

# 불활성 가스 발생장치(Inert Gas Generator)의 소화시스템 적용에 관한 연구

## A Study of the Application of Inert Gas Generator to the Fire Extinguishing System

한용식<sup>†</sup> · 김명배 · 김수용

Yong-Shik Han<sup>†</sup> · Myoung-Bae Kim · Su-Yong Kim

한국기계연구원 환경에너지기계연구본부  
(2005. 4. 11. 접수/2005. 5. 12. 채택)

### 요 약

대량의 비활성가스를 발생시키는 Inert Gas Generator(IGG)를 소화설비로 사용하기 위해 본 연구에서는 가스터빈을 채용한 IGG에서 발생하는 배기가스의 소화성능을 검토하였다. IGG에서 발생하는 가스의 조성을 동일하게 만든 모사 혼합가스를 이용하였으며, Cup Burner 시험방법으로 소화농도를 측정하였다. 얻어진 소화농도를 NFPA 2001에서 권장하는 방법에 적용하여 소화설계 농도 및 소화공간 크기를 산정하였다. 또한, 2 m×2 m×2 m 크기의 공간에서 화재진압 실험을 수행하여 실제 소화성능을 확인하였다.

### ABSTRACT

A study of the utilization of inert gas generator(IGG) that generates a large amount of inert gas for the fire extinguishing equipment was performed. In this study, the fire extinction performance of gas generated from a IGG which is implemented to a gas turbine was investigated. A simulated mixture gas of which composition is the same as that of the gas generated from IGG was used in all experiments. First, the extinction concentration was measured using a cup burner method. The extinction design concentration and the volume of extinction space was calculated by applying the obtained extinction concentration to a method recommended by NFPA 2001. In practical respects, the fire extinction performance of IGG-generated gas was confirmed through the fire suppression experiment within a 2 m × 2 m×2 m room.

**Keywords :** Inert gas, Fire extinguishing system, Inert gas generator (IGG), Fire extinguishing agent

## 1. 서 론

가스터빈의 연소가스를 이용하여 대량의 소화용 가스를 생산할 수 있는 불활성 가스 생성기(Inert Gas Generator, IGG)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 개방공간 화재진압에도 사용될 수 있다.

IGG가 소화설비로서 적용되기 위해서는 우선적으로 우수한 화재진압 특성을 가지고 있어야 할 뿐 아니라 환경 친화성, 인체 유해성, 설치 안정성 및 2차 손상 등에 대한 특성들이 정확하게 파악되어 있어야 한다. NFPA, ISO, UL 등 여러 관련규정에서는 공통적으로 불활성 가스계 소화설비의 적용성 검토를 위한 항목으로 소화약제 평가, 설비부품 평가, 소화성능 평가 등을 요구하고 있다.<sup>1-3)</sup>

소화약제 평가에는 소화농도, 불활성 농도, 오존파괴 지수 등 소화약제의 물성에 대한 항목들이 포함된다. 소화설비가 여러 개의 부품으로 구성되어 있기 때문에 각각의 부품에 대한 신뢰성 확보가 중요하게 되며, 설비부품 평가 항목을 통하여 점검하고 있다. 소화성능

<sup>†</sup>E-mail: yshan@kimm.re.kr

평가 항목에는 소화설비가 설치된 상태에서 실제적인 화재 시나리오를 통하여 화재를 진압하기 위해 필요한 사항들을 점검하는 것으로 소화시험, 방출시험, 누출시험, 반복조작 시험, 유량 계산방법 인증시험 등이 포함되어 있다.

본 연구에서는 IGG에서 발생하는 가스를 소화약제로 사용하기 위해 검토해야 할 가장 핵심적인 항목인 소화농도를 얻고, 소화시험을 수행함으로써 IGG의 밀폐 및 반밀폐 공간에서의 소화특성에 대해 고찰하고자 한다.

## 2. 소화농도 측정

“가스계 소화약제를 소화농도 측정장치로 측정할 때 불이 꺼지는 소화약제의 최소 농도”로 정의되는 소화농도는 소화설비에 사용될 소화약제의 양을 결정하는 가장 기초적인 자료이다. 이러한 소화농도의 측정방법으로는 여러 가지가 있지만, NFPA, ISO, UL 등의 Fire Code에서는 Cup Burner 시험방법으로 소화농도를 측정하도록 규정하고 있다.<sup>1,3,5)</sup> Cup Burner 장치는 Fire Code 및 설치기관에 따라 약간씩 차이가 있으며 측정된 소화농도에도 약간의 차이는 존재하는 것으로 알려져 있지만, 실용적 관점에서 그 차이는 크지 않다. 본 연구에서는 세계적으로 통용되고 있는 ISO의 규정(ISO-6183)에 따라 Cup Burner 소화농도 측정 장치를 Fig. 1과 같이 제작하였다.<sup>3)</sup> 소화농도는 공기유량(F2)을 40 l/min으로 고정시켜 두고 측정하고자 하는 가스 소화약제의 유량(F1)을 서서히 증가시킬 때 소화되는 조건에서의 유량 F1과 F2를 측정한 후 아래 식에 대입하여 소화농도를 구한다.

