mm
Stem outside diameter(D)	: 12±0.6mm	Cup placement (H)	: 235±11.75mm

Fig. 1. Proposed standard cup burner with dimensions.

의 Data와 상이함을 나타냄으로써 전 세계적으로 통용될 수 있는 소화농도 측정방법을 포함하고 있다. 이 방법에서는 Cup Burner의 모든 부품이 모양과 크기를 정밀하게 규정하여 이를 표준화함으로써 측정 오차를 가능한 줄이고 신뢰성을 향상시키도록 권장하고 있다. 따라서 본 실험에서는 Cup Burner에 대한 규격을 국제기준에 맞추어 Fig. 1에 도시하였다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1. 실험장치

소화농도를 측정하기 위한 실험장치는 NFPA 2001 Standard에서 제시하는 기준으로 유량조절 장치 및 일부 부속되는 설비를 설치하였으며, 그 개략도는 Fig. 2와 같다.

장치는 공기공급부, 불활성가스 혼합 및 공급부, 시료공급부, 소화농도측정부로 나누었다.

공기공급부는 공기압축기(제조사: 한신, Model: NH-5), 압축공기저장탱크, 유량계(제조사: Kojima Co., Ltd., Model:RK1600R), Air Dryer(주)한신, Model: XD-7)로 구성하였다. 불활성가스의 혼합 및 공급부는 불활성가스 bombe, 유량계, 혼합조로 구성하였고, 시료공급부는 시료펌프, 시료조절장치 등으로 구성하였다. 시료펌프(제조사: Iwaki Co., Ltd., Max Flow: 20cc/min)는 측정하고자 하는 액체시료를 일정한 양만큼 지속적으로 시료조절장치로 공급하고, 액체를 연

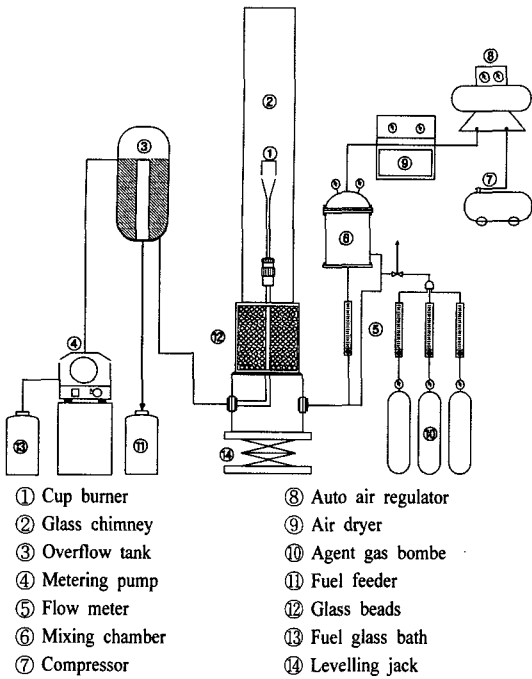


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus for flame extinguishing concentration.

료로 사용한 Cup Burner 방식의 단점인 액위변경시에 소화농도 값이 변하는 것을 피하기 위해 NIST ASTM D2863에서 제시한 방법으로 Cup Burner의 액위와 동일한 높이에 유지할 수 있도록 유리로 된 용기를 제작하여 Overflow되는 시료를 배출하여 따로 모을 수 있도록 함으로써 액위가 항상 일정한 높이가 유지되도록 하였다.

소화농도 측정부는 Cup Burner, 유리기둥(Glass chimney) 등으로 구성하였으며, 시료공급부로부터 유입된 액체시료는 Levelling Jack으로 높낮이를 조절하여 Cup Burner의 모서리까지 액위를 맞출 수 있도록 하였다. 또한 유리기둥의 하부에는 공간을 두어 여기에 유리알갱이를 채워 넣어서 불활성가스의 혼합이 충분하게 이루어질 수 있도록 하였다.

