

## 난류 성층 예혼합 화염장의 상세구조 해석

전상태\* · 김남수\* · 김용모\*\*

### Numerical Investigations of Turbulent Stratified Premixed Flames

Sangtae Jeon\*, Namsu Kim\*, Yongmo Kim\*\*

#### ABSTRACT

The multi-environment probability density function model has been applied to simulate the turbulent stratified premixed flames. The direct quadrature method of moments (DQMOM) has been adopted to solve the transport PDF equation due to its computational efficiency and robustness. Computations are made for the non-swirling turbulent stratified premixed flames including SWB1, SWB5 and SWB9. The numerical results obtained in this study are precisely compared with experimental data in terms of axial velocity, unconditional means and conditional means for scalar field including temperature and species mass fraction.

**Key Words** : Multi-environment PDF, DQMOM, Stratified flames, Methane/air flames, Turbulence-Chemistry Interaction

NOx 배출 저감을 위하여 연료 희박 예혼합 연소 기술이 떠오르지만, 가스터빈 및 자동차 엔진 등 실용적인 연소기에서는 성층화 영역에서 구동되는 것이 보편적이다. 이와 같은 성층화 화염은 연료가 매우 희박한 영역에서 화염안정성 및 가연성이 최적화되어야 한다. 이와 같은 이유로, 많은 연구자들이 난류 성층화 예혼합 화염의 유동장 및 정확한 화염구조에 대한 연구가 진행되었고, 최근에 이러한 화염에 대한 검증은 위한 실험이 진행되었다 [1, 2].

본 연구에서는 multi-environment 확률밀도함수 방법[3]을 이용하여 난류 성층화 화염을 해석하였다. IEM mixing model을 사용하여 혼합과정을 표현하였으며, 화학반응은 상세화학반응 모델인 GRI 2.11 메카니즘을 사용하였다. 수치해석 결과를 속도의 축방향 성분, 평균 및 국소화염구조를 온도장 및 화학종 질량분율로 실험치[2, 4]와 비교 분석하였다.

Fig. 1은 SWB5의 전체적인 온도 및 당량비의 예측결과이다. 난류 혼합이 하류쪽으로 가면서 진행됨을 알 수 있다. 메탄화염의 경우 가연한계가 당량비 0.47에서 형성되는데 가연가능 영역이 80mm까지는 점차 증가하다가 더 하류쪽에서는 공기와 섞이며 가연영역이 점차 줄어드는 것을

확인 할 수 있다.

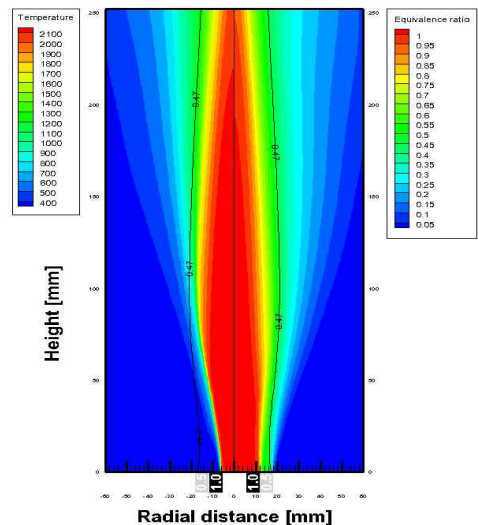


Fig. 1 Predicted overall flame pattern of SWB5.

Fig. 2는 축방향 속도의 평균값 및 변량을 나타내었다. 반경방향으로 안쪽에서 평균속도가 과대예측하지만 전반적으로 잘 예측한다. 30mm 안쪽에서는 재순환 영역이 있으며, 이 영역을 RANS 기반의 난류 모델의 단점과 연료 노즐의 벽 조건을 단열로 처리하여 나타난 결과라고 생

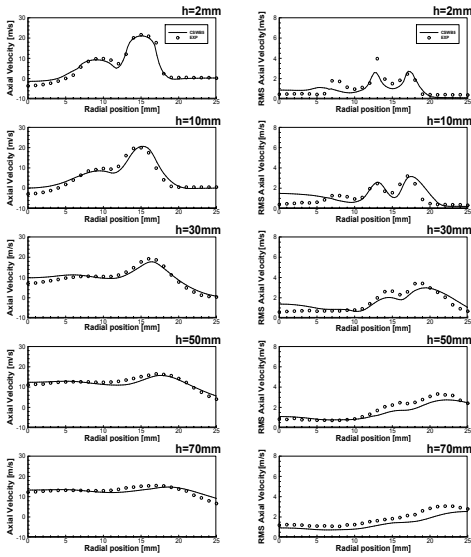


Fig. 2 Radial profiles of mean and RMS of axial velocity at various axial stations.

