가스난방용 적외선 히터의 연소배기가스 특성해석

김영규*, 권정락*, 김청균**
*한국가스안전공사, **홍익대학교 기계공학과

Analysis of the Characteristics of Flue Gas in Infrared Mobile Heaters for Gas Room Heating

Young Gyu Kim* · Jeong Rock Kwon* · Chung Kyun Kim**
*Korea Gas Safety Corporation
**Dept. of Mechanical Eng., Hongik University

1. 서론

청정에너지 연료로 인식되는 가스에너지의 국내보급[1]이 확대되고 안정화되면서 가스 난방기의 열효율과 신속한 난방효과 때문에 이동이 가능한 가스 난방기 수요는 급증하는 추세에 있다. 가스난방기는 전기나 석유난방기에 비하여 설치나 이동 측면에서 제약성이 있으므로 이동과 사용영역이 비교적 자유로운 적외선 히터에 대한 선호도가 최근 높아지고 있다. 개방형 가스기기를 실내에서 사용하게 됨에 따라서 CO 등의 불완전 연소가스로 인한 질식사고의 위험성이 있어 산소결핍안전장치(ODS:oxygen depletion system)가 필요하며, ODS는 열전대의 기전력에 의해서 메인버너로 통하는 가스를 차단하는 구조로 되어 있다[2,3].

실내에서 사용하는 가스난방기의 CO에 의한 중독사고와 질식사고를 방지하기 위하여 실내 공기가 기준한도 이상으로 오염되면 자동적으로 가스를 차단시킬 수 있는 산소결핍안전장치의 작동 반응성과 연소배기가스(flue gas)의 특성을 실험적으로 규명하는 것은 대단히 중요한 의미를 갖는다.

따라서 본 연구에서는 가스 난방기의 일종인 적외선 히터의 밀폐공간내에서 사용할 때 실내용적별 산소결핍에 따른 ODS의 민감도 및 CO_2와 CO에 관련된 연소상태를 실험적으로 조사하였다.

2. 이론적 배경

적외선 히터와 같은 개방형 연소에서는 과잉공기량(excess air)이 요구되어 연소에 필요한 산소가 소비되며, 일정량의 환기가 이루어지고 있을 때 실내의 산소농도 변화는 다음식으로 주어진다[5].

$$K=\frac{0.21\beta G}{Q+(\beta-\alpha)G}\exp[-\{Q+(\beta-\alpha)G\}\frac{t}{V}]+\frac{0.21Q-0.21\alpha G}{Q+(\beta-\alpha)G} \quad (1)$$

여기서 V : 실내 용적 (m^3), K : 임의시간에서의 산소농도, Q : 환기량 (m^3/h),
t : 시간 (h), G : 가스 소비량 (m^3/h)
α : 공급가스의 이론 공기량 (m^3/m^3),
β : 공급가스의 이론배기 가스량 (m^3/m^3)

식 (1)에서 $(\beta-\alpha)G$가 Q에 비례하여 매우 작으므로 무시하고, 환기 회수 $n=Q/V$를 도입하여 정리하면 산소농도식 K는 식 (2)와 같이 간단하게 정리된다.

$$K=\frac{0.21\beta G}{Q}(e^{-nt}-1)+0.21 \quad (2)$$

일정한 실내공간에서 산소농도의 감소는 O_2의 소비량과 환기량 Q로 결정된다. 따라서 개방형 연소기를 실내에서 사용할 때 실내의 공기상태와 직접 관련이 있는 것은 환기(ventilation)이고, 환기 회수에 따라서 실내의 산소농도는 변한다. 연소시 산소농도가 감소하면 주위 이산화탄소 농도는 증가하게 되어 일정한 선형성을 갖는다. 연소반응 결과 산소에서 이산화탄소로의 변화는 식 (3)과 같으며, 부탄의 완전연소후의 CO_2의 농도 ε=14.02를 대입하여 정리하면 식 (4)와 같이 표현할 수 있다. 식 (4)의 O_2와 CO_2의 상관 관계에서 O_2의 연소에 따른 CO_2의 값과 CO_2의 값을 가지고 O_2의 값을 각각 예상할 수 있다.

