

희박에혼합 마이크로 가스터빈 연소기 형상에 따른 연소특성 및 NO_x 배기특성에 관한연구

최민성* · 원은누리* · 김민국** · 나종문*** · 최경민*† · 김덕줄*

Effect of the Combustor Geometries on Combustion and NO_x Emission Characteristics in a Lean Premixed Micro Gas Turbine

Minsung Choi*, Onnuri Won*, Minkuk Kim**, Jongmoon Na***, Gyungmin Choi*†, Duckjool Kim*

ABSTRACT

A numerical analysis of a lean premixed combustor in a micro gas turbine was carried out to investigate the correlation between the turbulent mixing and emission characteristics on the combustor geometries. The interaction between the burners, by flow direction and momentum, significantly influenced on the turbulent mixing and combustion characteristics. The vortex which was generated by thermal expansion was observed during the combustion process, this was distinguished from the combustor geometries. The results showed that these characteristics can affect the NO_x emission

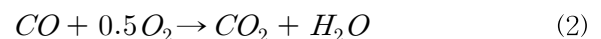
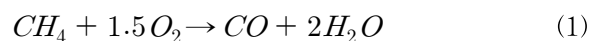
Key Words : Micro gas turbine combustor, Lean premixed combustor, NO_x emission, Recirculation, Vorticity

가스터빈 연소기에서의 NO_x 저감을 위해 희박에혼합 연소방식과 선회유동을 이용한 재순환 영역에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 선행 연구에서는 저 NO_x 버너 연소기술이나 운전조건 변경을 통한 NO_x 저감 기술에만 집중되어 왔다.^[1-3]

따라서 본 연구에서는 연소기 버너 배열 및 개수를 달리하여 연소기 내부의 난류 유동 및 혼합특성을 변화시켜 그에 따른 연소기 내부의 유동 및 연소특성을 관찰하였다. 또한 이러한 난류특성 변화가 배출특성에 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구를 수행하였다.

Fig. 1은 상용프로그램인 AUTO-CAD와 GAMBIT(ver 2.3)프로그램을 사용하여 3가지 모델 연소기에 대하여 격자생성을 하였다. 수치해석 모델 연소기는 Fig. 1(a)와 (b)에서와 같이 버너가 연소기 내부 유동 방향의 축방향(Axial)으로 장착되며, Fig. 1(c)와 같이 접선방향(Tangential)으로 장착되는 3가지 타입으로 구성하였다. 본 연구에 사용된 연료는 당량비 약 0.5로 메탄(CH₄)과 공기가 예혼합되어 스왈러를 통해 연소기 내부로 공급된다고 가정하였다. 3가지 모델 연소기에 대한 경계조건은 Table 1에 주어

져 있으며, 다른 모든 조건은 동일하게 구성하였다. 상용프로그램인 FLUENT(ver 6.3.26)를 난류 유동모델로는 LES Smagolinsky 모델이 적용되었다. 화학반응의 계산을 위해 Eddy Dissipation Concept(EDC) 모델을 적용하여 총 세 단계를 가지는 화학반응 모델이 사용되었다.



복사열전달 방정식은 P-1 모델을 적용하여 풀었으며, 반응혼합기의 복사특성을 고려하기 위하여 Weighted-Sum-of-Gray-Gases Model(WSGGM)을 사용하였다. NO_x 배출 특성을 관찰하기 위하여 준 평형 상태를 가정하여 수치해석을 수행하였다.

Fig. 2는 비반응시의 와류 강도를 나타낸 것이다. 연소기 내부의 주 연소 영역에서의 유동 특성을 살펴보기 위해 버너 출구를 기준으로 0.03m 간격으로 평면 분포를 나타냈다. Case1과 Case2를 비교해 보면 각각의 버너로 유입되는 공급량의 차이로 인해 연소기내의 모멘텀이 변화된 것을 볼 수 있다. 이러한 모멘텀의 차이가 연소기내의 와류 강도를 변화시키는 것을 확인하였다. 이는 X=0.24m 지점에서 뚜렷한 차이가 나타

* 부산대학교 기계공학부

** 한국기계연구원

*** 서라벌대학교 자동차기계공학부

† 연락처, choigm@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-8476 FAX : (051)-512-5236

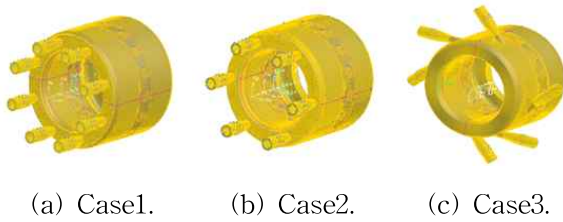


Fig. 1. Geometry of combustor system : (a) Axial 8burners type combustor, (b) Axial 6burners type combustor, (c) Tangential 6burners type combustor

나는데, 특히 Case2에서 $X=0.30m$ 지점까지 연소기 축방향으로 강한 와류를 형성하고 있는 것을 확인할 수 있다. Case2는 Case1에 비해 상대적으로 버너 간격이 넓어지면서 코너 재순환영역과 중앙 재순환영역이 넓게 형성되는 것을 확인할 수 있다. 같은 버너 개수의 Case2와 Case3을 비교해보면 Case1과 2에서 형성되던 코너 재순환영역과 중앙 재순환영역이 Case3에서는 1열과 2열 버너 사이의 인접한 상호 유동에 의해 붕괴된 현상을 확인할 수 있다. 또한 접선방향 유동에 의한 와류 강도가 $X=0.15m$ 지점까지 연소기 내부에서 시계방향으로 넓게 형성되고 있는 것을 확인할 수 있다.