3.2. 실험방법

액체시료를 Overflow Tank에 Metering Pump를 이용하여 공급하고 Cup Burner의 상부 끝부분까지 액위가 닿도록 Levelling Jack의 높낮이를 조절한다. 화염의 연소에 따른 연료의 소모와 공급을 고려하여, Cup Burner에서 연료의 액위가 일정높이에서 항상 고정될 수 있도록 Metering Pump의 Stroke Frequency를 조절한다.

점화된 화염이 안정적으로 연소할 수 있도록 공기분위기가 형성되어야 함으로, 공기압축기를 통하여 대기중의 공기를 압축한 후 공기건조기를 통해 압축된 공기의 수분을 제거한다. 이것을 1차로 자동압력조절장치를 거쳐 일정압력으로 공기가 공급되도록 하고, 2차로 유량계(Kojima Co., Ltd., Model: RK1200R)를 이용하여 공급되어야 할 공기의 유량을 조절한다. 연소를 위한 투입되는 공기의 유량이 안정화 되었을 때, 손잡이형 가스버너를 이용하여 시료액체의 액면부근에서 스스로 증기를 발생하여 화염이 지속 될 때까지 일정시간 가열하여 점화가 되도록 한다. 화염이 발생한 후 시료 액면에서 화염이 안정하게 유지되는지 확인하고 시료액이 끓는점에 도달 할 때까지 시간을 측정한다. 화염이 최성기에 도달되었을 때 다음과 같은 순서에 의해 실험을 실시한다.

- ① Cup Burner의 상단 끝부분에 있는 액체시료에 화염을 가하여 점화한다. 연소반응이 정상상태에 유지될 수 있도록 5분간 불꽃을 유지시킨다.
- ② 액면이 끓기 시작하고 화염이 최성기에 이르면, 측정하고자 하는 단일성분 또는 혼합가스(소화약제)의 양을 유량계를 이용하여 조절하고, T자 밸브를 통해 후드로 배기시킨다.
- ③ 투입되는 가스가 유량이 일정한 값으로 안정화 되었을 때, T자 밸브를 전환하여 혼합가스를 Cup Burner가 있는 유리기둥내로 투입한다. 이때 스톱워치를 작동하여 화염이 소화될 때까지 시간을 측정한다.
- ④ 불꽃의 소화여부를 관찰하여 1분 이내에 소화가 되었을 때, 혼합가스 투입을 중지하고 혼합가스의 유량을 기록한다. 만일 1분 이상 화염이 지속되고 불꽃이 작아지는 등의 현상이 없을 경우에는 소화되지 않는 것으로 간주하고 다량의 불활성 가스를 투입하여 강제 소화시킨다.
- ⑤ 소화유무에 따라서 소화한계점을 추정하여 다른 농도비를 가진 혼합가스를 동일한 실험방법으로 수행한다.

4. 결과 및 고찰

불활성가스의 종류에 따른 등유의 소화농도를 평가하기 위하여 공기의 유량변동이 소화농도에 미치

는 영향을 분석하였다. 공기의 유량을 각각 20L/min, 30L/min, 40L/min로 변화시켜가면서 Kerosene에 대한 불활성 가스의 소화농도를 측정된 결과를 Fig. 3~6에 나타내었으며, 40L/min에서 불활성 가스의 농도를 변화시켰을 경우 화염정체 상태에서 소화현상이 나타났다.

Fig. 3은 아르곤을 소화약제로 사용하여 공기유량에 따른 Kerosene의 소화농도를 나타낸 것으로서, 공기유량이 20L/min, 30L/min, 40L/min일 때 각각 40.3%, 38.1%, 36.5%를 구하였다.

Fig. 4는 소화약제로 질소를 사용하여 공기유량에 따른 등유의 소화농도를 나타낸 것으로서 공기유량의 변화는 아르곤 가스와 동일하게 했을 때 각각 29.3%, 28.6%, 27.3%를 구하였다.

