

# 희박한 당량비 구간에서 이중 선회버너의 배출특성 연구

박태준\* · 이기만\*\*†

## Emission studies of a dual swirl burner in the region of lean equivalence ratios

Taejoon Park\*, Keeman Lee\*\*†

### ABSTRACT

An experimental study of a dual swirl burner was conducted to analyze NOx emission in the lean conditions. The dual swirl burner is composed of a combination of swirling jet premixed(main section) and diffusion flames(pilot section). It was operated with a co-swirling configuration and overall equivalence ratios between 0.6 and 0.8. The purpose of this study is to analyze experimentally the characterization of flame temperature and NOx concentration in reacting zone and to supply the useful experimental data for numerical simulations. The measurements of temperature and NOx concentration were captured using a thin digitally-compensated thermocouple and a sampling quartz probe with quenching effect of sudden expansion, and were measured by the NOx analyzer of chemiluminescence method. We could analyse the NOx emission characteristics comparing the temperature distributions in the lean equivalence ratios.

**Key Words** : Dual swirl burner(이중선회버너), Flame structure(화염구조), Temperature distribution(온도분포), NOx emission(NOx 배출물), Model gas turbine(모델 가스터빈)

최근 에너지고갈과 환경문제로 인해 지상용 가스터빈 연소기술이 다방면으로 연구되고 있다. 특히 환경오염 물질 중에 NOx를 줄이는 기술로서 희박 예혼합 연소방식을 채용하고 있는데, 이에 따라 화염 불안정 현상에 관한 연구도 진행되어 왔다.[1] 또한 선회화염의 구조를 분석하는 연구로, P.Weigand 등은 레이저 계측장비를 이용하여 화염의 온도 및 농도와 속도장을 측정하여, 연소장에 대하여 분석하였다.[2] 이에 따라 본 연구에서는 메탄을 연료로 사용하여 예혼합화염과 확산화염이 동시에 존재하는 이중 스윙 연소개념을 적용하였다. 내부의 확산화염은 외부의 예혼합화염의 안정성을 개선시키는 pilot 화염과 같은 역할을 수행하며, 동시에 연료부하의 분배 역할을 담당한다.[3]

본 연구에서는 분산형 발전용 마이크로가스터빈에 응용되는 희박 예혼합 모델 연소기의 이중 선회화염에서 당량비 변화에 따른 화염 내 온도와 NOx 농도를 직접 샘플링 방법으로 정밀 측정하여 이중 선회 화염구조가 NOx 배출에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

Fig. 1은 실험장치 개략도를 도시한 것이다. 내부의 pilot 화염은 6개의 연료분사 홀에서 분사되는 연료류(CH<sub>4</sub>)와 파이롯트 공기 튜브에서 30° 선회각도의 선회익 공기류에 의해 확산화염의 특성을 갖는다. 이때 연료량은 0.648L/min이며 총괄 당량비는 0.7로 고정되었다. 외부 메인 버너관에는 희박 예혼합 연소를 위하여 연료+공기 혼합기가 공급되며, 연료량은 1.512L/min으로 고정되고 산화제를 조절하여 당량비를 조절하였다.[3] 측정단위를 무차원화 하기위해 버너 출구부분의 직경인 d<sub>0</sub>로 나타내고, 측정 위치는 축방향과 반경방향의 거리를 버너 출구 직경이 d<sub>0</sub>(18mm)로 나누어 무차원화 하였다. 희박 예혼합 연소가 이

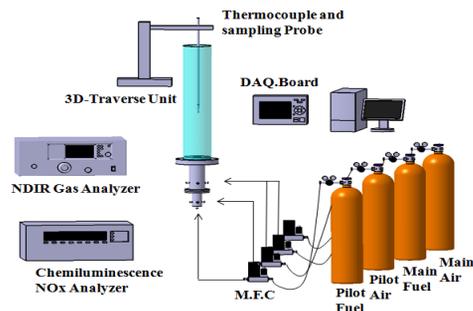


Fig. 1 Schematic of a experimental set-up

\* 순천대학교 우주항공공학과

\*\* 순천대학교 기계우주항공공학부

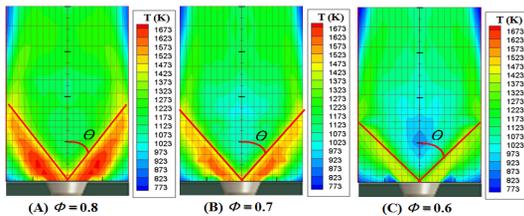
† 연락처, [kmlee@scnu.ac.kr](mailto:kmlee@scnu.ac.kr)

