

질소희석과 압력이 석탄가스 난류 확산화염장의 NO_x 생성특성에 미치는 영향 해석

박상운* · 이정원 · 김용모**

Analysis of the Effects of Fuel-side Nitrogen Dilution and Pressure on NO_x Formation of Turbulent Syngas Nonpremixed Jet Flame

Sangwoon Park*, Jeongwon Lee*, Yongmo Kim**

ABSTRACT

The present study has numerically investigated the effects of the fuel-side nitrogen dilution on the precise structure and NO_x formation characteristics of the turbulent syngas nonpremixed flames. Numerical results indicate that for highly diluted case, the flame structure is dominantly influenced by the turbulence-chemistry interaction and marginally modified by the radiation effect. On the other hand, no-dilution case with the longer flight time and the relatively intermediate scalar dissipation rate is influenced strongly by the radiative cooling as well as moderately by the turbulence-chemistry interaction.

Key Words : Turbulent nonpremixed syngas flame, Nitrogen dilution, Lagrangian flamelet model, Turbulent-chemistry interaction, Full NO_x chemistry, Radiation

석탄가스는 친환경적인 특성과 제조과정에서의 비용이 저렴하기 때문에 현재 전 세계적으로 활발하게 연구가 이루어지고 있는, 수소와 일산화탄소의 혼합물로서 구성되어 있는 연료이다. 이 석탄가스는 제조과정과 그 사용되는 분야, 기기에 따라서 그 조성이 일정하지가 않은데 이 조성들에 따라서 연소의 정상상태와 비정상상태의 동적인 거동이 바뀌게 된다. 최근에는 화염안정화를 위해서 IGCC 가스터빈엔진에서는 확산 와류 연소기를 사용하고 있다.[1] 하지만, 확산화염은 본질적으로 이론반응비 근처에서 화염이 집중적으로 발생하는 특성을 가지고 따라서 높은 온도 영역이 반드시 존재하기 때문에 NO_x의 생성이 불가피하게 된다. 따라서 이 NO_x를 저감하기 위해서 연료나 산화제에 희석제를 첨가하여서 온도를 낮추어줌으로서 NO_x를 저감하는 방법 등이 사용되는데, 이에 대해서 Lee, J. W.가 최근에 연구를 하였다.[2] 하지만 아직까지 NO_x의 저감과 화염안정화를 동시에 시켜줄 수 있는 최적의 조건이 완벽히 연구되지 않았기 때문에 이를 위

해서라도 석탄가스의 연소반응에 대한 깊은 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 석탄가스의 확산화염에서 압력과 연료의 질소희석이 화염구조에 어떻게 영향을 미치는지 연구하였다.

화염편 모델은 난류연소장을 본질적으로 1차원적인 구조를 가지는 층류 화염편들의 집합체로 가정한다. 이 때, 난류 유동은 화염편들을 신장시키거나 주름지게 함으로서 화염편 내부에서 분자단위의 물질 및 열확산을 지배하고 비평형 화학반응에 영향을 미치게 된다. 국소화염구조로서 층류화염편은 대향류 확산화염해석으로부터 구하거나, Peters 변환에 의하여 아래 식과 같이 유도되는 화염편 방정식을 통해서 해석을 할 수 있다.[3]

$$\frac{\partial Y_i}{\partial t} = \frac{\chi}{2} \frac{\partial^2 Y_i}{\partial Z^2} + \frac{\dot{\omega}_i}{\rho} \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\chi}{2} \frac{1}{c_p} \frac{\partial^2 h}{\partial Z^2} - \frac{\chi}{2} \frac{1}{c_p} \sum_{k=1}^N h_k \frac{\partial^2 Y_k}{\partial Z^2} - \frac{1}{\rho c_p} \left(\sum_{k=1}^N h_k \dot{\omega}_k - \frac{\partial p}{\partial \rho} + \nabla \cdot q_{rad} \right)$$

* 한양대학교 기계공학부

† 연락저자, ymkim@hanyang.ac.kr

TEL : (2)2220-0428 FAX : (02)-2220-0339

본 연구에서는 복사열전달을 고려하기 위해서

옵티컬 썬 모델을 사용하였다.

비정상 화염편 모델은 라그랑지안 화염편 모델과 오일러리안 화염편 모델로 분류될 수 있다. 본 연구에서는 라그랑지안 화염편 모델을 적용하여 석탄가스의 난류화산화염을 체계적으로 연구하였다.[4]

수치실험을 위한 석탄가스의 조성으로는 CO와 H₂의 부피비가 약 2:1인 조성으로 선정하였다. 이 조성에 질소가 연료 부피의 1.2배로 희석이 되어있으며, 압력에 대한 영향을 알아보기 위해서는 각각 5기압과 20기압인 조건에 대하여 수치실험을 수행하였다. 제트의 연료출구 안쪽과 바깥쪽 노즐의 지름은 각각 4.58mm와 7.72mm 이고, 동축 공기노즐의 안쪽과 바깥쪽 고리모양의 공기노즐 (d>30mm)에서는 재순환을 막기 위하여 공기가 추가적으로 낮은 속도 (0.1m/s)로 공급되며, 연료가 나오는 노즐에서의 평균속도는 76 m/s 로 모든 실험에서 동일하다. 연료의 질소 희석에 대한 영향을 알아보기 위해서는 연료의 부피비로 0%, 60%, 120%의 질소를 희석시킨 조건에 대해서 수치해석을 수행하였다.