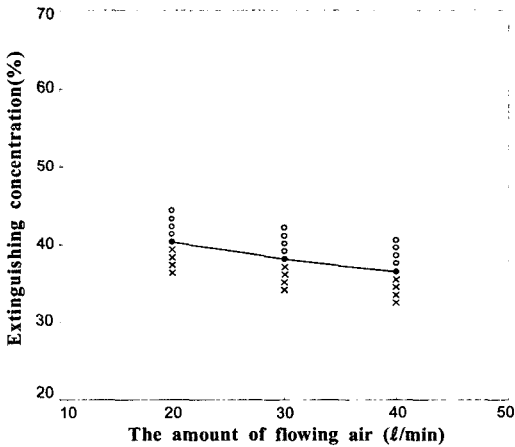


Fig. 3. Extinguishing concentration of Ar for Kerosene fuel by the amount of flowing air.

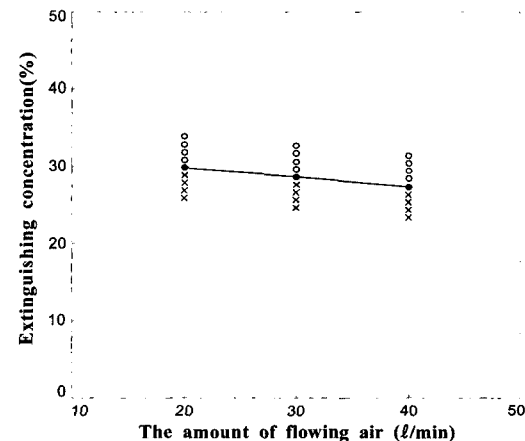


Fig. 4. Extinguishing concentration of N₂ for Kerosene fuel by the amount of flowing air.

Fig. 5는 소화약제가 이산화탄소일 경우에 있어서 공기의 유량이 20L/min, 30L/min, 40L/min일 때 Kerosene의 소화농도로써 각각 21.3%, 18.9%, 17.4%를 구하였다.

Fig. 6은 소화약제가 헬륨일 경우 공기유량에 따른 Kerosene의 소화농도로써 각각 16.7%, 14.3%, 12.3%를 나타내었다

공기유량이 40L/min일 경우만 비교해 볼 때, Kerosene에 대한 소화농도가 가장 우수한 소화약제는 헬륨으로서 약제의 유량이 5.6L/min이고, 소화농도가 12.3%로 나타났다. 이는 공기와 불활성가스의 혼합가스의 조성비를 고려할 경우 혼합가스 중에 산소농도가 18.4% 존재함으로서 작업허용한계 기준치인 18%이상을 나타내고 있으며, Halon계 소화약제

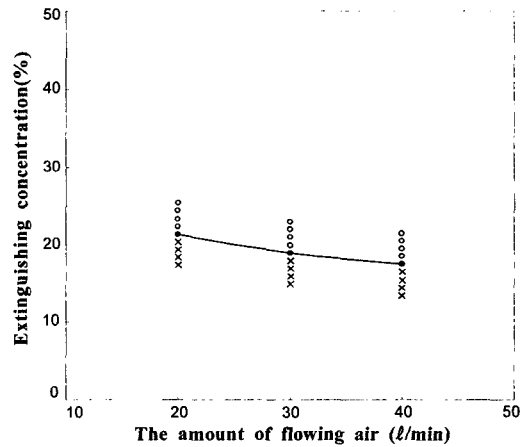


Fig. 5. Extinguishing concentration of CO₂ for Kerosene fuel by the amount of flowing air.

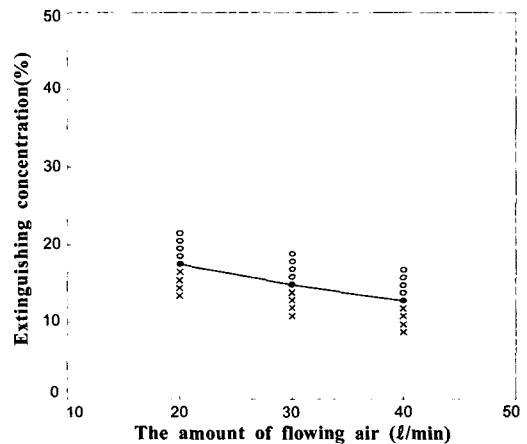


Fig. 6. Extinguishing concentration of He for Kerosene fuel by the amount of flowing air.