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

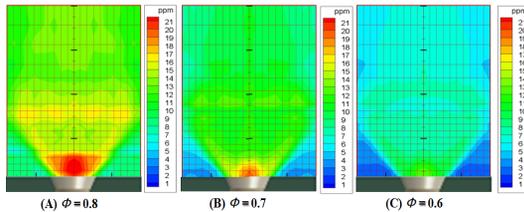
루어지는 메인 버너 당량비에 따른 온도 및 NOx의 농도를 검토하기 위해, 선경이 250 $\mu$ m R-타입 열전대(Model: SP13R-010, OMEGA Engineering Inc)를 직경 2mm 세라믹 튜브의 프르브로 제작하여 직접 화염에 삽입하여 측정하였으며, NDIR 방식의 연소가스측정기(Model: MGA5, MRU Int Lnc)로 일반 화학종 농도를 측정하고, NOx 농도는 chemiluminescence 방식의 NOx 전용분석기 (Model: 200AH, TELEDYNE Int)로 역시 직접 화염장에 프르브를 삽입하여 측정하였다.

온도측정은 연소기 중앙에서 R방향으로 0.2D 간격으로 측정하였고, Z축 방향은 화염대 근처에서는 0.2D, 연소기 상단부로 갈수록 간격을 늘려가면서 측정하였다. 또한 배기가스는 축 방향으로 0.2D, 0.5D, 1D, 2D 간격으로, 배기가스의 온도가 일정해지는 부분까지 측정하였다.

Fig. 2-1는 당량비에 따른 이중선회 연소기의



2-1. Temperature distributions



2-2. NOx concentration distributions

Fig. 2 Schematic of temperature and NOx concentration distributions

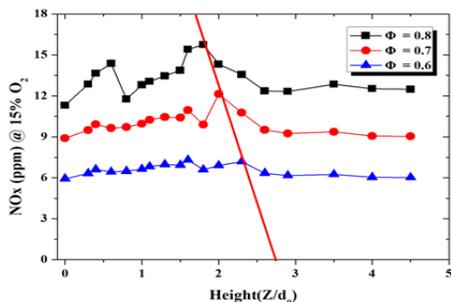


Fig. 3 Schematic of mean NOx concentration according to axis direction

온도분포를 보여주고 있다. 3조건 모두 V자 모양의 전형적인 선회화염의 형태를 보이고 있는데, 가장자리 부분에 코너재순환영역(Coner recirculation zone)과 연소기 중앙의 내부재순환영역인 IRZ(Inner recirculation zone)에 의해 상대적으로 온도가 낮은 것을 알 수 있다.

당량비 0.8에서는 화염이 연소기 후단부로 길어지게 되어 고온부분이 넓게 분포할 뿐만 아니라, 화염의 분출각도가 작아지는 것으로 사료된다. 반면, 당량비가 희박해짐에 따라 재순환 영역에 의한 온도분포가 뚜렷하게 관찰되며, 화염의 분출각 또한 커지고 화염이 단염화 되는 것을 알 수 있다.

Fig. 2-2는 O<sub>2</sub>를 15%기준으로 환산한 NOx의 농도분포로 온도가 상대적으로 높은 화염대에서 급격히 생성되며, 코너재순환영역 부근의 온도가 떨어짐으로 인하여 NOx농도가 떨어지고, 후류로 전개됨에 따라 농도가 떨어지면서 서서히 균일해지는 것을 알 수 있다.

당량비가 희박해짐에 따라 화염대의 온도가 급격히 감소하고, 내부재순환영역과 코너재순환영역의 온도가 더 낮아지고 넓어지며, 이로 인해 후류의 NOx 농도가 낮아지는 것으로 판단된다.

Fig. 3는 축방향에 따른 NOx농도의 평균값으로 균일한 농도분포로 전개되고, 상대적으로 당량비가 감소함에 따라 농도가 낮아지며, 연소장 전반에 걸친 NOx분포영역의 평균치가 가장 높은 구간이 점차 후류를 향하는 것을 확인할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구 과제입니다. (과제번호 : 2011-2010-1000-10)

## 참고 문헌

[1] Ying Huang, Vigor Yang., "Dynamics and stability of lean-premixed swirl-stabilized combustion." Progress in Energy and Combustion Science, Vol.35, August. 2009, pp.293-364  
 [2] P.Weigand, W.Meier, X.R.Duan, W.Stricker and M.Aigner., "Investigations of swirl flames in a gas turbine model combustor." Combustion and Flame, Vol.144, January. 2006, pp.205-224  
 [3] T.J.Park, C.H.Hwang, K.M.Lee., "Development of a Hybrid/Dual Swirl Jet Combustor for a Micro-Gas Turbine (Part I: Experimental Study on Geometric Optimization) KOSCO SYMPOSIUM, Vol.44, 2012, pp.199-200