이러한 현상은 Fig. 3에서도 관찰할 수 있다. Fig. 3은 비반응과 반응시의 와류 구조와 온도 분포를 나타낸 것이다. 비반응과 반응시의 와류 구조를 비교해 볼 때 비반응시에 비해 반응시의 와류 크기와 강도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 연소기 주 연소 영역에서의 발열에 따른 밀도 변화로 인해 화염과 baroclinic torque에 의해 와류를 생성시켜 와류 구조에 변화가 생긴 것으로 판단된다.^[4] Fig. 3(b)의 반응시의 와류 구조와 온도 분포를 보면 버너 출구에서 미연소 영역으로 화염이 전파되면서 유동방향으로 와류 구조가 넓고 길게 늘어져 가는 현상을 관찰할 수 있다.^[5] 비반응에서와 같이 Case1의 경우 Case2와 Case3에 비해 와류 구조가 짧게 형성되고 와류에 의한 온도 분포가 높게 형성되고 있다. Case2는 Case1에 비해 와류 구조들이 넓은 영역에서 분포하고 있으며 반경 및 원주 방향으로 급격히 팽창하는 것을 볼 수 있다. Case3는 연소실 전체 영역에서 굵고 길게 늘어진 와류 구조를 띄고 있다. 이는 인접한 버너 상호간의 유동에 의해 작은 스케일의 와류 구조들로 분열되지 못하고 주 연소 영역에서 상대적인 긴 화염 체류시간을 형성할 것으로 판단된다. 이로 인해 많은 열적 NOx가 발생될 것을 짐작할 수 있다.

Table 2는 15% O₂ 기준에서 연소기 출구에서의 NOx와 CO 배출량을 나타낸 것이다. Case1의 결과에서 NOx 배출량이 가장 낮게 나타나는

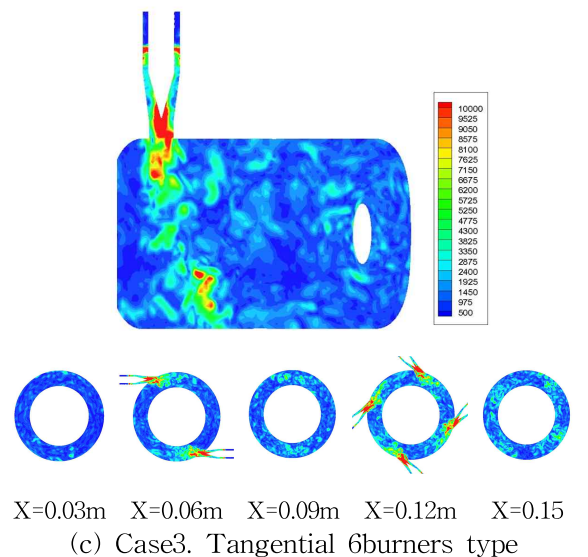
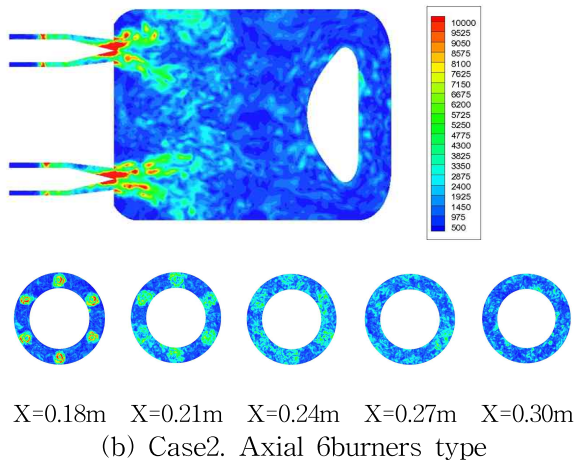
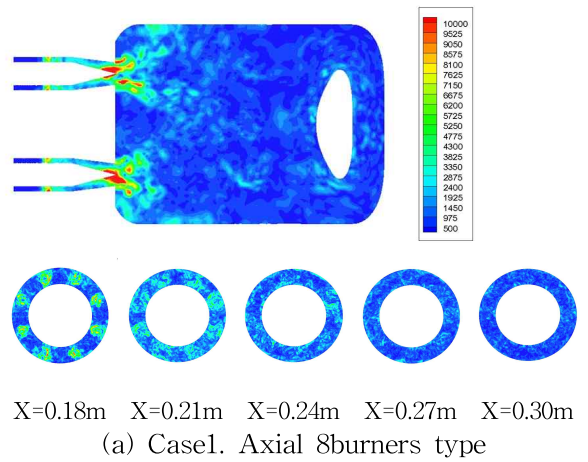