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

Table 1은 IGG에서 생성되는 소화용 가스의 조성을 나타낸다. IGG는 2단계로 구성되어 있는데 1단계는 산소가 희박한 연소가스를 발생시키는 부분이며, 2단계에서는 1단계에서 생성된 고온의 연소가스에 물을 분사시켜 온도가 낮으면서 산소농도가 낮은 비활성가스를 대량으로 생성시킨다. IGG 배기가스에는 고온의 배기가스를 냉각시키면서 산소농도를 희석시키기 위한 수분이 다량 포함되어 있기 때문에 소화농도 측정장치인 Cup Burner 시험장치에는 직접 사용할 수가 없다. 본 연구에서는 소화농도 측정을 위해 IGG 배기가스에 상당하는 대체 혼합가스를 만든 다음 소화농도 측정시험을 수행하였다.

Table 1. Composition of IGG-generated gas at 20°C

조성	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
농도(vol. %)	73.12	6.32	6.56	14

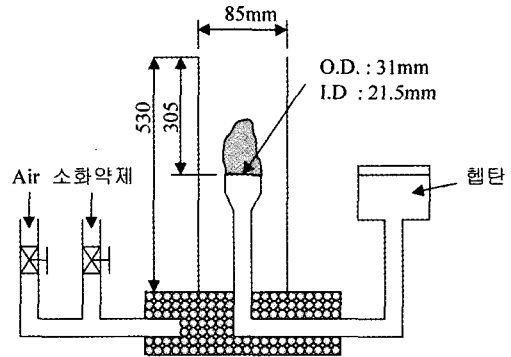


Fig. 1. Schematic of cup burner and flow system.

Table 2. Composition of substitute gas for the IGG-generated gas

조성	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
농도(vol. %)	87.12	6.32	6.56	0

Table 2는 IGG의 배기가스의 대체 혼합가스의 조성을 나타낸다. IGG 배기가스 성분 중 수분을 질소성분으로 대체하였는데, 이는 수분에 의한 공기 희석효과를 고려한 것이다. Dalton의 분압법칙에 의해 N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 및 CO<sub>2</sub> 가스를 완전가스로 가정 한 후, 각 성분의 분압을 측정하여 대체 소화약제를 조성하였다.

소화시험의 화원생성에 사용된 연료는 n-Heptane이며, 연료 컵에서 점화시켜 버너를 충분히 가열하여 화염이 준정상상태(Quasi Steady-state)에 도달한 후에 소화시험을 수행하였다. 또한 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 연료 컵을 별도의 연료 공급실과 연결하고 위치에너지를 이용하여 연료 컵에서 증발되는 만큼 일정량의 연료가 지속적으로 공급되도록 하였다.

Fig. 2에는 조성된 소화약제를 Cup burner가 적용된 소화농도 실험장치에 적용한 후 소화약제의 유량증가에 따른 화염의 모양을 가시화하였다. 그림에서 알 수 있듯이 소화약제의 유량이 증가함에 따라 초기에는 화염의 길이가 성장함을 볼 수 있다. 이는 공급되는 소화약제 조성 중 연소에 필요한 산소농도 감소에 따른 현상이다. 소화약제 유량을 더 증가시키면 버너 끝단으로부터 부상화염이 형성되며, 결국에는 소화되는 과정을 보여주고 있다. 여기서 소화 실험장치에서 소화약제의 유량증가는 소화약제의 농도증가를 의미한다.

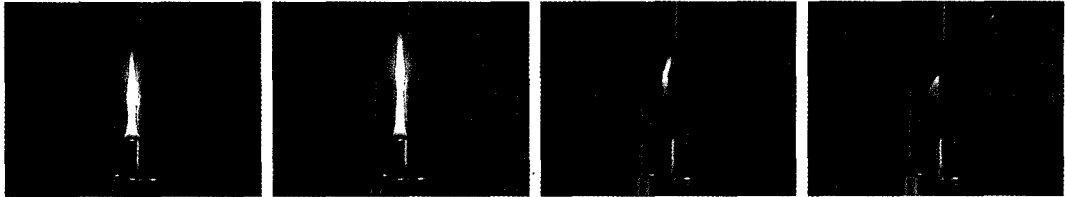


Fig. 2. Variation of cup burner flame shape with increasing the volume flowrate of extinction agent.

