

이동식 적외선 가스히터의 배기가스현상에 대한 실험적 연구

Experimental Study on the Flue Gas Phenomena in Infrared Mobile Heaters

김 영 규*·류 근 준*
Young-Gyu Kim · Geun-Jun Lyu
(1996년 3월 2일 접수, 1996년 9월 20일 채택)

ABSTRACT

The experimental work is performed to obtain content levels and characteristics of flue gas in infrared mobile heaters for butane gas with varying the chamber size and its room temperature. The results showed that the oxygen depletion sensor device is operated at 18.3% of oxygen content. And the relation of oxygen content and carbon dioxide content in an enclosed space show linear aspect, but the content rate of carbon monoxide occurs at random without the level of oxygen content and carbon dioxide content.

1. 서 론

액화석유가스(LPG : liquefied petroleum gas)의 공급은 80년대 고도의 경제성장과 함께 정유공장의 증설등 석유화학공업이 발전하면서 그 생산공급량이 증가하였으며, 수요측면에서도 소득수준의 향상에 힘입어 취사용 뿐만 아니라 자동차 연료용, 난방용으로 최근까지 계속 높은 증가율을 보여왔다^{1~2)}. 그러나 최근에는 LPG 보급의 한계와 액화천연가스(LNG : liquefied natural gas)의 공급확대로 둔화되고 있으나 화석연료의 사용에 따른

환경규제 발생으로 여전히 증가가 예상된다. 청정 에너지 연료로 인식되는 가스에너지의 국내보급이 확대되고 안정화 되면서 가스 난방기의 열효율과 신속한 난방효과 때문에 가스 난방기의 수요는 증가추세에 있으며 이에 따른 가스기기의 안전성 문제가 높게 제기되고 있다³⁾.

가스 난방기(gas room heater)에는 바닥이나 벽에 설치하여 사용하는 가스난로, 팬히터, 가스온풍기, 가스온수기 등이 있다⁴⁾. 이러한 가스 난방기는 전기나 석유 난방기에 비하여 설치나 이동면에서 제약성이 있으나 이동식 적외선 히터(infra-

* 한국가스안전공사 가스안전기술연구센터

red mobile heater)는 이동과 사용영역이 비교적 자유로와 이에 대한 선호도가 높다. 부탄연료 사용의 다각화로 80년대말 유럽형 적외선 히터가 스페인에서 수입되기 시작하여 보조 난방기기로서 그동안 호평을 받아왔으며, 90년대초 국산화 되어 국내에서도 생산되고 있다. 이동식 적외선 히터는 일명 용기내장식 난방기라고도 하며 열전달의 방식에 따라 방사식, 대류식, 축매식으로 구분된다.

적외선 히터¹⁾와 같은 개방형 가스기기(gas appliance)를 실내에서 사용하게 됨에 따라 기기에는 CO 등의 폐가스로 인한 질식사고의 위험성이 있으므로 산소결핍을 방지하는 산소결핍 안전장치와 전도시 가스누설이나 화재를 예방하기 위한 전도 안전장치, 불이 꺼졌을 경우 가스를 차단시켜 주는 소화안전장치가 필요하다. 난방기기의 사용시 환기가 잘 이루어지지 않거나 산소함유량이 저하하여 불완전 연소가 이루어지면 유독한 CO가 다량 발생하게 된다. 산소결핍 안전장치(ODS : oxygen depletion sensor)⁵⁾는 공기중 산소함유량이 한계 수준까지 저하하면 가스기기내의 가스통로를 자동적으로 차단하는 제어장치의 일종이다. ODS의 개략적인 구조는 Fig. 1과 같으며, 밀폐된 공간에서 장시간 사용하게 되면 1차 공기구멍(primary air hole)으로 흡입되는 1차 공기의 산소함유량이

