

## 다공성 표면 화염의 복사열효율측정에 관한 논의

정황희\* · 심근선\*\* · 이기만\*

### A Discussion on the Radiation Efficiency Measurement of Porous Surface Flames

Hwanghui Jeong\*, Keunseon Sim\*\*, Keeman Lee\*\*\*†

#### ABSTRACT

This article describes an investigation of basic combustion characteristics of radiant burner with various firing rate and equivalence ratios in porous metal. As a main experimental condition, firing rates and equivalence ratios each were adjusted from 204 to 408kW/m<sup>2</sup> and 0.6 to 1.3. The purpose of this study is to investigate radiation efficiency using two experiment methods. The first way is to calculate the radiation efficiency by measuring the temperature of the burner surface, and the second is to compute the radiation efficiency by measuring the radiation intensity of the burner surface with a radio meter. The value of the radiation efficiency did not exactly match in the two cases. But we figured out that in accordance with increasing heat power, radiation efficiency was decreased. And additional complementary experiment on the relationship between these values is needed.

**Key Words** : Surface combustion, Porous metal, Radiation efficiency, Radiation intensity, Radio meter

어떠한 매질(물체) 또는 매질 간의 온도차가 존재하면 열에너지가 이동하는 열전달이 일어난다. 열전달 형태는 열전달 과정에 따른 관점에서 3가지로 구분하면, 먼저 고체 및 액체와 같이 정지된 매질 내에서 온도차에 의해 매질 내에서의 열전달이 이루어지는 열전도(Conduction), 온도가 서로 다른 표면과 이동하는 유체 사이에서 일어나는 대류(Convection), 마지막으로 어떠한 표면에서 전자기파 형태로 에너지가 방출되는 열복사(Radiation)로 나누어 볼 수 있다. 본 연구에서 사용되는 메탈화이버 버너는 이 세 방법 중 복사 열전달을 이용한 표면복사버너이다.

표면복사버너란 예혼합된 연료와 산화제가 매트릭에 존재하는 수많은 홀로 나누어져 각각의 홀에서 연소되는 표면연소 방식으로 화염이 다수의 세포(cell)형태 화염으로 형성된다. 이때 발생된 열을 복사에너지로 사용하거나 추적하며, 추적된 열 에너지가 미연혼합기(Unburned mixture)의 예열

효과(Preheating effect)로 나타내게 된다. 이로 인해 효율적인 내부 재순환이 이루어져 가연한계의 확장과 CO, UHC(Unburned hydrocarbon) 등을 감소시킬 수 있다. 또한 화염이 세포형태로 존재하기 때문에 낮은 화염 온도를 구현함과 동시에 체류시간 단축으로 인해 NOx의 생성을 억제하는 효과를 가지고 있다. 이러한 장점을 가지는 반면

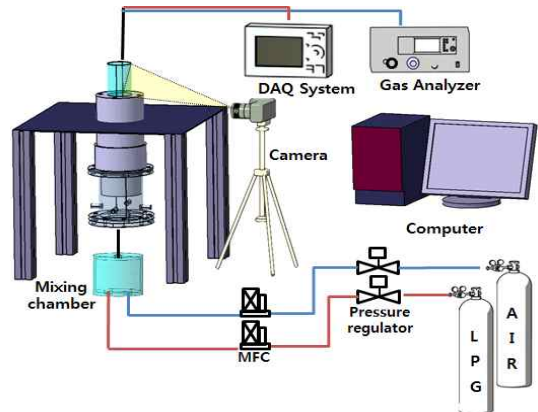


Table 1 Experimental condition.

Parameter	Range
Fuel	Commercial LPG
Oxidizer	Air
Mat Porosity	86%
Diameter of burner(d)	50mm
Firing rate(kW/m <sup>2</sup> )	204 - 408
Equivalence ratio( $\Phi$ )	0.6 - 1.3

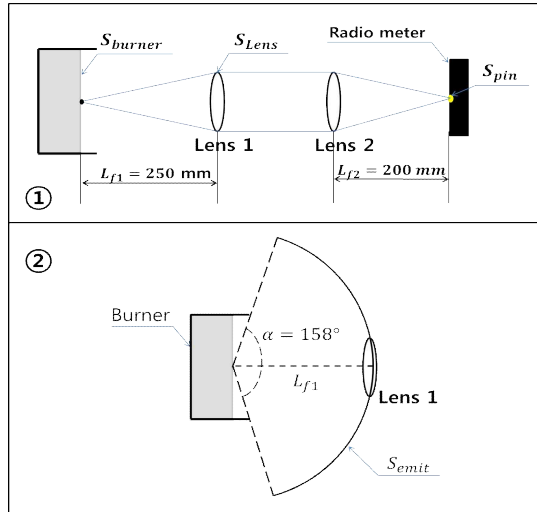


Fig. 2 Radio meter experimental set-up.

