

가스터빈 연소기의 연소장 해석을 위한 스윙 예혼합 버너의 수치적 모델링에 관한 연구

백광민* · 손채훈**

A Study on Numerical Modeling of Swirl-Premix Burners for Simulation of Gas Turbine Combustion

Gwangmin Baek*, Chae Hoon Sohn**

ABSTRACT

Efficient numerical analysis of combustion induced by premixed swirl multi-burners in a gas turbine combustor is conducted by adopting swirler model. By analyzing the internal recirculation zone, the inner and outer diameters of the swiler are determined to be 28 mm and 76mm to 28mm, respectively. Tangential velocity of 35m/s is determined from swirl and recirculation angles. With swirler model adopted, the predicted temperature of combustion gas agrees well with that from single-burner calculation without the model. But, NO_x emission is underestimated by 60 %.

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

환경 규제의 강화로 인하여 공업용 가스터빈 및 실용 연소기의 오염 물질 저감에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^[1] 그 가운데 스윙 예혼합 버너는 double cone을 장착하여 cone 내부에서 강한 재순환을 형성시켜 오염물질을 저감시키는 특징을 가지고 있다.^[2]

발전용 가스터빈의 경우 double cone이 장착된 single 버너가 여러 개의 그룹을 형성하여 배열되어 있다. 각각의 그룹은 고유의 배열과 특성을 가지고 있으며 연소 효율 및 오염물질 저감을 위해 다양한 운전조건 하에서 작동한다. 그러나, full scale의 가스터빈에 대한 수치 해석은 시간적, 공간적 제약을 많이 받는다. 이러한 수치 해석적 제약을 줄이기 위해 single burner의 유동 특성을 바탕으로 버너를 swirler로 모사함으로써 효율적인 계산을 도모하고자 한다.

버너 내부 유동해석을 수행하기 위해서는 연속 방정식, 운동량 보존 방정식, 에너지 보존방정식을 포함한 3차원 압축성 Navier-Stokes 방정식을 연립하여 풀어야 한다.^[3,4] 간단한 시도 및 확인을 위해서 범용 해석 코드인 CFD - ACE^[3]를

채택하였다. swirler 모델을 구성하기 위하여 cone의 출구(Z=0 m) 및 재순환 영역이 존재하는 영역에 대하여 single burner의 유동 특성을 분석하였다. 재순환 영역은 cone 내부 Z=130mm 부근에서 연소기 내부 Z=-440m에서 뚜렷하게 형성된다. air slit의 하부에 위치한 경사면에 의해 접선 방향 속도가 급격하게 증가하여 출구에서 강한 swirl을 형성하며 일부는 연소실 내벽에 고속으로 충돌하는 경향을 보인다. single 버너는 air slit을 통해 유입된 공기가 slit 뒷면에서 분사되는 연료와 cone 내부에서 강한 swirl을 형성하며 예혼합되어 cone의 출구에서 연소가 발생한다. swirler 모델링의 경우 연료와 공기를 균일하게 혼합되었다고 가정하였고, 공연

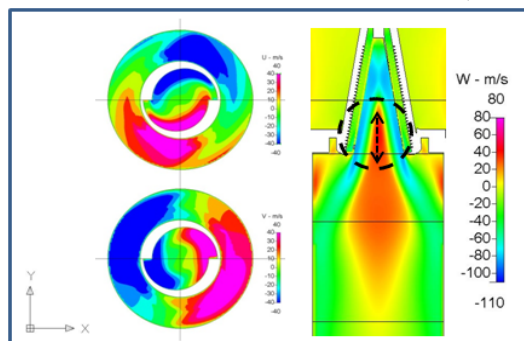


Fig. 1 Characteristic of Single burner

* 세종대학교 기계공학과

† 연락처자, chsohn@sejong.ac.kr

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

비와 동일한 premixture를 분사하였다.

double cone의 외경과 내부 재순환 영역 크기를 바탕으로 swirler의 내, 외경을 결정하고 결정된 입구 조건의 면적을 통해 swirler의 유량을 결정하였다. 반경 방향 속도는 swirler 모델링 범위의 평균 속도를 결정하였으며 swirl 형성에 큰 영향을 줄 것으로 판단되는 접선 방향 속도는 크기에 따른 변화를 통하여 검증하였다.

cone의 출구에서 강한 swirl을 형성하여 재순환을 형성하고 일부는 내벽과 충돌을 일으킨다. 이를 바탕으로 single버너 출구에서 발생하는 swirl로 인해 연소기 내벽과 충돌하는 각과 재순환 영역을 형성하는 각을 정의하여 접선 방향 속도의 크기에 변화에 따른 swirl 강도를 swirl number^[5] 와 swirl angle, recirculation angle로 나타내었다.