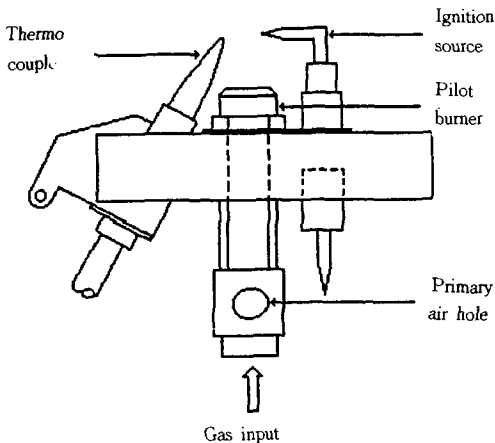


Fig. 1 Structure of oxygen depletion sensor for infrared mobile heater

떨어지므로 연소속도보다 분출속도가 빨라져 불꽃 뜨임(flame lifting)이 일어난다. 따라서 열전대

(thermocouple) 끝단에 닿아있던 정상불꽃이 약화되어 자체의 기전력이 떨어지게 되므로 마그네틱 밸브(MPU : magnetic power unit)의 가스통로를 막아 메인버너로 통하는 가스를 차단하게 된다⁶⁾.

실내에서 가스 난방기를 사용하게 되면 폐가스가 실내에 직접적으로 배출되는데 이에 따른 사고 통계를 보면 CO에 의한 중독사고가 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 사고를 방지하기 위하여 공기가 기준한도 이상으로 오염이 되면 자동으로 가스를 차단시킬 수 있는 산소결핍 안전장치와 연소배기가스(flue gas)의 특성을 실험적으로 규명하는 것은 대단히 중요하다. 따라서 본 연구에서는 연소시 산소결핍에 따른 위험성, CO₂와 CO에 관련된 연소상태의 비교분석을 통하여 적외선 히터의 안전성과 신뢰성을 제고하고자 한다.

2. 관련이론

적외선 히터를 일정 공간내에서 연소시키는 것은 밀폐된 공간에서 엔진을 운전시켜 폐가스를 배출하는 것과 같은 개념으로 생각할 수 있다. 즉 내부 공간내에서 필요한 공기를 흡입하고 그 공간으로 직접 배기가스를 배기시키므로 다음과 같은 조건이 내부공간에서 발생된다⁷⁾.

- 1) 주위공기의 O₂ 함유량은 정상수준(O₂<20.93%) 이하로 계속 감소한다.
- 2) C₂ 함유량은 정상수준(CO₂>0.038%) 이상 계속 증가한다.
- 3) CO는 주위 분위기(CO>0) 속으로 계속 확산한다.

적외선 히터에서 부탄 1m³를 완전 연소시키기에 필요한 이론 공기량(theoretical air requirement)은 약 31m³이다. 그러나 실제로는 그 이상의 과잉 공기량이 요구되어 연소에 필요한 산소가 소비된다. 따라서 일정량의 환기가 이루어지고 있을 때 실내의 산소함유량 변화는 다음과 같다.

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

여기서 V : 실내 용적(m³)

K : 임의 시간에서의 산소함유량

- Q : 환기량(m³/h)
- t : 시간(h)
- G : 가스 소비량(m³/h)
- α : 공급가스의 이론 공기량(m³/m³)
- β : 공급가스의 이론배기 가스량(m³/m³)

식(1)에서 (β - α)G가 Q에 비례하여 매우 작으므로 무시하고, 환기회수 n=Q/V를 도입하여 정리하면 식(2)와 같다.

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

식(2)에서 t=∞, η=G/Q라고 하면 다음과 같이 간단하게 표현된다.

$$K = 0.21(1 - \beta\eta) \dots\dots\dots (3)$$

식(3)은 정상시의 O₂함유량을 나타내고 있다. 즉 일정 실내의 산소함유량의 감소는 O₂의 소비량과 환기량 Q로 결정하고 있다. 따라서 적외선 히터를 실내에서 사용할 때 실내의 공기상태와 직접 관련이 있는 것은 환기(ventilation)이고 환기회수에 따라 실내 산소함유량은 변한다. 이와 같이 산소함유량의 변화는 가스기기의 구조 등과 같은 여러 설계조건에 따라 다르게 되므로 간단히 정의하기는 어렵다. 한편, 연소시 산소함유량이 감소하면서 주위 이산화탄소 함유량은 동시에 증가하게 된다. 연소반응 결과 산소에서 이산화탄소로의 변화는 간단하게 다음의 관계식으로 표현된다.

