

IGG 배기가스의 소화특성 평가(I)

한용식, 김명배, 김수용, 윤명오*
한국기계연구원, *서울시립대학교

Estimation of Extinguishing Characteristics for Exhaust Gas of Inert Gas Generator

Han Yong-Shik, Kim Myung-Bae, Kim Su-Yong, Yoon, Myung-O*
KIMM, *The University of Seoul

1. 서론

대량의 불활성 가스를 생산할 수 있는 불활성 가스 생성기(Inert Gas Generator)의 개발이 추진되고 있다. 연속적인 대량 소화약제 생산, 신속한 기동성 및 compact한 보관성 등의 장점을 가지는 IGG가 소화설비로 사용되기 위해서는 소화설비로서의 적용성 검토가 우선적으로 이루어져야 한다. IGG는 불활성 가스계 소화설비로 분류될 수 있으며, 밀폐 및 반밀폐 공간 뿐만 아니라 개방 공간 화재진압에도 사용될 수 있다. 본 연구에서는 밀폐 및 반밀폐 공간 화재진압에 적용되는 불활성 가스계 소화설비에 대해 언급하고자 한다.

IGG가 소화설비로서 적용되기 위해서는 우선적으로 우수한 화재진압 특성을 가지고 있어야 할 뿐 아니라 환경 친화성, 인체 유해성, 설치 안정성 및 2차손상 등에 대한 특성들이 정확하게 파악되어 있어야 한다. NFPA, ISO, UL 등 여러 관련규정¹⁻³에서는 공통적으로 불활성 가스계 소화설비의 적용성 검토를 위한 항목으로 소화약제평가, 설비 부품평가, 소화성능평가 등을 요구하고 있다.

소화약제 평가에는 소화농도, 불활성 농도, 오존파괴지수 등 소화약제의 물성에 대한 항목들이 포함된다. 소화설비가 여러 개의 부품으로 구성되어 있기 때문에 각각의 부품에 대한 신뢰성 확보가 중요하게 되며, 설비부품 평가항목을 통하여 점검하고 있다. 소화성능 평가항목에는 소화설비가 설치된 상태에서 실제적인 화재 시나리오를 통하여 화재를 진압하기 위해 필요한 사항들을 점검하는 것으로서 소화시험, 방출시험, 누출시험, 반복조작 시험, 유량 계산방법 인증시험 등이 포함되어 있다.

본 연구에서는 적용성 검토에 가장 핵심적인 항목인 소화농도 및 소화시험을 수행함으로써 IGG의 밀폐 및 반밀폐 공간에서의 소화특성에 대해 고찰하고자 한다.

2. 설계농도 산정

밀폐 및 반밀폐 공간의 화재진압에 사용되는 가스계 소화설비의 설계에서는 방호구역의 크기가 주어지면 화재진압을 위해 방출되어야 할 소화약제 양이 결정되며, 각각의 소화약제에 대해 방출 허용시간이 정해져 있기 때문에 방출에 필요한 배관 및 노즐 설계가 이루어지게 된다. 소화 약제량을 결정하는 설계농도는 “방호대상물 또는 방호구역

에 대하여 소방기술 기준에 관한 규칙에 따라 저장량을 산출하기 위한 농도로 소화농도에 안전율을 고려하여 설정한 농도”를 말한다. 그러나 새로운 소화설비를 개발할 경우, 설계를 위한 구체적인 자료들이 없기 때문에 설계농도에 대한 자료의 확보가 우선되어야 한다. 본 연구에서는 상용화된 가스계 소화약제의 고찰을 통하여 IGG의 화재진압을 위한 설계농도 및 관련 자료들을 확보하고자 하였다.

현재 사용되고 있는 가스계 소화약제 중에 IGG 배기가스와 유사한 약제로 미국 Ansul사에서 개발한 IG-541⁴가 있다. Table 1.은 IG-541의 조성을 나타내고 있는데, 모든 조성이 공기 중에 존재하는 비활성 가스로 구성되어 있음을 알 수 있다.

Table 1. IG-541의 조성

조성	N ₂	O ₂	CO ₂	Ar
농도(vol. %)	52	0	8	40

이 IG-541의 설계농도는 37.5%-43.0%로 알려져 있으며, 43.0%로 설계된 공간에서 방출 후의 소화공간에서의 가스 조성은 Table 2.와 같다. 여기에서 주목해야 될 항목은 소화 조건과 밀접한 관계가 있는 최종의 산소 농도이다.