Table 1 swirler model

	single burner	tangential velocity[m/s]			
		10	30	50	70
swirl number	0.78	0.2	0.6	1.2	1.6
swirl angle [°]	59.5	78.8	68.8	59.6	56.3
Recirculation angle	68.2	85.6	68.2	59.5	54.5

축 방향 유속에 비해 접선 방향 속도가 너무 작을 경우 swirl 강도가 약하며 작은 재순환을 형성하는 특성을 보이며, 접선 방향 속도가 너무 클 경우 swirl 강도가 과도하게 증가하여 반경 방향 유동이 증가하여 재순환 영역이 연소기 출구에 넓게 형성되는 특성을 보인다. 접선 방향 속도가 작을 경우 스윙 각 보다 재순환 각의 크기가 증가하였으며 30m/s 이후의 경우 큰 차이를 보이지 않았다.

single burner 출구에서 swirl number은 0.78로 접선 방향 속도가 40 m/s 의 경우 유사한 경향성을 보이며 swirl 각의 경우 50 m/s, 재순환 각의 경우 30 m/s에서 유사한 경향성을 보인다.

위와 같은 swirler 모델을 적용하여 연소 해석을 수행하였다. 이를 swirler 모델 계산이라 부르고, swirler 모델을 적용하지 않은 기존의 계산을 single 버너 계산이라 부르겠다. 해석 결과, 재순환 영역은 single 버너 계산 결과와 유사하게 연소기 내부에 크게 형성되는 재순환과 벽면에서의 충돌로 발생된 재순환 영역이 모두 형성되었다. cone 내부에서 화학 반응이 발생하는 single burner에 비해 cone 출구에서 화학 반응이 일어나는 swirler 모델 계산에서 화염 영역이 조금 더 넓게 형성되

었다. 하지만 single 버너의 경우 cone 출구 재순환 영역에서 고온의 연소영역의 생성으로 다량의 thermal NO_x가 발생 하지만 swirler 모델링은 동일한 영역에서 재순환 유동장이 형성되지만 고온의 연소 영역이 존재하지 않으며 NO_x 발생량 또한 적었다. 이는 single 버너의 경우 연료와 공기의 공간적인 불균일 혼합으로 인한 연료 과농 영역이 생성되어 이론 연소 조건에서 고온으로 인해 다량의 NO_x가 생성된 것으로 판단된다.

single 버너 계산과 비교하여 swirler 모델 계산 시, NO_x 발생량은 약 60% 정도 감소하는 경향성을 보였다. 이러한 이유는, swirler 모델에서는 예혼합 가스의 사용으로 혼합도가 향상되고, thermal NO_x 발생 계산을 위해 Zel'dovich mechanism 대신 NO, OH 를 무시한 간단한 후처리 방법(아래의 식 (1) 참고)을 이용하여 예측함으로써 NO_x 발생량이 감소한 것으로 보인다.

$$\frac{d[NO]}{dt} = k_t[N_2][O_2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

하지만 swirler 모델은 NO_x 의 총량을 정확하게 예측하기 위한 모델링이 아닌 single 버너의 유동 특성을 파악하여 multi-burner에서의 버너간 상호작용과 종합적 특성을 파악하기 위해 제안된 모델로서 가치가 있다고 판단된다.

후 기

본 연구는 부분적으로 2011년도 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 NOX 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] CFD-ACE User Manual, 2011, Ver. 2011, ESI-CFD.
- [4] Linān, A, Williams, F. A, “Fundamental Aspects of Combustion”, Oxford University Press, 1993, pp. 9~13.
- [5] Lefebvre, A. H, “Gas turbine combustion”, Taylor & Francis, 1999, pp 127~128.