$$\zeta = \lambda - \psi(\lambda/\epsilon) \dots\dots\dots (4)$$

$$\psi = \epsilon/\lambda(\lambda - \zeta)$$

여기서 ζ : O₂의 함유량

ψ : CO₂의 함유량

λ : 오염되지 않은 대기중의 O₂의 규정함유량(20.93%)

ε : 완전연소 반응한 CO₂의 함유량

프로판의 경우 ε=13.72, 메탄은 ε=11.88, 부탄은 ε=14.02이다. 따라서 식(4)를 부탄에 대해 정리하면 다음식과 같다.

$$\zeta = \lambda - 1.51\psi \dots\dots\dots (5)$$

$$\psi = 0.663(\lambda - \zeta)$$

적외선 히터의 연료로 사용하는 부탄은 산소와의 연소반응으로 이산화탄소와 물이 생성되고 기타 불완전 연소 등의 원인으로 인하여 CO나 SO_x, NO_x 등이 소량 발생하게 되고, 식(4)의 O₂와 CO₂의 상관관계에서 O₂의 연소에 따른 CO₂의 값과 CO₂의 값을 가지고 O₂의 값을 각각 예상할 수 있

다. Table 1에 O₂와 CO₂ 함유량에 대한 규제기준을 제시하였다^{8~10}.

Table 1 Regulations of O₂ and CO₂ content

	O ₂ (%)	CO ₂ (%)
U. K.	18.6~19.74	0.8~1.5
U. S. A	18	1.96
Korea	18~19	-

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 실험장치는 산소결핍측정 실험챔버와 연소가스를 분석하는 시스템으로 Fig. 2와 같이 구성되었으며, 연소시 발생하는 폐가스는 CO/CO₂ 분석기(모델 : KM-9004, Kane Int. Ltd)를 이용하여 측정하였다.

산소결핍의 측정은 예비실험을 통하여 동일모델 중 가장 안정적인 연소정도를 나타내는 적외선 히터를 사용하여 Table 2에 주어진 챔버에서 동일 조건으로 실험을 실시하였다. 실험은 챔버내에서 온도를 20±3°C로 일정하게 유지하여 동일모델의 적외선 히터를 연소시키면서 ODS가 작동할 때까지 연소상태 변화를 국내에서 제작하여 사용되고 있는 챔버크기별로 구분하여 실험을 실시하였다. 또한 영국기준에 적합한 챔버 K형의 내부온도를 26±5°C로 유지시켜 시험품별로 2차 연소실험을 실시하였다.

국내의 경우 산소결핍 안전장치 실험용 챔버의 크기는 4.5m³ 이상으로, 실험실의 온도는 유럽규격과 같은 26±5°C에서 최근 20±3°C로 하향 조정

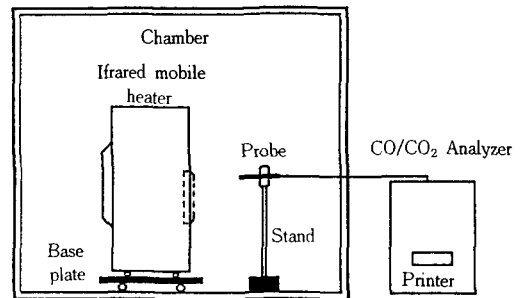


Fig. 2 Experimental apparatus

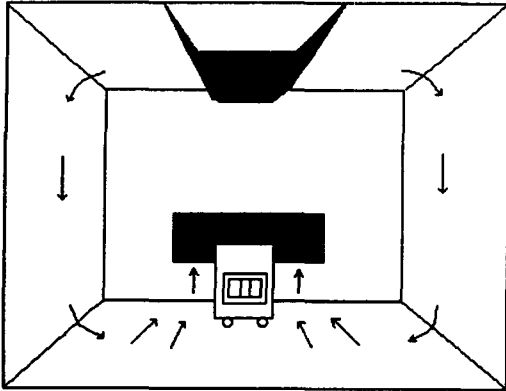


Fig. 3 Configuration of internal air flow in test chamber

Table 2 Regulations of test chamber size

	Internal volume(W×L×H)
U. K.	17.5m ³
U. S. A	28m ³
Korea	4.5m ³

하여 규정하고 있다⁹⁾. 적외선 히터의 실험조건은 항온을 유지하여야 하고 ODS 작동에 영향을 미치는 조건 차이가 없어야 한다. 따라서 실험챔버는 냉난방 시스템으로서 일정온도로 실험실을 제어하기 위해 팬을 이용하여 공기를 순환시켜 항온상태를 유지해야 한다. 실험에 사용된 실험챔버에서의 풍향흐름을 Fig. 3에 개략적으로 나타내었다. 챔버는 각 국가별로 그 기준이 다르며, Table 2에 국가별 챔버의 기준이 주어졌다^{8~10)}.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 챔버크기의 영향

