

## 저선회 연소기의 선회각도에 따른 영향

정황희\* · 최인찬\*\* · 이기만\*\*\*†

## Effect of Swirl Angles in Low-Swirl Combustor

Hwanghui Jeong\*, Inchan Choi\*\*, Keeman Lee\*\*\*†

## ABSTRACT

A study has been conducted to investigate the effect of swirl angle in low swirl combustor. In this study, the employed swirl angles were 28°, 32° and 37°. Direct flame photos show that the width of the flame is expanded and the length of the flame is shortened when swirl angle is increased. Also, as the swirl angle was increased, the flame stability region could be widened due to the expansion of lower flammable limit. Between 3 and 7kW, CO emissions was below 10 ppm and NOx emissions was also below 27 ppm at O<sub>2</sub> 15% basis over the lean burning range of  $0.6 < \Phi < 0.9$ . From this investigation of stability expansion effect and emission performance, it was identified that the swirl angle 37° is most suitable swirling condition in the low swirl model combustor.

**Key Words** : Low swirl, Swirl angles, Lower flammable limit, CO & NOx emission

저선회 연소는 부상화염이 안정적으로 존재하게 되며 자기유사성(self-similarity)에 의해 일정 유량 이상이 되면 역화(flashback)가 발생하지 않는 특징이 있다[1]. 넓은 연소부하비(TDR)를 갖는 특징이 있으며 화염이 부상되어 노즐 팁이 과열되는 것을 막을 수 있어 장시간 가열되는 가스터빈 내구성에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다[2]. 또한 희박 예혼합 연소로 낮은 NOx 배출 성능을 보인다는 선진연구가 보고한 바 있다[3].

본 연구는 저선회 연소의 중요한 변수인 선회각도에 따른 영향을 알아보려고 한다. 화염의 형상에 미치는 영향을 알아보기 위해 직접사진을 분석하였으며, 선회각도에 따라 변화하는 희박-가연한계와 배기가스 특성을 조사하였다.

Figure 1은 연소기의 선회기를 포함한 출구부와 화염부를 개략적으로 나타낸 형상도이다. 선회기의 중앙부분에는 다공판으로 혼합기의 흐름에 내부재순환영역(IRZ) 없이 난류화를 부여하며, 선회기의 외곽부분에는 베인(vane)이 존재하여 혼합기에 약한 선회를 가하여 준다. 이러한 특징을 통해 연소실로 확대되는 유동과 난류 예혼합 화염의 전파(propagation) 특성이 결합되어 화염이 부상되어 존재하게 된다. 따라서 선회기는 화염의 형상 및 거동에 중요한 영향을 미치

게 되어, 본 연구에서는 선회각도에 대한 영향을 실험적 측정을 통해 확인하고자 한다.

본 연구에서는 저선회 연소기의 화염의 형상 및 거동에 영향을 미치는 주요 변수로 선회기의 각도, 열용량, 당량비를 설정하였다. 이를 위해 선회기의 각도는 28°, 32°, 37°로 하였으며 실험

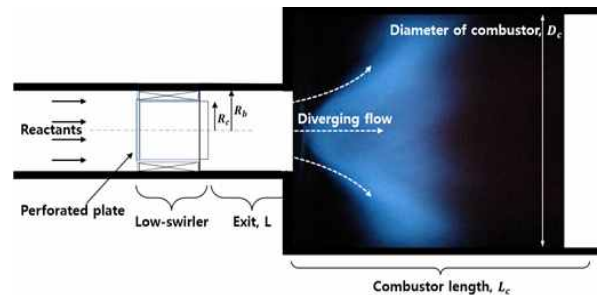


Fig.1 Schematic configuration of a low swirler for the low swirl combustor

Table 1 Experimental condition.

Parameters	Range
Fuel	CH <sub>4</sub>
Oxidizer	Air
Swirl angles( $\alpha$ )	28°, 32°, 37°
Dia. of nozzle( $d_0 = 2R_b$ )	28mm
Dia. of combustor( $D_c$ )	74mm
Thermal power(kW)	3.0 - 7.0
Equivalence ratio( $\Phi$ )	0.6 - 1.1

\* 순천대학교 우주항공공학과

\*\* 두산중공업(주) 가스터빈개발팀

\*\*\*† 연락저자, 순천대학교 기계·우주항공공학과

E-mail : kmlee@scnu.ac.kr

TEL : (061)750-3828 FAX : (061)-750-3820

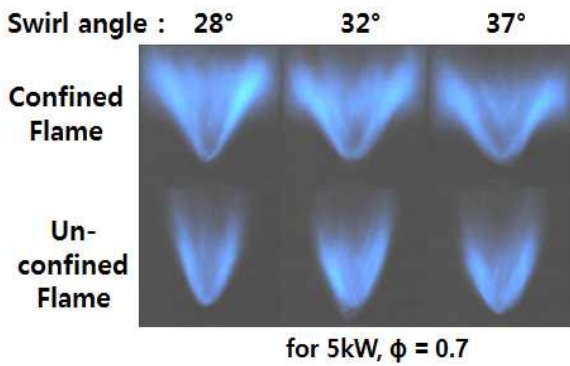


Fig.2 Direct photos according to swirl angles and with and without confined combustor

