

불활성 가스계 소화약제의 소화작용시 발생하는 가스성분과 불꽃 소화 농도와의 상관관계

홍승태, 권오성, 김영래, 김재덕, 임중성, 이윤우, 박형상*
한국과학기술연구원 환경복원 연구센터
서강대학교 화학공학과*

Correlation between Flame Extinguishing Concentration and Gaseous Element produced during Fire Extinguishing by Inert Gaseous Agents

Seung-Tae Hong, O-Sung Kwon, Young-Lae Kim, Jae-Duck Kim, Jong-Sung Lim,
Youn-Woo Lee, Hyung-Sang Park*
Environment Remediation Research Center, KIST
Department of Chemical Engineering, Sogang University*

서론

가스계 청정 소화약제인 할론은 오존층 파괴 물질에 관한 몬트리얼 의정서[1]에 의해 선진국에서는 1994년부터 생산이 중단되었고 우리나라도 2010년부터 생산을 중단할 예정이다. 따라서 할론을 대체하기 위하여 HFC-23, HFC-227ea, HFC-236fa, IG-55, IG-01, HCFC-Blend A 등과 같은 새로운 가스계 소화약제가 개발되어 사용되고 있다.

미국 ANSUL 사가 특허 사용중인 Inergen Gas는 한국소방검정공사 검정품으로 일반 화재(A급), 유류화재(B급), 전기화재(C급)에 적용된다. Inergen의 명칭은 불활성 가스(INERt gas)와 질소(NitroGEN)의 복합명칭이다. Inergen은 질소 52%, 아르곤 40%, 이산화탄소 8%의 혼합가스이며, 방출 후 방호구역 내의 산소농도를 15% 미만으로 낮추는 질식작용에 의해 화재를 진압한다. Inergen을 구성하고 있는 모든 기체 성분은 대기 구성성분과 같아서 환경오염에 전혀 무해하며, 오존층 보존, 지구 온난화 현상 예방과 같은 효과를 지닌 효과적인 청정소화약제이다. 불활성기체의 특징은 화학적 반응을 일으키지 않는다는 것이다. 이에 포함되지는 않지만, 질소와 이산화탄소 같은 기체는 화재 발생시에 불활성 기체의 특성을 지니며, 연소 과정에 포함되지 않고, 화재시 산성부산물을 생성하지 않는다. 따라서 Inergen은 연소를 조장하지 않는 비부식성 가스이다.

본 연구에서는 불활성 혼합 가스 소화약제의 소화작용 때 발생하는 가스 성분과 소화 성능과의 상관관계를 검토하였다.

실험 방법

본 연구에서 사용한 소화 농도 및 가스 농도 측정장치는 Hirst[2]가 발표한 장치를 일부 수정하였으며 그 개요도를 Fig. 1에 나타내었다.

공기와 소화약제는 Mass flow transducer를 통해 신호를 받는 Mass flow controller에 의해 유량이 조절되어 가스 혼합기에서 혼합된 후, Cup-burner의 하부로 공급된다.

Cup은 상부의 내경이 28mm, 하부의 내경이 10mm인 방사형이며 Pyrex Glass로 제작되었다. 내부에는 연료로 사용되는 n-Heptane이 채워져 있다. Chimney는 Pyrex Glass로 제작하였으며 내경이 84mm이고 높이가 450mm이다. Chimney 하부에는 직경 3mm인 Glass Bead를 80mm 높이로 충전하고 그 위에 Wire mesh screend을 설치하였다. Cup-burner의 연료로 사용되는 n-heptane은 Fuel reservoir에 저장되었다가 Fuel circulation pump에 의해 Level controller에 보내진 후 일부는 Cup-burner로 보내지고 나머지는 Fuel reservoir로 재순환되도록 설치하였다.

측정 순서는 먼저 Fuel circulation pump를 가동하여 연료로 사용되는 n-heptane (95%)을 Cup에 공급하고 Level controller의 높이를 조절하여 Cup의 액위를 원하는 높이에 고정시킨다. 다음에 공기를 일정 유량으로 흘려주고 연료를 점화하여 연소반응이 정상상태에 유지될 수 있도록 3분간 불꽃을 유지시킨 후, 순수한 질소, 아르곤, 이산화탄소 및 혼합가스를 소화약제로 하여 Cup-burner에 주입하였으며, 소화약제의 각 가스 성분비, 공기와 소화약제의 비 그리고 총 유량을 조절하였다. 이 때 발생하는 가스 성분들의 농도 변화는 ND-IR(HORIBA Model ENDA-800 Series)을 이용하여 측정하였다. 눈으로 불꽃의 소화 여부를 관찰하여 5분 이내에 불꽃이 꺼지면 소화농도로 간주하였다.