$$\zeta = \lambda - \phi(\lambda/\varepsilon) \quad (3)$$
$$\phi = \varepsilon/\lambda(\lambda-\zeta)$$

$$\zeta = \lambda - 1.51\phi \quad (4)$$
$$\phi = 0.663(\lambda-\zeta)$$

여기서 ζ : O_2의 농도, ϕ : CO_2의 농도,
λ : 오염되지 않은 대기중의 O_2의 규정농도

3. 실험

3.1 실험모델

실험에 사용된 가스난방기 모델은 용기를 내장한 동일 용량, 동일 형식의 적외선 히터로서 이동하면서 사용할 수 있도록 설계되었다.

3.2 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 실험장치는 산소결핍 정도를 측정하기 위한 실험챔버와 연소가스를 분석하는 시스템으로 Fig. 1과 같이 구성되었으며, 연소시 발생되는 불완전 연소가스는 CO/CO_2 분석기(KM9004, Kane Int.)를 사용하여 측정하였다.

실험은 챔버내에서 온도를 20±5℃로 일정하게 유지하여 ODS가 작동할 때까지 연소상태 변화를 실험챔버 크기별로 구분하여 각각 실시하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Figs. 2~3은 연소시간에 따른 O_2의 감소결과와 CO_2의 증가에 대한 실험결과치와 이론결과치를 비교하여 보여주고 있다. Fig. 2의 실험결과를 살펴보면, 챔버크기에 따른 O_2의 수준은 전체적으로 선형적인 감소경향으로 나타났다. 즉, O_2의 감소률은 챔버크기가 가장 큰 K형(내용적 18.75m^3)에서 상대적으로 작은 L형(내용적 7.6m^3), M형(내용적 6.86m^3)에 비하여 완만하게 O_2가 감소하고 있는데, 이것은 챔버의 내용적이 크기 때문에 그만큼 챔버내의 연소에 의한 배기가스 농도가 낮아 ODS가 작동하는데 까지의 걸리는 시간이 길어짐을 의미한다. 한편, O_2 농도 이론식 (1)을 수치적으로 해석한 결과에 의하면 챔버 K에서는 실험결과와 일치하였으며, 챔버가 작은 L, M에서는 정성적으로는 일치하는 경향을 보인 반면에 정량적인 측면에서는 약간 차이를 보여준다.

Fig. 3에서 CO_2의 발생은 Fig. 2에서 보여준 O_2의 감소현상과는 반대로 전체적으로 증가하며, 실내용적이 작은 L형과 M형 챔버에서 급격하게 증가함을 보여준다. 식 (1)을 수치해석하여 얻은 결과를 CO_2 농도식 (4)에 적용한 결과, 챔버 K에서는 CO_2의 발생이 비교적 일치함을 보여주고 있으나 챔버 L과 M의 경우는 시간이 경과할수록 큰 차이를 보여주고 있다. 따라서 O_2의 감소나 CO_2의 증가수준은 챔버가 큰 경우, 즉 실내용적이 크면 이론결과와 실험결과는 정성적·정량적측면에서 비교적 일치하는 것으로 나타났으나 실내용적이 작으면 정성적으로만 일치함을 알 수 있다.

