

## 합성가스 충돌제트화염에서 충돌거리에 따른 정체점에서의 열전달 특성 연구

심근선\* · 김동찬\*\* · 최종민\*\*\* · 이기만†

### A Study on the Heat Transfer Characteristics According to the Impinging Distance of Stagnation Point in Syngas Impinging Jet Flames

Keunseon Sim\* · Dongchan Kim\*\* · Jongmin Choi\*\*\* · Keeman Lee†

#### ABSTRACT

An experimental study has been conducted to investigate the heat transfer characteristics of syngas/air mixture impinging jet flame with 10% hydrogen content. Effects of impinging distance, Reynolds number as major parameters on surface temperature of stagnation point were examined experimentally by the data acquisitions from k-type thermocouple. There were 2 times of maximum peak point of stagnation point with respect to the impinging distance for the investigation. As reynolds number increases, the nusselt number and convective heat transfer coefficient increased accordingly.

Key Words : Syngas(H<sub>2</sub>/CO), Impinging jet flame, Stagnation point, Impinging distance, Nusselt number,

충돌제트화염(Impinging jet flame)은 연소실내에서 가열하여야 하는 대상물이나 열교환기에 화염이 직접 부딪쳐 가열하는 연소방식으로 신속하고 균일한 가열을 가능하게 하며 전열 및 배출성능 또한 뛰어나다. 유리, 금속, 제지 등을 가공하는 공정에서 주로 사용되어 왔다. 이러한 경우 균일 가열이라는 조업의 특성상 대부분의 연소기에서는 예혼합방식의 연소를 적용하고 있으며 일반적으로 단일조성의 가스연료가 주로 사용되어왔다. 하지만 최근 전 세계적으로 원유 및 천연가스의 가격 상승과 화석 연료 고갈로 인한 에너지 부족 현상으로 인해 단일연료의 사용에 문제점이 발생되면서 최근 이러한 문제점을 해결하고자 이전에는 단일 가스연료에 비해 상대적으로 발열량이 낮아 미 사용되어지던 합성가스(Syngas)를 주 연료로 사용하려는 수요가 증가하였다.

합성가스의 경우 수소(H<sub>2</sub>)와 일산화탄소(CO)가 대부분이어서 연소효율과 배기가스 배출성능이 뛰

어난 것으로 알려져 있으나, 주성분인 수소의 경우 다른 일반 탄화수소 계열의 연료에 비해 연소속도가 빠르며 화염의 거동이 상이해서 수소의 첨가에 따라 연소기의 주요성능인 연소와 열전달특성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구팀에서는 합성가스 충돌제트화염의 단계적인 연구<sup>[1]</sup>가 이루어지고 있으며, 이번 연구를 통하여 이전연구와 동일한 수소함량이 10%인 일정한 조성비에서 충돌화염의 중요 변수들인 충돌거리(H/d), 레이놀즈수(Re) 그리고 당량비(Φ)가 충돌제트 화염이 충돌판의 온도에 미

Table 1 Experimental conditions

Fuel	high purified H <sub>2</sub> , CO (99.999%)
Oxidizer	high purified Air (99.99%)

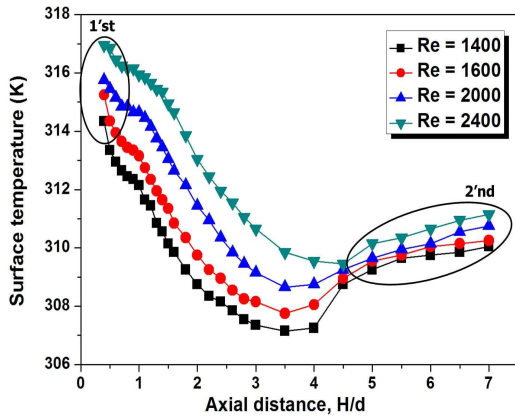


Fig. 1 Stagnation point surface temperature profiles for various values of Re at different axial locations for d=10mm and Φ=2.5

치는 영향을 조사하고 정체점에서의 누셀트수(Nusselt number)를 계산하고자 한다.