에 국내에서는 표면복사버너에 대한 연구가 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 표면복사버너의 복사효율을 정량화하고 특성을 관찰하기 위하여 먼저 버너표면의 온도를 측정하여 복사효율을 계산하는 방법과 버너표면의 복사강도를 라디오메타(radio meter)를 이용하여 직접 측정 한 후 보간법을 통하여 복사효율을 정량화 하는 방식으로 연구를 진행하였다.

Figure 1은 본 연구의 실험장치를 개략적으로 보여주고 있다. 실험에 사용된 버너는 출구의 직경을 50mm로 고정하고, 기공률(porosity)이 86%인 다공성 금속 매트를 사용하였다. 연료는 상용 LPG를 사용하였으며, 연소용 산화제는 압축공기를 사용하였다. 또한 라디오메타 측정법에 관하여 Fig. 2에 도식적으로 나타내었다. 버너를 90° 회전시켜 측정식으로 설치하였고 렌즈 두 개와 3mm직경의 핀 홀(pin hole)을 장착시킨 라디오메타 센서(818P-001-12, 190nm - 20 μm)를 버너의 중앙과 일직선상 위에 일치시켰다. 버너와 렌즈의 초점거리와 렌즈와 센서사이의 거리는 일정하게 유지하여 복사강도를 측정하였다.

본 연구에서는 다공성 복사버너 화염의 형상

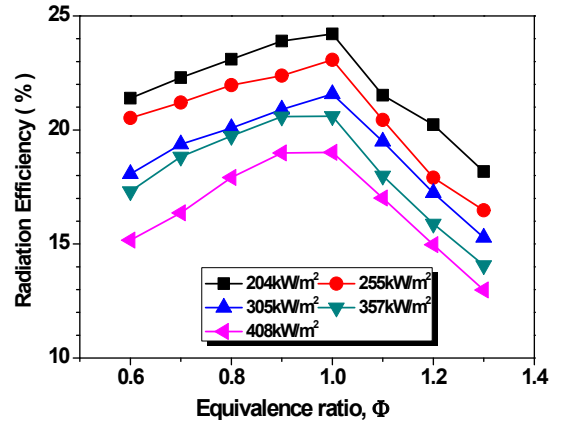


Fig. 3 Radiation intensity efficiency obtained by the surface temperature measurement.

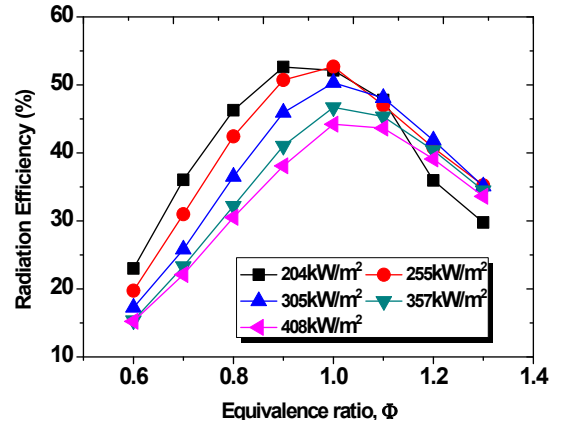


Fig. 4 Radiation intensity efficiency obtained by the radio meter measurement.

및 거동에 영향을 미치는 열용량과 당량비를 주요 변수로 설정하였다. 이러한 변수들을 중심으로 한 실험조건을 Table 1에 요약하였다.

열용량을 고정하기 위해 연료의 유량을 고정한 상태에서 공기의 유량을 변화시키는 방법으로 당량비를 0.6에서 1.4까지 0.1씩 조절하였으며, 열용량은 204kW/m<sup>2</sup>에서 408kW/m<sup>2</sup> 까지 조절하여 각 변수에 따른 화염의 특성을 조사하였다.