밀폐된 내부공간에서 개방형 연소기를 사용하는 경우 산소함유량이 정상수준(20.93%) 이하로 계속 감소하게 되면 위험수준에 이르기전 산소결핍 안전장치가 작동하여 질식사고를 예방할 수 있어야 한다.

챔버 K의 경우 풍향은 위에서 아래로 흐름을 유지하며 측정위치는 정면과 측면으로 구분하여 각 위치에서 측정결과를 얻었는데, 본 논문에서는 정면에서 측정된 결과만을 제시하였다.

Table 3에는 실험챔버의 크기에 따른 항온상태에서의 연소결과를 3회씩 측정하여 그 평균값을 제시하였다. Table 3의 결과를 보면 항온을 유지하면서 ODS가 작동하는데 걸리는 시간은 챔버의 크기가 클수록 전체면적을 오염시키는데 걸리는 시간이 더 길게 나타났으며 그 크기에 비례하였다. ODS의 작동점을 CO가 급격히 발생하기 이전의 안정적 범위내로 이끌어 내기 위해서는 구성요소 중 열전대의 성능과 불꽃과의 접점위치, 노즐과 1차 공기구의 크기 및 혼합관의 길이와 관련된 파일럿 버너의 안정성, 압전소자의 위치, ODS구성, 세라믹 플레이트와의 거리 등과 같은 설계요소가 고려되어야 하며 동시에 ODS가 작동될 때 ODS부분의 리프팅이 열전대의 팁 부분이상으로 확실하게 일어나야 한다.

Table 3 Experimental results of flue gas and chamber parameters

Chamber type	Internal volume (m ³)	ODS operating time(min)	Flue gas			Measured position
			O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	
K	18.75	40	18.3	1.8	23	Front
L	7.6	21	18.3	1.8	24	Front
M	6.86	21	18.3	1.8	30	Front

Figs. 4~5는 연소시간에 따른 O₂의 감소결과와 CO₂의 증가에 대한 결과를 보여주고 있다. 초기 연소구간인 5분까지는 챔버크기에 따른 O₂의 감소와 CO₂의 증가수준은 일정한 것으로 나타났으나 그 후 부터는 현격한 차이를 보여준다. 챔버크기가 가장 큰 K형의 경우 비교적 완만하게 O₂가 감소하고 있는데, 이것은 챔버의 내용적이 상대적으로 크기 때문인 것으로 생각된다. CO₂의 발생은 O₂의 증가와는 반대로 증가하는 것을 보여주어 O₂ 감소가 적은 K형 챔버의 경우 CO₂ 증가도 챔버 L, M형에 비하여 비교적 완만함을 보여준다.

Fig. 6은 연소시간에 따라 발생되고 있는 CO의 분포수준을 보여주고 있는데 챔버가 작은 L, M형의 경우가 K형의 경우보다 급격하게 CO의 증가가 나타나고 최종 CO함유량 또한 M, L, K형 순으로 높게 나타났다. 챔버가 작은 L, M형의 경우는 연소 10분후 CO의 발생이 급격함을 보여준다.