Table 2. 설계농도 43%로 IG-541의 방출 후 소화공간 내의 조성

조성	N ₂	O ₂	CO ₂	Ar
농도(vol. %)	67	12	3	12

Table 3.은 개발 중인 IGG에서 배출되는 배기가스의 조성을 나타내고 있다. IGG 배기가스는 IG-541의 성분과 동일하게 대기 중에 존재하는 가스들로 구성되어 있기 때문에 IG-541의 소화조건인 최종 산소농도 12.0%를 IGG의 소화조건으로 선택하였다.

Table 3. IGG 배기가스의 조성

조성	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O
농도(vol. %)	73.12	6.32	8.0	14.0

IGG에서 생성되는 배기가스량은 $250m^3/min$ 이며, 비활성 가스의 방출 허용시간이 소방기술기준에 의해 1분으로 제한되기 때문에 하나의 구획에 사용될 수 있는 가스량은 $250m^3$ 이다. IGG 배기가스 중에 산소가 0%이고, 최종의 산소농도가 12%인 경우를 가정하면, 앞서의 가스량에 대해 소화 가능한 최대 공간 체적은 $333m^3$ 이며, 이때 설계농도는 43%이다. 그런데 IGG 배기가스 내에는 6.32%의 산소가 이미 포함되어 있기 때문에 소화 가능 최대 공간이 축소된다. 산소가 6.32% 포함되어 있을 때의 소화 가능 최대체적은 $158m^3$ 이며, IG-541의 $333m^3$ 의 47%정도의 공간에 해당한다. 그러나 IGG 배기가스 내의 산소농도가 낮아지게 되면 소화 가능 최대 공간 체적은 확장된다. 산소농도 6.32%에서의 IGG 배기가스의 설계농도는 61.27%로 IG-541의 43%보다 큰 값을 가지는 것을 보여주며, 같은 크기의 화재공간에 필요한 소화약제 양에서 IG-541보다 IGG의 경우가 더 많이 소요되는 것을 의미한다. 이 결과는 하나의 밀폐공간에 적용할 경우에 대한 것으로, IGG는 연속적으로 비활성 가스를 생산할 수 있기 때문에 여러 개의 구획으로 나누어진 공간의 화재진압에 적절하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

3. 소화농도 측정

“가스계 소화약제를 소화농도 측정 설비 등으로 측정할 때 불이 꺼지는 소화약제의 최소 농도”로 정의되는 소화농도는 소화 약제의 양을 결정하는 가장 기초적인 자료이며, NFPA, ISO, UL 등의 Fire Code에서는 Cup Burner 시험방법으로 소화농도를 측정하도록 규정하고 있다.^{1, 3, 5} Cup Burner 장치는 Fire Code 및 설치기관에 따라 약간씩 차이가 있으며, 측정된 소화농도에도 약간의 차이가 존재하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 세계적으로 통용되고 있는 ISO의 규정(ISO-6183)에 따라 Cup Burner 소화농도 측정 장치를 Fig. 1과 같이 제작하였다. 실험방법으로는 공기유량(F1)을 40l/min으로 고정시켜 두고 가스 소화약제의 유량(F2)을 서서히 증가시킨다. Fig. 2는 가스 소화약제의 유량을 증가시키면서 화염모양을 관찰한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 가스 소화약제의 유량 증가에 따라 화염이 burner 선단에서 부상되면서 불안정해지고 결국에는 소화되는 과정을 보여주고 있다.

