

스윙 예혼합 버너의 화학반응식에 따른

NO_x 특성에 대한 수치적 연구

조천현* · 백광민* · 손채훈* · 조주형** · 김한석**

A Numerical Study on NO_x Emission of the Swirl Premixed burner for Several Chemical Reaction Mechanisms

Cheonhyeon Cho*, Gwangmin Baek*, Chae Hoon Sohn*, Ju Hyung Cho**, Han Seok Kim**

ABSTRACT

This study presents the prediction of NO_x and mixing characteristics with several chemical reaction mechanisms of methane in EV burner of double cone. Experimental results are compared with numerical results for validation. Mixing characteristics are analyzed at monitoring points based on the modified unmixedness. The mixing characteristics were improved in a certain case, the lance injection case. In 1-step reaction case, inside of the cone, flame was formed and lots of NO_x was generated because the fuel injected from the lance was overestimated. In 2-step reaction case, numerical results showed a good agreement with experimental results in a qualitative manner.

Key Words : Gas Turbine, NO_x Emission, Swirl-Premix Burner

최근 환경 규제의 강화로 인하여 공업용 가스 터빈 및 실용연소기의 오염물질 저감에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^[1] 그 가운데 스윙 예혼합 버너는 double cone을 장착하여 cone 내부에서 강한 재순환 영역을 형성하여 오염물질을 저감시키는 특징이 있다.^[2]

본 연구에서는 double cone을 장착한 EV 버너의 설계 변경안에 대하여 RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes) 수치기법을 적용하여 메탄 화학 반응식 변경에 따른 EV 버너 내부의 혼합 특성 및 연소 특성을 예측하고 실험과 비교하여 정성적으로 동일한 경향성을 갖는 최소한의 step을 제시하고자 한다.

해석 대상인 EV 버너는 전체 연소기 길이가 2,300mm이며, windbox 하부에 위치한 직경 75mm의 12개의 홀에서 공기가 공급되어 좌우 slit 통해 스윙을 형성하며 cone 내부로 유입되고 slit 후방에 연료가 공급되며 공기와 cone 내부에서 예혼합이 이루어진다.

EV 버너의 기본 설계 모델인 case1의 경우 slit

후방에 직경 1.5mm의 32개 홀이 등간격으로 배치되어 있으며 case2의 경우 연료 홀의 개수를 42개로 변경하고 직경을 1.3mm로 축소하여 연료의 균일성을 증가시켰고, case3의 경우 case1 상부에 연료를 분사 할수 있는 lance injection을 적용하여 cone 중심부에 혼합 특성을 개선한 설계 변경 모델이다.

버너 내부 해석을 위해서 연속 방정식, 운동량 보존 방정식, 에너지 보존 방정식, 화학종 방정식을 고려하였고, 범용 해석 코드인 ANSYS Fluent ver 13.0을 채택하였다.^[3]

격자는 windbox 내부에 약 140만개, 공기와 연료가 혼합되는 double cone에 61만개, 연소기 일어나는 liner에 약 123만개로 총 330만개의 격자로 구성하였고 공급공기온도 643K, 공연비 35.7(당량비 0.48에 해당함) 희박연소 조건에서 진행하였다.

연료와 공기가 부분적으로 예혼합 될 경우 국부적으로 연료 과농 영역이 형성되어 고온에서 다량의 thermal NO_x를 초래한다. 혼합 특성 향상의 정도를 판정하기 위해 기존에 알려진 비혼합도(unmixedness)식을 개선한 비혼합도(Modified unmixedness)식을 도입하였다.^[4]

$$\frac{(f - f_{aver})^2}{f_{ver}(1 - f_{aver})} \quad (1)$$

f : mixture fraction
 f_{aver} : area-averaging of mixture fraction

* 세종대학교 기계공학과

** 한국기계연구원

† 연락처, chsohn@sejong.ac.kr

TEL : (02)3408-3788 FAX : (02)-3408-4333

비혼합도의 값은 작을수록 혼합 특성이 향상된 것을 의미한다.