동일 용량의 적외선 히터로서 연소한 경우 챔버

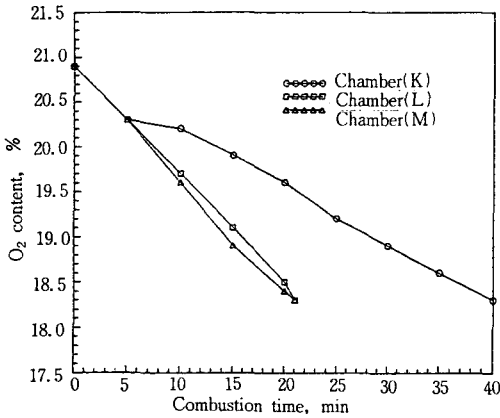


Fig. 4 Variation of O₂ content distributions as a function of combustion time for various chamber size

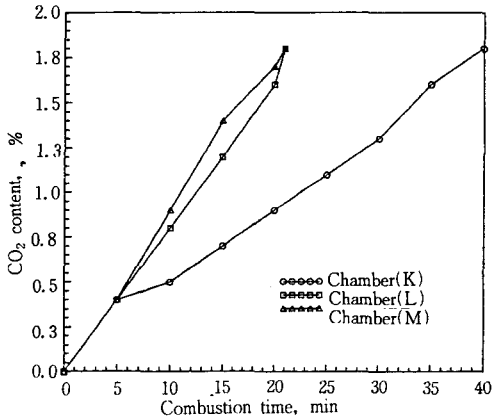


Fig. 5 Variation of CO₂ content distributions as a function of combustion time for various chamber size

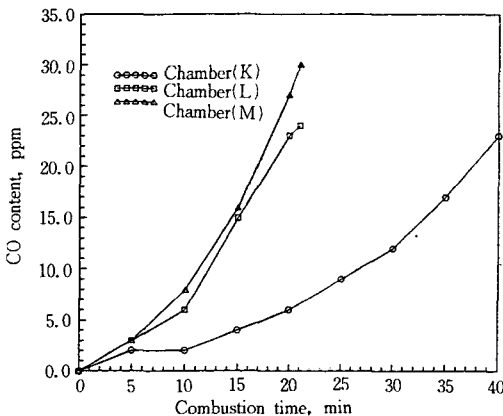


Fig. 6 Variation of CO content distributions as a function of combustion time for various chamber size

크기가 클수록 O₂ 감소에 비해 CO 증가율이 둔하고 챔버크기가 작을수록 CO는 증가하였다. 그리고 ODS는 모두 O₂ 함유량 18.3%에서 작동하였으나 시간별 CO 함유량은 서로 상이하게 발생되어 O₂ 함유량의 감소와 비례적인 관계는 없는 것으로 생각된다.

4.2 시험모델별 배기가스 분포도 해석

산소결핍 측정용 챔버내의 온도조건을 유럽기준과 동일한 K형 챔버의 내부를 26±5°C로 유지시킨 후 시험모델별 연소배기가스를 계측하여 그 결과를 Table 4에 제시하였으며, 이들 결과를 요약하여 Figs. 7~10에 나타내었다. 여기서 시험모델 A~E는 가스소비량과 연소방식이 동일한 5개사의 제품을 선정, 본 실험에 적용하면 연소시 생성되는 배기가스의 특성을 해석하는데 도움이 될 것으로 예측되어 시험모델로 구분하여 실험을 수행하였다.

Fig. 7은 연소시간이 증가함에 따른 산소의 감소율을 보여주고 있는데 비교적 시간에 비례하여 감소하는 것으로 나타났다. 이들 결과에서 특이할 만한 것은 연소시간이 증가하면서 시험품에 대한 산소의 감소율이 거의 일정한 수준으로 감소하는 경향으로 나타난다는 것이다. 또한 ODS의 작동시간은 챔버의 온도를 20±3°C로 유지하였을 때보다 약 10분정도 늦게 작동되어 챔버내의 온도조건이 높을수록 O₂의 감소속도가 늦어짐을 알 수 있다. 이와 같이 산소의 감소수준이 선형적인 것은 챔버의 용적이 제한되어 있기 때문이며, ODS의 작동시간이 늦어지는 이유는 챔버내의 초기 연소조건으로 공기 온도가 높아지면 연료가스와의 혼합성과 인화점에 영향을 미친다. 따라서 안정적인 완전연소영역이 형성되어 연소의 최적성능이 높아지는 것으로 설명되어 질 수 있다.

Fig. 8의 결과를 살펴보면 이산화탄소는 시간이 증가하면서 발생률도 비례하여 높게 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 일정 공간내에서 적외선 히터를 연소시키면 연소에 의한 산소가 감소하면서 이산화탄소의 발생률이 높아지기 때문이다.