Fig. 2. Instantaneous vorticity magnitude contours $500s^{-1} \sim 10000s^{-1}$ of non-reacting case : (a) Case1. Axial 8burners, (b) Case2. Axial 6burners, (c) Case3. Tangential 6burners

Table 1. Computational conditions

Parameters	Units	Case1.	Case2.	Case3.
Burners type	-	Axial	Axial	Tangential
No. of burners	EA	8	6	6
Mixture temperature	K	865.3	865.3	865.3
Fuel flow rate (each of burners)	kg/s	0.001521	0.002028	0.002028

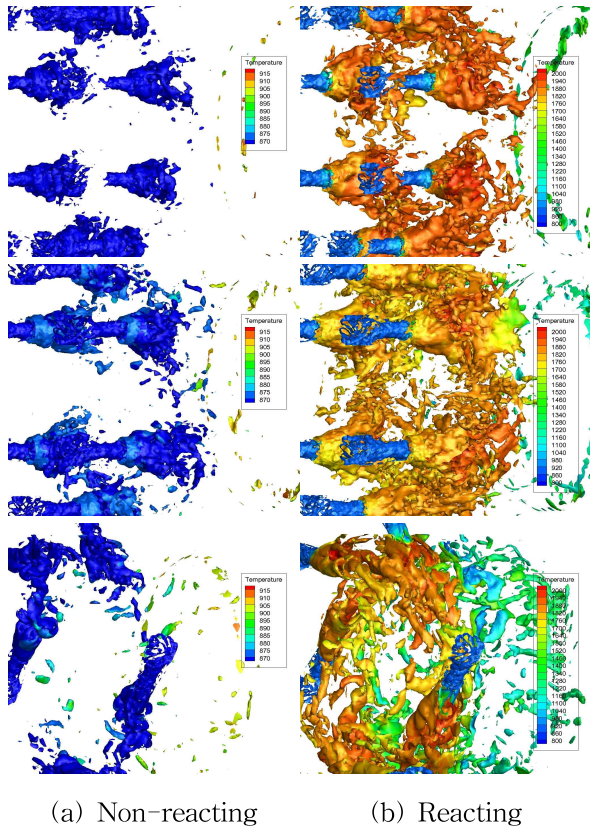


Fig. 3. Iso-vorticity surface $\omega = 4,000s^{-1}$ with temperature : (a) Non-reacting case, (b) Reacting case

것을 볼 수 있는데 이는 Case2에 비해 짧은 와류 구조에 의한 화염의 체류시간이 짧아져 NOx는 증가하고 CO는 증가하고 있음을 알 수 있다. Case2의 경우에는 주 연소 영역에서의 복잡한 와류 구조에 의해 혼합이 잘 이루어져 NOx 배출이 가장 낮게 나타날 것으로 예상하였다. 하지만 인접한 버너와의 거리가 상대적으로 멀어지면 주 연소 영역에서 연소가 완전히 이루어지지

Table 2. NOx and CO emissions

Case	NOx [ppm@15%O ₂]	CO [ppm@15%O ₂]
Case1.	12.803	675.552
Case2.	15.609	607.343
Case3.	20.082	766.588

못하고 회석영역까지 연소가 진행되어 Case1에 비해 NOx 배출량이 높게 나타난 것으로 판단된다. Case3의 경우에 Case1과 2에 비해 연소기 전체 영역에서 굵고 길게 늘어진 와류 구조에 따라 주 연소 영역에서의 화염 체류시간이 길어져 NOx 배출량이 가장 높게 나타나는 경향을 보인다.

후 기

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

참고 문헌

[1] Daero Joung, Kang Y. Huh, "Parametric Simulation of Turbulent Reacting Flow and Emissions in a Lean Premixed Reverse Flow Type Gas Turbine Combustor", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 134, 2012, pp. 021501.1-021501.9

[2] Ying Huang, Vigor Yang "Effect of Swirl on Combustion Dynamics in a Lean-Premixed Swirl-Stabilized Combustor", Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 30, 2005, pp. 1775-1782

[3] T.S. Cheng, Y.-C. Chao, D.-C. Wu, T. Yuan, C.-C. Lu, C.-K. Cheng, J.-M. Chang "Effects of Fuel-Air Mixing on Flame Structures and NOx Emissions in Swirling Methane Jet Flames", Twenty-Seventh Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Vol. 27, 1998, pp. 1229-1237

[4] F.F. Grinstein, C. Fureby "LES studies of the flow in a swirl gas combustor", Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 30, 2005, pp. 1791-1798

[5] M. Tanahashi, "Coherent Fine-scale Eddies in Turbulent Premixed Flames", Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 28, 2000, pp. 529-535