화염이 소화될 때 측정된 소화약제의 유량은 27.5 l/min이며, 식 (1)에 대입시켜 계산된 IGG 배기가스 소화약제의 소화농도는 40.74%로 기존의 소화약제의 하나인 IG-541의 31.25%와 IG-01의 38%보다 큰 값을 가진다. 이는 IGG 배기가스 내에는 소량의 O<sub>2</sub>가 포함되어 있어서 소화농도에 영향을 주기 때문으로 생각된다. 또한, 소화농도에서의 산소농도를 살펴보면, IGG의 경우 통상적인 산소 소화농도인 15.0%이고, IG-541은 14.5%이다. 이렇게 두 소화약제의 산소농도는 거의 동일한 값을 가지는 것으로 미루어 볼 때, 소화농도 측정에 대한 본 실험결과와 타당성을 간접적으로 확인할 수 있다.

### 3. 설계농도 및 소화공간 산정

밀폐 및 반밀폐 공간의 화재진압에 사용되는 가스계 소화설비의 설계에서는 방호구역의 크기가 주어지면 화재진압을 위해 방출되어야 할 소화약제 양이 결정된다. 또한, 각 소화약제에 대해 방출 허용시간이 정해져 있기 때문에, 이러한 기준에 의해서 방출에 필요한 배관 및 노즐설계가 이루어지게 된다. 소화약제의 양을 결정하는 설계농도는 “방호대상물 또는 방호구역에 대하여 소방기술 기준에 관한 규칙에 따라 저장량을 산출하기 위한 농도로 소화농도에 안전율을 고려하여 설정한 농도”를 말한다. 국제적으로 통용되는 NFPA 2001에서 권장하는 안전율은 소화약제를 20% 추가하는 것으로 규정하고 있다.<sup>1)</sup> Table 3에는 현재 사용중인 가스계 소화약제의 소화농도와 설계농도를 표시하였다.

본 연구에서의 IGG의 배기가스 소화약제의 소화농도는 40.74%이므로 20%가 추가된 설계농도는 다음과 같다.

$$\therefore \text{IGG의 설계농도} = 40.74\% \times 1.2 = 48.89\%$$

다음 단계로, 얻어진 설계농도로부터 실제 방호구역의 소화에 필요한 소화약제 양을 산출하여야 한다. 우리나라 소방기술기준<sup>6)</sup>에서는 비활성가스 소화약제 양의 산출을 위해 다음의 식 (2)를 적용하도록 규정하고 있다. 여기에는 방호구역에서의 누설에 대한 고려가 포함되어 있다.

$$X = 2.303 \times \frac{V}{S} \times \left( \log_{10} \frac{100}{100 - C} \right) \times v_s \quad (2)$$

여기서, X는 소화약제의 체적(m<sup>3</sup>)

V는 방호구역의 체적(m<sup>3</sup>)

S는 온도에 따른 소화약제별 선형상수(0.8024 + 0.00294 × T)

C는 체적에 따른 소화약제의 설계농도(48.89%)

v<sub>s</sub>는 적용온도에서의 소화약제 비체적(m<sup>3</sup>/kg)

T는 적용온도(°C)

20°C에서 IGG가스의 비체적은 0.8613 m<sup>3</sup>/kg이고, 소화약제별 선형상수를 대입하면 방호구역에 따른 소화약제의 체적을 구할 수 있다.

$$X = 0.671V(\text{m}^3) \quad (3)$$

식 (3)을 가지고 실제 시스템에 적용할 경우, 누설량이 작을 때는 최종적인 산소농도는 소화농도 15.0%보다 높은 15.1% 농도를 가지게 되어 화재진압이 불가능할 가능성이 존재하게 된다. 반면에 INERGEN과 같은 소화약제의 경우, 최종 상태의 산소농도가 14.3%로 소화한계 농도이하의 값을 가지는 것이 확인된다. 실제 화재공간에서는 누설이 존재하며, 식 (2) 자체도 누설을 고려하여 유도된 식이지만 배기가스 중에 산소가

Table 3. Relationship between the concentration of gas agent needed for fire extinction and design concentration

소화약제	CO <sub>2</sub>	H-1301	FE-13	NAF S-III	FM-2000	INERGEN
소화농도(%)	50	4	13	12.5	7	31.25
설계농도(%)	60	5	16	15	8.4	37.5

포함되어 있을 경우에는 식 (2)의 사용에 있어서 면밀한 주의가 요구된다.