Fig. 4는 연소시간에 따라 발생되고 있는 CO의 분포수준을 보여주고 있는데

챔버가 작은 L형과 M형의 경우가 K형의 경우보다 급격하게 CO가 증가되는 것으로 나타났고, 최종 CO 농도 또한 M, L, K형 순으로 높게 나타났다. 특히 챔버가 작은 L과 M형의 경우는 연소후 10분 정도가 지나면 CO의 발생이 급격하게 증가함을 보여준다. 이와 같이 CO가 발생되는 원인은 적외선 히터의 발열체가 세라믹 플레이트 형태이기 때문에 가스발생으로 부터 발열체인 세라믹 플레이트에 이르는 연소 시스템의 불안정으로 인한 불완전 연소와 적외선 히터의 연소조건이 양호하더라도 밀폐공간내에서 장시간 사용시 산소농도저하에 다른 1차공기의 혼합되는 연소용 혼합공기의 상태가 불안정해지기 때문이다.

5. 결론

적외선 히터의 연소에 따른 산소결핍 실험에서 ODS가 작동하는 O_2의 농도는 챔버의 내용적에 관계없이 18.3%로 각각 나타났고, ODS가 작동하는 시간은 내용적이 클수록 늦게 작동하였다. 밀폐공간에서 연소시 O_2와 CO_2는 일정한 선형성을 가지며, CO 농도는 O_2나 CO_2의 발생수준과는 관계없이 불규칙적으로 발생하였다. 또한 CO는 연소후 10분 부터 그 발생폭이 커짐을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 적외선 히터와 같은 개방형 연소기를 실내에서 사용할 때 적정 환기를 통한 충분한 공기량을 공급하여 불완전 연소를 방지하고, O_2 감소에 따른 질식사고와 CO에 의한 중독사고를 예방할 수 있다는 측면에서 중요한 의미를 갖는다.

참고문헌

1. 한국가스안전공사 : 가스사업체계 및 제도개선에 관한 연구(1997).
2. P. S. Stefani : Oxygen Depletion Safety Systems for Unvented Gas-Fired Space Heaters and Water Heaters, 5~15(1983).
3. George Jasper : "Gas Service Technology 3", Ernest Benn ltd, 174~181 (1980).
4. 한국가스안전공사 : 가스사고편람(1997).
5. 日本東京ガス : ガス器具の基礎常識, 73~87(1975).

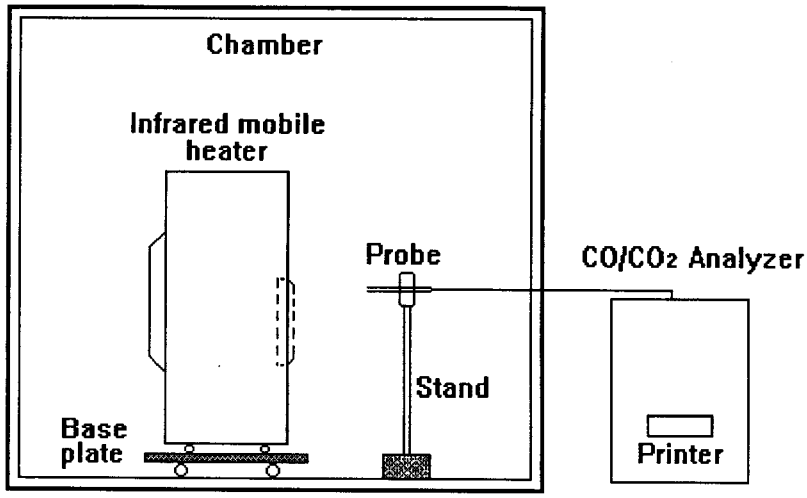

Fig. 1 Experimental apparatus.