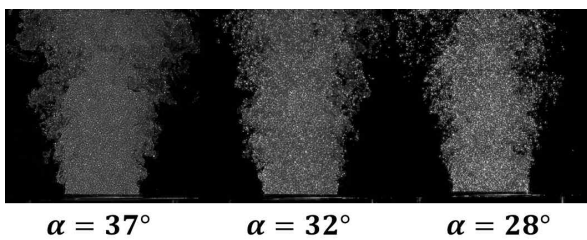


Fig.3 PIV images according to swirl angles with thermal power 5kW and equivalence ratio  $\phi=0.8$  ( $U_0=3.2\text{m/s}$ )

조건을 표 1에 정리하여 나타내었다. 이 경우 직경이 74mm인 석영관을 사용하여 석영관 유무에 따른 선회각도의 영향을 비교하였다.

Figure 2는 열용량 5kW, 당량비 0.7에서 선회각도와 석영관의 유무에 따른 화염의 직접사진이다. 석영관을 제거하면 코너 재순환 영역(CRZ)이 존재하지 않아 화염의 폭은 좀 더 좁아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 석영관의 유무와 관계없이 선회각도가 증가함에 따라 화염의 폭이 넓어지고 길이가 짧아지는 것을 확인할 수가 있는데, 이러한 현상은 코너 재순환 영역(CRZ)이 없는 경우에서 더욱 확연하게 나타났다.

Figure 3은 선회각도에 따른 확대유동의 변화를 확인하기 위하여 열용량 5kW, 당량비 0.8에서 비반응 상태의 유동장을 PIV계측을 사용하여 가시화하였다. 그림에서 알 수 있듯이 선회각도의 증가로 인해 노즐 출구에서의 확대유동이 더 큰 각으로 발산되어 나가는 것을 알 수 있다. 이처럼 선회각도에 따라 달라지는 화염형상과 거동이 희박 연소기 운전영역에 미치는 영향을 살펴보고자 선회각도가 예혼합 연소의 희박영역에서 화염 날림(blowoff)에 미치는 영향을 조사하였다.

Figure 4은 선회각도를 변경하였을 때 열용량과 당량비에 따라 화염날림이 발생하는 영역을 나타내었다. 본 실험은 석영관에 의한 영향을 배제시키기 위하여 석영관을 사용하지 않고 관찰을 진행하였다. 열용량이 증가함에 따라 화염날림이

발생하는 영역이 당량비가 낮은 영역으로 확장되는 것을 알 수 있으며, 선회각도가 증가할수록 희박-가연한계가 확장되어 화염의 안정화 영역이 넓어지는 것을 확인하여 선회각도만으로도 연소 가능 영역을 확대시킬 수 있음을 알았다.