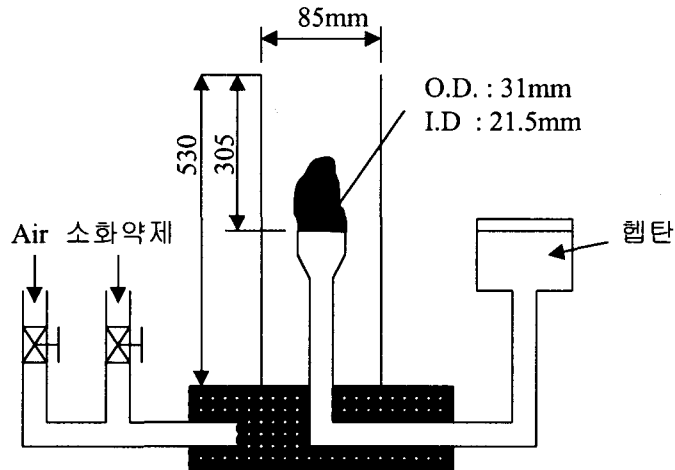


Fig. 1. Cup burner test 실험장치 개략도

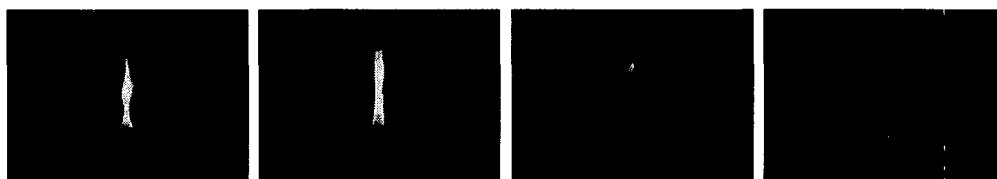


Fig. 2. 소화약제의 농도에 따른 화염 형상

소화농도는 소화될 때의 가스소화약제의 유량을 측정한 후 아래 식으로 계산되어 진다.

$$\text{소화농도} = \frac{F1}{F1 + F2} \times 100\% \quad (1)$$

실험에 사용된 연료는 n-Heptane이며, 점화시켜 Burner를 충분히 가열한 후에 소화약제를 공급하여 화염을 소화시켰다. 화염이 소화될 때 측정된 소화약제의 유량(F2)이

대략 $27.5l/min$ 이므로 식(1)을 사용하여 계산된 IGG 배기가스 소화약제의 소화농도는 IG-541의 29.1%와 IG-01의 38%보다 큰 값인 40.74%이다.⁴ 이는 IGG 배기가스 내에 포함되어 있는 O_2 의 영향으로 생각된다.

소화농도에서의 산소농도를 살펴보면, IGG의 경우 14.9%이고, IG-541은 14.8%이다. 두 소화약제의 산소농도는 거의 동일한 값을 가지는 것을 알 수 있으며, 이 결과로부터 설계농도의 가정에 대한 타당성을 확인할 수 있을 것으로 사료된다. 즉 앞서 언급한 산소의 12.0% 가정을 적용할 수 있음을 확인할 수 있다.

4. 화재진압 성능평가

NFPA 등 화재관련 규정에 의하면, 가스계 소화설비의 소화성능평가는 심부화재인 A급 화재와 표면화재인 B급 화재에서 이루어져야 한다. A급 소화시험의 연료는 나무이며, 규정에 의해 수종(樹種), 수분 함량 및 크기 등이 정해진다. 일정한 규칙으로 나무를 쌓은 다음 n-Heptane으로 불을 붙인 후 일정시간을 경과시켜 나무에 불이 충분히 붙은 후에 소화성능실험을 실시한다. B급 화재 실험의 연료는 n-Heptane을 사용하며, 불을 점화하여 일정시간 유지시킨 후 소화약제를 방출시켜 소화성능을 평가하게 된다. 연료 팬의 크기는 규정에 따라 약간씩 차이가 있다.

본 연구에서는 제품화에 필요한 소화성능평가를 실시하기 전에 실험실 규모의 소화성능평가를 실시하여 제작된 IGG 배기가스의 소화특성을 파악하고자 한다.

Fig. 3은 IGG 배기가스의 소화특성을 평가하기 위한 장치의 개략도이다. 소화공간의 체적은 $1m \times 1m \times 1m$ 이며, 공간 내부 소화과정을 관찰하기 위해 상·하면을 제외한 면을 투명 비닐로 제작하였으며, 상·하면은 강도를 유지시키기 위해 스테인레스 철판으로 제작하였다.

IGG의 배기가스 성분 중 수분을 질소로 대체한 후 Dalton의 법칙에 따라 소화약제를 제조하였다. 제조된 소화약제의 조성 및 분압을 Table 4에 나타내었다.

실험에 사용된 화원은 n-Heptane을 연료로 한 15kW급의 Pool fire이다.