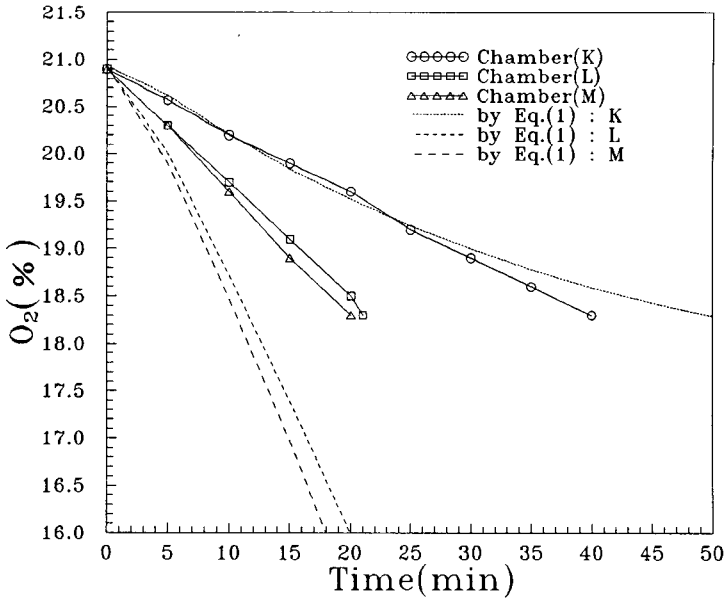

Fig. 2 Distribution level of O_2 as a function of combustion time.

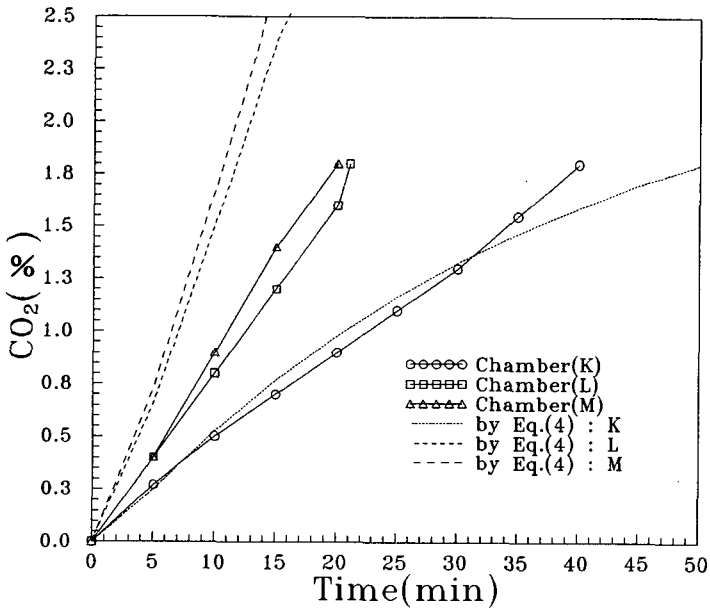

Fig. 3 Distribution level of CO_2 as a function of combustion time.

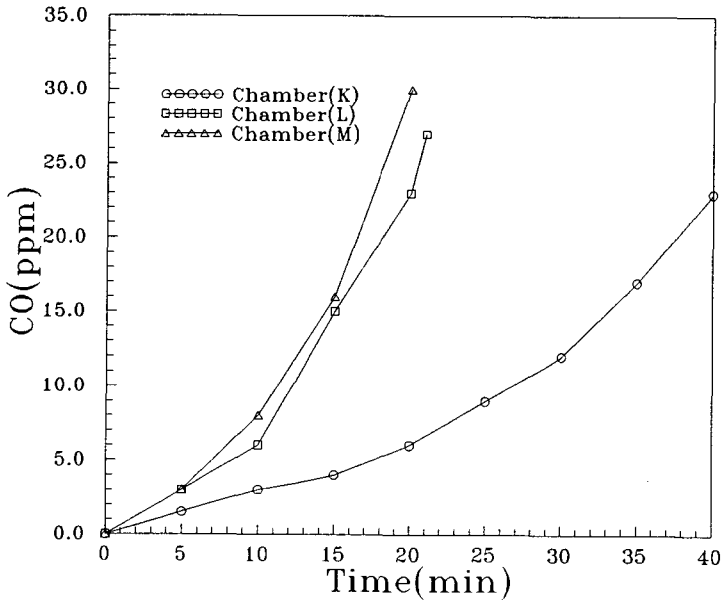

Fig. 4 Distribution level of CO as a function of combustion time.