결과 및 토론

혼합가스 소화약제를 구성하는 각 가스 성분들의 소화 성능을 알아보기 위하여 각각의 순수한 소화 가스에 대한 불꽃 소화 농도를 측정하여 소화 가스의 비중(specific gravity)과 함께 Table 1에 나타내었다. Table 1을 보면 소화 가스의 비중이 증가할수록 소화 성능이 우수함을 알 수 있다. 공기 중의 산소 농도 저하에 의한 질식 소화에 있어서 소화 가스의 비중이 클수록 Chimney 내에 체류하는 비율이 크므로 소화가 빨리 진행된 것으로 볼 수 있다.

공기에 대한 소화약제 가스 성분들의 비를 변화시켜 가며 Chimney 내의 산소 농도 변화를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2를 보면 공기에 대한 소화약제의 비가 증가할수록 산소 농도가 증가하였는데, 이것은 소화약제의 증가로 인해 연소가 억제되므로 연소에 의한 산소 소모가 줄어들었기 때문이다.

혼합가스(질소 55%, 아르곤 40%, 이산화탄소 5%)를 소화약제로 주입했을 때, 발생하는 가스 성분들의 농도 변화를 공기에 대한 소화약제의 비에 대하여 Fig. 3에 나타내었다. 소화약제의 비가 증가할수록 연소가 억제되어 산소 소모가 줄어들고 이산화탄소 발생이 감소함을 확인할 수 있었다.

불꽃의 세기가 커져서 산소의 소모가 많아지면 n-heptane의 연소생성물인 이산화탄소의 농도는 증가하게 되며, 소화약제의 주입으로 인해 불꽃이 약해질수록 산소의 소모가 줄어들고 생성되는 이산화탄소의 농도는 감소하게 된다. Fig. 2와 3의 결과로부터 소화약제의 농도가 증가하여 연소 반응이 억제될 때, 산소와 이산화탄소의 농도 변화는 반비

레 관계를 나타낼 수 있었다.

혼합 가스 소화약제에서 질소의 비율이 소화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 소화약제의 이산화탄소 농도를 5%로 고정시키고 N₂와 Ar의 비를 변화시켰다. 이 때 공기에 대한 소화약제의 비율은 20%로 하였으며, Chimney 내의 산소와 이산화탄소 농도를 측정하여 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에 의하면 질소가 25%이고 아르곤이 70%일 때, 산소 소모 및 이산화탄소의 생성이 가장 적었으므로 소화가 가장 잘 되었음을 알 수 있다. 즉 질소의 비율이 작아지고 아르곤의 비율이 커질수록 소화가 잘 됨을 알 수 있다. 산소 농도 감소에 의한 질식소화에 있어서 비중(specific gravity)이 큰 아르곤 가스의 비율이 클수록 소화가 잘 됨을 알 수 있다.

Cup-burner로 주입되는 공기와 소화약제의 총 유량을 1000ml/min으로 하였을 때는 일산화질소가 검출되지 않았지만, 2000ml/min으로 유량을 증가시켰을 때에는 약 10ppm 정도의 일산화질소가 검출되었다. 소화약제의 질소 비를 증가시켜 가면서 Chimney 내에 발생하는 일산화질소의 농도를 측정하였는데, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에 의하면 질소의 비가 증가하더라도 생성되는 일산화질소의 농도는 거의 일정함을 알 수 있다.

소화약제의 질소 비가 증가하더라도 생성되는 일산화질소의 양에 변화가 없다는 것은 소화약제의 질소가 산소와 반응하여 일산화질소를 생성하지는 않는다는 의미이다. Thermal NO_x는 1300℃ 이상의 온도에서 질소와 산소의 반응에 의해 생성된다고 알려져 있는데[3], 연소시 Chimney 내부 온도는 400~450℃ 범위였으므로 위의 사실을 뒷받침해준다. 공기 유량의 증가로 불꽃을 크게 하였을 때, 일산화질소가 검출되는 것으로 보아 연료 n-heptane에 불순물로 포함된 질소가 연소시 산소와 반응하여 일산화질소가 생성된다고 판단된다.

