

# 마이크로 가스터빈을 위한 하이브리드/이중 선회제트 연소기의 개발 (Part I: 형상 최적화를 위한 실험적 연구)

박태준\* · 황철홍\*\* · 이기만\*\*\*†

## Development of a Hybrid/Dual Swirl Jet Combustor for a Micro-Gas Turbine (Part I: Experimental Study on Geometric Optimization)

Tae-Joon Park\*, Cheol-Hong Hwang\*\*, Kee-Man Lee\*\*\*†

### ABSTRACT

An experimental study on geometric optimization was conducted to develop a hybrid/dual swirl jet combustor for a micro-gas turbine. A hybrid concept indicating a combination of swirling jet partially premixed and premixed flames were adopted to achieve high flame stability as well as clean combustion. Location of pilot nozzle, angle and direction of swirl vane were varied as main parameters with a constant fuel flow rate for each nozzle. The results showed that the variation in location of pilot nozzle resulted in significant change in swirl intensity due to the change in flow area near burner exit, and thus, optimized nozzle location was determined on the basis of CO and NO<sub>x</sub> emissions under conditions of co-swirl flow and swirl angle=30°. The increase in swirl angle (from 30° to 45°) enhanced the emission performances, in particular, with a significant reduction of CO emission near lean-flammability limit. It was observed that the CO emission near lean-flammability limit was further reduced through the counter-swirl flow. However, there was not significant change in the NO<sub>x</sub> emission in the operating conditions (i.e. equivalence ratio of 0.6~0.7) between the co- and the counter-swirl flow.

**Key Words** : Hybrid/dual swirl jet combustor, Lean-premixed combustor, Low-NO<sub>x</sub> combustor, Micro-gas turbine

회박예혼합 연소방식은 낮은 화염온도로 NO<sub>x</sub> 배출지수를 크게 저감시킬 수 있는 장점을 갖고 있지만, 본질적으로 연소실 내의 유동변화와 음향 가진에 매우 민감한 단점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 개선하고 동시에 회박 예혼합 연소의 배출성능을 유지하기 위하여, 본 연구에서는 예혼합 화염과 부분예혼합화염이 동시에 존재하는 하이브리드(hybrid) 연소개념을 적용하였다 [1]. 내부의 부분예혼합화염은 외부의 예혼합화염의 안정성을 개선시키는 pilot 화염과 같은 역할을 수행하며, 동시에 연료부하의 분배 역할을 담당한다. 또한 기존의 확산화염방식에서 화염 안정성과 저 NO<sub>x</sub> 배출을 위해 적용된 이중선회 연소기의 개념을 채택하였다[2]. 이를 통해 내부

의 연료/공기 혼합속진과 내부 및 외부 선회유동간의 상호작용을 통해 회박가연한계를 확장시키고 저 NO<sub>x</sub>가 가능한 마이크로 가스터빈용 연소기를 개발하고자 한다.

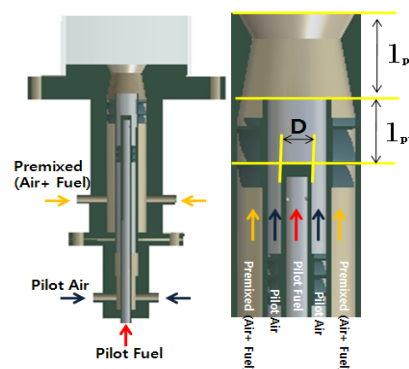


Fig. 1 Schematic of a hybrid/dual swirl jet combustor for a micro-gas turbine.

\* 순천대학교 우주항공공학과 대학원

\*\* 대전대학교 소방방재학과

\*\*\* 순천대학교 기계우주항공공학부

† 연락처자, [kmllee@sunchon.ac.kr](mailto:kmllee@sunchon.ac.kr)

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

Fig. 1은 하이브리드/이중 선회제트 연소기의 개략도를 도시한 것이다. 내부의 pilot 화염은 6개의 연료홀에서 분사되는 연료류(CH<sub>4</sub>)와 선회 공기류에 의한 부분 예혼합 화염의 특성을 갖는다. 이때 연료량은 0.648L/min이며 총괄 당량비는 0.7로 고정되었다. 외부관에는 당량비에 따른 연료/공기 혼합기가 공급되었으며, 연료량은 1.512L/min으로 고정되었다. Pilot 버너의 위치 변화에 따른 연소특성을 검토하기 위하여, 버너 출구와 연료노즐 상단의 축방향 위치 차이( $l_p$ )는 3D(case 1), 1D(case 2), 0D(case 3)로 변화되었다. 또한 내부의 부분예혼합화염과 외부의 예혼합화염의 상호작용을 변화시키기 위하여, pilot 버너의 외부관 끝과 연료노즐 상단의 축방향 위치차이( $l_{pf}$ )는 -2D, -1D, 0D, 1D, 2D로 변화되었으며, 각 case의 -1에서 -5로 표기되었다.