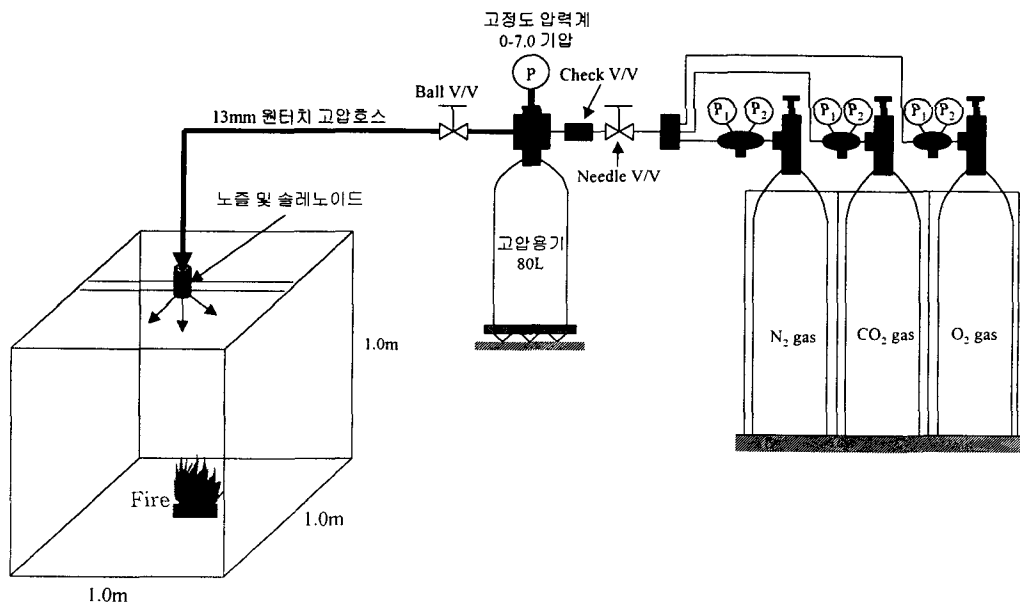


Fig. 3. 화재진압실험장치 개략도

Table 4. IGG 제조된 소화약제의 농도 및 분압

조성	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O
농도(vol. %)	87.12	6.32	8	0
분압(기압)	6.00	0.44	0.56	-

Fig. 4는 IGG 배기가스를 사용하여 소화성능실험을 실시한 결과로서 화재진압의 과정을 보여주고 있다.

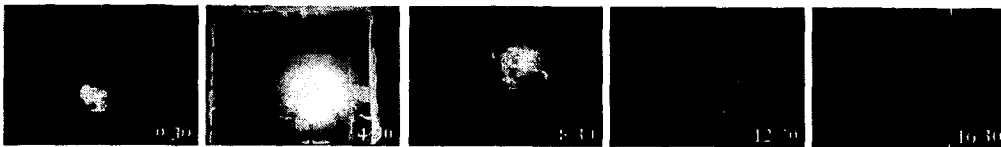


Fig. 4. 화재진압과정 가시화

소화약제의 분사 초기에는 화재의 크기가 급격하게 성장되는 것을 볼 수 있다. 이것은 소화약제가 노즐을 통하여 소화공간으로 방출될 때, 분사노즐 근처에 존재하고 있던 공기가 소화약제의 방출과 동시에 소화약제의 제트에 유입된 후 화재로 분사되어 감에 따라 공기와 연료의 혼합이 활발하게 되어 화재가 급격하게 성장되는 것이다. 분사가 계속 진행됨에 따라 화원주위에 산소농도가 희박하게 되어 화염이 Pool의 표면으로부터 부상되고 산소농도의 감소에 따라 결국에는 소화하게 된다. 가스계 소화약제의 소화 특성은 부상화염에 의한 불안정성에 의해 소화되는 것으로 관찰된다.

5. 결론

IGG에서 배출되는 가스와 유사하게 제조된 가스계 소화약제를 1m×1m×1m의 공간 내에 15kW급의 n-Heptane Pool 화재 진압 실험을 수행하였으며, IGG의 밀폐 및 반밀폐 공간에서의 화재진압 가능성을 확인하였다.

Cup burner 실험을 수행하여 소화농도를 측정하였으며, 이 결과로부터 설계농도에 대한 자료를 확보할 수 있었다.

IGG는 고정식 불활성 가스계 소화설비와는 달리 대량의 배기가스를 연속적으로 생산 가능하기 때문에 단일 구획의 화재진압 뿐만 아니라 많은 방화구획을 갖는 방호 대상물에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 소화설비의 적용에서 예상되는 문제점으로는 방출 온도가 높은 것에 의한 것과 배기가스 중에 포함되어 있는 수분의 응결에 의한 가시거리 확보 문제 등이 대두될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. NFPA 2001, Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 1996.
2. ISO 6183, Fire Protection Equipment-Carbon Dioxide Extinguishing Systems for Use on Premises-Design and Installation, 1990(E).
3. UL 1058, Halogenated Agent Extinguishing System Units, 1995.
4. 청정소화약제 INERGEN 소화설비, 한국화재소방학회(청정소화약제 및 시설기준), 1995.
5. 김재덕, "가스계 소화시스템의 평가", 화재·소방 학회지, vol. 1 No. 1, pp.10-18, 2000,