Fig. 9에서 일산화탄소의 발생률은 산소나 이산화탄소의 발생결과와는 다른 경향을 보여주고 있는데, 특히 연소초기부터 발생폭이 매우 넓게 나타나기 시작하면서 연소시간 10분을 지나 50분까지 시험품 전체에 대한 발생폭이 거의 일정수준인

것으로 나타났다. 또한 인체에 유해한 CO의 발생은 산소감소율이 가장 크게 나타난 시험품 B, C에서 상대적으로 낮게 발생됨을 보여주고 있다.

CO는 적외선 히터의 발열체가 세라믹 플레이트 형태이기 때문에 가스발생으로 부터 발열체인 세라믹플레이트까지의 연소시스템이 불안정할 경우 불완전 연소에 의해서도 발생하게 되고, 적외선 히터의 연소조건이 양호하더라도 밀폐공간내에서 장시간 사용시 산소결핍에 의해 1차 공기의 혼합되는 연소용 혼합공기의 상태가 불안정해져 연소에 필요한 산소함유량이 저하함에 따라 발생된다. 국내의에서 제조된 적외선 히터는 모두 산소결핍 안전장치가 설치되어 있어 CO의 발생량이 일정수준에 이르기전에 안전장치가 작동된다. 그러나 시스템의 불안정으로 많은 양의 CO가 밀폐공간에 배출되어 있는 상태에서 인간이 호흡하게 되면 CO에 의한 중독사고를 일으키게 된다.

Table 4 Flue gas results according to measured combustion time

Flue gas	Specimens	Measured time(min)					
		0	10	20	30	40	50
O ₂ (%)	A	20.9	20.2	19.7	19.2	18.6	18.1
	B	20.9	20.2	19.6	19	18.5	17.8
	C	20.9	20.2	19.6	19	18.4	17.8
	D	20.9	20.3	19.7	19.2	18.7	18.3
	E	20.9	20.2	19.6	19.1	18.6	18.5
CO ₂ (%)	A	0	0.5	0.8	1.2	1.5	1.9
	B	0	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1
	C	0	0.3	0.9	1.3	1.7	2.1
	D	0	0.4	0.8	1.1	1.4	1.7
	E	0	0.4	0.8	1.1	1.5	1.6
CO (ppm)	A	0	6	13	20	28	36
	B	0	6	12	19	27	36
	C	0	2	11	18	28	45
	D	0	6	17	27	40	50
	E	0	14	25	33	43	48

Fig. 10은 이산화탄소의 증가에 따른 산소의 감소수준을 보여주고 있다. 시험품 A~E에 대한 결과를 살펴보면 시험품 E에서 가장 낮은 이산화탄소가 발생되었고, 그 다음이 시험품 D, A의 순으로, 그리고 산소 감소율은 시험품 B, A, D의 순으로 각각 낮게 나타났다. 적외선 히터의 연소과정은 산화과정으로 산소감소와 이산화탄소의 증가로