HFC-23의 소화농도 12.6%와 0.3% 차이만큼 우수한 소화능력을 나타내고 있으므로 지속적인 연구를 통해 생산비와 저장방법의 개선을 통해 Halon계 가스소화약제의 대체소화약제로 활용할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

Fig. 3~6에서 불활성 가스의 종류에는 관계없이 동일하게 공기의 유량이 증가 할수록 소화농도는 감소하는 경향을 나타내었다. 불활성 가스의 소화작용은 질식소화에 관계되므로 이론적으로는 공기의 유량이 증가하여도 소화농도는 동일하여야하나 감소하는 것은 연료 액위의 상태, 주위환경의 온도, 공기와 약제간의 혼합정도에 따라서 변하는 것으로서 NFPA 2001에서는 측벽으로 부터의 열전도와 화염으로 부터의 복사 및 대류 열전달에 의한 증발온도와 유체의 혼합성이 다르기 때문에 40L/min에서 시험하는 것을 권장하고 있다. 유량이 증가 할수록 유체의 혼합성이 양호하여 가연성 증기와 불활성 가스의 혼합이 용이하게 되어 소화농도가 낮아지는 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 불활성 가스의 소화농도 농도를 평가하기 위하여 공기유량의 변동에 따른 Kerosene의 소화농도에 대한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공기의 유량이 40L/min일 경우 소화약제인 아르곤, 질소, 이산화탄소 및 헬륨의 소화농도는 각각 36.5%, 27.4%, 17.4%, 12.3%를 구하였다.
- 2) 공기의 유량이 20L/min, 30L/min, 40L/min에서 헬륨의 소화농도는 각각 16.7%, 14.3%, 12.3%를 구하였다.
- 3) 공기유량의 변동에 따른 소화농도의 변화는 공기유량이 증가 할수록 소화농도의 값은 감소하였으며, 전체유량이 많을수록 소화능력이 증가하였다.

감사의 글 : 이 논문은 2006학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음(PK-2006-049).
본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단에서 시행한 지역혁신인력양성사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 김성찬, 유홍선, 박현대, 방기영, “물분무 노즐의 분사각이 화재실 내부의 온도장에 미치는 영향”, 산업안전학회지, 제18권, 제2호, pp. 28~33, 2003.
- 2) 오을권, 서동표, “Air-water 모델에서 기포특성에 관한 연구”, 산업안전학회지, 제18권, 제1호, pp. 14~18, 2003.
- 3) 박외철, 유재환, 이수경, 이춘하, 전주함, 김영수, “최신소방설비”, 東和技術, p. 33, 1999.
- 4) 청정소화약제소화설비의 화재안전기준(NFSC), 제3조, 행정자치부고시제2004-15호.
- 5) A. Thomas, “Voluntary Code of Practice for HFC and PFC Fire Protection Agents”, Halon Alternatives Research Corporation, 12th, pp. 1~7, 2002.
- 6) Y. Zou, N. Vahdat and M. Collins, “Fire Extinguishing Ability of 1-bromo-1-propane and 1-methoxy-nonafluorobutane Evaluated by Cup Burner Method”, Journal of Fluorine Chemistry, Vol. 111, Issue. 1, pp. 33~44, 2001.
- 7) 한용식, 김명배, 김수용, “불활성 가스 발생장치 (Inert Gas Generator)의 소화시스템 적용에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol. 19, No. 2, pp. 69~74, 2005.
- 8) FIS 002, “가스계 소화설비의 성능기준에 관한 인정기준”, 한국소방검정공사, 2000.
- 9) NFPA 2001, “Standard on Clean Agent Fire Extinguishing System”, 1996.
- 10) I. Yamamoto, K. Sato and S. Yamashika, “Flame Extinguishing concentration by Cup Burner Method”, Rep. Fire Res. Institute. Japan, Vol. 57, pp. 41~48, 1984.
- 11) ISO/FDIS 14520 Final Draft, “Gaseous Fire Extinguishing Systems- Physical Properties and System Design”, 2000.