각된다. 만약 conjugated heat transfer를 고려한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

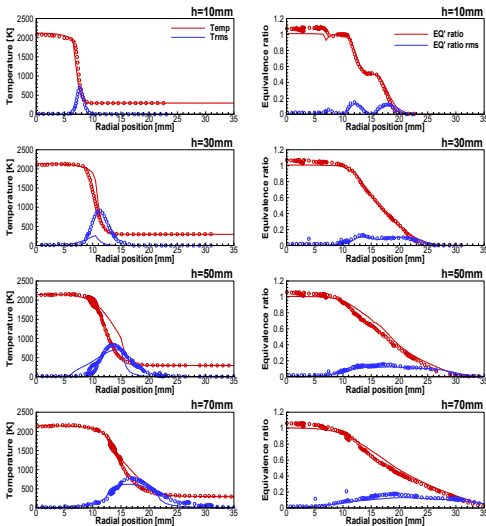


Fig. 3 Radial profiles of mean and RMS of temperature and equivalence ratio at various axial stations.

Fig. 3은 반경방향의 온도와 당량비를 여러 축방향 위치에서 비교하였다. 전체적으로 실험치를 잘 예측하지만 반경방향으로 안쪽에서 당량비를 과소예측하는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 multi-environment 확률밀도함수 모델은 Lewis number 효과를 고려하지 않았기 때문에 bluffbody 영역에서 당량비가 부분적으로 높아지는 특성을 제대로 예측하지 못했다.

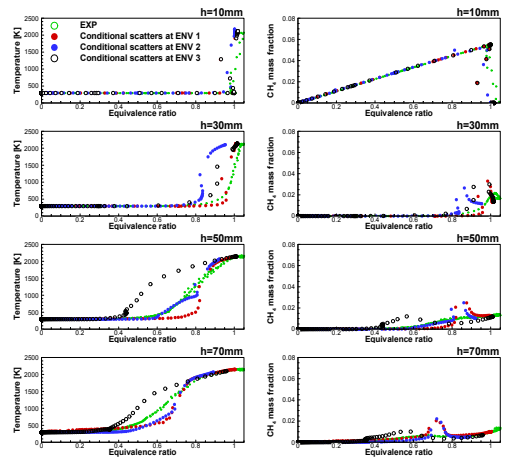


Fig. 4 Conditional scatters of scalar fields at various axial stations.

Fig. 4는 온도와 메탄 질량분율의 conditional scatter를 도시하였으며 순수한 예혼합 화염과 성층화 화염의 특징과 난류와 화학반응의 상호작용을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

### 후기

본 연구는 2014년 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KEPTEP)의 지원을 받아 수행한 한국형 300MW급 IGCC 실증플랜트기술개발사업 연구과제입니다.

### 참고 문헌

- [1] B. Bohma, J.H. Frank, A. Dreizler, "Temperature and mixing field measurements in stratified lean premixed turbulent flames", Combust. Inst., 2011, pp. 1583-1590.
- [2] Mark S. Sweeney, Simone Hochgreb, Matthew J. Dunn, Robert S. Barlow, "The structure of turbulent stratified and premixed methane/air flames I : non-swirling flow", Combust. Inst. 2012, pp. 2896-2911.
- [3] Rodney O. Fox, "Computational Models for Turbulent Reacting Flows", Cambridge Univ. Press, 2003
- [4] R. Zhou, S. Balusamy, M.S. Sweeney, R.S. Barlow, S. Hochgreb, "Flow field measurements of a series of turbulent premixed and stratified methane/air flames", Combust. Flame, Vol 160, 2013, pp. 2017-2028.