참고문헌

1. United Nation Environmental Program(UNEP), "Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer"(1987)
2. Hirst, R and Booth, K., "Measurement of Flame Extinguishing Concentrations", Fire Tech. 13(4), 296(1977)
3. Leslie, L. Sloss., "Nitrogen Oxides Control Technology Fact Book", Noyes Data Corp., U.S.A.(1992)

Table 1. Flame extinguishing concentration of pure agents

Agents	Specific gravity(Air=1)	Flame extinguishing concentration(Vol. %)
N ₂	0.97	40.0
Ar	1.38	36.8
CO ₂	1.53	33.3

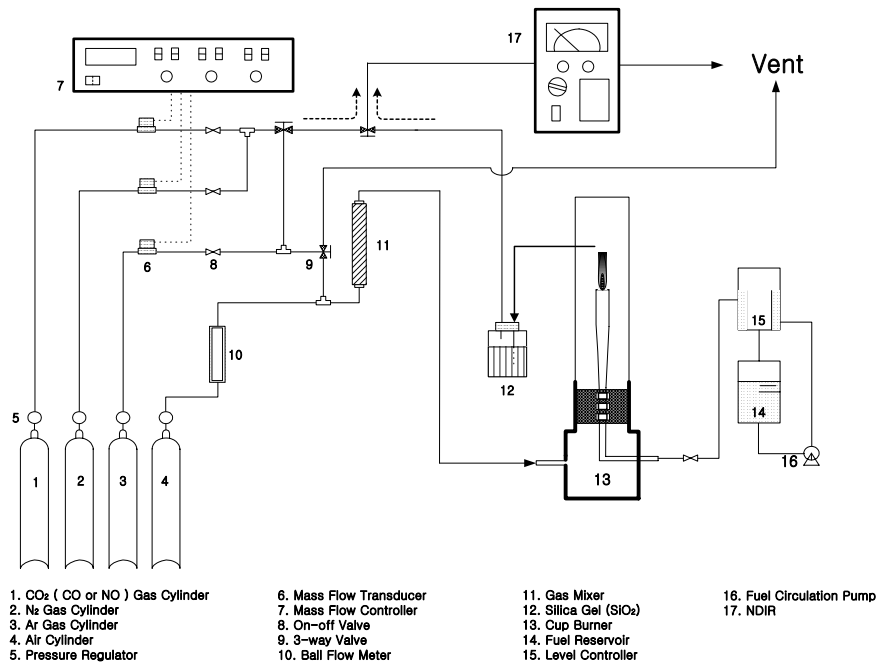


Fig.1 Cup-burner apparatus for measurement of flame extinguishing concentration of gaseous agents.

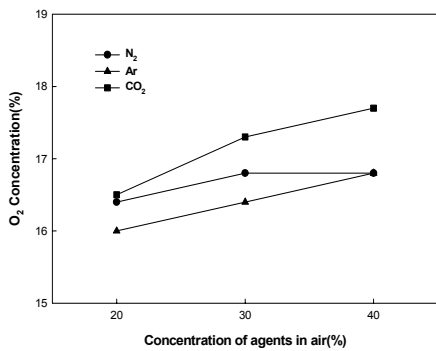


Fig.2 O₂ concentration in chimney for increase of pure gaseous agents.

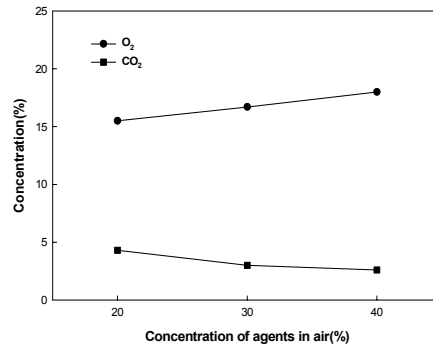


Fig.3 O₂ and CO₂ concentration in chimney for increase of mixed gaseous agents.

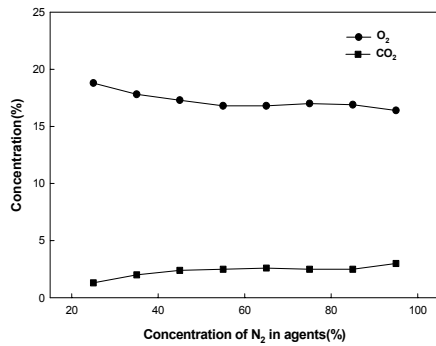


Fig.4 O₂ and CO₂ concentration in chimney for increase of N₂ ratio in mixed gaseous agents.(5% CO₂)

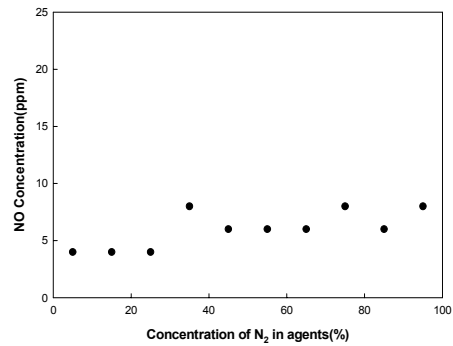


Fig.5 NO concentration in chimney for increase of N₂ ratio in mixed gaseous agents.(5% CO₂)