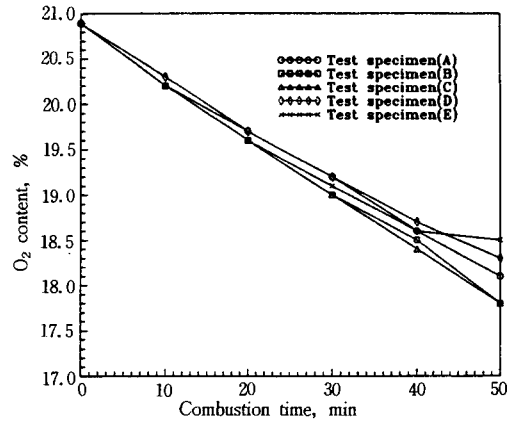


Fig. 7 Variation of O₂ content distributions as a function of combustion time

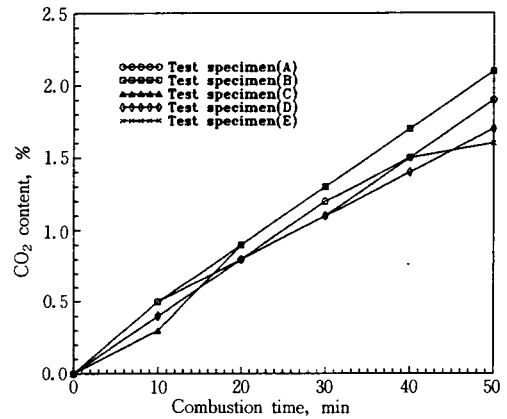


Fig. 8 Variation of CO₂ content distributions as a function of combustion time

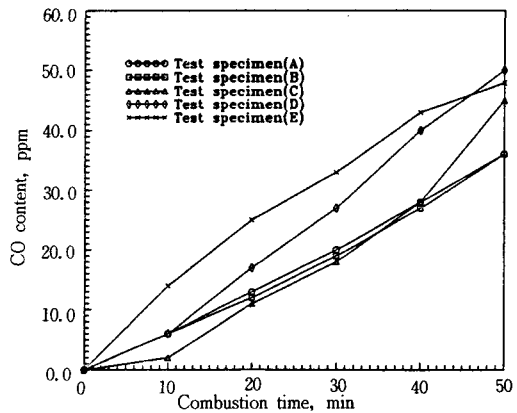


Fig. 9 Variation of CO content distributions as a function of combustion time

이어지기 때문에 이들의 상관관계는 중요한 의미가 있다.

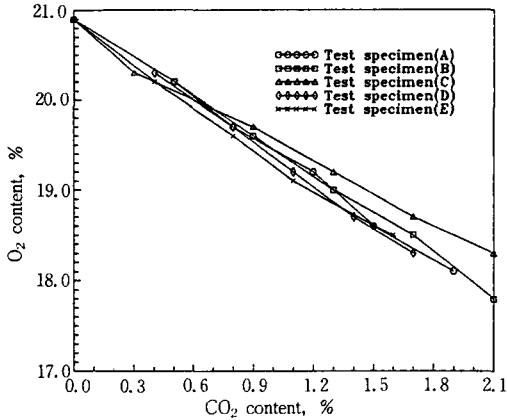


Fig. 10 Relations between O₂ content and CO₂ content

5. 결 론

개방형 가스 연소기인 적외선 히터의 연소시 발생되는 배기가스의 현상을 챔버의 크기와 챔버내의 온도기준을 고려하여 실험적으로 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 산소결핍 실험에서 ODS가 작동하는 O₂의 함유량은 챔버의 내용적에 관계없이 18.3%로 각각 나타나 규제기준을 만족하였고, ODS의 작동시간은 내용적이 클수록 늦게 작동하였다.
- 2) 밀폐공간에서 연소시 O₂ 감소속도와 CO₂ 발생속도는 선형성을 가지며, CO의 발생은 O₂의 발생속도에는 상관성이 있음을 확인할 수 있었으나 CO₂ 발생속도에는 영향을 받지 않는다.

- 3) CO는 연소 10분 후부터 그 발생속도가 커지며, 챔버내의 초기설정 온도가 높을수록 ODS 작동시간이 길어짐을 알 수 있었다.

위의 실험결과는 적외선 히터와 같은 개방형 가스 난방기를 실내에서 사용할 때 적절한 환기를 통하여 불완전 연소를 방지할 수 있으며, 충분한 공기량을 공급하여 O₂ 감소에 따른 질식사고와 CO에 의한 중독사고를 예방하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 日本ガス協會, 가스器具의知識, pp. 168~176, 1980.
- 2) 한국가스안전공사, 고압가스통계, pp. 7~8, 1995.
- 3) 日本ガス協會, 都市가스工業(器具編), pp. 76~81, 1977.
- 4) 高壓가스保安協會, 最新のLP가스燃焼機器, pp. 46~56, 1987.
- 5) P. S. Stefani, Oxygen Depletion Safety Systems for unvented gas-fired space heaters and water heaters, August, pp. 5~15, 1983.
- 6) George Jasper, Gas Service Technology 3, Ernest Benn ltd, pp. 174~181, 1980.
- 7) 日本東京가스, 가스器具의基礎常識, pp. 73~87, 1975.
- 8) BS 5258, Part 10, 1980.
- 9) ANSI Z 21.11.2-Gas fired room heaters, 1989.
- 10) KS G 5160, 가스난로, 1994.