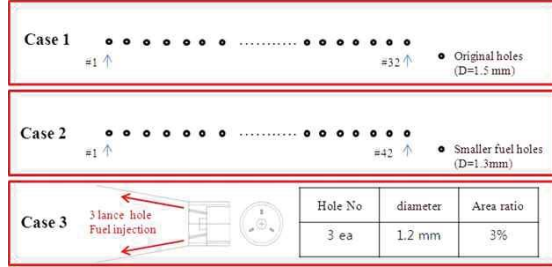


Fig. 1 Test cases with design modification of the burner

혼합 특성 계산 결과 lance injection을 적용한 case3의 경우 cone 중앙에 연료를 분사하여 cone 내부 혼합 특성이 향상된 것으로 판단되며, 연료의 균일성 향상을 위한 case2의 경우 연료 홀의 증가로 벽면의 연료 분포가 증가하고 swirl에 의한 연료의 cone 내부 혼합이 저하되어 혼합 특성이 저감된 것으로 판단된다.

혼합 특성 저감에 따른 NO_x 저감을 검증하기 위해 아래와 같은 메탄 1단계 화학반응식(1-step global mechanism)과 2단계 화학반응식(2-step global mechanism)을 적용하여 연소 해석을 수행하였다.

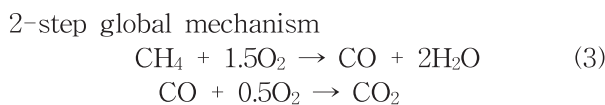
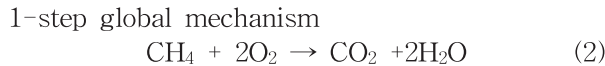


Table 1 Result of Numerical analysis and Experiment.

	NO _x (ppm)		
	1step	2step	Experiment
Case1	0.305	0.321	3.45
Case2	0.822	0.304	3.05
Case3	0.311	0.328	5.61
	Increase of rate (%)		
	1step	2step	Experiment
Case1	0%	0%	0%
Case2	170%	-5.3%	-11.6%
Case3	2%	2.2%	83.9%

벽면 경계 조건은 외부로의 열손실과 복사 열 전달을 고려하였으며^[5] 수치 해석 및 실험 결과를 Table 1에 나타내었다. 실험 결과 혼합 특성이 향상된 case3에서 NO_x가 저감되었으며 혼합 특성이 저감되었던 case2에서 case1보다 많은 NO_x가 예측되었다.

1단계 반응식을 적용한 경우 case3에서 실험 결과와 다른 다량의 NO_x가 예측되었다. 이는 1단계 반응식을 적용하여 lance에서 분사되는 연료가 과다 예측(Over-prediction)되어 cone 내부에서 화염을 형성, 다량의 NO_x가 발생하는 것으로 판단된다. 반면, 2단계 반응식을 적용한 경우 정량적인 NO_x량은 일치하지 않지만, 정성적인 NO_x의 경향성은 유사하게 예측되었다. 이는 CO를 고려한 2단계 반응식이 NO_x와 CO의 trade-off로 인하여 화학반응의 과대 해석(over-prediction)을 방지하여 혼합 특성에 변화에 따른 NO_x 발생량을 유사하게 예측한 것으로 판단된다.

Ev burner의 희박혼합화염 NO_x 예측에 있어, 정성적으로 비슷한 경향성을 얻기 위해서는 NO_x와 CO의 trade off 되는 성질이 포함되어 하기 때문에 최소한 반응식에 CO가 포함되어 있는 2step 이상의 반응 메커니즘을 사용해야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 부분적으로 2012년도 지식경제부와 한국에너지기술평가원의 지원(과제명: 100 MW 급 가스터빈 upgrade 적용 열유동/연소 해석 및 연소 시스템 운영 기술 개발)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] Capehart, S, A, John, C. Y“ Effect of Fuel Combustion on NO_x formation in Lean Premixed Prevaporized Combustion” ASME, 97-GT-336, 1997,

[2] Sohn, C, H, Cho, H, C “A CFD Study on Thermo-Acoustic Instability of Methane/Air Flames in Gas Turbine Combustor”, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 19, 2005, pp. 1811~1812.

[3] ANSYS FLUENT User's guide, Release 13, ANSYS Inc.

[4] F.Biagioli, F. Guthe, "Effect of pressure and fuel-air unmixedness on NOX emissions from industrial gas turbine burners" Combustion and Flame, pp.283~284, 2007.

[5] 임인권, 정석호, "복사열전달을 고려한 상호작용하는 예혼합화염의 수치해석," 대한기계학회 논문집, 제 19권, 3호, pp.858~867, 1995.