본 연구에 사용된 실험조건은 Table.1에 간단하게 나타내었으며, Fig .1는 연소속도가 최대가 되는 당량비 2.5인 동일 조건에서 충돌거리에 따라 화염이 충돌면 중심에 부딪치어 생긴 정체점에서의 온도를 레이놀즈수별로 나타낸 그래프이다. 이 경우 레이놀즈수는 동일 당량비 2.5에서 역화(Flash-back)나 부상(Lift-off)이 발생하지 않는 조건으로 층류인 Re = 1400부터 난류 초기값인 Re = 2400까지로 하였다. 또한 충돌면과 버너간 거리인 H/d는 충돌면과 버너간 간격을 버너출구 직경인 10mm로 나눈 무차원의 값으로 충돌면에 의해 화염이 간섭(Intercept)을 받아도 내염(Inner flame)이 형성되는 H/d = 0.4부터 본 실험장치로 구현할 수 있는 최대높이인 H/d = 7.0까지 실험하였다.

먼저 레이놀즈수가 증가할수록 연소속도 증가로 인해 열 방출이 증가되어 온도가 증가하는데 레이놀즈수 2400일 때의 화염의 온도가 가장 높은 것을 알 수 있다.

그리고 레이놀즈수와 무관하게 정체점의 온도 변화에 가장 큰 특징은 그래프에서 볼 수 있듯이 충돌거리에 따라 두 번의 최고점(Peak point, 이하 피크점)을 갖는다는 것이다. 첫 번째 피크점 이후 H/d가 증가함에 따라 온도가 감소를 하게 되는데 흥미로운 부분은 감소하던 온도가 H/d=4.0를 지나면서 다시 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 온도가 H/d의 증가에 따라 내염의 영향에서 벗어나 외염의 영향을 받아 증가하는 것으로 판단된다.

정체점에서의 는 식(1)을 통하여 정의할 수 있으며, 는 합성가스의 화학양론적(Stoichiometric)상태인 당량비 2.5의 단열화염온도(Adiabatic flame temperature)인 1930K, 는 열전도계

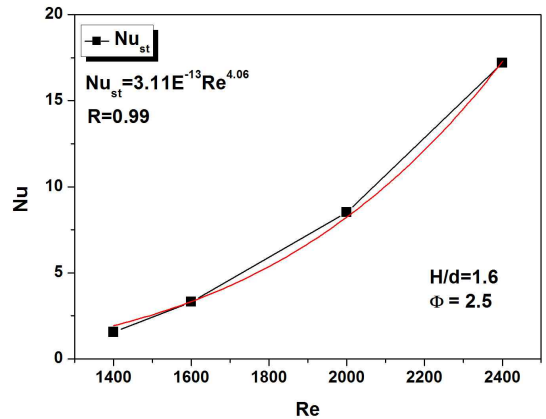


Fig. 2 Stagnation point Nusselt number of Re effect for H/d=1.6mm and Φ=2.5

수(Thermal conductivity)로 단열화염온도 상태일 때 공기의 열전도계수 값을 사용하였다.

$$N_{st} = \frac{q''_{st} d}{k_a(T_f - T_{sur})} \quad (1)$$

$$Nu_{st} = 3.11E^{-13} Re^{4.06} \quad (1400 \leq Re \leq 2400) \quad (2)$$

Stoichiometric, H/d=1.6상태일 때 정체점에서 사용가능한 다음과 같은 식(2)을 도출하였다. 식 (2)의 오차범위는 ±1%에 해당하는 것을 Fig.2에서 확인할 수 있다. 동일 당량비 같은 H/d에서는 레이놀즈수가 증가할수록 누셀트수가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 대류열전달계수에 직결된 Nu의 증가는 레이놀즈수 자체가 열전달 계수를 증가 시켜 평판의 온도를 증가시키는 것으로 판단할 수 있다.

## 후 기

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

## 참고 문헌

- [1] K.S. Sim, B.J. Jeong, Y.H. Park, K.M. Lee, "A Study on Combustion and Heat Transfer in Premixed Impinging Flames of Syngas(H<sub>2</sub>/CO)/Air Part II: Heat Transfer Characteristics", Trans. of the Korean Society of Hydrogen Energy, Vol. 25, No. 1, pp 59-71, 2014.
- [2] L.L. Dong, C.S. Cheung, C.W. Leung, "Heat Transfer Characteristics of an impinging Butane/Air Flame Jet of Low Reynolds Number", Experimental Heat Transfer, Vol. 14, No. 4, pp.265-282, 2001.