다음은 누설이 없는 경우에 대해 청정 소화약제 기술기준<sup>6)</sup>을 토대로 IGG 배기가스 소화시스템의 소화약제 체적 산정에 다음과 같은 식을 적용하였다.

$$X = \frac{V}{S} \times \left( \frac{C}{100 - C} \right) \times v_s \quad (4)$$

- 여기서, X는 소화약제의 체적(m<sup>3</sup>)
- V는 방호구획의 체적(m<sup>3</sup>)
- S는 온도에 따른 소화약제별 선형상수(0.8024 + 0.00294 × T)
- C는 체적에 따른 소화약제의 설계농도(48.89%)
- v<sub>s</sub>는 적용온도에서의 소화약제 비체적(m<sup>3</sup>/kg)
- T는 적용온도(°C)

식 (4)를 이용하면 누설을 고려하지 않을 경우, 방호구획에 따른 소화약제의 체적은 다음과 같다.

$$X = 0.957V(m^3) \quad (5)$$

이 식의 경우에는 누설에 대한 고려가 되어있지 않기 때문에 이에 대한 보완이 필요하다.

식 (4)으로부터 방호구획의 체적이 정해지면 소화에 필요한 소화가스량이 산출되며, 이것을 IGG에 적용하므로써 소화에 필요한 방출시간을 얻을 수 있다. 소방법규<sup>6)</sup>에 비활성가스의 경우 허용방출시간을 1분으로

구정하고 있으며, IGG 시스템 역시 비활성가스 소화약제로 분류될 수 있어 허용 방출시간은 1분이다.

IGG에서 생성시킬 수 있는 배기가스의 용량은 250 m<sup>3</sup>/min이며, 식 (5)로부터 최대 소화가능 공간체적은 261 m<sup>3</sup>임을 알 수 있다. 이러한 값들은 IGG 배기가스 중 산소가 6.32%일 경우에 해당되는 것으로, 만일 IGG 배기가스에 포함된 산소농도가 희박할수록 소화가능 공간체적은 커지게 된다. 또한 IGG는 고정식 불활성 가스계 소화설비와는 달리 연속적으로 대량의 불활성 가스 생산이 가능하여 다중 방화구획 공간에 효과적으로 적용하기 때문에 소화활동 장비로도 사용이 가능할 수 있다.

#### 4. 소화성능평가

국내 소방법 및 NFPA 등 화재관련 규정에 의하면, 가스계 소화설비의 소화성능평가는 심부화재인 A급 화재와 표면화재인 B급 화재에 대해서 수행하도록 규정하고 있다. 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 화재의 연료는 n-Heptane을 사용하며, 불을 점화하여 일정시간 유지시킨 후, 소화약제를 방출시켜 소화성능을 평가하게 된다. 연료 팬의 크기는 규정에 따라 약간씩 차이가 있다.

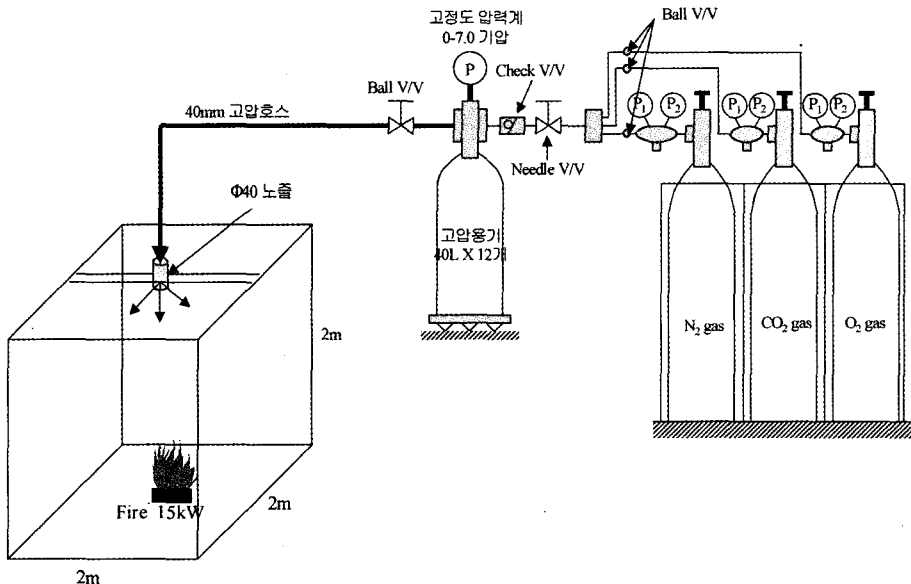


Fig. 3. Schematic of fire suppression facility.