우선 압력에 따른 화염구조의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 축방향의 변화로 볼 때, 압력이 증가함에 따라 화학적 해리반응의 감소, 그리고 완전연소가 더 잘 일어나기 때문에 전체적으로 온도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 화학적 해리반응의 감소로 생성물이나 중간 생성물이 더 적게 생성되는 것 또한 확인할 수 있다. 하지만 NO의 경우에는 일반적인 상황과 다르게 5기압에서 더 높게 나타나는 결과를 보여주고 있다.

다음으로 연료의 질소희석에 대한 영향을 Fig. 2에 나타내었다. 연료의 희석정도가 증가함에 따라 화염의 길이가 길어지고, 최고온도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 그리고 희석 정도가 높아질수록 NO의 생성이 급격히 낮아지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 온도가 크게 낮아지는 데에서 오는 영향이라고 생각할 수 있다. 이 외에도 생성물이나 중간생성물에도 질소희석이 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3에는 각 조성에 대한 화염구조를 혼합분률상에 나타내었다. 희석 정도가 낮아짐에 따라 이론당량비 혼합분률이 낮아지고, 온도가 더 올라가는 것을 확인할 수 있다.

후 기

본 연구는 2012년 지식경제부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KEPTEP)의 지원을 받아 수행한 한국형 300MW급 IGCC 실증플랜트기술개발사업 연구과제입니다.

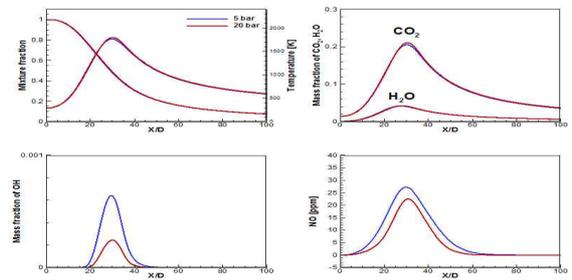


Fig. 1 Axial profiles of temperature, mixture fraction, OH, H₂O mass fraction and NO [ppm] along the centerline for each pressure

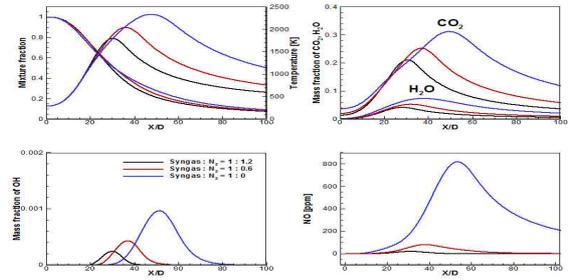


Fig. 2 Axial profiles of temperature, mixture fraction, OH, H₂O mass fraction and NO [ppm] along the centerline for dilution level

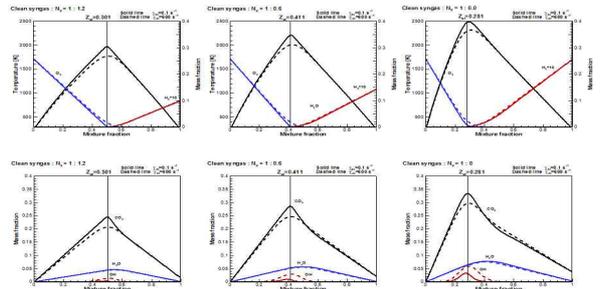


Fig. 3 Local flame structures as a function of mixture fraction for two scalar dissipation rate (0.1 /s and 600 /s)

참고 문헌

[1] Moore, M.J. (1997) "NO emission control in gas turbines for combined cycle gas turbine plant", Proc. Inst. MechEng, Vol. 211, pp. 43-52
 [2] Jweongwon Lee, Sangwoon Park, Yongmo Kim. (2012) "Effects of Fuel-side dilution on structure on NOx formation of turbulent Syngas non-premixed jet flames", Energy & Fuels, Vol. 26, p. 3304-3315
 [3] Peters, N. (2000) Turbulent Combustion,, Cambridge University press
 [4] Pitsch, H., Chen, M., Peters, N. (1998) "Unsteady Flamelet Modeling of turbulent Hydrogen-Air Diffusion Flames", Proc. 27th Symp. (Int.)Comb., Combustion Institute, Pittsburg, p.1057