표면온도의 측정은 버너의 중심을 기준으로 반경방향으로 5mm간격으로 총 9포인트를 측정하여 평균을 내어 나타냈으며, 평균표면 온도( $T_{sur}$ )를 사용하여 표면 복사버너의 열복사율을 식(1)으로 정의하였다.

(1)

Figure 2-2과 같이 버너표면에서 복사에너지가 방출되어 일정하게 퍼져나가 형성되는 구형태

의 표면적을 다음과 같이 정의하였다.

$$S_{emit} = 4\pi r^2 \cdot \frac{\alpha}{2\pi} \quad (2)$$

전체 반구 방사력 (total hemispherical emissive power,  $I_0$ )는 복사가 가능한 모든 파장에 대해, 가능한 모든 방향으로 단위면적당 방사되는 비율로 정의하였다.

$$I_0 = \int_0^{20\mu\text{m}} \int_0^{2\pi} \int_0^{0.43\pi} I_{\lambda,b} \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi d\lambda \quad (3)$$

위 식을 계산하여 식(4)과 같이 간단히 정의할 수 있다. 여기서  $I$  는 라디오메타로 측정된 복사강도의 측정값이다.

$$I_0 = 0.96 I \quad (4)$$

실제 복사강도는 다음과 같은 식(5), (6)으로 정의하였다. 복사효율은 표면온도를 통하여 복사효율을 구한  $\eta_{rad I}$  과 라디오메타로 측정하여 구한 복사효율  $\eta_{rad II}$  를 다음과 같이 정의하였다.

$$I_{act} = I_0 \times \frac{S_{emit}}{S_{Lens}} \times \frac{S_{burner}}{S_{pin}} \quad (5)$$

$$\dot{q}''_{rad II} = I_{act} \quad (6)$$

$$\eta_{rad I} = \frac{\dot{q}''_{rad I}}{\dot{q}''_f}, \quad \eta_{rad II} = \frac{\dot{q}''_{rad II}}{\dot{q}''_f} \quad (7)$$

Figure 3는 버너표면의 복사효율을 측정한 평균표면 온도로 계산하여 당량비 변화에 따른 열용량 별로 나타내었다. 전반적으로 열용량이 감소함에 따라 효율이 증가하는 경향을 확인 할 수 있다. 이는 열용량 증가로 인하여 혼합가스 유량의 증가를 야기하였고, 매트 안에 존재하던 화염이 매트 밖으로 밀려나면서 복사효율이 감소하게 된 것으로 판단된다.

Fig. 4은 버너표면을 라디오메타로 측정한 복사강도를 당량비 변화 따른 열용량 별로 나타내었다. 라디오메타로 측정한 복사효율은 Fig.3과 같은 경향을 보이고 있으며, 이 또한 동일한 현상으로 인한 결과라 판단된다. 두 결과를 비교하였을 때, 라디오메타로 측정된 복사효율은 표면온도에 의한 복사효율에 비하여 약 2배 정도 더 높게 나타나는 것을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 2014년도 미래창조과학부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구과제입니다.(과제번호 : 2014-2010-102780)

## 참고 문헌

- [1] C. Keramiotis, B. Stelzner, D. Trimis, M. Founti, "Porous burners for low emission combustion : An experimental investigation", *Journal of Energy*, Vol. 45, 2012, pp. 213-219.
- [2] K. cho, K. Han, Y. Lee, D. Noh, H. Yoon, K. Riu, K. Lee, "Premixed combustion of coke oven gas in a metallic fibre mat", *Journal of Fuel*, Vol. 80, 2001, pp. 1033-1036.
- [3] S.A. Leonardi, R. Viskanta, J.P. Gore, "Radiation and thermal performance measurements of a metal fiber burner", *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. Vol. 73, 2002, pp. 491-501.
- [4] M. M Abdelaal, M. K. EL-Riedy, A. M. EL-Nahas, "Effect of oxygen enriched air on porous radiant burner performance and NO emissions", *Journal of Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 45, pp. 163-168, 2012.
- [5] K. S. Sim, K. M. Lee, "A study of thermal characteristics in porous surface radiant burner", *Journal of Korean Soc. of Mechanical Technology*, Vol. 16(3), 2014, pp. 1551-1557.