본 연구에서는 IGG 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 2m×2m×2m이며, 공간 내부의 소화과정을 관찰하기 위해 상하면을 제외한 면을 투명 아크릴로 제작하였다. 압력반산을 위해 바닥에 Ø300의 원형 개구부를 두었으며, 소화약제를 제조하기 위해서는 12개의 고압용기를 사용하였다. 소화약제의 분사노즐 직경은 Ø40로 제작하였다.

전체 8 m<sup>3</sup>의 소화공간에 필요한 소화약제의 양은 식(5)으로부터 7.65 m<sup>3</sup>임을 알 수 있다. 이것은 12개의 고압용기에 각각 0.638 m<sup>3</sup>의 소화약제가 충전되어야 함을 의미하며, 압력으로 환산하면 15.9 kg/cm<sup>2</sup>에 해당된다. 즉 소화약제 충전압력이 15.9 kg/cm<sup>2</sup>임을 의미한다. 이때, IGG의 배기가스 성분은 Table 2의 조성과 같이 수분은 질소로 대치하고, Dalton의 법칙에 따라 소화약제를 제조하였다. 제조된 소화약제의 조성 및 분압을 Table 4에 나타내었다.

실험에서는 연료를 n-Heptane으로 화원크기가 15 kW인 B급화원을 대상으로 하였다.

Fig. 4는 IGG 배기가스를 사용하여 소화성능실험을 실시한 결과로서 화재진압 과정 중의 화재형상을 보여주고 있다. 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 공기와 연료의 혼합이 활발해지기 때문이다. 그러나 분사가 계속적으로 진행됨에 따라 화원주위에 산소농도가 희박하게 되어 화염이 Pool의 표면으로부터 부상되

고, 산소농도의 감소에 따라 결국에는 소화하게 된다. 가스계 소화약제의 소화특성은 화염주변의 산소농도가 감소되면서 화염대 내부의 반응이 약화되고 결국 화염이 부상되어 소화되는 것으로 판단된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 대량의 비활성가스를 발생시키는 Inert Gas Generator(IGG)를 소화설비로 사용하기 위해 가스 터빈을 채용한 IGG에서 발생하는 배기가스의 소화성능을 검토하였다.

우선, Cup burner 실험을 수행하여 소화농도를 측정하였으며, 측정된 소화농도를 이용하여 국내 소방기술 기준에 따라 설계농도 및 소화약제의 양을 도출하였다. 또한, IGG 배기가스의 소화성능을 검토하기 위하여 2m×2m×2m의 공간 내에 15 kW급의 헬탄 Pool 화재에 대한 진압실험을 수행하여 IGG 배기가스의 밀폐 및 반밀폐 공간에서의 화재진압 가능성을 확인하였다.

IGG 배기가스와 같이 비활성 가스 소화약제인 INERGEN과의 소화성능 비교 검토에서 소화약제량 산정에 대한 추가적인 연구의 필요성을 확인하였다. 또한 배기가스의 산소농도와 소화농도의 상관관계에 대한 검토와 소화약제량 산정 프로그램의 개발이 필요함을 확인하였다.

IGG는 고정식 불활성 가스계 소화설비와는 달리 대량의 배기가스를 연속적으로 생산하는 것이 가능하기 때문에 다중 방화구획의 화재진압을 위한 소방활동장비로 사용이 가능할 것으로 판단되며, 장비의 효율적이고 실제적인 운용방법에 대해서는 추후 체계적인 연구가 필요할 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).

Table 4. IGG 제조된 소화약제의 농도 및 분압

조성	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
농도(vol. %)	87.12	6.32	6.56	0
분압(15.9 kg/cm <sup>2</sup> )	9.41	0.68	0.71	-



Fig. 4. Visualized results of a fire suppression.

3. UL 1058, Halogenated Agent Extinguishing System Units(1995).
4. 청정소화약제 INERGEN 소화설비, 한국화재소방학회(청정소화약제 및 시설기준)(1995).
5. 김재덕, “가스계 소화시스템의 평가”, 화재소방 학회지, Vol. 1, No. 1, pp.10-18(2000).
6. FIS 002, 가스계 소화설비의 성능기준에 관한 인정기준, 한국소방검정공사(2000. 10. 9).