Fig. 2는 동일한 선회방향과 30°의 선회각이 적용되었을 때 pilot 노즐의 위치변화에 따른 배

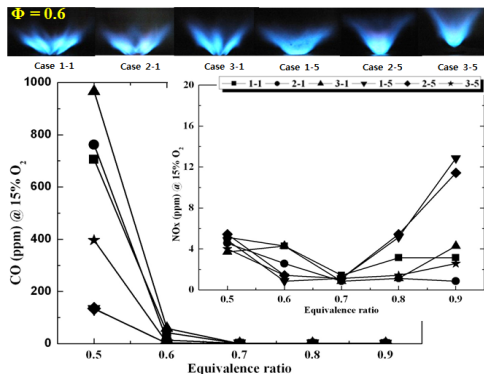


Fig. 2 CO and NOx emissions as a function of equivalence ratio for different pilot nozzle locations under conditions of co-swirl flow and swirl angle=30°.

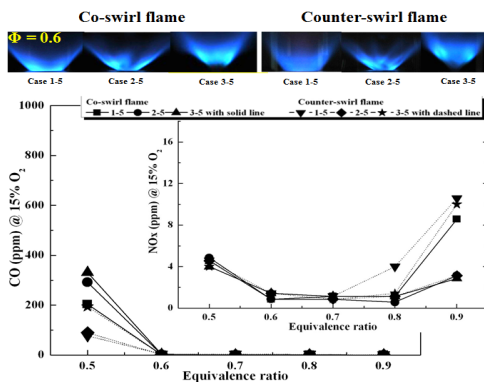


Fig. 3 CO and NOx emissions as a function of equivalence ratio for co- and counter-swirl flows at swirl angle=45°.

기성능을 측정된 결과이다. 그림에서 당량비 0.7 이상에서는 노즐의 위치와 상관없이 CO가 거의 발생되지 않음을 볼 수 있다. 그러나 당량비 0.6의 조건에서는 노즐 위치에 따라 2 ppm (case 1-5)에서 58ppm (case 3-1)의 넓은 분포를 갖는다. 가장 우수한 성능을 보이는 case 1-5는 pilot 노즐이 버너 출구로부터 가장 낮게 위치한 형상이다. 그 결과 버너 출구근처의 유동면적이 증가되어 보다 강한 선회강도를 갖게 된다. 또한 연료 분사홀의 위치가 가장 낮은 위치에 설치되어 pilot 노즐 내에 생성된 부분예혼합화염이 외부의 강한 선회 예혼합 화염에 의해 불안정화 되지 않은 특징을 갖고 있다. 결과적으로 당량비 0.5의 희박가연한계 근처에서도 가장 낮은 CO 배출량을 보이고 있다. NOx의 생성량 역시 1 ppm으로 가장 우수한 배기성능을 갖는다.

Fig. 3은 선회각이 45°로 증가될 때 정방향 및 역방향으로 선회방향을 변경한 조건에서 CO 및 NOx 배출량을 도시한 결과이다. 우선 정방향 선회조건을 살펴보면, Fig. 2의 선회각 30°와 비교할 때 당량비 0.6 기준에서 CO 및 NOx량이 크게 감소되었음을 볼 수 있다. 선회방향의 변화에 따른 배기성능을 비교해보면, 당량비 0.5의 조건에서 역방향 선회유동이 CO 배출량을 크게 감소시킴을 볼 수 있다. 반면에 NOx 배출량은 실제 운전조건인 당량비 0.6~0.7의 조건에서 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 결과적으로 당량비 0.6의 조건에서 case 1-5 형상에 정방향 선회유동이 적용되었을 때 가장 우수한 배기성능(CO: 1 ppm, NOx: 1 ppm)을 보이고 있다. 그러나 희박 가연한계의 확장이 요구되는 운전조건에서는 역방향 선회유동이 화염안정성 측면에서 보다 유리함을 확인할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부 재원의 한국에너지기술평가원(KETEP) 지원을 받아 수행된 연구과제입니다. (과제번호 : 2011-2010-1000-10).

## 참고 문헌

- [1] C.H. Hwang, S. Lee, J.H. Kim, C.E. Lee, "An experimental study on flame stability and pollutant emission in a cyclone jet hybrid combustor", Applied Energy, Vol. 86, 2009, pp. 1154-1161.
- [2] T. Terashki, S. Hayashi, "The effects of fuel-air mixing on NOx formation in non-premixed swirl burners", Proc. Combust. Inst. Vol. 26, 1996, pp. 2733-2739.