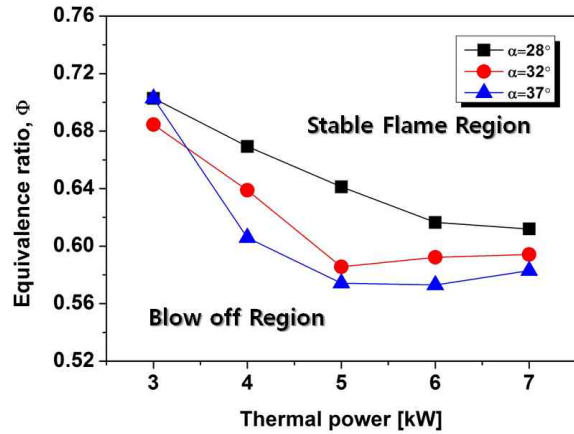


Fig.4 Blowoff point of lean region by swirl angles

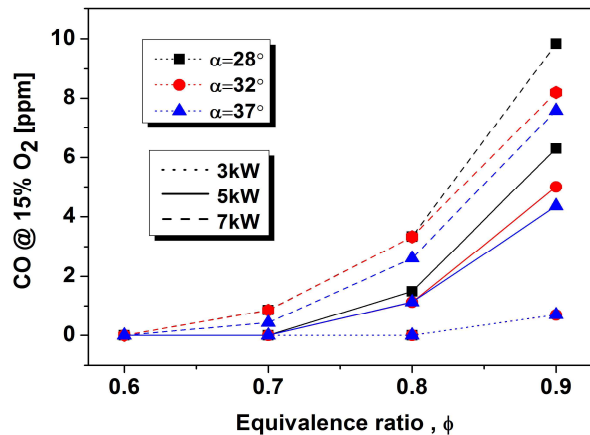


Fig.5 CO emission with equivalence ratios and swirl angles

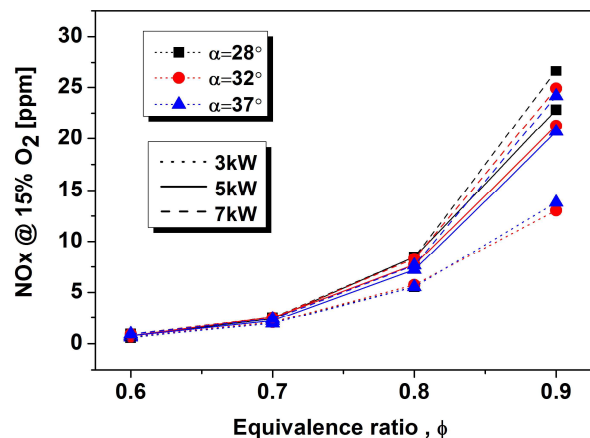


Fig.6 NOx emission with equivalence ratios and swirl angles

한편, 저선회 연소의 특성중 하나인 낮은 배기가스 배출성능을 확인하기 위하여 선회각도에 따른 배기가스 성분을 분석하였다.

Figure 5는 당량비와 선회각도의 변화에 따른 CO의 배출성능을 나타낸 그래프이다. 당량비 0.6에서는 모두 0ppm을 나타내었으며 당량비가 증가할수록 배출량이 증가하였다. 열용량이 증가함에 따라 CO 배출이 증가함을 확인하였으며, 선회각도가 증가함에 따라 CO의 배출량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 선회각도가 증가함에 따라 접선방향 운동량이 증가하여 연료와 공기의 혼합율이 증가된 결과로 판단된다.

Figure 6는 당량비와 선회각도의 변화에 따른 NOx의 배출성능을 나타낸 그래프이다. 열용량이 증가하고 당량비가 이론 공연비에 가까워짐에 따라 연소반응이 활발하게 이루어져 화염 온도가 증가하고 이에 열적 NOx의 증가로 NOx 배출이 증가함을 알 수 있다. 이 경우 CO 배출에서 보여준 바와 같이 선회각도가 증가함에 따라 NOx 배출량이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 저선회 연소기의 부상화염에 관한 기초연구에 이어 선회각도의 변화에 따른 영향을 조사하였다. 선회각도가 증가함에 따라 화염의 폭이 넓어지며 길이가 짧아지는 것을 확인하였고, 예혼합 연소기의 회박 가연한계를 확장시킬 수 있음을 알 수 있다. 배기가스 분석을 통하여 선회각도가 증가함에 따라 혼합성능이 향상되어 CO와 NOx의 배출량이 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 본 저선회 연소기 모델은 실험조건 중 선회각도가 37°에서 안정화 영역이 가장 넓으며, 배기가스 배출성능 면에서도 낮은 배출량을 보였다.

## 후 기

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1D1A1A01058610)

## 참고 문헌

- [1] H. H. Jeong, K. S. Sim, K. M. Lee, "A Study on the Characteristics of Low Swirl Combustor for Gas Turbine - Part I : Uniform velocity Field", KSPE Spring Conference, 44, 2015, pp. 282-285.
- [2] H. H. Jeong, K. M. Lee, "A Basic Study of Lifted Flame in Low-Swirl Combustor", KOSCO SYMPOSIUM, 50, 2015, pp. 113-115.
- [3] D. T. Yegian, R. K. Cheng, "Development of a Vane-Swirlers for Use in a Low NOx

Weak-swirl Burner", Energy and Environment Division Lawrence Berkeley National Laboratory berkeley, CA 94720, 1996.

[4] P. L. Therkelsen, D. Littlejohn, R. K. Cheng, J. E. Portillo, S. M. Martin, "Effect of Combustor Geometry on Acoustic Signature and Flow Field Behaviour of the Low Swirl Injector", Proceeding of ASME Turbo Expo: Power for Land, Sea and Air, June 14-18, 2001.

[5] M. R. Johnson, D. Littlejohn, W. A. Nazeer, K. O. Smith, R. K. Cheng, "A Comparison of the Flowfields and Emissions of High-Swirl Injectors and Low-Swirl Injectors for Lean Premixed Gas Turbines", Proc. Comb. Inst, 2005, 30, pp. 2867-2874.